

Juliano da Cunha Gomes

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DE  
APOIO À DECISÃO PARA AUXILIAR A REMEDIAÇÃO DE  
LIXÕES DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Armando Borges de Castilhos Junior.

Florianópolis, SC  
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca  
Universitária da UFSC.

Gomes, Juliano da Cunha  
DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DE  
APOIO À DECISÃO PARA AUXILIAR A REMEDIAÇÃO DE LIXÕES  
DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS / Juliano da Cunha Gomes  
; orientador, Armando Borges de Castilhos Junior,  
2019.  
198 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis,  
2019.

Inclui referências.

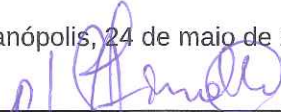
1. Engenharia Ambiental. 2. Resíduos sólidos  
urbanos. 3. Cenários de remediação. 4. Lixões. I.  
Castilhos Junior, Armando Borges de . II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título.

Juliano da Cunha Gomes

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO PARA AUXILIAR A REMEDIAÇÃO DE LIXÕES DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

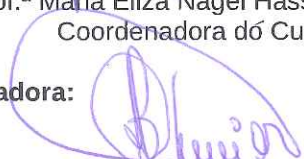
Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de "Doutor em Engenharia Ambiental" e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.


Florianópolis, 24 de maio de 2019.

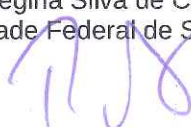
  
Prof.ª Maria Eliza Nagel Hassemer,  
Coordenadora do Curso

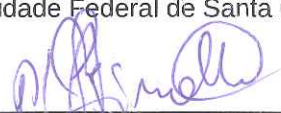
*Prof.ª Alexandra Rodrigues Finotti*  
Departamento de Engenharia  
Sanitária e Ambiental/CTC/UFSC

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Armando Borges de Castilhos Junior, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof.ª Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto, Dr.ª  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof. Paulo Belli Filho, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof. Alexandre Lioi Nascentes, Dr.  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

*Prof.ª Alexandra Rodrigues Finotti*  
Departamento de Engenharia  
Sanitária e Ambiental/CTC/UFSC

Dedico este trabalho a minha família, especialmente aos meus pais.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gratidão ao universo por proporcionar experiências de vida tão valorosas.

Agradeço aos meus antepassados por tudo o que viveram para permitir eu me tornar quem sou, à minha família por me atrair e me deixar ser atraído para esta vivência, à minha companheira por estar presente iluminando o caminho e à minha mãe por ser minha bússola.

Ao meu professor orientador, grande mestre que me oportunizou conhecimento e qualificação profissional, mas que também me ensinou através de suas ações como ser uma pessoa melhor.

Aos meus amigos e colegas por todo o apoio e à todos aqueles que estiveram presentes de alguma forma.

À UFSC pela excelência do curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

## RESUMO

Os lixões a céu aberto são locais onde os resíduos sólidos urbanos são descartados diretamente no solo, sem os controles ambientais adequados, podendo causar sérios impactos ambientais e prejuízos à saúde pública. No ano de 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos brasileira foi criada, determinando a eliminação e remediação dos lixões em nível nacional, estabelecendo prazo de quatro anos para os municípios entregarem seus planos de resíduos sólidos contendo informações sobre a eliminação e remediação dos lixões, o que não aconteceu devido às dificuldades encontradas. Entre os anos de 2011 a 2016 a destinação dos resíduos sólidos urbanos em lixões variou entre 19% e 29% do total gerado no país, indicando que os lixões ainda não foram encerrados e remediados por completo. Por isso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma ferramenta para auxiliar a remediação de lixões, sem considerar os custos do processo. A ferramenta foi transformada em um *software* chamado ReLix, que permite fazer um diagnóstico do lixão, estabelecendo seu nível de impacto, classifica os cenários e indica as respectivas técnicas de remediação. A ferramenta trabalha com três possíveis cenários: 1) confinamento dos resíduos, 2) conversão em aterro sanitário e 3) remoção dos resíduos. As técnicas de remediação são técnicas de cobertura, de remoção direta ou por mineração, de tratamento térmico, instalação de aterro sanitário, controle da área, controle da água subterrânea, coleta e tratamento de lixiviado e tratamento de gases. O *software* foi testado e avaliado por especialistas em seis lixões brasileiros e quatro lixões na República de Cabo Verde. Oito lixões foram classificados com impacto ambiental médio e dois lixões foram classificados com impacto ambiental alto. O cenário de remediação predominante entre os lixões foi a remoção dos resíduos. Os especialistas avaliaram o ReLix como de fácil entendimento e uso, fornecendo um diagnóstico apropriado, classificando os cenários e indicando as técnicas de remediação de forma adequada, portanto, sendo capaz de auxiliar as partes interessadas na tomada de decisão quanto ao estabelecimento das prioridades de remediação e na escolha do cenário de remediação para lixões de resíduos sólidos urbanos.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos urbanos 1. Cenários de remediação 2. Lixões 3.

## ABSTRACT

Open dumpsites are places where municipal solid waste is disposed of directly in the soil, without adequate environmental controls, which can cause serious environmental impacts and damage to public health. In 2010, the Brazilian National Solid Waste Policy was created, determining the elimination and remediation of the dumps at the national level, establishing a four-year deadline for municipalities to submit their solid waste plans containing information on the disposal and remediation of the dumps, which did not happen because of the difficulties encountered. Between 2011 and 2016, the disposal of municipal solid waste in dumps varied between 19% and 29% of the total generated in the country, indicating that the open dumps have not yet been closed and completely remedied. Therefore, the objective of this work was to develop a tool to assist the remediation of open dumps, without considering the costs of the process. The tool was transformed into a software called ReLix, which allows a diagnosis of the dumpsite, establishing its impact level, classifying the scenarios and indicating the respective remediation techniques. The tool works with three possible scenarios: 1) confinement of waste, 2) conversion to sanitary landfill and 3) removal of waste. The techniques of remediation are techniques of coverage, direct removal or mining, heat treatment, sanitary landfill installation, area control, groundwater control, leachate collection and treatment and gas treatment. The software was tested and evaluated by experts in six Brazilian dumps and four open dumps in the Republic of Cabo Verde. Eight open dumps were classified with medium environmental impact and two open dumps were classified with high environmental impact. The predominant remediation scenario among the open dumps was the removal of the waste. The experts evaluated ReLix as easy to understand and use, providing an appropriate diagnosis, classifying scenarios and indicating remediation techniques accordingly, thus being able to assist stakeholders in decision-making on setting remediation priorities and in the choice of the remediation scenario for municipal solid waste open dumps.

**Keywords:** Municipal Solid Waste. Remediation scenarios. Open dumps.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos Brasil - 1989/2008.....	34
Figura 2: Destinação final dos RSU no Brasil em relação à massa de resíduos coletada.....	36
Figura 3: Elementos de um modelo de SD.....	44
Figura 4: Decomposição hierárquica dos elementos do método AHP.....	45
Figura 5: Exemplo de confinamento de lixões antigos.....	49
Figura 6: Sistema edutor de coleta de lixiviado.....	53
Figura 7: Exemplo de diagrama de classe de associação binária UML.....	64
Figura 8: Estrutura da metodologia utilizada na elaboração do trabalho.....	65
Figura 9: Sistema de pontuação de situações relevantes em um lixão.....	74
Figura 10: Fluxograma de atribuição de pontuação extra ao cenário de remediação.....	87
Figura 11: Tela principal do ReLix.....	88
Figura 12: Consulta de lixões do ReLix.....	89
Figura 13: Cadastro, diagnóstico classificação dos cenários e indicação das técnicas de remediação no ReLix.....	91
Figura 14: Exemplo de um diagnóstico de lixão feito pelo ReLix.....	92
Figura 15: Exemplo da classificação dos cenários e indicação das técnicas de remediação no ReLix.....	94
Figura 16: Simulação de custos das técnicas de remediação ReLix.....	97
Figura 17: Pontuação geral dos lixões diagnosticados pelo ReLix.....	99
Figura 18: Pontuação das situações observadas nos lixões.....	99
Figura 19: Representação gráfica da pontuação dos lixões por categoria.....	100
Figura 20: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão CV2.....	110
Figura 21: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão RJ.....	113
Figura 22: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão SC1.....	115

Figura 23: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão CV1.....	117
Figura 24: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão CV3.....	120
Figura 25: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão SP.....	122
Figura 26: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão SC3.....	124
Figura 27: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão SC2.....	126
Figura 28: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão RS.....	128
Figura 29: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão CV4.....	131

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1: Composição dos resíduos em diferentes países, por nível de renda.....	34
Tabela 2: Destinação Final de RSU no Brasil.....	35
Tabela 3: Destinação Final de RSU em Santa Catarina.....	37
Tabela 4: Critérios de índice e risco de lixões indianos.....	67
Tabela 5: Valores das respostas de três perguntas do questionário de campo do ANEXO A.....	77
Tabela 6: Definição dos intervalos da escala numérica.....	80
Tabela 7: Escala de impactos ambientais proposta.....	81
Tabela 8: Resumo da avaliação do ReLix feita pelos especialistas.....	134
Tabela 9: Tabela de pontuação do questionário de campo do ANEXO A.....	171
Tabela 10: Tabela de pontuação dos cenários técnicas de remediação do APÊNDICE D.....	182
Tabela 11: Pontuação obtida nos testes realizados com o ReLix.....	185
Quadro 1: Classificação dos resíduos e suas características.....	30
Quadro 2: Principais métodos de uso geral na área de resíduos sólidos.....	43
Quadro 3: Tecnologias de controle de águas subterrâneas, coleta e tratamento de lixiviados em lixões.....	51
Quadro 4: Tipos de diagramas da UML.....	63
Quadro 5: Diagnóstico simplificado de lixões franceses.....	67
Quadro 6: Questionário utilizado na primeira etapa da validação do <i>software</i> ReLix.....	69
Quadro 7: Questionário utilizado na segunda etapa da avaliação do <i>software</i> ReLix.....	71
Quadro 8: Resumo da avaliação do módulo de diagnóstico.....	107
Quadro 9: Cenários e técnicas de remediação de lixões, e seus critérios de escolha.....	177

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACB - Análise de Custo Benefício  
ACV - Avaliação do Ciclo de Vida  
AFM - Análise de Fluxo de Materiais  
AFS - Análise de Fluxo de Substâncias  
AHP - *Analytic Hierarchy Process*  
AIA - Avaliação de Impactos Ambientais  
AICV - Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida  
ANAS - Agência Nacional de Águas e Saneamento  
CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente  
COSVs - Compostos Orgânicos Semivoláteis  
COVs - Compostos Orgânicos Voláteis  
EIA - Estudo de Impacto Ambiental  
FAD - Ferramentas de Apoio à Decisão  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
LARESO - Laboratório de Pesquisa em Resíduos Sólidos  
PBDE - Éteres de Difenil Polibromados  
PCB - Bifenilos Policlorados  
PDF - Portable Document Format  
PERS - Política Estadual de Resíduos Sólidos  
PNMA - Política Nacional de Meio Ambiente  
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos  
PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico  
PRAD - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas  
PROMETHEE II - *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*  
ReLix - Programa para Remediação de Lixões de RSU  
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental  
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental  
RSU - Resíduos Sólidos Urbanos  
SD - *System Dynamics*  
SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento  
TDM - Tomada de Decisão Multicritério  
TDMA - Tomada de Decisão Multiatributo  
TDMO - Tomada de Decisão Multiobjetivo  
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina  
UML - *Unified Modeling Language*  
USEPA - *United States Environmental Protection Agency*

## SUMÁRIO

ABSTRACT.....	33
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	26
1.2 HIPÓTESE.....	27
1.3 OBJETIVOS.....	28
<b>1.3.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>28</b>
<b>1.3.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>28</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>29</b>
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	29
<b>2.1.1 Definição e origem.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1.2 Classificação.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1.3 Legislação.....</b>	<b>30</b>
2.2 ÁREAS DEGRADADAS POR DISPOSIÇÃO INADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (LIXÕES).....	32
<b>2.2.1 Definições.....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.2 Dados Mundiais, Brasil e Estado de Santa Catarina. .</b>	<b>33</b>
<b>2.2.3 Avaliação de impactos ambientais em áreas degradadas por disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.4 Principais métodos utilizados na área de resíduos sólidos urbanos.....</b>	<b>42</b>
2.2.4.1 Métodos de uso geral na área de resíduos sólidos.....	42
2.2.4.2 Métodos específicos para a remediação de lixões.....	46
2.2.4.2.1 <i>Cenários e técnicas para remediação de lixões.....</i>	<i>48</i>
2.2.4.2.1.1 Confinamento dos resíduos.....	48
2.2.4.2.1.2 Conversão em aterro sanitário.....	55
2.2.4.2.1.3 Retirada dos resíduos.....	58
2.3 MODELAGEM DE SOFTWARE.....	62
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>65</b>

3.1	DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA.....	65
<b>3.1.1</b>	<b>Criação do módulo para diagnóstico de lixões.....</b>	<b>65</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Criação do módulo de cenários de remediação.....</b>	<b>67</b>
3.2	DESENVOLVIMENTO DO <i>SOFTWARE</i> .....	68
3.3	VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA DESENVOLVIDA.....	69
<b>3.3.1</b>	<b>Avaliação do módulo de diagnóstico de lixões.....</b>	<b>69</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Avaliação do módulo de cenários de remediação.....</b>	<b>70</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>74</b>
4.1	DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA.....	74
<b>4.1.1</b>	<b>Criação do módulo de diagnóstico de lixões.....</b>	<b>74</b>
4.1.1.1	Valoração das situações.....	74
4.1.1.2	Normalização dos valores das respostas.....	75
4.1.1.3	Valoração de todas as respostas.....	76
4.1.1.4	Tabela de pontuação.....	77
4.1.1.5	Pontuação do lixão.....	78
4.1.1.6	Estabelecimento da escala de impactos.....	78
<b>4.1.2</b>	<b>Criação do módulo de cenários de remediação.....</b>	<b>81</b>
4.1.2.1	Normalização dos valores das técnicas e cenários.....	82
4.1.2.2	Valoração de todas as técnicas e cenários.....	83
4.1.2.3	Tabela de pontuação.....	85
4.1.2.4	Escolha das técnicas e cenários de remediação.....	85
4.2	DESENVOLVIMENTO DO <i>SOFTWARE</i> .....	88
4.3	VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA DESENVOLVIDA.....	98
<b>4.3.1</b>	<b>Avaliação do módulo de diagnóstico de lixões.....</b>	<b>101</b>
4.3.1.1	Lixão SC1.....	101
4.3.1.2	Lixão SP.....	102
4.3.1.3	Lixão SC3.....	104
4.3.1.4	Lixão SC2.....	105
4.3.1.5	Lixão RS.....	106
4.3.1.6	Validação do módulo de diagnóstico de lixões.....	106
<b>4.3.2</b>	<b>Avaliação do módulo de cenários de remediação....</b>	<b>108</b>
4.3.2.1	Lixão CV2.....	108
4.3.2.2	Lixão RJ.....	111

4.3.2.3 Lixão SC1.....	114
4.3.2.4 Lixão CV1.....	116
4.3.2.5 Lixão CV3.....	118
4.3.2.6 Lixão SP.....	121
4.3.2.7 Lixão SC3.....	123
4.3.2.8 Lixão SC2.....	125
4.3.2.9 Lixão RS.....	127
4.3.2.10 Lixão CV4.....	129
4.3.2.11 Validação do módulo de cenários de remediação.....	132
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>135</b>
<b>6 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>136</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>137</b>
<b>8 APÊNDICE A.....</b>	<b>149</b>
<b>9 APÊNDICE B.....</b>	<b>153</b>
<b>10 APÊNDICE C.....</b>	<b>171</b>
<b>11 APÊNDICE D.....</b>	<b>177</b>
<b>12 APÊNDICE E.....</b>	<b>182</b>
<b>13 APÊNDICE F.....</b>	<b>185</b>
<b>14 ANEXO A.....</b>	<b>190</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) diretamente ao solo, sem controles ambientais, é uma prática considerada inadequada e os locais onde isto ocorre com frequência são conhecidos como lixões, os quais são fonte de impactos adversos ao meio ambiente e oferecem riscos à saúde pública.

O lixiviado é o efluente líquido gerado quando a fração orgânica dos resíduos entra em contato com a água. Ele possui características que variam conforme o tipo dos resíduos, idade do lixão, hidrologia, geologia e meteorologia. De modo geral, a composição do lixiviado pode conter altas concentrações de metais, carga orgânica, micro-organismos, e fontes de nitrogênio, podendo afetar seriamente a qualidade das águas e a saúde da população, caso sua drenagem e tratamento não sejam feitos adequadamente (NUCASE, 2008).

Na degradação da fração orgânica dos RSU de um lixão ocorre a produção de biogás por microrganismos anaeróbios. O biogás é composto pelos gases metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ), entre outros gases, em quantidades que variam de acordo com a idade do lixão. Em geral, o biogás contém cerca de 50-60% de  $\text{CH}_4$  e 30-40% de  $\text{CO}_2$ . O  $\text{CH}_4$  é considerado o principal gás do efeito estufa, pois seu potencial de aquecimento global é vinte e oito vezes maior do que o do  $\text{CO}_2$  num horizonte de cem anos (ABUSHAMMALA et al., 2012; IPCC, 2013; NUCASE, 2008).

Em países desenvolvidos, como os da Europa e os Estados Unidos da América, os lixões são proibidos há muito tempo, porém a tratativa deste problema nos países em desenvolvimento é recente e está acontecendo por meio de políticas públicas, como no caso do Brasil, que instituiu sua Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no ano de 2010.

Na legislação brasileira, a disposição final adequada dos resíduos sólidos é a distribuição ordenada dos mesmos em aterros, observando as normas, de forma a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, bem como minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

Inicialmente, a PNRS estabeleceu quatro anos de prazo para que os municípios, estados e união fizessem a disposição



final adequada dos rejeitos e elaborassem seus planos de gestão integrados de resíduos sólidos, os quais deveriam identificar os passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos (lixões), incluindo áreas contaminadas e apresentar as respectivas medidas saneadoras, promovendo assim a eliminação e remediação de seus lixões de RSU (BRASIL, 2010).

Contudo a maioria dos planos de resíduos não foram entregues devido às dificuldades técnicas e de alocação de recursos encontradas pelos municípios durante o período. Em julho de 2015 foi feito, na forma de um projeto de Lei, o pedido de prorrogação da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos para até 2021, de acordo com o porte do município. Em abril de 2019 o projeto de Lei foi aprovado na câmara dos deputados (ALTAFIN, 2014; BRASIL, SENADO FEDERAL, 2014).

Por este motivo o Laboratório de Pesquisa em Resíduos Sólidos (LARESO) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) possui uma linha de pesquisa em Ferramentas de Apoio à Decisão (FAD) para auxiliar a remediação de lixões de RSU, na qual este trabalho está inserido.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A PNRS tem como principais objetivos a proteção da saúde e disposição final adequada dos resíduos sólidos, proibindo a disposição final inadequada em seu artigo 47. Isto é legitimado no artigo 54 da Lei federal N° 9.605/1998, que proíbe a poluição de qualquer natureza, tal como, o lançamento de resíduos sólidos em desacordo com a legislação (BRASIL, 1998, 2010).

No período de 2011 a 2016 o Brasil gerou em média 72.950.000 t/ano de RSU, deste montante cerca de 30% a 60% foram destinados em locais inadequados, sendo que os lixões representam entre 19% a 29%, ou seja, anualmente foram depositados em lixões em torno de 13,86 a 21,15 milhões de toneladas de RSU (ABRELPE, 2013, 2015, 2017; SNIS, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016).

Mesmo após nove anos de existência da PNRS, muitos municípios brasileiros continuam destinando seus RSU em lixões. Ao contrário do que se esperava, as estimativas

nacionais do ano de 2017 apontam que entre os anos de 2015 e 2016 houve um aumento de 1.552 para 1.559 municípios que destinaram seus RSU em lixões (ABRELPE, 2017).

Embora a ocorrência de lixões no mundo seja antiga, nos países desenvolvidos eles são proibidos há muitos anos, enquanto os países em desenvolvimento ainda estão em fase de implementação de suas políticas públicas sobre resíduos, como no caso do Brasil, que enfrenta dificuldades para eliminar e remediar seus lixões. Conforme Leoneti; Prado; Oliveira (2011); Maiello; Britto; Valle (2018), os principais motivos destas dificuldades são:

- O baixo investimento da união em saneamento básico ao longo dos anos;
- A dificuldade dos estados e municípios em alocar recursos para o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais necessárias;
- A necessidade da definição de diretrizes claras para as esferas federal, estadual e municipal, especialmente quanto ao estabelecimento de metas para as instâncias executoras, a indicação das responsabilidades, competências, os prazos e a alocação de recursos.

Estes fatores interferem diretamente na capacidade técnica, econômica e gerencial dos municípios, especialmente dos pequenos municípios, que de acordo com Altafin (2014), constituem 90% dos municípios brasileiros.

Por isso identificou-se a necessidade de uma ferramenta capaz de auxiliar as partes interessadas no diagnóstico e remediação de seus lixões de RSU.

## 1.2 HIPÓTESE

O desenvolvimento de uma ferramenta de fácil compreensão e operação, adaptada para a realidade brasileira, pode auxiliar as partes interessadas na tomada de decisão sobre as prioridades e cenários de remediação dos lixões de RSU.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta para auxiliar o diagnóstico e a tomada de decisão quanto ao estabelecimento das prioridades e cenários de remediação de lixões de RSU.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Propor um sistema para diagnóstico e classificação dos cenários de remediação;
- b) Desenvolver um *software* a partir da sistema proposto e
- c) Validar a ferramenta desenvolvida através de testes e avaliações feitos por profissionais e especialistas da área de resíduos sólidos.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

#### **2.1.1 Definição e origem**

A definição de resíduos sólidos é subjetiva, pois o que para alguns é resíduo, para outros pode ser matéria prima. Todavia, neste trabalho será utilizada a definição da PNRS, onde os resíduos sólidos são definidos como:

“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (BRASIL, 2010).

Neste caso, somente quando esgotadas todas as possibilidades economicamente viáveis de tratamento ou recuperação, os resíduos podem ser considerados rejeitos.

#### **2.1.2 Classificação**

Os resíduos sólidos são classificados de acordo com seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, com exceção dos resíduos radioativos, que são de responsabilidade da Comissão nacional de Energia Nuclear. (ABNT, 2004a). O quadro 1 ilustra as classes de resíduos existentes e suas características.

Quadro 1: Classificação dos resíduos e suas características

Classe do resíduo	Características do resíduo
Classe I – Perigosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentar periculosidade / constar nos anexos A ou B;</li> <li>• Apresentar inflamabilidade;</li> <li>• Apresentar corrosividade;</li> <li>• Apresentar reatividade;</li> <li>• Apresentar toxicidade;</li> <li>• Apresentar patogenicidade.</li> </ul>
Classe II A – Não inertes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Constar no anexo H da norma;</li> <li>• Não estar contaminado por substâncias contidas nos anexos C, D ou E da norma;</li> <li>• Apresentar biodegradabilidade;</li> <li>• Apresentar combustibilidade;</li> <li>• Apresentar solubilidade em água;</li> <li>• Não ser classificado como classe I e II B.</li> </ul>
Classe II B – Inertes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Constar no anexo H da norma;</li> <li>• Não estar contaminado por substâncias contidas nos anexos C, D ou E da norma;</li> <li>• Não ter nenhum dos constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de ABNT (2004)

### 2.1.3 Legislação

A primeira Lei a abordar a destinação final adequada dos resíduos no Brasil foi a Lei federal 2.312 criada em 03 de setembro de 1954. Cerca de 27 anos mais tarde, em 1981, foi instituída a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), que apontou a necessidade do controle da poluição por lançamento de matéria em desacordo com os padrões ambientais e da recuperação das áreas degradadas (BRASIL, 1954, 1981).

No ano de 1986, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) ressaltou as diretrizes da PNMA ao reconhecer os aterros de resíduos sólidos como causadores de impactos ambientais, sendo necessário estudo e relatório de impacto ambiental para o licenciamento da atividade (BRASIL, 1986).

Em 1997, o CONAMA vinculou o tratamento e destinação final dos resíduos às atividades sujeitas ao licenciamento ambiental devido ao seu potencial poluidor e, em 1988, o lançamento de resíduos sólidos em desacordo com a legislação se tornou crime ambiental (BRASIL, 1997, 1998).

No âmbito estadual, PERS de Santa Catarina existe desde o ano de 2005 e define diretrizes e normas de prevenção

da poluição, proteção e recuperação da qualidade do meio ambiente e da saúde pública, de forma a assegurar o uso adequado dos recursos ambientais (SANTA CATARINA, 2005).

Porém, foi no ano de 2010 que a PNRS foi instituída. A lei estabeleceu quatro anos de prazo para que os municípios fizessem a disposição final adequada dos rejeitos e determinou a obrigatoriedade da elaboração dos planos de resíduos sólidos, os quais deveriam identificar os passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos (lixões), incluindo áreas contaminadas, e apresentar as respectivas medidas saneadoras, promovendo assim a eliminação e remediação dos lixões (BRASIL, 2010).

Destacam-se ainda as resoluções CONAMA 275, de 25 de abril de 2001, que estabelece as cores para os diferentes tipos de resíduos a serem adotadas na coleta seletiva. A resolução CONAMA 316, de 29 de outubro de 2002, dispõe sobre o tratamento térmico de RSU e a resolução CONAMA 404, de 11 de novembro de 2008, que estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de RSU (BRASIL, 2001, 2002, 2008).

As normas técnicas relacionadas à RSU são:

- NBR 8419:1992: apresentação de projetos de aterros sanitários de RSU. (ABNT, 1992);
- NBR 13591:1996: termos empregados na compostagem de resíduos sólidos domiciliares. (ABNT, 1996);
- NBR 13896:1997: projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos. (ABNT, 1997);
- NBR 9191:2002: ensaio para sacos plásticos destinados exclusivamente ao acondicionamento de lixo para coleta. (ABNT, 2002);
- NBR 11174:1990: armazenamento de resíduos classe II A e II B. (ABNT, 1990);
- NBR 10004:2004: Classificação de resíduos sólidos. (ABNT, 2004a);
- NBR 10005:2004: obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classe I e II. (ABNT, 2004b);

- NBR 10006:2004: obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classe II A e II B. (ABNT, 2004c);
- NBR 10007:2004: amostragem de resíduos sólidos. (ABNT, 2004d);

## 2.2 ÁREAS DEGRADADAS POR DISPOSIÇÃO INADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (LIXÕES)

### 2.2.1 Definições

O Aterro sanitário é o método de disposição final de resíduos sólidos considerado adequado, construído de acordo com a NBR 8419 e que conta com controles ambientais como: impermeabilização de base e laterais, coleta e tratamento de gases e lixiviados, cobertura diária dos resíduos, drenagem de águas superficiais, cobertura final e monitoramento ambiental (ABNT, 1992; FEAM, 2010).

Por outro lado, os lixões são áreas onde os RSU são dispostos diretamente ao solo sem os devidos controles ambientais. Seus principais impactos são a degradação da qualidade do solo, ar, água superficial e subterrânea, proliferação de vetores de doenças e atração de pessoas com vulnerabilidade social que passam a “catar o lixo” como meio de sobrevivência (CASTILHOS JUNIOR et al., 2013; MONTEIRO et al., 2001).

Para UNEP (2005) o lixão é um aterro não planejado, sem as características de um aterro sanitário, sem controle do lixiviado, sem controle de acesso, sem cobertura, sem gestão, e com muitos catadores. Os lixões podem causar impacto na qualidade das águas superficiais e subterrâneas ameaçando seriamente a saúde da população que depende desta água.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) também reconhece os lixões como vazadouros a céu aberto, pois são locais utilizados para dispor o lixo sobre o solo, sem qualquer controle ambiental (IBGE, 2008).

Mesmo que a PNRS e PERS de Santa Catarina não se refiram explicitamente ao termo lixão, elas abordam o assunto como áreas degradadas em razão de disposição inadequada de resíduos sólidos, que devem ser recuperadas (BRASIL, 2010; SANTA CATARINA, 2005).

O aterro controlado é um método de confinamento de lixões que embora conte com sistema de drenagem de águas superficiais, não leva em consideração a impermeabilização da base do aterro e nem o sistema de coleta e tratamento de gases e lixiviados, comprometendo a qualidade do solo e das águas subterrâneas. Por isto, caso a área a ser confinada não atenda critérios específicos este método é considerado inadequado (ABNT, 1985; FEAM, 2010).

### **2.2.2 Dados Mundiais, Brasil e Estado de Santa Catarina**

Ao contrário da União Europeia, que possui seus aterros sanitários bem estruturados, nos países em desenvolvimento da África, América Latina e Ásia ainda prevalecem os lixões, indicando a baixa prioridade na gestão de resíduos destas economias (WILLIAMS, 2005).

Os lixões a céu aberto são comuns em países em desenvolvimento em função do baixo orçamento destinado à gestão dos resíduos sólidos, e representam uma grave ameaça para a água subterrânea e o solo, sobretudo pela contaminação por metais pesados, que podem causar efeitos adversos à saúde da população, animais e afetar a qualidade do solo, alterando sua química, afetando os micro-organismos ali existentes, retardando o crescimento das plantas e privando seu vigor (ALI et al., 2014).

Dados coletados em 87 países (Tabela 1), acerca da composição dos resíduos revelam que do total anual gerado pelos países em desenvolvimento, 54 a 64% são resíduos orgânicos. Até o ano de 2012, foram destinados aos lixões cerca de 50 a 100 milhões de toneladas de resíduos por ano em todo o mundo, predominantemente nos países em desenvolvimento. Isto representa algo em torno de 13 a 33% do total gerado. Muitos destes países não possuem dados representativos e muitas vezes nenhuma informação referente à disposição final de seus RSU, fazendo com que as estimativas sejam precárias. (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012).



Tabela 1: Composição dos resíduos em diferentes países, por nível de renda

Nível de renda	ESTIMATIVAS ATUAIS					
	Orgânico (%)	Papel (%)	Plástico (%)	Vidro (%)	Metal (%)	Outros (%)
Baixa renda	64	5	8	3	3	17
Baixa média renda	59	9	12	3	2	15
Alta média renda *	54	14	11	5	3	13
Alta renda	28	31	11	7	6	17

\* De acordo com o autor, o Brasil está classificado neste nível de renda

Fonte: Adaptado de Hoornweg; Bhada-Tata (2012)

O histórico do método de disposição final dos resíduos sólidos no Brasil pode ser consultado na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB). Na última PNSB, o IBGE (2008) informa que 50,8% dos municípios brasileiros destinavam seus RSU em lixões a céu aberto e 22,5% em aterros controlados, totalizando 73,3% destinando seus RSU em locais inadequados. Na Figura 1 também é possível perceber que desde a PNSB de 1989 até a de 2008 a destinação em lixões foi reduzida de 88,2% para 50,8%, a destinação em aterros controlados aumentou de 9,6% para 22,5% e que a destinação em aterros sanitários aumentou de 1,1% para 27,7%.

Figura 1: Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos Brasil - 1989/2008

Ano	Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos (%)		
	Vazadouro a céu aberto	Aterro controlado	Aterro sanitário
1989	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	50,8	22,5	27,7

Fonte: IBGE (2008)

Em 2016, o Brasil gerou cerca de 78,3 milhões de toneladas de RSU. A geração per capita teve uma queda de 3% entre 2015 e 2016, mas se manteve na faixa de 1 kg/hab/dia. Neste mesmo período, o sistema de coleta apresentou índice negativo de -2,5% para a coleta de RSU per capita. Das cinco

macrorregiões do país, três delas possuem mais de 50% de seus municípios com iniciativas de coleta seletiva, incluindo a macrorregião Sul, a qual Santa Catarina está localizada (ABRELPE, 2017).

A Tabela 2 apresenta a quantidade de municípios brasileiros que destinam seus RSU em locais adequados (aterro sanitário) e inadequados (aterro controlado e lixão). Estes dados foram obtidos e interpretados do panorama dos resíduos sólidos de 2013, 2015 e 2017. Neste período, 28% dos municípios destinaram seus RSU em lixões, 32% em aterros controlados e 40% em aterros sanitários, ou seja, 60% dos municípios brasileiros destinaram seus resíduos em locais inadequados. Observa-se ainda um retrocesso ocorrido em 2016 em relação ao ano anterior, com o aumento do número de municípios que destinam seus RSU em lixões (ABRELPE, 2013, 2015, 2017).

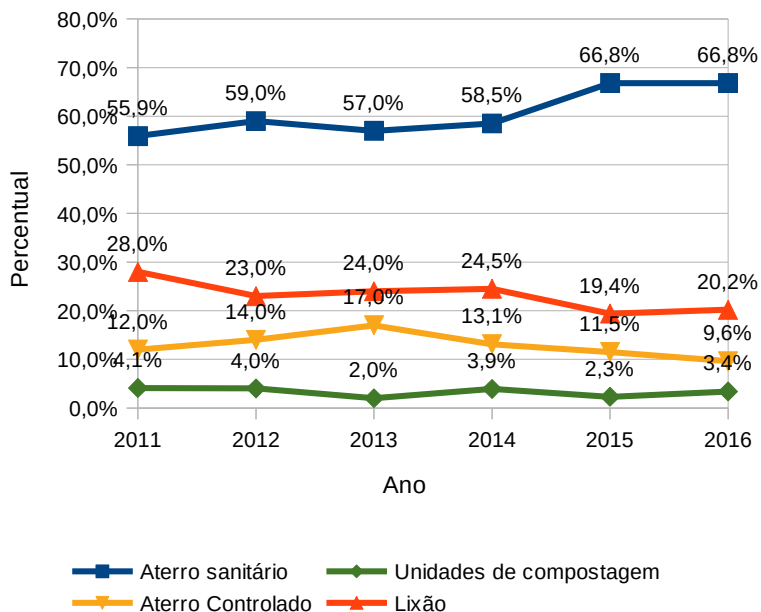
Tabela 2: Destinação Final de RSU no Brasil

	Destino final	Ano					
		2011	2012	2013	2014	2015	2016
Número de municípios	Aterro sanitário	2.194	2.213	2.226	2.236	2.244	2.239
	Aterro Controlado	1.764	1.773	1.775	1.775	1.774	1.772
	Lixão	1.607	1.579	1.569	1.559	1.552	1.559
	Total de municípios	5.565	5.565	5.570	5.570	5.570	5.570
% de municípios	Aterro sanitário	39%	40%	40%	40%	40%	40%
	Aterro Controlado	32%	32%	32%	32%	32%	32%
	Lixão	29%	28%	28%	28%	28%	28%

Fonte: Adaptado de (ABRELPE, 2013, 2015, 2017)

Já os dados de 2011 a 2016 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), demonstram que a destinação final em aterros controlados aumentou de 12% em 2011 para 17% em 2013, quando começou a reduzir gradativamente para 8% até 2016. A destinação final em lixões reduziu de 28% em 2011 para 23% em 2012, aumentou para 24,5% em 2014, reduziu para 19,4% em 2015 e voltou a aumentar para 20,2% em 2016, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Destinação final dos RSU no Brasil em relação à massa de resíduos coletada



Fonte: (SNIS, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016)

Portanto, analisado os dados do SNIS e do panorama dos resíduos sólidos, é possível afirmar que no período de 2011 a 2016 a destinação adequada variou entre 39% a 70,2% enquanto a destinação inadequada variou entre 29,8% a 61%, sendo que desta, os lixões representaram entre 19,4% e 29% (ABRELPE, 2013, 2015, 2017; SNIS, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016).

Na PNSB de 2008, o Estado de Santa Catarina se destacou entre os estados do sul ao registrar que apenas 2,7% de seus RSU eram destinados à lixões e que os 87,2% restantes eram destinados a aterros sanitários (IBGE, 2008).

Em 2001, 174 municípios do estado destinavam seus RSU em locais inadequados, 79 estavam se adequando e 40 destinavam seus resíduos em locais adequados. Em 2010, o estado gerou aproximadamente 1.545.270 toneladas de RSU. A estimativa para 2030 é de uma geração de 2.376.577 toneladas. No ano de 2012, 21 municípios do estado

destinaram seus RSU em aterros irregulares e 03 municípios fizeram disposição final inadequada SDS (2012).

Entretanto, como pode ser observado na Tabela 3, a destinação final de RSU em Santa Catarina está aumentando desde a criação da PNRS, sugerindo um aumento na geração dos mesmos. O principal item a se destacar é o destino final em locais inadequados. Mesmo com os percentuais de RSU destinados a lixões tendo diminuído de 11,4% para 11,1% entre 2011 e 2014, isto não significa redução na quantidade, pois neste mesmo período a quantidade de RSU destinada aos lixões do estado aumentou de 463 t/dia para 517 t/dia, bem como a quantidade destinada a aterros controlados, que aumentou de 682 t/dia para 793 t/dia. No total, 28,1% da destinação final dos RSU no estado ainda são em locais inadequados. Não foi possível constatar os números referentes aos anos de 2015 e 2016, pois o panorama de 2016 não contemplou as informações por estado.

Tabela 3: Destinação Final de RSU em Santa Catarina

	Destino final	Ano			
		2011	2012	2013	2014
t / dia	Aterro sanitário	2.909 t/dia	3.122 t/dia	3.259 t/dia	3.325 t/dia
	Aterro Controlado	682 t/dia	734 t/dia	773 t/dia	793 t/dia
	Lixão	463 t/dia	500 t/dia	514 t/dia	517 t/dia
%	Aterro sanitário	71,8%	71,6%	71,7%	71,9%
	Aterro Controlado	16,8%	16,9%	17%	17%
	Lixão	11,4%	11,5%	11,3%	11,1%

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2013, 2015)

### **2.2.3 Avaliação de impactos ambientais em áreas degradadas por disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos**

A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) no Brasil é um instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), previsto no Art.9º da Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981. Em meados de 1986 o CONAMA estabeleceu a resolução 001/86

para o uso e implementação da AIA como um dos instrumentos da PNMA. Nesta resolução, considera-se impacto ambiental

“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.  
(BRASIL, 1986)”.

Portanto, o sentido de AIA possui ampla abrangência, sendo necessária uma equipe multidisciplinar para a realização de estudos detalhados de cada item constante na definição brasileira de impacto ambiental, os quais envolvem desde simples diagnósticos à coleta, análise e interpretação de dados complexos. É necessário considerar também que impactos ambientais são efeitos, em alguns casos, difíceis de mensurar, que podem se estender além dos limites de controle, como por exemplo, a poluição atmosférica e o aumento do efeito estufa decorrente dos lixões.

A operação de aterros sanitários, por exemplo, depende da elaboração da AIA, por meio de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), previstos no artigo 2º da resolução CONAMA 001/86 (BRASIL, 1986).

Há ainda que se observar que Sánchez (2008, p.96) vincula a AIA ao processo de licenciamento ambiental quando o objeto da avaliação for uma proposta, mas no caso do presente trabalho, o objeto em questão é um passivo ambiental existente (lixões), não sendo necessário portanto a elaboração de EIA/RIMA, mas sim, de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), até porque remediação dos lixões está autorizada na PNRS.

Neste caso, pode-se abordar AIA como instrumento capaz de auxiliar o diagnóstico de lixões, por meio da

classificação de determinados parâmetros. Partindo do artigo 6º da resolução CONAMA 001/86, pode-se listar como sendo necessários na avaliação de impactos ambientais os seguintes parâmetros:

- I. Diagnóstico ambiental da área de influência do projeto, completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, considerando:
  - a) O meio físico: o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas.
  - b) O meio biológico e os ecossistemas naturais: a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente;
  - c) O meio socioeconômico: o uso e ocupação do solo, os usos da água e a socioeconomia, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos.
- II. Identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médios e longos prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais;
- III. Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, entre elas os equipamentos de controle e sistemas de tratamento de despejos, avaliando a eficiência de cada uma delas;
- IV. Elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento.

As normas técnicas ABNT NBR 15515-1 e 15515-2 podem ser consideradas ferramentas importantes para AIA em áreas degradadas por disposição inadequada de RSU, possibilitando fazer a avaliação preliminar e investigação confirmatória de passivo ambiental em solo e água subterrânea por meio de coleta de dados, estudos sobre histórico da área e meio físico, inspeções na área, amostragens, análises químicas, interpretação dos resultados e elaboração de relatórios (ABNT, 2007, 2011).

Existem diversos métodos para avaliação de impactos ambientais que possibilitam a identificação, predição, interpretação, comunicação e monitoramento da atividade, incluindo a caracterização dos impactos quanto a relevância e magnitude. A escolha da metodologia depende de cada caso, todavia, podem ser aplicadas na AIA de áreas degradadas por disposição inadequada de RSU as seguintes metodologias (ABNT, 2001; BRAGA et al., 2005; GOMES et al., 2015; SÁNCHEZ, 2008):

- Método Ad Hoc: método qualitativo, prático e rápido na identificação de impactos, alternativas de remediação e viabilidade de implementação, principalmente quando as informações são escassas, porém é vulnerável quanto a subjetividade e escolha dos participantes, pois conta com a experiência prática dos mesmos;
- Método das listagens de controle: é a evolução do método ad hoc, possibilitando qualificar, quantificar e hierarquizar os impactos, por meio de listagens descritivas, listagens comparativas, listagens de questionários, e listagens ponderais;
- Método das redes de interação: Mesmo reconhecendo que é difícil medir os impactos causados por determinado fator, e com a limitação de abranger apenas os impactos adversos, o autor relata que este método possibilita a identificação da cadeia de causa-condição-efeito dos impactos, facilitando o entendimento da magnitude, e de como controlá-los ou minimizá-los;
- Método das matrizes de interação: é a evolução do método de listagens de controle, onde é possível relacionar em linhas e colunas a atividade, aspectos, impactos ambientais e seus respectivos valores, que podem ser positivos ou

negativos, e através do cruzamento das informações, pode-se quantificar os impactos benéficos e adversos de cada item e fixar suas medidas mitigadoras. Este método é conhecido pela Matriz de Leopold. A fixação dos valores neste método também está sujeita à subjetividade devido ao grande número de possibilidades que proporciona, pode passar ao usuário ideias que não correspondem à realidade;

- Método dos modelos de simulação: são modelos com o objetivo de simular o mais próximo possível a realidade, relacionando os fatores físicos, biológicos e socioeconômicos. Os modelos matemáticos buscam descrever determinado fenômeno através de equações; os modelos analógicos servem para representar a realidade em escala reduzida; e os modelos conceituais para descrever qualitativamente os componentes e as relações de um sistema. É um método versátil, porém que possui restrições como os demais, como por exemplo, dificuldade encontrar dados necessários para a precisão e representatividade do desenvolvimento e de calibração do modelo;
- O método de Battelle: Permite transformar valores em escalas arbitrária de impacto, porém é dificultoso pela necessidade de longas e custosas investigações diretas;
- A análise por critérios múltiplos: é um conjunto de instrumentos que visam auxiliar a tomada de decisão em função da insuficiência da análise econômica e da pesquisa operacional. Possui caráter “pouco formal e muitas vezes primário na hierarquização e avaliação de impactos”;
- Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): É uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto; a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas e; a interpretação dos resultados. A técnica conta com as seguintes fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto, interpretação. Porém, possui limitações quanto a natureza das escolhas e suposições



feitas na ACV, dos modelos usados, da aplicabilidade e/ou precisão dos resultados, entre outros.

De fato, não há receitas para fazer AIA. Metodologias deverão ser criadas, aplicadas, ou adaptadas, para cada situação, havendo a necessidade de estabelecer um mecanismo de organização quando as avaliações dos impactos depende de múltiplos critérios. Como exemplo, podem ser citados os métodos de agregação, onde a combinação de atributos, a ponderação de atributos e a análise de critérios múltiplos, permitem hierarquizar os impactos ambientais (ex.: impacto significativo, impacto de pouca importância). (SÁNCHEZ, 2008)

"Ponderar atributos é arbitrar entre diferentes alternativas de dar peso a cada um dos atributos selecionados e, em seguida, combiná-los segundo uma função matemática predeterminada" (SÁNCHEZ, 2008, p.299).

## **2.2.4 Principais métodos utilizados na área de resíduos sólidos urbanos**

### **2.2.4.1 Métodos de uso geral na área de resíduos sólidos**

De acordo com Coelho (2018), desde a década de 60 se faz uso de metodologias como FAD para a avaliação de aspectos ambientais, econômicos e sociais na área de resíduos sólidos. Os primeiros trabalhos tinham como objetivo registrar os itinerários, as estações de transbordo e de tratamento dos RSU. A partir da década de 80, os métodos passaram a abordar todo o gerenciamento dos RSU. O Quadro 2 apresenta as principais metodologias de uso geral na área de resíduos sólidos.

Quadro 2: Principais métodos de uso geral na área de resíduos sólidos.

<b>Método</b>	<b>Aspectos considerados</b>
Análise de Custo Benefício (ACB)	Econômicos
Análise de Fluxo de Materiais (AFM)	Ambientais
Avaliação de Impactos Ambientais (AIA)	Ambientais
Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)	Ambientais
System Dynamics (SD)	Ambientais, econômicos e sociais
Tomada de Decisão Multicritério (TDM)	Ambientais, econômicos e sociais

Fonte: Adaptado de (COELHO, 2018; SIMONETTO; LÖBLER, 2013)

A ACB tem sido amplamente utilizada para avaliar a viabilidade econômica de vários projetos ou programas relacionados a resíduos e energia, através da comparação sistemática e analítica de custos e benefícios, porém é considerada limitada se não utilizada em conjunto com outros métodos. A ACB possui cinco etapas: 1) escopo, política e objetivos do projeto; 2) análise dos impactos financeiros e ambientais do projeto; 3) valorização monetária dos impactos; 4) fluxos de custo e benefício e 5) análise de sensibilidade (DOBRAJA; BARISA; ROSA, 2016; YOU et al., 2016).

O uso combinado entre ACB e ACV por exemplo, permite comparar o desempenho econômico e ambiental de diferentes opções técnicas de gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos, onde é possível avaliar cenários, de forma a compreender qual deles representa menor custos líquido e maior economia em decorrência da recuperação energética (LAM et al., 2018).

O método AFM é amplamente utilizado para medir o desempenho dos sistemas de gestão de resíduos e avaliar os fluxos e os estoques de materiais em comparação com um conjunto de indicadores. O método proporciona, por exemplo, qualificar e quantificar o destino final dos RSU, incluindo os lixões, fazer um balanço de massa e propor cenários visando a redução do acúmulo de resíduos, sua reciclagem e recuperação energética, assim como a eliminação dos lixões de RSU (MAKARICHI; TECHATO; JUTIDAMRONGPHAN, 2018).

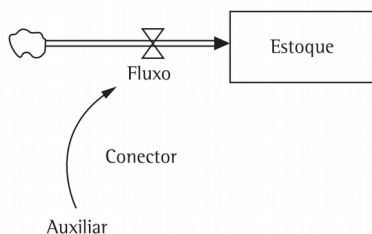
A técnica de AICV é a terceira fase de ACV e tem como objetivo avaliar o inventário do ciclo de vida por meio de

indicadores de categorias que representam os impactos ambientais em potencial. Assim como na ACV, possui limitações, geralmente quanto a informações espaciais e temporais de valores limites e de dose resposta, bem como na escolha de valores em função da disponibilidade de informações ou do conhecimento científico disponível (ABNT, 2004e).

O SD surgiu na década de 50, entretanto destacou-se na área ambiental na década de 70, após sua aplicação por Meadows et al. (1972), para estimar a capacidade do planeta de suportar a exploração dos recursos ambientais e a poluição no ritmo ascendente de industrialização. Os resultados demonstraram que o planeta atingiria sua capacidade suporte nos próximos cem anos e que se nada fosse feito, a sociedade enfrentaria um colapso.

O SD permite criar modelos de simulação de cenários futuros com os quatro componentes ilustrados na Figura 3: estoques, fluxos, auxiliares e conectores. Os estoques são repositórios, do tipo variável, onde informações são armazenadas e compartilhadas com outros elementos do sistema (ex.: quantidade de RSU gerada em determinado tempo), fornecendo um panorama do sistema em qualquer instante do tempo. Os fluxos também são variáveis e sua finalidade é alterar as informações dos estoques, permitindo a elaboração de equações. Os auxiliares são utilizados para modelar as informações e não dependem do tempo. Os conectores são vetores que representam as inter-relações dos elementos do sistema. Na área de resíduos sólidos permite avaliar e analisar cenários acerca da geração e disposição final dos RSU (SIMONETTO; LÖBLER, 2013).

Figura 3: Elementos de um modelo de SD.



Fonte: (SIMONETTO; LÖBLER, 2013)

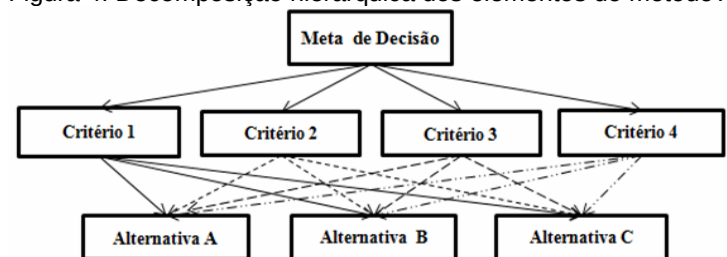
Os modelos de TDM são utilizados no apoio à decisão para a avaliação de alternativas que possuam diversos critérios a serem aplicados simultaneamente. São divididos em dois grupos: modelos de Tomada de Decisão Multiatributo (TDMA) e modelos de Tomada de Decisão Multiobjetivo (TDMO). Os modelos TDMA envolve decisão de um número limitado e pré-determinado de alternativas, através de comparações entre alternativas e atributo ou quanto a seu desempenho global. Já o modelo TDMO envolve múltiplos objetivos, e uso de técnicas de otimização, geralmente obtendo-se múltiplas respostas como resultado (COELHO, 2018).

De acordo com Lima et al. (2014), dos modelos TDM mais utilizados destacam-se os de TDMA, *Analytic Hierarchy Process (AHP)* e o *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE II)*.

O AHP, criado na década de 1980 e aprimorado ao longo dos anos, tem como fundamento a decomposição, comparação e síntese de critérios, obtendo-se a priorização de seus indicadores (SAATY, 1991).

A decomposição é aplicada para construir uma hierarquia com elementos em níveis sucessivos, a partir do objetivo/meta no topo, para critérios que atendem ao objetivo no segundo nível, para subcritérios no terceiro nível, etc., até as alternativas específicas no nível inferior, conforme ilustrado na Figura 4 (SAATY, 1991).

Figura 4: Decomposição hierárquica dos elementos do método AHP.



Fonte: (MARCHEZETTI; KAVISKI; BRAGA, 2011)

O PROMETHEE II é um método sobre classificação de apoio à decisão que subsidia a realização e a comparação de

várias alternativas de decisão, a partir de critérios classificatórios, no intuito de contribuir para a escolha das melhores alternativas dentre aquelas consideradas. Vários autores têm utilizado este método para a análise tecnológica de alternativas pós-tratamento de reatores anaeróbios, para estabelecimento de indicadores de sustentabilidade na decisão multicritério para priorização de projetos de saneamento (LIMA et al., 2014).

#### 2.2.4.2 Métodos específicos para a remediação de lixões

Os principais métodos para remediação de lixões são: o método presuntivo para remediação de aterros da força aérea norte-americana (BOYER et al., 1999), o guia técnico francês reabilitação de aterros (ADEME, 2005), o manual de reabilitação de lixões indiano (JOSEPH et al., 2008), o caderno técnico brasileiro para remediação de áreas degradadas por RSU (FEAM, 2010) e a ferramenta para diagnóstico ambiental de lixões (RAMOS et al., 2017).

O método presuntivo de remediação é um conjunto de medidas para a remediação dos aterros da força aérea norte-americana, os quais possuem características similares às de um lixão municipal no Brasil. O principal cenário de remediação que o método presuntivo usa é o confinamento dos resíduos após a escavação e tratamento das áreas mais contaminadas (*hotspots*) e a coleta e tratamento dos gases, água contaminada e lixiviados. Para isto, estabelece uma série de fluxogramas para a escolha dos estudos a serem realizados na área e das técnicas remediações (BOYER et al., 1999).

No guia técnico para a reabilitação de aterros desenvolvido por ADEME (2005), o diagnóstico do lixão é feito em 4 etapas: 1) estudo da documentação e do histórico da área; 2) visita ao lixão; 3) Análise de risco e 4) escolha do cenário de remediação. Na terceira etapa é possível classificar os lixões em três categorias de risco: categoria A (risco alto a médio), categoria B (risco médio a baixo) e categoria C (risco baixo a nulo).

Na categoria A, o risco é considerado significativo e demanda a aplicação do diagnóstico simplificado, o qual possivelmente apontará a necessidade de realização de um diagnóstico aprofundado, a fim de determinar o cenário mais

adequado de reabilitação. Existem três possíveis cenários: o primeiro é o confinamento usando materiais de cobertura finos de baixa permeabilidade, o segundo cenário é o confinamento com cobertura artificial de bentonita geossintética e o terceiro é uma variante dos dois primeiros, porém os resíduos não são confinados, mas sim retirados do lixão. Na categoria B, o aterro não requer investigação complementar, mas apenas um programa de remediação. Na categoria C, o aterro necessita apenas de pequenos trabalhos de melhoria, incluindo no impacto visual (ADEME, 2005).

O manual de reabilitação de lixões indiano estabelece critérios para avaliação de perigos baseados no índice de risco numa escala de 0-1000. São cinco os potenciais de riscos: 1. Muito Alto (750-1000); 2. Alto (600-749); 3. Moderado (450-599); 4. Baixo (300-449); 5. Muito baixo (<300). Essa classificação norteia o processo decisório, nela o risco muito alto aponta a necessidade de encerrar imediatamente as atividades do lixão e tomar medidas para mitigar os impactos. O risco muito alto determina o encerramento imediato do lixão e a mitigação dos impactos. O risco alto recomenda o encerramento imediato das atividades do lixão, porém a remediação é opcional. O risco moderado sugere a conversão imediata do lixão em aterro sanitário. O risco baixo preconiza que o lixão seja convertido em aterro sanitário gradualmente. Por fim, o risco muito baixo indica que o lixão tem potencial para ser um futuro aterro (JOSEPH et al., 2008).

O caderno técnico para remediação de áreas degradadas por RSU propõe cinco cenários de remediação: 1) remoção dos resíduos: remoção dos resíduos para um aterro sanitário; 2) remediação simples: encapsulamento ou confinamento dos resíduos por uma camada mínima de 50 cm de argila de baixa permeabilidade; 3) remediação parcial: a área sofre reconformação topográfica, os resíduos recebem uma cobertura vegetal com gramíneas, e um sistema de coleta e controle de água subterrânea, gases e lixiviados é implantado; 4) adequação provisória como aterro controlado: alternativa temporária para municípios com população inferior a 20.000 habitantes, que aguardam o licenciamento da área para conversão em aterro sanitário; 5) conversão em aterro sanitário: quando a área em que o lixão está localizado atende aos

requisitos da ABNT NBR 13896/1997, possibilitando a operação de um aterro sanitário por um período superior a 15 anos (FEAM, 2010).

A ferramenta para diagnóstico de lixões foi desenvolvida no Laboratório de LARESO da UFSC, Brasil. Trata-se de uma FAD para auxiliar o estabelecimento das prioridades de remediação entre os lixões de um mesmo município / região. A FAD fornece uma pontuação e um nível de impacto a cada lixão diagnosticado, listando-os por ordem decrescente de pontuação (RAMOS et al., 2017).

#### **2.2.4.2.1 Cenários e técnicas para remediação de lixões**

Remediação é um termo utilizado para determinar um conjunto de técnicas usado na remoção ou contenção de contaminantes em áreas degradadas, visando sua reabilitação para posterior uso. Trata-se uma série de alternativas e tecnologias que devem ser determinadas com investigação e estudo de viabilidade prévio, visando a relação custo-benefício (SÁNCHEZ, 2008; USEPA, 1985).

A síntese dos cenários e técnicas de remediação constante nos trabalhos de Bosmans et al. (2013); Boyer et al. (1999); FEAM (2010); Joseph et al. (2008); Ramos (2016); USEPA (1997), deu origem ao Quadro 9 do APÊNDICE D, onde percebe-se que existem três cenários principais de remediação, em ordem crescente de complexidade de implementação: 1) confinamento dos resíduos; 2) conversão em aterro sanitário e 3) retirada dos resíduos. Cada cenário possui um número variável de técnicas de remediação, que por sua vez possuem também um número variável de critérios de escolha. Ao todo são dezesseis técnicas de remediação e trinta e quatro critérios de escolha.

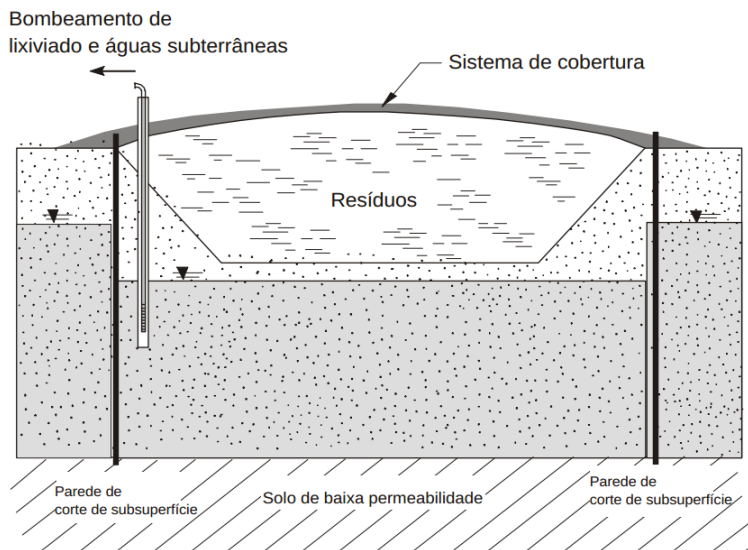
##### **2.2.4.2.1.1 Confinamento dos resíduos**

O confinamento dos resíduos é um método ou cenário utilizado como parte da remediação e de lixões antigos, ilustrado na Figura 5. Existe uma série de razões para seu uso, como controlar a percolação, as emissões de gases e odores e o escoamento superficial da água; minimizar a erosão; evitar a exposição direta dos resíduos; evitar a ocorrência de vetores da

doença, entre outras. Na Suécia e em muitos países da União Europeia (UE), os lixões antigos são na maioria das vezes confinados e monitorados. As técnicas convencionais de confinamento são: melhoria da cobertura existente; cobertura de barreira única e cobertura de barreira dupla (barreiras hidráulicas); e cobertura com evapotranspiração (BOYER et al., 1999; BURLAKOV et al., 2017; USEPA, 2004).

A melhoria da cobertura existente é uma técnica de confinamento indicada para lixões antigos onde a infiltração da água de superfície ou da água subterrânea foi abundante, tornando a lixiviação dos resíduos restantes relativamente baixa. Recomenda-se também esta técnica em regiões de clima árido para o controle da erosão, em regiões de mais evapotranspiração do que chuvas, em lixões com resíduos estabilizados, em lixões com resíduos de construção, ou como cobertura provisória em lixões não estabilizados (BOYER et al., 1999).

Figura 5: Exemplo de confinamento de lixões antigos



Fonte: USEPA (2004)



De acordo com U.S EPA (1997), os resíduos sólidos aterrados passam por cinco estágios de degradação. No primeiro estágio ocorre a hidrólise por degradação aeróbia, gerando  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . No segundo, terceiro e quarto estágios a produção de lixiviado e gás metano chega ao máximo. Nestes estágios ocorrem três processos anaeróbios: 1) hidrólise e fermentação anaeróbia, 2) acetogênese e 3) metanogênese, gerando  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ . No quinto estágio o processo aeróbio se restabelece, havendo apenas a geração de  $\text{CO}_2$ .

Para Maheshi; Steven; Karel (2015); SCS ENGINEERS (1997), este último estágio acontece a partir de trinta anos até cem anos, e nele a produção de lixiviado e  $\text{CH}_4$  é relativamente baixa, portanto, um lixão pode ser considerado como antigo a partir de trinta anos de idade.

A cobertura de barreira hidráulica única é uma técnica feita com argilas ou membranas de baixa permeabilidade, e pode ter camada de drenagem e vegetação. Este tipo de cobertura é adotada quando o controle da infiltração não é a principal meta, quando o volume de contaminantes é pequeno, quando a região é de baixa precipitação anual ou quando as águas subterrâneas não são usadas para consumo humano. A cobertura de barreira hidráulica dupla, é feita com membrana flexível sobre argila compactada onde há necessidade de redução máxima de infiltração. Possui obrigatoriamente as camadas de drenagem, vegetação e se necessário, uma camada para controle de gás (BOYER et al., 1999).

A cobertura com evapotranspiração é uma técnica que foi desenvolvida para que uma camada de solo armazene a água pluvial, até que ela seja evaporada naturalmente ou seja transpirada pela vegetação, evitando assim a percolação. O uso desta técnica é indicado em locais onde o material disponível para ser usado como cobertura são de grão fino e alta capacidade de armazenamento de água, como os sedimentos e sedimentos argilosos. Também é indicada e em locais onde a estabilidade do declive deve ser garantida (BOYER et al., 1999; USEPA, 2011).

Também podem ser utilizadas as técnicas de paredes ou barreiras de contenção previstas no Quadro 3, bombeamento das águas subterrâneas e lixiviado para tratamento e a coleta e

tratamento dos gases (com ou sem recuperação energética). Caso a produção de gases seja significativa, pode-se instalar um sistema de captação e conversão do gás em energia para fornecimento direto à vizinhança, como os sistemas tradicionais citados no cenário “Retirada de resíduos” (JOSEPH et al., 2008; USEPA, 2011).

Quadro 3: Tecnologias de controle de águas subterrâneas, coleta e tratamento de lixiviados em lixões

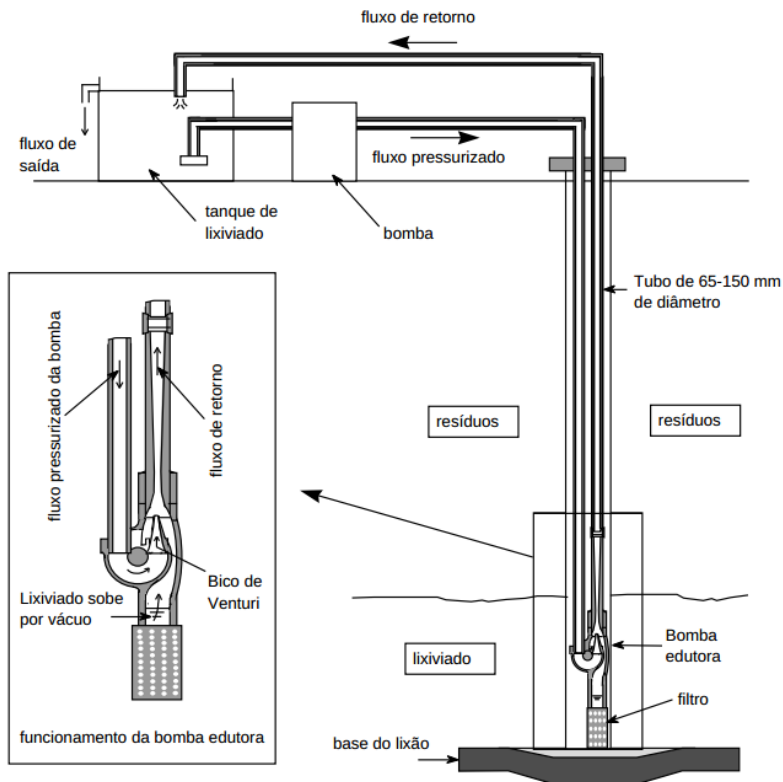
Tecnologia	Indicação de uso
Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento (ex.: Paredes de depósito de ferro).	Quando há risco de contaminação das águas subterrâneas no perímetro do lixão.
Tratamento físico, químico e biológico no local ( <i>on-site</i> ).	
Tratamento fora do local ( <i>off-site</i> ) utilizando estações de tratamento públicas ou privada.	Quando há risco de contaminação das águas subterrâneas no perímetro do lixão, e as águas subterrâneas extraídas para tratamento necessitam atingir padrões de despejo normatizados.
Barreira do tipo trincheira perimetral impermeabilizável em combinação com poços de extração e cobertura da superfície.	Quando o lixiviado do aterro pode atingir fluxo lateral de águas subterrâneas, e há necessidade de reduzir a quantidade de água em contato com o conteúdo do aterro sanitário
Tratamento degradante (ex.: Parede de depósitos de ferro)	Quando o lixiviado do aterro pode atingir fluxo lateral de águas subterrâneas, e há necessidade de controlar a migração de contaminantes.
Coleta do lixiviado através de drenagem subterrânea e poços de extração verticais.	A Coleta e tratamento de lixiviados nem sempre são possíveis, porque os lixões normalmente não possuem impermeabilização inferior, porém, se for possível, deverá ser feito quando existem contaminantes no lixiviado.
	A drenagem subterrânea pode ser feita através de trincheiras preenchidas com cascalho ou tubo perfurado no perímetro do aterro. Os principais parâmetros a serem analisados são: 1) Precipitação e

Tecnologia	Indicação de uso
	<p>evapotranspiração; 2) Espessura, profundidade e tipos de resíduos; 3) Níveis de lixiviação, umidade, decomposição, compostos orgânicos, metais, DBO, DQO, pH, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, fósforo, nitrogênio e o óleos e a graxas; 4) Elevação da camada natural do solo subjacente; 5) Classe de aquífero, níveis de água, taxas de fluxo e química.</p> <p>Exemplo de tipos de tratamento <i>on-site</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Físico: adsorção, remoção com ar, sedimentação e filtração com areia;</li> <li>• Químico: precipitação de metais, ajuste de pH;</li> <li>• Biológico: uso de micro-organismos aeróbicos ou anaeróbios.</li> </ul> <p>Pode ser feito em estações de tratamento públicas quando o tratamento for <i>off-site</i></p>

Fonte: Adaptado de (BOYER et al., 1999)

O tratamento do lixiviado pode ser feito no local (*on-site*) ou fora do local (*off-site*) como descrito no Quadro 3. O tratamento no local é mais viável economicamente para lixões de grande porte e o tipo de tratamento depende da natureza do lixiviado e de disponibilidade de área, porém no caso do confinamento dos resíduos, é indicado fazer a coleta dos lixiviados através do sistema de bombeamento pressurizado, ilustrado na Figura 6 (USEPA, 1997).

Figura 6: Sistema edutor de coleta de lixiviado



Fonte: USEPA (1997)

Para a coleta e tratamento de gases recomenda-se o uso do sistema ativo de coleta de gases ou da técnica de ventilação passiva de gás. O sistema ativo de coleta de gases é recomendado quando há odor excessivo, risco de inalação, explosão, ou riscos associados ao uso do solo com acesso público. Esta técnica inclui poços de extração de gás, drenos de coleta de gás e sopradores de vácuo ou compressores. O

tratamento geralmente envolve queimadores (*flares*) para conversão do CH<sub>4</sub> em CO<sub>2</sub> ou sistemas de recuperação do CH<sub>4</sub> para seu uso direto ou conversão em energia. A técnica de ventilação passiva de gás é utilizada quando as emissões locais representam risco para saúde humana, quando a cobertura pode acumular gás no interior do aterro, ou quando os resíduos têm alto teor orgânico, podendo produzir gás (BOYER et al., 1999).

Em ecologia, *hotspots* são áreas com alta prioridade de conservação que contém pelo menos 1500 espécies de plantas vasculares endêmicas e perderam no mínimo 70% da vegetação primária. Existem no mundo cerca de 36 áreas consideradas *hotspots*, que embora representem 2,4% da superfície do planeta, suportam metade das espécies de plantas do mundo e quase 43% das espécies de pássaros, mamíferos, répteis e anfíbios, incluindo espécies endêmicas (CONSERVATION INTERNATIONAL, 2019; DELLASALA et al., 2018; KOBAYASHI; OKADA; MORI, 2019).

Entretanto, em se tratando de lixões, o termo *hotspots* significa locais do lixão altamente contaminados, que podem ser reduzidos substancialmente através de escavações e/ou tratamento focados. Eles devem ser tratado como um site único dentro do lixão, antes de seu confinamento, e sua identificação pode ser feita através de pesquisas geofísicas e/ou de solo e gás, perfuração de solo ou escavação de poços para confirmar a extensão do *hotspot*, e coleta de amostras de solo para determinar suas características (BOYER et al., 1999).

A escavação é necessária em duas situações: 1) quando deseja-se fazer o tratamento ou disposição final de resíduos que representam ameaça ou que estão em contato com água; 2) quando o tratamento não é praticável, ou para realocar os resíduos do *hotspot* para a periferia do lixão de forma a minimizar a concentração de resíduos e o volume de cobertura. Geralmente, neste último caso não há necessidade de tratamento dos resíduos consolidados no local (BOYER et al., 1999).

O tratamento dos resíduos do *hotspot* pode ser térmico (ex.: incineração no local), físico (ex.: solidificação ou fixação) ou inovadora (ex.: extração de vapor de solo, biorremediação

no local, mineração). Ele deve ser feito quando há evidências de *hotspot*; quando os resíduos no *hotspot* representam algum tipo de ameaça (ex.: tóxico, móvel, volátil, contaminante); quando o *hotspot* está em local acessível; quando a área do *hotspot* for grande o suficiente para que sua remoção e o tratamento reduza os riscos no lixão; ou quando o *hotspot* for pequeno e a escavação e tratamento for considerada razoável. É considerado pequeno o *hotspot* com cerca de 16.000 m<sup>2</sup>, 4,5 m pés de profundidade ou 8.000 m<sup>2</sup>, 9 m de profundidade (BOYER et al., 1999).

Dos métodos de tratamento físico que podem ser utilizados em lixões de RSU destaca-se a solidificação/estabilização por vitrificação, por destruir ou remover orgânicos e imobilizar a maioria dos inorgânicos em solos contaminados, lodo ou outros materiais de barro. O processo foi testado em uma ampla gama de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), Compostos Orgânicos Semivoláteis (COSVs), outros orgânicos, incluindo dioxinas e PCB, bem como a maioria dos metais e radionuclídeos poluentes prioritários (USEPA, 1994) .

Entre os tratamentos inovadores, a extração de vapor de solo é feita no local e é aplicável quando se deseja remover COVs e alguns combustíveis. Os COVs devem possuir uma constante de lei de Henry maior que 0,01 ou uma pressão de vapor superior a 0,5 mm Hg (0,02 polegadas Hg). A técnica não remove óleos, metais, PCB ou dioxinas, no entanto, ele geralmente promove a biodegradação de compostos orgânicos de baixa volatilidade que podem estar presentes (USEPA, 1994).

#### 2.2.4.2.1.2 Conversão em aterro sanitário

As principais técnicas deste cenário são: 1) instalação de aterro sanitário, 2) remoção direta dos resíduos do lixão, e 3) remoção dos resíduos do lixão por mineração.

A instalação de aterro sanitário é possível quando a área do lixão atende aos requisitos da ABNT NBR 13896/1997

(critérios para aterros de resíduos não perigosos), NBR 8419/1992 (projetos de aterros sanitários) e NBR 15849/2010 (aterros de pequeno porte), e a área disponível possibilite o uso do aterro por um período superior a quinze anos.

Este método pode ser adotado quando os municípios têm problemas em obter área para instalação de aterro sanitário, quando a área do lixão não tenha restrições de legislação, restrições ambientais ou sociais, quando o projeto permita a remoção do lixão para o aterro sanitário e favoreça o monitoramento e controle ambiental da área do lixão (FEAM, 2010).

Neste caso, além do método tradicional de construção de aterro sanitário, que conta com todas as técnicas necessárias para o controle e tratamento dos passivos, pode-se ter como estratégia, a priorização do licenciamento e construção do sistema de tratamento de lixiviado e biogás do aterro sanitário, para tratar os efluentes do lixão.

É importante ressaltar que na composição gravimétrica dos RSU do Brasil, a fração orgânica corresponde a mais de 50%, portanto, para que se aumente a vida útil dos aterros sanitários e se diminua a geração de lixiviado e biogás, é importante manter um programa de coleta seletiva eficiente e o encaminhamento dos resíduos orgânicos para tratamento específico, geralmente biológico (BRASIL, 2011).

Entre os tipos de tratamentos biológicos da fração orgânica dos RSU destacam-se o tratamento anaeróbio com biodigestores e o tratamento aeróbio através da compostagem e reatores biológicos.

O tratamento anaeróbio é realizado por bactérias anaeróbias fermentativas, acetogênicas e metanogênicas e ocorre em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Na hidrólise os compostos orgânicos complexos são “dissolvidos” em moléculas mais simples, ou seja, proteínas, carboidratos e lipídios. Na acidogênese ocorre a metabolização dos elementos solúveis da hidrólise, obtendo-se ácidos orgânicos de cadeia curta, álcoois, hidrogênio e dióxido de carbono. Na acetogênese ocorre a metabolização do etanol, compostos aromáticos, propionato, butirato, etc, em acetato, H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. Na metanogênese as bactérias do grupo Archaea geram

o metano a partir de ácido acético, hidrogênio, dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Portanto esta opção de tratamento é indicada, quando o objetivo é a produção de gás metano para sua recuperação energética (MALINOWSKY, 2016).

A compostagem é um processo de decomposição da fração orgânica dos resíduos, efetuada por microrganismos aeróbios, o qual ocorre em duas etapas: 1) degradação ativa, por meio de bactérias termofílicas e 2) maturação através de bactérias mesofílicas. O tempo e qualidade do composto final depende da relação carbono / nitrogênio (C/N) entre os resíduos a serem compostados, umidade, temperatura e aeração dos resíduos. Normalmente o processo dura entre 90 a 120 dias, dependendo das condições do tempo (para o caso de compostagem monitorada, ao ar livre) (ABNT, 1996; FERNANDES; SILVA, 1999; SENAR, 2009).

De acordo com Fernandes; Silva (1999) entre os sistemas de compostagem, destacam-se os o sistema abertos de leiras revolvidas (*windrow*), leiras estáticas aeradas (*static pile*) e os sistemas fechados de reatores biológicos de fluxo contínuo horizontal, vertical e em bateladas (*In-vessel*), os quais possuem as seguintes características:

- Sistema de leiras revolvidas (*windrow*): a aeração é fornecida pelo revolvimento dos resíduos e pela convecção e difusão do ar na massa de resíduos, ou pela insuflação de ar na leira;
- Sistema de leiras estáticas (*static pile*): a massa de resíduos é disposta sobre dutos perfurados que injetam ar nela, não havendo revolvimento da leira. Geralmente, nos sistemas abertos os parâmetros umidade e temperatura não são controlados, mas apenas monitorados e as chuvas sobre as leiras causa geração desnecessária de lixiviado, que pode contaminar as águas subterrâneas, caso o sistema não disponha de impermeabilização, drenagem e tratamento para lixiviados.
- Sistema de reatores biológicos (*In-vessel*): os resíduos são dispostos em unidades fechadas que possibilitam controlar os parâmetros durante processo e em teoria não tem contato com a água pluvial, portanto não há



geração significativa de lixiviado. As principais vantagens dos reatores são: requerimento de área menor em comparação com o sistema de leiras, independência das condições do tempo, otimização do processo em decorrência do controle dos parâmetros, entretanto, são sistemas que demandam maior investimento inicial.

A remoção direta ou por mineração do lixão para o aterro sanitário depende do volume e idade do lixão. Em função dos custos envolvidos no processo, a remoção direta é mais indicada para lixões com pequenos volumes. Para lixões com grandes volumes e com mais de quinze anos, onde a fração orgânica dos resíduos já se degradou, transformando-se em solo, a remoção por mineração é recomendada (FEAM, 2010; JOSEPH et al., 2008).

Caso utilizada a técnica de remoção por mineração, o solo obtido no processo pode ser utilizado como material de cobertura no próprio aterro sanitário (dependendo de suas características), e a fração combustível dos resíduos podem gerar energia. Além disto, o uso combinado destas técnicas pode reduzir em até 90% do volume dos resíduos do lixão a serem depositados no aterro sanitário (se utilizada a incineração), aumentando a vida útil do futuro aterro (BOSMANS et al., 2013).

#### 2.2.4.2.1.3 Retirada dos resíduos

O cenário de retirada dos resíduos pode ser implementado de duas formas: utilizando a técnica de remoção direta para um aterro sanitário ou a técnica de remoção por mineração.

Na remoção direta, os resíduos devem ser encaminhados para um aterro sanitário que tenha capacidade superior à do lixão, o que inclui a escavação, transporte, disposição final, e reabilitação da área do lixão. A técnica é viável apenas quando a quantidade de resíduos a ser removida for pequena, pois é um processo de alto custo e complexidade operacional (FEAM, 2010).

A remoção por mineração é um conjunto de ferramentas tecnológicas que vem sendo aprimorada desde a década de cinquenta e tem como foco principal a remediação e reabilitação de lixões, redução da poluição, bem como a recuperação dos resíduos e gases como recursos (BURLAKOV et al., 2017).

As operações básicas da mineração em lixões de RSU são a escavação, o transporte e a segregação das frações dos resíduos. Na escavação geralmente utiliza-se retroescavadeiras, o transporte pode ser feito usando caminhões basculantes ou reboques puxados por trator. A segregação consiste em uma tela de trommel, para separar a fração de solo e compostos grossos. Em seguida, a fração grosseira passa por um eletroímã para separar a fração ferrosa. O restante da fração grosseira (sem a fração ferrosa), é encaminhada para um classificador de densidade para separar as partículas mais densas, como metais, madeira, vidro, borracha e plástico volumétrico sólido, daquelas com baixas densidades, como filmes plásticos, têxteis, couro e papel (DUBEY; CHAKRABARTI; PANDIT, 2016).

A segregação cria três categorias básicas: 1) materiais de tamanho grande ( $\varnothing > 50$  mm); 2) resíduos de tamanho intermediário ( $\varnothing 18 - 50$  mm); 3) solo ( $\varnothing < 18$  mm). Os materiais de tamanho grande (metal, vidro e plásticos mais densos), geralmente não são combustíveis, sendo parte reciclável, parte não reciclável e inerte, este último pode ser utilizado no próprio reaterro da área. Os resíduos de tamanho intermediário são combustíveis (papel, têxteis, borracha, madeira e alguns tipos de plásticos) e representam entre 15 - 20%. O solo pode ser vendido ou utilizado como material de cobertura ao final da mineração. A taxa de recuperação dos resíduos varia entre 50 a 90% do volume total do lixão, e a fração de solo entre 50 a 60%, podendo variar entre 20 a 80% conforme o lixão, por isto sugere-se o uso da técnica para lixões com mais de quinze anos de idade (JOSEPH et al., 2008).

Habitualmente, é possível reduzir 70% do volume do lixão. O processo de escavação pode causar impactos adversos ao meio ambiente e a saúde da população, como poluição do ar, da água subterrânea, odores, ruídos, tráfego intenso de veículos e os problemas de saúde associados a estes impactos,

por isto, os controles ambientais devem estar previstos no custo da mineração. A capacidade de operação típica é entre 50 a 150 ton/h (JOSEPH et al., 2008).

Análises das frações orgânicas mais finas (<4 mm) no solos de lixões, demonstram que a concentração de metais e potencial de lixiviação é muito baixo, inferiores aos estabelecidos pela United States Environmental Protection Agency (USEPA), podendo ser utilizados para diversas finalidades (MASI et al., 2014).

Entre os métodos tradicionais de tratamento térmico da fração combustível dos resíduos destacam-se a incineração, a pirólise, gaseificação e gaseificação combinada de pirolise.

A incineração é o processo onde a oxidação dos resíduos que ocorre com quantidade suficiente de ar a 850 °C. É uma opção viável de recuperação energética de RSU e conversão em energia elétrica através de turbinas. Esta técnica reduz cerca de 90% do volume dos resíduos, porém é a que tem o maior impacto ambiental, por exemplo, as cinzas volantes geradas no processo exigem imobilização para torná-la ambientalmente segura para a eliminação de aterros sanitários (BOSMANS et al., 2013; GABBAR; ABOUGHALY; AYOUB, 2017; ZAMAN, 2010).

A pirólise é a degradação térmica dos resíduos na ausência de ar para produzir gás, e ocorre entre 400-1000 °C. é viável para alguns tipos de resíduos como por exemplo, pneus e resíduos eletrônicos, porém não oferece uma alternativa completa à incineração de RSU, além de exigir pré-tratamento e pós-tratamento de resíduos, pondo em risco a viabilidade da recuperação energética em lixões de RSU (BOSMANS et al., 2013; ZAMAN, 2010).

A gaseificação ocorre em uma quantidade controlada de oxigênio, em temperaturas mais elevadas que a pirólise, entre 1000-1400 °C. É a tecnologia que possui o menor custo de implementação e maior receita por tonelada, além de possuir diversas vantagens em relação à combustão tradicional. Requer apenas uma fração da quantidade de oxigênio para a combustão, gera menos dioxinas, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, portanto, o equipamento de tratamento dos gases são menos onerosos, tem melhor captação e adsorção/absorção de partículas, gera

menos resíduos, e produz um gás combustível que pode ser integrado com turbinas de ciclo combinado (BOSMANS et al., 2013; GABBAR; ABOUGHALY; AYOUB, 2017; ZAMAN, 2010).

Escavações feitas na Suécia em lixões com idade entre 17-25 anos demonstram que embora não tenha sido detectado produção substancial de biogás, era possível produzi-lo imediatamente após escavar, misturar e reaterrar as massas de resíduos. Também constatou-se que as frações escavadas possuíam poder calorífero suficiente para viabilizar a recuperação de energia através da incineração, e as frações com alto teor orgânico podiam gerar biogás através de digestores anaeróbios (HOGLAND; MARQUES; NIMMERMARK, 2004).

Uma pesquisa feita na China em um aterro com mais de 25 anos de idade e com volume estimado em 551.000 ton, revelou que o aterro era composto por 75,02% de solo; 14,69% de resíduos combustíveis como plástico, madeira, têxteis e papel; 8,26% de rocha; 2,3% de vidros, metais e outros dos quais 4.900 ton necessitavam ser reaterrados. A pesquisa levou em conta a recuperação do solo como material de cobertura do próprio aterro, das rochas para material de construção, dos metais e vidros para a reciclagem e o tratamento térmico dos resíduos combustíveis através da incineração e plasma gaseificação e pirólise, com o objetivo de geração de energia elétrica. O custo total de mineração que variava entre 2,94 e 11,5 USD/ton até o ano de 2009, aumentou para 12,7 USD/ton em 2015. Neste caso, o benefício (lucro líquido) da mineração do aterro poderia variar entre 1,92 a 16,63 milhões de dólares (ZHOU et al., 2015).

A etapa final da retirada dos resíduos é a cobertura e revegetação da área, que podem usar as mesmas técnicas convencionais de confinamento recomendadas para o cenário “Confinamento dos resíduos”.

## 2.3 MODELAGEM DE SOFTWARE

A *Unified Modeling Language* (UML) é a linguagem internacional de modelagem de *software*, orientada a objetos. Ela um componente importante na implantação de um *software* e tem quatro objetivos: 1) visualizar o sistema; 2) estabelecer a estrutura e comportamento do sistema; 3) guiar a construção do sistema; 4) documentar as decisões tomadas. Em resumo, o modelo é a simplificação da realidade (BOOCH; RUMBAUGH; JACOBSON, 2005).

O termo “orientado a objetos” tem como origem a “analogia biológica” formulada por Alan Kay, onde um *software* funciona como um ser vivo, e cada célula (objeto) deste ser, interage com outra por meio do envio de mensagens, para atingir um objetivo comum. Desta forma: a) qualquer coisa pode ser um objeto; b) os objetos se comunicam entre si; c) cada objeto pertence à determinada classe, que agrupa objetos semelhantes; d) a classe é o local onde o se estabelece os comportamentos do objeto; e) as classes são hierarquizadas (BEZERRA, 2007).

A modelagem UML de um sistema inicia com o levantamento e análise de requisitos, pois nesta etapa compreende-se “o que” o sistema deve fazer, e determina-se quais as necessidades reais do sistema de informação. O levantamento dos requisitos pode ser feito, por exemplo, por meio de entrevistas com os envolvidos, seguida da elaboração de protótipos (interface gráfica, telas) para entender o funcionamento, validar ou refinar o modelo (BEZERRA, 2007; GUEDES, 2011).

A UML está em sua segunda versão e oferece treze tipos de diagramas, divididos em diagramas de estrutura e diagramas de comportamento. Este último, ainda é subdividido nos diagramas de interação, conforme ilustrado no Quadro 4. Cada diagrama atende determinado objetivo, e podem ser utilizados em conjunto. Embora haja esta variedade de opções, pode ocorrer de nenhuma delas atender um propósito específico, o que não impede o uso de diagramas não feitos por UML (FOWLER, 2005; GUEDES, 2011).

Quadro 4: Tipos de diagramas da UML

Divisão	Diagrama	Objetivo
Estrutural	Classes	Classe, características, relacionamentos
	Componentes	Estrutura e conexão de componentes
	Estruturas compostas	Decomposição de uma classe em tempo de execução
	Implantação	
	Pacote	Estrutura hierárquica em tempo de compilação
	Objetos	Exemplos de configurações de instâncias
	Atividades	Comportamento procedimental e paralelo
Comportamental	Caso de uso	Interação dos usuários com o sistema
	Máquina de estados	Como os eventos alteram um objeto no decorrer de sua vida
	Comunicação	Interação entre objetos. Ênfase nas ligações
	Interação Sequência	Interação entre objetos. Ênfase nas sequências
	Temporização	
	Visão geral de interação	Mistura de diagrama de sequência e de atividades

Fonte: adaptado de Fowler (2005); Guedes (2011)

Os diagramas de classe são os mais utilizados, e um dos mais importantes na modelagem UML, pois estabelecem a base estrutural do sistema, e possibilitam compreender como as classes ou objetos se associam ou se relacionam. É recomendado o uso deste tipo de diagrama, no momento do levantamento e análise de requisitos, para se produzir um modelo conceitual, o qual é composto apenas pelas classes, suas associações e seus atributos. O modelo conceitual não inclui os métodos, que são as funções ou operações realizadas pelo *software* (GUEDES, 2011)

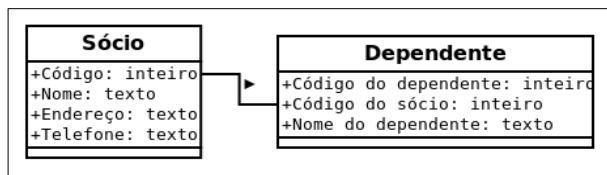
Na UML, uma classe é representada por um retângulo, que pode ter até três divisões (Figura 7). A primeira divisão contém o nome da classe, a segunda, armazena seus atributos,

a terceira, seus métodos. As associações entre as classes são representadas por uma linha que as liga. Existem diversos tipos de associações, o mais comum é a associação binária, usada para relacionar objetos entre duas classes (GUEDES, 2011)

No exemplo da Figura 7, existem duas classes, “sócio” e “dependente”, cada uma armazena seus atributos (objetos). Por exemplo, a classe “dependente”, possui três atributos: 1)código do dependente; 2)código do sócio (elo de associação com a classe Sócio); 3)nome do dependente. Cada atributo armazena um tipo de informação. No atributo “nome do dependente”, são armazenados dados do tipo texto (ex.: João da Silva).

É possível perceber também como as classes se relacionam e qual a estrutura hierárquica. O atributo “código” da classe “sócio”, relaciona-se com o atributo “código do sócio” da classe “dependente”. A seta de navegabilidade da linha de associação das classes, indica o sentido que as informações são transmitidas, ou seja, um sócio pode existir sem dependentes, mas um dependente não pode existir sem um sócio. Desta forma no sistema de hierarquias, a classe “sócio” é a classe mestre, enquanto a classe “dependente” é uma classe detalhe da classe “sócio”.

Figura 7: Exemplo de diagrama de classe de associação binária UML

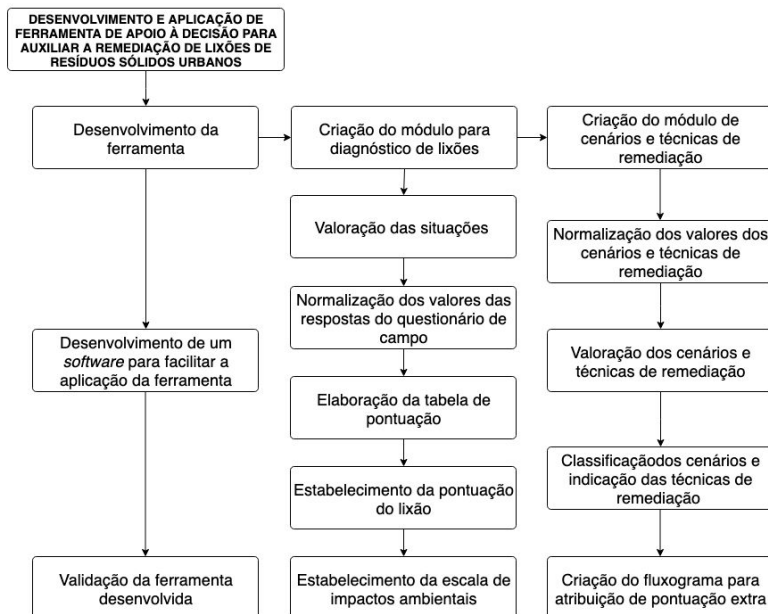


Fonte: Adaptado de Guedes (2011)

### 3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada na elaboração deste trabalho seguiu as etapas do fluxograma ilustrado na Figura 8.

Figura 8: Estrutura da metodologia utilizada na elaboração do trabalho



Fonte: Próprio autor

#### 3.1 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA

A ferramenta foi elaborada em duas etapas: 1) criação do módulo para diagnóstico de lixões e 2) criação do módulo para classificação dos cenários e indicação das técnicas de remediação.

##### 3.1.1 Criação do módulo para diagnóstico de lixões

O módulo de diagnóstico foi construído baseado no questionário de campo constante no ANEXO A, proposto



inicialmente por Ramos (2016) e Ramos et al. (2017) para diagnosticar lixões. Este questionário necessitava de um mecanismo para estabelecer as prioridades de remediação entre os lixões de determinado município ou região.

O questionário de campo do ANEXO A é dividido em duas partes. Na primeira, é feita a identificação de quatro situações possíveis de ocorrer na área. Na segunda parte existem diversas perguntas com diferentes opções de resposta e separadas por seis categorias. Por isso, foi estabelecido um sistema de pontuação utilizando como referências a ponderação de atributos sugerida por Sánchez (2008).

A criação do módulo de diagnóstico de lixões seguiu as seguintes etapas:

- 1) Valoração das situações possíveis de ocorrer em um lixão;
- 2) Normalização dos valores das respostas do questionário de campo para tornar o peso das perguntas equivalentes;
- 3) Compilação de uma tabela de pontuação, contendo o valor de cada resposta para cada pergunta do questionário;
- 4) Estabelecimento da pontuação do lixão em função da soma dos valores das situações e a soma dos valores das respostas;
- 5) Estabelecimento de uma escala de impactos ambientais para atribuir nível de impacto de acordo com a pontuação obtida.

A escala de impactos ambientais foi baseada nos critérios do índice de risco proposto por Joseph et al. (2008) e diagnóstico simplificado estabelecido pela ADEME (2005), verificados na Tabela 4 e Quadro 5, com adaptação para a realidade brasileira.

Tabela 4: Critérios de índice e risco de lixões indianos

Índice de risco	Potencial de risco	Ações recomendadas
750-1000	Muito alto	Encerrar as atividades e remediar o lixão
600-749	Alto	Encerrar as atividades no lixão. A remediação é opcional
450-599	Moderado	Converter o lixão em aterro sustentável imediatamente
300-449	Baixo	Converter o lixão em aterro sustentável em etapas
< 300	Muito baixo	Área potencial para futuro aterro

Fonte: Joseph et al. (2008)

Quadro 5: Diagnóstico simplificado de lixões franceses

Categoria	Impacto	Ações recomendadas
A	Forte à médio	Realizar diagnóstico aprofundado a fim de determinar o cenário de reabilitação: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Confinamento com argila;</li> <li>• Confinamento com manta geossintética;</li> <li>• Retirada dos resíduos.</li> </ul>
B	Médio à baixo	Elaborar e executar um programa de remediação
C	Baixo à nulo	Pequenos trabalhos de melhoria, incluindo o impacto visual

### 3.1.2 Criação do módulo de cenários de remediação

Nesta etapa criou-se um mecanismo para classificar os cenários e indicar as técnicas de remediação identificados na pesquisa bibliográfica, sem considerar custos.

Utilizou-se como referência os cenários indicados por Ademe (2005); Feam (2010); Ramos (2016), e as técnicas de remediação apontadas por Bosmans et al.(2013), Boyer et al. (1999), Burlakovs et al. (2017), Dubey; Chakrabarti; Pandit, (2016), Gabbar; Aboughaly; Ayoub (2017), U.S EPA (1997, 2004, 2011) e Zaman (2010).

Após a análise dos cenários e técnicas aplicáveis à realidade brasileira, constatou-se que cada um dos cenários possuía um número variado técnicas de remediação e estas possuíam um número diversificado de critérios de escolha.

Logo, o sistema de pontuação deste módulo seguiu a seguinte lógica: o número de critérios escolhidos no questionário de campo definem o número de técnicas de remediação e estas classificam os cenários de remediação, ou seja, quanto maior o número de critérios escolhidos para determinada técnica, maior será a pontuação da técnica e quanto maior o número de técnicas escolhidas em um cenário, maior será o valor deste cenário.

Entretanto, existem questões específicas e qualitativas que podem viabilizar ou inviabilizar a implementação de um cenário de remediação como, por exemplo, restrições legais, características climáticas, geológicas, pedológicas, entre outras. Por isso, também foi criado um fluxograma para atribuição de pontuação extra em função destes critérios qualitativos.

A criação do módulo de cenários e técnicas de remediação seguiu as seguintes etapas:

- 1) Normalização dos valores dos cenários e técnicas de remediação;
- 2) Valoração dos cenários e técnicas de remediação;
- 3) Compilação de uma tabela de pontuação contendo os valores dos cenários e técnicas de remediação;
- 4) Classificação dos cenários e indicação das técnicas de remediação conforme as pontuações obtidas;
- 5) Criação do fluxograma para atribuição de pontuação extra

### 3.2 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

No desenvolvimento do *software* utilizou-se a linguagem de programação C++ com o ambiente de desenvolvimento integrado *Qt Creator*, e sistema de gerenciamento de banco de dados *SQLite*, pois são multiplataforma e de código fonte aberto, com documentação de fácil acesso e ampla comunidade de desenvolvedores. A base de dados do *software* foi estruturada através de diagramas de classe da UML. O *software* foi nomeado ReLix e encontra-se disponível no repositório do LARESO<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup><https://github.com/lareso/relix>

### 3.3 VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA DESENVOLVIDA

Devido ao fato do ReLix ter sido desenvolvido por módulo (dois módulos), sua aplicação aconteceu por etapas (duas etapas).

#### 3.3.1 Avaliação do módulo de diagnóstico de lixões

Nesta etapa avaliou-se o módulo de diagnóstico do ReLix, para tanto, o mesmo foi aplicado em cinco lixões de diferentes estados brasileiros (três em Santa Catarina, um no Rio Grande do Sul e um em São Paulo), cada qual tendo um avaliador.

A seleção destes lixões se deu em função da existência prévia de dados sobre as áreas e da disponibilidade de profissionais com experiência na área de resíduos sólidos para testar e validar o ReLix.

Na ocasião, os avaliadores receberam as seguintes instruções: ler o manual, instalar o *software*, cadastrar as informações dos lixões no *software*, preencher o questionário de avaliação do Quadro 6.

Quadro 6: Questionário utilizado na primeira etapa da validação do *software* ReLix

<b>Questionário de avaliação do <i>software</i> ReLix</b>
<p>1) O manual do usuário é de fácil entendimento, permitindo ao usuário aprender a utilizar o <i>software</i> sem necessidade de auxílio técnico?  <input type="checkbox"/> Sim  <input type="checkbox"/> Não            Sugestões:</p>
<p>2) A <i>interface</i> do <i>software</i> é amigável e de fácil utilização?  <input type="checkbox"/> Sim  <input type="checkbox"/> Não            Sugestões:</p>
<p>3) Com base na sua experiência, o diagnóstico feito pelo <i>software</i> é coerente com o seu diagnóstico?  <input type="checkbox"/> Sim  <input type="checkbox"/> Não            Sugestões:</p>
<p>4) Quantos lixões você diagnosticou com o <i>software</i>?            Resposta:</p>

5) O *software* auxiliou na decisão das prioridades de remediação dos lixões?

( ) Sim

( ) Não

Sugestões:

6) Você detectou alguma falha ou tem alguma sugestão para a melhoria do *software*?

Resposta:

Fonte: Próprio autor

### 3.3.2 Avaliação do módulo de cenários de remediação

Na segunda etapa, avaliou-se o módulo de cenários e técnicas de remediação. Nesta etapa, o ReLix foi aplicado em dois lixões brasileiros (um no estado do Rio de Janeiro e outro no estado de Santa Catarina) e quatro lixões do arquipélago de Cabo Verde, situado a cerca de 455 km da costa África Ocidental.

A validação do ReLix nesta etapa foi feita por meio de uma banca com quatro engenheiros especialistas, dois brasileiros e dois de Cabo Verde.

O primeiro especialista brasileiro é engenheiro, professor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e participou da remediação de um lixão do estado, por isso avaliou o ReLix neste lixão. O segundo especialista brasileiro é engenheiro de um aterro sanitário que fica próximo a um lixão do estado de Santa Catarina, portanto avaliou o ReLix em tal lixão.

Os dois especialistas de cabo verde avaliaram individualmente o ReLix nos quatro lixões do país. Um dos especialistas é engenheira da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANAS). Três lixões estavam em diferentes municípios da Ilha de Santiago e o quarto lixão estava localizado próximo ao mar, no município de São Filipe, Ilha do Fogo. Os quatro lixões diagnosticados através do ReLix foram selecionados com o apoio da ANAS.

Todos os especialistas receberam as seguintes instruções para a avaliação: ler o manual, instalar o *software*, cadastrar as informações dos lixões no *software*, preencher o questionário de avaliação do Quadro 7.

No entanto, o método de avaliação utilizado nesta etapa difere daquele utilizado na etapa anterior. Grande parte do questionário do Quadro 7 utiliza a escala Likert de cinco pontos

como metodologia, pois ela possibilita ao entrevistado manifestar sua resposta de forma mais fácil, rápida e precisa por possuir maior variedade de respostas quando comparada ao questionário tradicional, contendo apenas o sim e não como opções de resposta.

Por isso, durante a elaboração do questionário, seguiu-se as recomendações de Dalmoro e Vieira (2014) no sentido de padronizar o formato das respostas, buscando sempre um ponto neutro como opção da resposta número três; elaborar um número razoável de questões para não sobrecarregar o avaliador; e utilizar as âncoras verbais somente nas extremidades da escala para não poluir visualmente a mesma.

Quadro 7: Questionário utilizado na segunda etapa da avaliação do *software* ReLix

<b>Questionário de avaliação do <i>software</i> ReLix</b>
<p>1) Preencha a tabela abaixo, referente ao diagnóstico, cenário e técnicas de remediação feitos no caso real, para o lixão que você usou no ReLix. Caso tenha usado mais de um lixão, reproduzir a tabela para os outros lixões. Caso o lixão não tenha sido remediado, responder com base no seu entendimento sobre o lixão.</p>
<p>Nome do Lixão: Município / UF / País:</p> <p>a) Nível de impacto do lixão (pode ser estimado caso não tenha sido atribuído um no caso real):  <input type="checkbox"/> Reduzido  <input type="checkbox"/> Baixo  <input type="checkbox"/> Médio  <input type="checkbox"/> Alto</p> <p>b) Ordenar de 1 a 6 em quais categorias o lixão foi mais impactado, sendo 1=menos impactado e 6=mais impactado  <input type="checkbox"/> Caracterização do lixão  <input type="checkbox"/> Solo e águas subterrâneas  <input type="checkbox"/> Águas superficiais  <input type="checkbox"/> Meio social  <input type="checkbox"/> Meio natural e paisagens  <input type="checkbox"/> Meio atmosférico</p> <p>c) Cenário de remediação aplicado ao lixão, ou cenário que o especialista entende como adequado caso o lixão não tenha sido remediado:  <input type="checkbox"/> Confinamento dos resíduos</p>



5) O diagnóstico feito pelo <i>software</i> , corresponde ao diagnóstico do caso real?						
Não	1	2	3	4	5	Sim
6) O <i>software</i> é capaz de apoiar a decisão sobre as prioridades de remediação entre dois ou mais lixões?						
Não	1	2	3	4	5	Sim
7) Tendo em vista que o <i>software</i> classifica os cenários de remediação para determinado lixão em ordem decrescente de pontuação e que o cenário de maior pontuação é o mais indicado, a ordem dos cenários estabelecida pelo <i>software</i> está na sequência que você entende como adequada?						
Não	1	2	3	4	5	Sim
8) O cenário indicado pelo <i>software</i> equivale ao do cenário real ou ao cenário que você entende como adequado?						
Não	1	2	3	4	5	Sim
9) Quão próximo dos motivos reais estão os motivos fornecidos pelo <i>software</i> para a indicação do cenário (destacado em amarelo no rodapé da aba cenário)?						
Totalmente diferentes	1	2	3	4	5	Exatamente os mesmos
10) As técnicas de remediação indicadas pelo <i>software</i> são equivalentes as técnicas aplicadas no caso real ou as que você entende como adequadas para a remediação do lixão?						
Não	1	2	3	4	5	Sim

Fonte: Próprio autor



## 4 RESULTADOS

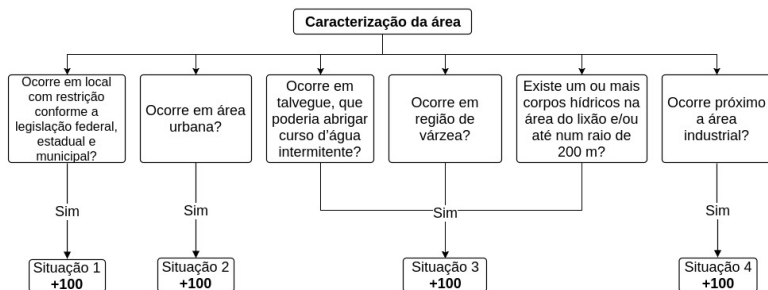
### 4.1 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA

#### 4.1.1 Criação do módulo de diagnóstico de lixões

##### 4.1.1.1 Valoração das situações

Na caracterização da área em que o lixão está inserido podem ser identificadas situações adversas referente a legislação, uso do solo, águas superficiais e subterrâneas, ou proximidade com a indústria. Estas situações influenciam diretamente o nível de impacto do lixão. Neste sentido, o termo situação observado na Figura 9 foi utilizado para representar três níveis de incremento na pontuação do lixão.

Figura 9: Sistema de pontuação de situações relevantes em um lixão



Fonte: Próprio autor

A situação 3 retrata a ocorrência de uma das três perguntas relativas a água, bastando uma delas ter resposta positiva para o incremento acontecer.

Sendo assim, as situações significam uma variação de 01 à 400 pontos na pontuação do lixão, em intervalos de cem pontos e seu valor é calculado conforme a equação (1). Caso nenhuma situação ocorra, o valor das situações é zero.

$$S = \sum_{s=1}^4 100 \quad (1)$$

Onde:

- S = valor das situações  
 s = 0 (nenhuma situação ocorreu)  
 s = 1 (ocorreu uma situação)  
 s = 2 (ocorreram duas situações)  
 s = 3 (ocorreram três situações)  
 s = 4 (ocorreram quatro situações)

#### 4.1.1.2 Normalização dos valores das respostas

Na segunda parte do questionário de campo do ANEXO A, existem perguntas divididas em seis categorias específicas:

- 1) Caracterização do lixão;
- 2) Solo e águas subterrâneas;
- 3) Águas superficiais;
- 4) Meio social;
- 5) Meio natural e paisagens;
- 6) Meio atmosférico.

Cada pergunta foi estruturada de maneira que a primeira resposta é a que possui menor impacto, portanto, menor valor, e a última resposta é a que possui maior impacto, portanto, maior valor. Como existe uma variação na quantidade de respostas de questão para questão, foi preciso normalizar os valores das respostas para tornar peso das questões equivalentes.

O número máximo de respostas para uma pergunta ( $n_{\max}$ ) no decorrer do questionário de campo é seis, logo a normalização dos valores é o quociente do número máximo de respostas pelo número de respostas da questão, representado pela equação (2).

$$N_q = \frac{6}{n_r} \quad (2)$$

Onde:

$N_q$  = normalização da questão

$n_r$  = número de respostas da questão

Portanto, todas as perguntas do questionário de campo podem ter valor mínimo igual a  $N_q$ , e valor máximo igual a seis.

#### 4.1.1.3 Valoração de todas as respostas

A partir do valor de normalização de cada pergunta, calculou-se o valor de cada resposta, utilizando a equação (3).

$$V_r = \sum_{r=1}^n N_q \quad (3)$$

Onde:

$V_r$  = valor da resposta

$N_q$  = normalização da questão

$r = 1$  (primeira resposta da questão)

$n$  = enésima resposta da questão

Por exemplo, a pergunta 1.1 do questionário de campo do ANEXO A tem quatro possibilidades de respostas (a, b, c, d), a questão 1.8 tem três (a, b, c), e a questão 1.10 possui seis (a, b, c, d, e, f).

Primeiramente, aplicou-se a equação (2) nas três perguntas, obtendo-se como valores de normalização:  $N_{q1.1}=1,5$ ;  $N_{q1.8}=2$  e  $N_{q1.10}=1$  respectivamente.

$$N_{q1.1} = \frac{6}{4} = 1,5 \quad N_{q1.8} = \frac{6}{3} = 2 \quad N_{q1.10} = \frac{6}{6} = 1$$

Em seguida, utilizou-se a equação (3) substituindo o valor de  $N_q$ , que representa o valor da primeira resposta da questão, e o valor de incremento quando houver a passagem de um índice para o outro no somatório. O valor do índice superior é  $n_r$ .

$$V_{r1.1} = \sum_{r=1}^4 1,5 \quad V_{r1.8} = \sum_{r=1}^3 2 \quad V_{r1.10} = \sum_{r=1}^6 1$$

Assim, em  $V_{r1.1}$ , a resposta **a** (primeira resposta) vale 1,5, a resposta **b** vale (1,5+1,5=3), a resposta **c** vale (1,5+1,5+1,5=4,5) e a resposta **d** (última resposta), vale  $n_{\max}$ . Na Tabela 5 é possível visualizar o resultado do cálculo para as três questões.

Tabela 5: Valores das respostas de três perguntas do questionário de campo do ANEXO A

Valor das respostas para a pergunta 1.1	Valor das respostas para a pergunta 1.8	Valor das respostas para a pergunta 1.10
a) 1,5	a) 2	a) 1
b) 3	b) 4	b) 2
c) 4,5	c) 6	c) 3
d) 6		d) 4
		e) 5
		f) 6

Fonte: Próprio autor

#### 4.1.1.4 Tabela de pontuação

A aplicação da equação (3) em todas as perguntas do questionário de campo com a finalidade de atribuir valores a todas as respostas, gerou a tabela de pontuação listada no APÊNDICE C, onde:

- $n_r$  é o número de respostas na questão;
- $n_{max}$  é uma constante, retratada pelo maior valor de  $N_r$  ao longo do questionário de campo, e seu valor é 6;
- $N_q$  retrata: 1) o valor mínimo que cada questão pode ter; 2) o valor da primeira resposta de cada questão e 3) o valor de incremento quando houver a passagem de um índice ( $r=1; r=2...r=n$ ) para o outro no somatório;
- A pontuação mínima em cada categoria, calculada por meio da equação (4), é o somatório do  $N_q$  de cada questão da categoria que não é de preenchimento obrigatório;

$$P_{min} = \sum_{q=1}^n N_q \quad (4)$$

Onde:

$P_{min}$  = pontuação mínima na categoria

$q$  = 1 (primeira questão da categoria)

$n$  = enésima questão da categoria

$N_q$  = normalização da questão

- A pontuação máxima em cada categoria é o produto da multiplicação entre  $n_{\max}$  e a quantidade de questões da categoria expressa pela equação (5);

$$P_{\max} = 6 * q_c \quad (5)$$

Onde:

$P_{\max}$  = pontuação máxima na categoria

$q_c$  = quantidade de questões da categoria

- Sempre que uma questão é acompanhada de uma letra (ex.: 1.5a) significa que a questão admite mais de uma resposta.
- As questões que possuem um asterisco vermelho significam que o preenchimento da mesma não é obrigatório, neste caso, a questão não preenchida não pontua.

#### 4.1.1.5 Pontuação do lixão

A pontuação do lixão é obtida somando o valor das situações com o somatório dos valores das respostas de todas as questões, conforme a equação (6).

O valor da resposta na questão é obtido na tabela de pontuação do APÊNDICE C, por exemplo, se na questão 1.8, a resposta escolhida foi a letra b, seu valor será 4.

$$PL = S + \sum_{q=1}^n v_r \quad (6)$$

Onde:

PL = pontuação do lixão

S = valor das situações

$v_r$  = valor da resposta na questão (APÊNDICE C)

q = 1 (primeira questão)

n = enésima questão

#### 4.1.1.6 Estabelecimento da escala de impactos

A escala de impactos foi proposta com base na pontuação mínima e máxima que um lixão pode obter. Neste sentido, a pontuação do lixão e seu nível de impacto são as

principais informações do diagnóstico, uma vez que através delas se estabelece as prioridades de remediação entre dois ou mais lixões.

Cada situação identificada no lixão totaliza cem pontos (Figura 9). O valor das situações pode variar de 0 (nenhuma situação ocorreu) a 400 pontos (ocorreram quatro situações).

Já o valor mínimo e máximo possíveis nas respostas das questões do formulário de campo é obtido somando todos os valores de  $P_{\min}$  e  $P_{\max}$  da tabela de pontuação do APÊNDICE C. Este somatório consta no final da tabela, na última linha das respectivas colunas, onde  $\Sigma P_{\min} = 125$  pontos, e  $\Sigma P_{\max} = 432$  pontos.

Embora os valores de  $P_{\min}$  e  $P_{\max}$  ocorressem no formato decimal, para adequar o resultado da pontuação do lixão (PL) à escala de impactos proposta na Tabela 7, que está em formato inteiro, os resultados de  $\Sigma P_{\min}$  e  $\Sigma P_{\max}$  foram arredondados para o inteiro mais próximo.

Sendo assim, a pontuação mínima possível em um lixão foi calculada somando o valor mínimo das situações com o somatório de  $P_{\min}$ , dada pela equação (7), e usando o mesmo princípio, calculou-se a pontuação máxima ( $PL_{\max}$ ) com a equação (8).

$$PL_{\min} = S_{\min} + \sum_{c=1}^6 P_{\min} = 0 + 125 = 125 \quad (7)$$

Onde:

$PL_{\min}$  = Pontuação mínima de um lixão

$S_{\min}$  = Valor mínimo das situações

$\Sigma P_{\min}$  = Somatório das pontuações mínimas (coluna  $P_{\min}$  da tabela de pontuações do APÊNDICE C)

$c = 1$  (categoria 1)

$$PL_{\max} = S_{\max} + \sum_{c=1}^6 P_{\max} = 400 + 432 = 832 \quad (8)$$

Onde:

$PL_{\max}$  = Pontuação máximo de um lixão

$S_{\max}$  = Valor máximo das situações

$\Sigma P_{\max}$  = Somatório das pontuações máximas (coluna  $P_{\max}$  da tabela de pontuações do APÊNDICE C)

$c = 1$  (categoria 1)

Utilizou-se a faixa de valores de  $PL_{\min}$  e  $PL_{\max}$  como escala de numérica. Subtraindo estes dois valores obteve-se o intervalo de 707 pontos.

Para compor a escala de impactos, foram propostos quatro níveis de impactos (reduzido, baixo, médio e alto), baseados na Tabela 4 e no Quadro 5.

Porém, antes de estabelecer a relação entre nível de impacto e escala numérica foi necessário definir os valores a serem utilizados como intervalo da escala. Para tanto, dos 707 pontos, adotou-se o intervalo de 5% para o impacto reduzido, 15% entre o impacto reduzido e o impacto baixo, 30% entre o impacto baixo e o impacto médio, e 50% entre o impacto médio e o impacto alto, como pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6: Definição dos intervalos da escala numérica

<b>Alíquota dos 707 pontos</b>	<b>Alíquota calculada</b>	<b>Valores a serem utilizados como intervalo da escala numérica</b>
Até 5%	$707 * 5\% = 35,35$	$125 + 35,35 = 160^*$
Entre 5 a 20% (20-5=15%)	$707 * 20\% = 141,4$	$125 + 121,4 = 266^*$
Entre 20 a 50% (50-20=30%)	$707 * 50\% = 353,5$	$125 + 303,5 = 479^*$
Entre 50 a 100% (100-50=50%)	$707 * 100\% = 707$	$125 + 607 = 832$

\* valor arredondado

Fonte: Próprio autor

Os níveis de impacto foram propostos aplicando os valores da Tabela 6 entre  $PL_{\min}$  e  $PL_{\max}$ , dando origem a Tabela 7. Nela é possível perceber que a medida em que o nível de impacto aumenta, a diferença de pontuação para a passagem de um impacto a outro também aumenta.

Tabela 7: Escala de impactos ambientais proposta

Nível de impacto	Intervalo de pontuação	Diferença de pontuação
Reduzido	$125 \leq n \leq 160$	35 pontos
Baixo	$161 \leq n \leq 266$	105 pontos
Médio	$267 \leq n \leq 479$	212 pontos
Alto	$480 \leq n \leq 832$	352 pontos

Fonte: Próprio autor

Desta forma, as prioridades de remediação entre dois ou mais lixões de mesmo impacto são definidas ordenando-os da pontuação mais alta para a mais baixa, assim, o lixão que obtiver maior pontuação no diagnóstico, tem maior prioridade de remediação.

#### 4.1.2 Criação do módulo de cenários de remediação

A pesquisa bibliográfica indicou 03 principais cenários de remediação, 16 técnicas de remediação e 34 critérios para escolha das técnicas. Com isso, compilou-se os dados obtidos no Quadro 9 do APÊNDICE D.

Os cenários são: 1) confinamento dos resíduos; 2) conversão em aterro sanitário e 3) retirada dos resíduos.

O cenário descrito como “Todos” no Quadro 9, é um rótulo para indicar as técnicas de remediação que aplicam-se a todos os cenários. Por isto, este cenário não fez parte do sistema de pontuação dos cenários.

Segundo Zhou et al. (2015) a mineração combinada com tratamento térmico é viável economicamente em lixões com volumes acima de 500.000 m<sup>3</sup>, por isso a ferramenta indica a mineração para todo lixão de médio a grande porte. O volume do lixão é estimado por meio das questões “1.1 Área do lixão” e “1.4 Espessura da camada de resíduos”, constantes no questionário de campo.

Há também que se observar no APÊNDICE D que todas as técnicas de remediação que envolvem a remoção por mineração, indicam a gaseificação como tratamento térmico. A gaseificação foi escolhida como padrão porque de acordo com Bosmans et al. (2013); Gabbar; Aboughaly; Ayoub (2017); Zaman (2010) é o método de tratamento térmico que tem menor



impacto ambiental, menor custo de implantação e maior benefício econômico.

Para lixões de pequeno a médio porte é sugerida a técnica de remoção direta para aterro sanitário.

Verificou-se que a maioria dos critérios de escolha do APÊNDICE D já constavam como perguntas no questionário de campo original do ANEXO A, sendo necessário fazer apenas alguns ajustes para que o mesmo também pudesse ser utilizado na classificação dos cenários e indicação das técnicas de remediação.

#### 4.1.2.1 Normalização dos valores das técnicas e cenários

Através da análise do APÊNDICE D, constatou-se que o número de critérios para cada técnica de remediação é variado, por exemplo: no cenário “retirada dos resíduos” a técnica “remoção direta para aterro sanitário” possui apenas um critério de escolha, enquanto a técnica “melhoria da cobertura existente” do cenário “confinamento dos resíduos” possui cinco critérios de escolha.

A verificação dos critérios é do tipo verdadeira ou falsa. Se cada critério de escolha do exemplo acima valesse 1 ponto, a primeira técnica teria no máximo 1 ponto, enquanto a segunda poderia ter até 5 pontos, desta forma a segunda técnica teria 05 vezes mais chances de ser escolhida em comparação à primeira.

Para equalizar esta diferença, foi preciso normalizar os valores das técnicas. O número máximo de critérios de escolha entre todas as técnicas de remediação é 5, logo a normalização do valor da técnica é o quociente do número máximo de critérios pelo número de critérios selecionados, descrito na equação (9).

$$N_t = \frac{5}{n_c} \quad (9)$$

Onde:

$N_t$  = valor de normalização da técnica de remediação

$n_c$  = número de critérios de escolha da técnica

Isto significa que o todas as técnicas de remediação podem ter o valor mínimo igual a  $N_t$ , e valor máximo igual a 5.

Da mesma forma, cada cenário de remediação possui um número variado de técnicas de remediação, sendo assim, também foi necessário normalizar os valores das técnicas para que a escolha dos cenários.

O número máximo de técnicas de remediação entre os 3 principais cenários de remediação é 5, então a normalização do valor de cada cenário é a divisão entre o número máximo de técnicas e o número de técnicas selecionadas, conforme a equação (10).

$$N_c = \frac{5}{n_t} \quad (10)$$

Onde:

$N_c$  = valor de normalização do cenário de remediação

$n_t$  = número de técnicas de remediação do cenário

#### 4.1.2.2 Valoração de todas as técnicas e cenários

Depois da normalização dos valores das técnicas e cenários calculou-se por meio da equação (11) e (12) os valores de cada técnica e cenário respectivamente, em função do número de critérios selecionados.

$$V_t = \sum_{c=1}^n N_t \quad (11)$$

Onde:

$V_t$  = valor da técnica de remediação

$N_t$  = valor de normalização da técnica de remediação

$c = 1$  (um critério de escolha selecionado)

$n$  = enésimo critério de escolha selecionado

$$V_c = \sum_{t=1}^n N_c \quad (12)$$

Onde:

$V_c$  = valor do cenário de remediação

$N_c$  = valor de normalização do cenário

$t = 1$  (uma técnica de remediação selecionada)

$n$  = enésima técnica selecionada

Por exemplo, a técnica “Remoção direta de *hotspot* para aterro sanitário” do cenário “Confinamento dos resíduos” do APÊNDICE D possui dois critérios de escolha, correspondentes as duas perguntas seguintes do questionário de campo:

1.12 Há evidências de zonas mais poluídas que outras (*hotspots*)?

- a) ( ) Sim
- b) ( ) Não

1.13 Qual o volume estimado do *hotspot*?

- c) ( )  $< 10.000 \text{ m}^3$  (volume pequeno)
- d) ( )  $\geq 10.000 \text{ m}^3 \leq 500.000 \text{ m}^3$  (volume médio)
- e) ( )  $> 500.000 \text{ m}^3$  (volume grande)

Para fazer a valoração desta técnica, aplicou-se a equação (9), obtendo-se como valor de normalização  $N_i=2,5$

$$N_i = \frac{5}{2} = 2,5$$

Posteriormente, empregou-se a equação (11) substituindo o valor de  $N_i$ , que representa o valor de seleção do primeiro critério de escolha. O valor do índice superior é dado pelo número de critérios de escolha da técnica, neste caso, dois.

$$V_i = \sum_1^2 2,5$$

Ao verificar quantos critérios de escolha foram satisfeitos no momento do preenchimento do questionário de campo do ANEXO A, o cálculo de  $N_i$  e  $V_i$  atribui o valor total da técnica para o lixão, ou melhor, se um critério de escolha da técnica foi selecionado, o valor da técnica “Remoção direta de *hotspot* para a aterro sanitário” é 2,5. Caso dois critérios de escolha tenham sido selecionados, o valor passa a ser 5.

Desta maneira, independente do número de critérios que uma técnica possui, seus valores são normalizados e o valor máximo é sempre 5, evitando o favorecimento da escolha de uma técnica que possui mais critérios de escolha do que outra.

O mesmo aplicou-se para os cenários de remediação, onde normalizou-se cada cenário com equação (10), e

posteriormente valorou-se os cenários por meio da equação (12).

#### 4.1.2.3 Tabela de pontuação

Após aplicar as equações (11) e (12) em cada técnica e cenário, respectivamente, chegou-se a tabela de pontuação apresentada no APÊNDICE E, onde:

- $n_c$  é o número de critérios em cada técnica;
- $N_t$  é o valor de normalização da técnica e o primeiro índice do somatório;
- $c=2$  é o valor do somatório no índice 2, ou seja, quando dois critérios de escolha forem selecionados;
- $n_t$  é o número de técnica em cada cenário;
- $N_c$  é o valor de normalização do cenário e o primeiro índice do somatório;
- $t=2$  é o valor do somatório no índice 2, ou seja, quando duas técnicas de remediação forem selecionadas;

#### 4.1.2.4 Escolha das técnicas e cenários de remediação

A pontuação de uma técnica de remediação é obtida em função da quantidade de critérios de escolha selecionados no momento do preenchimento do questionário de campo. Este valor é recuperado do APÊNDICE E e pode variar de zero à cinco, onde zero indica que nenhum critério daquela técnica foi escolhido, portanto não há necessidade de uso da técnica. Quanto maior a pontuação da técnica, maior sua relevância e prioridade de aplicação no cenário.

Da mesma forma, a pontuação do cenário de remediação é extraída da quantidade de técnicas selecionadas. O valor também pode variar de zero a cinco, onde zero significa que nenhuma técnica daquele cenário foi escolhida.

Depois de atribuir a pontuação dos três cenários e das técnicas de remediação selecionadas, a ferramenta usa o fluxograma ilustrado na Figura 10, para verificar os critérios qualitativos para atribuição de seis pontos extra para um dos três cenários, conforme a equação 13.

$$V_{t_c} = V_c + 6 \quad (13)$$

Onde:

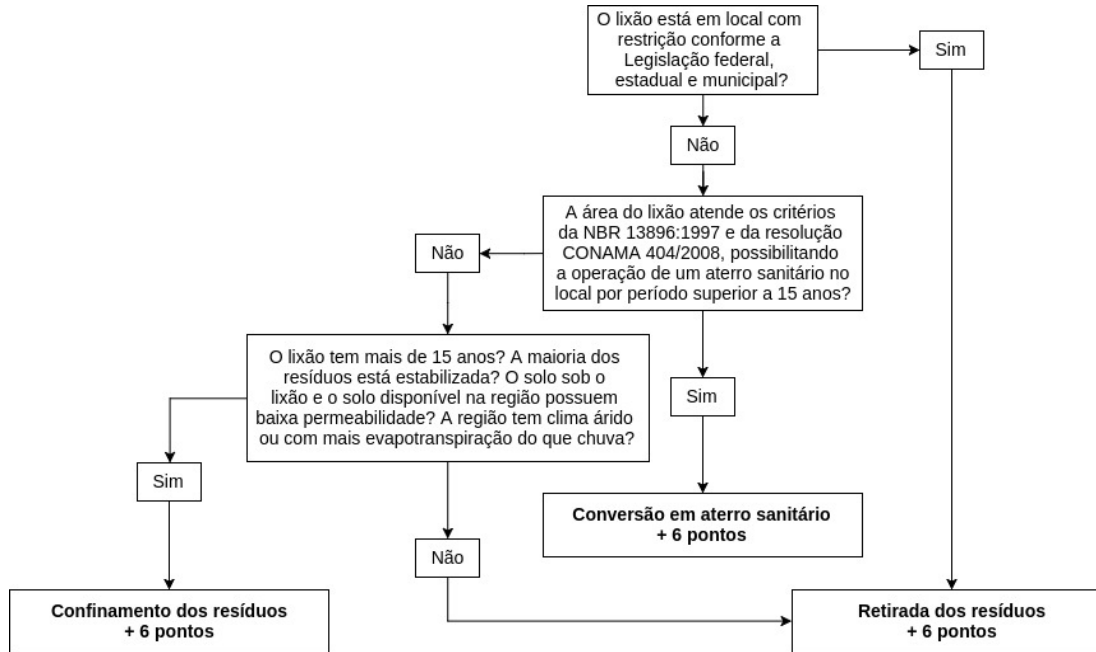
$V_{t_c}$  = valor total do cenário

$V_c$  = valor do cenário escolhido na Figura 10

Estes seis pontos extras foram definidos utilizando o valor máximo possível em um cenário (cinco) mais um, para não haver possibilidade de empate.

Por fim, a ferramenta lista todos os cenários pontuados e suas respectivas técnicas de remediação. O cenário que obteve maior pontuação é considerado o mais indicado.

Figura 10: Fluxograma de atribuição de pontuação extra ao cenário de remediação



Fonte: Próprio autor

## 4.2 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

O ReLix foi desenvolvido para ser de fácil uso e compreensão, tendo uma curva de aprendizagem rápida. Para tal, o planejamento do aspecto visual, o posicionamento dos objetos e a padronização das telas foram fundamentais.

A tela principal do *software* foi projetada para ser livre de poluição visual, contendo apenas o menu superior e uma barra de ferramentas com três botões na sequência das etapas necessárias para diagnosticar lixões, conforme a Figura 11.

Figura 11: Tela principal do ReLix



Fonte: Próprio autor

No primeiro botão é possível imprimir um questionário de campo não preenchido a ser levado na visita ao lixão. Este procedimento foi criado para proporcionar ao usuário uma cópia física das informações do lixão, evitando a necessidade de uma nova visita no caso de uma possível pane no computador que venha a prejudicar o banco de dados do *software*.

No segundo botão cadastra-se o município ou região em que o lixão está inserido e no terceiro botão se faz o cadastro e diagnóstico do lixão. É possível cadastrar um número ilimitado de municípios e lixões.

Para facilitar a visualização de todos os lixões cadastrados no banco de dados e permitir a aplicação de filtros e ordenação de dados de forma simplificada, a tela de consulta de lixões foi projetada para inicializar listando todos os lixões em ordem decrescente de pontuação, conforme é possível observar na Figura 12, bastando filtrar o município/região.

Ao longo dos testes esta funcionalidade se mostrou de grande utilidade no apoio à decisão quanto ao estabelecimento das prioridades de remediação, uma vez que a maior prioridade encontra-se no início da lista.

Figura 12: Consulta de lixões do ReLix

ID	Nome do lixão	Município / região	Pontuação ▲	Nível de impacto
9	Lixão CV4	Cabo Verde	709	Alto
4	Lixão RS	Porto Alegre	538	Alto
7	Lixão SC2	Içara	476	Médio
8	Lixão SC3	Florianópolis	464	Médio
5	Lixão SP	São Carlos	427	Médio
1	Lixão CV3	Cabo Verde	394	Médio
2	Lixão CV1	Cabo Verde	373	Médio
6	Lixão SC1	São Bento do Sul	324	Médio
11	Lixão RJ	Vassouras	320	Médio
3	Lixão CV2	Cabo Verde	279	Médio

Campo: 
 Parâmetro:

Fonte: Próprio autor

A tela principal do ReLix, ilustrada na Figura 13, é onde acontece o cadastro, diagnóstico classificação dos cenários e indicação das técnicas de remediação de um lixão. Ela foi dividida em dez abas localizadas na parte superior da tela. As sete primeiras referem-se às categorias do questionário de campo do ANEXO A, e todos os seus campos são de preenchimento obrigatório.

É possível reconhecer facilmente a aba que está sendo preenchida, pois ela fica destacada na cor azul. Para a maioria das opções de resposta nesta tela foram utilizados objetos do tipo botão de rádio ou de checagem, o que permitiu aos usuários responder as perguntas com apenas um clique. Na oitava aba pode-se inserir fotos do lixão. Esta aba é de preenchimento opcional.



Após preencher as sete primeiras abas e salvar as informações, o ReLix preenche automaticamente as duas últimas abas, referentes ao diagnóstico, classificação dos cenários e indicação das técnicas de remediação, vistas nas Figura 14 e Figura 15. Este procedimento facilitou o uso da ferramenta, uma vez que o usuário não precisa compreender e aplicar o método, mas apenas fornecer as informações do questionário de campo.

Figura 13: Cadastro, diagnóstico classificação dos cenários e indicação das técnicas de remediação no ReLix

Caracterização da área    **Caracterização do lixão**    Solo e águas subterrâneas    Águas superficiais    Meio Social    Meio natural e paisagens    Meio Atmosférico    Fotos do lixão    Diagnóstico    Cenário

**1.1 Área do lixão**

< 5.000 m<sup>2</sup>

> 5.000 m<sup>2</sup> < 50.000 m<sup>2</sup>

>= 50.000 m<sup>2</sup> <= 500.000 m<sup>2</sup>

> 500.000 m<sup>2</sup>

**1.2 Atividade do lixão**

Lixão fechado há mais de 30 anos (antigo)

Lixão fechado num tempo entre 10 e 30 anos (maduro)

Lixão fechado há menos de 10 anos (jovem)

Ainda em atividade

**1.3 Acidente e eventos importantes no lixão**

Adensamento dos resíduos     Não     Sim

Deslizamento     Não     Sim

Erosão     Não     Sim

Outros     Não     Sim

Quais:

**1.4 Espessura da camada de resíduos**

> 2 m

> 2 < 10 m

>= 10 m

Dado não existente

**1.5 Classificação dos resíduo (NBR 10004:2004)**

Resíduos inertes – classe II B

Resíduos domésticos – classe II A

\* Preenchimento obrigatório para fins de cadastro do lixão.

Fonte: Próprio autor

Figura 14: Exemplo de um diagnóstico de lixão feito pelo ReLix

Caracterização da área | Caracterização do lixão | Solo e águas subterrâneas | Águas superficiais | Meio Social | Meio natural e paisagens | Meio Atmosférico | Fotos do lixão | Diagnóstico | Cenário

**Diagnóstico do lixão: Lixão RS**

- O clima da região é árido ou semiárido - Pontuação: 6
- Dispersão de resíduos no entorno - Pontuação: 3
- Distância de um elemento cultural, turístico, arqueológico ou ambiental importante - Pontuação: 3
- Danos aos animais domésticos e/ou selvagens - Pontuação: 2
- Existência de desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixão - Pontuação: 2
- Possibilidade das águas subterrâneas ou superficiais contaminadas se dirigirem a um mangue ou pântano - Pontuação: 1.5

**6. Meio atmosférico - Pontuação: 18.5**

- Tratamento de gás - Pontuação: 6
- Possibilidade de bolões de gás e/ou de migração de biogás - Pontuação: 4
- Coleta de gás - Pontuação: 3
- Presença de odores no lixão e/ou entorno - Pontuação: 2
- Queima de resíduos - Pontuação: 2
- Ocorrência de explosões recentes - Pontuação: 1.5

**SITUAÇÕES IDENTIFICADAS:**

- Ocorre em área urbana - Pontuação: 100
- Ocorre em talvegue, que poderia abrigar curso d'água intermitente; Ocorre em região de várzea pântano ou mangue; Ocorrência de corpos hídricos na área do lixão e/ou até num raio de 200 m; Pontuação: 100
- Ocorre em área industrial - Pontuação: 100

**INCERTEZAS:**

As incertezas causadas pela falta de informações podem influenciar na precisão do diagnóstico do lixão, bem como na geração do cenário e das técnicas de remediação. Por isto existe a necessidade de obtenção de dados mais precisos sobre:

- Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno
- Danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno

Desta forma, recomenda-se refazer o diagnóstico após a obtenção de informações mais precisas.

**Pontuação do Lixão: 538**  
**Nível de impacto: Alto**

Pontuação do Lixão: 538 | Nível de impacto: Alto

\* Preenchimento obrigatório para fins de cadastro do lixão.

✓ Salvar
✗ Cancelar

Fonte: Próprio autor

No diagnóstico, o ReLix lista as perguntas do questionário de campo na forma de tópicos, ordenando-as da maior pontuação para a menor, permitindo o rápido entendimento de quais questões são mais impactantes na categoria. A pontuação da categoria também permite compreender quais categorias são mais impactantes no lixão.

As situações identificadas e suas respectivas pontuações no resultado do diagnóstico evidenciam os fatos potencializadores da pontuação e nível de impacto do lixão.

Devido à existência de treze perguntas no questionário de campo que permitem respostas do tipo “dado não existente”, “desconhecido”, “dado não disponível”, e tendo em vista que a falta de informações afeta a precisão do diagnóstico, optou-se por fazer uma verificação na ocorrência de respostas com indisponibilidade de informações e listá-las no final do diagnóstico.

Esta funcionalidade, vista na Figura 14, se mostrou de grande valor ao longo dos testes e da aplicação do ReLix, especialmente porque sinaliza se há carência de informações e esclarece a relevância do fato para a obtenção de um diagnóstico que retrate a situação mais próxima da realidade possível e indique o cenário e as técnicas de remediação adequadas.

A aba de cenários observada na Figura 15 é dividida em três partes. Na parte superior da tela o *software* exibe os três cenários de remediação em ordem decrescente de pontuação. Desta forma, é possível verificar a colocação de cada cenário e decidir qual deles é o mais adequado.

Ao selecionar determinado cenário o ReLix exibe na parte central da tela todas as técnicas de remediação necessárias, também em ordem decrescente de pontuação. No mínimo uma das técnicas sempre será específica para o cenário, como no exemplo da Figura 15, onde a técnica de remoção dos resíduos por mineração com tratamento térmico por gaseificação é específica para lixões de médio a grande porte cujo cenário é a retirada dos resíduos.

Na parte inferior da tela, o ReLix sugere a implementação do cenário de maior pontuação e justifica a escolha.

Figura 15: Exemplo da classificação dos cenários e indicação das técnicas de remediação no ReLix

Caracterização da área	Caracterização do lixão	Solo e águas subterrâneas	Águas superficiais	Meio Social	Meio natural e paisagens	Meio Atmosférico	Fotos do lixão	Diagnóstico	Cenário
<b>Cenário(s) de remediação para o lixão: Lixão RS</b>									
<b>Cenário</b>									<b>Pontuação</b>
Retirada dos resíduos									8,5
Confinamento dos resíduos									4
Conversão em aterro sanitário									3,3334
<b>Técnica(s) de remediação indicada(s) para o cenário selecionado:</b>									
<b>Técnica</b>									<b>Pontuação</b>
Remoção dos resíduos por mineração com tratamento térmico por gaseificação									5
Coleta de lixiviado / água contaminada através do sistema de bombeamento pressurizado									5
Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento									5
Sistema ativo de coleta de gases									5
Tratamento físico, químico ou biológico da água contaminada / lixiviado									5
Ventilação passiva dos gases									5
Controle da área									2,5
<b>Valor total do cenário: R\$ 0,00</b>									
<p><b>Cenário indicado:</b> Retirada dos resíduos, porque embora o lixão não esteja em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos; A maioria dos resíduos não estão estabilizados; O clima da região não é árido ou semiárido; A região não tem mais evapotranspiração do que chuvas;</p>									
* Preenchimento obrigatório para fins de cadastro do lixão.									
									<input type="button" value="✓ Salvar"/> <input type="button" value="✗ Cancelar"/>

Fonte: Próprio autor

Adicionalmente, foi criada na aba de cenário a opção de estimar os custos de implementação de cada técnica de remediação. Ao clicar duas vezes sobre determinada técnica de remediação, o ReLix abre uma nova janela, onde é possível adicionar os itens necessários para cada técnica.

Esta funcionalidade foi testada apenas em laboratório, não influencia a classificação dos cenários de remediação no ReLix e tem o objetivo de ser uma funcionalidade adicional oferecida para apoiar a decisão das partes interessadas, pois permite simular do custo total de cada técnica e dos cenários de remediação.

Em possíveis trabalhos futuros, as regras de negócio podem ser alteradas para que esta funcionalidade passe a influenciar o cenário de remediação.

O ReLix encontra está disponível gratuitamente no repositório do LARESO<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup><https://github.com/lareso/relix>



Figura 16: Simulação de custos das técnicas de remediação ReLix.

**Técnica de remediação \***

Remoção direta para aterro sanitário

**Descrição**

**Itens da técnica** + Adicionar item Remove item

ID	Descrição	Categoria	Fornecedor	Quantidade/tempo	Unidade	Valor unitário (R\$)	Valor total do item (R\$)	Disponibilidade
----	-----------	-----------	------------	------------------	---------	----------------------	---------------------------	-----------------

**Valor total da técnica: R\$0,00**

\* Preenchimento obrigatório ✓ Salvar ⊘ Cancelar

Fonte: Próprio autor



### 4.3 VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA DESENVOLVIDA

O ReLix foi testado e avaliado em dez lixões por profissionais e especialistas da área de resíduos sólidos, seis em diferentes estados brasileiros: Santa Catarina (SC1, SC2 e SC3), São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ), Rio Grande do Sul (RS) e quatro na república de Cabo Verde (CV1, CV2, CV3 e CV4).

A Tabela 11 foi elaborada para fornecer uma visão geral e agrupada do diagnóstico feito através do ReLix nos dez lixões, onde é possível verificar em detalhes a pontuação que cada lixão obteve nas respostas do questionário de campo, a pontuação do lixão, seu nível de impacto, assim como o cenário indicado. Quanto maior a pontuação do lixão, maior o impacto ambiental.

A pontuação obtida em cada resposta do questionário de campo varia de zero a seis, onde zero indica a questão não respondida por não ser de preenchimento obrigatório ou a não ocorrência da situação. Respostas com pontuação acima de seis denotam questões de múltipla escolha. As situações valem cem pontos cada, variando de zero a quatrocentos pontos.

A pontuação dos lixões e o valor das situações constantes na Tabela 11 e representados graficamente na Figura 17 e Figura 18 permitiu aos avaliadores o estabelecimento das prioridades de remediação entre os lixões avaliados, pois quanto maior a pontuação obtida, maior o impacto que lixão causa, conseqüentemente, mais urgente é a sua remediação.

O detalhamento da pontuação dos lixões feito na Tabela 11, também apresentado pelo *software* de forma individual na tela de diagnóstico, possibilitou aos avaliadores compreenderem quais questões estavam causando mais impacto em cada categoria.

Por exemplo, a Tabela 11 indica que para o Lixão RS, a falta de tratamento dos gases é o que causa maior impacto na categoria meio atmosférico, devido a sua pontuação. Por outro lado, na Figura 19 percebe-se que dos dez lixões avaliados, o Lixão RS está entre os três menos impactantes na referida categoria, entretanto a sua localização em área urbana aumenta consideravelmente os riscos para a saúde pública, elevando também o nível de impacto do lixão.

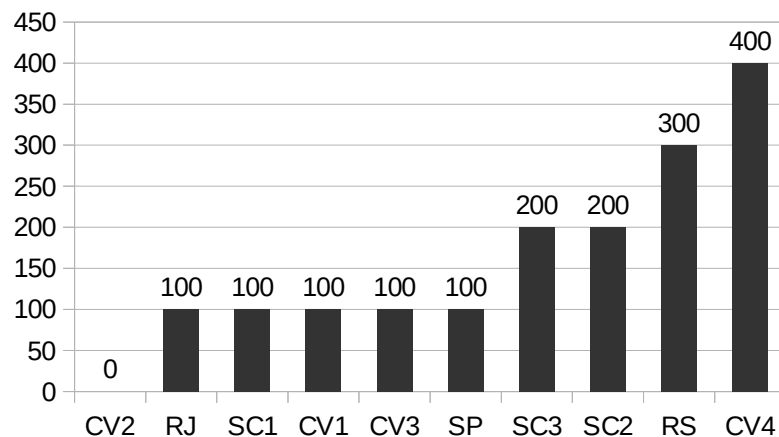
Esta análise detalhada que a ferramenta proporciona foi um auxílio fundamental para os avaliadores na tomada de decisão quanto as prioridades e o cenário de remediação.

Figura 17: Pontuação geral dos lixões diagnosticados pelo ReLix



Fonte: Próprio autor

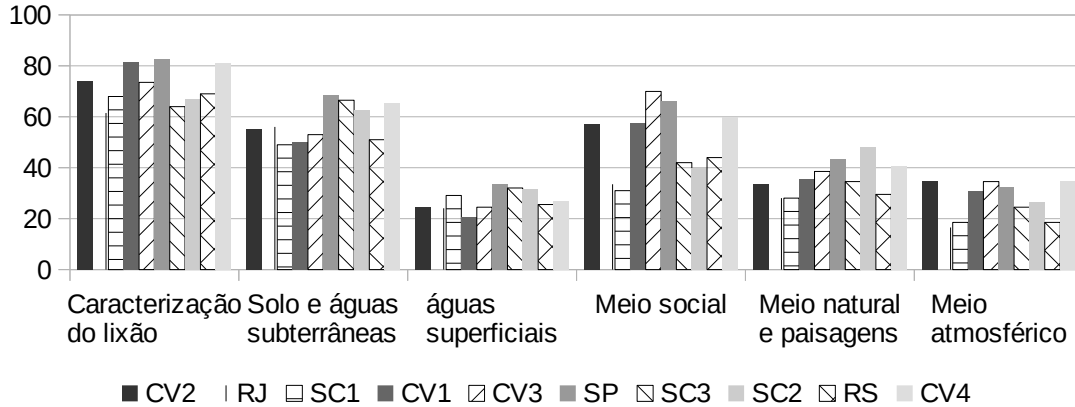
Figura 18: Pontuação das situações observadas nos lixões



Fonte: Próprio autor

Figura 19: Representação gráfica da pontuação dos lixões por categoria

Fonte:  
Próprio  
autor



### 4.3.1 Avaliação do módulo de diagnóstico de lixões

Nesta etapa foi avaliado o módulo de diagnóstico do ReLix. Para isso, o *software* foi aplicado por profissionais da área de resíduos sólidos em cinco lixões brasileiros: SC1, SP, SC3, SC2 e RS, os quais estão ordenados por nível de impacto crescente, de acordo com a Figura 17.

À medida em que o ReLix era testado, percebeu-se que treze perguntas do questionário de campo possuíam opções de respostas como “dado não existente”, “desconhecida”, “dado não disponível”. A falta dessas informações gerava incertezas quanto a precisão do diagnóstico, conseqüentemente quanto ao cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix.

Por outro lado, entendeu-se que quando Ramos (2016) atribuiu estas opções de respostas às questões, o fez para não impedir o diagnóstico diante da falta de informações pontuais, por isso, optou-se por não alterar estas opções de respostas, mas sim implementar uma rotina de verificação de incertezas no momento do diagnóstico, onde o ReLix, ao verificar a incerteza, indica ao usuário a necessidade de obtenção das informações, permitindo que o diagnóstico seja refeito para melhorar sua precisão, como pode ser visto na Figura 14.

#### 4.3.1.1 Lixão SC1

O lixão SC1 é de pequeno porte, suas atividades foram encerradas entre 10 à 30 anos e quando estava ativo recebia todas as classes de resíduos. Conforme a Figura 19, ele se manteve dentro da média de pontuação na categoria caracterização do lixão, solo e águas subterrâneas e águas superficiais, entretanto, manteve pontuação um pouco abaixo da média nas categorias meio social, meio natural e paisagens e meio atmosférico.

A categoria mais impactante do lixão foi águas superficiais, onde ele teve a terceira maior pontuação entre os lixões diagnosticados pelo *software*.

Na Tabela 11 percebe-se que o fato de sua pontuação não ter sido menor do que a dos lixões da Ilha de Santiago em Cabo Verde se deu pela identificação da situação 2, mais precisamente pela ocorrência de corpo hídrico num raio de 200

m do lixão, que lhe conferiu 100 pontos a mais. Isto ratifica que o ReLix aplica corretamente as equações (1) a (6).

Este lixão possui cobertura vegetal com gramíneas, sem odores, com coleta parcial de gás, porém sem tratamento do mesmo. Não há residências em um raio de 500 m e a área possui isolamento físico, barreira vegetal e vigilância. De todos os lixões diagnosticados pelo ReLix, foi o que mais possuía informações, incluindo um estudo geofísico, possivelmente porque é administrado pela mesma empresa que possui um aterro sanitário próximo ao lixão. Ele está localizado em uma área rural, sem uma grande densidade populacional.

A espessura da camada de resíduos maior que 10 m, a maior parte dos resíduos não está estabilizada, existe impermeabilização superior, mas esta não foi construída de acordo com a NBR 13896:1997. A pluviometria da região está entre 800 a 1500 mm/ano (significativa), a declividade do terreno é entre 20-45% (fortemente ondulado).

Não há impermeabilização inferior, no entanto, existe a coleta parcial e o tratamento dos lixiviados. Foram identificadas falhas, fraturas ou carstificações no terreno onde está o lixão, e a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas foi confirmada.

A distância entre o lixão e a borda do corpo hídrico mais próximo é inferior a 100 m e existe nascente d'água entre 200 a 500 m de distância.

Verificou-se a existência de atividade agropecuária frequente nas proximidades, desmatamento e redução da biodiversidade.

Este lixão não possui incertezas por falta de informações e seu diagnóstico, classificação dos cenários e indicação das técnicas de remediação é considerada a mais precisa entre os dez lixões.

#### 4.3.1.2 Lixão SP

É um lixão de médio a grande porte, com atividades encerradas entre 10 e 30 anos e recebia todas as classes de resíduos. Não fosse pelas duas situações identificadas no lixão RS e CV3, o lixão SP seria o de maior pontuação entre os dez lixões, e isto é possível verificar na Tabela 11.

No gráfico da Figura 19 percebe-se que o lixão SP se destacou por se manter constante como um dos mais pontuados em todas as categorias, inclusive sendo identificada a situação 2 (ocorrência de corpo hídrico num raio de 200 m do lixão), que lhe conferiu 100 pontos a mais.

A área do lixão possui isolamento mas, não possui barreira vegetal e não é vigiada. No lixão detectou-se a presença de insetos, roedores, urubus, joão-de-barro, pardal, rolinha e cobras.

Contatou-se a ocorrência de acidentes e eventos importantes no lixão como adensamento dos resíduos e erosão. A espessura da camada de resíduos é maior que 10 m, a maior parte dos resíduos não está estabilizada, não existe impermeabilização inferior e superior, a pluviometria na região é alta (entre 1500 – 2300 mm/ano) e o terreno tem declividade ondulada (entre 8-20%).

A presença de lixiviado após chuva nos taludes, aterros e entornos é recorrente. Não há coleta e tratamento de lixiviado e gases. Os odores são frequentes e, às vezes, há queima de resíduos.

O material disponível na região para ser usado como cobertura não possui coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do lixão, o solo abaixo do lixão é predominantemente arenoso, a permeabilidade no lixão é de  $5 \times 10^{-4}$  cm/s e o nível piezométrico abaixo dos resíduos é menor que 3 m. A contaminação da água subterrânea foi confirmada.

A classe das águas superficiais é desconhecida. O lixão encontra-se a menos de 100 m de um corpo hídrico e a menos de 200 m de uma nascente d'água. A poluição das águas superficiais também foi confirmada.

O núcleo populacional mais próximo está a menos de 500 m do lixão e nele são desenvolvidas atividades agropecuárias frequentes.

As incertezas do diagnóstico feito pelo *software* estão relacionadas à falta de informações sobre contaminação do solo, distância de um ponto de alimentação de água subterrânea potável de uso doméstico, danos materiais e à saúde da população residente no lixão e/ou entorno, desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixão, danos aos animais domésticos e/ou

selvagens, ocorrência de explosões recentes, possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás.

Levando em consideração que o lixão ficou a 3 pontos da mudança para o nível de impacto alto, deve-se considerá-lo como sendo um lixão de alto impacto no momento de estabelecer as prioridades de remediação.

#### 4.3.1.3 Lixão SC3

Considerado um lixão de médio a grande porte, com atividades encerradas entre 10 a 30 anos e recebeu resíduos de predominantemente classe II B. A área é isolada, possui barreira vegetal e vigilância. Segundo a Tabela 11 e Figura 19, foi o lixão que obteve maior pontuação na categoria solo e águas subterrâneas e o segundo mais pontuado na categoria águas superficiais.

Neste lixão a maioria dos resíduos não está estabilizada, não existe impermeabilização inferior e superior, e a pluviometria da região é alta. Não existe coleta e tratamento dos lixiviados e dos gases, o nível piezométrico dos resíduos é menor que 1,5 m e os resíduos estão parcialmente banhados. Existem falhas, fraturas ou carstificações no terreno e não há informações a respeito da contaminação do solo e da água subterrânea.

A classificação das águas superficiais e a distância de um ponto de alimentação de água potável para uso doméstico são desconhecidas. O lixão está a menos de 100 m da borda de um corpo hídrico e a poluição das águas superficiais foi confirmada., havendo a possibilidade das águas superficiais contaminadas se dirigirem a um mangue ou pântano próximo.

Verificou-se também a existência de mais de 100 residências num raio de 500 m do lixão, o que inclui a presença de hospital, creche, escola ou asilo, inclusive há aglomeração humana no terreno do lixão ou imediatamente ao lado.

Existe também o desmatamento, redução da biodiversidade e danos a animais domésticos e/ou selvagens.

As incertezas do diagnóstico deste lixão são referentes a falta de informações sobre a contaminação do solo e das águas subterrâneas, distância de um ponto de alimentação de água subterrânea potável de uso doméstico, distância de um ponto

de alimentação em água superficial potável para o uso doméstico e ocorrência de explosões recentes.

#### 4.3.1.4 Lixão SC2

Trata-se de um lixão de médio à grande porte com atividades encerradas entre 10 e 30 anos e recebeu resíduos classe II B e classe I, incluindo óleos e graxas. A área do lixão não dispõe de isolamento, barreira vegetal e vigilância. De acordo com a Figura 17, foi o que obteve maior pontuação entre os lixões de Santa Catarina e o quarto de maior pontuação entre os dez lixões.

O maior impacto deste lixão deu-se nas categorias solo e água subterrânea, águas superficiais e meio natural e paisagens, com destaque para esta última como pode ser observado na Figura 19. Sua pontuação foi acrescida de 100 pontos devido a identificação da situação 2, especificamente pela identificação de corpo hídrico num raio de 200 m do lixão.

Não há informação sobre a espessura da camada de resíduos do lixão, a maior parte dos resíduos não está estabilizada, há dispersão de resíduos no entorno, e não há impermeabilização inferior e superior.

A coleta e tratamento dos lixiviados e gases é inexistente e os resíduos estão parcialmente banhados em água devido ao nível piezométrico ser menor que 1,5 m. Não há dados sobre a contaminação do solo e das águas subterrâneas.

O lixão está a menos de 100 m de um corpo hídrico, e entre 200 a 500 m de uma nascente d'água. A poluição das águas superficiais foi confirmada.

Além disso, os dados sobre danos materiais e à saúde da população, assim como sobre a ocorrência de explosões recentes são inexistentes.

De todos, este foi um dos lixões com maior grau de incerteza no diagnóstico por falta de informações à respeito da espessura da camada de resíduos, impermeabilização inferior, contaminação do solo e das águas subterrâneas, danos materiais e à saúde da população residente no lixão e/ou entorno, desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixão, danos aos animais domésticos e/ou selvagens, ocorrência de explosões recentes e possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás.



#### 4.3.1.5 Lixão RS

O lixão RS é de grande porte e foi fechado entre 10 e 30 anos. Na Tabela 11 e Figura 19 é possível verificar que de todos os lixões diagnosticados ficou em segundo lugar entre os de maior pontuação, especialmente porque foram identificadas as situações 2 e 3 descritas na Figura 9.

Embora a informação obtida é de que ele recebeu predominantemente resíduos classe II A, a ocorrência da situação 3 (proximidade com área industrial) indica um possível recebimento de resíduos industriais, dos quais incluem-se os resíduos classe I (perigosos).

Este fato potencializa o nível de impacto do lixão, e demonstra que a pontuação atribuída ao mesmo pelo ReLix no diagnóstico é condizente com a situação real.

Neste lixão a maior parte dos resíduos não está estabilizada, a pluviometria é alta (entre 1500 a 2300 mm/ano), não há impermeabilização inferior e superior e foi identificada a presença de lixiviados nos taludes, aterro e entornos após forte chuva.

Os lixiviados e gases são coletados parcialmente, o tratamento dos lixiviados é inadequado e não há tratamento para os gases. O nível piezométrico abaixo dos resíduos é entre 1,5 e 3 m, e a contaminação do solo e águas superficiais e subterrâneas foram confirmadas.

A densidade populacional dentro de um raio de 500 m do lixão maio que 100 residências e a distância do núcleo populacional mais próximo é menor que 500 m.

Além disso, ocorrem atividades agropecuárias com frequência nas proximidades. Não há informações quanto a danos materiais e à saúde da população, portanto estas são as duas únicas incertezas do diagnóstico.

#### 4.3.1.6 Validação do módulo de diagnóstico de lixões

Os questionários de avaliação desta etapa encontram-se preenchidos no APÊNDICE A , resumido no Quadro 8. Observa-se que é consenso entre os avaliadores que:

- A ferramenta é fácil de entender e usar;
- O diagnóstico feito pelo *software* é coerente com o diagnóstico feito pelos avaliadores;
- O *software* auxiliou no estabelecimento das prioridades de remediação.

Por isso, o módulo de diagnóstico foi validado pelos profissionais que testaram a ferramenta.

Quadro 8: Resumo da avaliação do módulo de diagnóstico

Questão	Lixão				
	SC1	SP	SC3	SC2	RS
O manual do usuário é de fácil entendimento, permitindo ao usuário aprender a utilizar o <i>software</i> sem necessidade de auxílio técnico?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
A interface do <i>software</i> é amigável e de fácil utilização?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Com base na sua experiência, o diagnóstico feito pelo <i>software</i> é coerente com o seu diagnóstico?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Quantos lixões você diagnosticou com o <i>software</i> ?					
O <i>software</i> auxiliou na decisão das prioridades de remediação dos lixões?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim e Não
Você detectou alguma falha ou tem alguma sugestão para a melhoria do <i>software</i> ?	Não	Sim	Sim	Não	Sim

Fonte: Próprio autor

### 4.3.2 Avaliação do módulo de cenários de remediação

Na avaliação do módulo de cenários e técnicas de remediação, o ReLix foi aplicado por especialistas em dois lixões brasileiros (SC2 e RJ) e nos quatro lixões do arquipélago de Cabo Verde (CV1, CV2, CV3 e CV4).

Aproveitou-se para refazer o diagnóstico dos quatro lixões avaliados na etapa anterior (Lixão SC1, SP, SC2, SC3 e RS). Por isso, as informações referente aos cenários e técnicas de remediação destes lixões também encontram-se neste capítulo.

#### 4.3.2.1 Lixão CV2

O lixão CV2 é de pequeno à médio porte, ainda está em atividade e recebe resíduos de todas as classes, incluindo resíduos de serviço de saúde. Ele obteve a segunda pontuação mais baixa entre os dez lixões, também devido a nenhuma situação ter sido identificada.

A espessura da camada de resíduos é maior que 10 m, sem impermeabilização inferior e superior. O lixão não dispõe de coleta e tratamento dos lixiviados e não existem informações a cerca da contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Na Tabela 11 e Figura 19 é possível perceber ele foi o quinto lixão com maior pontuação na categoria meio social e empatou com outros dois lixões como o de maior pontuação na categoria meio atmosférico, seguramente por que existe atividade agropecuária frequente no entorno, não há isolamento físico, barreira vegetal ou vigilância no lixão, há presença de catadores, bem como de insetos, roedores, cães, vacas e burros na área. Não há informações a respeito de danos materiais e à saúde da população que vive nas proximidades.

Os odores e queima de resíduos no lixão são frequentes devido à inexistência de coleta e tratamento dos gases. Não há informações quanto a explosões recentes.

As incertezas do diagnóstico para o lixão CV2 estão associadas a falta de informações sobre a contaminação do solo e das águas subterrâneas, danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno, danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno, danos aos animais domésticos e/ou selvagens, ocorrência de explosões recentes, possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás.

Na Figura 20 nota-se que o cenário de remediação sugerido foi a retirada dos resíduos, pois ainda que o lixão não esteja em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos. Além do mais, o lixão tem menos de 30 anos de idade, podendo haver geração de gases e lixiviação dos resíduos restantes em quantidade expressiva.

Entre as técnicas de remediação recomendadas para o lixão CV2, destaca-se a remoção direta para o aterro sanitário pois este lixão é de pequeno à médio porte.

Figura 20: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão CV2

Caracterização da área	Caracterização do lixão	Solo e águas subterrâneas	Águas superficiais	Meio Social	Meio natural e paisagens	Meio Atmosférico	Fotos do lixão	Diagnóstico	Cenário
<b>Cenário(s) de remediação para o lixão: Lixão CV2</b>									
<b>Cenário</b>									<b>Pontuação</b>
Retirada dos resíduos									8,5
Confinamento dos resíduos									4
Conversão em aterro sanitário									3,3334
<b>Técnica(s) de remediação indicada(s) para o cenário selecionado:</b>									
<b>Técnica</b>									<b>Pontuação</b>
Remoção direta para aterro sanitário									5
Coleta de lixiviado / água contaminada através do sistema de bombeamento pressurizado									5
Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento									5
Controle da área									5
Sistema ativo de coleta de gases									5
Tratamento físico, químico ou biológico da água contaminada / lixiviado									5
Ventilação passiva dos gases									5
<b>Valor total do cenário: R\$ 0,00</b>									
<p><b>Cenário indicado:</b> Retirada dos resíduos, porque embora o lixão não esteja em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos; O lixão tem menos de 30 anos de idade, podendo haver geração de gases e lixiviação dos resíduos restantes em quantidade expressiva;</p>									
<p>* Preenchimento obrigatório para fins de cadastro do lixão.</p>									
									<input type="button" value="Salvar"/> <input type="button" value="Cancelar"/>

Fonte: Próprio autor

#### 4.3.2.2 Lixão RJ

O Lixão RJ é de pequeno porte. Enquanto estava ativo recebeu resíduos classe II. A maior parte dos resíduos deste lixão estava estabilizada e ele possuía impermeabilização superior conforme a NBR 13896:1997, porém não possuía impermeabilização inferior.

Não havia coleta e tratamento de lixiviado. O material disponível na região para ser utilizado para cobertura, assim como a natureza do solo sob o lixão, era argiloso. O nível piezométrico abaixo dos resíduos era maior que três metros e não havia dados sobre contaminação do solo e da água subterrânea. Não foi constatada poluição das águas superficiais.

A densidade populacional nas proximidades do lixão era menor que dez residências numa distância maior que 500 m. Ocasionalmente, havia atividade agropecuária no entorno. O Lixão era isolado e não foi detectada presença de animais relevante. Não havia presença de catadores, desmatamento ou dispersão de resíduos na área.

Também não foi constatada a ocorrência de odores, explosões, queima de resíduos ou possibilidade de bolsões ou migração de biogás. A coleta dos gases era parcial, porém sem tratamento.

Na Tabela 11 e Figura 19 nota-se que ele está entre os lixões com menor pontuação nas categorias caracterização do lixão, meio social, meio natural e paisagens e meio atmosférico. Nas categorias solos e águas subterrâneas, assim como na categoria águas superficiais, ele se manteve dentro da média. Dos dez lixões diagnosticados, ele ficou classificado como o segundo de menor pontuação, portanto o segundo menos impactante.

As incertezas do diagnóstico estão relacionadas com a falta de informação a respeito da contaminação do solo e das águas subterrâneas, bem como dos danos à saúde da população residente no entorno.

O cenário de remediação indicado para este lixão foi a retirada dos resíduos, conforme consta na Figura 21, pois embora o lixão não esteja em local com restrição conforme a

legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos. Além disso, o lixão tem menos de 30 anos de idade, podendo haver geração de gases e lixiviação dos resíduos restantes em quantidade expressiva; O clima da região não é árido ou semiárido e a região não tem mais evapotranspiração do que chuvas, portanto, não seria propício o confinamento dos resíduos.

Das técnicas de remediação sugeridas pelo ReLix, a remoção direta para aterro sanitário foi a mais relevante, confirmando a assertividade do ReLix perante a bibliografia e aos critérios estabelecidos no APÊNDICE D.

Figura 21: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão RJ

Caracterização da área	Caracterização do lixão	Solo e águas subterrâneas	Águas superficiais	Meio Social	Meio natural e paisagens	Meio Atmosférico	Fotos do lixão	Diagnóstico	Cenário
<b>Cenário(s) de remediação para o lixão: Lixão RJ</b>									
<b>Cenário</b>									<b>Pontuação</b>
Retirada dos resíduos									11
Conversão em aterro sanitário									5
Confinamento dos resíduos									4
<b>Técnica(s) de remediação indicada(s) para o cenário selecionado:</b>									
<b>Técnica</b>									<b>Pontuação</b>
Remoção direta para aterro sanitário									5
Coleta de lixiviado / água contaminada através do sistema de bombeamento pressurizado									5
Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento									5
Sistema ativo de coleta de gases									5
Tratamento físico, químico ou biológico da água contaminada / lixiviado									5
Ventilação passiva dos gases									3,3334
Remoção dos resíduos por mineração com tratamento térmico por gaseificação									2,5
<b>Valor total do cenário: R\$ 0,00</b>									
<p><b>Cenário indicado:</b> Retirada dos resíduos, porque embora o lixão não esteja em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos; O lixão tem menos de 30 anos de idade, podendo haver geração de gases e lixiviação dos resíduos restantes em quantidade expressiva; O clima da região não é árido ou semiárido; A região não tem mais evapotranspiração do que chuvas;</p>									
* Preenchimento obrigatório para fins de cadastro do lixão.									
									<input type="button" value="✓ Salvar"/> <input type="button" value="✗ Cancelar"/>

Fonte: Próprio autor



#### 4.3.2.3 Lixão SC1

Conforme a Figura 22, o cenário com maior pontuação, consequentemente, o mais recomendado pelo ReLix para este lixão foi a conversão em aterro sanitário, pois o lixão não está em local com restrição conforme a legislação e a área do lixão atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos.

Das principais técnicas de remediação previstas no APÊNDICE D para este cenário, a que obteve maior pontuação foi a instalação do aterro sanitário, seguida da remoção direta do lixão para o respectivo aterro, esta última, em virtude da pequena quantidade de resíduos a ser removida.

Figura 22: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão SC1

Cenário(s) de remediação para o lixão: Lixão SC1	
Cenário	Pontuação
Conversão em aterro sanitário	11
Retirada dos resíduos	5
Confinamento dos resíduos	4

Técnica(s) de remediação indicada(s) para o cenário selecionado:	
Técnica	Pontuação
Instalação de aterro sanitário	5
Remoção direta para o aterro sanitário	5
Coleta de lixiviado / água contaminada através do sistema de bombeamento pressurizado	5
Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento	5
Sistema ativo de coleta de gases	5
Tratamento físico, químico ou biológico da água contaminada / lixiviado	5
Ventilação passiva dos gases	5
Remoção do lixão por mineração com tratamento térmico por gaseificação	2,5

**Valor total do cenário: R\$ 0,00**

**Cenário indicado:** Conversão em aterro sanitário, porque o lixão não está em local com restrição conforme a legislação, e a área do lixão atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos.

\* Preenchimento obrigatório para fins de cadastro do lixão.

Fonte: Próprio autor

#### 4.3.2.4 Lixão CV1

Considerado um lixão de médio à grande porte e ainda está em atividade. A Tabela 11 e Figura 19 permite visualizar que o fato do lixão ter a menor pontuação entre todos provavelmente se deve ao fato de nenhuma situação ter sido identificada, mas que de todos os lixões diagnosticados, ele se destaca na categoria caracterização do lixão em função do recebimento de resíduos de todas as classes e dos acidentes e eventos importantes ocorridos.

Este lixão possui espessura da camada de resíduos maior que 10 m, não dispõe de impermeabilização superior e inferior, nem coleta e tratamento de lixiviados. O material disponível na região para ser usado como cobertura não possui coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do lixão, e não há informações quanto a contaminação do solo e das águas subterrâneas.

As atividades agropecuárias nas proximidades do lixão CV1 são frequentes. Existe também a presença de animais como insetos, roedores, urubus, cães e vacas, e embora não se tenha informações quanto aos danos à saúde da população que vive nas proximidades, os danos materiais a mesma são frequentes, por isto este lixão foi o quarto com maior pontuação na categoria meio social.

A área não dispõe barreira vegetal, existe dispersão de resíduos, ocasionando odores, explosões e queima dos resíduos frequentemente. Não há coleta e tratamento dos gases.

As incertezas do diagnóstico estão relacionadas a falta de informações sobre a contaminação do solo e das águas subterrâneas, danos à saúde da população residente no entorno, e danos aos animais domésticos e/ou selvagens.

O cenário indicado pelo ReLix para este lixão, ilustrado na Figura 23, foi a retirada dos resíduos porque, embora o lixão não esteja em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos, e também porque o material disponível na região para ser usado como cobertura não possui coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do lixão.

Figura 23: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão CV1

Cenário(s) de remediação para o lixão: Lixão CV1	
Cenário	Pontuação
Confinamento dos resíduos	10
Conversão em aterro sanitário	3,3334
Retirada dos resíduos	2,5

Técnica(s) de remediação indicada(s) para o cenário selecionado:	
Técnica	Pontuação
Coleta de lixiviado / água contaminada através do sistema de bombeamento pressurizado	5
Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento	5
Controle da área	5
Sistema ativo de coleta de gases	5
Tratamento físico, químico ou biológico da água contaminada / lixiviado	5
Ventilação passiva dos gases	5
Cobertura de barreira única e cobertura de barreira dupla (barreiras hidráulicas)	3,75

**Valor total do cenário: R\$ 0,00**

**Cenário indicado:** Confinamento dos resíduos, porque o lixão não está em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos, porém o lixão tem mais de 30 anos de idade e por isto pressupõe-se que a geração de gases e a lixiviação dos resíduos restantes é relativamente baixa; A maioria dos resíduos estão estabilizados; O solo sob o lixão e o solo disponível na região possuem baixa permeabilidade; A região tem clima árido ou com mais evapotranspiração do que chuvas.

\* Preenchimento obrigatório para fins de cadastro do lixão.

Fonte: Próprio autor

A principal técnica de retirada dos resíduos sugerida pelo ReLix (Figura 23) é a remoção por mineração devido ao lixão ser de médio à grande porte, corroborando a assertividade do *software* de acordo com os critérios de escolha definidos para o cenário no APÊNDICE D.

#### 4.3.2.5 Lixão CV3

É um lixão de médio à grande porte, ainda em atividade e recebe todas as classes de resíduos, incluindo os hospitalares. Ele também ficou entre os de menor pontuação por não ter sido observada nenhuma das três situações que poderiam aumentar consideravelmente a pontuação do lixão.

Constatou-se a ocorrência de erosão na área e a inexistência de impermeabilização inferior e superior, coleta e tratamento dos lixiviados, assim como informações sobre a contaminação do solo e das águas subterrâneas, porém acredita-se que o volume de contaminante seja grande.

A classe das águas superficiais é desconhecida e a zona balneável mais próxima está a menos de 100 m de distância.

Conforme a Tabela 11 e Figura 19 o maior impacto deste lixão é nas categorias meio social e meio atmosférico, tendo em vista que foi o lixão com maior pontuação nestas categorias.

No meio social foi identificado a existência de 10 a 100 residências num raio de 500 m do lixão, incluindo a presença de hospital, creche, escola ou asilo. As atividades agropecuárias nas proximidades são frequentes, a área do lixão não possui isolamento, barreira vegetal e vigilância. Há dispersão de resíduos, aglomeração humana e catadores sobre o terreno do lixão. Averiguou-se também a ocorrência de insetos, roedores, cães e vacas. Não há informações quanto aos danos materiais e à saúde da população.

O desmatamento e redução da biodiversidade também foram confirmados.

Os odores e queima de resíduos são frequentes na área, não há coleta e tratamento dos gases, e nem informações quanto a explosões recentes e possibilidade de bolsões ou migração de biogás.

O nível de incerteza do diagnóstico deste lixão está relacionado a falta de informações sobre a contaminação do solo e das águas subterrâneas, danos materiais e à saúde da

população residente no lixão e/ou entorno, danos aos animais domésticos e/ou selvagens, ocorrência de explosões recentes e possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás.

Contudo, o cenário de remediação recomendado pelo ReLix para o lixão CV3 verificado na Figura 24 foi o confinamento dos resíduos, porque ele não está em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos. Porém o lixão tem mais de 30 anos de idade e por isto pressupõe-se que a geração de gases e a lixiviação dos resíduos restantes é relativamente baixa; a maioria dos resíduos estão estabilizados; o solo sob o lixão e o solo disponível na região são de baixa permeabilidade e a região tem clima árido ou com mais evapotranspiração do que chuvas.

Portanto a pontuação atribuída pelo ReLix ao cenário confinamento de resíduos deste lixão está coerente com os critérios qualitativos do APÊNDICE D e com a tabela de pontuação do APÊNDICE E.

Entre as técnicas de coberturas para o confinamento de resíduos observadas no APÊNDICE D, nota-se na Figura 24 que a cobertura com evapotranspiração foi a que obteve maior pontuação, em consequência da necessidade de garantia da estabilidade do declive do terreno que tem entre 8 a 20% de inclinação (ondulado), e também porque o material disponível na região para ser usado como cobertura possui coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do lixão. Este resultado comprova precisão do ReLix na indicação das técnicas de remediação.

No geral, apesar de não ter sido constatada a poluição das águas superficiais nos lixões de Cabo Verde, não existem dados sobre a contaminação do solo e das águas subterrâneas. Este tipo de incerteza pode influenciar a precisão do diagnóstico, sobretudo para lixões com pontuação próxima ao limite de mudança de nível de impacto, como o CV1, que estava a apenas 30 pontos do nível de impacto baixo.

Figura 24: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão CV3

Caracterização da área	Caracterização do lixão	Solo e águas subterrâneas	Águas superficiais	Meio Social	Meio natural e paisagens	Meio Atmosférico	Fotos do lixão	Diagnóstico	Cenário
<b>Cenário(s) de remediação para o lixão: Lixão CV3</b>									
<b>Cenário</b>									<b>Pontuação</b>
Confinamento dos resíduos									10
Conversão em aterro sanitário									3,3334
Retirada dos resíduos									2,5
<b>Técnica(s) de remediação indicada(s) para o cenário selecionado:</b>									
<b>Técnica</b>									<b>Pontuação</b>
Cobertura com evapotranspiração									5
Coleta de lixiviado / água contaminada através do sistema de bombeamento pressurizado									5
Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento									5
Controle da área									5
Sistema ativo de coleta de gases									5
Tratamento físico, químico ou biológico da água contaminada / lixiviado									5
Ventilação passiva dos gases									5
<b>Valor total do cenário: R\$ 0,00</b>									
<p><b>Cenário indicado:</b> Confinamento dos resíduos, porque o lixão não está em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos, porém o lixão tem mais de 30 anos de idade e por isto pressupõe-se que a geração de gases e a lixiviação dos resíduos restantes é relativamente baixa; A maioria dos resíduos estão estabilizados; O solo sob o lixão e o solo disponível na região possuem baixa permeabilidade; A região tem clima árido ou com mais evapotranspiração do que chuvas.</p>									
* Preenchimento obrigatório para fins de cadastro do lixão.									
									<input type="button" value="Salvar"/> <input type="button" value="Cancelar"/>

Fonte: Próprio autor

#### 4.3.2.6 Lixão SP

O cenário de remediação indicado pelo ReLix para o lixão SP foi a retirada dos resíduos (Figura 25). Ainda que o lixão não esteja em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos; a maioria dos resíduos não estão estabilizados; o material disponível na região para ser usado como cobertura não possui coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do lixão; o clima da região não é árido ou semiárido e a região não tem mais evapotranspiração do que chuvas.

A remoção dos resíduos por mineração foi a técnica de remediação principal para o cenário, em função do médio a grande volume de resíduos a ser tratado e também por que o lixão possui mais de 15 anos de idade, podendo gerar grandes volumes de biogás.



Figura 25: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão SP

Cenário	Pontuação
Retirada dos resíduos	8,5
Confinamento dos resíduos	4
Conversão em aterro sanitário	3,3334

**Técnica(s) de remediação indicada(s) para o cenário selecionado:**

Técnica	Pontuação
Remoção dos resíduos por mineração com tratamento térmico por gasificação	5
Coleta de lixiviado / água contaminada através do sistema de bombeamento pressurizado	5
Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento	5
Controle da área	5
Sistema ativo de coleta de gases	5
Tratamento físico, químico ou biológico da água contaminada / lixiviado	5
Ventilação passiva dos gases	5

**Valor total do cenário: R\$ 0,00**

**Cenário indicado:** Retirada dos resíduos, porque embora o lixão não esteja em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos; A maioria dos resíduos não estão estabilizados; O material disponível na região para ser usado como cobertura não possui baixa permeabilidade; O clima da região não é árido ou semiárido; A região não tem mais evapotranspiração do que chuvas;

\* Preenchimento obrigatório para fins de cadastro do lixão.

Fonte: Próprio autor

#### 4.3.2.7 Lixão SC3

O cenário sugerido pelo ReLix para o lixão SC3 visto na Figura 26 foi a retirada dos resíduos. Apesar do lixão não estar em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos; a maioria dos resíduos não estão estabilizados; o clima da região não é árido ou semiárido e a região não tem mais evapotranspiração do que chuvas.

Entre as técnicas sugeridas para o cenário, a remoção dos resíduos por mineração foi a mais pontuada por causa do médio a grande volume de resíduos e também porque o lixão tem mais de 15 anos de idade, podendo produzir gás em quantidade significativa.

Figura 26: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão SC3

Cenário(s) de remediação para o lixão: Lixão SC3	
Cenário	Pontuação
Retirada dos resíduos	8,5
Confinamento dos resíduos	4
Conversão em aterro sanitário	3,3334

Técnica(s) de remediação indicada(s) para o cenário selecionado:	
Técnica	Pontuação
Remoção dos resíduos por mineração com tratamento térmico por gaseificação	5
Coleta de lixiviado / água contaminada através do sistema de bombeamento pressurizado	5
Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento	5
Sistema ativo de coleta de gases	5
Tratamento físico, químico ou biológico da água contaminada / lixiviado	5
Ventilação passiva dos gases	5
Controle da área	2,5

**Valor total do cenário: R\$ 0,00**

**Cenário indicado:** Retirada dos resíduos, porque embora o lixão não esteja em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos; A maioria dos resíduos não estão estabilizados; O clima da região não é árido ou semiárido; A região não tem mais evapotranspiração do que chuvas;

\* Preenchimento obrigatório para fins de cadastro do lixão.

Fonte: Próprio autor

#### 4.3.2.8 Lixão SC2

O cenário indicado pelo ReLix para este lixão visto na Figura 27 foi a retirada dos resíduos. Ainda que o lixão não esteja em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos; a maioria dos resíduos não estão estabilizados; o solo sob o lixão e o solo disponível na região não são de baixa permeabilidade; o clima da região não é árido ou semiárido e a região não tem mais evapotranspiração do que chuvas;

A remoção por mineração também foi a técnica sugerida para o cenário, em função do médio a grande volume de resíduos a ser tratado, e do lixão ter mais de 15 anos de idade, podendo produzir gás em quantidade expressiva.

Figura 27: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão SC2

Cenário(s) de remediação para o lixão: Lixão SC2	
Cenário	Pontuação
Retirada dos resíduos	3,5
Confinamento dos resíduos	4
Conversão em aterro sanitário	3,3334

Técnica(s) de remediação indicada(s) para o cenário selecionado:	
Técnica	Pontuação
Remoção dos resíduos por mineração com tratamento térmico por gaseificação	5
Coleta de lixiviado / água contaminada através do sistema de bombeamento pressurizado	5
Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento	5
Sistema ativo de coleta de gases	5
Tratamento físico, químico ou biológico da água contaminada / lixiviado	5
Ventilação passiva dos gases	5
Controle da área	3,75

**Valor total do cenário: R\$ 0,00**

**Cenário indicado:** Retirada dos resíduos, porque embora o lixão não esteja em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos; A maioria dos resíduos não estão estabilizados; O solo sob o lixão e o solo disponível na região não possuem baixa permeabilidade; O clima da região não é árido ou semiárido; A região não tem mais evapotranspiração do que chuvas;

\* Preenchimento obrigatório para fins de cadastro do lixão.

Fonte: Próprio autor

#### 4.3.2.9 Lixão RS

O cenário de remediação indicado pelo ReLix visto na Figura 28 foi a retirada dos resíduos. Embora o lixão não esteja em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos; a maioria dos resíduos não estão estabilizados; o clima da região não é árido ou semiárido, e a região não tem mais evapotranspiração do que chuvas.

Entre as técnicas de remediação deste cenário, o *software* sugeriu principal a remoção por mineração com tratamento térmico por gaseificação, porque o lixão tem mais de 15 anos e o volume de resíduos é grande o suficiente para viabilizar o projeto.

Figura 28: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão RS

Caracterização da área	Caracterização do lixão	Solo e águas subterrâneas	Águas superficiais	Meio Social	Meio natural e paisagens	Meio Atmosférico	Fotos do lixão	Diagnóstico	Cenário
<b>Cenário(s) de remediação para o lixão: Lixão RS</b>									
<b>Cenário</b>									<b>Pontuação</b>
Retirada dos resíduos									8,5
Confinamento dos resíduos									4
Conversão em aterro sanitário									3,3334
<b>Técnica(s) de remediação indicada(s) para o cenário selecionado:</b>									
<b>Técnica</b>									<b>Pontuação</b>
Remoção dos resíduos por mineração com tratamento térmico por gaseificação									5
Coleta de lixiviado / água contaminada através do sistema de bombeamento pressurizado									5
Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento									5
Sistema ativo de coleta de gases									5
Tratamento físico, químico ou biológico da água contaminada / lixiviado									5
Ventilação passiva dos gases									5
Controle da área									2,5
<b>Valor total do cenário: R\$ 0,00</b>									
<p><b>Cenário indicado:</b> Retirada dos resíduos, porque embora o lixão não esteja em local com restrição conforme a legislação, a área do lixão não atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, não possibilitando a operação de um aterro sanitário no local por período superior a 15 anos; A maioria dos resíduos não estão estabilizados; O clima da região não é árido ou semiárido; A região não tem mais evapotranspiração do que chuvas;</p>									
<p>* Preenchimento obrigatório para fins de cadastro do lixão.</p>									
									<input type="button" value="✓ Salvar"/> <input type="button" value="⊗ Cancelar"/>

Fonte: Próprio autor

#### 4.3.2.10 Lixão CV4

O lixão CV4 é de médio à grande porte, ainda em atividade e recebe todas as classes de resíduos, incluindo os hospitalares. Está localizado entre 100 a 200 m do mar, para onde aponta o fluxo do lixiviado em decorrência da declividade ondulada do terreno. De acordo com a Figura 17 foi o lixão que obteve maior pontuação entre os dez lixões e conforme a Figura 19, ficou entre os três lixões de maior pontuação em cinco categorias, corroborando o alto nível de impacto que lhe foi atribuído pelo *software*. Porém, seu maior destaque foi nas situações, por terem sido identificadas a ocorrência das três situações possíveis, acrescentando 300 pontos na pontuação do lixão.

A espessura da camada de resíduos é maior que 10 m, os resíduos não encontram-se estabilizados, e há dispersão de resíduos no entorno. Não existe impermeabilização inferior e superior e nem coleta e tratamento dos lixiviados e gases. Foi constatada a presença frequente de odores, queima de resíduos e lixiviado nos taludes, aterros e entornos. Também identificou-se a presença de falhas, fraturas e carstificação intensa no terreno. Os dados sobre a contaminação do solo e águas subterrâneas são inexistentes, assim como as informações sobre possíveis pontos de alimentação de água para uso doméstico.

Existem menos de dez residências em um raio de 500 m, mas há presença de hospital, creche, escola ou asilo num raio de 500 m. Ocasionalmente ocorrem atividades agropecuárias nas proximidades, e por se tratar de uma área destinada ao turismo, a área ou entorno são utilizados para atividades de lazer. O lixão não possui isolamento físico, barreira vegetal e não é vigiado. Há presença de catadores e animais na área.

Este lixão ficou entre os de maior incerteza no diagnóstico, pela falta de informações a cerca da contaminação do solo e águas subterrâneas, distância de um ponto de alimentação de água subterrânea potável de uso doméstico, distância de um ponto de alimentação em água superficial potável para o uso doméstico, danos materiais e à saúde da população residente no lixão e/ou entorno, desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixão, danos aos animais domésticos e/ou selvagens, ocorrência de



explosões recentes, possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás.

Na Figura 29 constata-se que o cenário indicado pelo *software* para o lixão CV4 foi a retirada dos resíduos através da remoção direta para aterro sanitário, pois o lixão encontra-se em local com restrição conforme a legislação.

As técnicas de remediação sugeridas pelo *software* dizem respeito a coleta e tratamento de lixiviado, água contaminada e gases, assim como o controle da área, demonstrando que o *software* sugere corretamente as técnicas adequadas aos fatos constatados no lixão.

Figura 29: Cenário e técnicas de remediação indicadas pelo ReLix para o lixão CV4

Cenário(s) de remediação para o lixão: Lixão CV4	
Cenário	Pontuação
Retirada dos resíduos	8,5
Confinamento dos resíduos	4
Conversão em aterro sanitário	1,6667

Técnica(s) de remediação indicada(s) para o cenário selecionado:	
Técnica	Pontuação
Remoção direta para aterro sanitário	5
Coleta de lixiviado / água contaminada através do sistema de bombeamento pressurizado	5
Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento	5
Controle da área	5
Sistema ativo de coleta de gases	5
Tratamento físico, químico ou biológico da água contaminada / lixiviado	5
Ventilação passiva dos gases	5

**Valor total do cenário: R\$ 0,00**

**Cenário indicado:** Retirada dos resíduos, porque o lixão está em local com restrição conforme a legislação.

\* Preenchimento obrigatório para fins de cadastro do lixão.

Fonte: Próprio autor

Conforme observado na Figura 17, dos quatro lixões de Cabo Verde, os três situados na Ilha de Santiago estavam entre os cinco que apresentaram menor pontuação entre os dez lixões avaliados, seguidos dos lixões brasileiros de Santa Catarina, São Paulo, Rio Grande do Sul e finalmente o lixão de Cabo Verde localizado na Ilha do Fogo.

Ainda que a maioria dos lixões diagnosticados pelo *software* tenham sido classificados como de médio impacto, eles possuem faixas de valores distintas, que os dividem em três grupos. No primeiro grupo estão os três lixões de Cabo Verde, que obtiveram pontuação entre 200 e 300 pontos. No segundo grupo incluem-se os três lixões de Santa Catarina com pontuação entre 300 e 400 pontos. O terceiro grupo é composto pelos lixões de SP, RS e CV4, que tiveram pontuação acima de 400 pontos, sendo que os lixões RS e CV4 foram classificados com nível de alto impacto, especialmente pela identificação de duas situações para o lixão RS e três para o lixão CV4.

Em resumo, o lixão CV4 tem maior prioridade de remediação, seguido do lixão RS, SP, SC2, SC3, SC1, CV3, CV2 e CV1. Esta prioridade é sugerida automaticamente pelo ReLix ao listar todos os lixões em ordem decrescente de pontuação, conforme visto na Figura 12. Esta funcionalidade facilita a interpretação do diagnóstico e o processo decisório.

É preciso destacar que dos lixões classificados com nível de impacto médio, o lixão que obteve menor pontuação (Lixão CV1) estava à 30 pontos do nível de impacto baixo, enquanto o que obteve maior pontuação (Lixão SP) estava à 9 pontos do nível de impacto alto. Portanto, embora eles tenham sido classificados como impacto médio, ambos estavam próximos aos limites de mudança de nível de impacto, corroborando que a pontuação conferida a eles pelo *software* permite às partes interessadas analisar caso a caso para tomar a decisão mais adequada sobre as prioridades de remediação e a escolha do cenário e técnicas de remediação entre dois ou mais lixões.

#### 4.3.2.11 Validação do módulo de cenários de remediação

A avaliação do ReLix nesta etapa ocorreu por uma banca de quatro especialistas por meio de questionário usando a escala Likert de cinco pontos como opções de respostas, onde:

1 = Não, 2 = Provavelmente não, 3 = Talvez, 4 = Provavelmente sim, 5 = Sim.

Os questionários de avaliação encontram-se preenchidos no APÊNDICE B, e estão compilados na Tabela 8. Nesta, o especialista 1 avaliou o lixão RJ, o especialista 2 avaliou o lixão SC e os especialistas 3 e 4 avaliaram os quatro lixões de Cabo Verde.

De acordo com a Tabela 11, entre os seis lixões avaliados nesta etapa, os lixões CV2, RJ, CV1, CV3 e SC2 foram considerados pelo ReLix como de médio impacto, e o lixão CV4 de alto impacto. O cenário de remediação indicado pelo ReLix para o lixão CV3 foi o confinamento dos resíduos e para os demais lixões foi a retirada dos resíduos.

Os resultados da avaliação do ReLix observado na Tabela 8, demonstram que a média geral da avaliação feita pelos especialistas foi 4,6. Tendo em vista que a pontuação máxima é 5 pontos, pode-se afirmar que numa escala de confiabilidade de 0 a 100 %, a ferramenta é 92 % confiável, o que significa que é consenso entre os especialistas que:

- A ferramenta é fácil de entender e usar;
- O diagnóstico feito pelo *software* é coerente com o diagnóstico feito pelos especialistas;
- O ReLix é capaz de auxiliar as partes interessadas no estabelecimento das prioridades de remediação;
- A ferramenta classifica os cenários e indica as técnicas de remediação de forma adequada.

Desta forma, ferramenta desenvolvida atingiu os objetivos deste trabalho, atendendo a realidade brasileira. Além disso, devido aos testes bem sucedidos em Cabo Verde, a ferramenta também demonstrou ser capaz de auxiliar a remediação de lixões de RSU em outros países, desde que seja implementada a tradução para outros idiomas. Portanto, considera-se que a ferramenta foi validada com êxito.

Tabela 8: Resumo da avaliação do ReLix feita pelos especialistas

Questão	E1	E2	E3	E4	Média
O manual do usuário é de fácil entendimento e permite aprender a utilizar o <i>software</i> sem auxílio técnico?	5	5	5	5	5,0
A interface do <i>software</i> é amigável e de fácil utilização?	4	5	5	5	4,8
Com base na sua experiência, o diagnóstico feito pelo <i>software</i> é coerente com o seu diagnóstico?	4	5	5	5	4,8
O diagnóstico feito pelo <i>software</i> , corresponde ao diagnóstico do caso real?	1	5	5	5	4,0
O <i>software</i> é capaz de apoiar a decisão sobre as prioridades de remediação entre dois ou mais lixões?	5	4	5	5	4,8
Tendo em vista que o <i>software</i> classifica os cenários de remediação para determinado lixão em ordem decrescente de pontuação e que o cenário de maior pontuação é o mais indicado, a ordem dos cenários estabelecida pelo <i>software</i> está na sequência que você entende como adequada?	3	5	5	5	4,5
O cenário indicado pelo <i>software</i> equivale ao do cenário real ou ao cenário que você entende como adequado?	2	5	5	5	4,3
Quão próximo dos motivos reais estão os motivos fornecidos pelo <i>software</i> para a indicação do cenário (destacado em amarelo no rodapé da aba cenário)?	3	4	5	5	4,3
As técnicas de remediação indicadas pelo <i>software</i> são equivalentes as técnicas aplicadas no caso real ou as que você entende como adequadas para a remediação do lixão?	4	5	5	5	4,8
				<b>Média Geral</b>	<b>4,6</b>

Legenda: E1 = Especialista 1; E2 = Especialista 2; E3 = Especialista 3; E4 = Especialista 4

Fonte: Próprio autor

## 5 CONCLUSÃO

A FAD desenvolvida neste trabalho originou um *software* chamado ReLix, que foi projetado inicialmente para atender a realidade brasileira, mas devido aos testes bem sucedidos feitos em Cabo Verde, também se mostrou capaz de auxiliar a remediação de lixões em outros países.

A validação da ferramenta foi feita por uma banca de especialistas que a testaram em lixões do Brasil e de Cabo Verde e a avaliaram como:

- Fácil de entender e usar;
- Fornece um diagnóstico apropriado para lixões de RSU;
- Classifica os cenários e indica as técnicas de remediação de forma adequada, sem considerar os custos envolvidos no processo;
- É capaz de auxiliar as partes interessadas na tomada de decisão quanto ao estabelecimento das prioridades de remediação e na escolha do cenário de remediação.

## 6 RECOMENDAÇÕES

Ao longo deste trabalho percebeu-se que a falta de informação sobre os lixões somada ao baixo investimento em saneamento básico, sobretudo para a remediação de lixões, constitui uma grande barreira para a eliminação dos lixões em nível nacional, por isso recomenda-se aos órgãos que representam os interesses da sociedade:

- Alocar recursos para o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais necessárias à remediação dos lixões;
- Realizar força tarefa para mapear e obter todas as informações necessárias ao diagnóstico dos lixões brasileiros;
- Definir de diretrizes claras para as esferas federal, estadual e municipal, especialmente quanto ao estabelecimento de metas para as instâncias executoras, a indicação das responsabilidades, competências, os prazos e a alocação de recursos.

Tendo em vista a continuidade deste trabalho, recomenda-se para trabalhos futuros:

- Desenvolver um módulo para a análise da viabilidade econômica da remediação dos lixões diagnosticados pela ferramenta;
- Implementar a exportação de relatórios e a tradução da interface do *software* para outros idiomas;
- Disponibilizar o *software* em outras plataformas.

## 7 REFERÊNCIAS

**ABNT. ABNT NBR 8849 - APRESENTAÇÃO DE PROJETOS DE ATERROS CONTROLADOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.** Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1985.

**ABNT. NBR 11174: Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III – inertes.** Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1990.

**ABNT. NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1992.

**ABNT. NBR 13591: Compostagem.** Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1996.

**ABNT. NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1997.

**ABNT. NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.** Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2001.

**ABNT. NBR 9191: Sacos plásticos para acondicionamento de lixo - Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2002.

**ABNT. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação.** 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2004a.

**ABNT. NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.** 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2004b.

**ABNT. NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.** 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2004c.



ABNT. **NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2004d.

ABNT. **ABNT NBR ISO 14042 - Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida - Avaliação do impacto do ciclo de vida**. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2004e.

ABNT. **ABNT NBR 15515-1 - Passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 1: Avaliação preliminar**. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2007.

ABNT. **ABNT NBR 15515-2 - Passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 1: Investigação confirmatória**. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2011.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, SP: 2013.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, SP: 2015.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, SP: 2017.

ABUSHAMMALA, M. F. M. *et al.* Methane and carbon dioxide emissions from Sungai Sedu open dumping during wet season in Malaysia. **Ecological Engineering**, v. 49, p. 254–263, dez. 2012.

ADEME. **Remise en état des décharges : méthodes et techniques**. ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, 2005. Disponível em: <http://www.ademe.fr/remise-etat-decharges-methodes-techniques>. Acesso em: 9 maio. 2016.

ALI, S. M. *et al.* Open dumping of municipal solid waste and its hazardous impacts on soil and vegetation diversity at waste dumping sites of Islamabad city. **Journal of King Saud University - Science**, v. 26, n. 1, p. 59–65, jan. 2014.

ALTAFIN, I. G. **Municípios pedem mais prazo para apresentar planos de gestão e acabar com lixões - Senado Federal - Portal de Notícias**. Disponível em:

<http://www12.senado.gov.br/noticias/materias/2014/04/02/municipio-s-pedem-mais-prazo-para-apresentar-planos-de-gestao-e-acabar-com-lixoes>. Acesso em: 8 out. 2015.

BEZERRA, E. **Princípios de Análise e Projeto de Sistemas Com UML**. [S.l.], 2007.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **UML: Guia do usuário**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

BOSMANS, A. *et al.* The crucial role of Waste-to-Energy technologies in enhanced landfill mining: a technology review. **Journal of Cleaner Production**, v. 55, p. 10–23, 15 set. 2013.

BOYER, I. *et al.* **Decision Tool For Landfill Remediation**. Brooks AFB, TX 78235-5363, 1999.

BRAGA, B. *et al.* **Introdução À Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. **LEI Nº 2.312, DE 3 DE SETEMBRO DE 1954**. Normas Gerais sobre Defesa e Proteção da Saúde. Brasília, DF: Presidência da República, 1954. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1950-1969/L2312.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L2312.htm). Acesso em: 19 ago. 2018.

BRASIL. **LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1981 Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm). Acesso em: 19 ago. 2018.

BRASIL. **Resolução Conama Nº 001, de 23 de Janeiro de 1986**. estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de

Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Ministério do Meio Ambiente (MMA), 1986.

Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>.

Acesso em: 8 maio. 2016

**BRASIL. Resolução CONAMA 237, de 19 de dezembro de 1997.**

Procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental.

Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Ministério do Meio Ambiente (MMA), 1997. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>.

Acesso em: 19 ago. 2018.

**BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** Dispõe Sobre As Sanções Penais e Administrativas Derivadas de Condutas e Atividades Lesivas Ao Meio Ambiente, e Dá Outras Providências.

Brasília, DF: Presidência da República, 1998 Disponível em: [http://](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm)

[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm). Acesso em: 12 abr. 2017.

**BRASIL. Resolução CONAMA Nº 275/2001.** Estabelece código de cores para diferentes tipos de resíduos na coleta seletiva. Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2001. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=273>.

Acesso em: 19 ago. 2018.

**BRASIL. Resolução CONAMA Nº 316, de 29 de outubro de 2002.** Dispõe sobre procedimentos e critérios para o

funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.

Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2002. Disponível em:

[http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CO NS\\_2002\\_316.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CO NS_2002_316.pdf). Acesso em: 9 maio. 2016

**BRASIL. Resolução CONAMA Nº 404/2008.** Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. Brasília, DF: Conselho

Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=592>. Acesso em: 19 ago. 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui A Política Nacional de Resíduos Sólidos; Altera A Lei no 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998; e Dá Outras Providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 12 abr. 2017.

BRASIL. **PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2011. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/253/\\_publicacao/253\\_publicacao\\_02022012041757.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao_02022012041757.pdf). Acesso em: 25 mar. 2019.

BURLAKOV, J. *et al.* Paradigms on landfill mining: From dump site scavenging to ecosystem services revitalization. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 123, p. 73–84, 1 ago. 2017.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. DE *et al.* Catadores de materiais recicláveis: análise das condições de trabalho e infraestrutura operacional no Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, n. 11, p. 3115–3124, nov. 2013.

COELHO, L. M. G. **DESNVOLVIMENTO DE MODELOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA VALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE EM SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS E URBANOS**. Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

CONSERVATION INTERNATIONAL. **Why Hotspots Matter - Conservation International**, 2019. Disponível em: <https://www.conservation.org/How/Pages/Hotspots.aspx>. Acesso em: 4 jun. 2019.

DALMORO, M.; VIEIRA, K. M. Dilemas na construção de escalas Tipo Likert: o número de itens e a disposição influenciam nos

resultados? **Revista Gestão Organizacional**, v. 6, n. 3, 28 jul. 2014.

DELLASALA, D. A. *et al.* Biodiversity Hotspots. **Encyclopedia of the Anthropocene**, p. 67–75, 1 jan. 2018.

DOBRAJA, K.; BARISA, A.; ROSA, M. Cost-benefit Analysis of Integrated Approach of Waste and Energy Management. **Energy Procedia**, v. 95, p. 104–111, 1 set. 2016.

DUBEY, A.; CHAKRABARTI, M.; PANDIT, D. Landfill Mining as a Remediation Technique for Open Dumpsites in India. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 319–327, 1 jan. 2016.

FEAM. **Reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte, MG: 2010. Disponível em: [http://www.feam.br/images/stories/Flavia/areas\\_degradadas.pdf](http://www.feam.br/images/stories/Flavia/areas_degradadas.pdf). Acesso em: 14 jun. 2018.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. DA. **MANUAL PRÁTICO PARA A COMPOSTAGEM DE BIODISSÓLIDOS**. Londrina, PR: Universidade Estadual de Londrina, s.d. Disponível em: [https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro\\_Compostagem.pdf](https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro_Compostagem.pdf). Acesso em: 25 mar. 2019.

FOWLER, M. **UML essencial: Um breve guia para a linguagem padrão de modelagem de objetos**. 3. ed. Porto Alegre, RS: 2005.

GABBAR, H. A.; ABOUGHALY, M.; AYOUB, N. Comparative study of MSW heat treatment processes and electricity generation. **Journal of the Energy Institute**, 8 maio 2017.

GOMES, L. P. *et al.* Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 449–462, set. 2015.

GUEDES, G. T. A. **UML 2: Uma abordagem prática**. 2. ed. São Paulo, SP: Novatec, 2011.

HOGLAND, W.; MARQUES, M.; NIMMERMARK, S. Landfill mining and waste characterization: a strategy for remediation of contaminated areas. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 6, n. 2, p. 119–124, set. 2004.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a Waste** : A Global Review of Solid Waste Management, 2012. Disponível em [https://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What\\_a\\_Waste2012\\_Final.pdf](https://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf). Acesso em 14 jun. 2018.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro, RJ: 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/>. Acesso em: 13 abr. 2017.

IPCC, 2013: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>. Acesso em: 19 ago. 2018.

JOSEPH, K. *et al.* **Dumpsite Rehabilitation Manual**. Chennai, Chennai-600 025, India: Anna University Chennai, 2008.

KOBAYASHI, Y.; OKADA, K.; MORI, A. S. Reconsidering biodiversity hotspots based on the rate of historical land-use change. **Biological Conservation**, v. 233, p. 268–275, 1 maio 2019.

LAM, C.-M. *et al.* Life-cycle cost-benefit analysis on sustainable food waste management: The case of Hong Kong International Airport. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 751–762, 20 jun. 2018.

LEONETI, A. B.; PRADO, E. L. DO; OLIVEIRA, S. V. W. B. DE. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e

sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração Pública**, v. 45, n. 2, p. 331–348, abr. 2011.

LIMA, J. D. DE *et al.* Uso de modelos de apoio à decisão para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na Região Sul do Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 33–42, mar. 2014.

MAHESHI, D.; STEVEN, V. P.; KAREL, V. A. Environmental and economic assessment of “open waste dump” mining in Sri Lanka. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 102, p. 67–79, set. 2015.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. DE P.; VALLE, T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Administração Pública**, v. 52, n. 1, p. 24–51, jan. 2018.

MAKARICHI, L.; TECHATO, K.; JUTIDAMRONGPHAN, W. Material flow analysis as a support tool for multi-criteria analysis in solid waste management decision-making. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 139, p. 351–365, 1 dez. 2018.

MALINOWSKY, C. **Tratamento dos resíduos sólidos orgânicos da UFSC através de biodigestor anaeróbio**. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

MARCHEZETTI, A. L.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. C. B. Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 2, p. 173–187, jun. 2011.

MASI, S. *et al.* Assessment of the possible reuse of MSW coming from landfill mining of old open dumpsites. **Waste management (New York, N.Y.)**, v. 34, n. 3, p. 702–10, mar. 2014.

MEADOWS, D. H. *et al.* **The limits to growth**. New York, 1972.

MONTEIRO, J. H. P. *et al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, RJ: 2001.

NUCASE. NÚCLEO SUDESTE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL. Resíduos Sólidos: Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários.: Guia do profissional em treinamento: Nível 2. **ReCESA**, p. 112, 2008.

RAMOS, N. F. **Proposição de metodologia para apoio à decisão para a recuperação de área degradada por disposição irregular de resíduos sólidos urbanos**. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

RAMOS, N. F. *et al.* Desenvolvimento de ferramenta para diagnóstico ambiental de lixões de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1233–1241, dez. 2017.

SAATY, T. L. SOME MATHEMATICAL CONCEPTS OF THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS. **Behaviormetrika**, v. 18, n. 29, p. 1–9, 1991.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo, 2008.

SANTA CATARINA. **LEI Nº 13.557, de 17 de novembro de 2005**. Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Santa Catarina, 2005. Disponível em: [http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2005/13557\\_2005\\_Lei.html](http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2005/13557_2005_Lei.html). Acesso em: 4 mar. 2018.

SCS ENGINEERS. **COMPARISON OF MODELS FOR PREDICTING LANDFILL METHANE RECOVERY**. Maryland, 1997. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/legosti/fy97/26041.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2018.

SDS. **Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PEGIRS**, 2012. Disponível em: <http://www.sds.sc.gov.br/index.php/biblioteca/pastas-tematicas/meio-ambiente/gesol>. Acesso em: 13 jul. 2019.



SENADO FEDERAL. **PROJETO DE LEI DO SENADO nº 425, de 2014**. Prorroga o prazo para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos de que trata o art. 54 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, 2014. Disponível em: <http://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/119536>. Acesso em: 12 abr. 2017.

SENAR. **Programa Olericultura Orgânica**. São Paulo, SP: [s.n], 2009.

SIMONETTO, E. DE O.; LÖBLER, M. L. Simulação baseada em System Dynamics para avaliação de cenários sobre geração e disposição de resíduos sólidos urbanos. **Production**, v. 24, n. 1, p. 212–224, 2 jul. 2013.

SNIS. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2011**, 2011. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2011>. Acesso em: 4 maio. 2019.

SNIS. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2012**, 2012. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2012>. Acesso em: 4 maio. 2019.

SNIS. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2013**, 2013. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2013>. Acesso em: 4 maio. 2019.

SNIS. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2014**, 2014. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2014>. Acesso em: 4 maio. 2019.

SNIS. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2015**, 2015. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2015>. Acesso em: 4 maio. 2019.

SNIS. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2016**, 2016. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2016>. Acesso em: 4 maio. 2019.

UNEP. **SOLID WASTE MANAGEMENT**. Nairobi, Kenya: 2005. Disponível em:

[http://www.unep.or.jp/ietc/publications/spc/solid\\_waste\\_management/Vol\\_I/Binder1.pdf](http://www.unep.or.jp/ietc/publications/spc/solid_waste_management/Vol_I/Binder1.pdf). Acesso em: 14 jun. 2018.

USEPA. **Handbook Remedial Action at Waste Disposal Sites (Revised)**. Disponível em: <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=2000GVXJ.txt>. Acesso em: 13 jun. 2019.

USEPA. **LANDFILL MANUALS: LANDFILL OPERATIONAL PRACTICES**. Ardcavan, Wexford, Ireland, 1997. Disponível em: <https://www.epa.ie/pubs/advice/waste/waste/EPA%20Landfill%20Operational%20Practices.pdf>. Acesso em 14 jun. 2018.

USEPA. **Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide**. 2. ed, 1994. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=2000KG7K.TXT>. Acesso em: 7 dez. 2017.

USEPA. **Technical Guidance For RCRA/CERCLA Final Covers**. Washington DC, 2004. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P10074PP.TXT>. Acesso em 14 jun. 2018.

USEPA. **Fact Sheet on Evapotranspiration Cover Systems for Waste Containment**. United States of America, 2011. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100AD75.TXT>. Acesso em: 13 jun. 2019.

WILLIAMS, P. T. **Waste Treatment and Disposal**. 2. ed. England: John Wiley & Sons Ltd, 2005.

YOU, S. *et al.* Comparison of the co-gasification of sewage sludge and food wastes and cost-benefit analysis of gasification- and incineration-based waste treatment schemes. **Bioresource Technology**, v. 218, p. 595–605, 1 out. 2016.

ZAMAN, A. U. Comparative study of municipal solid waste treatment technologies using life cycle assessment method. **International Journal of Environmental Science & Technology**, v. 7, n. 2, p. 225–234, 1 mar. 2010.

ZHOU, C. *et al.* A cost-benefit analysis of landfill mining and material recycling in China. **Waste management (New York, N.Y.)**, v. 35, p. 191–8, jan. 2015.

## 8 APÊNDICE A

### Questionário de avaliação do software ReLix – Lixão SC1

1) O manual do usuário é de fácil entendimento, permitindo ao usuário aprender a utilizar o *software* sem necessidade de auxílio técnico?

( x ) Sim

( ) Não

Sugestões:

2) A interface do *software* é amigável e de fácil utilização?

( x ) Sim

( ) Não

Sugestões:

3) Com base na sua experiência, o diagnóstico feito pelo *software* é coerente com o seu diagnóstico?

( x ) Sim

( ) Não

Sugestões:

4) Quantos lixões você diagnosticou com o *software*?

Resposta: 1

5) O *software* auxiliou na decisão das prioridades de remediação dos lixões?

( x ) Sim

( ) Não

Sugestões:

6) Você detectou alguma falha ou tem alguma sugestão para a melhoria do *software*?

( ) Sim

( x ) Não

Se sim, qual:

### Questionário de avaliação do software ReLix – Lixão SC2

1) O manual do usuário é de fácil entendimento, permitindo ao usuário aprender a utilizar o *software* sem necessidade de auxílio técnico?

( x ) Sim

( ) Não

Sugestões:

2) A interface do *software* é amigável e de fácil utilização?

( x ) Sim

( ) Não

Sugestões:

3) Com base na sua experiência, o diagnóstico feito pelo *software* é coerente com o seu diagnóstico?

( x ) Sim

( ) Não

Sugestões:

4) Quantos lixões você diagnosticou com o *software*?

Resposta:

5) O *software* auxiliou na decisão das prioridades de remediação dos lixões?

Sim

Não

Sugestões:

6) Você detectou alguma falha ou tem alguma sugestão para a melhoria do *software*?

Sim

Não

Se sim, qual:

### Questionário de avaliação do *software* ReLix – Lixão SC3

1) O manual do usuário é de fácil entendimento, permitindo ao usuário aprender a utilizar o *software* sem necessidade de auxílio técnico?

Sim

Não

Sugestões:

2) A interface do *software* é amigável e de fácil utilização?

Sim

Não

Sugestões:

3) Com base na sua experiência, o diagnóstico feito pelo *software* é coerente com o seu diagnóstico?

Sim

Não

Sugestões:

4) Quantos lixões você diagnosticou com o *software*?

Resposta: 1

5) O *software* auxiliou na decisão das prioridades de remediação dos lixões?

Sim

Não

Sugestões:

6) Você detectou alguma falha ou tem alguma sugestão para a melhoria do *software*?

Sim

Não

Se sim, qual:

1. Quantidade de corpos hídricos: trocar o “sim e não” por uma resposta que o usuário digite a quantidade;

2. Natureza dos resíduos: Trocar a palavra “predominância” por “presença”;

3. Natureza dos resíduos: Havia resíduos classe I, porém não apareceu no diagnóstico;

4. Na aba “Social”, mudar para “meio social”;

### Questionário de avaliação do software ReLix – Lixão RS

1) O manual do usuário é de fácil entendimento, permitindo ao usuário aprender a utilizar o *software* sem necessidade de auxílio técnico?

Sim

Não

Sugestões:

2) A interface do *software* é amigável e de fácil utilização?

Sim

Não

Sugestões:

3) Com base na sua experiência, o diagnóstico feito pelo *software* é coerente com o seu diagnóstico?

Sim

Não

Sugestões:

4) Quantos lixões você diagnosticou com o *software*?

Resposta: 1

5) O *software* auxiliou na decisão das prioridades de remediação dos lixões?

Sim

Não

Sugestões: O *software* (*software* é em inglês!!!) permite ter uma ideia sim das prioridades, em embora pareço pouco aprofundado.

6) Você detectou alguma falha ou tem alguma sugestão para a melhoria do *software*?

Sim

Não

Se sim, qual: O *software* poderia aviar quais campos não foram preenchidos. Eu levei um tempinho para descobrir onde eu não tinha preenchido

### Questionário de avaliação do software ReLix – Lixão SP

1) O manual do usuário é de fácil entendimento, permitindo ao usuário aprender a utilizar o *software* sem necessidade de auxílio técnico?

Sim

Não

Sugestões:

2) A interface do *software* é amigável e de fácil utilização?

Sim

Não

Sugestões:

3) Com base na sua experiência, o diagnóstico feito pelo *software* é coerente com o seu diagnóstico?

Sim

Não

Sugestões:

4) Quantos lixões você diagnosticou com o *software*?

Resposta: 1

5) O *software* auxiliou na decisão das prioridades de remediação dos lixões?

Sim

Não

Sugestões: O *software* (*software* é em inglês!!!) permite ter uma ideia sim das prioridades, em embora pareço pouco aprofundado.

6) Você detectou alguma falha ou tem alguma sugestão para a melhoria do *software*?

Sim

Não

Se sim, qual:

- Indicar quais campos não foram preenchidos;

- Uma forma de exportar o arquivo referente a cada lixão também seria legal. :)

## 9 APÊNDICE B

### Questionário de avaliação do software ReLix

#### Especialista 1

1) Preencha a tabela abaixo, referente ao diagnóstico, cenário e técnicas de remediação feitos no caso real, para o lixão que você usou no ReLix. Caso tenha usado mais de um lixão, reproduzir a tabela para os outros lixões. Caso o lixão não tenha sido remediado, responder com base no seu entendimento sobre o lixão.

#### Nome do Lixão: Lixão RJ

Município / UF / País: Vassouras / RJ / Brasil

a) Nível de impacto do lixão (pode ser estimado caso não tenha sido atribuído um no caso real):

- ( ) Reduzido  
 ( X ) Baixo  
 ( ) Médio  
 ( ) Alto

b) Ordenar de 1 a 6 em quais categorias o lixão foi mais impactado, sendo 1=menos impactado e 6=mais impactado

- ( 3 ) Caracterização do lixão  
 ( 6 ) Solo e águas subterrâneas  
 ( 5 ) Águas superficiais  
 ( 2 ) Meio social  
 ( 4 ) Meio natural e paisagens  
 ( 1 ) Meio atmosférico

c) Cenário de remediação aplicado ao lixão, ou cenário que o especialista entende como adequado caso o lixão não tenha sido remediado:

- ( ) Confinamento dos resíduos  
 ( ) Conversão em aterro sanitário  
 ( X ) Retirada dos resíduos

d) Técnicas de remediação aplicadas ou aplicáveis ao lixão:

- ( X ) Melhoria da cobertura existente  
 ( X ) Cobertura de barreira única ou cobertura de barreira dupla (barreiras hidráulicas)  
 ( X ) Cobertura com evapotranspiração  
 ( ) Remoção direta de *hostspot* para aterro sanitário  
 ( ) Remoção de *hotspot* por mineração  
 ( ) Tratamento térmico dos resíduos. Qual: \_\_\_\_\_  
 ( ) Instalação de aterro sanitário  
 ( ) Remoção direta dos resíduos do lixão para aterro sanitário



- ( ) Remoção dos resíduos do lixão por mineração  
 ( X ) Controle da área  
 ( ) Controle da água subterrânea. Como: \_\_\_\_\_  
 ( ) Coleta de lixiviado. Como: \_\_\_\_\_  
 ( ) Tratamento físico, químico e biológico da água subterrânea.  
 ( ) Sistema ativo de coleta de gases  
 ( X ) Ventilação passiva de gás  
 ( ) Tratamento do gás. Qual: \_\_\_\_\_

**ORIENTAÇÕES:** desse ponto em diante, todas as perguntas estão no formato de escala Likert, como no exemplo abaixo. O avaliador precisa ler a pergunta e atribuir como resposta uma pontuação de 1 a 5, onde: 1 = Não, 2 = Provavelmente não, 3 = Talvez, 4 = Provavelmente sim, 5 = Sim. Para isso basta assinalar um "X" abaixo da pontuação escolhida.

	1	2	3	4	5	
Não						Sim

2) O manual do usuário é de fácil entendimento e permite aprender a utilizar o *software* sem auxílio técnico?

	1	2	3	4	5	
Não					X	Sim

3) A *interface* do *software* é amigável e de fácil utilização?

	1	2	3	4	5	
Não				X		Sim

4) Com base na sua experiência, o diagnóstico feito pelo *software* é coerente com o seu diagnóstico?

	1	2	3	4	5	
Não				X		Sim

5) O diagnóstico feito pelo *software*, corresponde ao diagnóstico do caso real?

	1	2	3	4	5	
Não	X					Sim

6) O *software* é capaz de apoiar a decisão sobre as prioridades de remediação entre dois ou mais lixões?

	1	2	3	4	5	
Não						Sim

				X
--	--	--	--	---

7) Tendo em vista que o *software* classifica os cenários de remediação para determinado lixão em ordem decrescente de pontuação e que o cenário de maior pontuação é o mais indicado, a ordem dos cenários estabelecida pelo *software* está na sequência que você entende como adequada?

	1	2	3	4	5	
Não			X			Sim

8) O cenário indicado pelo *software* equivale ao do cenário real ou ao cenário que você entende como adequado?

	1	2	3	4	5	
Não		X				Sim

9) Quão próximo dos motivos reais estão os motivos fornecidos pelo *software* para a indicação do cenário (destacado em amarelo no rodapé da aba cenário)?

	1	2	3	4	5	
Totalmente diferentes			X			Exatamente os mesmos

10) As técnicas de remediação indicadas pelo *software* são equivalentes as técnicas aplicadas no caso real ou as que você entende como adequadas para a remediação do lixão?

	1	2	3	4	5	
Não				X		Sim

## Questionário de avaliação do software ReLix

### Especialista 2

1) Preencha a tabela abaixo, referente ao diagnóstico, cenário e técnicas de remediação feitos no caso real, para o lixão que você usou no ReLix. Caso tenha usado mais de um lixão, reproduzir a tabela para os outros lixões. Caso o lixão não tenha sido remediado, responder com base no seu entendimento sobre o lixão.

#### Nome do Lixão: Lixão SC2

Município / UF / País: Içara / SC / Brasil

a) Nível de impacto do lixão (pode ser estimado caso não tenha sido atribuído um no caso real):

- ( ) Reduzido  
 ( X ) Baixo  
 ( ) Médio  
 ( ) Alto

b) Ordenar de 1 a 6 em quais categorias o lixão foi mais impactado, sendo 1=menos impactado e 6=mais impactado

- ( 3 ) Caracterização do lixão  
 ( 6 ) Solo e águas subterrâneas  
 ( 6 ) Águas superficiais  
 ( 3 ) Meio social  
 ( 5 ) Meio natural e paisagens  
 ( 3 ) Meio atmosférico

c) Cenário de remediação aplicado ao lixão, ou cenário que o especialista entende como adequado caso o lixão não tenha sido remediado:

- ( ) Confinamento dos resíduos  
 ( ) Conversão em aterro sanitário  
 ( X ) Retirada dos resíduos

d) Técnicas de remediação aplicadas ou aplicáveis ao lixão:

- ( X ) Melhoria da cobertura existente  
 ( ) Cobertura de barreira única ou cobertura de barreira dupla (barreiras hidráulicas)  
 ( ) Cobertura com evapotranspiração  
 ( X ) Remoção direta de *hotspot* para aterro sanitário  
 ( ) Remoção de *hotspot* por mineração  
 ( ) Tratamento térmico dos resíduos. Qual: \_\_\_\_\_  
 ( ) Instalação de aterro sanitário  
 ( X ) Remoção direta dos resíduos do lixão para aterro sanitário  
 ( ) Remoção dos resíduos do lixão por mineração  
 ( X ) Controle da área

- ( X ) Controle da água subterrânea. Como: \_\_\_\_\_
- ( ) Coleta de lixo. Como: \_\_\_\_\_
- ( ) Tratamento físico, químico e biológico da água subterrânea.
- ( ) Sistema ativo de coleta de gases
- ( ) Ventilação passiva de gás
- ( ) Tratamento do gás. Qual: \_\_\_\_\_

**ORIENTAÇÕES:** desse ponto em diante, todas as perguntas estão no formato de escala Likert, como no exemplo abaixo. O avaliador precisa ler a pergunta e atribuir como resposta uma pontuação de 1 a 5, onde: 1 = Não, 2 = Provavelmente não, 3 = Talvez, 4 = Provavelmente sim, 5 = Sim. Para isso basta assinalar um "X" abaixo da pontuação escolhida.

	1	2	3	4	5	
Não						Sim

2) O manual do usuário é de fácil entendimento e permite aprender a utilizar o *software* sem auxílio técnico?

	1	2	3	4	5	
Não					X	Sim

3) A *interface* do *software* é amigável e de fácil utilização?

	1	2	3	4	5	
Não					X	Sim

4) Com base na sua experiência, o diagnóstico feito pelo *software* é coerente com o seu diagnóstico?

	1	2	3	4	5	
Não					X	Sim

5) O diagnóstico feito pelo *software*, corresponde ao diagnóstico do caso real?

	1	2	3	4	5	
Não					X	Sim

6) O *software* é capaz de apoiar a decisão sobre as prioridades de remediação entre dois ou mais lixões?

	1	2	3	4	5	
Não				X		Sim

7) Tendo em vista que o *software* classifica os cenários de remediação para determinado lixão em ordem decrescente de pontuação e que o cenário de maior pontuação é o mais indicado, a ordem dos cenários estabelecida pelo *software* está na sequência que você entende como adequada?

	1	2	3	4	5	
Não					X	Sim

8) O cenário indicado pelo *software* equivale ao do cenário real ou ao cenário que você entende como adequado?

	1	2	3	4	5	
Não					X	Sim

9) Quão próximo dos motivos reais estão os motivos fornecidos pelo *software* para a indicação do cenário (destacado em amarelo no rodapé da aba cenário)?

	1	2	3	4	5	
Totalmente diferentes				X		Exatamente os mesmos

10) As técnicas de remediação indicadas pelo *software* são equivalentes às técnicas aplicadas no caso real ou as que você entende como adequadas para a remediação do lixão?

	1	2	3	4	5	
Não					X	Sim

**Questionário de avaliação do software ReLix****Especialista 3**

1) Preencha a tabela abaixo, referente ao diagnóstico, cenário e técnicas de remediação feitos no caso real, para o lixão que você usou no ReLix. Caso tenha usado mais de um lixão, reproduzir a tabela para os outros lixões. Caso o lixão não tenha sido remediado, responder com base no seu entendimento sobre o lixão.

**Nome do Lixão: Lixão CV1**

Município / UF / País: Praia / Santiago / Cabo Verde

a) Nível de impacto do lixão (pode ser estimado caso não tenha sido atribuído um no caso real):

- Reduzido
- Baixo
- Médio
- Alto

b) Ordenar de 1 a 6 em quais categorias o lixão foi mais impactado, sendo 1=menos impactado e 6=mais impactado

- 6 ) Caracterização do lixão
- 4 ) Solo e águas subterrâneas
- 1 ) Águas superficiais
- 5 ) Meio social
- 3 ) Meio natural e paisagens
- 2 ) Meio atmosférico

c) Cenário de remediação aplicado ao lixão, ou cenário que o especialista entende como adequado caso o lixão não tenha sido remediado:

- x ) Confinamento dos resíduos
- ) Conversão em aterro sanitário
- ) Retirada dos resíduos

d) Técnicas de remediação aplicadas ou aplicáveis ao lixão:

- x ) Melhoria da cobertura existente
- ) Cobertura de barreira única ou cobertura de barreira dupla (barreiras hidráulicas)
- ) Cobertura com evapotranspiração
- ) Remoção direta de *hotspot* para aterro sanitário
- ) Remoção de *hotspot* por mineração
- ) Tratamento térmico dos resíduos. Qual: \_\_\_\_\_
- ) Instalação de aterro sanitário
- ) Remoção direta dos resíduos do lixão para aterro sanitário
- ) Remoção dos resíduos do lixão por mineração
- x ) Controle da área

- Controle da água subterrânea. Como: \_\_\_\_\_  
 Coleta de lixiviado. Como: \_\_\_\_\_  
 Tratamento físico, químico e biológico da água subterrânea.  
 Sistema ativo de coleta de gases  
 Ventilação passiva de gás  
 Tratamento do gás. Qual: \_\_\_\_\_

**Nome do Lixão: Lixão CV2**

Município / UF / País: Santa Catarina / Santiago / Cabo Verde

a) Nível de impacto do lixão (pode ser estimado caso não tenha sido atribuído um no caso real):

- Reduzido  
 Baixo  
 Médio  
 Alto

b) Ordenar de 1 a 6 em quais categorias o lixão foi mais impactado, sendo 1=menos impactado e 6=mais impactado

- 6) Caracterização do lixão  
 4) Solo e águas subterrâneas  
 1) Águas superficiais  
 5) Meio social  
 2) Meio natural e paisagens  
 3) Meio atmosférico

c) Cenário de remediação aplicado ao lixão, ou cenário que o especialista entende como adequado caso o lixão não tenha sido remediado:

- Confinamento dos resíduos  
 Conversão em aterro sanitário  
 Retirada dos resíduos

d) Técnicas de remediação aplicadas ou aplicáveis ao lixão:

- Melhoria da cobertura existente  
 Cobertura de barreira única ou cobertura de barreira dupla (barreiras hidráulicas)  
 Cobertura com evapotranspiração  
 Remoção direta de *hostspot* para aterro sanitário  
 Remoção de *hotspot* por mineração  
 Tratamento térmico dos resíduos. Qual: \_\_\_\_\_  
 Instalação de aterro sanitário  
 Remoção direta dos resíduos do lixão para aterro sanitário  
 Remoção dos resíduos do lixão por mineração  
 Controle da área  
 Controle da água subterrânea. Como: \_\_\_\_\_  
 Coleta de lixiviado. Como: \_\_\_\_\_  
 Tratamento físico, químico e biológico da água subterrânea.  
 Sistema ativo de coleta de gases  
 Ventilação passiva de gás

( ) Tratamento do gás. Qual: \_\_\_\_\_

**Nome do Lixão: Lixão CV3**

Município / UF / País: Santa Cruz / Santiago / Cabo Verde

a) Nível de impacto do lixão (pode ser estimado caso não tenha sido atribuído um no caso real):

- ( ) Reduzido  
 ( ) Baixo  
 ( X ) Médio  
 ( ) Alto

b) Ordenar de 1 a 6 em quais categorias o lixão foi mais impactado, sendo 1=menos impactado e 6=mais impactado

- ( 5 ) Caracterização do lixão  
 ( 4 ) Solo e águas subterrâneas  
 ( 1 ) Águas superficiais  
 ( 6 ) Meio social  
 ( 2 ) Meio natural e paisagens  
 ( 3 ) Meio atmosférico

c) Cenário de remediação aplicado ao lixão, ou cenário que o especialista entende como adequado caso o lixão não tenha sido remediado:

- ( X ) Confinamento dos resíduos  
 ( ) Conversão em aterro sanitário  
 ( ) Retirada dos resíduos

d) Técnicas de remediação aplicadas ou aplicáveis ao lixão:

- ( X ) Melhoria da cobertura existente  
 ( ) Cobertura de barreira única ou cobertura de barreira dupla (barreiras hidráulicas)  
 ( ) Cobertura com evapotranspiração  
 ( ) Remoção direta de *hostspot* para aterro sanitário  
 ( ) Remoção de *hotspot* por mineração  
 ( ) Tratamento térmico dos resíduos. Qual: \_\_\_\_\_  
 ( ) Instalação de aterro sanitário  
 ( ) Remoção direta dos resíduos do lixão para aterro sanitário  
 ( ) Remoção dos resíduos do lixão por mineração  
 ( X ) Controle da área  
 ( X ) Controle da água subterrânea. Como: \_\_\_\_\_  
 ( ) Coleta de lixiviado. Como: \_\_\_\_\_  
 ( ) Tratamento físico, químico e biológico da água subterrânea.  
 ( ) Sistema ativo de coleta de gases  
 ( X ) Ventilação passiva de gás  
 ( ) Tratamento do gás. Qual: \_\_\_\_\_

**Nome do Lixão: Lixão CV4**

Município / UF / País: S. Filipe / Ilha do Fogo / Cabo Verde



a) Nível de impacto do lixão (pode ser estimado caso não tenha sido atribuído um no caso real):

- ( ) Reduzido  
 ( ) Baixo  
 ( ) Médio  
 ( X ) Alto

b) Ordenar de 1 a 6 em quais categorias o lixão foi mais impactado, sendo 1=menos impactado e 6=mais impactado

- ( 6 ) Caracterização do lixão  
 ( 5 ) Solo e águas subterrâneas  
 ( 1 ) Águas superficiais  
 ( 4 ) Meio social  
 ( 3 ) Meio natural e paisagens  
 ( 2 ) Meio atmosférico

c) Cenário de remediação aplicado ao lixão, ou cenário que o especialista entende como adequado caso o lixão não tenha sido remediado:

- ( ) Confinamento dos resíduos  
 ( ) Conversão em aterro sanitário  
 ( X ) Retirada dos resíduos

d) Técnicas de remediação aplicadas ou aplicáveis ao lixão:

- ( ) Melhoria da cobertura existente  
 ( ) Cobertura de barreira única ou cobertura de barreira dupla (barreiras hidráulicas)  
 ( ) Cobertura com evapotranspiração  
 ( X ) Remoção direta de *hotspot* para aterro sanitário  
 ( ) Remoção de *hotspot* por mineração  
 ( ) Tratamento térmico dos resíduos. Qual: \_\_\_\_\_  
 ( ) Instalação de aterro sanitário  
 ( ) Remoção direta dos resíduos do lixão para aterro sanitário  
 ( ) Remoção dos resíduos do lixão por mineração  
 ( X ) Controle da área  
 ( X ) Controle da água subterrânea. Como: \_\_\_\_\_  
 ( X ) Coleta de lixiviado. Como: \_\_\_\_\_  
 ( X ) Tratamento físico, químico e biológico da água subterrânea.  
 ( ) Sistema ativo de coleta de gases  
 ( X ) Ventilação passiva de gás  
 ( ) Tratamento do gás. Qual: \_\_\_\_\_

**ORIENTAÇÕES:** desse ponto em diante, todas as perguntas estão no formato de escala Likert, como no exemplo abaixo. O avaliador precisa ler a pergunta e atribuir como resposta uma pontuação de 1 a 5, onde: 1 = Não, 2 = Provavelmente não, 3 = Talvez, 4 = Provavelmente sim, 5 = Sim. Para isso basta assinalar um "X" abaixo da pontuação escolhida.

Não	1	2	3	4	5	Sim
-----	---	---	---	---	---	-----



				X
--	--	--	--	---

9) Quão próximo dos motivos reais estão os motivos fornecidos pelo *software* para a indicação do cenário (destacado em amarelo no rodapé da aba cenário)?

	1	2	3	4	5	
Totalmente diferentes					X	Exatamente os mesmos

10) As técnicas de remediação indicadas pelo *software* são equivalentes as técnicas aplicadas no caso real ou as que você entende como adequadas para a remediação do lixão?

	1	2	3	4	5	
Não					X	Sim

**Questionário de avaliação do software ReLix****Especialista 4**

1) Preencha a tabela abaixo, referente ao diagnóstico, cenário e técnicas de remediação feitos no caso real, para o lixão que você usou no ReLix. Caso tenha usado mais de um lixão, reproduzir a tabela para os outros lixões. Caso o lixão não tenha sido remediado, responder com base no seu entendimento sobre o lixão.

**Nome do Lixão: Lixão CV1**

Município / UF / País: Praia / Santiago / Cabo Verde

a) Nível de impacto do lixão (pode ser estimado caso não tenha sido atribuído um no caso real):

- Reduzido
- Baixo
- Médio
- Alto

b) Ordenar de 1 a 6 em quais categorias o lixão foi mais impactado, sendo 1=menos impactado e 6=mais impactado

- 6 ) Caracterização do lixão
- 4 ) Solo e águas subterrâneas
- 1 ) Águas superficiais
- 5 ) Meio social
- 3 ) Meio natural e paisagens
- 2 ) Meio atmosférico

c) Cenário de remediação aplicado ao lixão, ou cenário que o especialista entende como adequado caso o lixão não tenha sido remediado:

- Confinamento dos resíduos
- Conversão em aterro sanitário
- Retirada dos resíduos

d) Técnicas de remediação aplicadas ou aplicáveis ao lixão:

- Melhoria da cobertura existente
- Cobertura de barreira única ou cobertura de barreira dupla (barreiras hidráulicas)
- Cobertura com evapotranspiração
- Remoção direta de *hotspot* para aterro sanitário
- Remoção de *hotspot* por mineração
- Tratamento térmico dos resíduos. Qual: \_\_\_\_\_
- Instalação de aterro sanitário
- Remoção direta dos resíduos do lixão para aterro sanitário
- Remoção dos resíduos do lixão por mineração
- Controle da área

- Controle da água subterrânea. Como: \_\_\_\_\_  
 Coleta de lixiviado. Como: \_\_\_\_\_  
 Tratamento físico, químico e biológico da água subterrânea.  
 Sistema ativo de coleta de gases  
 Ventilação passiva de gás  
 Tratamento do gás. Qual: \_\_\_\_\_

**Nome do Lixão: Lixão CV2**

Município / UF / País: Santa Catarina / Santiago / Cabo Verde

a) Nível de impacto do lixão (pode ser estimado caso não tenha sido atribuído um no caso real):

- Reduzido  
 Baixo  
 Médio  
 Alto

b) Ordenar de 1 a 6 em quais categorias o lixão foi mais impactado, sendo 1=menos impactado e 6=mais impactado

- 6) Caracterização do lixão  
 4) Solo e águas subterrâneas  
 1) Águas superficiais  
 5) Meio social  
 2) Meio natural e paisagens  
 3) Meio atmosférico

c) Cenário de remediação aplicado ao lixão, ou cenário que o especialista entende como adequado caso o lixão não tenha sido remediado:

- Confinamento dos resíduos  
 Conversão em aterro sanitário  
 Retirada dos resíduos

d) Técnicas de remediação aplicadas ou aplicáveis ao lixão:

- Melhoria da cobertura existente  
 Cobertura de barreira única ou cobertura de barreira dupla (barreiras hidráulicas)  
 Cobertura com evapotranspiração  
 Remoção direta de *hostspot* para aterro sanitário  
 Remoção de *hotspot* por mineração  
 Tratamento térmico dos resíduos. Qual: \_\_\_\_\_  
 Instalação de aterro sanitário  
 Remoção direta dos resíduos do lixão para aterro sanitário  
 Remoção dos resíduos do lixão por mineração  
 Controle da área  
 Controle da água subterrânea. Como: \_\_\_\_\_  
 Coleta de lixiviado. Como: \_\_\_\_\_  
 Tratamento físico, químico e biológico da água subterrânea.  
 Sistema ativo de coleta de gases  
 Ventilação passiva de gás

( ) Tratamento do gás. Qual: \_\_\_\_\_

**Nome do Lixão: Lixão CV3**

Município / UF / País: Santa Cruz / Santiago / Cabo Verde

a) Nível de impacto do lixão (pode ser estimado caso não tenha sido atribuído um no caso real):

- ( ) Reduzido  
 ( ) Baixo  
 ( X ) Médio  
 ( ) Alto

b) Ordenar de 1 a 6 em quais categorias o lixão foi mais impactado, sendo 1=menos impactado e 6=mais impactado

- ( 5 ) Caracterização do lixão  
 ( 4 ) Solo e águas subterrâneas  
 ( 1 ) Águas superficiais  
 ( 6 ) Meio social  
 ( 2 ) Meio natural e paisagens  
 ( 3 ) Meio atmosférico

c) Cenário de remediação aplicado ao lixão, ou cenário que o especialista entende como adequado caso o lixão não tenha sido remediado:

- ( X ) Confinamento dos resíduos  
 ( ) Conversão em aterro sanitário  
 ( ) Retirada dos resíduos

d) Técnicas de remediação aplicadas ou aplicáveis ao lixão:

- ( X ) Melhoria da cobertura existente  
 ( ) Cobertura de barreira única ou cobertura de barreira dupla (barreiras hidráulicas)  
 ( ) Cobertura com evapotranspiração  
 ( ) Remoção direta de *hostspot* para aterro sanitário  
 ( ) Remoção de *hotspot* por mineração  
 ( ) Tratamento térmico dos resíduos. Qual: \_\_\_\_\_  
 ( ) Instalação de aterro sanitário  
 ( ) Remoção direta dos resíduos do lixão para aterro sanitário  
 ( ) Remoção dos resíduos do lixão por mineração  
 ( X ) Controle da área  
 ( X ) Controle da água subterrânea. Como: \_\_\_\_\_  
 ( ) Coleta de lixiviado. Como: \_\_\_\_\_  
 ( ) Tratamento físico, químico e biológico da água subterrânea.  
 ( ) Sistema ativo de coleta de gases  
 ( X ) Ventilação passiva de gás  
 ( ) Tratamento do gás. Qual: \_\_\_\_\_

**Nome do Lixão: Lixão CV4**

Município / UF / País: S. Filipe / Ilha do Fogo / Cabo Verde

a) Nível de impacto do lixão (pode ser estimado caso não tenha sido atribuído um no caso real):

- ( ) Reduzido  
 ( ) Baixo  
 ( ) Médio  
 ( X ) Alto

b) Ordenar de 1 a 6 em quais categorias o lixão foi mais impactado, sendo 1=menos impactado e 6=mais impactado

- ( 6 ) Caracterização do lixão  
 ( 5 ) Solo e águas subterrâneas  
 ( 1 ) Águas superficiais  
 ( 4 ) Meio social  
 ( 3 ) Meio natural e paisagens  
 ( 2 ) Meio atmosférico

c) Cenário de remediação aplicado ao lixão, ou cenário que o especialista entende como adequado caso o lixão não tenha sido remediado:

- ( ) Confinamento dos resíduos  
 ( ) Conversão em aterro sanitário  
 ( X ) Retirada dos resíduos

d) Técnicas de remediação aplicadas ou aplicáveis ao lixão:

- ( ) Melhoria da cobertura existente  
 ( ) Cobertura de barreira única ou cobertura de barreira dupla (barreiras hidráulicas)  
 ( ) Cobertura com evapotranspiração  
 ( X ) Remoção direta de *hotspot* para aterro sanitário  
 ( ) Remoção de *hotspot* por mineração  
 ( ) Tratamento térmico dos resíduos. Qual: \_\_\_\_\_  
 ( ) Instalação de aterro sanitário  
 ( ) Remoção direta dos resíduos do lixão para aterro sanitário  
 ( ) Remoção dos resíduos do lixão por mineração  
 ( X ) Controle da área  
 ( X ) Controle da água subterrânea. Como: \_\_\_\_\_  
 ( X ) Coleta de lixiviado. Como: \_\_\_\_\_  
 ( X ) Tratamento físico, químico e biológico da água subterrânea.  
 ( ) Sistema ativo de coleta de gases  
 ( X ) Ventilação passiva de gás  
 ( ) Tratamento do gás. Qual: \_\_\_\_\_

**ORIENTAÇÕES:** desse ponto em diante, todas as perguntas estão no formato de escala Likert, como no exemplo abaixo. O avaliador precisa ler a pergunta e atribuir como resposta uma pontuação de 1 a 5, onde: 1 = Não, 2 = Provavelmente não, 3 = Talvez, 4 = Provavelmente sim, 5 = Sim. Para isso basta assinalar um "X" abaixo da pontuação escolhida.

Não	1	2	3	4	5	Sim
-----	---	---	---	---	---	-----





				X
--	--	--	--	---

9) Quão próximo dos motivos reais estão os motivos fornecidos pelo *software* para a indicação do cenário (destacado em amarelo no rodapé da aba cenário)?

	1	2	3	4	5	
Totalmente diferentes					X	Exatamente os mesmos

10) As técnicas de remediação indicadas pelo *software* são equivalentes as técnicas aplicadas no caso real ou as que você entende como adequadas para a remediação do lixão?

	1	2	3	4	5	
Não					X	Sim

## 10 APÊNDICE C

Tabela 9: Tabela de pontuação do questionário de campo do ANEXO A

Questão	N <sub>r</sub>	Valores das respostas (v <sub>r</sub> ) - Pontuações						P <sub>min</sub>	P <sub>max</sub>
		a r=1 (N <sub>q</sub> )	b r=2	c r=3	d r=4	e r=5	f r=6		
<b>1. CARACTERIZAÇÃO DO LIXÃO</b>									
1.1 Área do lixão	4	1,5	3	4,5	6	-	-		
1.2 Atividade do lixão	4	1,5	3	4,5	6	-	-		
1.3a - Ocorrência de adensamento dos resíduos	2	3	6	-	-	-	-		
1.3b - Ocorrência deslizamento	2	3	6	-	-	-	-		
1.3c - Ocorrência de erosão	2	3	6	-	-	-	-		
1.3d - Outras ocorrências	2	3	6	-	-	-	-		
1.4 Espessura da camada de resíduos	4	1,5	3	4,5	6	-	-	33	114
1.5a - Presença de resíduos classe II B	1	6	-	-	-	-	-		
1.5b - Presença de resíduos classe II A	1	6	-	-	-	-	-		
1.5c - Presença de resíduos classe I	1	6	-	-	-	-	-		
1.6 Existe parcela significativa de resíduos classe A, B e C da construção civil?	2	3	6	-	-	-	-		
1.7 A maior parte dos resíduos está estabilizada?	2	3	6	-	-	-	-		

Questão	N <sub>r</sub>	Valores das respostas (v <sub>r</sub> ) - Pontuações						P <sub>min</sub>	P <sub>max</sub>
		a r=1 (N <sub>q</sub> )	b r=2	c r=3	d r=4	e r=5	f r=6		
1.8 Impermeabilização superior	3	2	4	6	-	-	-		
1.9 Pluviometria	4	1,5	3	4,5	6	-	-		
1.10 Declividade do terreno natural	6	1	2	3	4	5	6		
1.11 A área do lixão atende os critérios da NBR 13896:1997 e resolução CONAMA 404/2008?	2	3	6	-	-	-	-		
1.12 Há evidências de zonas mais poluídas que outras ( <i>hotspots</i> )?	2	3	6	-	-	-	-		
1.13 Qual o volume estimado dos <i>hotspots</i> ?	3	2	4	6	-	-	-		
1.14 Os resíduos dos <i>hotspots</i> representam algum tipo de ameaça?	2	3	6	-	-	-	-		
<b>2. SOLO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b>									
2.1 Impermeabilização inferior	4	1,5	3	4,5	6	-	-		
2.2 Presença de lixiviados nos taludes, aterros e entornos	3	2	4	6	-	-	-		
2.3 Existe coleta de lixiviados?	3	2	4	6	-	-	-		
2.4 Existe tratamento de lixiviados?	3	2	4	6	-	-	-		
2.5 O material disponível na região para ser usado como cobertura possui coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do lixão?	2	3	6	-	-	-	-	28	96
2.6 Natureza do solo sob o lixão	3	2	4	6	-	-	-		
2.7 Permeabilidade do solo onde está localizado o lixão	3	2	4	6	-	-	-		
2.8 Nível piezométrico abaixo dos resíduos	3	2	4	6	-	-	-		

Questão	N <sub>r</sub>	Valores das respostas (v <sub>r</sub> ) - Pontuações						P <sub>min</sub>	P <sub>max</sub>
		a r=1 (N <sub>q</sub> )	b r=2	c r=3	d r=4	e r=5	f r=6		
2.9 Se a distância entre os resíduos e a água subterrânea é inferior a 1,5 m	3	2	4	6	-	-	-		
2.10 Descontinuidades do terreno sobre o qual está o lixão	3	2	4	6	-	-	-		
2.11 Contaminação do solo comprovada (CONAMA N° 420/2009)?	3	2	4	6	-	-	-		
2.12 Contaminação das águas subterrâneas comprovada (CONAMA N° 396/2008)?	3	2	4	6	-	-	-		
2.13 Se 2.11 ou 2.12 for "Sim": De maneira geral, o volume de contaminante é pequeno?	2	3	6	-	-	-	-		
2.14 Distância de um ponto de alimentação de água potável de uso doméstico	4	1,5	3	4,5	6	-	-		
2.15 Distância de um ponto de alimentação de água para o abastecimento público	3	2	4	6	-	-	-		
2.16 Uso preponderante da água subterrânea	3	2	4	6	-	-	-		
<b>3. ÁGUAS SUPERFICIAIS</b>									
3.1 Distância de um ponto de alimentação em água potável para o uso doméstico	4	1,5	3	4,5	6	-	-		
3.2 Utilização das águas (classificação das águas segundo CONAMA 357/2005)	5	1,2	2,4	3,6	4,8	6	-		
3.3 Distância entre o lixão e a borda do corpo hídrico mais próximo	3	2	4	6	-	-	-		
3.4 Distância de um ponto de alimentação de água para abastecimento público	3	2	4	6	-	-	-	15,7	48
3.5 Distância da zona balneável mais próxima	3	2	4	6	-	-	-		
3.6 Distância de nascente d'água mais próxima	3	2	4	6	-	-	-		
3.7 Uso preponderante da água de superfície	3	2	4	6	-	-	-		

Questão	N <sub>r</sub>	Valores das respostas (v <sub>r</sub> ) - Pontuações						P <sub>min</sub>	P <sub>max</sub>
		a r=1 (N <sub>q</sub> )	b r=2	c r=3	d r=4	e r=5	f r=6		
3.8 Poluição das águas (CONAMA N° 357/2005)?	2	3	6	-	-	-	-		
<b>4. MEIO SOCIAL</b>									
4.1 Densidade populacional dentro de um raio de 500 m	3	2	4	6	-	-	-	19	90
4.2 Há presença de hospital, creche, escola ou asilo na área do lixão ou num raio de 500 m?	2	3	6	-	-	-	-		
4.3 Distância do núcleo populacional mais próximo	3	2	4	6	-	-	-		
4.4 Existência de atividades agropecuárias na área ou no entorno	3	2	4	6	-	-	-		
4.5 Utilização da área ou no entorno para atividades de lazer	3	2	4	6	-	-	-		
4.6 Zona de isolamento físico do lixão	3	2	4	6	-	-	-		
4.7a - Presença de insetos	1	6	-	-	-	-	-		
4.7b - Presença de roedores	1	6	-	-	-	-	-		
4.7c - Presença de escorpiões	1	6	-	-	-	-	-		
4.7d - Presença de urubus	1	6	-	-	-	-	-		
4.7e - Presença de outras aves	1	6	-	-	-	-	-		
4.7f - Presença de outros animais	1	6	-	-	-	-	-		
4.8 Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno	4	1,5	3	4,5	6	-	-		
4.9 Danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno	4	1,5	3	4,5	6	-	-		

Questão	N <sub>r</sub>	Valores das respostas (v <sub>r</sub> ) - Pontuações						P <sub>min</sub>	P <sub>max</sub>
		a r=1 (N <sub>q</sub> )	b r=2	c r=3	d r=4	e r=5	f r=6		
4.10 Existência de catadores	2	3	6	-	-	-	-		
<b>5. MEIO NATURAL E PAISAGENS</b>									
5.1 Largura da barreira vegetal (cerca viva) do lixão	3	2	4	6	-	-	-		
5.2 Distância de um elemento cultural, turístico, arqueológico ou ambiental importante	4	1,5	3	4,5	6	-	-		
5.3 Existe desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixão?	3	2	4	6	-	-	-		
5.4 Há dispersão de resíduos no entorno?	2	3	6	-	-	-	-	18	48
5.5 Há possibilidade das águas contaminadas se dirigirem a um mangue ou pântano?	4	1,5	3	4,5	6	-	-		
5.6 Danos aos animais domésticos e/ou selvagens	3	2	4	6	-	-	-		
5.7 O clima da região é árido ou semiárido?	2	3	6	-	-	-	-		
5.8 A região tem mais evapotranspiração do que chuvas?	2	3	6	-	-	-	-		
<b>6. MEIO ATMOSFÉRICO</b>									
6.1 Presença de odores no lixão e/ou entorno	3	2	4	6	-	-	-	11	36
6.2 Ocorrência de explosões recentes	4	1,5	3	4,5	6	-	-		
6.3 Queima de resíduos	3	2	4	6	-	-	-		
6.4 Possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás	3	2	4	6	-	-	-		

Questão	Valores das respostas ( $v_r$ ) - Pontuações						$P_{\min}$	$P_{\max}$
	$N_r$	a r=1 ( $N_q$ )	b r=2	c r=3	d r=4	e r=5		
6.5 Existe coleta de gás?	4	1,5	3	4,5	6	-	-	
6.6 Existe de tratamento de gás?	3	2	4	6	-	-	-	
<b>TOTAL:</b>							<b>125</b>	<b>432</b>

Fonte: Próprio autor

## 11 APÊNDICE D

Quadro 9: Cenários e técnicas de remediação de lixões, e seus critérios de escolha.

Nº	Cenário	Nº	Técnica	Nº	Critério de escolha	Questão correspondente no questionário de campo
1	Confinamento dos resíduos	1	Melhoria da cobertura existente	1	Em lixões antigos onde a infiltração da água foi abundante tornando a lixiviação dos resíduos restantes relativamente baixa.	idade_lixao > 30 anos e 1.8 e 1.9 e 2.7
				2	Em regiões de clima árido.	5.7
				3	Em regiões de mais evapotranspiração do que chuvas.	5.8
				4	Em lixões com resíduos estabilizados.	1.7
				5	Em lixões com resíduos de construção.	1.6
		2	Cobertura de barreira única ou cobertura de barreira dupla (barreiras hidráulicas)	6	Quando o controle da infiltração não é a principal meta.	2.7
				7	Quando o volume de contaminantes é pequeno.	2.13
				8	Quando a região é de baixa precipitação anual.	1.9
				9	Quando as águas subterrâneas não são	2.16



Nº	Cenário	Nº	Técnica	Nº	Critério de escolha	Questão correspondente no questionário de campo
					usadas para consumo humano.	
		3	Cobertura com evapotranspiração	10	Em locais onde o material disponível para ser usado como cobertura são de grão fino e alta capacidade de armazenamento de água, como os sedimentos e sedimentos argilosos.	2.5
				11	Em locais onde a estabilidade do declive deve ser garantida.	1.10
		4	Remoção direta de <i>hotspot</i> para aterro sanitário	12	Quando o volume do <i>hotspot</i> for pequeno.	1.13
				13	Quando há evidências de <i>hotspot</i> , e ele estiver em local acessível.	1.12
		5	Remoção de <i>hotspot</i> por mineração com tratamento térmico por gaseificação	14	Quando o volume do <i>hotspot</i> for grande o suficiente para que sua remoção e o tratamento reduza os riscos no lixão.	1.13
				15	Quando deseja-se fazer o tratamento ou disposição final de resíduos que representam ameaça (ex.: tóxico, móvel, volátil, contaminante); ou que estão em contato com água.	1.14
2	Conversão em aterro sanitário	6	Instalação de aterro sanitário	16	Quando a área do lixão não tenha restrições ambientais ou sociais.	Situação 1

Nº	Cenário	Nº	Técnica	Nº	Critério de escolha	Questão correspondente no questionário de campo		
		7	Remoção direta dos resíduos do lixão	17	Quando o lixão atende aos requisitos da ABNT NBR 13896/1997, NBR 8419/1992, NBR 15849/2010, e; a área disponível possibilite o uso do aterro por um período superior a quinze anos.	1.11		
				18	Quando o volume do lixão for pequeno	1.1 * 1.4		
		8	Remoção dos resíduos do lixão por mineração	19	O lixão deve ter mais de 15 anos de idade.	1.2		
				20	O volume do lixão grande o suficiente para viabilizar a implantação e operação do projeto.	1.1 * 1.4		
		3	Retirada dos resíduos	9	Remoção direta para o aterro sanitário	21	Quando o volume do lixão for pequeno ao ponto de viabilizar os custos do processo.	1.1 * 1.4
						22	O lixão deve ter mais de 15 anos de idade.	1.2
		10	Remoção por mineração	23	O volume do lixão grande o suficiente para viabilizar a implantação e operação do projeto.	1.1 * 1.4		
4	Todos	11	Controle da área	24	Quando a erosão superficial é uma preocupação			
				25	Quando existe possibilidade de invasão (área	4.6 ou 4.10		

Nº	Cenário	Nº	Técnica	Nº	Critério de escolha	Questão correspondente no questionário de campo
					não isolada ou presença de catadores)	
				26	Quando não existe ventilação passiva ou controle dos gases	6.5 e 6.6
				27	Quando se deseja impedir o uso da água subterrânea sob o lixão	2.12
<b>Água subterrânea</b>						
		12	Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento (ex.: Paredes de depósito de ferro).	28	Quando há risco de contaminação das águas subterrâneas no perímetro do lixão.	1.8 e 2.1 e 2.10
		13	Coleta de lixiviado / água contaminada através do sistema de bombeamento pressurizado	29	Quando há contaminação das águas subterrâneas no perímetro do lixão	2.12
		14	Tratamento físico, químico e biológico da água subterrânea.	30	Quando há contaminação das águas subterrâneas ou superficial no perímetro do lixão	2.12 ou 3.8
<b>Gases</b>						
		15	Sistema ativo de coleta de gases	31	Quando há odor excessivo, risco de inalação,	6.1 ou 6.2 ou 6.5

Nº	Cenário	Nº	Técnica	Nº	Critério de escolha	Questão correspondente no questionário de campo
					explosão, ou riscos associados ao uso do solo com acesso público.	ou 6.6
		16	Ventilação passiva de gás	32	Quando as emissões locais representam risco para saúde humana	(6.1 ou 6.2 ou 6.5 ou 6.6) e (4.1 a 4.5 ou 4.8)
				33	Quando a cobertura pode acumular gás no interior do aterro, ou	6.4
				34	Quando os resíduos têm alto teor orgânico, podendo produzir gás	1.5 e 6.1 e 6.2 e 6.3

Observação: as colunas "Nº" são utilizadas para relacionar este quadro, com a tabela do APÊNDICE E

Fonte: Adaptado de Bosmans et al. (2013); Boyer et al. (1999); FEAM (2010); Joseph et al. (2008); U.S EPA (1997)

## 12 APÊNDICE E

Tabela 10: Tabela de pontuação dos cenários técnicas de remediação do APÊNDICE D

Cenário	Técnica	Critério	Valor da técnica (V <sub>t</sub> )					Valor do cenário (V <sub>c</sub> )						
			n <sub>c</sub>	N <sub>t</sub>	c=2	c=3	c=4	c=5	n <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	t=2	t=3	t=4	t=5
1		1							5	1	2	3	4	5
		2												
		3	5	1	2	3	4	5						
		4												
		5												
		6												
		7												
		8	4	1,25	2,5	3,75	5	-						
		9												
		10												
		11	2	2,5	5	-	-	-						
		12	2	2,5	5	-	-	-						
		13	3	1,6667	3,3333	5	-	-						



Cenário	Técnica	Critério	Valor da técnica (V <sub>t</sub> )					Valor do cenário (V <sub>c</sub> )						
			n <sub>c</sub>	N <sub>t</sub>	c=2	c=3	c=4	c=5	n <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	t=2	t=3	t=4	t=5
	15	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Observação: Para saber nome ou descrição do cenário, técnica ou critério, consultar o APÊNDICE D

Fonte: Próprio autor

## 13 APÊNDICE F

Tabela 11: Pontuação obtida nos testes realizados com o ReLix

Questão	CV2	RJ	SC1	CV1	CV3	SP	SC3	SC2	RS	CV4
<b>1. CARACTERIZAÇÃO DO LIXÃO</b>										
1.1 Área do lixão	3	1,5	1,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	6	3
1.2 Atividade do lixão	6	6	3	6	6	3	3	3	3	6
1.3 Acidentes e eventos importantes no lixão	18	12	12	24	15	18	15	12	21	21
1.4 Espessura da camada de resíduos	4,5	3	4,5	4,5	4,5	4,5	3	6	4,5	4,5
1.5 Classificação dos resíduos NBR 10004/2004	18	12	18	18	18	18	6	12	6	18
1.6 Existe parcela significativa de resíduos classe A, B e C da construção civil?	3	6	6	3	3	6	6	6	6	3
1.7 A maior parte dos resíduos está estabilizada?	3	3	6	3	3	6	6	6	6	6
1.8 Impermeabilização superior	6	2	4	6	6	6	6	6	2	6
1.9 Pluviometria	1,5	3	3	1,5	1,5	4,5	4,5	1,5	4,5	1,5
1.10 Declividade do terreno natural	2	4	4	2	3	3	1	1	1	3
1.11 A área do lixão atende os critérios da NBR 13896:1997 e resolução CONAMA 404/2008?	6	6	3	6	6	6	6	6	6	6
1.12 Há evidências de zonas mais poluídas que outras ( <i>hotspots</i> )?	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1.13 Qual o volume estimado dos <i>hotspots</i> ?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.14 Os resíduos dos <i>hotspots</i> representam algum tipo de ameaça?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL DA CATEGORIA 1:</b>	<b>74</b>	<b>61,5</b>	<b>68</b>	<b>81,5</b>	<b>73,5</b>	<b>82,5</b>	<b>64</b>	<b>67</b>	<b>69</b>	<b>81</b>



Questão	CV2	RJ	SC1	CV1	CV3	SP	SC3	SC2	RS	CV4
<b>2. SOLO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b>										
2.1 Impermeabilização inferior	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	6	4,5	4,5
2.2 Presença de lixiviados nos taludes, aterros e entornos	2	2	2	2	2	4	2	2	4	6
2.3 Existe coleta de lixiviados?	6	6	4	6	6	6	6	6	4	6
2.4 Existe tratamento de lixiviados?	6	6	2	6	6	6	6	6	4	6
2.5 O material disponível na região para ser usado como cobertura possui coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do lixão?	3	6	3	6	3	6	3	3	3	3
2.6 Natureza do solo sob o lixão	2	2	2	2	2	6	2	4	2	2
2.7 Permeabilidade do solo onde está localizado o lixão	2	4	2	2	2	4	2	4	2	2
2.8 Nível piezométrico abaixo dos resíduos	2	2	2	2	2	2	6	6	4	2
2.9 Se a distância entre os resíduos e a água subterrânea é inferior a 1,5 m	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0
2.10 Descontinuidades do terreno sobre o qual está o lixão	2	2	6	2	2	2	6	2	2	6
2.11 Contaminação do solo comprovada (CONAMA N° 420/2009)?	6	6	4	6	6	6	6	6	4	6
2.12 Contaminação das águas subterrâneas comprovada (CONAMA N° 396/2008)?	6	6	4	6	6	4	6	6	4	6
2.13 Se 2.11 ou 2.12 for "Sim": De maneira geral, o volume de contaminante é pequeno?	6	3	6	0	6	6	3	0	6	6
2.14 Distância de um ponto de alimentação de água potável de uso doméstico	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	6	6	1,5	1,5	6
2.15 Distância de um ponto de alimentação de água para o abastecimento público	2	6	2	2	2	2	2	2	2	2
2.16 Uso preponderante da água subterrânea	4	2	4	2	2	4	2	4	4	2
<b>TOTAL DA CATEGORIA 2:</b>	<b>55</b>	<b>56</b>	<b>49</b>	<b>50</b>	<b>53</b>	<b>68,5</b>	<b>66,5</b>	<b>62,5</b>	<b>51</b>	<b>65,5</b>

Questão	CV2	RJ	SC1	CV1	CV3	SP	SC3	SC2	RS	CV4
<b>3. ÁGUAS SUPERFICIAIS</b>										
3.1 Distância de um ponto de alimentação em água potável para o uso doméstico	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	6	1,5	1,5	6
3.2 Utilização das águas (classificação das águas segundo CONAMA 357/2005)	6	3,6	3,6	6	6	6	6	6	6	6
3.3 Distância entre o lixão e a borda do corpo hídrico mais próximo	2	6	6	2	2	6	6	6	2	2
3.4 Distância de um ponto de alimentação de água para abastecimento público	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3.5 Distância da zona balneável mais próxima	2	2	2	2	6	2	2	2	2	4
3.6 Distância de nascente d'água mais próxima	2	2	4	2	2	6	2	4	2	2
3.7 Uso preponderante da água de superfície	6	4	4	2	2	4	2	4	4	2
3.8 Poluição das águas (CONAMA N° 357/2005)?	3	3	6	3	3	6	6	6	6	3
<b>TOTAL DA CATEGORIA 3:</b>	<b>24,5</b>	<b>24,1</b>	<b>29,1</b>	<b>20,5</b>	<b>24,5</b>	<b>33,5</b>	<b>32</b>	<b>31,5</b>	<b>25,5</b>	<b>27</b>
<b>4. MEIO SOCIAL</b>										
4.1 Densidade populacional dentro de um raio de 500 m	2	2	2	2	4	2	6	2	6	2
4.2 Há presença de hospital, creche, escola ou asilo na área do lixão ou num raio de 500 m?	3	3	3	3	6	3	6	3	3	6
4.3 Distância do núcleo populacional mais próximo	2	2	2	2	6	4	6	2	4	2
4.4 Existência de atividades agropecuárias na área ou no entorno	6	4	6	6	6	6	2	4	6	4
4.5 Utilização da área ou no entorno para atividades de lazer	2	2	4	2	6	2	2	2	2	4
4.6 Zona de isolamento físico do lixão	6	4	2	2	6	4	2	6	2	6
4.7 Presença de animais no lixão	18	6	6	24	18	30	12	6	6	18
4.8 Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno	6	6	1,5	6	6	6	1,5	6	6	6



Questão	CV2	RJ	SC1	CV1	CV3	SP	SC3	SC2	RS	CV4
6.6 Existe de tratamento de gás?	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
<b>TOTAL DA CATEGORIA 6:</b>	<b>34,5</b>	<b>16,5</b>	<b>18,5</b>	<b>31</b>	<b>34,5</b>	<b>32,5</b>	<b>24,5</b>	<b>26,5</b>	<b>18,5</b>	<b>34,5</b>
<b>SITUAÇÕES IDENTIFICADAS</b>										
Situação 1 (Ocorre em local com restrição conforme a legislação federal, estadual, e/ou municipal)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Situação 2 (Ocorre em área urbana)	0	0	0	100	100	0	100	100	100	100
Situação 2 (Ocorre em talvegue, várzea, pântano, mangue ou próximo a corpo hídrico)	0	100	100	0	0	100	100	100	100	100
Situação 3 (Área industrial)	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
<b>TOTAL DAS SITUAÇÕES</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>400</b>
<b>PONTUAÇÃO DO LIXÃO</b>	<b>279</b>	<b>320</b>	<b>324</b>	<b>376</b>	<b>394</b>	<b>427</b>	<b>464</b>	<b>476</b>	<b>538</b>	<b>709</b>
<b>NÍVEL DE IMPACTO</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
<b>PONTUAÇÃO DOS CENÁRIOS</b>										
<b>CR</b>	4	4	4	10	10	4	4	4	4	4
<b>CA</b>	3,33	5	11	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	1,66
<b>RR</b>	8,5	11	5	2,5	2,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
<b>CENÁRIO</b>	<b>RR</b>	<b>RR</b>	<b>CA</b>	<b>CR</b>	<b>CR</b>	<b>RR</b>	<b>RR</b>	<b>RR</b>	<b>RR</b>	<b>RR</b>

Legenda: M = Médio; A = Alto; RR=Retirada dos resíduos; CA = Conversão em aterro sanitário; CR = Confinamento dos resíduos

Fonte: Próprio autor

## 14 ANEXO A

### QUESTIONÁRIO DE CAMPO PARA DIAGNÓSTICO DE LIXÕES

#### Legislações necessárias para o preenchimento do questionário:

- Lei 9985/2000
- Plano Diretor Municipal
- NBR 13.896/1997
- NBR 10.004/2004
- CONAMA 420/2009
- CONAMA 396/2008
- CONAMA 357/2005

#### Informações e análises requeridas antes da visita

- Acumulado de chuva nas últimas 24 h anteriores à visita
- Atlas pluviométrico do Brasil (disponível no site do CPRM)
- Nível piezométrico abaixo dos resíduos
- Tipo de solo e permeabilidade
- Análise de solo segundo CONAMA 420/2009
- Análise de água subterrânea segundo CONAMA 396/2008
- Análise de águas superficiais segundo CONAMA 357/2005
- Mapa de solos da região
- Mapa dos recursos hídricos da região
- Levantamento topográfico, investigação geológica, geotécnica e hidrogeológica;
- Composição gravimétrica do lixo
- Representação em planta planialtimétrica, em escala não inferior a 1:2.000, do uso do solo, das águas subterrâneas e das águas superficiais num raio mínimo de 200 m;
- Relatórios de avaliação preliminar e confirmatória de passivo ambiental em solo e água subterrânea, conforme ABNT NBR 15515-1 e 15515-2, para saber se há contaminação.

<b>Identificação e caracterização da área</b>	
Denominação do local:	
Endereço:	
Distrito/Bairro:	
CEP:	
Município / UF:	
Orçamento inicial:	
Latitude / Longitude:	
Folha topográfica:	
Coordenadas UTM:	
Datum/MC:	
Bacia Hidrográfica:	
Data da visita:	
Início atividades lixão:	
Fim atividades lixão:	
Enquadramento da área (plano diretor):	
Uso futuro da área:	
Proprietário terreno:	
Nome/função informantes:	
Nome/funções acompanhantes:	

#### **Condições meteorológicas no dia da visita:**

- Sol  
 Sol com algumas nuvens Intensidade e direção dos ventos: \_\_\_\_\_  
 Sol com muitas nuvens  
 Totalmente encoberto  
 Chuva Acumulado de chuva nas últimas 24h: \_\_\_\_\_

#### **Situações**

- a) Ocorre em local com restrição conforme a legislação  Sim  Não federal, estadual e/ou municipal?  
 b) Ocorre em talvegue, que poderia abrigar curso  Sim  Não d'água intermitente?  
 c) Ocorre em região de várzea pântano ou mangue?  Sim  Não

- d) Quantidade de corpos hídricos na área do lixão e/ou ( )  
até num raio de 200 m? (Ex.: 2)
- e) Ocorre em área industrial? ( ) Sim ( ) Não

## 1. CARACTERIZAÇÃO DO LIXÃO

### 1.1 Área do lixão

- a) ( )  $< 5.000 \text{ m}^2$
- b) ( )  $> 5.000 \text{ m}^2 < 50.000 \text{ m}^2$
- c) ( )  $\geq 50.000 \text{ m}^2 \leq 500.000 \text{ m}^2$
- d) ( )  $> 500.000 \text{ m}^2$

### 1.2 Atividade do lixão

- a) ( ) Lixão fechado há mais de 20 anos
- b) ( ) Lixão fechado num tempo entre 10 e 20 anos
- c) ( ) Lixão fechado há menos de 10 anos
- d) ( ) Ainda em atividade

### 1.3 Acidentes e eventos importantes no lixão

- a) Adensamento dos resíduos (recalque) ( ) Não ( ) Sim
- b) Deslizamento ( ) Não ( ) Sim
- c) Erosão ( ) Não ( ) Sim
- d) Outros ( ) Não ( ) Sim

Quais? \_\_\_\_\_

### 1.4 Espessura da camada de resíduos

- a) ( )  $< 2 \text{ m}$
- b) ( )  $> 2 < 10 \text{ m}$
- c) ( )  $\geq 10 \text{ m}$
- d) ( ) dado não existente

### 1.5 Classificação dos resíduos NBR 10004/2004 (múltipla escolha)

- a) ( ) Resíduos inertes - classe II B
- b) ( ) Resíduos não inerte - classe II A
- c) ( ) Resíduos perigosos - classe I

Quais? \_\_\_\_\_

### 1.6 Existe parcela significativa de resíduos classe A, B e C da construção civil, (CONAMA 307/2002)?

- a) ( ) Sim
- b) ( ) Não

### 1.7 A maior parte dos resíduos está estabilizada?

- a) ( ) Sim
- b) ( ) Não

### 1.8 Impermeabilização superior

- a) ( ) Existente e construída de acordo com a NBR 13896/1997, sendo capaz de impedir a infiltração das águas pluviais e emissão de gases
- b) ( ) Existente, mas não construída de acordo com a NBR 13896/1997, portanto, não sendo capaz de impedir a infiltração das águas pluviais dentro do solo ou apenas parcial
- c) ( ) Inexistente

### 1.9 Pluviometria

- a) ( ) 0 – 800 mm/ano (baixa)

- b)  800 – 1500 mm/ano (significativa)
- c)  1500 – 2300 mm/ano (alta)
- d)  mais que 2300 mm/ano (excessiva)

**1.10 Declividade do terreno natural**

- a)  0 – 3% (plano)
- b)  3 – 8% (ligeiramente ondulado)
- c)  8 – 20% (ondulado)
- d)  20 – 45% (fortemente ondulado)
- e)  45 – 75% (montanhoso)
- f)  75 – 100% (escarpado)

**1.11 A área do lixão atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, possibilitando seu uso por período superior a 15 anos?**

- a)  Sim
- b)  Não

**1.12 Há evidências de zonas mais poluídas que outras (*hotspots*)?**

- a)  Não
- b)  Sim

**1.13 Qual o volume estimado dos *hotspots*?**

- a)  < 10.000 m<sup>3</sup> (volume pequeno)
- b)  >= 10.000 m<sup>3</sup> <= 500.000 m<sup>3</sup> (volume médio)
- c)  > 500.000 m<sup>3</sup> (volume grande)

**1.14 Caso a resposta 1.12 seja “Sim”. Os resíduos dos *hotspots* representam algum tipo de ameaça (ex.: tóxico, móvel, volátil, contaminante)?**

- a)  Não
  - b)  Sim
- 

**2. SOLO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS****2.1 Impermeabilização inferior**

- a)  Existente e construída de acordo com a NBR 13896/1997, sendo, portanto, apropriada para impedir a infiltração de lixiviados
- b)  Existente, mas não construída de acordo com a NBR 13896/1997
- c)  Inexistente
- d)  Dado não existente

**2.2 Presença de lixiviados nos taludes, aterros e entornos**

- a)  Não se constata visualmente a presença de lixiviados
- b)  Presença de fluxo de lixiviados após forte chuva
- c)  Presença visível e constante de lixiviados

**2.3 Existe coleta de lixiviados?**

- a)  Sim
- b)  Parcial
- c)  Não

**2.4 Existe tratamento de lixiviados?**

- a)  Sim
- b)  Sim, mas não adequado
- c)  Não

**2.5 O material disponível na região para ser usado como cobertura possui coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do lixão?**



- a)  Sim
- b)  Não

**2.6 Natureza do solo sob o lixão**

- a)  Solo predominantemente argiloso
- b)  Solo predominantemente siltoso
- c)  Solo predominantemente arenoso

**2.7 Permeabilidade do solo onde está localizado o lixão**

- a)  Inferior a  $5 \times 10^{-5}$  cm/s
- b)   $5 \times 10^{-4}$  cm/s
- c)  Maior que  $5 \times 10^{-4}$  cm/s

**2.8 Nível piezométrico abaixo dos resíduos**

- a)  > 3 m
- b)  1,5 – 3 m
- c)  < 1,5 m

**2.9 Se a distância entre os resíduos e a água subterrânea é inferior a 1,5m**

- a)  Resíduos fora do contato com a água subterrânea
- b)  Resíduos parcialmente banhados
- c)  Resíduos banhados

**2.10 Descontinuidades do terreno sobre o qual está o lixão**

- a)  Ausência reconhecida de falhas, fraturas ou de carstificações no terreno onde está o lixão ou em sua proximidade
- b)  Ausência de falhas, fraturas ou de carstificações no terreno onde o lixão está, mas presente nas proximidades
- c)  Presença de falhas, fraturas ou carstificação intensa no terreno onde está o lixão

**2.11 Contaminação do solo comprovada devido à presença de uma ou mais substâncias cujos valores ultrapassam os limites recomendados pela resolução CONAMA N° 420/2009**

- a)  Não
- b)  Sim
- c)  dado não existente

**2.12 Contaminação das águas subterrâneas comprovada devido à presença de uma ou mais substâncias cujos valores ultrapassam os limites recomendados pela resolução CONAMA N° 396/2008 conforme uso preponderante das águas subterrâneas?**

- a)  Não
- b)  Sim
- c)  dado não existente

**2.13 Caso a resposta da questão 2.11 ou 2.12 seja “Sim”: De maneira geral, o volume de contaminante é pequeno?**

- a)  Sim
- b)  Não

**2.14 Distância de um ponto de alimentação de água potável de uso doméstico**

- a)  > 200 m
- b)  100-200 m
- c)  < 100 m
- d)  Desconhecida

**2.15 Distância de um ponto de alimentação de água para o abastecimento**

**público**

- a)  > 200 m
- b)  100-200 m
- c)  <100 m

**2.16 Uso preponderante da água subterrânea da área ou entorno diretamente afetado pela presença do lixão**

- a)  Não utilizada
  - b)  Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial;
  - c)  Abastecimento humano
- 

**3. ÁGUAS SUPERFICIAIS****3.1 Distância de um ponto de alimentação em água potável para o uso doméstico**

- a)  > 200 m
- b)  100-200 m
- c)  <100 m
- d)  Desconhecida

**3.2 Utilização das águas (classificação das águas segundo CONAMA 357/2005)**

- a)  Classe IV
- b)  Classe III
- c)  Classe II
- d)  Classe I
- e)  Classe especial

**3.3 Distância entre o lixão e a borda do corpo hídrico mais próximo**

- a)  > 200 m
- b)  100-200 m
- c)  <100 m

**3.4 Distância de um ponto de alimentação de água para abastecimento público**

- a)  > 200 m
- b)  100-200 m
- c)  <100 m

**3.5 Distância da zona balneável mais próxima**

- a)  > 200 m
- b)  100-200 m
- c)  <100 m

**3.6 Distância de nascente d'água mais próxima**

- a)  > 500 m
- b)  200 - 500 m
- c)  < 200 m

**3.7 Uso preponderante da água de superfície**

- a)  Não é utilizada
- b)  Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial
- c)  Abastecimento humano

**3.8 Poluição das águas, constatada por análises – valores máximos permitidos de turbidez, DQO, DBO, pH, OD, E. coli, cloreto e nitrogênio amoniacal estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005?**

---

- 
- a)  Não  
b)  Sim
- 

#### 4. MEIO SOCIAL

##### 4.1 Densidade populacional dentro de um raio de 500 m

- a)  <10 residências  
b)  100 - 10 residências  
c)  >100 residências

##### 4.2 Há presença de hospital, creche, escola ou asilo na área do lixão ou num raio de 500 m?

- a)  Não  
b)  Sim

##### 4.3 Distância do núcleo populacional mais próximo

- a)  > 500 m  
b)  < 500 m  
c)  Há aglomeração humana sobre o terreno do lixão ou imediatamente ao lado

##### 4.4 Existência de atividades agropecuárias na área ou no entorno

- a)  Nunca  
b)  Às vezes  
c)  Frequentemente

##### 4.5 Utilização da área ou no entorno para atividades de lazer

- a)  Nunca  
b)  Às vezes  
c)  Frequentemente

##### 4.6 Zona de isolamento físico do lixão

- a)  Zona isolada com barreira de proteção e vigiada  
b)  Zona isolada com barreira de proteção mas não vigiada  
c)  Zona não isolada e não vigiada

##### 4.7 Presença de animais no lixão

- a)  Insetos  
b)  Roedores  
c)  Escorpiões  
d)  Urubus  
e)  Outras aves – Quais? \_\_\_\_\_  
f)  Outros animais - Quais? \_\_\_\_\_

##### 4.8 Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno

- a)  Nunca  
b)  Às vezes  
c)  Frequentemente  
d)  Dado não disponível

##### 4.9 Danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno

- a)  Nunca  
b)  Às vezes  
c)  Frequentemente  
d)  Dado não disponível

##### 4.10 Existência de catadores

- a)  Não
-

---

b) ( ) Sim

---

## 5. MEIO NATURAL E PAISAGENS

### 5.1 Largura da barreira vegetal (cerca viva) do lixão

- a) ( ) > 10 m  
b) ( ) < 10 m  
c) ( ) Não há barreira vegetal

### 5.2 Distância de um elemento cultural, turístico, arqueológico ou ambiental importante

- a) ( ) > 500 m  
b) ( ) 251 - 500 m  
c) ( ) < 250 m  
d) ( ) Desconhecida Qual? \_\_\_\_\_

### 5.3 Existe desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixão?

- a) ( ) Não  
b) ( ) Sim  
c) ( ) Dado não existente

### 5.4 Há dispersão de resíduos no entorno?

- a) ( ) Não  
b) ( ) Sim

### 5.5 Há possibilidade das águas subterrâneas ou superficiais contaminadas se dirigirem a um mangue ou pântano?

- a) ( ) Não  
b) ( ) Sim  
c) ( ) Dado não existente  
d) ( ) Não se aplica

### 5.6 Danos aos animais domésticos e/ou selvagens

- a) ( ) Não  
b) ( ) Sim  
c) ( ) Dado não existente

---

### 5.7 O clima da região é árido ou semiárido?

- a) ( ) Sim  
b) ( ) Não
- 

### 5.8 A região tem mais evapotranspiração do que chuvas?

- a) ( ) Sim  
b) ( ) Não
- 

## 6. MEIO ATMOSFÉRICO

### 6.1 Presença de odores no lixão e/ou entorno

- a) ( ) Nunca  
b) ( ) Às vezes  
c) ( ) Frequentemente

### 6.2 Ocorrência de explosões recentes

- a) ( ) Nunca  
b) ( ) Às vezes

- c) ( ) Frequentemente
- d) ( ) Dado não disponível

**6.3 Queima de resíduos**

- a) ( ) Nunca
- b) ( ) Às vezes
- c) ( ) Frequentemente

**6.4 Possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás**

- a) ( ) Não
- b) ( ) Sim
- c) ( ) Dado não existente

**6.5 Existe coleta de gás?**

- a) ( ) Sim, em toda área
- b) ( ) Sim, parcialmente
- c) ( ) Não
- d) ( ) Dado não existente

**6.6 Existe de tratamento de gás?**

- a) ( ) Sim, em toda área
- b) ( ) Sim , parcialmente
- c) ( ) Não

---

Fonte: Adaptado de Ramos (2016)