

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

**ANÁLISES DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS
PELO LIXÃO DE SÃO FÉLIX DO CORIBE/BA POR MEIO
DE ENSAIOS E LEVANTAMENTO GEOFÍSICO DE
ELETORRESISTIVIDADE**

GABRIEL KLEIN RAMOS
RAFAEL CORTOPASSI SALES DIAS

ORIENTADOR: RAFAEL CERQUEIRA SILVA, DSc.
**CO-ORIENTADOR: CARLOS PETRÔNIO LEITE DA
SILVA, DSc.**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM GEOTECNIA

BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO/2020

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

**ANÁLISES DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS
PELO LIXÃO DE SÃO FÉLIX DO CORIBE/BA POR MEIO
DE ENSAIOS E LEVANTAMENTO GEOFÍSICO DE
ELETORRESISTIVIDADE**

GABRIEL KLEIN RAMOS
RAFAEL CORTOPASSI SALES DIAS

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

APROVADA POR:

RAFAEL CERQUEIRA SILVA, DSc. (ENC/UnB)
(ORIENTADOR)

LUÍS FERNANDO MARTINS RIBEIRO, DSc. (ENC/UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

DOUGLAS PEREIRA DA COSTA, MSc. (VALE S.A.)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 16 DE DEZEMBRO DE 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

RAMOS, GABRIEL KLEIN; DIAS, RAFAEL CORTOPASSI SALES
ANÁLISES DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELO LIXÃO DE SÃO
FÉLIX DO CORIBE/BA POR MEIO DE ENSAIOS E LEVANTAMENTO GEOFÍSICO
DE ELETRORRESISTIVIDADE.

[Distrito Federal] 2020.

xv, 102p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2020)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Resíduos Sólidos Urbanos

2. Contaminação do Solo

3. Ensaio

4. Geofísica

I. ENC/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RAMOS, G. K.; DIAS, R. C.S.(2020). *Análises dos Impactos Ambientais gerados pelo Lixão de São Félix do Coribe/Ba por meio de Ensaio e Levantamento Geofísico de Eletroresistividade*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 102p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gabriel Klein Ramos; Rafael Cortopassi Sales Dias

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: ANÁLISES DOS IMPACTOS
AMBIENTAIS GERADOS PELO LIXÃO DE SÃO FÉLIX DO CORIBE/BA POR MEIO
DE ENSAIOS E LEVANTAMENTO GEOFÍSICO DE ELETRORRESISTIVIDADE

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2020

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

Gabriel Klein Ramos

Rafael Cortopassi Sales Dias

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente, aos nossos pais Cácio e Fúlvia (Gabriel), Renato e Cristiane (Rafael), por sempre nos apoiarem, nos possibilitarem que focássemos no estudo e por todo amor, carinho e dedicação durante toda nossas vidas. À nossas irmãs e irmãos Júlia e Luiz Ernesto (Gabriel), Renata e Mariana (Rafael), e familiares, por estarem sempre presentes, pelo companheirismo e pelo apoio durante nossa jornada.

Ao amigo Emerson Marcello Anastácio por todo o apoio, preocupação e dedicação conosco. Pessoa ímpar, sem a qual seria impossível a realização deste trabalho.

Ao professor Carlos Petrônio, por todo o apoio e a empresa EMBRE engenharia que fez parte desse sonho ser realizado.

Ao professor Rafael Cerqueira, que nos apoiou, acreditou nos nossos sonhos e sempre esteve presente com toda competência e principalmente paciência e caridade conosco para formular o melhor trabalho possível.

Ao amigo Rodrigo Bogéa, por toda a troca de experiência e conhecimentos acerca dos temas a serem discutidos no trabalho.

Aos nossos amigos Gabriel Aquino, Mário Bierknes, Maria Clara Maia, Mariana Rothstein, Júlia Almeida, Mateus Melo, Shayan Fathezam, Felipe Damasceno, Marcus Vilar, Vítor Aviani, Gabriel Duarte, Erick Valadares, Pedro Vilela, Rodrigo Teruo e Rodrigo Bogéa, além de todas as pessoas presentes durante nossa caminhada pelo curso de Engenharia Ambiental, com as quais tivemos a oportunidade de ter inesquecíveis conversas, conviver, dialogar, estudar e passar boa parte de nosso tempo juntos nos últimos anos. Amizades verdadeiras que com certeza nos fizeram evoluir muito como seres humanos.

À professora Cristina Célia Silveira Brandão pelo cuidado e carinho com todos os seus alunos. Sua pessoa e suas aulas magníficas sempre estarão presentes em nossas lembranças e em nossos corações.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, os quais nos possibilitaram acesso aos mais diversos conhecimentos e formaram, além de profissionais, seres humanos.

Aos professores da Universidade de Brasília por toda a entrega, verdade e dedicação que têm com seus alunos.

À Universidade de Brasília pelo acolhimento e por se tornar nossa segunda casa durante esses anos. A quantidade de memórias e momentos vividos no Campus Darcy

Ribeiro ficarão guardados para sempre em nossos corações. É uma honra e um imenso prazer para nós termos a possibilidade de passar e acessar uma instituição de qualidade tão alta de ensino que, além de nossa formação profissional, serviu, principalmente, para a nossa transformação pessoal. Nossa imensa gratidão a tudo que foi vivido na Universidade de Brasília.

Por fim, agradecemos a nossa grandíssima amizade que está presente desde o início dessa jornada e nos agraciou com experiências e momentos únicos.

RESUMO

Métodos geofísicos cada vez mais vêm ganhando importância na aplicação de problemas de engenharia geotécnica. Na presente pesquisa, dentro dos métodos disponíveis, avaliou-se a efetividade da sondagem geofísica por eletrorresistividade na identificação de plumas de contaminação oriundas de lixiviado resultante da disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos em uma dolina, situada em região cárstica. A contaminação do subsolo nesse tipo de ambiente representa um sério impacto ambiental, visto possuir ligações subterrâneas que facilitam o espalhamento do contaminante a grandes distâncias, podendo atingir os cursos d'água. Para identificar uma possível frente de contaminação foram executadas 3 linhas de levantamento por eletrorresistividade, sendo uma a montante do lixão, considerada o perfil geoeletrico de referência, a intermediária, no próprio lixão, e a terceira, a jusante do lixão. Em cada linha foram coletadas amostras de solo para realização de ensaios de caracterização e de pH. Para avaliar a abrangência da frente de contaminação, também foram coletadas amostras de água no rio situado 500 m a jusante do lixão. Os pontos de coleta no rio seguiram o mesmo procedimento adotado para a geofísica e ensaios de solo, sendo coletadas amostra a montante, na direção do lixão e a jusante. Os resultados das sondagens mostraram as diferentes resistividades das linhas, sendo observadas resistividades muito mais baixas na linha sobre o lixão e a jusante, quando comparadas com a linha de referência, a montante. Tal evidenciou a frente de contaminação e o caminhamento da mesma no subsolo. Consistentemente, as umidades verificadas no solo aumentaram na direção de montante para jusante. No solo, também foi observada variação de pH mais ácido para pH mais básico em profundidade. Dessa forma, a associação dos métodos diretos de análises com o indireto demonstrou a aplicabilidade da geofísica na avaliação de plumas de contaminação. Na amostragem realizada no rio não foi possível identificar evidências de contaminação.

Palavras chave: Resíduos sólidos urbanos, pluma de contaminação, ensaios, geofísica.

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	1
2- OBJETIVOS	1
2.1- OBJETIVO GERAL	2
2.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
3.1 – RESÍDUOS SÓLIDOS E SUA DISPOSIÇÃO	3
3.1.1 - Caracterização dos Resíduos Sólidos	11
3.1.2 – Degradação da Matéria Orgânica	12
3.2 - LIXIVIADO	14
3.2.1 - Caracterização do lixiviado	18
3.3 - CARSTE	20
3.3.1 - Cavernas	22
3.4 – CICLO HIDROLÓGICO E BACIA HIDROGRÁFICA	24
3.5 – ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	26
3.6 – UNIDADES DE CONSERVAÇÃO	28
3.7 – MÉTODO GEOFÍSICO DE RESISTIVIDADE	29
3.8 – ÍNDICES FÍSICOS DO SOLO	32
3.8.1 – Granulometria	33
3.8.2 – Umidade	34
3.8.3 – Plasticidade	34
3.9 – CONTAMINAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS POR LIXIVIADO	35
3.9.1 - Principais Parâmetros de Qualidade da Água Influenciados pelo Lixiviado	35
3.9.2 - pH	36
3.9.3 - DBO e DQO	36
3.9.4 - Nitrogênio	37
3.9.5 – Metais Pesados	37

3.9.6 – Condutividade Elétrica	38
3.9.7 - Cloreto.....	38
4 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	38
4.1 – LIXÃO DA DOLINA DE SÃO FÉLIX DO CORIBE (BA).....	38
4.2 – LOCALIZAÇÃO	44
4.3 – CLIMA.....	46
4.4 – BIOMA E VEGETAÇÃO	47
4.5 - HIDROGRAFIA	49
4.6 - GEOLOGIA	51
4.7 - GEOMORFOLOGIA.....	54
4.8 - PEDOLOGIA.....	55
4.9 – USO DO SOLO	56
4.10 - HIDROGEOLOGIA	57
4.11 - HIPSOMETRIA	59
5 – MATERIAIS E MÉTODOS	62
5.1 – MÉTODO GEOFÍSICO DE ELETRORRESISTIVIDADE	63
5.1.1 - Execução do Método	64
5.2 – AMOSTRAGEM E ÍNDICES FÍSICOS DO SOLO	64
5.2.1 - Umidade	65
5.2.2 - Granulometria.....	65
5.2.3 - Limite de Liquidez	68
5.2.4 – Limite e Índice de Plasticidade	69
5.3 – AMOSTRAGEM E ÍNDICES FÍSICOS DA ÁGUA.....	69
6 - MONITORAMENTO	71
6.1 - MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA DAS NASCENTES SELECIONADAS	76
6.2 - GEOFÍSICA.....	79
6.3 - CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	83

7 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
8 - CONCLUSÕES	94
9 – RECOMENDAÇÕES	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 3. 1 - Coleta de RSU no Brasil em 2016 e 2017, em t/dia e em kg/hab/dia. (Fonte: ABRELPE).....	7
Figura 3. 2 - Locais de destinação final dos RSU no Brasil em 2016 e 2017. (Fonte: ABRELPE).....	7
Figura 3. 3: Geração de RSU no Brasil. (Fonte: ABRELPE/IBGE).....	8
Figura 3. 4: Coleta de RSU no Brasil. (Fonte: ABRELPE/IBGE).....	8
Figura 3. 5: Disposição final de RSU, por tipo de destinação no Brasil. (Fonte: ABRELPE/IBGE).....	9
Figura 3. 6: Disposição final de RSU coletados no Brasil. (Fonte: ABRELPE/IBGE)	9
Figura 3. 7: Quantidade de RSU coletada nas regiões e no Brasil. (Fonte: ABRELPE/IBGE).....	10
Figura 3. 8: Índice de cobertura de coleta de RSU no Brasil. (Fonte: ABRELPE/IBGE) ..	10
Figura 3. 9 - Fases metabólicas e grupos microbianos envolvidos no processo de transformação anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos. (Fonte: Cotrim, 1997).....	14
Figura 3. 10 - Balanço hidrológico da formação do líquido percolado. (Fonte: Farquhar, 1989).....	15
Figura 3. 11 - Concentração dos lixiviados em relação ao tempo. (Fonte: Farquhar, 1989)	17
Figura 3. 12 - Perfil ilustrativo de feições cársticas. (Fonte: Auler e Zogbi, 2011, p. 17) ..	22
Figura 3. 13 - Perfil ilustrativo de formação de uma dolina. (Fonte: Auler e Zogbi, 2011, p. 19).....	22
Figura 3. 14 - Cortes transversais de condutos de cavernas. (Fonte: Auler e Zogbi, 2011, p. 19).....	24
Figura 3. 15 - Ilustração do ciclo hidrológico. (Fonte: Finotti et al. 2009)	25
Figura 3. 16 - Representação da bacia hidrográfica do arroio Taboão (RS). (Fonte: Tucci, 2000, p. 41).....	26
Figura 3. 17 - Divisão da água abaixo da superfície. (Fonte: Tucci, 2000, p. 290)	27
Figura 3. 18 - Aquíferos confinados e livres. (Fonte: Tucci, 2000, p. 291)	28
Figura 3. 19 - Perfil esquemático das linhas de fluxo e equipotenciais. A e B representam eletrodos de injeção de corrente elétrica enquanto M e N representam eletrodos de medida de diferença de potencial. (Fonte: Braga ,2001).....	31

Figura 3. 20 - Arranjo básico de Wenner onde A e B são eletrodos injetores de corrente elétrica e M e N são receptores, todos equidistantes. (Fonte: Autor).....	32
Figura 3. 21 - Fases do solo. (Fonte: Souza Pinto, 2000).....	32
Figura 3. 22 - Estados do Solo e Sua Umidade. (Fonte: Souza Pinto, 2000).....	35
Figura 4. 1 - Verificação de disposição de resíduos na dolina DOL-06F-054 em 31/07/2011. (Fonte: Google Earth, 2019).....	39
Figura 4. 2 - Área da dolina DOL-06F-054 em 13/06/2018. (Fonte: Google Earth, 2019)	40
Figura 4. 3 - Área da dolina DOL-06F-054 em 08/03/2019. (Fonte: Google Earth, 2019)	40
Figura 4. 4 - Região do antigo lixão em março de 2012. (Fonte: Google Street View, 2019)	41
Figura 4. 5 - Região do antigo lixão em março de 2012. (Fonte: Google Street View, 2019)	41
Figura 4. 6 - Fotos da área do antigo lixão em setembro de 2018. (Fonte: VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A., 2018).....	42
Figura 4. 7 - Fotos da área do antigo lixão em setembro de 2018. (Fonte: VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A., 2018).....	42
Figura 4. 8 - Fotos da área do antigo lixão em setembro de 2018. (Fonte: VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A., 2018).....	43
Figura 4. 9 -- Mapa de localização de São Félix do Coribe, no Estado da Bahia, Brasil....	44
Figura 4. 10 - Mapa de localização das cidades de São Félix do Coribe e Santa Maria da Vitória, no Estado da Bahia, Brasil.	45
Figura 4. 11 - Mapa de localização da dolina em que funcionava o antigo lixão e as dolinas próximas, no município de São Félix do Coribe, Bahia, Brasil.	45
Figura 4. 12 - Mapa de localização da RPPN Grutas do Corrente, dividida entre seus proprietários.....	46
Figura 4. 13 - Dados climatológicos para São Félix do Coribe, Bahia. (Fonte: Climate-Data, 2019)	47
Figura 4. 14 - São Félix do Coribe (BA) em relação aos biomas brasileiros.	48
Figura 4. 15 - Vegetação da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).	49
Figura 4. 16 - Hidrografia da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).	50
Figura 4. 17 - Possíveis nascentes na região.	51

Figura 4. 18 - Geologia da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).	52
Figura 4. 19 - Coluna lito-estratigráfica sintética do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco. (Fonte: Iglesias, 2009)	53
Figura 4. 20 - Formação geológica e geomorfológica da região.	54
Figura 4. 21 - Geomorfologia da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).	55
Figura 4. 22 - Pedologia da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).	56
Figura 4. 23 - Uso do solo na região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).	57
Figura 4. 24 - Hidrogeologia da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).	58
Figura 4. 25 - Sistema de aquíferos aflorantes da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).	59
Figura 4. 26 - Hipsometria da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).	60
Figura 4. 27 - Perfil de elevação da dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA). (Fonte: Google Earth, 2019).....	61
Figura 4. 28 - Perfil de elevação da área circundante à dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA). (Fonte: Google Earth, 2019).....	61
Figura 5. 1 - Metodologia geral do estudo.....	62
Figura 5. 2 - Resistímetro Syscal Kid, fabricado pela francesa Iris Instruments.	63
Figura 5. 3 - Locação das linhas de estudo geofísico. (Fonte: Google Earth).....	64
Figura 6. 1 - Local da Dolina do Lixão.	71
Figura 6. 2 - Local da Dolina do Lixão e placas de avisos.....	72
Figura 6. 3 - Lixo presente nas proximidades da Dolina do Lixão.	73
Figura 6. 4 - Lixo presente nas proximidades da Dolina do Lixão, com placa de "proibido jogar lixo neste local".	74
Figura 6. 5 - Verificação de deposição de lixo na região cercante à Dolina do Lixão.	75
Figura 6. 6 - Pontos de coleta de água para amostragem.	76

Figura 6. 7 - Ponto 1 - à montante a Dolina do Lixão, próxima ao ponto de captação de água da EMBASA, servindo como “branco” para a comparação com os demais pontos...	77
Figura 6. 8 - Ponto 2 - à jusante da Dolina do Lixão, em uma área utilizada por pescadores da região.	78
Figura 6. 9 - Ponto 3 - à jusante da Dolina do Lixão, próxima a ponte sobre o Rio Corrente que liga as cidades de São Félix do Coribe e Santa Maria da Vitória.	78
Figura 6. 10 - Ponto 4 - à jusante da Dolina do Lixão, próxima a ETE de Santa Maria da Vitória.....	79
Figura 6. 11 - Equipamento utilizado para os ensaios geofísicos.....	80
Figura 6. 12 - Equipamento na posição realizada para a verificação da Linha 3.	81
Figura 6. 13 - Equipamento alocado na posição para a verificação da Linha 2.	82
Figura 6. 14 - Equipamento em operação para a verificação da Linha 2.	83
Figura 6. 15 - Locais de coleta de solo.	84
Figura 7. 1 - Linha 1 do ensaio geofísico.	85
Figura 7. 2 - Linha 2 do ensaio geofísico.	85
Figura 7. 3 - Linha 3 do ensaio geofísico.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 3. 1 - Composição Típica de Resíduos Sólidos Municipais. (Fonte: Farquhar, 1989)	16
Tabela 3. 2 - Origens dos íons encontrados no lixiviado. (Fonte: Segato, 2000).....	18
Tabela 3. 3 - Variação de Propriedades e Concentração de Substâncias do Lixiviado. (Fonte: CLARETO e HELD, apud SEGATO (2000, p.5))	19
Tabela 3. 4 - Faixa Granulométrica dos grãos (Fonte: ABNT, 1995).....	33
Tabela 5. 1 - Metodologia para análise dos parâmetros de qualidade da água. (Soares, 2019).....	70
Tabela 7. 1 - Resultados das análises de água no Ponto 1 - ETA.....	87
Tabela 7. 2 - Resultados das análises de água no Ponto 2.....	88
Tabela 7. 3 - Resultados das análises de água no Ponto 3.....	89
Tabela 7. 4 - Resultados das análises de água no Ponto 4.....	90
Tabela 7. 5 - Resultados das amostras de solo.	93

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
BA	Bahia
C	Carbono
Ca ²⁺	Cálcio
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
CH ₄	Gás metano
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
CO ₂	Dióxido de carbono
CODEPLAN	Companhia de Planejamento do Distrito Federal
COT	Carbono Orgânico Total
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CST	Perfilagem elétrica
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FeS ₂	Pirita
g	Gramma
h	Hora
H ₂	Gás hidrogênio
H ₂ CO ₃	Ácido carbônico
H ₂ S	Gás sulfídrico
Hab	Habitante
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISWA	The International Solid Waste Association
KCl	Cloreto de potássio
Kg	Kilograma
km ²	Quilômetro quadrado
kPA	Quilopascal

L	Litro
log	Logaritmo
m	Metro
m ²	Metro quadrado
mA	Miliampère
mg	Miligrama
mm	Milímetro
N	Nitrogênio
N°	Número
NBR	Norma Técnica Brasileira
O ₂	Gás oxigênio
PH	Potencial Hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PSMB	Plano Municipal de Saneamento Básico
R\$	Reais
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RS	Rio Grande do Sul
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
S	Sul
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SEV	Sondagem Elétrica Vertical
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
T	Tonelada
UICN	União Internacional para Conservação da Natureza
UnB	Universidade de Brasília
UTM	Unidade Transversa de Mercator
V	Volt
W	Oeste
%	Por cento
°C	Graus Celsius

1- INTRODUÇÃO

A disposição inadequada dos resíduos sólidos gerados pela população acarreta uma série de problemas para o meio ambiente e à saúde humana. De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil (ABRELPE, 2019) 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) são geradas anualmente no país. O montante coletado em 2018 foi de 72,7 milhões de toneladas, registrando um índice de cobertura de coleta de 92% para o país, o que indica que 6,3 milhões de toneladas de resíduos não foram coletados e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio.

Do total coletado, 43,3 milhões de toneladas de RSU são dispostos em aterros sanitários, indicando que o restante, correspondente a 40,5% dos resíduos coletados, foi despejado em locais inadequados por 3.001 municípios brasileiros, totalizando mais de 29,5 milhões de toneladas de resíduos em lixões ou aterros controlados. A disposição dos resíduos sólidos em lixões e aterros controlado gera impactos ambientais e danos diretos à saúde de milhões de pessoas, devido a contaminação do solo e da água pela percolação do lixiviado. Esses locais são inadequados por não possuírem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente (ABRELPE, 2017).

Na área limdeira de São Félix do Coribe, cidade localizada no estado da Bahia, funcionava um lixão irregular, onde os resíduos eram depositados a céu aberto, em uma dolina. As dolinas são depressões no solo superficial, características de regiões de relevo cársticos, propícios para a existência de cavernas. De acordo com Lino e Allievi (1980), as cavernas resultam da ação e circulação da água sobre rochas solúveis, especialmente as "rochas carbonáticas", dentre as quais se salientam as conhecidas genericamente como calcárias. Áreas que apresentam cavernas no subsolo, estão sujeitas a desmoronamento no interior das mesmas ou sofre um rebaixamento lento do terreno, formando uma depressão no solo superficial, o que caracteriza o surgimento de uma dolina.

A contaminação pelo lixiviado é causada essencialmente pelo lixiviamento dos metais pesados presentes nos resíduos sólidos que constituem o lixo urbano. Estes metais pesados, em conjunto com o líquido proveniente da decomposição de materiais orgânicos, apresentam pH alcalino, contaminando, desta maneira, o subsolo, as águas superficiais e águas subterrâneas (Cavalcanti, 2013). Essa contaminação em regiões cársticas como a citada é considerada de extremo perigo, pelo fato de possuir ligações subterrâneas que

facilitam o espalhamento do contaminante a grandes distâncias e, também, a águas subterrâneas e superficiais.

Segundo Cavalcanti (2013), os métodos geofísicos, por serem de natureza não invasiva e de baixo custo operacional, são comumente utilizados para detectar a contaminação de lixiviado no solo, sendo a eletrorresistividade (método indireto) a proposta neste projeto. No método resistividade, correntes elétricas são artificialmente introduzidas no solo e, na superfície, as correntes são medidas para se analisar os desvios do padrão de diferenças de potencial. Assim, é possível identificar regiões do subsolo que possuem alta umidade e que, conseqüentemente, possam estar sob influência do lixiviado, e também se o escoamento superficial originado do lixão é suficiente para causar mistura do lixiviado com as águas do Rio Corrente, corpo hídrico localizado aproximadamente a 500 m do local de disposição do lixo.

Para a verificação da possível contaminação do solo pelo lixiviado do lixiviado e da verificação do contaminante nas águas do Rio Corrente, foram utilizados ensaios com amostras de solo e água coletados nos locais. Comparando os resultados obtidos é possível apurar se há algum dano e potencial risco no solo e na água a jusante do antigo lixão.

A manutenção do solo e das águas conforme seus usos pré-estabelecidos é de suma importância para o equilíbrio dos ecossistemas e para garantir a saúde da população e seres dependentes desse sistema.

2- OBJETIVOS

O presente trabalho visa verificar se há indícios de contaminação por lixiviado, oriundo do antigo lixão da dolina, no solo e nas águas da região, por meio de ensaios e sondagem geofísica por eletroresistividade.

2.1- OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral observar a possível pluma de contaminação do lixiviado gerado pelo antigo lixão na dolina denominada “DOL-06F-054”, localizada nas coordenadas 13°25'14.2"S 44°11'51.2"W, na cidade de São Félix do Coribe, no estado da Bahia, Brasil. A dolina DOL-06F-054 se encontra em uma região cárstica, localiza-se às margens da rodovia BA-172, dista aproximadamente 500 m do corpo hídrico do Rio

Corrente e é circundada por áreas de Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

2.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a existência de uma possível pluma de contaminação do lixiviado gerado pelos lixos depostos na dolina DOL-06F-054, utilizando o método geofísico para medir a eletrorresistividade no interior do maciço de solo;
- Avaliar a possível contaminação do solo pelo lixiviado, em ensaios com amostras de solo coletados nos locais para verificação de parâmetros;
- Avaliar a possível contaminação das águas superficiais a jusante do antigo lixão da dolina DOL-06F-054 no Rio Corrente (BA), de forma direta, por meio de análises de parâmetros da qualidade da água;
- Avaliar os resultados obtidos de forma a obter uma análise conjunta da situação da região em estudo.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 – RESÍDUOS SÓLIDOS E SUA DISPOSIÇÃO

Resíduos sólidos são comumente definidos como todo e qualquer resíduo que resulte das atividades diárias do homem na sociedade (Lima, 2001). Assim, com o avanço da sociedade moderna, o conceito de resíduos sólidos teve de ser ampliado para, além dos resíduos gerados por consequência de atividades humanas, os resíduos gerados por qualquer ser vivo, incluindo assim em definição os animais domésticos e urbanos (Schneider *et al.* 2004).

Com o avanço das indústrias, principalmente pós revolução industrial, o aumento de resíduos se tornou algo significativo para a sociedade e, assim sendo, se tornou algo que merecia a atenção do estado para que houvesse uma destinação final ou um tratamento adequado, assim, para tal, cada país tem sua legislação, definição e condutas a fim de reduzir ou até, preferencialmente, neutralizar os impactos negativos gerados pelos resíduos. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas define resíduos sólidos em sua NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004) como resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de

serviços de varrição. Vale ressaltar que, neste conceito, lodos resultantes de atividades como tratamento de água e de águas residuais urbanas são vistos como resíduos sólidos e devem ser corretamente tratados e destinados. A norma classifica os resíduos sólidos em classes, conforme os seus riscos potenciais ao meio ambiente, a saúde pública e as formas de manuseio e destinação adequados. As classes são:

- Classe I – Perigosos: são os resíduos que apresentam periculosidade ou características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (lixo biológico e químicos).
- Classe II – Não perigosos: são os resíduos que não se enquadram como resíduos da Classe I e são divididos em não inertes e inertes.
- Classe II A – Não inertes: são os resíduos que não se enquadram como resíduos da Classe I e da Classe II B e podem ter propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Alguns exemplos desta classe são o papel e a matéria orgânica.
- Classe II B – Inertes: são os resíduos que não possuem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de águas. Alguns exemplos desta classe são as rochas, vidros e tijolos.

Nos dias atuais, a geração de resíduos sólidos vem crescendo exponencialmente, segundo Valt *et al.* (2004) isso ocorre principalmente por conta do crescimento populacional (aumento de demanda), aumento do consumo e descarte, além da obsolescência programada e atualização das versões dos produtos, exemplo comumente dado aos *smartphones*, computadores, *tablets* e etc. No Brasil houve uma produção de 212.753 toneladas de resíduos em 2016 e 214.868 toneladas em 2017, representando o aumento de 1% em sua produção ou 2.115 toneladas.

Dentre os locais que costumeiramente há deposição de resíduos o mais simples é o lixão, onde não há tratamento dos resíduos e nenhum tipo de controle ou medidas de proteção ao meio ambiente e à saúde pública, apenas um terreno onde qualquer tipo de lixo é recebido: desde os mais simples como papel, papelão e restos de alimentos, até os mais complexos e perigosos como resíduos hospitalares ou resíduos tóxicos. De acordo com Bidone e Povinelli (1999), “essa forma de disposição facilita a proliferação de vetores (moscas, mosquitos, baratas, ratos), geração de maus odores, poluição das águas superficiais e subterrâneas pelo lixiviado - mistura do chorume (líquido), gerado pela degradação da matéria orgânica, com a água de chuva - além de não possibilitar o controle dos resíduos que são encaminhados para o local de disposição.” O lixão é um crime

ambiental desde 1998 por representar perigo à saúde humana, além disso, sua presença desvaloriza o local onde está inserido, é uma prática que não trata o terreno para evitar a percolação de lixiviado e a liberação de metano, e é um ambiente favorável para o desenvolvimento de vetores e pragas, contaminação do lençol freático e etc.

A Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, estabelece que os lixões e formas irregulares de disposição de resíduos deveriam ser erradicados até 2014, porém isso não aconteceu. De acordo com a Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA, 2017), os quase 3.000 lixões identificados no Brasil em junho de 2017 afetam a vida de 76,5 milhões de pessoas e trazem um prejuízo anual para os cofres públicos de mais de R\$ 3,6 bilhões, valor gasto para cuidar do meio ambiente e para tratar dos problemas de saúde causados pelos impactos negativos dos lixões. Por outro lado, os investimentos necessários para dar destinação adequada aos resíduos no Brasil, em atendimento às disposições da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), demandam cerca de um terço daquele total.

Há também o conhecimento da destinação dos resíduos sólidos em aterros controlados. Esse local é uma espécie de “lixão mascarado”, sendo mais seguro e recebendo um controle maior comparado ao lixão, principalmente pelo local passar por um tratamento para que não haja escoamento dos poluentes para o interior do solo, por drenar parcialmente os gases liberados pelas atividades microbiológicas, além de ser um local com tempo de uso determinado e controle do tipo de lixo que chega ao aterro controlado, sendo proibida a entrada de resíduos hospitalares ou industriais. Segundo a NBR 8.849/1985 (ABNT, 1985), o local escolhido deve ser justificado aos órgãos públicos competentes relacionando o zoneamento do local, seus corpos hídricos, topografia e etc. O aterro controlado foi visto como uma solução rápida e prática para a desativação dos lixões, porém ainda não ideal. É importante ressaltar que os aterros controlados não são uma forma de destinação adequada aos resíduos sólidos e não indicada a disposição final.

Outro tipo de destinação e atualmente o mais adequado é o aterro sanitário. Segundo Van Elk (2007, p. 13) “o aterro sanitário é uma obra de engenharia projetada sob critérios técnicos, cuja finalidade é garantir a disposição dos resíduos sólidos urbanos sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente”. No caso de aterros sanitários classe II (o mais comum, aqueles que recebem resíduos não perigosos), seguem-se as recomendações da NBR 8.419/NB843 (ABNT, 1996) onde, além de indicar informações preliminares para obter as licenças para execução e operação, indicam as intervenções básicas que devem ser feitas no local: impermeabilização lateral e no solo para evitar a

percolação de lixiviado, passagem de dreno para remoção de fluidos advindos da atividade microbiológica (metano e lixiviado são os principais). O lixiviado produzido deve ser armazenado e tratado, assim como o biogás. O aterro armazena os resíduos em células e, quando a célula tem sua capacidade máxima atingida, deve ser selada e impermeabilizada em sua cobertura. O aterro sanitário deve manter monitoramento constante do que se entra além de monitoramento hidrológico e geotécnico. Por fim, o mesmo deve ter um tempo determinado de uso e, quando esgotado, deve-se ter um planejamento de uso futuro da área, como a criação de parques ou praças. É uma boa solução para os resíduos e muito popular no mundo inteiro pelo seu baixo custo e facilidade de operação. Um grande problema do aterro sanitário é a ocupação de grandes áreas (se mostrando inviável para países pequenos como o Japão, que utiliza a incineração como recurso principal) e a lenta resposta em relação à degradação dos resíduos.

Para combater a superprodução de RSU's e seus impactos, foi criada em 2010 a PNRS que engloba uma série de medidas a fim de responsabilizar o gerador do resíduo e indicar o que deve ser feito com ele, seguindo as premissas em ordem de importância: não gerar, reduzir, reutilizar, reciclar, tratar e dispor corretamente. Além disso, a PNRS demanda que em 4 anos se desativem todos os lixões em território nacional e se migrem todos os resíduos para aterros controlados ou, preferencialmente, aterros sanitários, o que claramente ainda não foi atendido.

Visando alcançar os objetivos da PNRS e conseguir encerrar as atividades dos lixões, o Brasil busca aumentar a coleta de resíduos sólidos, sendo que, segundo ABRELPE, a coleta de RSU em 2017 subiu em 1,25% em relação ao ano de 2016, como se pode ver na Figura 3.1.

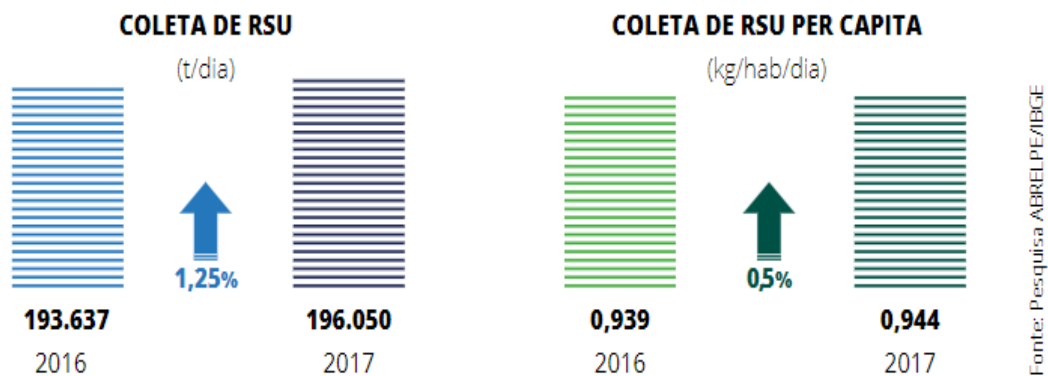


Figura 3. 1 - Coleta de RSU no Brasil em 2016 e 2017, em t/dia e em kg/hab/dia. (Fonte: ABRELPE)

Assim, comparando o ano de 2017 e 2016 novamente, tem-se o atual cenário em questão de disposição do RSU, na Figura 3.2.

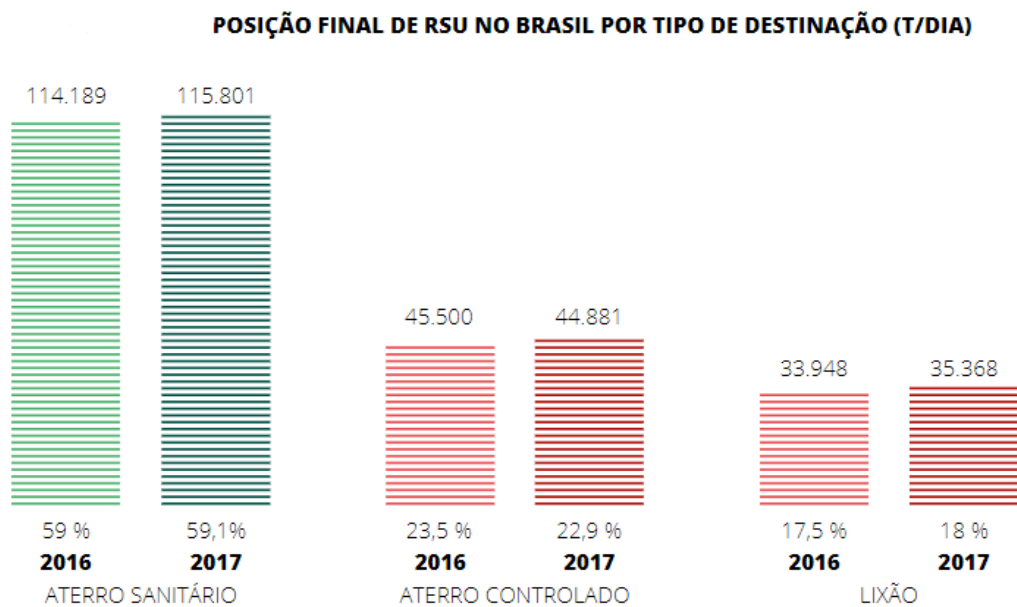


Figura 3. 2 - Locais de destinação final dos RSU no Brasil em 2016 e 2017. (Fonte: ABRELPE)

Verificando-se assim que, apesar da melhoria na coleta de resíduos, houve também um aumento de 0,5% na disposição em lixões entre 2016 e 2017, justificado pelo também aumento na produção total de RSU no país.

Em comparação entre os anos de 2017 e 2018, observamos um aumento de 0,82% na geração total de RSU no país, e aumento de 0,39% na geração per capita, conforme a Figura 3. 3.

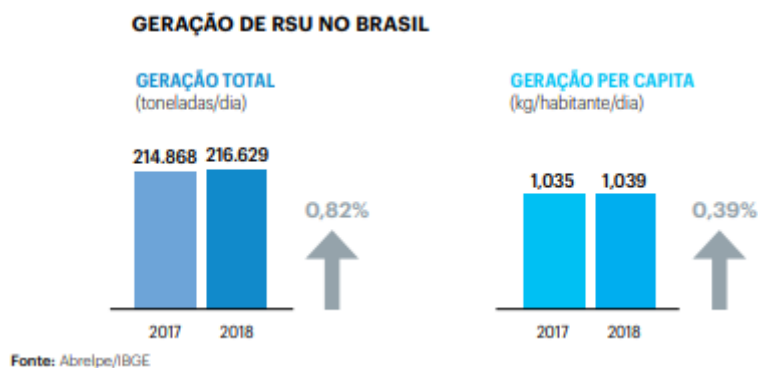


Figura 3. 3: Geração de RSU no Brasil. (Fonte: ABRELPE/IBGE)

No cenário comparativo entre 2017 e 2018, nos dados de coleta de RSU no Brasil, observamos um aumento de 1,66% na coleta total e aumento de 1,27% na coleta per capita, conforme a Figura 3. 4.

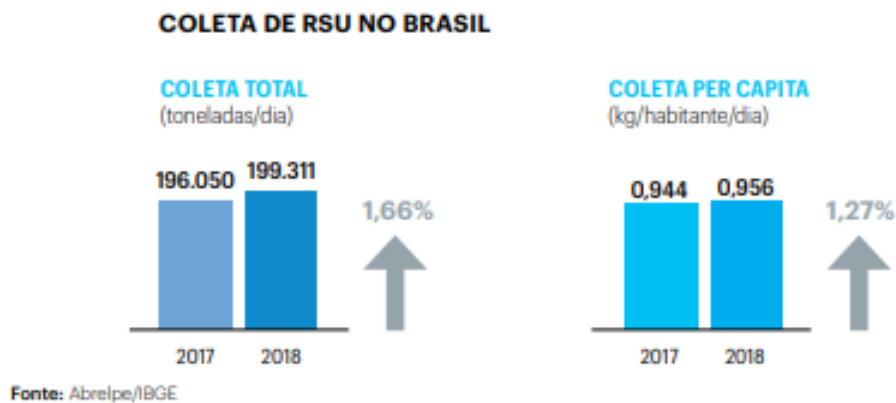


Figura 3. 4: Coleta de RSU no Brasil. (Fonte: ABRELPE/IBGE)

Os tipos de disposição final do lixo, em um comparativo entre 2017 e 2018 pode ser verificado nas Figuras 3.5 e 3.6

DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU, POR TIPO DE DESTINAÇÃO (toneladas/dia)

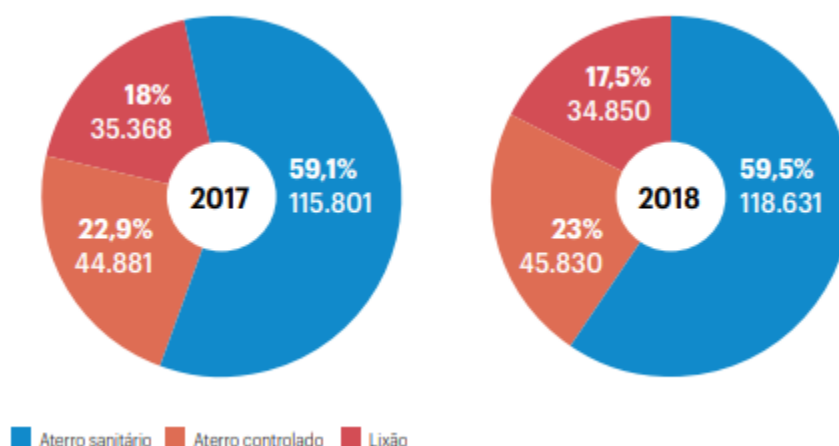


Figura 3. 5: Disposição final de RSU, por tipo de destinação no Brasil. (Fonte: ABRELPE/IBGE)

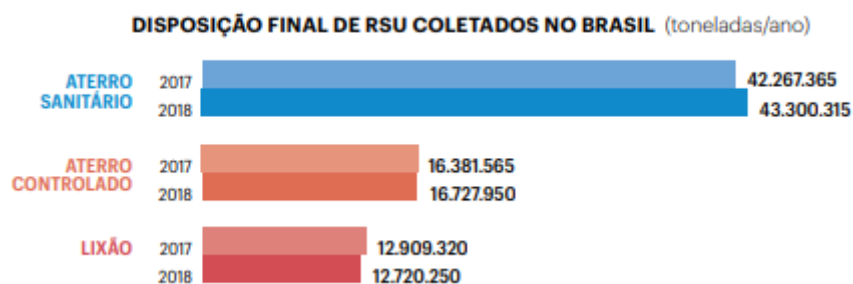


Figura 3. 6: Disposição final de RSU coletados no Brasil. (Fonte: ABRELPE/IBGE)

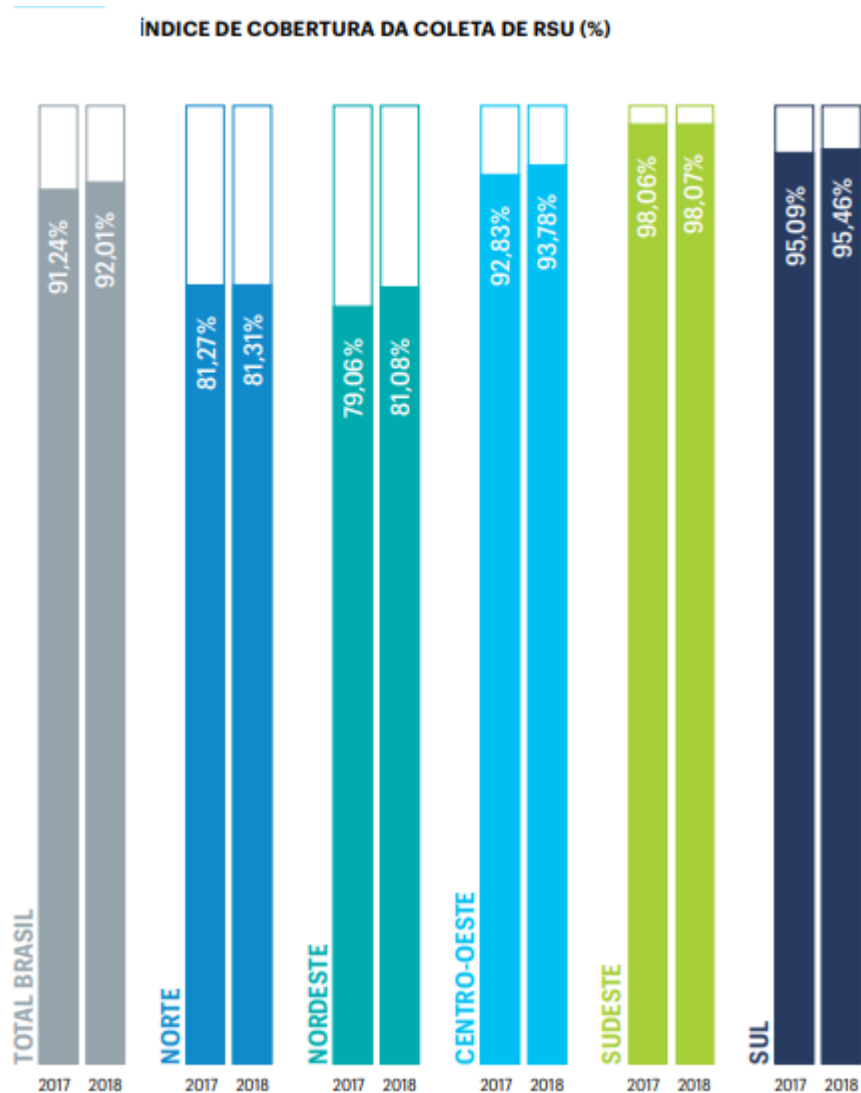
De acordo com a ABRELPE (2019) a região nordeste do país teve uma redução na quantidade de RSU coletados por dia, conforme a Figura 3. 7. Ainda, a região nordeste do Brasil é a com menor índice de cobertura da coleta de RSU, conforme a Figura 3. 8

QUANTIDADE DE RSU COLETADA NAS REGIÕES E NO BRASIL

Regiões	2017	População 2018	2018
	RSU Total (toneladas/dia)		RSU Total (toneladas/dia)
Norte	12.705	18.182.253	13.069
Nordeste	43.871	56.760.780	43.763
Centro-Oeste	14.406	16.085.885	14.941
Sudeste	103.741	87.711.946	105.977
Sul	21.327	29.754.036	21.561
BRASIL	196.050	208.494.900	199.311

Fonte: Abrelpe/IBGE

Figura 3. 7: Quantidade de RSU coletada nas regiões e no Brasil. (Fonte: ABRELPE/IBGE)



Fonte: Abrelpe/IBGE

Figura 3. 8: Índice de cobertura de coleta de RSU no Brasil. (Fonte: ABRELPE/IBGE)

É importante salientar que, segundo Bidone e Povinelli (1999), a disposição dos resíduos sólidos urbanos em qualquer uma das três formas apresentadas, não evita a formação de subprodutos como gases (CO₂, H₂S e CH₄), de lixiviados/percolados (mistura do lixiviado gerado pela degradação do material orgânico com água da chuva), que exigem um tratamento adequado, sob pena de criarem impactos ambientais e efeitos estéticos indesejáveis.

3.1.1 - Caracterização dos Resíduos Sólidos

O lixo é formado por várias frações de seus constituintes, que formam a composição física do mesmo. Essas frações, segundo Bidone e Povinelli (1999), normalmente distribuem-se em matéria orgânica, papel, papelão, trapos, couro, plástico duro, plástico mole, metais ferrosos, metais não-ferrosos, vidro, borracha, madeira e outros. Para estabelecer as medidas que devem ser tomadas com os resíduos e fazer com que sejam depostos de forma sanitária adequada e economicamente viável, considerando que cada comunidade gera resíduos diferentes, o conhecimento da composição física do lixo se torna um fator indispensável.

A composição química dos resíduos sólidos está relacionada, principalmente, aos seus componentes orgânicos, abrangendo a quantificação de parâmetros como carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, ferro, manganês, sódio e enxofre, que compõem o elenco básico de macro e micronutrientes, a relação carbono e nitrogênio (C/N), o pH e as concentrações de sólidos totais, fixos e voláteis.

Ainda de acordo com Bidone e Povinelli (1999) os aspectos físicos e químicos são importantes para adquirir informações tais como sobre o volume dos resíduos sólidos, possibilitando a determinação da capacidade volumétrica dos meios de coleta, transporte e disposição final, sobre a umidade, que indica a quantidade de água contida na massa de lixo que é importante na definição do poder calorífico do mesmo, na densidade e na velocidade de decomposição biológica dos materiais presentes; sobre o teor de materiais combustíveis e incombustíveis contidos nos resíduos e que reflete a quantidade de materiais que se prestam à incineração e de materiais inertes.

Em relação aos aspectos microbiológicos dos resíduos sólidos estão, principalmente, relacionados à fração orgânica que os compõem, posto que a sua reciclagem pode se realizar por meio da decomposição biológica, levada a efeitos pelos microrganismos saprófitos, que se alimentam de matéria orgânica originária de processos

de decomposição, ou microrganismos decompositores que naturalmente já existem no meio. Os processos de decomposição são, basicamente, processos de nutrição e respiração (aeróbia, em presença do oxigênio livre, e anaeróbia, na ausência deste) dos microrganismos.

A decomposição da fração orgânica de uma dada massa de lixo pode ser feita por processos aeróbios ou anaeróbios. A decomposição aeróbia é muito mais rápida, resultando em subprodutos como gás carbônico, sais minerais de nitrogênio, fósforo, potássio e outros macro ou micronutrientes solúveis em água e facilmente assimilados pelas raízes das plantas, e alguns outros compostos orgânicos que são biodegradados mais lentamente, como o húmus natural. A decomposição anaeróbia é lenta, gerando subprodutos em estágios intermediários de degradação, como a amônia e ácidos orgânicos, que são nocivos e contaminantes, e gases, como o gás sulfídrico, que possui um cheiro característico, apresentando toxicidade.

3.1.2 – Degradação da Matéria Orgânica

Para entendermos as fases de degradação da matéria orgânica, podemos utilizar os processos ocorridos em um aterro sanitário, onde a degradação anaeróbia da matéria orgânica bruta, com a geração do gás metano, se dá em cinco fases: ajustamento inicial, transição, formação de ácidos, fermentação metanogênica e maturação final.

Na primeira fase, a de ajustamento inicial, ocorre a disposição dos resíduos e o acúmulo de umidade. Após isso, há a cobertura da área e se dá início do processo de estabilização biológica. Na fase seguinte, de transição, inicia-se a formação do lixiviado, ocorrendo a transição da fase aeróbia para anaeróbia, estabelecimento das condições de oxirredução e aparecimento de compostos intermediários como os ácidos voláteis. A terceira fase é a de formação de ácidos, onde há predomínio de ácidos orgânicos de cadeia longa, o pH se torna mais ácido e há possível complexação de espécies metálicas, ocorre a liberação de nutrientes como nitrogênio e fósforo, que auxiliam no crescimento da biomassa, e há presença de hidrogênio. Posteriormente, na fase de fermentação metanogênica, os produtos intermediários provenientes da fase anterior são convertidos em CH₄ e CO₂, o pH, controlado pelos ácidos voláteis, volta à sua condição tampão, há precipitação e complexação de metais e ocorre uma baixa no valor da DQO, que é medida no lixiviado, em decorrência do aumento na produção de gás. A quinta e última fase, de maturação final, ocorre a estabilização da atividade biológica, a paralisação da produção de

gás pela escassez de nutrientes, aparecimento de O_2 e espécies oxidadas e a conversão em substâncias húmicas complexadas com metais da matéria orgânica resistente aos microrganismos.

Resumidamente, a cobertura do lixo gera processos aeróbios que duram até o consumo total do oxigênio contido na carga e, ao esse fato ser concretizado, inicia-se a decomposição anaeróbia. A fase anaeróbia é dividida em duas fases, sendo a primeira chamada de fermentação ácida, onde os organismos facultativos ou anaeróbios decompõem as substâncias orgânicas iniciais, entre outras, proteínas, graxas e hidratos de carbono em CO_2 , H_2 e ácidos graxos menores. A segunda fase é denominada fermentação metanogênica, onde organismos anaeróbios decompõem os produtos da fermentação ácida e os convertem em CH_4 , substâncias húmicas (que trazem a cor escura ao lixiviado) e água.

O processo de degradação da matéria orgânica como descrito acima, é feito pelos microrganismos: bactérias fermentativas, bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio, bactérias acetogênicas consumidoras de H_2 ou homoacetogênicas, bactérias metanogênicas e bactérias redutoras de sulfato. O esquema das fases metabólicas e dos grupos microbianos envolvidos no processo de transformação anaeróbia da matéria orgânica em aterros sanitários está representado na Figura 3.9.

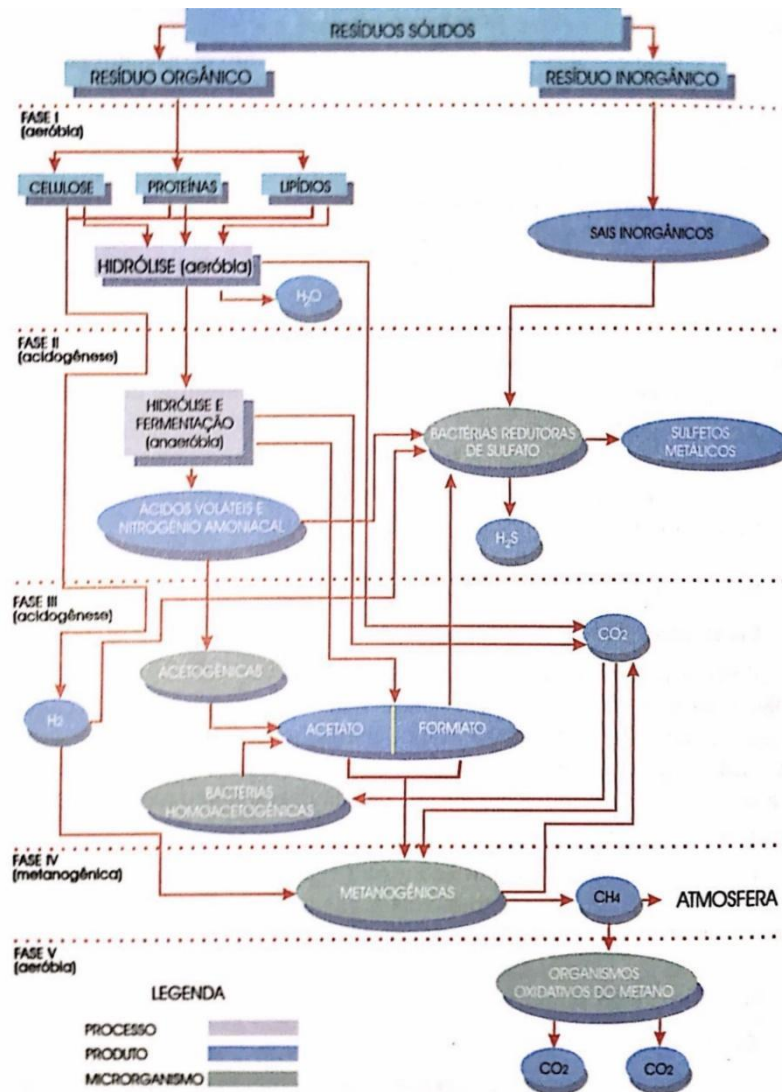


Figura 3. 9 - Fases metabólicas e grupos microbianos envolvidos no processo de transformação anaeróbica de resíduos sólidos orgânicos. (Fonte: Cotrim, 1997)

3.2 - LIXIVIADO

O lixiviado é o resultado da biodegradação da fração orgânica dos resíduos sólidos que gera um líquido formado a partir de enzimas de bactérias de decomposição, água de constituição e água de chuva. Conforme Tchobanoglous *et al.* (1993) a água é o principal fator de formação do chorume, e é introduzida no aterro pela precipitação, escoamento superficial, variação do nível freático e por líquidos originados da biodegradação. Lange e Amaral (2009) acorda que sua interação com águas pluviais percoladas pela massa de resíduos forma o lixiviado, cujo volume é determinado justamente pela vazão infiltrada. As características do chorume são determinadas pela composição dos resíduos, características

hidrogeológicas, tempo de aterramento, taxa de infiltração e condições climáticas (Mishra *et al.* 2018).

A NBR 8.849/85 (ABNT, 1985) define o chorume como sendo o líquido de cor escura produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, possui mau cheiro e elevada DBO. Segundo Serafim *et. al* (2003), a origem do chorume está relacionada a três diferentes fontes: da umidade natural do lixo, aumentando no período chuvoso; da água de constituição da matéria orgânica, que escorre durante o processo de decomposição; das bactérias existentes no lixo, que expelem enzimas, que dissolvem a matéria orgânica com formação de líquido. A função dessas enzimas é solubilizar a matéria orgânica para que possa ser assimilada pelas células bacterianas. A umidade tem grande influência na formação do chorume já que um alto teor de umidade favorece a decomposição anaeróbia. A produção de chorume depende das condições peculiares de cada caso, principalmente da topografia, geologia, regime e intensidade das chuvas.

As águas da chuva, assim como das nascentes, percolam através do lixo e carregam o chorume e a matéria orgânica dando origem ao líquido percolado. O volume de percolado produzido em aterros sanitários depende dos seguintes fatores: precipitação na área do aterro, escoamento superficial e/ou infiltração subterrânea, umidade natural do lixo, grau de compactação, capacidade do solo em reter umidade, entre outros.

A Figura 3.10 apresenta um esquema generalizado da formação do líquido percolado e a Equação 3.1 representa o balanço hidrológico.

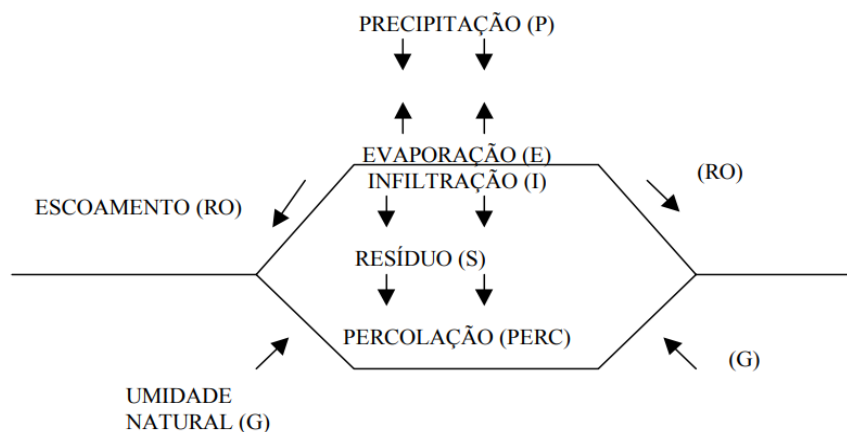


Figura 3. 10 - Balanço hidrológico da formação do líquido percolado. (Fonte: Farquhar, 1989)

$$PERC = P - RO - E - S + G \quad (3.1)$$

Ao ser filtrada através dos resíduos sólidos em decomposição, os materiais biológicos e compostos químicos presentes na água são arrastados e diluídos, sendo muitos deles altamente contaminantes.

Na Tabela 3.1 é possível ver a composição básica dos resíduos sólidos municipais baseados em pesquisas anteriores, cuja composição é apresentada em porcentagem por peso de lixo. Os resíduos são classificados em categorias, onde a categoria A indica os resíduos facilmente biodegradáveis, produtores de altas concentrações de matéria orgânica e nitrogênio amoniacal, biodegradação que ocorre nos primeiros meses após o aterro do resíduo sólido. A categoria B representa matéria orgânica menos biodegradável e com concentrações de orgânicos mais baixa em relação a categoria A. A categoria C representa a aparição de metias como o ferro, manganês e zinco, no lixiviado, metais quais possuem baixa taxa de reação e permanecem por muitos anos no ambiente. Na categoria D aparecem os componentes inorgânicos não-metálicos como os vidros, os óleos e os sais, sendo que os compostos facilmente solúveis aparecem nos primeiros meses, enquanto os menos solúveis produzirão contaminantes por alguns anos. Os metais alcalinos terrosos, como o cálcio, magnésio, sódio e potássio, e os ânions mais comuns como os cloretos, sulfatos, fosfatos e carbonatos, surgem principalmente dos resíduos da categoria D. Em todos os casos, há um limite da quantidade de contaminantes que pode ser formada, dependendo da composição do lixo.

Tabela 3. 1 - Composição Típica de Resíduos Sólidos Municipais. (Fonte: Farquhar, 1989)

Categoria	Componentes	% por Peso Líquido
A	Alimentos	5-20
	Resíduos jardim	15-25
B	Papéis	40-50
	Plásticos	1-5
	Madeira	2-5
	Outros orgânicos	2-10
C	Ferro	5-10
	Outros metais	0-1
D	Vidros	5-10
	Outros orgânicos	2-5
	Umidade	20-30

A variação da concentração de lixiviado no tempo está representada na Figura 3.11. O gráfico relaciona a idade dos resíduos com a concentração de lixiviado, que podem continuar produzindo contaminantes até mesmo após o fim das atividades do aterro ou lixão.

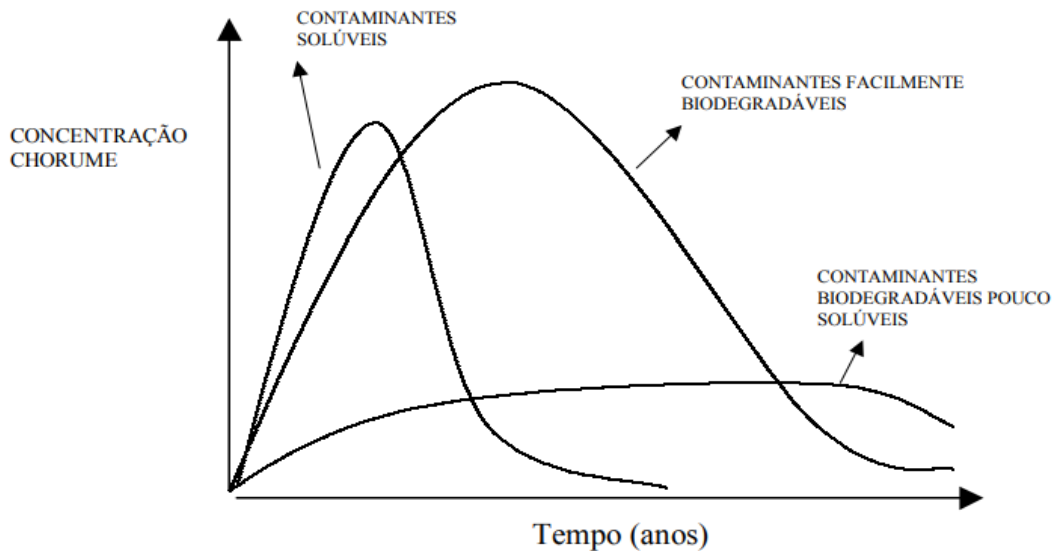


Figura 3. 11 - Concentração dos lixiviados em relação ao tempo. (Fonte: Farquhar, 1989)

A fase de decomposição em que está o lixiviado o relaciona diretamente com o impacto produzido no meio ambiente. Ao receber grande quantidade de águas pluviais, o lixiviado é caracterizado por pH ácido, altas DBO e DQO e presença de diversos compostos potencialmente tóxicos. Com o passar dos anos e com parte dos componentes biodegradáveis sendo convertidos a gás metano e CO₂, há uma redução significativa da biodegradabilidade.

As características físicas e químicas do lixiviado são variáveis de acordo com diversos fatores como as características dos rejeitos, as condições ambientais locais, o tempo de disposição do resíduo, a forma de operação do local onde o resíduo foi desposto, etc. No lixiviado, pode-se encontrar concentrações elevadas de sólidos em suspensão, metais pesados e compostos orgânicos. Por conter substâncias de alta solubilidade, o lixiviado pode contaminar as águas subterrâneas próximas ao local de despejo dos resíduos e, potencialmente, dispersa-se e atingir diversas áreas.

Por apresentar componentes bastante tóxicos, a presença do lixiviado em águas subterrâneas pode trazer sérias consequências para o meio ambiente e para a saúde. Dentre os problemas, pode-se citar que devido à movimentação dos lençóis freáticos, o lixiviado pode se dispersar e atingir poços artesianos, além disso é comum o descarte inadequado de resíduos, inclusive os classificados como perigosos, alterando a qualidade do ar por geração de gases e poeiras, a poluição das águas superficiais e do subsolo pelos líquidos percolados e pela migração de gases, a agressão estética do solo devido ao espalhamento do lixo, o que atrai diversos animais vetores de doenças, como urubus, baratas, ratos,

moscas, besouros, etc. O lixiviado é um contaminante mais perigoso que esgoto e precisa de um tratamento adequado para não afetar tão bruscamente o meio ambiente, sendo seu tratamento uma medida de proteção ambiental, de manutenção da estabilidade do aterro e uma medida de prevenção que garante a melhoria da qualidade de vida local e de todos dependentes do ambiente.

3.2.1 - Caracterização do lixiviado

Conforme visto, as características do lixiviado produzidos em aterros ou lixões são influenciadas por diversos fatores como a composição dos resíduos despejados, sua densidade, a realização de pré-tratamento ou não dos resíduos, sua forma de disposição, profundidade, umidade, temperatura e o tempo em que está disposto. Os contaminantes dos lixiviados são compostos por várias substâncias diferentes, como substâncias orgânicas medidas por parâmetros de DBO, DQO e carbono orgânico total (COT), nitrogênio em suas diversas formas (nitrogênio amoniacal, nitratos, nitritos, amônia), halogênio inorgânicos, carbonatos, cloretos, sulfatos, íons sódio, potássio, cálcio e metais diversos como ferro, zinco, manganês, níquel, cobre, etc.

A Tabela 3.2 dispõe alguns íons presentes no lixiviado e suas possíveis origens.

Tabela 3. 2 - Origens dos íons encontrados no lixiviado. (Fonte: Segato, 2000)

Íons	Origem
Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Material orgânico, entulhos de construção, cascas de ovos.
PO ₄ ⁻³ , NO ₃ ⁻ , CO ₃ ⁻²	Material orgânico
Cu ⁺² , Fe ⁺² , Sn ⁺²	Material eletrônico, latas, tampas de garras
Hg ⁺² , Mn ⁺²	Pilhas comuns e alcalinas, lâmpadas fluorescentes
Ni ⁺² , Cd ⁺² , Pb ⁺²	Baterias recarregáveis (celular, telefone sem fio, automóveis)
Al ⁺³	Latas descartáveis, utensílios domésticos, cosméticos, embalagens laminadas em geral.
Cl ⁻ , Br ⁻ , Ag ⁺	Tubos de PVC, negativos de filmes e raios-X
As ⁺³ , Sb ⁺³ , Cr ⁺³	Embalagens de tintas, vernizes, solventes orgânicos

Os processos bioquímicos em um aterro podem ser de natureza aeróbia ou anaeróbia, variando a composição química do lixiviado, que depende de fatores como a idade do aterro e de eventos ocorridos antes da amostragem. Uma característica importante

e curiosa do lixiviado é que sua composição pode apresentar uma grande variabilidade, em dependência da sua idade e dos processos e fases de biodegradação da matéria orgânica ocorridos durante esse tempo.

Um lixiviado coletado durante sua fase ácida de decomposição, quando possui pouca idade e ainda não foi atingida a fase estável de fermentação anaeróbia, possivelmente possuirá o pH é baixo e as concentrações de DQO e COT altas. Na fase metanogênica, que governa depois de 1 a 4 anos de idade do aterro, as concentrações de DQO e COT diminuem e a concentração de nitrogênio amoniacal aumentam. A Tabela 3.3 mostra os intervalos de variação dos parâmetros encontrados no lixiviado durante o ciclo de decomposição da matéria orgânica em um aterro.

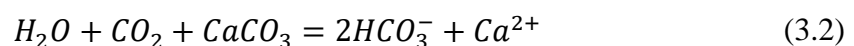
Tabela 3. 3 - Variação de Propriedades e Concentração de Substâncias do Lixiviado.
(Fonte: CLARETO e HELD, apud SEGATO (2000, p.5))

Parâmetros	Faixa de Variação
pH	3,5 – 9,0
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /l)	850 – 17.500
DBO ₅ (mg/l)	15.000 – 50.000
DQO (mg/l)	21.000 – 78.000
Sólidos Suspensos (mg/l)	660 – 5.000
Nitrogênio amoniacal (mg/l)	50 – 5.000
Nitrato (mg/l)	0,1 – 250
Nitrito (mg/l)	0,1 – 40
Arsênio (mg/l)	0 – 200
Cádmio (mg/l)	0 – 2
Cianetos (mg/l)	0 – 10
Zinco (mg/l)	0 – 25
Cloretos (mg/l)	100 – 12.400
Cobre (mg/l)	0 – 8
Cromo total (mg/l)	0 – 300
Ferro (mg/l)	2 – 2.100
Manganês (mg/l)	0 – 35
Merúrio (mg/l)	0 – 0,05
Níquel (mg/l)	0 – 5
Chumbo (mg/l)	0 – 2
Sulfato (mg/l)	18 – 2.000
Fósforo total (mg/l)	0,1 – 31

3.3 - CARSTE

De acordo com Auler e Zogbi (2011), o relevo cárstico é um tipo de relevo cujo nome “carste” foi originado numa região calcária da fronteira entre a Eslovênia e a Itália denominada *Kras*, pelos eslovenos, e *Karst*, pelos alemães. A partir daí o termo se internacionalizou, passando a designar todas as regiões que apresentam feições semelhantes. Nas regiões cársticas, a maior parte da água corre em condutos subterrâneos e as rochas, normalmente calcários e dolomitos (mas também podem ser sal, gesso, arenitos e quartzitos), são dissolvidas por água ácida gerando feições como lapiás, dolinas, sumidouros, surgências e cavernas, dentre muitas outras. As formas cársticas estão intimamente relacionadas entre si.

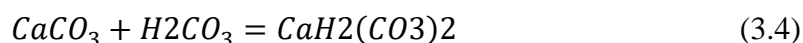
O processo básico que da formação das formas cársticas em regiões calcárias pode ser sintetizado pela Equação 3.2.



No processo, o dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera é absorvido pela água da chuva, formando o ácido carbônico (H₂CO₃) e tornando-a ácida. Esta água, ao entrar em contato com a rocha, é capaz de dissolver o calcário. Podemos explicar a Equação 3.3 com o exemplo da calcita, mineral que forma os calcários e mármore, que é um carbonato de cálcio pouco solúvel em água, e à essa água absorver pequenas quantidades de dióxido de carbono forma-se o ácido carbônico, de acordo com a reação:



Esta mesma água ácida, ao penetrar no solo, absorve ainda mais dióxido de carbono associado a raízes de plantas e ao húmus e, ao atingir a rocha, a água já está bastante ácida, podendo então dissolver o calcário, alargando as fraturas da rocha. O ácido carbônico é um ácido fraco, mas basta uma pequena quantidade dele para que a água dissolva facilmente o carbonato de cálcio. Forma-se, assim, carbonato ácido de cálcio (mais conhecido como bicarbonato de cálcio), que é solúvel e vai embora com a água na Equação 3.4:



O calcário é uma rocha que normalmente apresenta muitas fraturas. À medida que a água dissolve a rocha, vai alargando as fraturas, permitindo que mais água penetre as fendas, de modo que o processo tende a se acelerar cada vez mais. Em relevos cársticos, caracterizados por essa dissolução química das rochas, a água dissolve e carrega os minerais rumo ao lençol freático.

A forma cárstica mais comum e conhecida é a caverna, que de acordo com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) tem o nome originado do latim *cavus* (buraco), e designa qualquer cavidade natural em rocha com dimensões que permitam acesso a seres humanos. Pode ser de vários tipos, conforme topografia, comprimento e forma. As cavernas são geralmente originadas em rochas calcárias, mas também podem ser formadas em rochas ígneas e metamórficas, em geleiras, em recifes de coral e em regiões de derrame de lava.

Além das cavernas, entre as formas cársticas mais comuns, podemos citar as dolinas. Estas são depressões no terreno, podendo ser suaves ou abruptas, e seu surgimento é devido a lenta dissolução de uma fratura, levando ao rebaixamento da superfície da rocha, ou mesmo pelo desmoronamento de uma caverna. Ou seja, o rebaixamento do terreno e eventos ocorridos no interior das cavernas, como desmoronamentos, podem gerar a formação de uma espécie de cratera no solo. O perfil de algumas feições cársticas pode ser visualizado na Figura 3.12, o processo de formação de uma dolina pode ser visualizado na Figura 3.13.

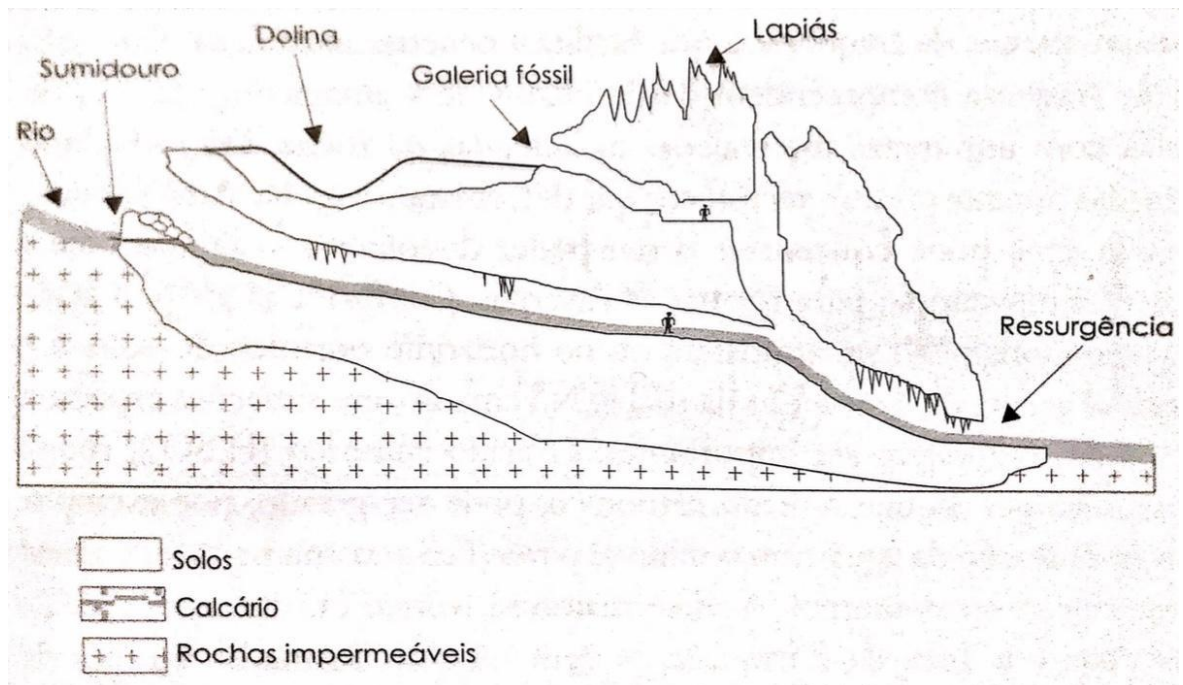


Figura 3. 12 - Perfil ilustrativo de feições cársticas. (Fonte: Auler e Zogbi, 2011, p. 17)

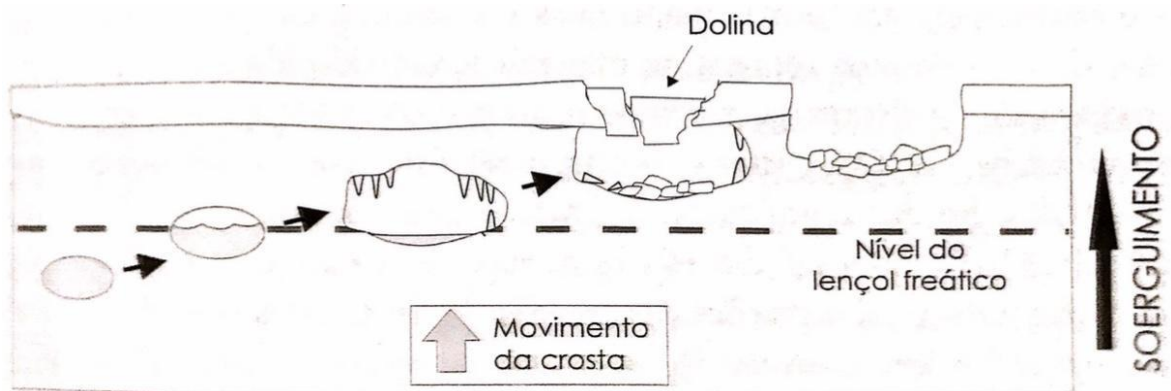


Figura 3. 13 - Perfil ilustrativo de formação de uma dolina. (Fonte: Auler e Zogbi, 2011, p. 19)

3.3.1 - Cavernas

Sendo as feições cársticas de maior conhecimento do público em geral, as cavernas podem ser de dois tipos básicos: cavernas primárias e cavernas secundárias. As primárias são formadas no mesmo momento que a rocha onde estão, sendo o melhor exemplo os tubos de lava, muito comuns em regiões com vulcões ativos, mas inexistentes no Brasil. Outro exemplo de caverna primária, bastante comum no Brasil, são as cavernas em tálus, que, por sua vez, são desmoronamentos de grandes proporções, comuns na base de algumas montanhas, principalmente em granito. Os blocos caídos nunca se assentam

perfeitamente, sobrando espaços irregulares que podem ser explorados (Auler e Zogbi, 2011).

As cavernas secundárias, ao contrário das primárias, são geradas após a rocha ter sido formada. Estas são a maioria das cavernas, incluindo as cavernas cársticas. Exemplos não-cársticos de cavernas secundárias são as grutas formadas pela ação de ondas, muito frequentes na costa brasileira, ou pela ação do vento, comumente encontradas em áreas desérticas.

A maioria parte das cavernas são formadas por processos cársticos, através da dissolução da rocha pela água ácida, como foi descrito anteriormente, possuindo fragmentações que facilitam a penetração da água e aumentam a capacidade de formação de cavernas. Além do ácido carbônico, participante essencial no processo de dissolução das rochas descrito, existem outros ácidos que podem participar do processo de formação de feições cársticas, como o ácido sulfúrico (H_2SO_4), muito mais poderoso do que o ácido carbônico, pode ser gerado, por exemplo, através da reação da água com o mineral pirita (FeS_2), comumente encontrado em calcários e dolomitos. As duas maiores cavernas brasileiras, a Toca da Boa Vista e a Toca da Barriguda, podem ter sido formadas através da dissolução de dolomitos por ácido sulfúrico (Auler e Zogbi, 2011).

De acordo com Auler e Zogbi (2011) “A grande maioria das cavernas se origina na zona freática, ou seja, na zona onde os espaços vazios da rocha estão totalmente preenchidos pela água. No início constituem-se de pequenos canais, com alguns milímetros de diâmetro, que ainda não podem ser visitados pelo homem. Lentamente, no entanto, a caverna vai se alargando. Como os condutos da caverna estão totalmente preenchidos por água, há uma dissolução por igual do perímetro destes, fazendo com que predomine uma seção arredondada. Neste estágio, as cavernas freáticas já podem ser exploradas por espeleomergulhadores. Com a tendência natural de haver um soerguimento (levantamento gradual) da crosta, as cavernas vão lentamente tornando-se mais rasas e com isto acabam por se aproximar do topo do lençol freático. Nesta etapa já há ar em na caverna e não há necessidade de mergulho para explorar a mesma. Diz-se, então, que a caverna está na zona vadosa.”

As cavernas vadossas podem ser percorridas por rios, onde a água não ocupa toda a galeria e a tendência é que a gruta seja escavada para baixo, da mesma forma que acontece com um rio escavando um cânion. Na zona vadosa ocorre a formação dos espeleotemas, que são feições de extrema beleza originados da sedimentação e cristalização dos minerais dissolvidos na água que penetra o solo e chega às cavernas. Eventualmente, à medida que a

água abaixa e a caverna se torna totalmente seca, esta pode se aproximar da superfície e ser destruída pela erosão.

É importante salientar que o processo de formação e evolução de uma caverna é lento e pode levar milhões de anos. Durante todo este tempo vários fatores e variáveis intervêm para dar às cavernas uma grande diversidade de formas e tamanhos. A ilustração de cortes transversais de alguns condutos de cavernas está representada na Figura 3.14. As dolinas, por sua vez, podem aparecer abruptamente ou levar anos para se formarem.

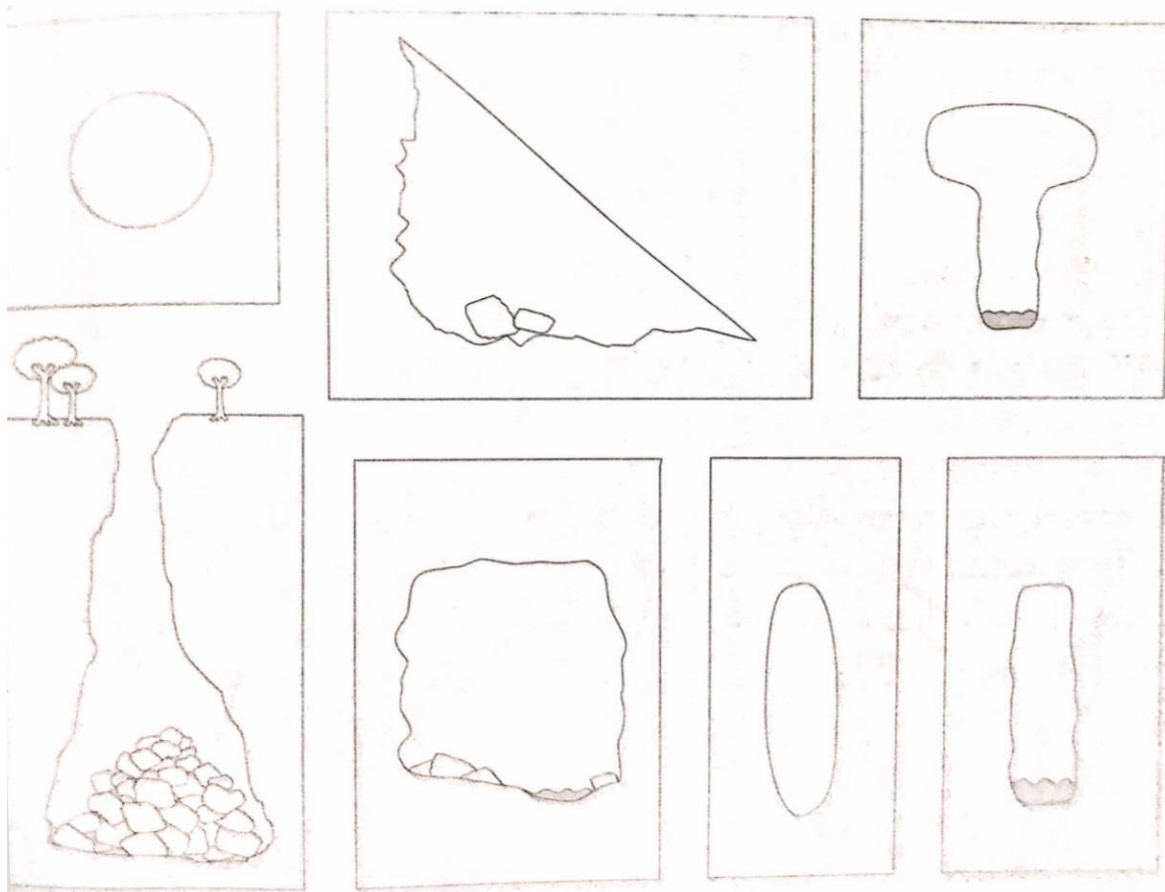


Figura 3. 14 - Cortes transversais de condutos de cavernas. (Fonte: Auler e Zogbi, 2011, p. 19)

3.4 – CICLO HIDROLÓGICO E BACIA HIDROGRÁFICA

De acordo com Silveira (2000), o ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionada pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.

O ciclo hidrológico pode ser descrito a partir do vapor de água presente na atmosfera que, ao se condensar, forma microgotículas de água que se agrupam e formam um aerossol que é chamado de nuvem ou de nevoeiro, quando o aerossol se forma perto do

solo. Através da dinâmica das massas de ar, ocorre a precipitação. A forma de precipitação mais conhecida é a chuva, que ocorre quando há a formação de uma grande quantidade de gotas com tamanho e peso suficientes para que a gravidade supere os movimentos ascendentes da atmosfera. Ao percorrer o trajeto até a superfície, a precipitação sofre a evaporação de parte de suas gotas e, ao atingir o solo, a água da precipitação pode seguir diversos caminhos como ser interceptada pela cobertura vegetal, infiltrar e percolar no solo até sua saturação, ser absorvida do solo pelas raízes das plantas e a devolverem para a atmosfera pela sua transpiração ou escoar superficialmente para as cotas mais baixas, podendo sofrer processos de drenagem. O ciclo se fecha quando a água na superfície terrestre, seja em solo ou em corpos hídricos, evapora e retorna à atmosfera (Silveira, 2000).

Os fatores que atuam no ciclo hidrológico são a energia térmica proveniente do Sol, os ventos, a gravidade, a infiltração e o deslocamento das massas de água. Uma representação simplificada do ciclo hidrológico é apresentada na Figura 3.15.



Figura 3. 15 - Ilustração do ciclo hidrológico. (Fonte: Finotti et al. 2009)

Conforme Silveira (p. 40, 2000) o ciclo hidrológico é normalmente estudado com maior interesse na fase terrestre, onde o objetivo de análise é a bacia hidrográfica. A bacia

hidrográfica, por sua vez, é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, o exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório.

O exemplo de uma bacia hidrográfica pode ser visualizado na Figura 3.10.

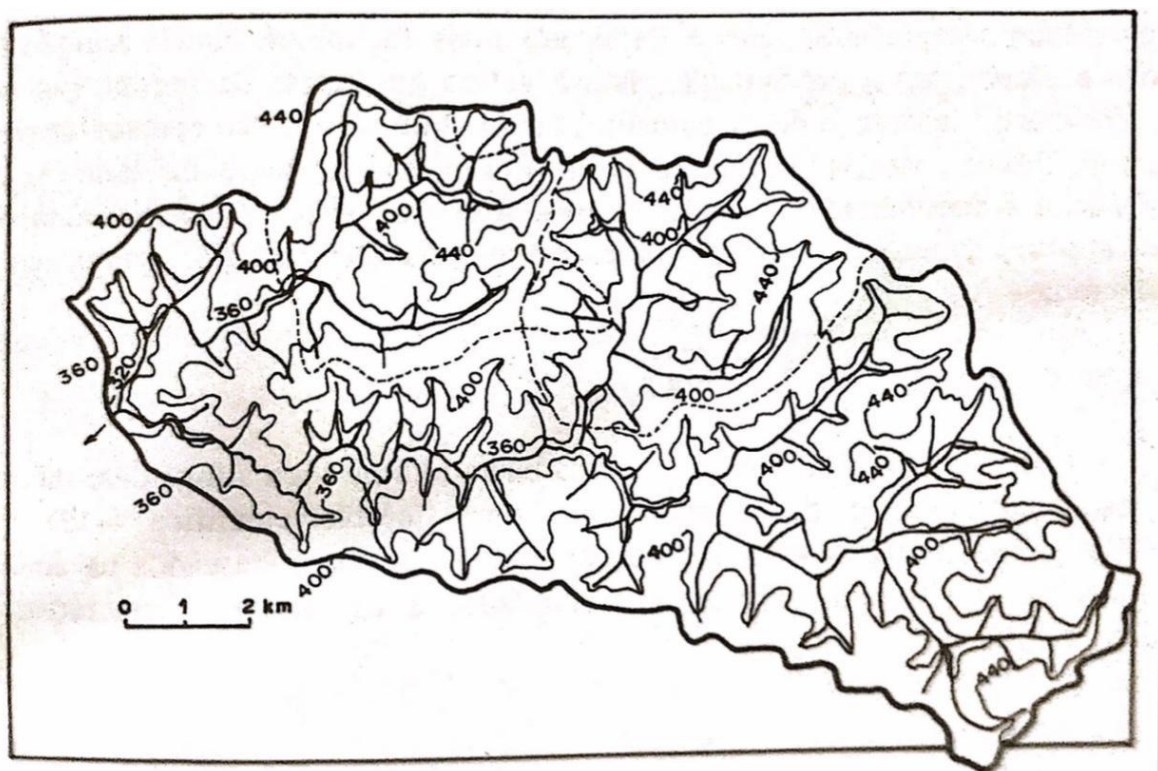


Figura 3. 16 - Representação da bacia hidrográfica do arroio Taboão (RS). (Fonte: Tucci, 2000, p. 41)

3.5 – ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Conforme Feitosa e Filho (p. 13, 2000) quase toda a água subterrânea existente na Terra tem origem no ciclo hidrológico. De acordo com Caicedo (2000) os sistemas hidrogeológicos podem ser classificados em aquíferos, aquíclude e aquícardo. Os aquíferos são formações geológicas que contém, água e permite que a mesma se movimente em condições naturais e em quantidades significativas. Os aquícludes são formações geológicas que podem conter água, mas não possuem condições de movimentá-las de um lugar para outro, em condições naturais e em quantidades significativas. Os aquícardos são formações geológicas de natureza semipermeável, onde a água é transmitida a uma taxa muito baixa comparada à de um aquífero.

A umidade no solo pode ser dividida em zonas conforme a proporção relativa do espaço poroso ocupado pela água. Essas zonas podem ser a de saturação ou aeração. A zona de saturação é onde todos os espaços vazios estão ocupados por água e está limitada superiormente pela linha de saturação, onde a pressão da água é igual à atmosférica, e inferiormente por uma barreira impermeável. A zona de aeração, onde os poros contêm água e ar, está limitada pela superfície do terreno e pela linha de saturação, podendo se diferenciar em três zonas: a zona de água do solo, onde as plantas se desenvolvem; a zona intermediária, que serve como freio das precipitações intensas e; a zona capilar, formada pela ascensão capilar (Caicedo, p. 289, 2000).

Um esquema da divisão da água abaixo da superfície terrestre está na Figura 3.17.

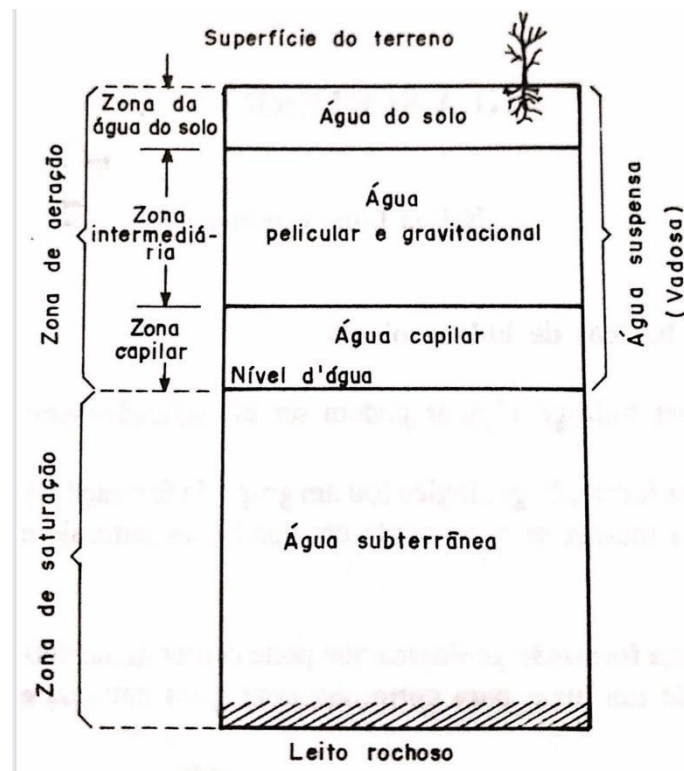


Figura 3. 17 - Divisão da água abaixo da superfície. (Fonte: Tucci, 2000, p. 290)

De acordo com Caicedo (p. 290, 2000) os aquíferos, formações subterrâneas bastante conhecidas, podem ser classificados em confinados e não-confinados, de acordo com a presença ou não da linha da água. Aquíferos confinados têm seus limites superior e inferior delimitados por formações impermeáveis e sua pressão é maior que a atmosférica. O aquífero freático, por sua vez, é um aquífero livre onde a linha de saturação da água é a

sua fronteira superior. Uma representação dos aquíferos confinados e livres está na Figura 3.18.

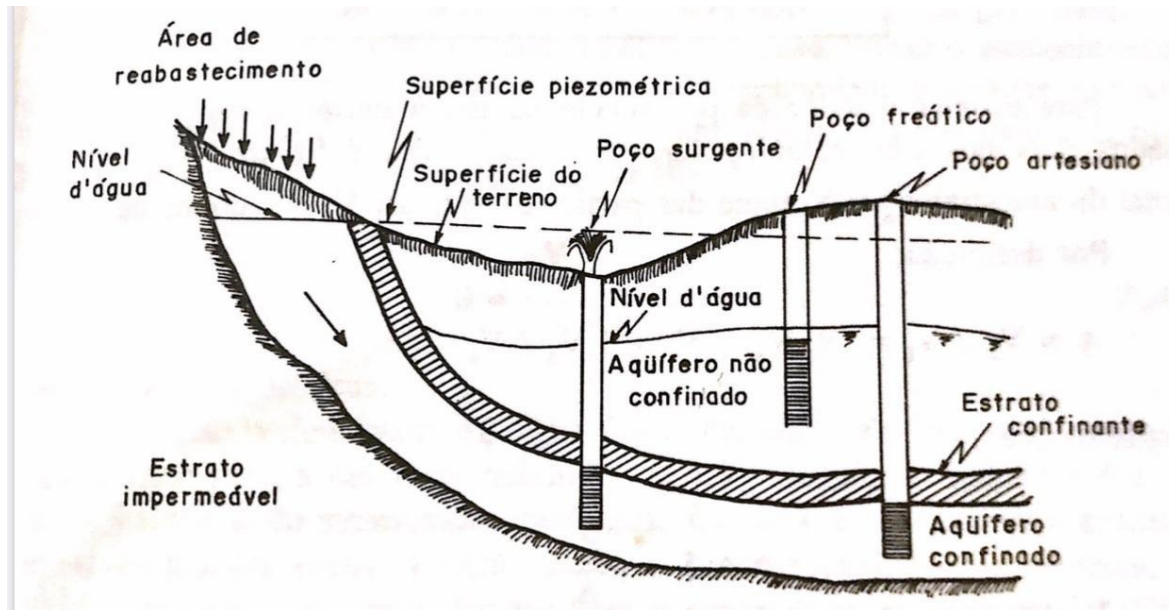


Figura 3. 18 - Aquíferos confinados e livres. (Fonte: Tucci, 2000, p. 291)

3.6 – UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

De acordo com a União Internacional para Conservação da Natureza (UICN), uma área natural protegida, hoje conhecida como Unidade de Conservação, é uma superfície de terra ou mar consagrada à proteção e manutenção da diversidade biológica, assim como dos recursos naturais e dos recursos culturais associados, e manejada por meio de meios jurídicos e outros eficazes (Costa, 2002).

Conforme a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), as Unidades de Conservação são definidas como o espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção.

As Unidades de Conservação são divididas em dois grupos: as Unidades de Proteção Integral e as Unidades de Uso Sustentável. As Unidades de Proteção Integral abrangem as categorias de Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio da Vida Silvestre, que têm como objetivo preservar a natureza, sendo permitido apenas o uso indireto de seus recursos naturais, com exceção dos

casos permitidos por lei. Já as Unidades de Uso Sustentável, que abrangem as categorias de Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva da Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural, têm como objetivo básico a compatibilização da conservação da natureza com o uso sustentável de parte de seus recursos naturais.

Dentre as diversas categorias de Unidades de Conservação, a que nos interessa nesse estudo é a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN). De acordo com Costa (p. 37, 2000) a RPPN é uma área particular, gravada com perpetuidade, cujo objetivo é conservar a diversidade biológica desse determinado território. Para uma área se tornar uma RPPN, por iniciativa do seu proprietário, é necessário o reconhecimento do Poder Público em nível federal, com o aval do IBAMA, se sua biodiversidade e aspecto paisagístico forem considerados de importante relevância ou suas características ambientais justificarem ações de recuperação. Assim, o proprietário, ao cumprir uma série de requisitos e restringir o uso da área, faz com que a natureza continue preservada.

3.7 – MÉTODO GEOFÍSICO DE RESISTIVIDADE

Atualmente, para investigações geológicas e geotécnicas, existem diversos tipos de ensaios geofísicos. Dentro dessa categoria de ensaios, pode-se destacar os de levantamento elétrico onde os mesmos fazem uso de campos eletromagnéticos, gerados artificialmente a partir da introdução de correntes no interior ou na superfície do solo para a investigação (Kearey, 2009). Dentre os ensaios elétricos geofísicos, pode-se destacar o método da polarização induzida, o método de potencial espontâneo e o método de resistividade ou eletrorresistividade, que será tema no atual trabalho.

No método de resistividade, correntes elétricas, a partir de uma bateria externa, serão artificialmente introduzidas no solo e, na superfície, serão medidas para se analisar os desvios do padrão de diferenças de potencial. Sabe-se que a resistividade de um material, segundo Georg Ohm, representa a oposição do mesmo material ao fluxo de corrente elétrica e, assim, cada material possui uma resistividade diferente e, com isso, ao medir-se a diferença de potencial entre dois pontos, sabendo-se a corrente e a frequência aplicada, pode-se determinar um perfil do solo e suas descontinuidades.

A resistividade é uma propriedade física muito variante, assim, existem minerais que podem auxiliar na condução de corrente elétrica (como o grafite) e existem materiais

que podem resistir contra a corrente elétrica (como a maior parte dos cristais). Essa facilidade ou dificuldade de condução está intimamente ligada à passagem de elétrons que, por sua vez, depende de fatores como o número de elétrons livres na camada de valência, a porosidade de cada material, a quantidade de água no meio e a quantidade de íons na água (Kearey, 2009).

Assim, a resistividade pode ser quantificada com a seguinte igualdade:

$$R = \rho * \frac{L}{S} \quad (3.5)$$

Onde ρ é um coeficiente que depende da natureza do objeto, L é o comprimento do material sendo experimentado, S sua seção transversal e R sua resistência. Com isso, o potencial V à uma pequena distância "r" de um eletrodo pode ser calculado como:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (3.6)$$

Onde I é igual a intensidade da corrente aplicada.

Como os potenciais gerados contribuem entre si no caso de duas ou mais fontes, a diferença de potencial entre dois eletrodos M e N recebendo corrente por A e saindo por B será:

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} K' \quad (3.7)$$

onde,

$$K' = \frac{1}{AM} - \frac{2}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \quad (3.8)$$

e, calculando-se o valor de ρ , observa-se que

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (3.9)$$

onde,

$$K = \frac{2\pi}{K'} \quad (3.10)$$

ou seja,

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (3.11)$$

Podendo observar que a locação dos eletrodos deve influenciar na aquisição de dados e sua veracidade.

O ensaio possui grandes vantagens como a praticidade, velocidade de obtenção dos dados, não ser um ensaio invasivo e ser um ensaio confiável, porém é evidente que o método não se basta sozinho: o mesmo pode apresentar os dados de descontinuidades no interior do solo e a resistividade de cada material mas, sem o auxílio de outros estudos, não se pode inferir muito mais do que isso, assim, é comum fazer paralelamente uma sondagem investigativa para combinar os resultados e se ter uma maior precisão do que se tem no maciço.

Existem dois principais procedimentos para o levantamento de eletrorresistividade: A sondagem elétrica vertical (SEV) e o caminho de separação constante (CST ou perfilagem elétrica). O primeiro procedimento é usado principalmente para caracterização de perfilagem horizontal ou quase horizontal, diferentemente do segundo que busca uma perfilagem mais vertical e profunda. Considerando uma corrente I introduzida no solo a partir de um eletrodo qualquer, se tem uma corrente fluindo radialmente, representada com as linhas de fluxo, e, com a distribuição homogênea, tem-se linhas equipotenciais, como mostra a Figura 3.19.

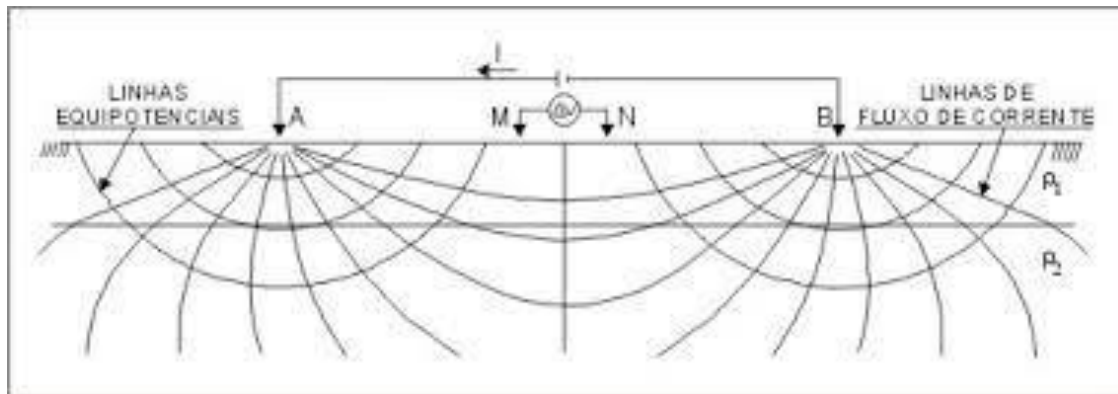


Figura 3. 19 - Perfil esquemático das linhas de fluxo e equipotenciais. A e B representam eletrodos de injeção de corrente elétrica enquanto M e N representam eletrodos de medida de diferença de potencial. (Fonte: Braga ,2001)

Assim, segundo Kearey (2009), o potencial num eletrodo interno M e N é a soma das contribuições dos eletrodos A e B e, assim, a partir da alocação dos eletrodos, se tem uma investigação mais profunda ou mais rasa.

Diversos são os tipos de configurações de eletrodos, com ênfase para a configuração de Wenner. Nesse arranjo, os eletrodos se mantêm equidistantes, como mostra a Figura 3.20, sendo "a" a distância entre os eletrodos vizinhos, tendo o fator geométrico como:

$$K = 2\pi a \quad (3.12)$$

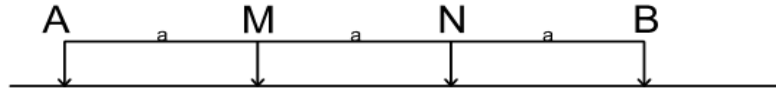


Figura 3. 20 - Arranjo básico de Wenner onde A e B são eletrodos injetores de corrente elétrica e M e N são receptores, todos equidistantes. (Fonte: Autor)

3.8 – ÍNDICES FÍSICOS DO SOLO

O solo é formado principalmente por três componentes: partículas sólidas, ar e água. Em um mesmo espaço, esses três elementos se encontram e interagem, assim, o comportamento geral do solo, seus fenômenos e naturezas dependem da quantidade relativa de cada uma das três fases. Diversas relações podem ser empregadas para expressar as proporções entre elas. Na Figura 3. 21, pode-se verificar as três fases do solo.

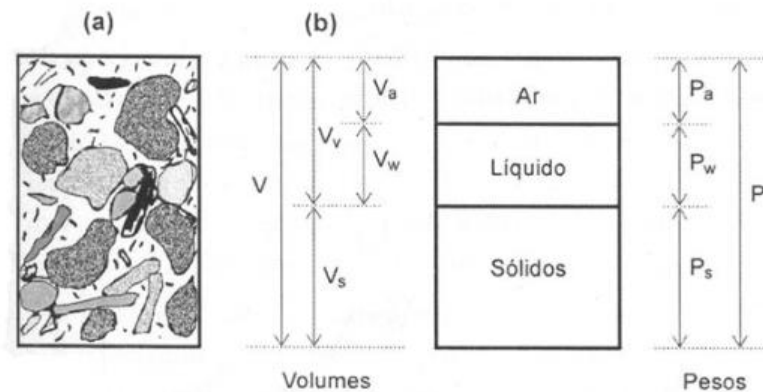


Figura 3. 21 - Fases do solo. (Fonte:Souza Pinto, 2000)

Com o aumento da evaporação, tem-se uma diminuição da água no solo e com certo adensamento, tem-se a diminuição de ar ou vazios no interior do maciço, porém, a quantidade de partículas sólidas se mantém constante, com isso, as diversas propriedades do solo dependem do estado em que se encontra. Para identificação do estado, empregam-se índices que relacionam os pesos e os volumes, sendo eles:

3.8.1 – Granulometria

Sabe-se que em uma determinada matriz genérica de solo, pode-se encontrar diferentes tipos de partículas com diferentes dimensões interagindo umas com as outras. Normalmente o solo não tem uma composição totalmente homogênea e, por isso, entender e quantificar as diferentes dimensões entre as partículas é de grande importância para compreender melhor alguns fenômenos e respostas do solo como a aeração no interior do maciço, a infiltração de água e sua sucção. A granulometria determina diversas faixas de dimensões das partículas existentes no solo em estudo e representa graficamente a proporção da quantidade de grãos em cada faixa de dimensão. Segundo Souza Pinto *et al.* (2000), a determinação granulométrica em um solo não tem uma caracterização experimental tão trivial, principalmente porque partículas de dimensões muito pequenas (como da argila) podem aglomerar partículas de maiores diâmetros (como areia) formando uma aparente partícula maior, por isso deve-se atentar com a desagregação entre as mesmas e, assim, chegar a um resultado real, normalmente por meio de peneiramento.

A dimensão das partículas determina os grãos como pedregulho, areia, silte ou argila, assim, segundo a NBR 6.502/1995 (ABNT, 1995) pode-se fazer a determinação de acordo com a Tabela 3.4.

Tabela 3. 4 - Faixa Granulométrica dos grãos (Fonte: ABNT, 1995)

CLASSIFICAÇÃO	DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)
Argila	< 0,002
Silte	0,002 – 0,06
Areia Fina	0,06 – 0,2
Areia Média	0,2 – 0,6
Areia Grossa	0,6 – 2
Pedregulho	2-60

3.8.2 – Umidade

É talvez o índice mais básico para se encontrar e relaciona o peso de água e o peso dos sólidos. Para obtenção desses valores, se pesa a amostra de solo no seu estado natural e após se secar em estufa. Com os dois pesos, calcula-se a umidade que geralmente se gira em torno de 10 e 40%, podendo-se ter valores muito baixos (solos secos) e valores muito altos (mais de 150%).

3.8.3 – Plasticidade

Segundo Souza Pinto *et al.* (2000), apenas a distribuição granulométrica não é o suficiente para entender e representar o comportamento dos solos do ponto de vista geotécnico, isso porque a fração fina dos solos possui características muito diferentes das mais grossas. Quanto menores as partículas, maiores são suas superfícies específicas além de diferir nas características mineralógicas entre cada tipo de solo e, assim, o comportamento água partícula tal qual o fenômeno de adsorção no sistema água-grão é específico e difere em cada situação, assim, o estudo dos minerais se torna muito complexo e, à procura de uma forma mais prática de identificar a influência das partículas argilosas e baseando-se no comportamento experimental do solo, Foi criado os índices de consistência que classifica o solo em três estados: líquido, plástico e quebradiço, de acordo com a umidade. Os limites entre cada estado são chamados de limite de liquidez e limite de plasticidade.

O estado líquido do solo, como o nome já induz, é quando o mesmo recebe tanta água que começa a se comportar como um líquido. Já o estado plástico é definido como o teor de umidade onde o solo ainda é moldável e o estado quebradiço é quando se tem um teor de umidade muito baixo e a argila se torna seca e quebradiça. Os limites e os estados podem ser definidos de acordo com a umidade do solo de acordo com a Figura 3.22.

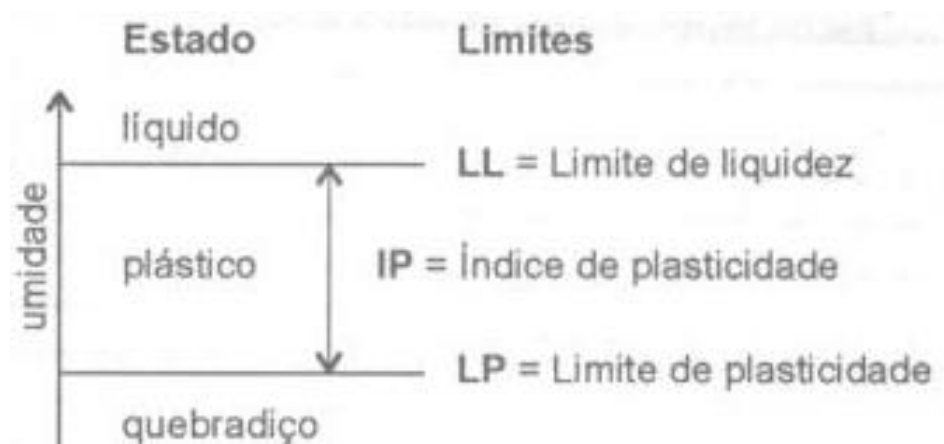


Figura 3. 22 - Estados do Solo e Sua Umidade. (Fonte: Souza Pinto, 2000)

O limite de liquidez, segundo Souza Pinto *et al.* (2000) é definido como o teor de umidade do solo com qual uma ranhura feita nele requer 25 golpes para se fechar em uma concha e, segundo o mesmo, o limite de plasticidade é definido como o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro de 3 mm de diâmetro, rolando-se o solo com a palma da mão. Ambos os experimentos são padronizados pela ABNT e serão abordados mais para frente no presente trabalho.

3.9 – CONTAMINAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS POR LIXIVIADO

Um dos maiores problemas enfrentados em aterros e em locais de disposição de resíduos é a contaminação dos aquíferos, das águas superficiais e dos solos locais pelo lixiviado do lixiviado. Para evitar que o lixiviado chegue a outros corpos hídricos, é necessário evitar seu contato com as águas subterrâneas.

3.9.1 - Principais Parâmetros de Qualidade da Água Influenciados pelo Lixiviado

A presença do lixiviado na água afeta todo o seu uso e a vida dependente da mesma, sendo a qualidade da água indicada pelos seus parâmetros físicos, químicos e biológicos. De acordo com Lauermann (2007) entre os parâmetros físicos, os principais são cor, turbidez, sabor, odor e temperatura; já, os parâmetros químicos são pH, dureza, cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, micropoluentes

orgânicos e micropoluentes inorgânicos como os metais pesados; os parâmetros biológicos, por sua vez, são analisados sob o ponto de vista de organismos indicadores, algas e bactérias. Conforme Lange e Amaral (2009), alguns desses parâmetros têm alta concentração ou valor marcante presente em amostras de lixiviado bruto e, assim, possuem mais relevância para indicar uma possível contaminação da água por lixiviado. Esses parâmetros são o pH, DBO, DQO, nitrogênio em suas diversas formas, metais pesados, condutividade e cloretos.

3.9.2 - pH

O pH, ou potencial hidrogeniônico, indica, na forma logaritimizada, a atividade do íon hidrogênio na água, expressando a intensidade de acidez ou alcalinidade de uma solução. A escala do pH varia de 0 a 14, onde o valor de pH igual a 7 a temperatura de 25°C representa a neutralidade, valores maiores que 7 são alcalinos e os menores que 7 são considerados ácidos.

No chorume, o pH é ácido (baixo) no início de sua formação, aumentando o valor e se tornando alcalino ao passar do tempo. Portanto, quanto mais alcalino for o chorume, mais velho ele será. Por ser considerado um parâmetro representativo do processo de decomposição biológica da matéria orgânica (Povinelli e Sobrinho, 2009), e, de acordo com Giordano *et al.* (2011), quando o pH do chorume está próximo de 6 o chorume é novo, já quando está próximo ao valor de 8, o chorume se encontra na fase metanogênica onde ocorre a degradação da matéria orgânica pela atividade anaeróbia, transformando os ácidos voláteis em metano e CO₂.

A presença do chorume nas águas naturais acarreta diversos problemas como a atuação no organismo de diversas espécies dependentes dessas águas e, indiretamente, há precipitação de metais pesados presentes no chorume em determinados valores de pH (Piveli e Kato, 2006).

3.9.3 - DBO e DQO

A DBO é a demanda bioquímica de oxigênio que, de acordo com Sawyer *et al.* (1994) é a quantidade de oxigênio requerida pela bactéria para estabilizar a matéria orgânica degradável, sob condições aeróbias. Piveli e Kato (2006) definem a DBO como o parâmetro fundamental para o controle da poluição das águas por matéria orgânica onde, nas águas naturais, representa a demanda potencial de oxigênio dissolvido que poderá

ocorrer devido à estabilização dos compostos orgânicos biodegradáveis. Como, com o passar do tempo, há redução da biodegradabilidade devido a conversão dos compostos em gás metano e CO₂, a DBO, assim como o pH, pode indicar a idade do chorume (Serafim et al, 2003).

A DQO, por sua vez, é a demanda química de oxigênio, e avalia o potencial de matéria redutora de uma amostra, através de um processo de oxidação química. Segundo Piveli e Kato (2006) a DBO mede a parcela biodegradável da amostra e, quanto mais próximo forem os valores de DBO e DQO, a amostra é mais biodegradável. Segundo Lauermann (2007) a razão DBO/DQO indica o grau de degradação do lixiviado nos aterros, sendo seu valor maior quantos mais novo for o chorume.

3.9.4 - Nitrogênio

O nitrogênio é encontrado em águas em diversas formas. As suas formas reduzidas são o nitrogênio orgânico e o nitrogênio amoniacal, e suas formas oxidadas são o nitrato e o nitrito. O nitrogênio é um nutriente para o meio aquático, favorecendo o crescimento de seres que o utilizam, principalmente as algas. O excesso desse nutriente em corpos aquáticos pode causar o crescimento excessivo de algas e caracterizar o processo de eutrofização da água, diminuindo a quantidade de oxigênio dissolvido na mesma.

Segunda Silva (2014) sob condições aeróbias, o nitrogênio amoniacal é oxidado para em nitrito e, em seguida, a nitrato. Já, em condições anaeróbias, o nitrato é reduzido a nitrito e, em seguida, a gás nitrogênio. Por ser bastante solúvel, o nitrogênio em sua forma amoniacal é um importante parâmetro para a verificação da presença do lixiviado em aquíferos.

3.9.5 – Metais Pesados

De acordo com Lauermann (2007) os metais pesados podem ocorrer naturalmente, dependendo do material de origem e do grau de intemperização do solo, mas a principal razão de sua ocorrência em solos é antropogênica (Lauermann, 2007). Mesmo em pequenas concentrações, esses metais podem trazer nocivos à saúde e ecossistemas aquáticos naturais (Piveli e Kato, 2006). Um exemplo desse efeito ocorre quando as raízes de plantas absorvem o metal pesado de nome chumbo e o acumulam em suas folhas, devolvendo o contaminante à água ao essas folhas se desprenderem. Por vezes, o

contaminante pode causar efeitos de cadeia como nos casos de bioacumulação quando organismos absorvem essas substâncias no meio ambiente circundante como o solo e água, e de biomagnificação, quando as substâncias absorvidas vão se acumulando, em concentrações cada vez maiores, ao longo da cadeia alimentar.

Nos resíduos sólidos, podemos encontrar os metais, principalmente, nas embalagens de alimentos como as de compota de alimentos. Segundo Lange e Amaral (2009) a concentração desses metais como o ferro, manganês, zinco, cobre, chumbo e cádmio, podem ser altas em locais novos de disposição de resíduos, e mais baixas em locais mais velhos pelo aumento do pH.

3.9.6 – Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é a capacidade da água em conduzir energia elétrica. Isso se dá com a presença de íons dissolvidos na mesma, provavelmente vindos dos sais presentes nos resíduos, que quanto maior o número desses íons, maior será a condutividade elétrica da água. A condutividade elétrica não indica quais são os tipos de íons presentes na água, mas segundo Mondelli *et al.* (2016) valores superiores a 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indica uma possível contaminação por lixiviado.

3.9.7 - Cloreto

Um dos íons responsáveis pelo aumento da condutividade elétrica do meio é o cloreto. Segundo Mondelli *et al.* (2016) a presença média dos íons de cloreto no chorume bruto é de 4.000 mg/L, sendo que o mesmo não se degrada durante a percolação no subsolo, servindo como um íon traçador, contribuindo para o aumento da condutividade elétrica do meio e representando uma ameaça para o aquífero local.

4 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 – LIXÃO DA DOLINA DE SÃO FÉLIX DO CORIBE (BA)

A área objeto deste estudo é o antigo lixão que funcionava no município São Felix do Coribe (BA) que funcionava dentro da área de uma dolina da região, chamada de DOL-

06F-054. Conforme verificado em programas de geoprocessamento, a área aproximada da dolina é de 8.500 m².

O lixo produzido pela população de São Félix do Coribe é recolhido de maneira geral, sem a realização de coleta seletiva, o que caracteriza uma grande variedade dos tipos de resíduos e é possível que o lixão não tenha recebido apenas resíduos domiciliares, como também perigosos. Não existem informações de quando a dolina em questão começou a receber os resíduos, mas, a partir de imagens de satélite, é possível verificar que há disposição de resíduos no local desde 2011, conforme Figura 4.1.



Figura 4. 1 - Verificação de disposição de resíduos na dolina DOL-06F-054 em 31/07/2011. (Fonte: Google Earth, 2019)

A partir de 2018, as imagens de satélite não verificam mais a presença de resíduos no local, sendo que o lixão foi desativado pela prefeitura de São Félix do Coribe e a área colocada em recuperação. As Figura 4.2 e Figura 4.3 mostram a área da dolina em que funcionava o lixão nos anos 2018 e 2019, respectivamente, já sem a presença de resíduos.



Figura 4. 2 - Área da dolina DOL-06F-054 em 13/06/2018. (Fonte: Google Earth, 2019)



Figura 4. 3 - Área da dolina DOL-06F-054 em 08/03/2019. (Fonte: Google Earth, 2019)

Em comparação, podemos observar fotos tiradas em março de 2012 (Figura 4.4 e Figura 4.5) com fotos tiradas em setembro de 2018 (Figura 4.6, Figura 4.7 e Figura 4.8). Em 2012 podemos verificar o lixão em pleno funcionamento, inclusive com a presença de

gases. Em 2018, há placas de que a área está em recuperação, mas, mesmo assim, ainda há presença de alguns resíduos na região.



Figura 4. 4 - Região do antigo lixão em março de 2012. (Fonte: Google Street View, 2019)



Figura 4. 5 - Região do antigo lixão em março de 2012. (Fonte: Google Street View, 2019)



Figura 4. 6 - Fotos da área do antigo lixão em setembro de 2018. (Fonte: VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A., 2018)



Figura 4. 7 - Fotos da área do antigo lixão em setembro de 2018. (Fonte: VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A., 2018)



Figura 4. 8 - Fotos da área do antigo lixão em setembro de 2018. (Fonte: VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A., 2018)

Além disso, um estudo publicado pela ONG Repórter Brasil, em conjunto com a Agência Pública e a organização suíça *Public Eye*, revelou, por amostragens entre 2014 e 2017, a presença de 27 agrotóxicos diferentes nas águas que abastecem São Félix do Coribe, número que vem aumentando. O Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), negou a presença desses agrotóxicos.

Segundo a Prefeitura de São Félix do Coribe (2019) a Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente a entrega do Plano Municipal de Saneamento Básico de São Félix do Coribe, o plano qual foi regulamentado pela Lei nº 11.445/2007, que é um marco regulatório para o setor de saneamento no Brasil. A lei estabelece as diretrizes nacionais e os princípios para a universalização do acesso ao saneamento. De acordo com a legislação, todo município deveria elaborar um Plano Municipal de Saneamento Básico (PSMB). O PSMB contempla os quatro serviços básicos que são: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Não há registros de pesquisas realizadas que contenham a análise da contaminação do lixiviado no local. O presente trabalho é um estudo de avaliação inicial da situação.

4.2 – LOCALIZAÇÃO

A área de estudo localiza-se na cidade de São Félix do Coribe, Bahia (BA), Brasil. A principal via de acesso à dolina DOL-06F-054, localizada nas coordenadas 13°25'14.2"S 44°11'51.2"W, é a rodovia BA-172.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população estimada em 2019 para São Félix do Coribe é de 15.391 pessoas. A cidade possui uma área de 1.754,361 km² estimada para 2018, pertencente ao bioma caatinga e, no último censo do IBGE ocorrido em 2010, o sistema de esgotamento sanitário era apenas 1,4% adequado. É importante salientar que a cidade de São Félix do Coribe é vizinha da cidade de Santa Maria da Vitória que, segundo o IBGE (2019) tem uma população aproximada de 39.845 pessoas e uma área de 1.984,910 km². As duas cidades são conectadas por uma ponte sobre o Rio Corrente (Bahia). As Figura 4.9, Figura 4.10 e Figura 4.11, representam a área em que está disposta a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe.

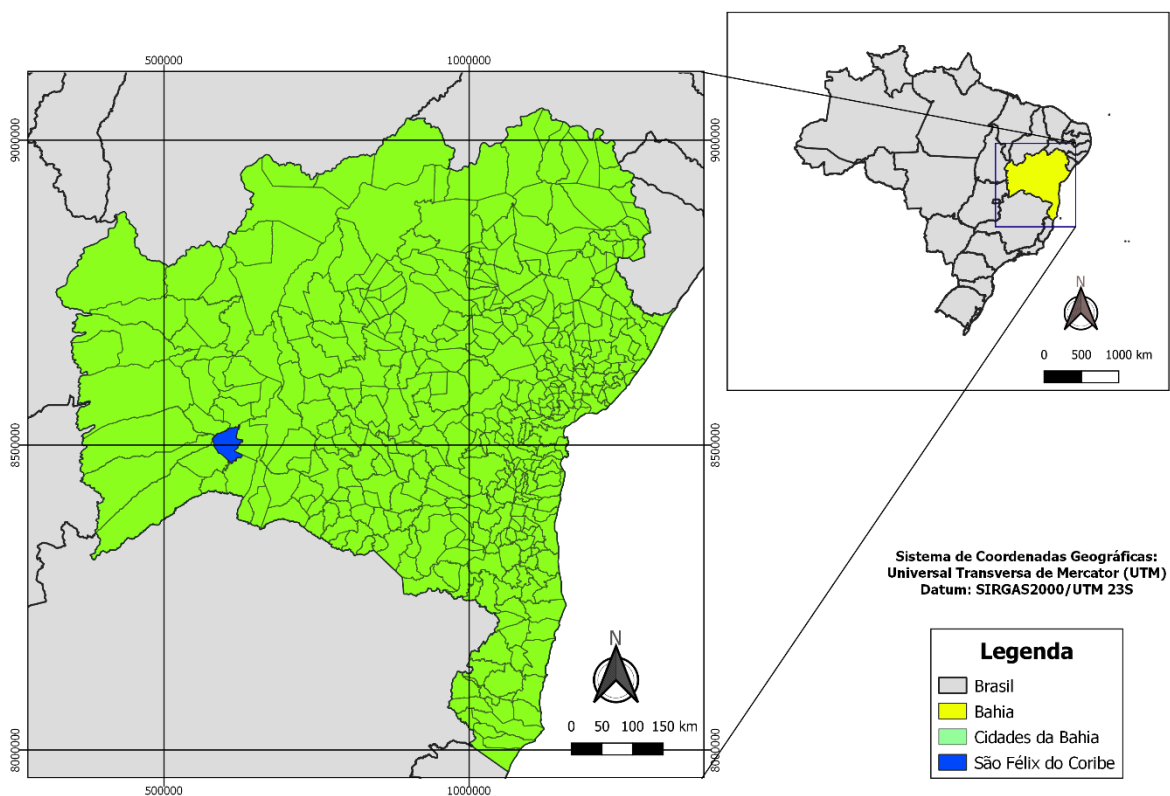


Figura 4. 9 -- Mapa de localização de São Félix do Coribe, no Estado da Bahia, Brasil.

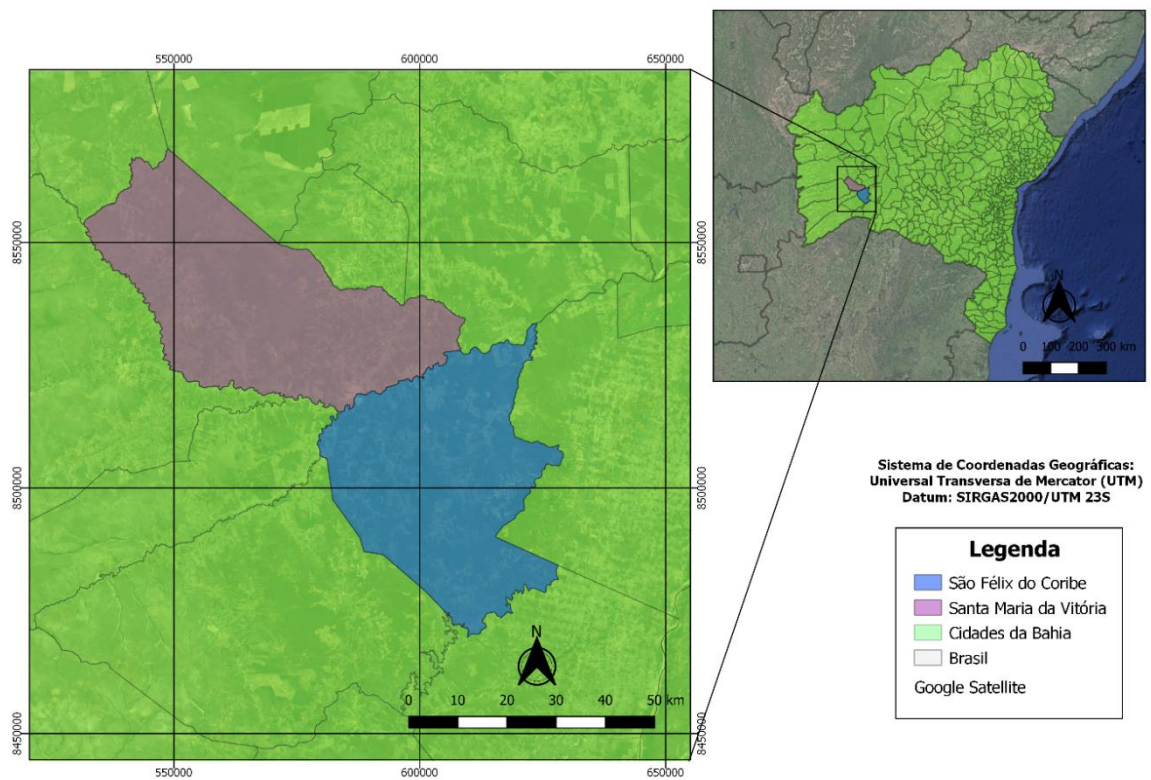


Figura 4. 10 - Mapa de localização das cidades de São Félix do Coribe e Santa Maria da Vitória, no Estado da Bahia, Brasil.

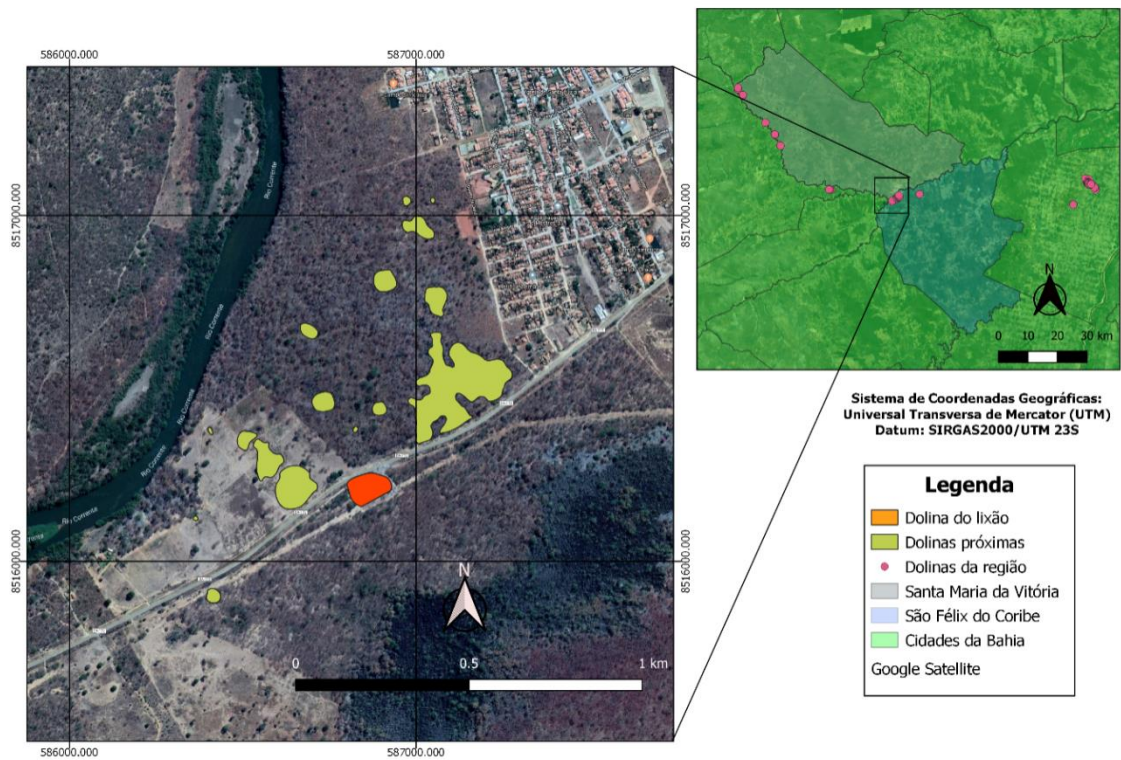


Figura 4. 11 - Mapa de localização da dolina em que funcionava o antigo lixão e as dolinas próximas, no município de São Félix do Coribe, Bahia, Brasil.

Um aspecto relevante da localização da dolina em que funcionava o antigo lixão, é que ela dista aproximadamente 500 m do Rio Corrente (Bahia) e está circunda pela RPPN Grutas do Corrente, dividida em 4 proprietários, conforme representado na Figura 4.12.

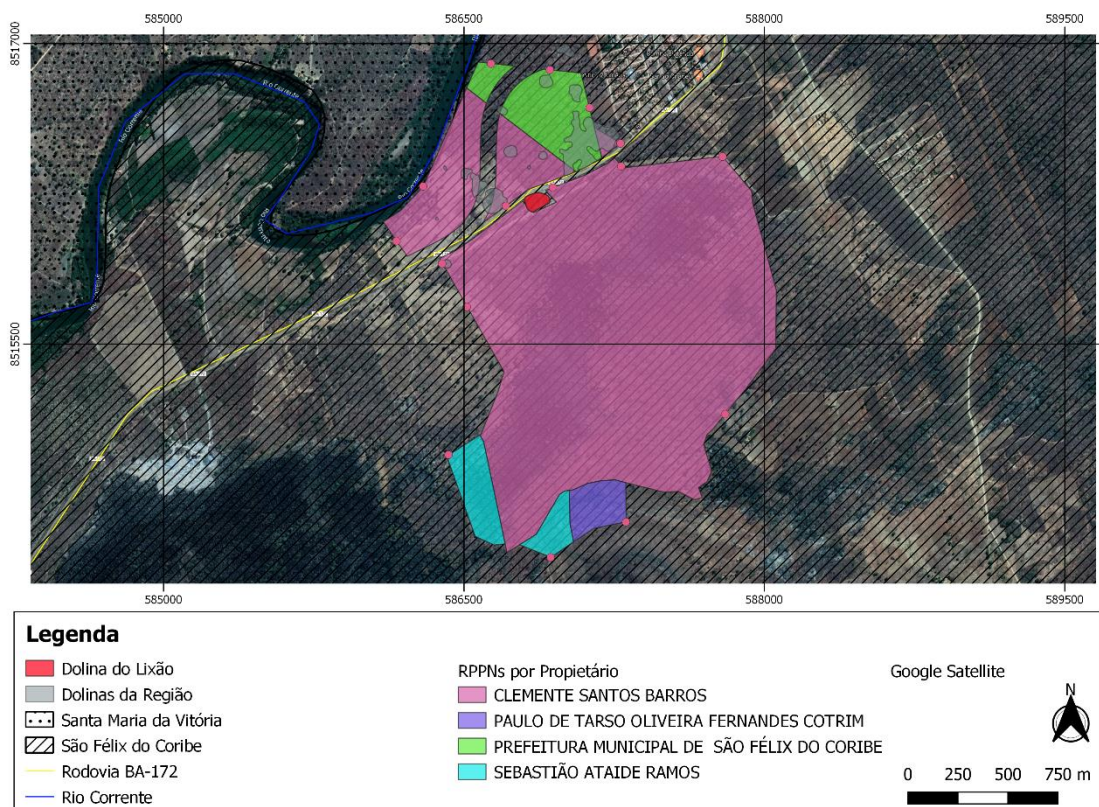


Figura 4. 12 - Mapa de localização da RPPN Grutas do Corrente, dividida entre seus proprietários.

4.3 – CLIMA

Segundo a organização *Climate-Data* (2019) o clima em São Félix do Coribe é tropical. No inverno existe muito menos pluviosidade que no verão. De acordo com a Köppen e Geiger, sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizada, a classificação do clima é Aw, que representa um clima savânico onde apresenta uma estação mais seco no inverno, com o mês mais seco tendo precipitação inferior a 60 mm equivalendo a menos de 4% da precipitação total do ano, a temperatura média anual é de 18°C ou superior e apresenta precipitação significativa durante o ano.

A temperatura média anual em São Félix do Coribe é 24,9 °C e sua média anual de pluviosidade é de 809 mm. Junho é o mês mais seco com 0 mm e o mês com maior precipitação é dezembro, com uma média de 191 mm de chuva. Outubro é o mês mais

quente do ano com uma temperatura média de 26,9 °C, sendo julho o mês com a temperatura média mais baixa, de 23,2 °C.

Os totais mensais de precipitação pluviométrica e temperatura média estão representados na Figura 4.13.

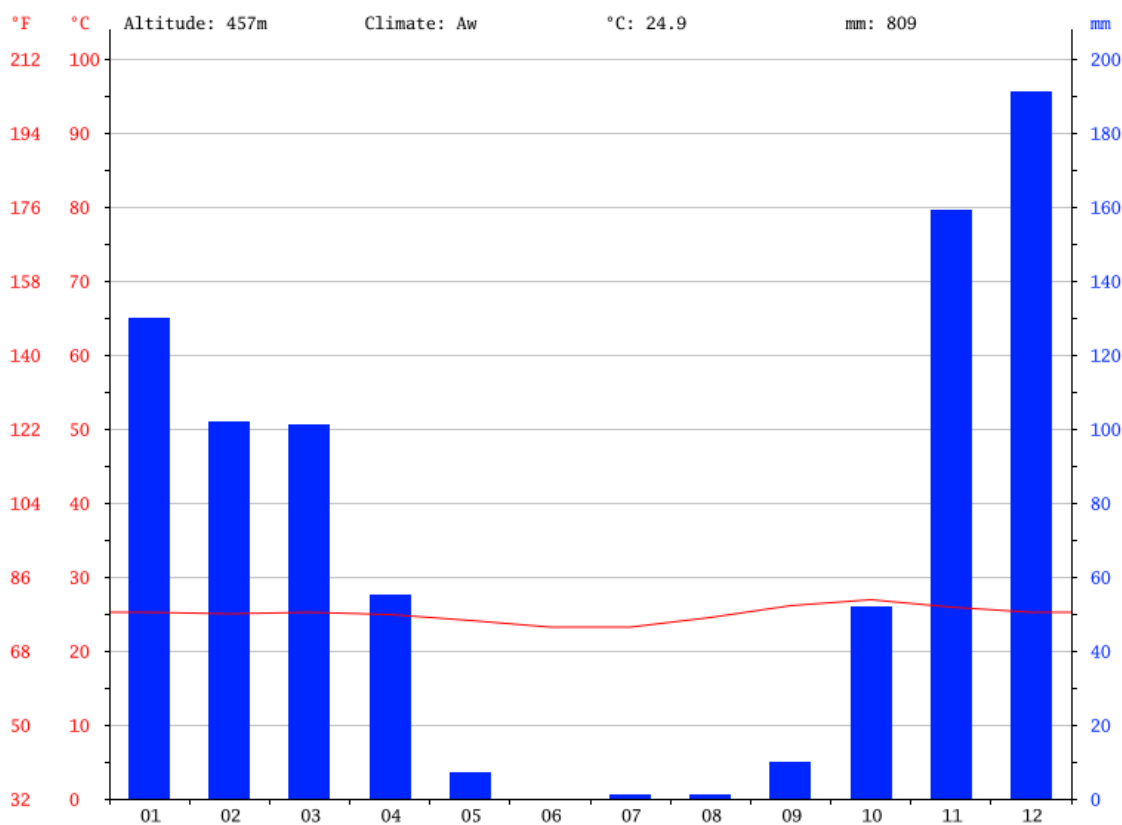


Figura 4. 13 - Dados climatológicos para São Félix do Coribe, Bahia. (Fonte: Climate-Data, 2019)

4.4 – BIOMA E VEGETAÇÃO

O bioma, a vegetação e a hidrografia da região são importantes para saber a predominância de espécies, o potencial das raízes das plantas e ter uma noção dos lençóis freáticos, juntamente com os corpos hídricos presentes na área, assim como informar se há algum tipo de cultura ou afins.

O bioma da região é o cerrado, apresentado na Figura 4.14, que segundo o Ministério do Meio Ambiente é o segundo maior bioma da América do Sul e reconhecido como a savana mais rica do mundo, abrigando 11.627 espécies de plantas nativas já catalogadas e com cerca de 199 espécies de mamíferos conhecidas, 837 espécies de aves, 1200 espécies de peixes, 180 espécies de répteis e 150 espécies de anfíbios, como uma

grande diversidade de habitats. Segundo a Secretaria de Biodiversidade e Florestas (2011), do Ministério do Meio Ambiente, a vegetação do cerrado se caracteriza pelos troncos tortuosos, baixo porte, ramos retorcidos, cascas espessas e folhas grossas. É importante ressaltar que a vegetação não apresenta essa característica em decorrência da escassez de água, já que o Cerrado abriga densa rede hídrica, mas devido a outros fatores edáficos, notadamente o desequilíbrio no teor de micronutrientes, a exemplo do alumínio. A Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN, 1984) afirma que as raízes do cerrado são profundas, devido à profundidade do nível freático.

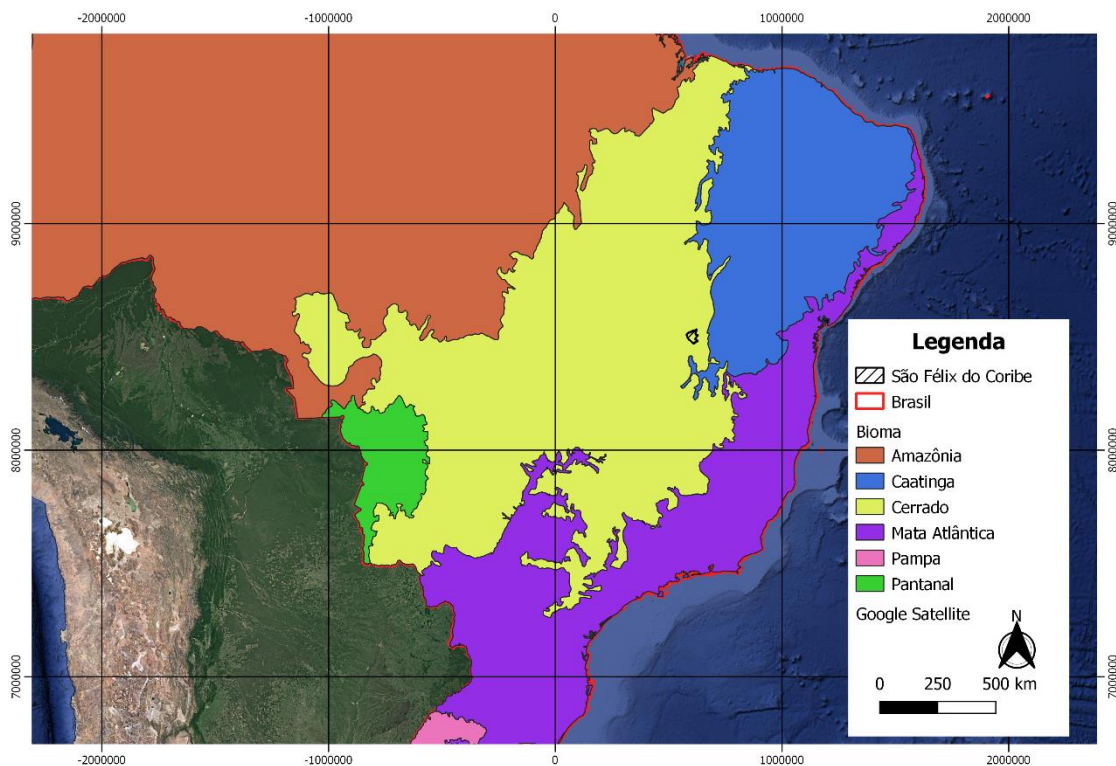


Figura 4. 14 - São Félix do Coribe (BA) em relação aos biomas brasileiros.

O tipo de vegetação predominante da região onde está a dolina é a Floresta Estacional Semidecidual (Figura 4.15) que, segundo a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná (2011), devido a influência dos períodos chuvosos e secos, perde suas folhas nos períodos de menor incidência de chuva e apresentar maior densidade de folhas nos períodos mais chuvosos do ano. Esse tipo de floresta é estruturada em camadas, apresentando um estrato arbóreo com copas elevadas, formado por árvores de até 40 m de altura. O estrato arbustivo é rico em diversidade de plantas a camada herbácea é composta de diversas plantas de pequeno porte. Outra característica da Floresta Estacional

Semidecidual é a presença de bactérias e fungos decompositores que reciclam a biomassa presentes nas árvores e no solo.

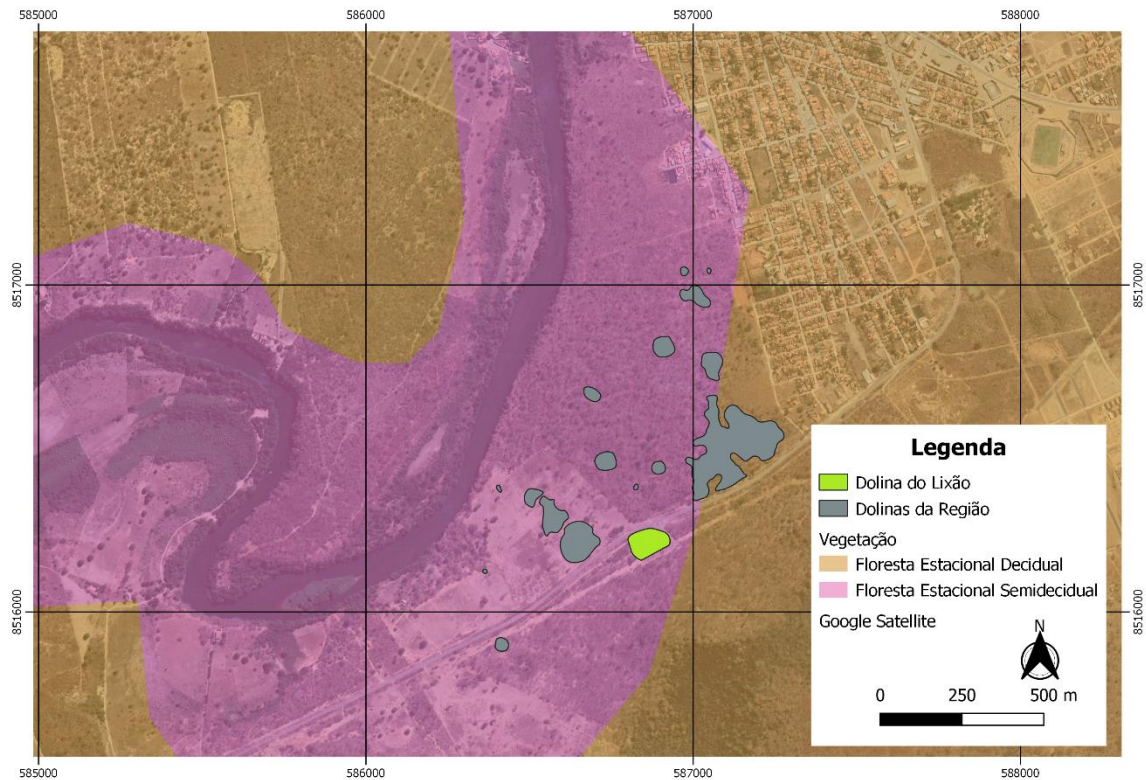


Figura 4. 15 - Vegetação da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).

4.5 - HIDROGRAFIA

A análise da hidrografia da área de estudo indica que a bacia do Rio Correntes, em que está situado o antigo lixão, está inserida na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. As bacias e os cursos de água da região estão representadas na Figura 4.16.

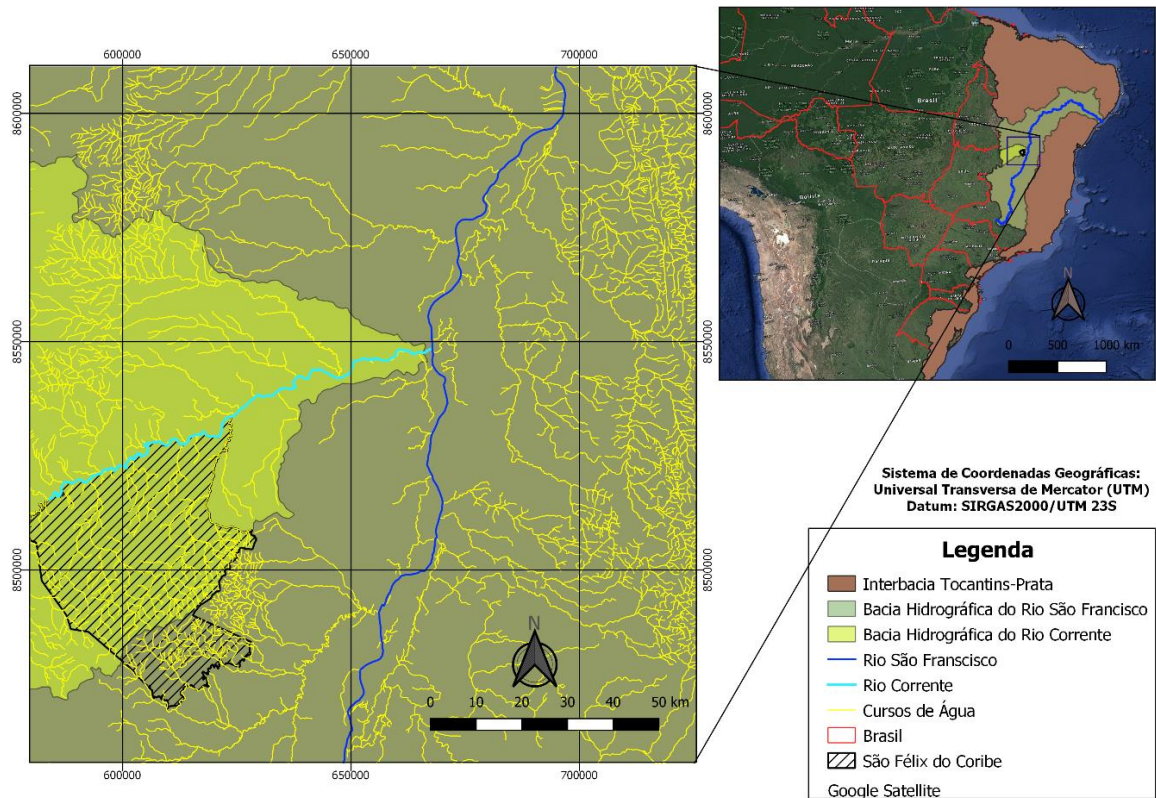


Figura 4. 16 - Hidrografia da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).

A Figura 4.17 mostra as possíveis nascentes na região, a partir dos cursos de água presentes na mesma. As nascentes são pontos onde a água dos lençóis freáticos atingem o solo, sendo importantes pontos de amostragem de qualidade da água, podendo indicar as características presentes na água vindoura do subsolo.

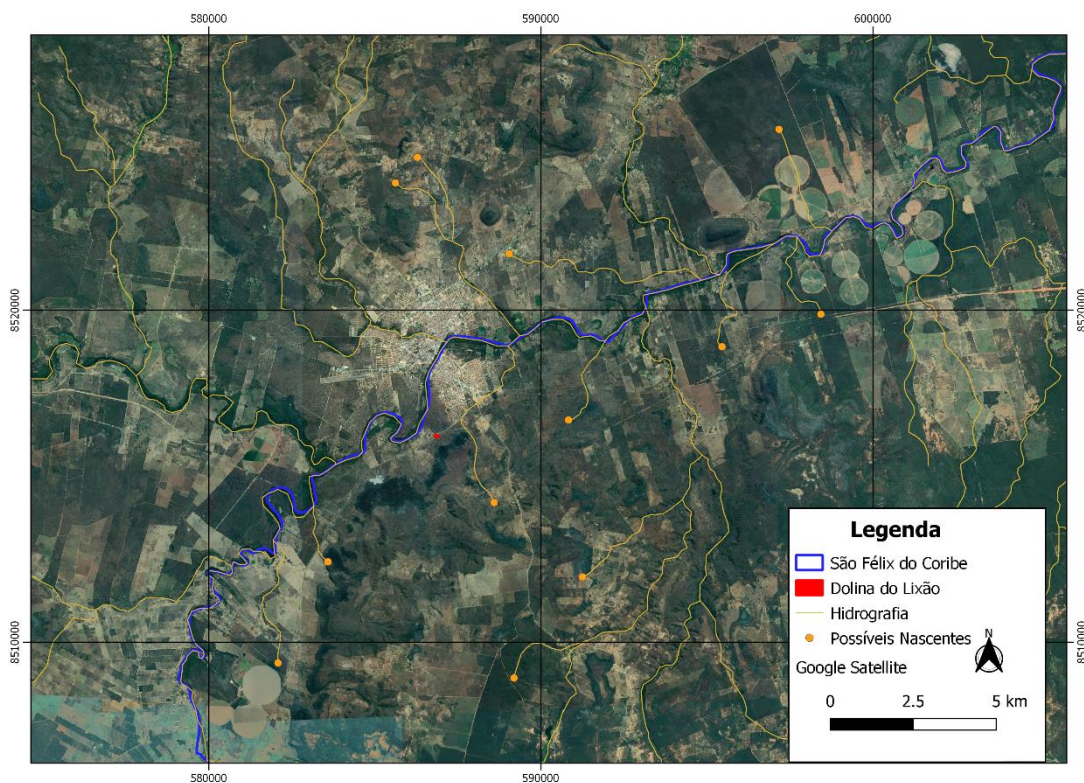


Figura 4. 17 - Possíveis nascentes na região.

4.6 - GEOLOGIA

A geologia do local em que está a dolina ocorre sobre a Formação Paraopeba, pertencente ao Grupo Bambuí, que segundo Sgarbi (1989) consiste em rochas pelíticas levemente metamorfisadas, embora intensamente deformadas, exibindo uma clivagem bem desenvolvida que, entretanto, não chega a se caracterizar como xistosidade. Ou seja, há quebras de certos planos na rocha, mas não são fortemente laminadas. O mapa geológico da região está na Figura 4.18.

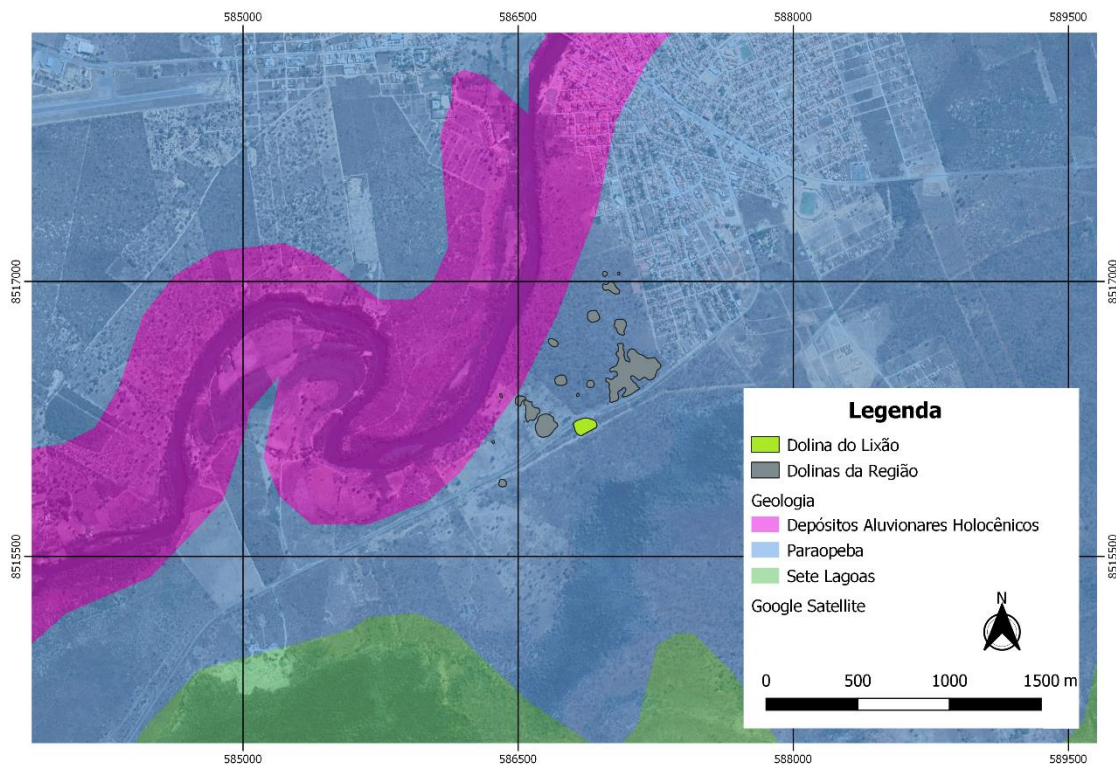


Figura 4. 18 - Geologia da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).

Segundo Iglesias (2009) o Grupo Bambuí constitui a cobertura neoproterozóica de maior distribuição no Cráton do São Francisco. Esse grupo é constituído por duas sucessões principais: a basal, marinha, composta da base para o topo, pelas formações Sete Lagoas (carbonática), Serra de Santa Helena (pelítico-carbonática), Lagoa do Jacaré (carbonática) e Serra da Saudade (pelítica), as quais compõem o Subgrupo Paraopeba, e a sucessão de topo é marinho-continental e está representada pela Formação Três Marias, predominantemente psamítica. A coluna lito-estratigráfica sintética do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco está representada na Figura 4.19.

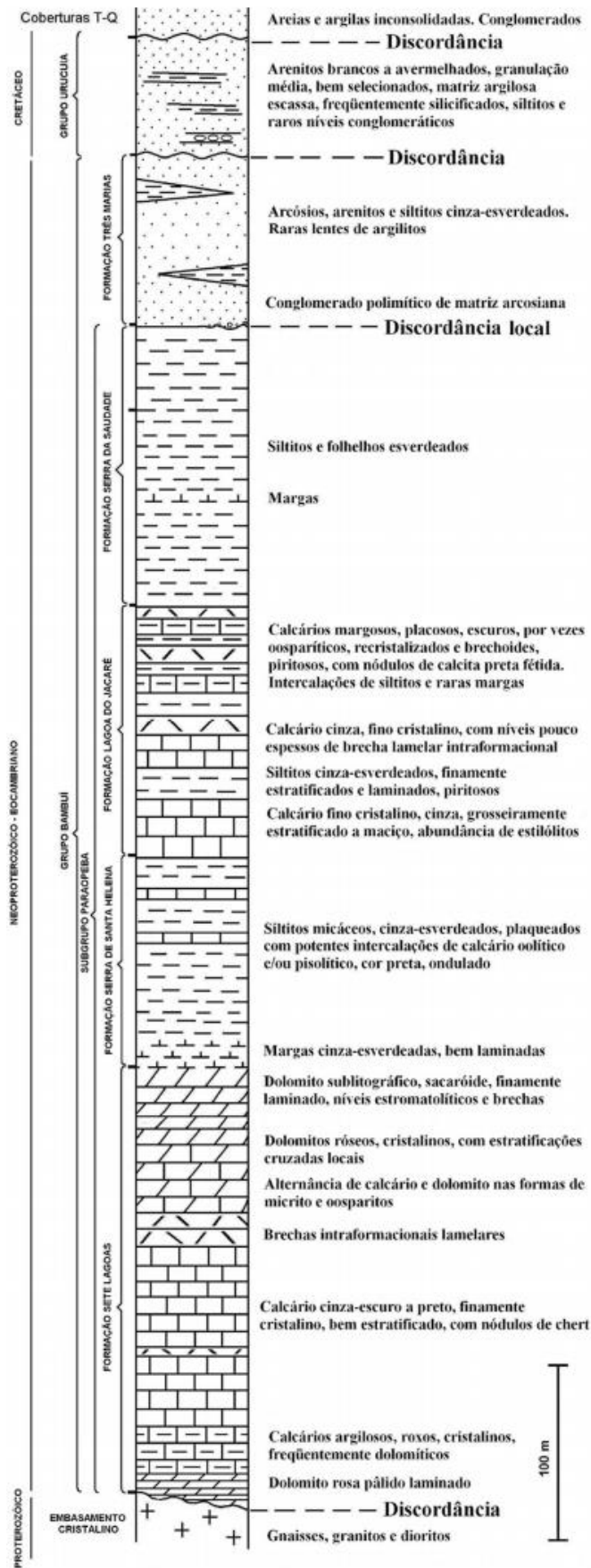


Figura 4. 19 - Coluna lito-estratigráfica sintética do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco. (Fonte: Iglesias, 2009)

4.7 - GEOMORFOLOGIA

A formação geológica e geomorfológica da região está representada na Figura 4.20.

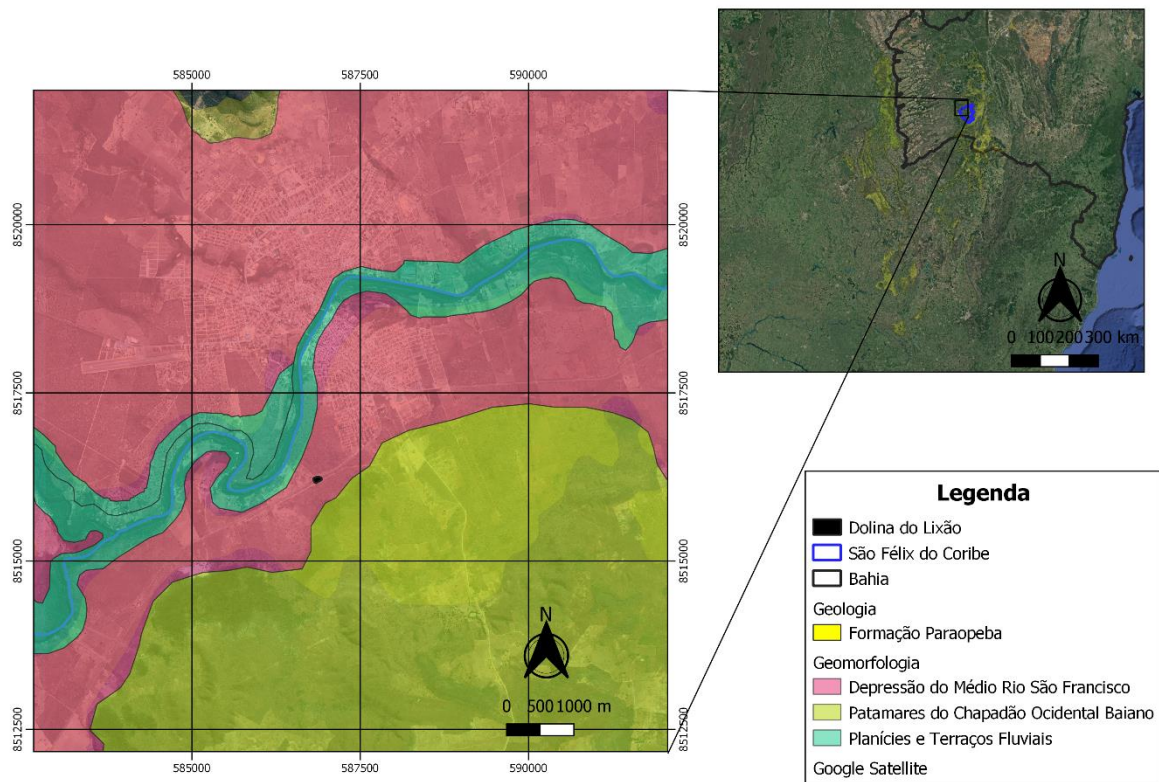


Figura 4. 20 - Formação geológica e geomorfológica da região.

Conforme o mapa geomorfológico apresentado na Figura 4.21, a região do antigo lixão está associada à Depressão do Médio Rio São Francisco, que conforme o CPRM (2000) é caracterizada por rochas clasto-químicas do Grupo Bambuí e, em menor escala, por depósitos aluvionares recentes.

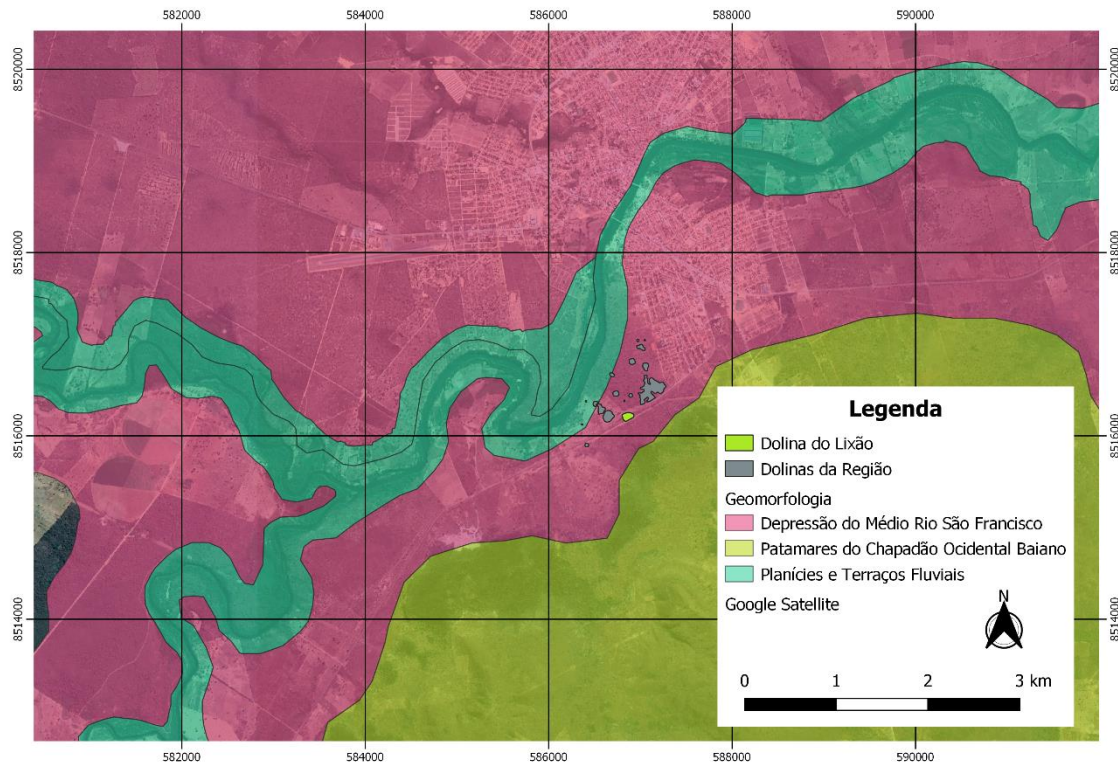


Figura 4. 21 - Geomorfologia da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).

4.8 - PEDOLOGIA

Segundo a pedologia da região, representada na Figura 4.22, a classe de solo no local da dolina em que funcionava o antigo lixão é o Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018) os Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos são solos eutróficos com saturação por bases de 50% na maior parte dos primeiros 100 cm de seu horizonte mineral subsuperficial.

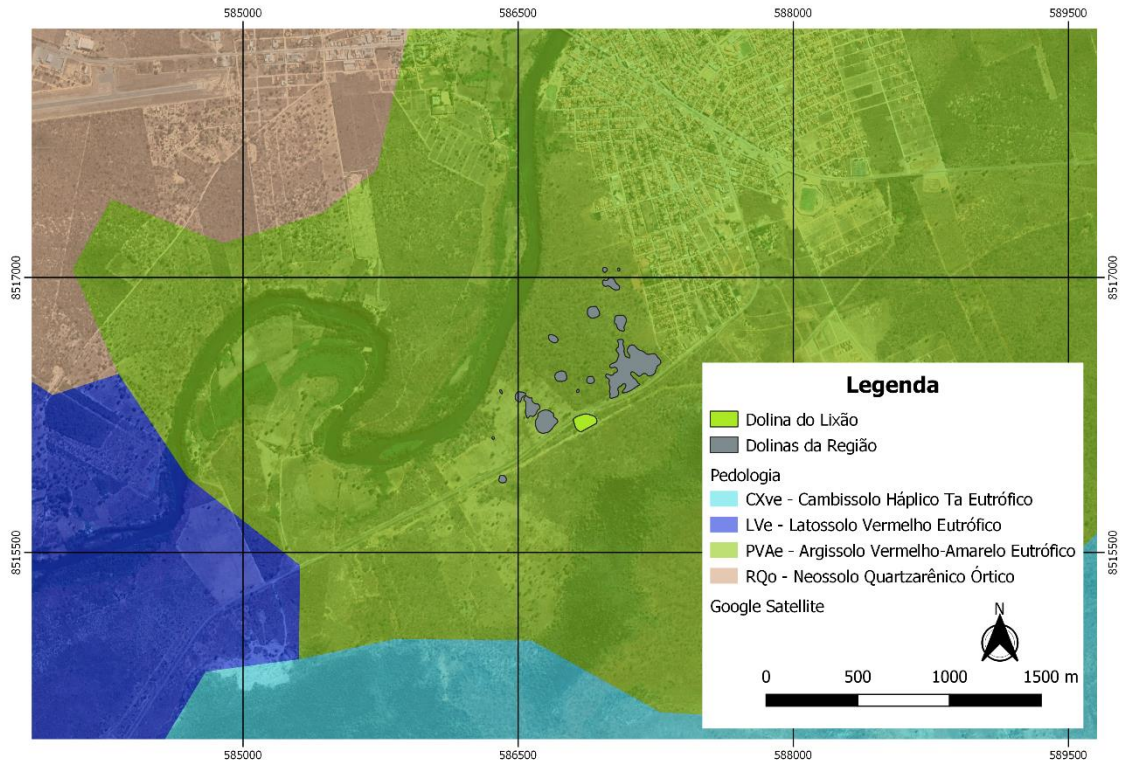


Figura 4. 22 - Pedologia da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).

4.9 – USO DO SOLO

A área em que está inserido o antigo lixão é predominantemente usado para agropecuária, conforme mostrado na Figura 4.23.

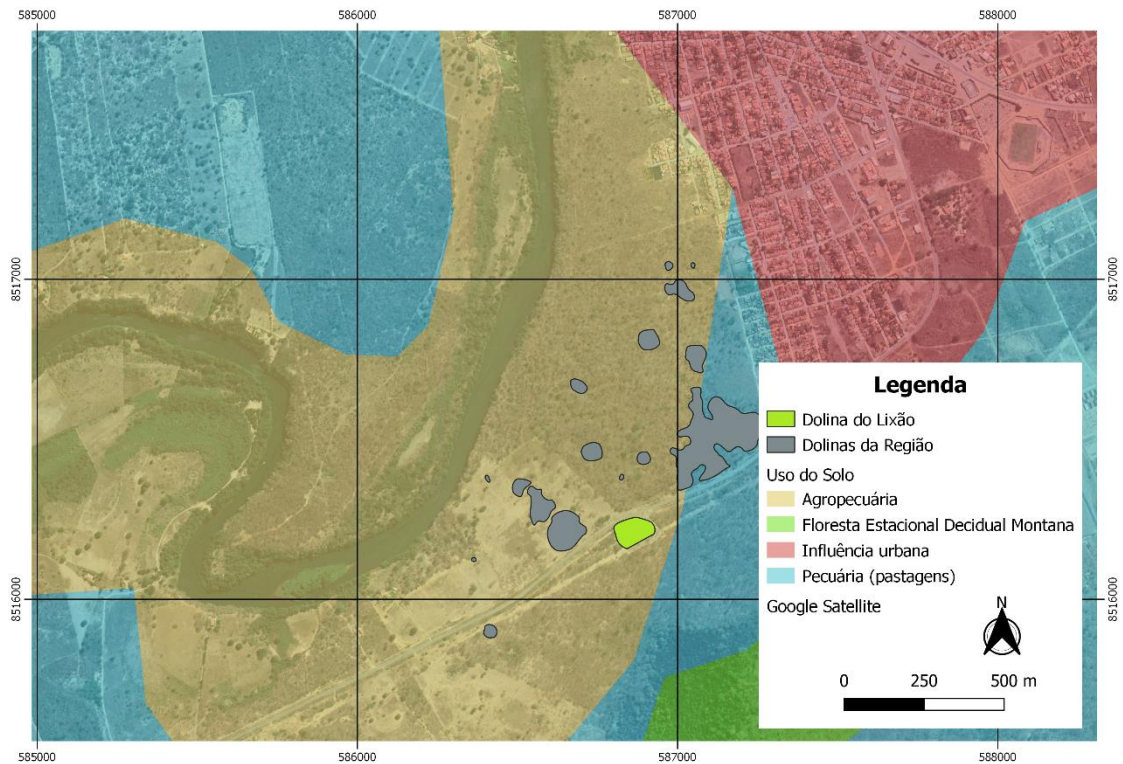


Figura 4. 23 - Uso do solo na região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).

4.10 - HIDROGEOLOGIA

A hidrogeologia do local pertence ao Grupo Bambuí, em sua unidade terrígena, conforme representado na Figura 4.24.

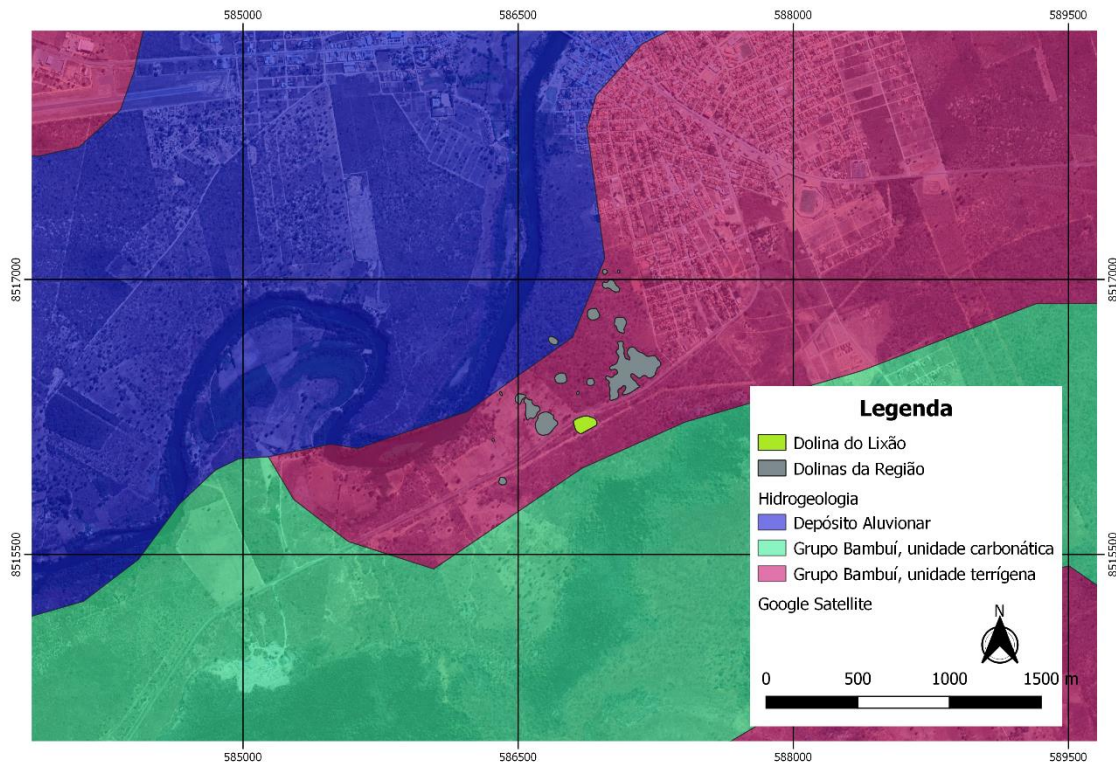


Figura 4. 24 - Hidrogeologia da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).

O local está inserido no Sistema de Aquífero Fraturado Semi-Árido que, segundo Cardoso *et al.* (2012) é uma região de rochas cristalinas/fraturadas definida em função da delimitação do Semi-Árido Nordestino, instituída pela Portaria do Ministério da Integração Nacional n° 89, de 16 de março de 2005. A Figura 4.25 apresenta os sistemas de aquíferos da região.

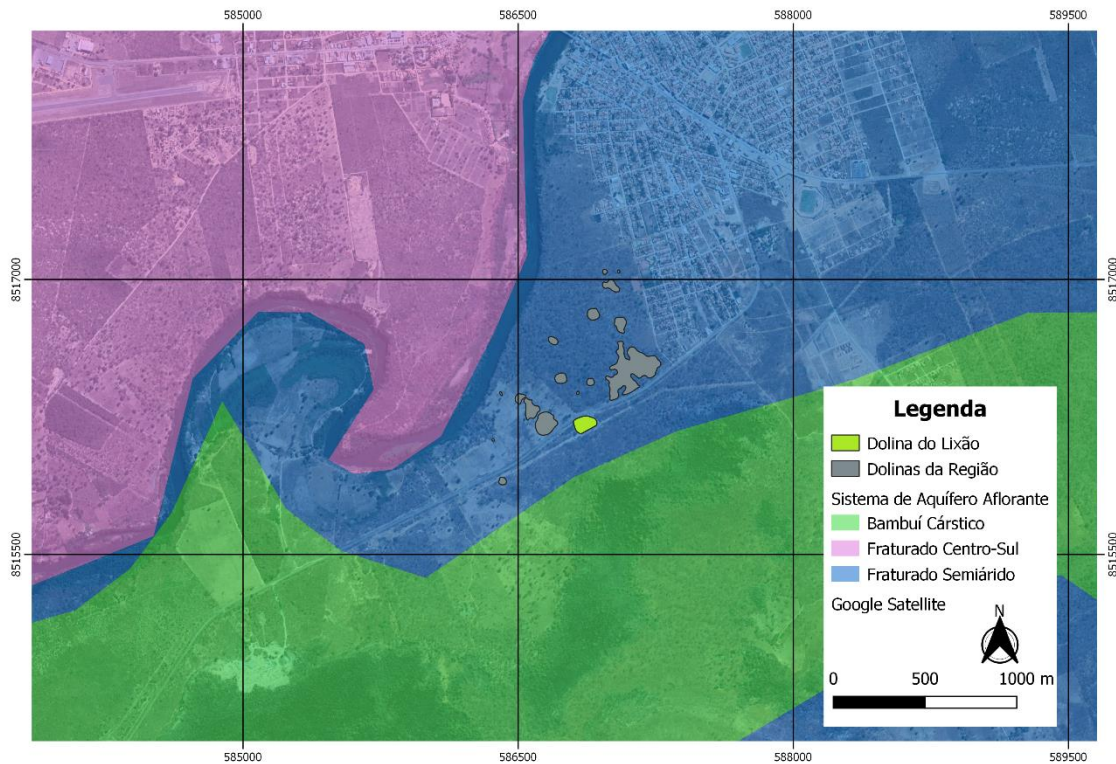


Figura 4. 25 - Sistema de aquíferos aflorantes da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).

4.11 - HIPSOMETRIA

A hipsometria da região, representada na Figura 4.26, revela que a cota de menor altitude é 422 m e a de maior altitude é de 838 m acima do nível do mar.

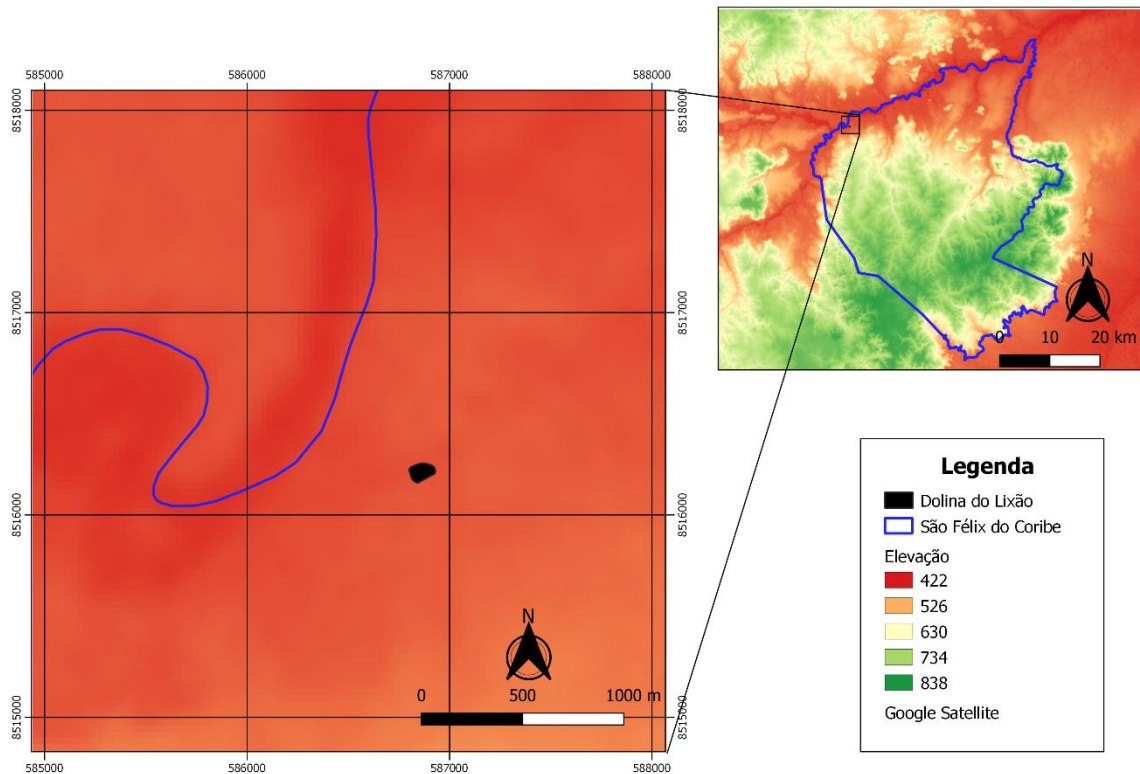


Figura 4. 26 - Hipsometria da região em que está inserida a dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA).

O perfil de elevação da dolina, representado na Figura 4.27, revela a diferença máxima de 1 m de altitude em suas elevações, variando entre 463 m e 462 m de altitude em relação ao nível do mar. Já, em relação à área circundante da mesma, na Figura 4.28, a cota de nível mais baixo é onde passa o Rio Corrente (BA), com 442 m de altitude em relação ao nível do mar.



Figura 4. 27 - Perfil de elevação da dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA). (Fonte: Google Earth, 2019)

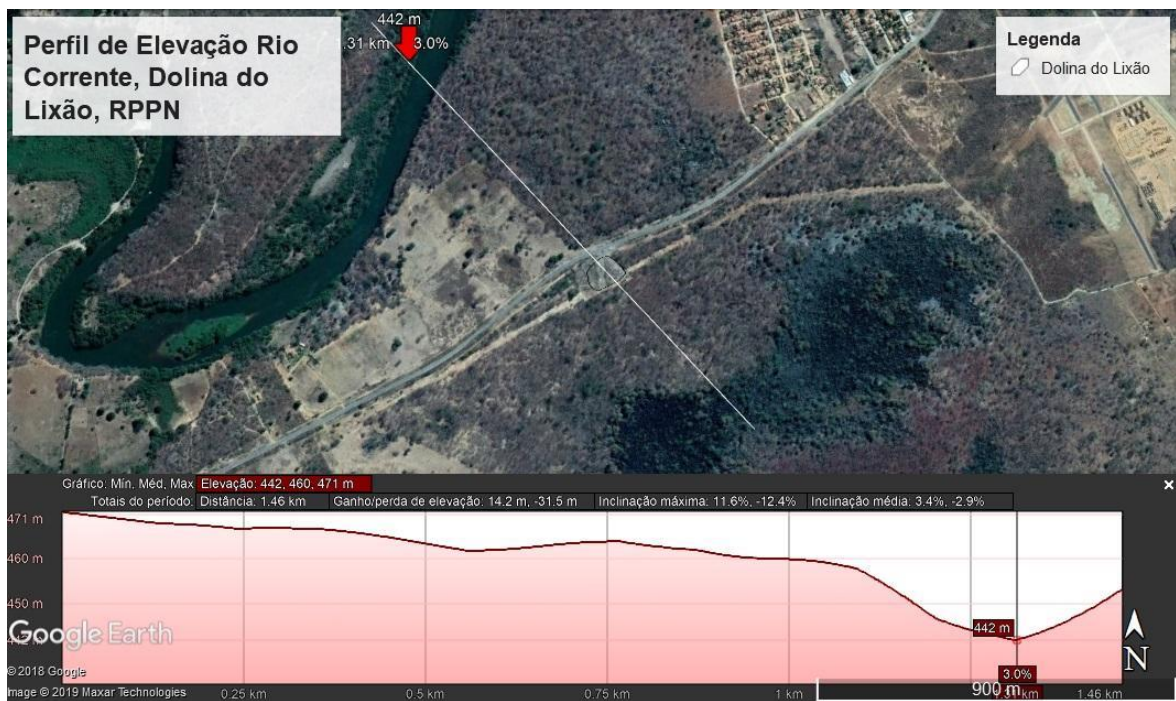


Figura 4. 28 - Perfil de elevação da área circundante à dolina em que funcionava o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA). (Fonte: Google Earth, 2019)

5 – MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 5.1 ilustra a metodologia, abordada e aplicada neste estudo a fim de avaliar a contaminação por lixiviado de um lixão, e suas influências em águas superficiais e subterrâneas.

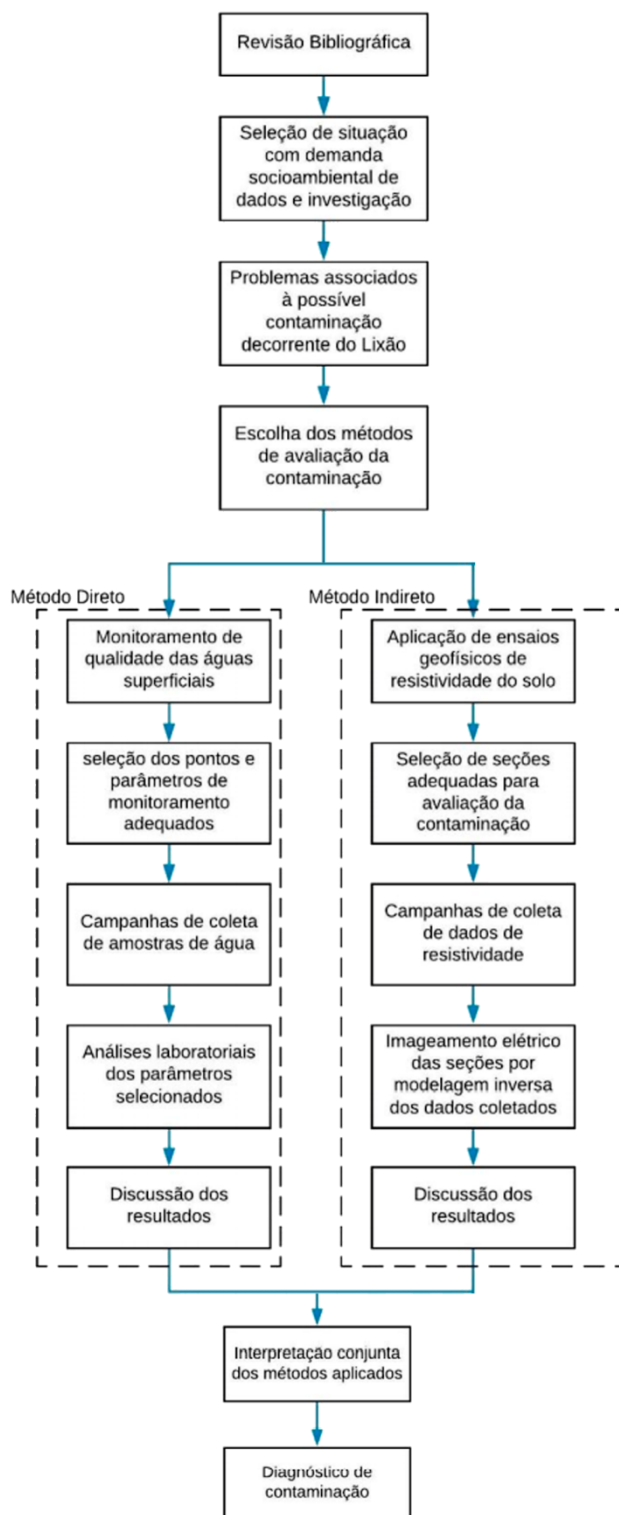


Figura 5. 1 - Metodologia geral do estudo

5.1 – MÉTODO GEOFÍSICO DE ELETORRESISTIVIDADE

Para a realização dos ensaios de eletrorresistividade, será utilizado o resistivímetro Syscal Kid, fabricado pela francesa Iris Instruments e disponibilizado pela empresa EMBRE Engenharia, localizada em Brasília/DF, representado na Figura 5.2. O dispositivo é capaz de trabalhar em correntes entre 0,5 a 500 mA e é acoplado a uma bateria externa que trabalha entre 13,5 e 14,5 V, além de sua bateria própria de segurança, que nesse caso trabalha em 12 V e tem uma duração menor. Para posicionamento na área, será utilizado um GPS Garmin Etrex com 5 metros de precisão. Os eletrodos são de material condutor (alumínio revestido de cobre).

Para o processamento e inversão de dados, será utilizado o *software* Res2DINV e para o tratamento dos dados obtidos, eliminação de dados inconsistentes e inserção topográfica será utilizado o *software* Prosys II da Iris Instruments.



Figura 5. 2 - Resistivímetro Syscal Kid, fabricado pela francesa Iris Instruments.

5.1.1 - Execução do Método

Para execução do método, será adotado o arranjo de Wenner onde se passarão 3 linhas com 69 metros de distância, sendo uma das três em área com alto risco de contaminação (linha 2), uma em área com baixo risco (linha 1 – linha de referência) e uma em área de possível influência de contaminação por percolação (linha 3) para fins de comparação, como mostra a Figura 5.3. Os eletrodos serão igualmente espaçados de 3 em 3 metros como indica o arranjo sendo possível alcançar uma profundidade de até 12 metros.



Figura 5. 3 - Localização das linhas de estudo geofísico. (Fonte: Google Earth)

5.2 – AMOSTRAGEM E ÍNDICES FÍSICOS DO SOLO

Para a realização dos ensaios de índices físicos seria utilizado o laboratório de geotecnia da Universidade de Brasília. Entretanto, devido a pandemia não foi possível realizar os ensaios. A seguir apresenta-se o a metodologia do que deveria ter sido feito, na expectativa de continuidade da pesquisa, pelos autores ou outros pesquisadores.

5.2.1 - Umidade

Para a determinação do teor de umidade do solo, será utilizado o comumente empregado método da estufa, onde o solo será pesado em suas condições naturais e novamente após passar por um processo de secagem, que engloba detenção do material em estufa com temperaturas entre 105 e 110 °C, devendo permanecer até apresentar constância de massa (normalmente entre 16 e 24 h). Após esse passo, deve-se transferir a cápsula com amostra para o dessecador contendo sílica gel, onde permanecerá até atingir temperatura ambiente. Em temperatura ambiente, pesa-se novamente a amostra e calcula-se o teor de umidade como:

$$H(\%) = \frac{M1 - M2}{M2 - M3} \times 100 \quad (5.1)$$

Onde:

H = Teor de umidade em porcentagem

M1 = Massa do solo úmido mais a massa do recipiente em g

M2 = Massa do solo seco mais a massa do recipiente em g

M3 = Massa do recipiente em g

5.2.2- Granulometria

Para realização do ensaio, utilizou-se de base a NBR 7.181/16 (ABNT, 2016). Primeiramente, seleciona-se a amostra desejada para estudo e determina-se sua massa inicial e umidade higroscópica. Feito isso, toma-se a amostra e a passa pela peneira de 2,0 mm, com o cuidado de desmanchar os eventuais torrões formados e ainda existentes, de modo a reter na peneira apenas os grãos maiores que a abertura da mesma. Para eliminar o material fino retido na peneira, lava-se a mesma e seca-se o material em estufa a 105° C até constância de massa. Do material passado na peneira, retira-se uma amostra de cerca de 120 g para material arenoso ou 70 g para material siltoso ou argiloso para sedimentação e peneiramento fino. A fim de separar as partículas e não ocorrer erros por conta de agregações, em um béquer mistura-se a amostra de solo com uma solução de hexametáfosfato de sódio, que faz papel de defloculante na solução, deixando de repouso por 12 horas. Passa-se a mistura para um copo de dispersão com o cuidado de não perder material aderido nas paredes do béquer e deixa-se o material submetido à ação do aparelho dispersor por 15 minutos. Passa-se o material para a proveta com o mesmo cuidado de não

perder material aderido nas paredes (utiliza-se água destilada). Na proveta, a solução deve ter u volume de 1000 cm³ e, caso não tenha, pode-se completar com água destilada. Em seguida, coloca-se a proveta em banho ou local com temperatura constante e agita-se para manter as partículas em suspensão e, assim que a temperatura de equilíbrio seja atingida, toma-se a proveta e movimenta-se a mesma em círculos durante um minuto. Após a agitação, inicia-se a sedimentação, com a proveta parada em cima de uma mesa e mergulha-se o densímetro. Deve-se efetuar leituras no densímetro nos tempos 0,5, 1 e 2 minutos. Retira-se cuidadosamente o densímetro da dispersão e mantém o ambiente em temperatura constante. Fazer leituras subseqüentes a 4, 8, 15 e 30 minutos além de 1, 2, 4, 8 e 24 horas a contar do início da sedimentação. Deve-se precaver para não agitar a mistura ao mergulhar o densímetro e, após a retirada, deve-se colocá-lo em uma proveta com água limpa à mesma temperatura, a leitura deve ser feita na parte superior do menisco. A cada leitura realizada, tomar nota da temperatura com resolução de 0,1 °C. Após a última leitura, transfere-se o material para a peneira de 0,075 mm e efetua-se a lavagem com água potável à baixa pressão. No peneiramento fino, seca-se o material retido na peneira de 0,075 mm em estufa e, utilizando-se novamente o agitador mecânico, passa-se na peneira de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15, 0,075 mm e anota-se as massas retidas com resolução de 0,01g. No peneiramento grosso, pesa-se o material retido na peneira de 2,0 mm e, utilizando o agitador mecânico, passa-se o material nas peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5, e 4,8 mm. Anotar novamente as massas retidas em cada peneira. Para cálculo, utilizam-se as seguintes expressões:

Massa total da amostra seca:

$$M_s = \frac{(M_t - M_g)}{(100 + h)} \times 100 \times M_g \quad (5.2)$$

Onde:

M_s = Massa total amostra seca

M_t = Massa da amostra seca ao ar

M_g = Massa do material seco retido na peneira de 2,0 mm

h = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm

Porcentagem dos materiais que passam nas peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8 e 2,0 mm:

$$Q_g = \frac{(M_s - M_i)}{M_s} \times 100 \quad (5.3)$$

Onde:

Q_g = porcentagem do material passado em cada peneira

M_s = massa total da amostra seca

Mi = massa do material retido acumulado em cada peneira

Porcentagem do material em suspensão:

$$Qs = N \times \frac{\delta}{(\delta - \delta d)} \times \frac{V \delta c (L - Ld)}{\frac{Mh}{(100+h)} \times 100} \quad (5.4)$$

Onde:

Qs: porcentagem de solo em suspensão no instante da leitura do densímetro

N: porcentagem do material que passa na peneira de 2,0 mm

δ : massa específica dos grãos do solo (g/cm³)

δd : massa específica da água à temperatura de ensaio (g/cm³)

V: volume da suspensão (cm³)

δc : massa específica da água, à temperatura de calibração do densímetro (20°C) em g/cm³

L: leitura do densímetro na suspensão

Ld: leitura do densímetro no meio dispersor na mesma temperatura da suspensão

Mh: massa do material úmido submetido à sedimentação (g)

h: umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm

Diâmetro das partículas de solo em suspensão:

$$d = \sqrt{\frac{1800\mu}{\delta - \delta d} \times \frac{a}{t}} \quad (5.5)$$

Onde:

d = diâmetro das partículas (mm)

μ = coeficiente de viscosidade do meio dispersor, à temperatura de ensaio (g*s/cm²)

a = altura de queda das partículas, com resolução de 0,1 cm, correspondente à leitura do densímetro (cm)

Porcentagem de materiais que passam nas peneiras de 1,2, 0,6, 4,42, 0,25, 0,15 e 0,075 mm

$$Qf = \frac{Mh \times 100 - Mi(100 + h)}{Mh \times 100} \times N \quad (5.6)$$

Onde:

Qf = porcentagem de material passado em cada peneira

Mh = massa do material úmido submetido ao peneiramento fino ou à sedimentação, conforme o ensaio tenha sido realizado apenas por peneiramento ou por combinação de sedimentação e peneiramento respectivamente

h = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm

Mi = massa do material retido acumulado em cada peneira

N = porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm

O resultado final será apresentado graficamente, dispondo-se em abcissas os diâmetros das partículas, em escala log, e em ordenadas as porcentagens das partículas menores do que os diâmetros considerados, em escala aritmética.

5.2.3- Limite de Liquidez

O limite de liquidez se dá com auxílio do aparelho de Casagrande. Em uma capsula de porcelana se insere a amostrada desejada para estudo e adiciona-se água destilada, amassando e revolvendo a mesma continuamente com o auxílio de uma espátula até se obter uma pasta homogênea. Transfere-se parte da mistura para a concha do aparelho de Casagrande e divide-se a massa em duas, passando um cinzel perpendicular a concha através da amostra e realizando uma ranhura em sua parte central, dividindo-as em uma distância de cerca de 13 mm. O aparelho realiza golpes onde a concha deve cair no gabarito a uma altura de 10 mm. Anota-se a quantidade de golpes necessária para que as amostras se unam. Transfere-se então a parte do material de junto das bordas recentemente unidas para determinação da umidade. O resto de amostra na concha deve ser transferida para a capsula de porcelana e a concha e o cinzel devem ser lavados e enxugados. Deve se repetir o procedimento a fim de se obter pelo menos mais três pontos, cobrindo o intervalo de 35 a 15 golpes. Com os resultados obtidos, confecciona-se um gráfico do número de golpes pelas umidades respectivas e, assim, ajusta-se uma reta pelos pontos. Na reta, obtém-se a umidade referente a 25 golpes, que é referente ao limite de liquidez do mesmo e deve ser expresso em porcentagem. Na impossibilidade de se conseguir a abertura da ranhura ou de seu fechamento com mais de 25 golpes, considera-se a amostra sem limite de liquidez. A norma associada ao processo está disposta na ABNT NBR 6459/84.

5.2.4 – Limite e Índice de Plasticidade

Tomada a amostra desejada para quantificação, coloca-se a mesma na capsula de porcelana utilizada na determinação do limite de liquidez, amassando a mesma com auxílio de espátula e adicionando aos poucos água destilada a fim de obter uma pasta homogênea de consistência plástica sendo que o tempo total para homogeneização deve estar compreendido entre 15 e 30 minutos. Tomar uma pequena amostra de massa com cerca de 10 g e formar uma esfera que deve ser rolada sobre uma placa de vidro com a palma da mão a fim de lhe dar uma forma cilíndrica. Caso a amostra se fragmente antes de atingir um diâmetro de 03 mm, deve-se retornar a mesma para a capsula de porcelana e adicionar água destilada, homogeneizar novamente e repetir o procedimento até se formar o cilindro de 3 mm de diâmetro sem se fragmentar. Ocorrido o fato, deve-se amassar a amostra e repetir o procedimento. Assim, deve-se transferir imediatamente as partes para um recipiente adequado para determinação da umidade e se repetir o processo três vezes para obter valores mais precisos de umidade, tomando como satisfatórios os valores que não se distanciem mais de 5% da média, assim, o resultado final se dá como a média entre os valores satisfatórios obtidos expresso em porcentagem e, caso não seja possível obter o cilindro com 3 mm de diâmetro, considera-se que a amostra não apresentou limite de plasticidade. O índice de plasticidade se dá pela expressão

$$Ip = Ll - Lp \quad (5.7)$$

Onde:

Ip = índice de plasticidade

Ll = limite de liquidez, previamente obtido

Lp = limite de plasticidade

Caso não seja possível encontrar o limite de liquidez ou plasticidade, o índice de plasticidade se dá como não plástico (NP).

5.3 – AMOSTRAGEM E ÍNDICES FÍSICOS DA ÁGUA

Para o monitoramento da qualidade da água, foram escolhidos pontos de amostragem no Rio Corrente. Os pontos foram determinados de forma a representar os locais em que há possibilidade de estarem contaminados pelo lixiviado oriundo do antigo lixão, pontos “branco” que não estão submetidos ao processo de contaminação e pontos a

jusante da maior parte do escoamento superficial drenado pela área do antigo lixão para verificar o possível carreamento do contaminante nas águas.

Os parâmetros escolhidos para determinar a possível influência do lixiviado nas águas da região foram os de temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, DBO e DQO (mg/L), nitrogênio amoniacal (mg/L), nitrito (mg/L), nitrato (mg/L), fosfato (mg/L), cloreto 44 (mg/L), sódio (mg/L), potássio (mg/L), sulfato (mg/L) e coliformes totais. Tais parâmetros foram escolhidos conforme a composição química geral do chorume brasileiro segundo Lange e Amaral (2009), e conforme os parâmetros utilizados pelos estudos de Mondelli et al. (2016), Ling e Zhang (2017), Santos Filho (2017), e Soares (2019).

A Tabela 5. 1 mostra a metodologia utilizada para a análise dos parâmetros de qualidade da água.

Tabela 5. 1 - Metodologia para análise dos parâmetros de qualidade da água. (Soares, 2019)

Parâmetro	Análise	Equipamento	Referência Metodológica
Temperatura	Medição direta	Oxímetro	APHA (2005)
OD		Oxímetro	
CE		Condutivímetro	
pH		pHmetro	
Turbidez	Espectrofotometria	Espectrofotômetro UV-visível Hach	
DQO			
Nitrato	Cromatografia iônica	Cromatógrafo Metrohm	
Nitrito			
Amônia			
Cloreto			
Sulfato			
Fosfato			
Potássio			
Sódio			
Coliformes Totais	Método Colilert	Kit Colilert	

A referência metodológica para análise de tais parâmetros será o *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater* (APHA, 2005).

6 - MONITORAMENTO

As atividades de campo foram realizadas entre os dias 16 de março de 2020 a 18 de março de 2020, sendo as coletas das amostras de solos e os ensaios geofísicos feitos no dia 16 de março pela tarde e dia 17 de março pela manhã, e as coletas das amostras de água no Rio Corrente feitas no dia 17 de março no período da tarde. Nos 3 dias de coleta de dados, o clima estava ensolarado e sem chuvas.

Ao chegar ao local do antigo lixão da dolina de São Félix do Coribe, verificou-se que a área está cercada e posta em recuperação, conforme as figuras Figura 6. 1 e Figura 6. 2. Também foi possível verificar que há deposição de lixo na área fora as cercas da dolina, conforme as Figuras 6.3 a 6.5.



Figura 6. 1 - Local da Dolina do Lixão.



Figura 6. 2 - Local da Dolina do Lixão e placas de avisos.



Figura 6. 3 - Lixo presente nas proximidades da Dolina do Lixão.



Figura 6. 4 - Lixo presente nas proximidades da Dolina do Lixão, com placa de "proibido jogar lixo neste local".



Figura 6. 5 - Verificação de deposição de lixo na região cercante à Dolina do Lixão.

6.1 - MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA DAS NASCENTES SELECIONADAS

As amostras de água foram coletadas em 4 pontos diferentes, escolhidos com base no interesse científico para o trabalho e na facilidade e possibilidade de acesso ao Rio Corrente:

- Ponto 1: à montante a Dolina do Lixão, próxima ao ponto de captação de água da EMBASA, servindo como “branco” para a comparação com os demais pontos;
- Ponto 2: à jusante da Dolina do Lixão, em uma área utilizada por pescadores da região;
- Ponto 3: à jusante da Dolina do Lixão, próxima a ponte sobre o Rio Corrente que liga as cidades de São Félix do Coribe e Santa Maria da Vitória;
- Ponto 4: à jusante da Dolina do Lixão, próxima a ETE de Santa Maria da Vitória.

Os pontos de amostragem estão representados na Figura 6. 6.

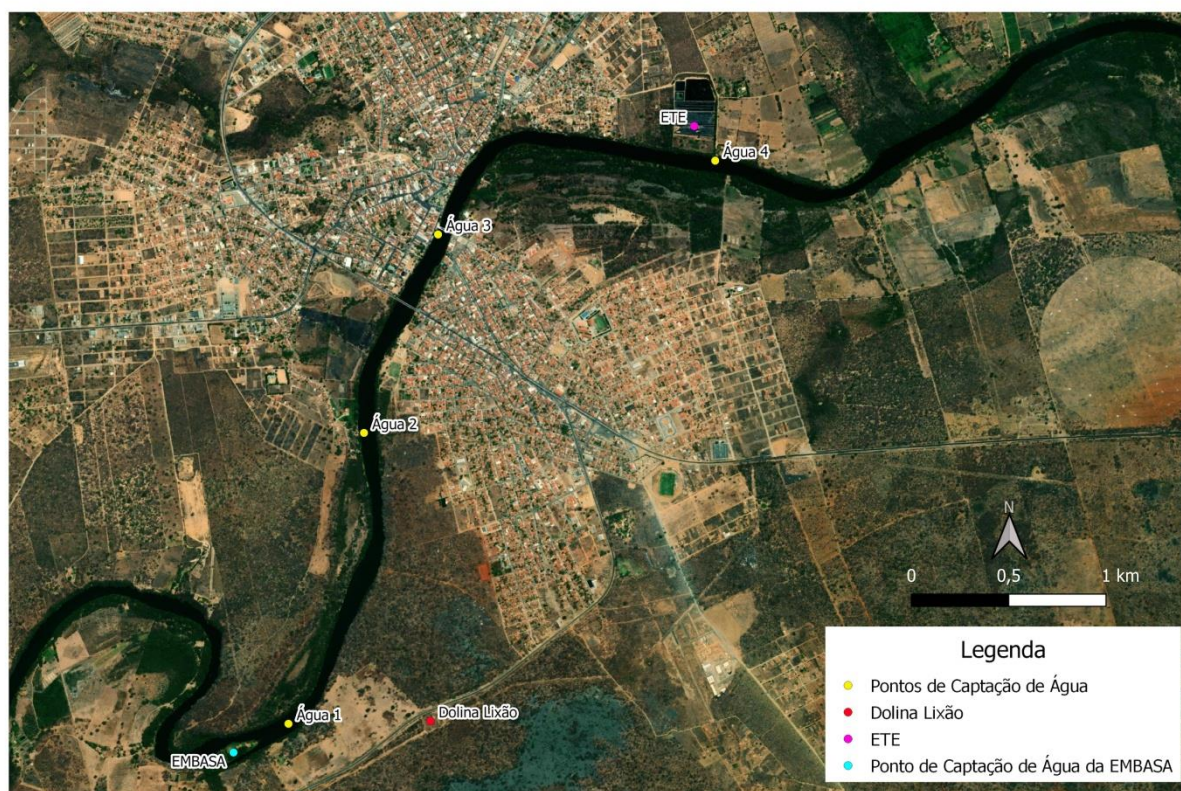


Figura 6. 6 - Pontos de coleta de água para amostragem.

A campanha de coleta de água foi realizada no Rio Corrente no dia 17 de março no período da tarde, em época ensolarada. As amostras destinadas às análises físico químicas foram coletadas em garrafas PET de 5 e 2 litros (2 garrafas, uma de cada capacidade, para

cada ponto de amostragem). As amostras para análise de coliformes, foram coletadas e armazenadas em recipientes de vidro esterilizados. Devido à pandemia da COVID-19, as amostras foram inviabilizadas de serem analisadas nos laboratórios da UnB, portanto, para não serem perdidas, foram enviadas para análise no laboratório Conágua Ambiental, de Goiânia - Goiás. Os procedimentos para realizar as campanhas de coleta, envolvendo tanto as coletas em si quanto os transportes das amostras, foram baseados no manual para análises físico-químicas da EMBRAPA (2011). É importante ressaltar que, o campo foi feito justamente na semana que foi anunciado o começo da quarentena no Distrito Federal e na Bahia, com a paralisação das atividades na Universidade de Brasília. Como foi uma situação inesperada, as amostras ficaram armazenadas durante 2 meses em uma geladeira, não sendo analisadas imediatamente. Tal fato pode ter influenciado negativamente nas análises de água, que serão avaliados na sessão de Resultados e Discussão. Os locais dos 4 pontos de coletas de água estão retratados nas Figuras 6.7 a 6.10.



Figura 6. 7 - Ponto 1 - à montante a Dolina do Lixão, próxima ao ponto de captação de água da EMBASA, servindo como “branco” para a comparação com os demais pontos.



Figura 6. 8 - Ponto 2 - à jusante da Dolina do Lixão, em uma área utilizada por pescadores da região.



Figura 6. 9 - Ponto 3 - à jusante da Dolina do Lixão, próxima a ponte sobre o Rio Corrente que liga as cidades de São Félix do Coribe e Santa Maria da Vitória.



Figura 6. 10 - Ponto 4 - à jusante da Dolina do Lixão, próxima a ETE de Santa Maria da Vitória.

6.2 - GEOFÍSICA

Para o ensaio geofísico, foram verificadas 3 linhas, alocadas da seguinte forma:

- Linha 1: antes da área do antigo lixão, com a intenção de verificar uma área sem a contaminação do lixo;
- Linha 2: abrangendo uma área dentro do antigo lixão da dolina e fora do mesmo, sendo a área fora apresentando deposição atual de lixo;
- Linha 3: após o antigo lixão da dolina, do outro lado da BR, de forma a verificar o fluxo de contaminação do lixiviado naquele sentido.

As linhas foram dispostas de tal forma devido a possibilidade de acesso ao local, sendo que a dolina se apresentava bastante íngreme, com locais inacessíveis, além da vegetação bastante desenvolvida em boa parte da região. As linhas estão representadas na Figura 5. 3.

As linhas foram passadas uma de cada vez, respeitando o tempo necessário para sua verificação completa. Foi colocado um guarda-sol para proteger o equipamento do calor e de uma possível chuva. As alocações do equipamento para realização das linhas estão representadas nas Figuras 6.11 a 6.14.



Figura 6. 11 - Equipamento utilizado para os ensaios geofísicos.



Figura 6. 12 - Equipamento na posição realizada para a verificação da Linha 3.



Figura 6. 13 - Equipamento alocado na posição para a verificação da Linha 2.



Figura 6. 14 - Equipamento em operação para a verificação da Linha 2.

6.3 - CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Para a caracterização do solo, foram selecionados 3 pontos de amostragem, onde foram retiradas amostras nas profundidades de 1 e 2 metros, em cada ponto, por ser um

terreno muito duro e, fatalmente, difícil de penetrar. A localização dos furos das amostras pode ser verificada na Figura 6. 15. Os pontos escolhidos foram:

- Ponto 1 (LIXÃO): dentro da área da dolina do lixão, onde foram verificados bastante resíduos e restos de lixo no subsolo, ao escavar;
- Ponto 2 (LIXO): no local onde ainda há deposição de lixo;
- Ponto 3 (BR): ao outro lado da BR, onde não há indícios de deposição de lixo tanto atual quanto antigamente.



Figura 6. 15 - Locais de coleta de solo.

7 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na geofísica, o resultado pós inversão das linhas 1, 2 e 3 podem ser observados na Figura 7. 1, Figura 7. 2 e Figura 7. 3, respectivamente. Como se sabe, a possibilidade da existência de lixiviado fica evidenciada pela queda da resistividade que, por ser um líquido com muitos íons e metais, ajudam na condutividade elétrica, assim, observa-se um perfil muito mais resistivo gerado pela linha 1, localizado antes do lixão em área preservada. Já no perfil gerado pela linha 2 (em cima da área do lixão), observa-se um material extremamente condutivo, o que tende a crer que a área pode estar contaminada por lixiviado oriundo da degradação do lixo depositado. É importante salientar que parte do

lixão foi remediada pela prefeitura e isolada com arame, assim a linha 2 atravessou a área onde o lixão ainda estava ativo (entre 0 e 30 metros) e entrou na área onde o mesmo começou a ser remediado (dos 30 metros em diante) e, por conta dessa remediação, a produção superficial de lixiviado foi interrompida, o que justifica a mancha mais resistiva na superfície perfil obtido. É importante chamar a atenção para o bolsão de baixa resistividade representado em azul a partir dos 3 metros de profundidade e 30 metros de distância em X que pode demonstrar que a remediação cessou apenas a produção superficial de lixiviado; porém, o que foi produzido em anos anteriores se mantém ainda cativo em áreas mais profundas resultado da percolação da água para o interior do maciço de solo e fatalmente o carreamento do poluente. Apesar de não se ter lixo depositado na área da linha 3, observa-se algumas manchas de baixa resistividade no perfil gerado, o que pode ser explicado pelo fluxo de água, tanto superficial quanto no interior do maciço, que parte da área do lixão em direção a área da linha 3 e desemboca no Rio Corrente cerca de 500 metros depois.

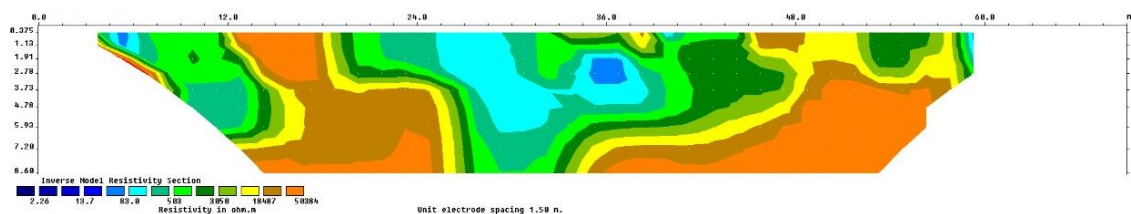


Figura 7. 1 - Linha 1 do ensaio geofísico.

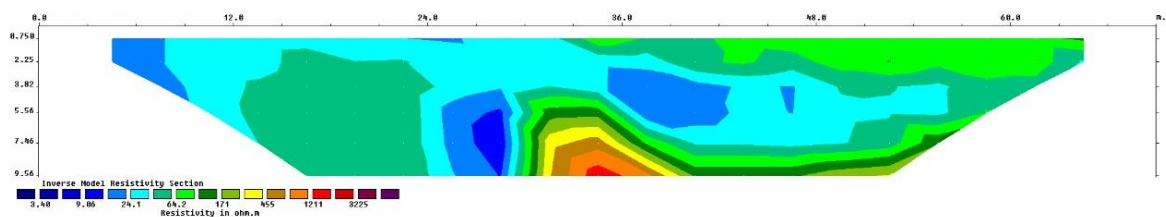


Figura 7. 2 - Linha 2 do ensaio geofísico.

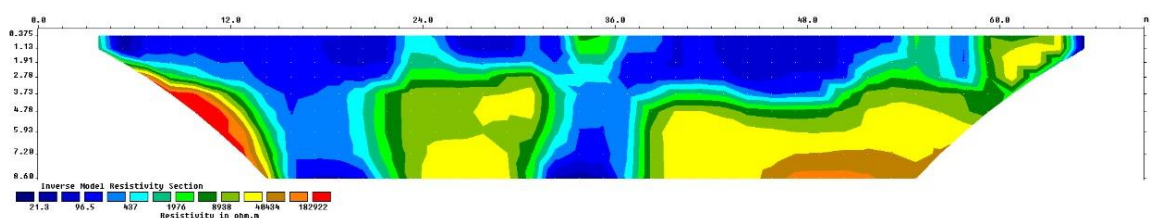


Figura 7. 3 - Linha 3 do ensaio geofísico.

Nas amostras de água, os pontos 2, 3 e 4 foram selecionados no Rio Corrente, para monitoramento da contaminação pela qualidade da água, enquanto o ponto 1 serviu como “branco” como os valores de referência da região. Além do objetivo de identificar possíveis alterações decorrentes da presença de lixiviado, os resultados também foram úteis posteriormente para complementar as análises realizadas a respeito dos levantamentos de resistividade do solo. O ponto 1 encontra-se à montante do lixão e os demais pontos à jusante, sendo o ponto 2 o mais próximo da localidade do lixão. Os pontos 3 e 4 encontram-se mais distantes do lixão, e serão usados para verificar a qualidade da água próxima à área urbana. É importante salientar que o ponto 4 é próximo a ETE de Santa Maria da Vitória, onde espera-se haver maior quantidade de coliformes fecais. Com a análise, pretende-se verificar possíveis indicativos de um fluxo considerável de lixiviado por escoamento superficial, e possivelmente por percolação. Os resultados das análises da campanha de monitoramento realizada no dia 18 de março 2020 estão nas Tabelas 7.1 a 7.4.

Nas tabelas são apresentados os valores máximos permitidos dos parâmetros presentes estabelecidos pela resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) para águas naturais doces classe II.

Tabela 7.1 - Resultados das análises de água no Ponto 1 - ETA

Nº Amostra: 14040-1/2020.0 - P.01 - Perto ETA					
Laboratório de Espectrometria					
Análise	Resultado	CONAMA 357 - CLASSE II	LQ	Referência	Data Análise
Alumínio Total	0,077 mg/L	-	0,040	SM 3120B	25/05/2020
Antimônio Total	< 0,002 mg/L	0,005 mg/L	0,002	SM 3120B	25/05/2020
Arsênio Total	< 0,002 mg/L	0,01 mg/L	0,002	SM 3120B	25/05/2020
Bário Total	< 0,005 mg/L	0,7 mg/L	0,005	SM 3120B	25/05/2020
Berílio Total	< 0,0040 mg/L	0,04 mg/L	0,0040	SM 3120B	25/05/2020
Boro Total	< 0,006 mg/L	0,5 mg/L	0,006	SM 3120B	25/05/2020
Cádmio Total	< 0,001 mg/L	0,001 mg/L	0,001	SM 3120B	25/05/2020
Chumbo Total	< 0,003 mg/L	0,01 mg/L	0,003	SM 3120B	25/05/2020
Cobalto Total	< 0,006 mg/L	0,05 mg/L	0,006	SM 3120B	25/05/2020
Cobre Dissolvido	< 0,003 mg/L	0,009 mg/L	0,003	SM 3120 B	25/05/2020
Cromo Total	< 0,005 mg/L	0,05 mg/L	0,005	SM 3120B	25/05/2020
Ferro Dissolvido	0,151 mg/L	0,3 mg/L	0,006	SM 3120 B	25/05/2020
Fósforo Total	69,000 mg/L	Obs, (b)	0,005	SM 3120B	25/05/2020
Lítio Total	< 0,004 mg/L	2,5 mg/L	0,004	SM 3120B	25/05/2020
Manganês Total	0,011 mg/L	0,1 mg/L	0,007	SM 3120B	25/05/2020
Mercurio Total	< 0,0002 mg/L	0,0002 mg/L	0,0002	SM 3120B	25/05/2020
Níquel Total	< 0,009 mg/L	0,025 mg/L	0,009	SM 3120B	25/05/2020
Prata Total	< 0,004 mg/L	0,01 mg/L	0,004	SM 3120B	25/05/2020
Selênio Total	< 0,002 mg/L	0,01 mg/L	0,002	SM 3120B	25/05/2020
Urânio Total	< 0,004 mg/L	0,02 mg/L	0,004	SM 3120B	25/05/2020
Vanádio Total	< 0,007 mg/L	0,1 mg/L	0,007	SM 3120B	25/05/2020
Zinco Total	0,022 mg/L	0,18 mg/L	0,007	SM 3120B	25/05/2020
Laboratório Físico Químico					
Análise	Resultado	CONAMA 357 - CLASSE II	LQ	Referência	Data Análise
Cloreto	2,5 mg/L	250 mg/L	0,5	SM 4500 Cl - B	19/05/2020
Condutividade Elétrica	34,54 µS/cm	-	0,10	SM 2510 B	05/05/2020
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	2,7 mg/L	5,0 mg/L	0,2	SM 5210 B	05/05/2020
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	8,0 mg/L	-	1,0	SM 5220 D	05/05/2020
Fluoreto	< 0,04 mg/L	1,4 mg/L	0,04	SM 4500 F - C	14/05/2020
Laboratório Microbiologia					
Análise	Resultado	CONAMA 357 - CLASSE II	LQ	Referência	Data Análise
Coliformes Termotolerantes	1,1 x 10 ² NMP/100 mL	Obs, (c)	1,8	SM 9221 E	05/05/2020
Especificações					
<p>CONAMA 357 - CLASSE II: CONAMA 357/05 ÁGUAS DOÇES CLASSE II: Trata das condições e padrões de lançamento de efluentes em águas superficiais, sendo classe 2: águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e) à aquicultura e à atividade de pesca.</p>					
Interpretações					
<p>Os pareceres, interpretações e opiniões expressos não fazem parte do escopo do sistema de qualidade deste laboratório com base na norma NBR ISO/IEC 17025.</p> <p>Conclusão dos Ensaio: O(s) resultado(s) do(s) parâmetro(s) atende(m) aos padrões especificados pela Resolução 357 (CONAMA 2005) Classe II.</p>					
Notas					
Legenda					
<p>SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd edition, 2017 LQ: Limite de quantificação do método utilizado (expresso na mesma unidade de medida reportada nos resultados, que, por sua vez, está relacionada ao método em questão) USP: United States Pharmacopeia, USP 43 NF 38 de 2020. RT: Em Relatório Técnico</p> <p>Unidades de Medida: µS/cm: Microsiemens por Centímetro; NMP/100 mL: Número Mais Provável em 100mL;</p> <p>Obs. (c) : Deve-se avaliar as condições específicas citadas em Legislação; Seção II, Art. 15, II. Obs. (b): Até 0,1 para ambientes lóticos, até 0,03 mg/L em ambientes lênticos; e até 0,05 mg/L em ambientes intermediários com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambientes lênticos.</p> <ul style="list-style-type: none"> Os resultados apresentados referem-se tão somente às características próprias das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente; A contestação dos resultados dos ensaios deverá ser formalizada no prazo de 15 dias após a emissão do relatório de ensaio. Coleta efetuada pelo cliente. O serviço de coleta, aquisição do material, descrição das amostras, conservação das amostras e meio de transporte é de inteira responsabilidade do cliente. 					

Tabela 7.2 - Resultados das análises de água no Ponto 2

Nº Amostra: 14042-1/2020.0 - P.02					
Laboratório de Espectrometria					
Análise	Resultado	CONAMA 357 - CLASSE II	LQ	Referência	Data Análise
Alumínio Total	< 0,040 mg/L	-	0,040	SM 3120B	25/05/2020
Antimônio Total	< 0,002 mg/L	0,005 mg/L	0,002	SM 3120B	25/05/2020
Arsênio Total	< 0,002 mg/L	0,01 mg/L	0,002	SM 3120B	25/05/2020
Bário Total	< 0,005 mg/L	0,7 mg/L	0,005	SM 3120B	25/05/2020
Berílio Total	< 0,0040 mg/L	0,04 mg/L	0,0040	SM 3120B	25/05/2020
Boro Total	< 0,006 mg/L	0,5 mg/L	0,006	SM 3120B	25/05/2020
Cádmio Total	< 0,001 mg/L	0,001 mg/L	0,001	SM 3120B	25/05/2020
Chumbo Total	< 0,003 mg/L	0,01 mg/L	0,003	SM 3120B	25/05/2020
Cobalto Total	< 0,006 mg/L	0,05 mg/L	0,006	SM 3120B	25/05/2020
Cobre Dissolvido	< 0,003 mg/L	0,009 mg/L	0,003	SM 3120 B	25/05/2020
Cromo Total	< 0,005 mg/L	0,05 mg/L	0,005	SM 3120B	25/05/2020
Ferro Dissolvido	0,070 mg/L	0,3 mg/L	0,006	SM 3120 B	25/05/2020
Fósforo Total	< 0,005 mg/L	Obs, (b)	0,005	SM 3120B	25/05/2020
Lítio Total	< 0,004 mg/L	2,5 mg/L	0,004	SM 3120B	25/05/2020
Manganês Total	0,011 mg/L	0,1 mg/L	0,007	SM 3120B	25/05/2020
Mercurio Total	< 0,0002 mg/L	0,0002 mg/L	0,0002	SM 3120B	25/05/2020
Níquel Total	< 0,009 mg/L	0,025 mg/L	0,009	SM 3120B	25/05/2020
Prata Total	< 0,004 mg/L	0,01 mg/L	0,004	SM 3120B	25/05/2020
Selênio Total	< 0,002 mg/L	0,01 mg/L	0,002	SM 3120B	25/05/2020
Urânio Total	< 0,004 mg/L	0,02 mg/L	0,004	SM 3120B	25/05/2020
Vanádio Total	< 0,007 mg/L	0,1 mg/L	0,007	SM 3120B	25/05/2020
Zinco Total	< 0,007 mg/L	0,18 mg/L	0,007	SM 3120B	25/05/2020
Laboratório Físico Químico					
Análise	Resultado	CONAMA 357 - CLASSE II	LQ	Referência	Data Análise
Cloreto	6,0 mg/L	250 mg/L	0,5	SM 4500 Cl- - B	19/05/2020
Condutividade Elétrica	36,60 µS/cm	-	0,10	SM 2510 B	05/05/2020
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	1,3 mg/L	5,0 mg/L	0,2	SM 5210 B	05/05/2020
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	10,0 mg/L	-	1,0	SM 5220 D	05/05/2020
Fluoreto	< 0,04 mg/L	1,4 mg/L	0,04	SM 4500 F ⁻ - C	14/05/2020
Laboratório Microbiologia					
Análise	Resultado	CONAMA 357 - CLASSE II	LQ	Referência	Data Análise
Coliformes Termotolerantes	1,7 x 10 ⁺² NMP/100 mL	Obs, (c)	1,8	SM 9221 E	05/05/2020
Especificações					
<p>CONAMA 357 - CLASSE II: CONAMA 357/05 ÁGUAS DOCES CLASSE II: Trata das condições e padrões de lançamento de efluentes em águas superficiais, sendo classe 2: águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e) à aquicultura e à atividade de pesca.</p>					
Interpretações					
<p>Os pareceres, interpretações e opiniões expressos não fazem parte do escopo do sistema de qualidade deste laboratório com base na norma NBR ISO/IEC 17025.</p> <p>Conclusão dos Ensaio: O(s) resultado(s) do(s) parâmetro(s) atende(m) aos padrões especificados pela Resolução 357 (CONAMA 2005) Classe II.</p>					
Notas					
Legenda					
<p>SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd edition, 2017 LQ: Limite de quantificação do método utilizado (expresso na mesma unidade de medida reportada nos resultados, que, por sua vez, está relacionada ao método em questão) USP: United States Pharmacopeia, USP 43 NF 38 de 2020. RT: Em Relatório Técnico</p> <p>Unidades de Medida: µS/cm: Microsiemens por Centímetro; NMP/100 mL: Número Mais Provável em 100mL;</p> <p>Obs. (c) : Deve-se avaliar as condições específicas citadas em Legislação; Seção II, Art. 15, II. Obs. (b): Até 0,1 para ambientes lóticos, até 0,03 mg/L em ambientes lênticos; e até 0,05 mg/L em ambientes intermediários com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambientes lênticos.</p> <ul style="list-style-type: none"> Os resultados apresentados referem-se tão somente às características próprias das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente; A contestação dos resultados dos ensaios deverá ser formalizada no prazo de 15 dias após a emissão do relatório de ensaio. Coleta efetuada pelo cliente. O serviço de coleta, aquisição do material, descrição das amostras, conservação das amostras e meio de transporte é de inteira responsabilidade do cliente. 					

Tabela 7.3 - Resultados das análises de água no Ponto 3

Nº Amostra: 14041-1/2020.0 - P.03					
Laboratório de Espectrometria					
Análise	Resultado	CONAMA 357 - CLASSE II	LQ	Referência	Data Análise
Alumínio Total	0,150 mg/L	-	0,040	SM 3120B	22/04/2020
Antimônio Total	< 0,002 mg/L	0,005 mg/L	0,002	SM 3120B	22/04/2020
Arsênio Total	< 0,002 mg/L	0,01 mg/L	0,002	SM 3120B	22/04/2020
Bário Total	< 0,005 mg/L	0,7 mg/L	0,005	SM 3120B	22/04/2020
Berílio Total	< 0,0040 mg/L	0,04 mg/L	0,0040	SM 3120B	22/04/2020
Boro Total	< 0,006 mg/L	0,5 mg/L	0,006	SM 3120B	22/04/2020
Cádmio Total	< 0,001 mg/L	0,001 mg/L	0,001	SM 3120B	22/04/2020
Chumbo Total	< 0,003 mg/L	0,01 mg/L	0,003	SM 3120B	22/04/2020
Cobalto Total	< 0,006 mg/L	0,05 mg/L	0,006	SM 3120B	22/04/2020
Cobre Dissolvido	< 0,003 mg/L	0,009 mg/L	0,003	SM 3120 B	25/05/2020
Cromo Total	< 0,005 mg/L	0,05 mg/L	0,005	SM 3120B	22/04/2020
Ferro Dissolvido	0,119 mg/L	0,3 mg/L	0,006	SM 3120 B	25/05/2020
Fósforo Total	0,134 mg/L	Obs. (b)	0,005	SM 3120B	22/04/2020
Lítio Total	< 0,004 mg/L	2,5 mg/L	0,004	SM 3120B	22/04/2020
Manganês Total	0,100 mg/L	0,1 mg/L	0,007	SM 3120B	22/04/2020
Mercurio Total	< 0,0002 mg/L	0,0002 mg/L	0,0002	SM 3120B	22/04/2020
Níquel Total	< 0,009 mg/L	0,025 mg/L	0,009	SM 3120B	22/04/2020
Prata Total	< 0,004 mg/L	0,01 mg/L	0,004	SM 3120B	22/04/2020
Selênio Total	< 0,002 mg/L	0,01 mg/L	0,002	SM 3120B	22/04/2020
Urânio Total	< 0,004 mg/L	0,02 mg/L	0,004	SM 3120B	22/04/2020
Vanádio Total	< 0,007 mg/L	0,1 mg/L	0,007	SM 3120B	22/04/2020
Zinco Total	0,155 mg/L	0,18 mg/L	0,007	SM 3120B	22/04/2020
Laboratório Físico Químico					
Análise	Resultado	CONAMA 357 - CLASSE II	LQ	Referência	Data Análise
Cloreto	5,5 mg/L	250 mg/L	0,5	SM 4500 Cl - B	19/05/2020
Condutividade Elétrica	34,20 µS/cm	-	0,10	SM 2510 B	05/05/2020
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	2,0 mg/L	5,0 mg/L	0,2	SM 5210 B	05/05/2020
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	13,0 mg/L	-	1,0	SM 5220 D	05/05/2020
Fluoreto	< 0,04 mg/L	1,4 mg/L	0,04	SM 4500 F ⁻ - C	14/05/2020
Laboratório Microbiologia					
Análise	Resultado	CONAMA 357 - CLASSE II	LQ	Referência	Data Análise
Coliformes Termotolerantes	7,8 x 10 ¹ NMP/100 mL	Obs. (c)	1,8	SM 9221 E	05/05/2020
Especificações					
<p>CONAMA 357 - CLASSE II: CONAMA 357/05 ÁGUAS DOÇES CLASSE II: Trata das condições e padrões de lançamento de efluentes em águas superficiais, sendo classe 2: águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e) à aquicultura e à atividade de pesca.</p>					
Interpretações					
<p>Os pareceres, interpretações e opiniões expressos não fazem parte do escopo do sistema de qualidade deste laboratório com base na norma NBR ISO/IEC 17025.</p> <p>Conclusão dos Ensaio: O(s) resultado(s) do(s) parâmetro(s) atende(m) aos padrões especificados pela Resolução 357 (CONAMA 2005) Classe II.</p>					
Notas					
Legenda					
<p>SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd edition, 2017 LQ: Limite de quantificação do método utilizado (expresso na mesma unidade de medida reportada nos resultados, que, por sua vez, está relacionada ao método em questão) USP: United States Pharmacopeia, USP 43 NF 38 de 2020. RT: Em Relatório Técnico</p> <p>Unidades de Medida: µS/cm: Microsiemens por Centímetro; NMP/100 mL: Número Mais Provável em 100mL;</p> <p>Obs. (c) : Deve-se avaliar as condições específicas citadas em Legislação; Seção II, Art. 15, II. Obs. (b): Até 0,1 para ambientes lóticos, até 0,03 mg/L em ambientes lênticos; e até 0,05 mg/L em ambientes intermediários com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambientes lênticos.</p> <ul style="list-style-type: none"> Os resultados apresentados referem-se tão somente às características próprias das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente; A contestação dos resultados dos ensaios deverá ser formalizada no prazo de 15 dias após a emissão do relatório de ensaio. Coleta efetuada pelo cliente. O serviço de coleta, aquisição do material, descrição das amostras, conservação das amostras e meio de transporte é de inteira responsabilidade do cliente. 					

Tabela 7. 4 - Resultados das análises de água no Ponto 4

Nº Amostra: 14039-1/2020.0 - P.04 - Perto ETE					
Laboratório de Espectrometria					
Análise	Resultado	CONAMA 357 - CLASSE II	LQ	Referência	Data Análise
Alumínio Total	0,100 mg/L	-	0,040	SM 3120B	25/05/2020
Antimônio Total	< 0,002 mg/L	0,005 mg/L	0,002	SM 3120B	25/05/2020
Arsênio Total	< 0,002 mg/L	0,01 mg/L	0,002	SM 3120B	25/05/2020
Bário Total	< 0,005 mg/L	0,7 mg/L	0,005	SM 3120B	25/05/2020
Berílio Total	< 0,0040 mg/L	0,04 mg/L	0,0040	SM 3120B	25/05/2020
Boro Total	< 0,006 mg/L	0,5 mg/L	0,006	SM 3120B	25/05/2020
Cádmio Total	< 0,001 mg/L	0,001 mg/L	0,001	SM 3120B	25/05/2020
Chumbo Total	< 0,003 mg/L	0,01 mg/L	0,003	SM 3120B	25/05/2020
Cobalto Total	< 0,006 mg/L	0,05 mg/L	0,006	SM 3120B	25/05/2020
Cobre Dissolvido	< 0,003 mg/L	0,009 mg/L	0,003	SM 3120 B	25/05/2020
Cromo Total	< 0,005 mg/L	0,05 mg/L	0,005	SM 3120B	25/05/2020
Ferro Dissolvido	0,140 mg/L	0,3 mg/L	0,006	SM 3120 B	25/05/2020
Fósforo Total	0,097 mg/L	Obs, (b)	0,005	SM 3120B	25/05/2020
Lítio Total	< 0,004 mg/L	2,5 mg/L	0,004	SM 3120B	25/05/2020
Manganês Total	0,100 mg/L	0,1 mg/L	0,007	SM 3120B	25/05/2020
Mercurio Total	< 0,0002 mg/L	0,0002 mg/L	0,0002	SM 3120B	25/05/2020
Níquel Total	< 0,009 mg/L	0,025 mg/L	0,009	SM 3120B	25/05/2020
Prata Total	< 0,004 mg/L	0,01 mg/L	0,004	SM 3120B	25/05/2020
Selênio Total	< 0,002 mg/L	0,01 mg/L	0,002	SM 3120B	25/05/2020
Urânio Total	< 0,004 mg/L	0,02 mg/L	0,004	SM 3120B	25/05/2020
Vanádio Total	< 0,007 mg/L	0,1 mg/L	0,007	SM 3120B	25/05/2020
Zinco Total	0,088 mg/L	0,18 mg/L	0,007	SM 3120B	25/05/2020
Laboratório Físico Químico					
Análise	Resultado	CONAMA 357 - CLASSE II	LQ	Referência	Data Análise
Cloreto	2,5 mg/L	250 mg/L	0,5	SM 4500 Cl ⁻ - B	19/05/2020
Condutividade Elétrica	35,80 µS/cm	-	0,10	SM 2510 B	05/05/2020
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	3,3 mg/L	5,0 mg/L	0,2	SM 5210 B	05/05/2020
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	16,0 mg/L	-	1,0	SM 5220 D	05/05/2020
Fluoreto	< 0,04 mg/L	1,4 mg/L	0,04	SM 4500 F ⁻ - C	14/05/2020
Laboratório Microbiologia					
Análise	Resultado	CONAMA 357 - CLASSE II	LQ	Referência	Data Análise
Coliformes Termotolerantes	<1,8 x 10 ⁻¹ NMP/100 mL	Obs, (c)	1,8	SM 9221 E	05/05/2020
Especificações					
<p>CONAMA 357 - CLASSE II: CONAMA 357/05 ÁGUAS DOCES CLASSE II: Trata das condições e padrões de lançamento de efluentes em águas superficiais, sendo classe 2: águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e e) à aquicultura e à atividade de pesca.</p>					
Interpretações					
<p>Os pareceres, interpretações e opiniões expressos não fazem parte do escopo do sistema de qualidade deste laboratório com base na norma NBR ISO/IEC 17025.</p> <p>Conclusão dos Ensaios: O(s) resultado(s) do(s) parâmetro(s) atende(m) aos padrões especificados pela Resolução 357 (CONAMA 2005) Classe II.</p>					
Notas					
<p>Legenda</p> <p>SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd edition, 2017 LQ: Limite de quantificação do método utilizado (expresso na mesma unidade de medida reportada nos resultados, que, por sua vez, está relacionada ao método em questão) USP: United States Pharmacopeia, USP 43 NF 38 de 2020. RT: Em Relatório Técnico Unidades de Medida: µS/cm: Microsiemens por Centímetro; NMP/100 mL: Número Mais Provável em 100mL; Obs. (c): Deve-se avaliar as condições específicas citadas em Legislação; Seção II, Art. 15, II. Obs. (b): Até 0,1 para ambientes lóticos, até 0,03 mg/L em ambientes lênticos; e até 0,05 mg/L em ambientes intermediários com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambientes lênticos.</p> <ul style="list-style-type: none"> Os resultados apresentados referem-se tão somente às características próprias das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente; A contestação dos resultados dos ensaios deverá ser formalizada no prazo de 15 dias após a emissão do relatório de ensaio. Coleta efetuada pelo cliente. O serviço de coleta, aquisição do material, descrição das amostras, conservação das amostras e meio de transporte é de inteira responsabilidade do cliente. 					

Dentre as análises obtidas, não foi possível realizar, devido à falta de acesso aos laboratórios da UnB, os ensaios de Oxigênio Dissolvido (OD), turbidez e pH da água.

A condutividade elétrica (CE), relacionada com a presença de íons que são abundantes na composição do lixiviado, é muito próxima em todos os 4 pontos de estudo. Mondelli et al (2016) disseram que poços contaminados em sua área de estudo apresentaram, em média, valores de CE superiores a 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto o branco variava até 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O Ponto 1, de referência, apresentava 34,54 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o Ponto 2, mais próximo ao lixão, apresentou o maior valor entre os 4 pontos de 36,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o Ponto 3 apresentou o menor valor de 34,20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o Ponto 4 35,80 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os resultados são muito menores que a indicação de contaminação por lixiviado, incoerentes com a suspeita inicial de contaminação.

A DBO, que indica a quantidade de oxigênio consumido na degradação biológica da matéria orgânica, apresentou valores dentro do padrão permitido em todos os pontos, sendo o Ponto 4, mais próximo à ETE, o de maior valor. Em relação a DQO, que indica a quantidade de OD consumido em meio ácido levando à degradação da matéria orgânica, sabe-se que sua concentração é extremamente alta na composição do lixiviado em aterros brasileiros (Lange e Amaral, 2009). Os Pontos 2, 3 e 4, à jusante do lixão, obtiveram valores de DQO maiores que o Ponto 1, à montante do lixão.

Em relação ao cloreto, que pode ser tido como um dos principais parâmetros para avaliar a contaminação de lixiviado, pode haver, também, sua ocorrência natural pela dissolução de minerais (Pereira et al., 2013). No chorume bruto, o cloreto atinge altos valores de cerca de 4.000 mg/L, e comporta-se como íon traçador por não ficar retido solo (Mondelli et al, 2016; Ling e Zhang, 2017). Os valores de cloreto obtidos em todos os 4 pontos estão dentro dos valores permitidos; porém, o maior valor foi encontrado no Ponto 2, o mais próximo do lixão. O cloreto é um parâmetro mais representativo do que o pH e Condutividade Elétrica, pela falta da análise de pH, nitrogênio, potássio e de sódio, além de outras diversas possibilidades que possam alterar esses dois parâmetros, a ocorrência de cloreto teve um peso maior para a análise.

Nos parâmetros microbiológicos, os coliformes totais foram analisados nos 4 pontos, sendo menores do que os limites estabelecidos pelo CONAMA para esse tipo de corpo d'água. Um aspecto que chama a atenção é o fato de que a amostra do Ponto 4, mais próxima da ETE de Santa Maria da Vitória, apresentou o menor valor de coliformes totais, podendo indicar problemas na amostragem. A presença de coliformes não é um indicativo da presença de chorume (Ling e Zhang, 2017), mas é um importante indicador de outras fontes de poluição e os perigos envolvidos no eventual consumo humano dessas águas.

Em relação ao fósforo, houve um valor que fugiu do enquadramento no Ponto 1, podendo indicar um problema na amostragem. Observa-se que, nos 4 pontos, as análises de alumínio, antimônio, arsênio, bário, berílio, boro, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, ferro, lítio, manganês, mercúrio, níquel, prata, selênio, urânio, vanádio, zinco e fluoreto estão dentro dos valores permitidos por resolução. Desse modo, não temos indícios de que o Rio Corrente está em contato com o lixiviado, por meio da análise das amostras de água. Apesar de ser possível observar alguns indícios de contaminação (valores maiores de CE, DQO e cloreto nos pontos, principalmente no Ponto 2, em relação ao branco) não é possível ainda determinar a fonte: subterrânea ou superficial, nem mesmo se o antigo lixão de São Félix do Coribe tem alguma influência, sendo todos os valores dentro do permitido por resolução. Sabe-se que as coletas foram realizadas na estação seca, o que desfavorece a possibilidade de escoamento superficial ter originado os valores identificados.

Outro fator determinante nos resultados das análises de água foi o período de pandemia no qual nos encontrávamos tanto na coleta das amostras, quanto na realização deste trabalho. As incertezas, o fechamento dos mais diversos locais e os grandes períodos de armazenamento das amostras sem acesso aos laboratórios, são fatores que, certamente, influenciaram negativamente no resultado final das análises.

É preciso salientar que apenas 3 pontos de monitoramento e 1 ponto para estabelecimento de valores de referência, todos eles de amostras superficiais, pode causar certas limitações no estudo. Para uma análise mais consistente, seria necessário a escolha de mais pontos superficiais, pontos em poços de monitoramento e monitoramento periódico em ambos, o que possibilitaria não só a eventual confirmação de contato com contaminante em outros locais, mas também evidenciar o avanço da pluma de contaminação para determinada direção. Para isso, no entanto, é necessário posicionar os poços em locais estratégicos, que podem ser bem definidos a partir de ensaios geofísicos executados previamente (Santos Filho et al, 2017; Mondelli et al, 2016). Outra possibilidade que acarretaria maior consistência nos resultados seria realizar monitoramentos não só periódicos, mas também alternados entre períodos de estiagem e de chuvas. Dessa forma seria notada a influência da diluição em cada parâmetro, e consequentemente aumentaria o potencial de identificação do contaminante.

Para a caracterização do solo foi utilizado o laboratório LTEC em Goiânia. As amostras foram retiradas nas profundidades de 1 e 2 metros por ser um terreno muito duro e, fatalmente, difícil de penetrar. Os resultados estão dispostos na Tabela 7. 5.

Tabela 7. 5 - Resultados das amostras de solo.

Prof (m)	CAPTAÇÃO	Wnat (%)	ps (g/cm ³)	LL (%)	LP (%)	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	PH
1	LIXÃO (1)	8,39	2,634	17,2	NP	7,2	83,5	9,0	0,3	6,63
2	LIXÃO (1)	8,80	2,628	16,4	NP	7,4	82,5	7,4	2,6	7,84
1	LIXO (2)	8,24	2,752	16,5	12,7	5,0	68,5	11,2	15,2	7,12
2	LIXO (2)	9,75	2,642	17,0	12,4	0,0	71,3	6,8	21,9	7,24
1	BR (3)	16,72	2,607	NL	NP	8,4	77,7	9,4	4,6	7,60
2	BR (3)	13,65	2,632	NL	NP	13,5	73,5	6,8	6,2	7,65

Nota-se que a umidade do solo aumenta de montante para jusante. Isso pode ser explicado pelo fato de que ao se afastar do lixão em direção ao Rio Corrente, a pluma de contaminação verificada pela eletrorresistividade pode estar se alastrando pelo subsolo, influenciando assim diretamente no teor de umidade do solo, que aumenta na direção de avanço da pluma. O peso específico se mantém similar de uma amostra para outra, variando de 2,6 g/cm³ até 2,7 g/cm³. O solo se apresenta bastante arenoso e isso pode ser justificado por ser uma área cárstica, assim, o intemperismo químico e físico das rochas

por vários anos resultam em uma camada superficial arenosa com pedregulhos, como se pôde verificar na Tabela 7. 5. A característica do solo com predominância de areia, com baixa umidade resultaria em resistividade elevada, como, de fato, foi verificado pela sondagem geofísica. O solo arenoso tende a ter maior permeabilidade e isso pode ser umapropriedade que facilitariao avanço da pluma de contaminaçãoque foi verificada pela sua baixa resistividade, observada no perfil geoeletrico. Por ser um solo arenoso, a umidade tende a ser mais baixa; entretanto, na direção de fluxo da pluma, mesmo o solo sendo arenoso, ele apresenta umidadeacima do normal para esse tipo de solo.

O PH do solo testado se mantém perto da faixa neutra, variando de 6,63 até 7,84. Vários fatores podem influenciar no resultado do PH do solo como sua composição, vegetação, atividade biológica e etc., porém as amostras se mantiveram armazenadas durante cerca de 90 dias por conta do *lockdown* pandêmico de 2020 em temperatura ambiente e, por isso, os dados resultantes de PH podem ter sido afetados e comprometidos.

Apesar dos resultados de análise de água levar a crer que não há contaminação por lixiviado, ao se analisar os resultados gerados pela geofísica de eletrorresistividade se tem um cenário diferente: Ao passo em que se tem um perfil com altos valores de resistividade na área preservada, nota-se uma queda brusca nos valores quando comparadosao perfil obtido na área do lixão e na área posterior ao mesmo indicando também que, caso haja a contaminação por lixiviado, o mesmo está se movendo pela superfície e no interior do maciço do solo em direção ao Rio Corrente.As análises do solo mantêm viva a discussão sobre a existência de contaminação por lixiviado visto que se atestou um PH mais ácido na área superficial do lixão e um PH mais básico na parte mais profunda do mesmo. Segundo Giordano *et al.* (2011) o valor de PH do lixiviado deve variar de ácido quando no início de sua formação e básico quando mais antigo, justificando assim, valores ácidos na camada superficiae básicos na parte mais profunda além de valores básico na parte posterior ao lixão visto que o contaminante, como dito anteriormente, pode ser transportado junto com a água.

8 - CONCLUSÕES

O estudo da contaminação proveniente do antigo lixão de São Félix do Coribe (BA) associou um método indireto com métodos diretos de investigação, de forma a exercerem funções complementares. A associação dos métodos demonstrou a aplicabilidade da geofísica na avaliação de plumas de contaminação.

O método indireto resultou em perfis com contrastes de resistividades muito marcantes, sendo as resistividades mais baixas (abaixo de 50 Ωm) verificadas predominantemente nas linhas realizadas nas áreas de influência do lixão, quando comparadas com a linha de referência, posicionada a montante, com valores médios acima de 1000 Ωm . A característica do solo com predominância de areia, com baixa umidade, resultaria em resistividade elevada, como, de fato, foi verificado pela sondagem geofísica. Já a resistividade baixa é consistente com a presença de material condutivo, característica do lixiviado. Tal evidenciou a frente de contaminação e o caminhamento da mesma no subsolo, salientando a discussão sobre existência de contaminantes na área.

O método direto foi feito com base em análises do solo e de água. No solo foi observada uma área de pH mais ácido (lixiviado mais novo) e outra de pH mais básico (lixiviado mais antigo) em profundidade, o que pode estar associado com as fases de formação do lixiviado. Consistentemente, as umidades verificadas no solo aumentaram na direção de montante para jusante, indicando que a pluma de contaminação pode estar se alastrando pelo subsolo, influenciando diretamente no teor de umidade do solo.

As análises físico-química e biológica da água em amostras de 4 pontos do Rio Corrente (BA) não identificaram evidências de contaminação. O Ponto 2 de amostragem (o mais próximo a jusante do lixão) apresentou valores de parâmetros indicativos de presença de lixiviado como a CE, cloreto e DBO, mais elevados em relação aos demais pontos de coleta, porém todos os valores dentro dos permitidos por resolução. Assim, os dados levantados não foram suficientes para comprovar a suspeita de contaminação no Rio Corrente.

9– RECOMENDAÇÕES

Para futuros estudos, há uma série de recomendações. Primeiramente, devido à particularidade de olixiviado ter diferentes composições com base nos diferentes resíduos que o geraram, recomenda-se a coleta de amostra de lixiviado em um poço escavado sobre a dolina do lixão, de modo a observar a concentração dos parâmetros representativos do lixiviado especificamente para o antigo lixão de São Félix do Coribe (BA). É recomendado para futuros monitoramentos que analisem pelo menos os principais parâmetros utilizados no diagnóstico: cloreto; amônia; DQO; nitrato; pH; turbidez; nitrato; sulfato e potássio, buscando, também, determinar as concentrações de metais pesados.

Com o intuito de confirmar a suposta contaminação evidenciada pelos ensaios geofísicos, que já possibilitaram um entendimento inicial dos fluxos subterrâneo em duas faces do lixão, é sugerido que sejam analisadas amostras de poços de monitoramento perfurados nos pontos de resistividade aparente menores que 50 Ω , assim como em poços perfurados em outras direções de escoamento do lixão, pois há a possibilidade de existirem outros fluxos se desenvolvendo. Os monitoramentos recomendados em São Félix do Coribe e em poços devem ser realizados em períodos de chuva e de estiagem, de modo a observar a interação entre águas pluviais e a concentração dos contaminantes, além de verificar se a contaminação em São Félix do Coribe ocorre apenas em períodos com chuva, ou se a mesma se mantém, também, durante a estiagem. Caso haja interesse em observar o avanço da pluma com o tempo por método direto de análise, recomenda-se também a perfuração de poços de monitoramento mais distantes, que, juntamente com os outros, devam ser monitorados por períodos de anos, com o intuito de observar a existência e a quantidade (caso houver) do aumento de concentração dos parâmetros de análise com o passar dos anos e com o aumento de distância do ponto de geração de lixiviado. Finalmente, para estudos que visem simular a dispersão do lixiviado ao longo do tempo, recomenda-se a utilização de simulação pelos modelos SWAT e MODFLOW.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. (2017). Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil de 2017. 73p.

ABRELPE. (2019). Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil de 2018/2019. 68p.

Agência Pública, *Public Eye*, Repórter Brasil. Por Trás do Alimento. Você bebe agrotóxicos? Descubra se a água da sua torneira foi contaminada, de acordo com

- dados do Sisagua. Disponível em: <<http://portrasdoalimento.info/agrotoxico-na-agua/>> Acesso em: Novembro
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1985). NBR 8849: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos - Procedimento. 9p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1995). NBR 6502: Rochas e solos. 18p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1996). NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento. 7p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). NBR 10004: Resíduos sólidos - classificação. 71p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. 12p.
- Auler, Augusto; ZOGBI, Leda. Espeleologia: noções básicas. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2005.
- Bicalho, K.V.; Correia, A.G.; Ferreira, S.; Fleureau, J.M. & Marinho, F.A.M. *The use of filter paper method for matric suction measurement of an unsaturated compacted silty sand*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS NÃO SATURADOS, 6., Salvador, 2007. Anais... Salvador, Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2007. p.215-219.
- Bidone, F. R. A. e Povinelli, J. (1999). Conceitos básicos de resíduos sólidos. São Carlos: EESC-USP. 109p.
- Brasil. (2000). Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm> . Acesso em: novembro 2019.
- Brasil. (2007) Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>
- Brasil. (2010). Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Câmara - Legislação. Disponível em:

- <bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/.../politica_residuos_solidos_3ed.reimp.pdf?>. Acesso em: nov. 2019
- Brasil. Ministério da Integração. Portaria do Ministério da Integração Nacional nº 89, de 16 de março de 2005. Disponível em: <https://www.normas.gov.br/materia/-/asset_publisher/NebW5rLVWyej/content/id/59100241> Acesso em:
- Caicedo, N. L. (2000). Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. Em: TUCCI, C. E. M (Org). Hidrologia: Ciência e aplicação. 2a ed., 1.reimpr. - Porto Alegre: Ed. Universidade. UFRGS – ABRH, 2000. 943p.
- Cardoso, F. B. F., Almeida, L., Gonçalves, M. V. C., Oliveira, F., Nascimento, F. S. N., Ferreira, A. N. P., & Gaspar, M. T. P. (2012). Mapa das áreas aflorantes dos aquíferos e sistemas aquíferos do Brasil. XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, (61), 1–6.
- Cavalcanti, M. M. (2013). Aplicação de métodos geoeletricos no delineamento da pluma de contaminação nos limites do Aterro Controlado do Jokey Clube de Brasília – DF. Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências. Programa de Pós-graduação em Geociências Aplicadas. Área de Concentração: Geofísica Aplicada. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 111p.
- Climate-data.org*. Clima: São Félix do Coribe. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/bahia/sao-felix-do-coribe-43224/?amp=true>> Acesso em: nov. 2019.
- CODEPLAN. (1984). Atlas do Distrito Federal. Brasília, DF.
- Costa, P. C. (2002). Unidades de conservação: : matéria-prima do ecoturismo. São Paulo: Aleph, 2002. 163p.
- Cotrim, S. L. (1997). Filtro aeróbios percoladores aplicados ao tratamento de lixiviados de aterros sanitários antigos. 98 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- CRPM, Serviço Geológico do Brasil. (2014) Espeleologia: o estudo das cavernas. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Espeleologia%3A-o-estudo-das-cavernas-1278.html>>
- EMBRAPA. (2018). Sistema Brasileiro de Classificacao de Solos. 353p.
- EMBRAPA. (2011). Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. 70p.
- Farquhar, G.J. *Leachate: production and characterization*. 1989. *Canadian Journal of Civil Engineering*. Nº16, p. 317 – 325.

- Feitosa, F. A. C. e Filho, J. M. (2000). Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações. 2a ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. 391p.
- Finotti, A. R.; Finkler, R.; Silva, M. D.; Cemin, G. (2009). Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas. Caxias do Sul: EDUCS. 272 p.
- Giordano, G; Barbosa Filho, O. e Carvalho, R. J. Processos físicoquímicos para tratamento do chorume de aterros de resíduos sólidos urbanos. Série Temática: Tecnologias Ambientais –volume 4. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Engenharia. Rio de Janeiro, 178p. 2011.
- Governo do Estado do Paraná (2010). Floresta Estacional Semidecidual. V5. 8p. Disponível em: <http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/cobf/V5_Floresta_Estacional_Semidecidual.pdf> Acesso em: nov. 2019
- IBGE. (2019) Dados sobre Santa Maria da Vitória – Bahia. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/santa-maria-da-vitoria>> Acesso em set. 2019
- IBGE. (2019) Dados sobre São Félix do Coribe – Bahia. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/sao-felix-do-coribe>> Acesso em dez 2019
- Iglesias, M. e Uhlein, A. (2009). Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. Revista Brasileira de Geociências. Volume 39(2): p. 256-266, junho de 2009. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7661/7088>> Acesso em: nov. 2019
- ISWA. (2015). Wasted health - the tragic case of dumping. International Solid Waste Association. 37p.
- ISWA (2017). Roteiro para Encerramento de Lixões – os lugares mais poluídos do mundo. *International Solid Waste Association*. 35p.
- Kearey, P.; Brooks, M.; Hill, I. Geofísica de exploração. Tradução Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina do Texto, 438p. 2009.
- Krahn, J.; Fredlund, D. G. “On total, matric and osmotic suction.” *Soil Science, baltimore*, v.114, p.339-348, 1972.
- Lange, L. C.; Amaral, M. C. S. do. (2009). Geração e Características do Lixiviado. Luciana Paulo Gomes. Cap. 3 - Resíduos Sólidos, Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras. PROSAB 5. v. 3, cap. 2, p. 26-59.

- Lauermann, A. (2007). Caracterização química dos efluentes gerados pelo aterro controlado de Santa Maria e retenção de chumbo e zinco por um argissolo da depressão central do Rio Grande do Sul. 2007. 72 f. Dissertação (Mestre em Ciência do Solo) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.
- Lima, Jose Dantas et al. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. 1ª ed., São Paulo: Ed João Pessoa, 2001
- Ling, C. e Zhang, Q. (2017). “Evaluation of surface water and groundwater contamination in a MSW landfill area using hydrochemical analysis and electrical resistivity tomography: a case study in Sichuan province, Southwest China”. *Environment Monitoring and Assessment*, p. 140-189.
- Lino, C. F. e Allievi, J. (1980). *Cavernas Brasileiras*. 1ª ed. São Paulo: Comp. Melhoramentos de São Paulo, Indústrias de Papel. 168p.
- Lopes, M.B.L., *Influência da sucção na resistência ao cisalhamento de um solo residual de filito de Belo Horizonte, MG*, 1.ed., Rio de Janeiro, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2006
- Marinho, F. A. M., *Medição de Sucção em Solos*, Anais do 3º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, 373-398, Rio de Janeiro, 1997.
- Mello, R. M. (2013). *Levantamentos geofísicos, monitoramento e modelagem matemática da contaminação do lençol freático por efluente de charqueadora*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM–149/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 109p.
- Mishra, S.; Tiwary, D.; Ohri, A. (2018). “Leachate characterization and evaluation of leachate pollution potential of urban municipal landfill”. In: *Environmental and Waste Management*. V. 21, n. 4, p. 217-230.
- Mondelli, G.; Giacheti, H. L.; Hamada, J. (2016). *Avaliação da contaminação no entorno de um aterro de resíduos sólidos urbanos com base em resultados de poços de monitoramento*. Em: *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 1, p. 169–182.
- Piveli, R. P.; Kato, M. T.; *Qualidade das águas e poluição: Aspectos Físico-Químicos*, 1ª ed., ABES-Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 2006.

- Povinelli, J.; Sobrinho, P. A. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. /Luciana Paulo Gomes (coordenadora). Rio de Janeiro: ABES, 360 p.. 2009.
- Sawyer, C. N.; McCarty, P. L.; Parkin, G. F. *Chemistry for Environmental Engineering*, McGraw Hill, 655 p. 1994.
- Schneider, Vânia Elisabete. et. al. Manual de gerenciamento de resíduos sólidos de serviços de saúde. 2 ed. revisada e ampliada. Caxias do Sul, RS: Educs. 2004. p. 26 – 106.
- Segato, Luciana Maturana; SILVA, Celso Luiz. Caracterização do chorume do aterro sanitário de Bauru. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Anais. Porto Alegre, 2000. p.1-9.
- Serafim, A.C., Gussakov, K.C et al. Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamentos. Fórum de Estudo Contábeis, 3. São Paulo: UNICAMP. 54p. 2003.
- Sgarbi, G. N. C. 1989. Geologia da Formação Areado, Cretáceo Médio a Inferior da Bacia do São Francisco, oeste do Estado de Minas Gerais. Inst. de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, 324p.
- Silva, S. A. (2014). Geotêxteis como elementos redutores da capacidade poluente de chorumes. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 135p.
- Silveira, A. L. L. da. (2000). Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. Em: TUCCI, C. E. M (Org). Hidrologia: Ciência e aplicação. 2a ed., 1.reimpr. - Porto Alegre: Ed. Universidade. UFRGS – ABRH, 2000. 943p.
- Soares, R. V. B. (2019). Investigação da ocorrência de contaminante nas águas superficiais e subterrâneas no Lixão do Novo Gama (GO) por meio de métodos geofísicos, qualidade da água e modelagem hidrológica. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 89p.
- Souza Pinto, Carlos -Curso Básico de Mecânica dos Solos –Editora Oficina de Textos. (2000)
- Tchobanoglous, G. Theisen, H. & Vigil, S. A. *Integrated Solid Waste Management – Engineering Principles and Management Issues. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. Macgraw Hill, Book Co., Inc., New York*, 979 p. 1993.

- Terzaghi, K.; Peck, R.B. & Mesri, G. *Soil mechanics in engineering practice*. 3.ed. New York, John Wiley Sons, 1996. 549p
- Valt, R.B.G, *Análise do Ciclo De Vida De Embalagens De PET, De Alumínio E De Vidro Para Refrigerantes No Brasil Variando A Taxa De Reciclagem Dos Materiais*, Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2004
- Van Elk, A. G. H. P. *Redução de emissões na disposição final*. IBAM - Coordenação de Karin Segala. Rio de Janeiro, 2007. 39p.
- Vanapalli S.K., Fredlund D.G. & Pufahl D.E. 1999. *The influence of soil structure and stress history on the soil-water characteristics of a compacted till*. *Géotechnique*, 49, 143-159
- Williams, P. J. *The surface of the earth, an introduction to geotechnical science*. 1982. In: Fredlund, D. G.; Xing, A. *Equations for the soil-water characteristic curve*. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 31, p. 521–532, 1994.