

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

**INVESTIGAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS
SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NO ENTORNO DO
LIXÃO DO MUNICÍPIO DO NOVO GAMA/GO POR MEIO
DE ANÁLISE DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA
ÁGUA E DE MEDIÇÃO DA ELETORRESISTIVIDADE DO
SOLO**

LETÍCIA ALMEIDA LAGE

**ORIENTADOR: RICARDO TEZINI MINOTI
CO-ORIENTADOR: SERGIO KOIDE**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

BRASÍLIA/DF: JULHO/2019

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

**INVESTIGAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS
SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NO ENTORNO DO
LIXÃO DO MUNICÍPIO DO NOVO GAMA/GO POR MEIO
DE ANÁLISE DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA
ÁGUA E DE MEDIÇÃO DA ELETORRESISTIVIDADE DO
SOLO**

LETÍCIA ALMEIDA LAGE

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

APROVADA POR:

RICARDO TEZINI MINOTI, PhD (ENC/UnB)
(ORIENTADOR)

LENORA NUNES LUDOLF GOMES, PhD (ENC/UnB)
(EXAMINADORA INTERNA)

GUSTAVO ANTONIO CARNEIRO, PhD (Adasa – DF)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 12 de JULHO de 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

LAGE, LETÍCIA ALMEIDA

Investigação da contaminação das águas superficiais e subterrâneas no Entorno do Lixão do Município do Novo Gama/GO por meio de análise de parâmetros de qualidade da água e de medição da eletrorresistividade do solo. [Distrito Federal] 2019.

x, 55 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2019)

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

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Chorume

2. Lixão a céu aberto

3. Resistividade elétrica do solo

4. Qualidade da água

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LAGE, L. A. (2019). Investigação da contaminação das águas superficiais e subterrâneas no Entorno do Lixão do Município do Novo Gama/GO por meio de análise de parâmetros de qualidade da água e de medição da eletrorresistividade do solo. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 55 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Letícia Almeida Lage

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Investigação da contaminação das águas superficiais e subterrâneas no Entorno do Lixão do Município do Novo Gama/GO por meio de análise de parâmetros de qualidade da água e de medição da eletrorresistividade do solo.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2019

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

Letícia Almeida Lage

leticialage@icloud.com

RESUMO

A disposição final de resíduos sólidos de maneira inadequada ainda é um problema grave no Brasil. Em locais como os lixões a céu aberto, um dos principais problemas ocorre durante as precipitações, quando a água da chuva entra em contato com o chorume proveniente da decomposição dos resíduos sólidos, aumentando enormemente o volume de lixiviado ou percolado e transportando esse líquido contaminante ao longo da bacia hidrográfica da região e também ao longo do solo, podendo atingir as águas subterrâneas. No município goiano do Novo Gama, o atual local de disposição final de resíduos sólidos é um lixão sem nenhuma medida de proteção ao ambiente ou à saúde pública. Para avaliar, de maneira preliminar, os impactos gerados pelo Lixão, foram realizadas coletas de amostras de água de nascentes e córregos localizados em áreas próximas ao lixão e feitas análises laboratoriais de acordo com parâmetros físicos-químicos e biológicos de qualidade da água para avaliação da contaminação das águas superficiais. Utilizou-se, também, um método indireto de avaliação da contaminação das águas subterrâneas do local, baseado no levantamento geofísico de eletrorresistividade do solo. Por fim, como forma de realizar a caracterização ambiental da região de estudo, foram confeccionados mapas de topografia, tipos de solos, delimitação das microbacias e uso e ocupação do solo. Alguns dos dados obtidos nas campanhas de coleta de amostra de água superficial corroboraram a hipótese de contaminação dos córregos por lixiviado advindo do Lixão, como os elevados valores de condutividade elétrica nos pontos Jacobina e Riacho Doce 3 e a presença de cloreto nesses dois córregos. Além disso, na análise geofísica pelo método da eletrorresistividade, as faixas de baixa resistividade obtidas coincidiram com os locais de contaminação esperados, e a contaminação mais profunda nas linhas A e B do que nas linhas C e D corroboraram a hipótese de contaminação mais antiga nas linhas iniciais. Por fim, pelo mapeamento da área, foi possível reforçar os riscos que os córregos, nascentes e zonas rurais próximos correm de serem contaminados por lixiviado advindo do Lixão.

Palavras chave: Chorume; Lixão a céu aberto; Resistividade elétrica do solo; Qualidade da água.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. GERAL.....	3
2.2. ESPECÍFICOS	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL.....	4
3.2. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL	5
3.3. CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	7
3.4. PRINCIPAIS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA ASSOCIADOS À CONTAMINAÇÃO POR LIXÕES.....	9
3.5. LEVANTAMENTO GEOFÍSICO DE RESISTIVIDADE DO SOLO	11
4. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
5. METODOLOGIA	16
5.1. CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL.....	16
5.2. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL	19
5.3. ANÁLISE DE AMOSTRAS DE ÁGUA SUPERFICIAL DE ACORDO COM PARÂMETROS DE QUALIDADE.....	21
5.4. LEVANTAMENTO GEOFÍSICO DE RESISTIVIDADE DO SOLO	24
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6.1. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL	28
6.2. ANÁLISE DE AMOSTRAS DE ÁGUA SUPERFICIAL DE ACORDO COM PARÂMETROS DE QUALIDADE.....	32
6.3. LEVANTAMENTO GEOFÍSICO DE RESISTIVIDADE DO SOLO	35
7. CONCLUSÕES	39
8. RECOMENDAÇÕES	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
APÊNDICE.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Ciclo Hidrológico. Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2018.....	7
Figura 3.2 - Tipos de Aquíferos. Fonte: CPRM, 2018.....	9
Figura 4.1 - Localização do Novo Gama e do Lixão. Fonte: Soares, 2019.	14
Figura 4.2 - Área do Lixão do Novo Gama. Fonte: Google Earth, 2018.....	15
Figura 5.1 - Fluxograma geral da metodologia.....	16
Figura 5.2 - Primeira visita técnica ao Lixão do Novo Gama.	16
Figura 5.3 - Campanha de coleta de amostras de água superficial realizada no dia 07/02/2019.	17
Figura 5.4 - Visita técnica para investigação geofísica, realizada em fevereiro de 2019.	18
Figura 5.5 - Pluviometria na estação FAL-UnB. Fonte: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UnB (FAV/UnB), 2019.	19
Figura 5.6 - Localização dos pontos de coleta de amostras de água superficial. Fonte: Soares, 2019.....	24
Figura 5.7 - Configuração geral de eletrodo para medições de resistividade. Fonte: Kearey et al., 2009.....	24
Figura 5.8 - Esquema de obtenção de dados para uma linha de investigação de 400 metros.	25
Figura 5.9 - Esquema de arranjo de eletrodos do tipo Wenner. Fonte: Kearey et al., 2009. .	25
Figura 5.10 - Resistivímetro Geopulse usado para as medições de resistividade do solo.	25
Figura 5.11 - Mapa de localização das linhas de investigação geofísica e das antigas lagoas de chorume. Fonte: Soares, 2019.	26
Figura 6.1 - Mapa de Relevo da região de estudo.....	28
Figura 6.2 - Mapa de Declividade da região em estudo.	29
Figura 6.3 - Mapa de Tipos de Solos da região em estudo.	29
Figura 6.4 - Mapa de Microbacias Hidrográficas da região em estudo.	30
Figura 6.5 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo da região em estudo.	30
Figura 6.6 - Mapa de Classificação das Águas Subterrâneas da região em estudo.	31
Figura 6.7 - Perfil de resistividade do solo obtido para a Linha A.	36
Figura 6.8 - Perfil de resistividade do solo obtido para a Linha B.	36
Figura 6.9 - Perfil de resistividade do solo obtido para a Linha C.	37
Figura 6.10 - Perfil de resistividade do solo obtido para a Linha D.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Principais parâmetros de qualidade da água para o estudo e seus valores limites.	10
Tabela 5.1 - Descrição dos dados utilizados.....	20
Tabela 5.2 - Métodos para determinação da concentração de cada parâmetro.....	23
Tabela 6.1 - Resultados para os parâmetros de qualidade da água em cada ponto de amostragem (Campanha 1 – dia 07/02/2019).	32
Tabela 6.2 - Resultados para os parâmetros de qualidade da água em cada ponto de amostragem (Campanha 2 – dia 19/02/2019).	34

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 5.1.....	26
------------------	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica

AIA - Área de Interesse Ambiental

APHA – *American Public Health Association*

APP – Área de Preservação Permanente

AWWA – *American Water Works Association*

CE – Condutividade Elétrica

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CST – *Constant Separation Traversing*

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DF – Distrito Federal

DQO – Demanda Química de Oxigênio

E. coli – Escherichia coli

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAL – Fazenda Água Limpa

FAV – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária

GO – Goiás

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

MDE – Modelo Digital de Elevação

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NBR – Norma Brasileira

NMP – Número Mais Provável

OD – Oxigênio Dissolvido

pH - Potencial Hidrogeniônico

RIDE-DF – Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

UC – Unidade de Conservação

UnB – Universidade de Brasília

UNT - Unidades Nefelométricas de Turbidez

UT - Unidades de Turbidez

UTM – Universal Transversa de Mercator

WEF – *Water Environment Federation*

ZAEE – Zoneamento Agroecológico e Econômico

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que apresenta, até os dias atuais, graves deficiências nos serviços de saneamento básico. Um importante exemplo é a precariedade na disposição de resíduos sólidos. Em 2017, 40,9% dos resíduos coletados no país foram dispostos em locais inadequados (como aterros controlados e lixões), acarretando em danos ao meio ambiente e à saúde pública (Abrelpe, 2018). Um dos principais problemas nesses tipos de locais é a geração de lixiviado nas camadas de resíduo.

O percolado ou lixiviado é gerado principalmente a partir da infiltração da água das chuvas nas camadas de resíduos, visto que, em lixões, o resíduo é disposto sem nenhum tipo de impermeabilização. Além de ser função da precipitação da região, o lixiviado também varia conforme as características dos resíduos depositados.

No Brasil, a pesquisa realizada por Gomes *et al.* (2017) buscou elaborar um diagnóstico ambiental qualitativo da área do lixão da cidade de Pombal, no Estado da Paraíba. Esse estudo foi realizado por meio de consultas a órgãos públicos, pesquisas bibliográficas, visitas técnicas e documentação fotográfica, ao longo do ano de 2014. Foi definida a Área de Influência Total do Estudo através das visitas em campo e, como conclusão, obteve-se a verificação do impacto negativo típico do lixão nos meios físicos, bióticos e antrópicos do local.

Com semelhante objetivo de avaliar a contaminação provocada por lixões, Mondelli *et al.* (2016) monitoraram as águas subterrâneas nas adjacências do aterro de resíduos sólidos de Bauru, em São Paulo. Nesse sentido, foram analisadas amostras de 14 poços de monitoramento, de acordo com os parâmetros de nível d'água, pH, condutividade elétrica, cálcio, cloro, ferro total, DQO, amônia, zinco, sódio, potássio e relação DBO/DQO. Como conclusão, o estudo verificou que a pluma de contaminação variava de acordo com o ponto de disposição e com as características dos resíduos. Além disso, o estudo ressaltou que os padrões de qualidade da água devem levar em conta os usos e formas de ocupação da região e reafirmou o bom desempenho dos poços de monitoramento como técnica de investigação geoambiental.

Por fim, Figueiredo e Nascimento (2015) realizaram o levantamento geofísico da resistividade elétrica do solo como forma de avaliação indireta da contaminação no entorno do Aterro Sanitário de Formosa, em Goiás. Os autores verificaram a existência de áreas com alta e baixa

resistividade ao longo da linha de experimentação, coincidentes nos períodos de chuva e de seca, e apresentaram como justificativa o escoamento superficial de água, que carregaria consigo materiais em solução. Na época de chuva, os valores de resistividade foram menores e com alta variabilidade, sendo o oposto válido para a época de seca. Foi possível identificar, enfim, áreas possivelmente poluídas a partir dos pontos correspondentes às regiões mais condutivas, não excluindo a necessidade de levantamentos diretos.

O Município goiano do Novo Gama, localizado na Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno, possui como local de disposição final de resíduos sólidos um lixão a céu aberto, o qual existe há cerca de 20 anos, segundo informações da Prefeitura Municipal. A geração *per capita* de resíduos sólidos urbanos do Município é de 0,60 kg/hab.dia, sendo que 90,87% dos resíduos constituem-se em resíduos domiciliares, de acordo com o Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos para o Município de Novo Gama – GO (Novo Gama, 2006).

Embora alguns estudos relacionados à gestão de resíduos sólidos do Município do Novo Gama tenham sido realizados, como os trabalhos de Sampaio Jr (2016) e Solino (2018), baseados no diagnóstico inicial do gerenciamento dos resíduos sólidos do município e no emprego da técnica de compostagem para o gerenciamento dos resíduos orgânicos, respectivamente, assim como os trabalhos do Projeto de Extensão do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Brasília, ainda em fase inicial, até o momento não existem estudos sobre os impactos ambientais e sanitários relacionados ao Lixão do Município. Dessa forma, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar a situação da área do Lixão frente à possibilidade de contaminação ambiental nas áreas adjacentes, decorrente da geração de percolato nas células de lixo.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Avaliar a ocorrência de contaminação superficial e subterrânea no entorno do Lixão do Município do Novo Gama/GO por meio de análise de amostras de água superficial de acordo com parâmetros de qualidade da água e de técnica geofísica de determinação da resistividade elétrica no solo.

2.2. ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização ambiental da área de influência do Lixão do Novo Gama/GO.
- Monitorar a qualidade das águas superficiais situadas no entorno do Lixão do Novo Gama/GO com base em parâmetros qualitativos estabelecidos de acordo com as características comumente encontradas no lixiviado.
- Verificar as propriedades elétricas do solo no entorno do Lixão do Novo Gama/GO a partir do método geofísico de eletrorresistividade, afim de realizar uma avaliação indireta da contaminação subterrânea.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei 12.305/2010, define resíduo sólido como “material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido”.

Em Panorama dos resíduos sólidos no Brasil (Abrelpe, 2017), constatou-se que 40,9% dos resíduos coletados no país eram dispostos em locais inadequados (como aterros controlados e lixões), o que implica em danos diretos à saúde pública. Em relação à região Centro-Oeste, os lixões correspondiam a 25,2% da destinação final de resíduos sólidos urbanos (Abrelpe, 2017).

De acordo com Santana-Silva (2008), lixiviado ou percolado é a denominação dada à mistura de líquidos advindos da umidade natural dos resíduos sólidos, da infiltração de água de fontes externas e de uma pequena quantidade de líquido proveniente da biodegradação do lixo. O percolado é um problema ambiental, pois constitui um dos principais contaminantes das águas e do solo.

Segundo Santana-Silva (2008), a formação de percolado é função da precipitação. Entre as fontes de umidade que interagem com o resíduo sólido, a água da chuva que percola pela camada superficial do lixo é, sem dúvidas, a mais relevante em termos de volume (Vilhena, 2018). Portanto, a formação de lixiviado está relacionada, entre outros aspectos, ao ciclo hidrológico da região, sendo maior no período de chuvas.

Outro ponto que impacta a quantidade de lixiviado produzido são as características do resíduo aterrado, como a composição gravimétrica, a umidade, a densidade, o volume e a idade do lixo (Carneiro, 2002). De acordo com Vilhena (2018), para países com nível de renda baixo, a geração *per capita* de lixo é baixa e o resíduo possui alto teor de matéria orgânica. De modo geral, o percolado tem composição bastante variável (Carneiro, 2002).

Uma das classificações dos resíduos que ajuda a definir as características a serem esperadas no lixiviado é a sua origem. De acordo com a Lei 12.305 (Brasil, 2010), os resíduos sólidos distinguem-se, quanto à origem, entre “resíduos domiciliares, de limpeza urbana, dos serviços

públicos de saneamento básico, industriais, de serviços de saúde, da construção civil, agrossilvopastoris, de serviços de transportes e de mineração”.

A contaminação do solo não será extensivamente detalhada por não ser um dos intuitos da presente pesquisa. No entanto, é importante considerar a zona vadosa do solo, que pode ser definida como a camada de solo não saturado entre a superfície do terreno e a zona saturada do solo (Carneiro, 2002). Nessa zona, ocorrem complexas interações entre solo e percolado. De acordo com Fetter *et al.* (2018), o transporte de percolado na zona não-saturada solo se dá pelos mecanismos de difusão (ou difusão molecular), em que o soluto se move de uma região de maior concentração para outra em que está em menor concentração, e de advecção, em que os sólidos dissolvidos são transportados conforme o fluxo de água subterrânea.

O solo possui a capacidade natural de depurar grande parte das impurezas dispostas nele, diminuindo e degradando contaminantes ambientais (Cavalcante, 2017). Devido a processos de sorção, ocorre também o efeito de retardamento dos solutos em relação ao fluxo de água subterrânea (Fetter *et al.*, 2018). No entanto, essas propriedades do solo são limitadas em decorrência do efeito acumulativo da disposição de resíduos sólidos (Cavalcante, 2017). Por fim, destaca-se que podem ocorrer caminhos preferenciais no fluxo de lixiviado na zona vadosa devido à existência de macroporos no solo (Fetter *et al.*, 2018).

3.2. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

Um dos principais pontos a serem estudados é a caracterização ambiental das microbacias hidrográficas e da região.

De acordo com a Lei 9.433 (Brasil, 1997), “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos”. As bacias hidrográficas são basicamente compostas por um conjunto de superfícies e uma rede de cursos d’água que confluem em direção ao exutório (Rios *et al.*, 2013).

Entre os aspectos a serem levantados para uma caracterização ambiental satisfatória das microbacias hidrográficas a serem estudadas, pode-se destacar:

- Localização e acesso (Carneiro, 2002).
- Topografia da região.
- Declividade do terreno.

- Uso e cobertura do solo, como cultivos agrícolas, áreas degradadas, vegetação, corpos d'água, entre outros (Rocha *et al.*, 2014).
- Clima da região (como temperatura, insolação e pluviometria), segundo Carneiro (2002).
- Tipo de solo (latossolo, cambissolo, etc).
- Hidrogeologia da região.
- Aspectos bióticos, como tipo de vegetação e fauna (Adasa, 2018).
- Presença de Unidades de Conservação (UC), Áreas de Preservação Permanente (APP) e Áreas de Interesse Ambiental (AIA), de acordo com a Lei 9.985 (Brasil, 2000), que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC).
- Disponibilidade hídrica e balanço hídrico por meio da coleta de dados hidrológicos como vazão, precipitação e qualidade da água (Adasa, 2018).
- Monitoramento de variáveis de qualidade das águas superficial e subterrânea por meio da avaliação de parâmetros como DBO e DQO, componentes nitrogenados, cloreto, metais pesados, entre outros.
- Descrição dos domínios aquíferos (poroso ou fraturado).
- Profundidade de nível d'água nos poços de monitoramento (Adasa, 2018).
- Enquadramento dos corpos hídricos da bacia segundo a resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005).
- Enquadramento das águas subterrâneas segundo a resolução CONAMA 396 (Brasil, 2008).
- Morfometria.

De acordo com Silva e Tonello (2014), exemplos de parâmetros morfométricos que podem ser definidos para uma bacia hidrográfica são: área de drenagem, perímetro da bacia, comprimento total dos cursos d'água, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade e densidade de drenagem.

Além disso, segundo Rocha *et al.* (2014), a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos principais métodos de análises hidrológicas e ambientais que permite o entendimento das dinâmicas local e regional e o apoio à gestão dos recursos hídricos.

Em bacias hidrográficas que apresentam lixões em seu território, torna-se importante realizar a caracterização do tipo de aterro presente na bacia. Segundo Vilhena (2018), os locais de disposição final dos resíduos sólidos podem ser classificados como:

- Lixão: locais de disposição final de RSU pela simples descarga sobre o solo, sem qualquer medida de proteção ao ambiente ou à saúde pública. Além disso, os aterros comuns apresentam um completo descontrolo dos tipos de resíduos recebidos.
- Aterro controlado: locais em que, a fim de se minimizar os impactos ambientais, os resíduos sólidos são cobertos com uma camada de material inerte a cada intervalo de tempo determinado. Geralmente não dispõem de impermeabilização da base das células de lixo nem de sistemas de drenagem e tratamento de lixiviado.
- Aterro sanitário: locais de disposição de resíduos sólidos que atendem a normas operacionais e critérios de engenharia, permitindo o confinamento seguro do lixo e o controle dos impactos ambientais e evitando riscos à saúde pública.

3.3. CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS

De acordo com Rodrigues *et al.* (2014), as águas superficiais apresentam maior susceptibilidade à contaminação do que as águas subterrâneas devido à sua maior exposição. De maneira geral, a contaminação detectada nos córregos próximos pode ser decorrente de escoamento superficial ou de um fluxo sub-superficial do percolado (Carneiro, 2002).

A ocorrência das águas subterrâneas está intimamente ligada ao ciclo hidrológico da região. A Figura 3.1 apresenta um esquema geral do ciclo da água.

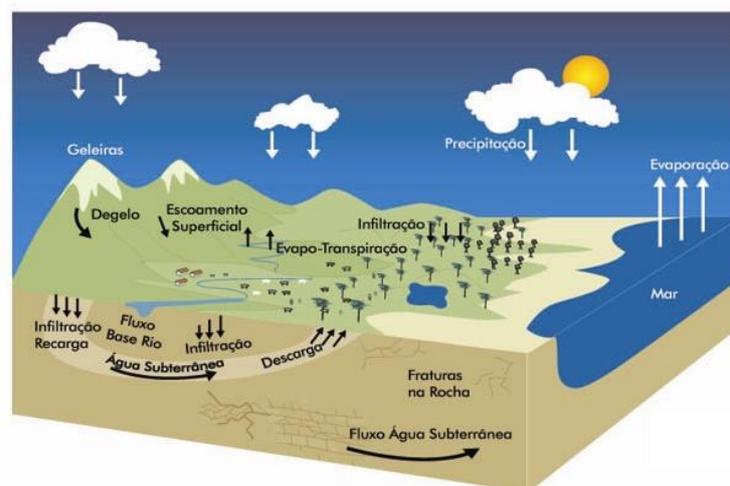


Figura 3.1 - Ciclo Hidrológico. Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2018.

De maneira geral, a água forma as nuvens que, quando saturadas, geram precipitações. Essa água precipitada infiltra e percola nos espaços vazios do solo ou das rochas, podendo formar os aquíferos. Além disso, a água pode escoar sobre a superfície, ser absorvida pelas plantas, congelar ou evaporar, retornando à atmosfera (MMA, 2018).

A água que infiltra no solo pode permanecer na zona não-saturada (ou vadosa), onde a água não preenche totalmente os poros do solo ou as falhas ou fraturas das rochas. Da zona vadosa, a água pode evaporar, ser consumida pelas plantas ou ser drenada em direção ao lençol freático, que é a fronteira não-fixa entre zona não-saturada e zona saturada (Sierra Club Legal Defense Fund, 1989).

A capacidade de uma formação geológica funcionar como reservatório de água subterrânea depende de duas características: sua porosidade e sua permeabilidade.

A porosidade corresponde a percentagem de vazios em um solo ou rocha, enquanto a permeabilidade diz respeito ao grau de conexão entre os poros ou fraturas (Sierra Club Legal Defense Fund, 1989).

O aquífero corresponde à área da zona saturada de água. Existem dois tipos de aquíferos: porosos e fraturados. Nos aquíferos de domínio poroso, a água ocupa os vazios intergranulares do solo (Carneiro, 2002). Nos aquíferos de domínio fraturado, a água ocupa fraturas ou microfraturas das rochas (Carneiro, 2002).

O aquífero pode ser livre, onde existe uma camada de solo impermeável apenas abaixo dele, ou confinado (também conhecido como artesianos), onde existem camadas de solo impermeável acima e abaixo dele. Dessa forma, a água do aquífero confinado pode estar sujeita a grandes pressões (Sierra Club Legal Defense Fund, 1989).

Nos aquíferos livres ou não confinados, a área de recarga está acima ou próxima dele, de forma que os usos das terras próximas afetam gravemente a qualidade da sua água. Ao contrário, nos aquíferos artesianos ou confinados, as áreas de recarga podem estar distantes dele, tornando a sua água vulnerável a fontes de poluição bem distantes (Sierra Club Legal Defense Fund, 1989).

A Figura 3.2 apresenta uma ilustração dos tipos de aquíferos existentes.

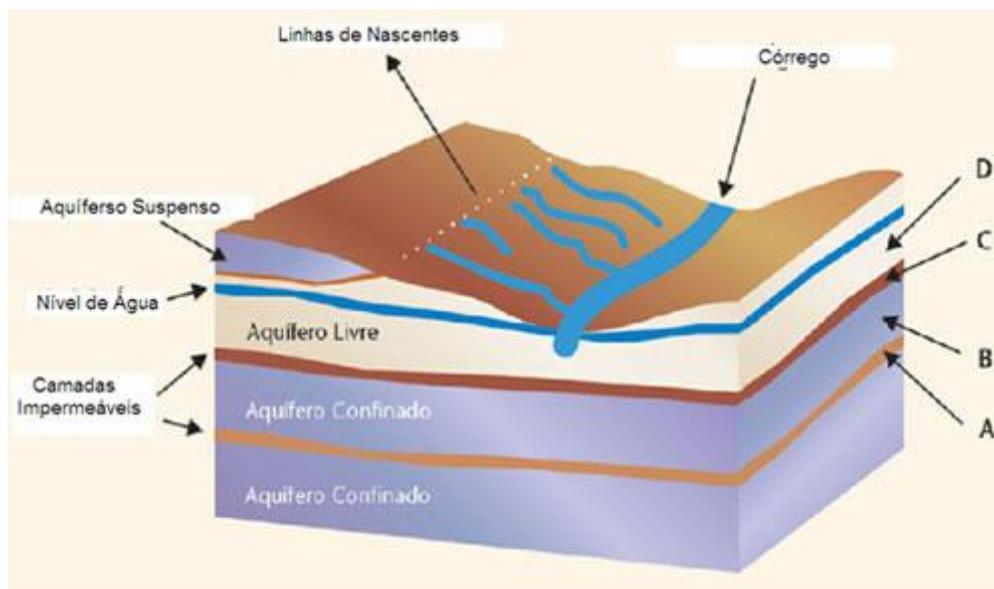


Figura 3.2 - Tipos de Aquíferos. Fonte: CPRM, 2018.

O fluxo de água subterrânea vai dos pontos de maior gradiente hidráulico em direção aos pontos de menor gradiente hidráulico. De forma geral, a velocidade do fluxo é menor nos aquíferos de domínio poroso (Sierra Club Legal Defense Fund, 1989).

3.4. PRINCIPAIS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA ASSOCIADOS À CONTAMINAÇÃO POR LIXÕES

Um dos métodos tradicionais de caracterização da qualidade da água é a medição de parâmetros físico-químicos e biológicos de interesse sanitário e ambiental.

A seguir, a Tabela 3.1 apresenta alguns dos principais parâmetros de qualidade associados à presença de lixões (exceto os coliformes) e seus respectivos valores limites, para águas superficiais e para águas subterrâneas, de acordo com as resoluções e legislações brasileiras vigentes.

Os coliformes foram incluídos na Tabela 3.1 por razões didáticas, devido à sua importância para a realidade do local em estudo.

Tabela 3.1- Principais parâmetros de qualidade da água para o estudo e seus valores limites.

Principais Parâmetros de Qualidade da Água	Limites para a Água Superficial	Limites para a Água Subterrânea
Turbidez	<ul style="list-style-type: none"> Portaria 2.914 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011): limite máximo para água subterrânea com desinfecção é 5,0 UT (unidades de turbidez), 2,0 UT para água de filtração lenta e 1,0 UT para água de filtração rápida. Resolução 357 do CONAMA (Brasil, 2005): limites de 40 UNT (unidades nefelométricas de turbidez) para águas doces de classe 1 e 100 UNT para águas doces de classes 2 e 3. 	Limites semelhantes previstos na Resolução CONAMA 396 (Brasil, 2008).
pH	<ul style="list-style-type: none"> Resolução 357 do CONAMA (Brasil, 2005): entre 6,0 e 9,0 para todas as classes de água doce. Portaria 2.914 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011): faixa recomendável de pH na água do sistema de distribuição de 6,0 a 9,5. 	Limites semelhantes previstos na Resolução CONAMA 396 (Brasil, 2008).
Oxigênio Dissolvido (OD)	Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005): 6 mg/L é o limite mínimo de OD para águas doces de classe 1, 5 mg/L para águas classe 2 e 4 mg/L para águas classe 3.	Limites semelhantes previstos na Resolução CONAMA 396 (Brasil, 2008).
Compostos de nitrogênio	Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005): faixas de nitrogênio amoniacal total permitidas de acordo com os valores de pH.	Resolução CONAMA 396 (Brasil, 2008): concentração máxima de nitrato de 10.000 µg/L e de nitrito de 1.000 µg/L para águas de consumo humano.
Coliformes	Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005): limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros de 80% ou mais das amostras de água para águas doces de classe 1 e 1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros para águas doces de classe 2.	Resolução CONAMA 396 (Brasil, 2008): coliformes termotolerantes ausentes em 100 ml de amostra para águas para consumo humano.

Principais Parâmetros de Qualidade da Água	Limites para a Água Superficial	Limites para a Água Subterrânea
Cloreto	<ul style="list-style-type: none"> • Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005): limite de 250 mg/L de cloreto total para águas doces de classe 1, 2 e 3. • Portaria 2.914 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011): limite de quantificação de 250.000 µg/L de cloreto para águas de consumo humano. 	Limites semelhantes à Portaria 2.914 do Ministério da Saúde previstos na Resolução CONAMA 396 (Brasil, 2008).
Fósforo	Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005): limite em águas doces de classe 1 de 0,020 mg/L de fósforo total (ambiente lêntico), 0,025 mg/L de fósforo total (ambiente intermediário) e 0,1 mg/L de fósforo total (ambiente lótico). Para águas doces de classe 2, limite de 0,030 mg/L de fósforo total (ambientes lênticos) e 0,050 mg/L de fósforo total (ambientes intermediários). Por fim, para águas doces de classe 3, limite de 0,05 mg/L de fósforo total (ambiente lêntico), 0,075 mg/L de fósforo total (ambiente intermediário) e 0,15 mg/L de fósforo total (ambiente lótico).	Limites não previstos na Resolução CONAMA 396 (Brasil, 2008).

3.5. LEVANTAMENTO GEOFÍSICO DE RESISTIVIDADE DO SOLO

A geofísica é a ciência que emprega conceitos físicos no estudo das estruturas subsuperficiais (Pereira, 2018). Os métodos geofísicos, de modo geral, possuem as vantagens de proporcionar um amplo leque de opções para investigações, reduzir o tempo gasto e os custos e o fato de realizarem-se de maneira não invasiva, sendo, dessa forma, vantajosos para aplicações ambientais (Pereira, 2018).

O propósito dos métodos geofísicos é a identificação e a localização de limites onde há contraste entre propriedades físicas (Pereira, 2018). Tal contraste é entendido como uma anomalia geofísica (Pereira, 2018). No entanto, é importante ressaltar que, para uma anomalia geofísica, podem existir inúmeras soluções possíveis e válidas quanto à resposta geofísica (Reynolds, 1997).

Entre os métodos de levantamento elétrico, o método de resistividade é muito empregado em investigações de engenharia e hidrogeologia para estudar a geologia de subsuperfície rasa (Kearey *et al.*, 2009). Basicamente, método de resistividade consiste na introdução no solo de correntes elétricas artificialmente geradas e na posterior medição das diferenças de potencial resultantes (Kearey *et al.*, 2009).

A resistividade nada mais é que a resistência elétrica de um determinado material, e a sua recíproca é chamada de condutividade (Kearey *et al.*, 2009). A maior parte dos minerais que formam as rochas é isolante, sendo então a corrente elétrica conduzida em rochas através da passagem de íons nas águas dos poros (Kearey *et al.*, 2009). Dessa forma, pode-se concluir que a resistividade em geral aumenta com a diminuição da porosidade (Kearey *et al.*, 2009).

Entre os dois principais tipos de procedimento empregados em levantamentos de resistividade, o caminhamento de separação constante (CST – *constant separation traversing*), ou perfilagem elétrica, é utilizado para determinar variações verticais de resistividade (Kearey *et al.*, 2009). A corrente e os eletrodos são mantidos a uma separação fixa e deslocados progressivamente ao longo do perfil (Kearey *et al.*, 2009).

No que diz respeito ao arranjo de eletrodos, a configuração Wenner é o arranjo mais simples e amplamente utilizado. Nela, a corrente e os eletrodos de potencial são mantidos a um mesmo espaçamento (Kearey *et al.*, 2009).

Nesse tipo de investigação geofísica, a maioria dos medidores de resistividade utilizados são de corrente alternada de baixa frequência, pois, dentre outros motivos, a inversão periódica da corrente previne uma polarização eletrolítica (acumulação de íons) (Kearey *et al.*, 2009). Além disso, é importante ressaltar que a frequência da corrente alternada a ser utilizada nos levantamentos diminui de acordo com a profundidade de penetração requerida (Kearey *et al.*, 2009).

Apesar de ser um método eficiente para delinear mudanças de resistividade em camadas rasas ou descontinuidades verticais, o levantamento de resistividade está sujeito a algumas limitações, como as interpretações ambíguas e limitadas a configurações estruturais simples, entre outras (Kearey *et al.*, 2009).

Kearey *et al.* (2009) afirmam que o maior uso de levantamentos de resistividade é provavelmente nas investigações hidrogeológicas, pois eles permitem a obtenção de informações importantes a respeito da estrutura geológica, da litologia e dos recursos hídricos

em subsuperfície sem a necessidade de um extenso programa de perfuração, que resultaria em altos custos. Os resultados podem determinar, por exemplo, as localizações de poços exploratórios para testes essenciais do aquífero e para o controle da interpretação geológica (Kearey *et al.*, 2009).

Outra aplicação, de grande importância para o presente estudo, é o uso dos levantamentos de resistividade para localizar e monitorar a extensão da poluição de águas subterrâneas, como, por exemplo o monitoramento da integridade da cobertura de um local de aterro sanitário (Kearey *et al.*, 2009).

4. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com dados do último censo IBGE (2010), o Novo Gama apresenta uma densidade demográfica de 487,29 hab/km², com uma população estimada em 2018 de 113.679 pessoas.

Ainda segundo o IBGE (2018), a região apresenta um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0.684, o qual contrasta com a sua região vizinha, o Distrito Federal, o qual apresenta um IDH de 0.824 (IBGE, 2018). Com uma área de 194,992 km², o território apresentava apenas 38,6% de esgotamento sanitário adequado em 2010 (IBGE, 2018).

A Figura 4.3 apresenta a localização geográfica do município do Novo Gama em relação ao estado de Goiás e ao Brasil bem como a localização do Lixão do município.

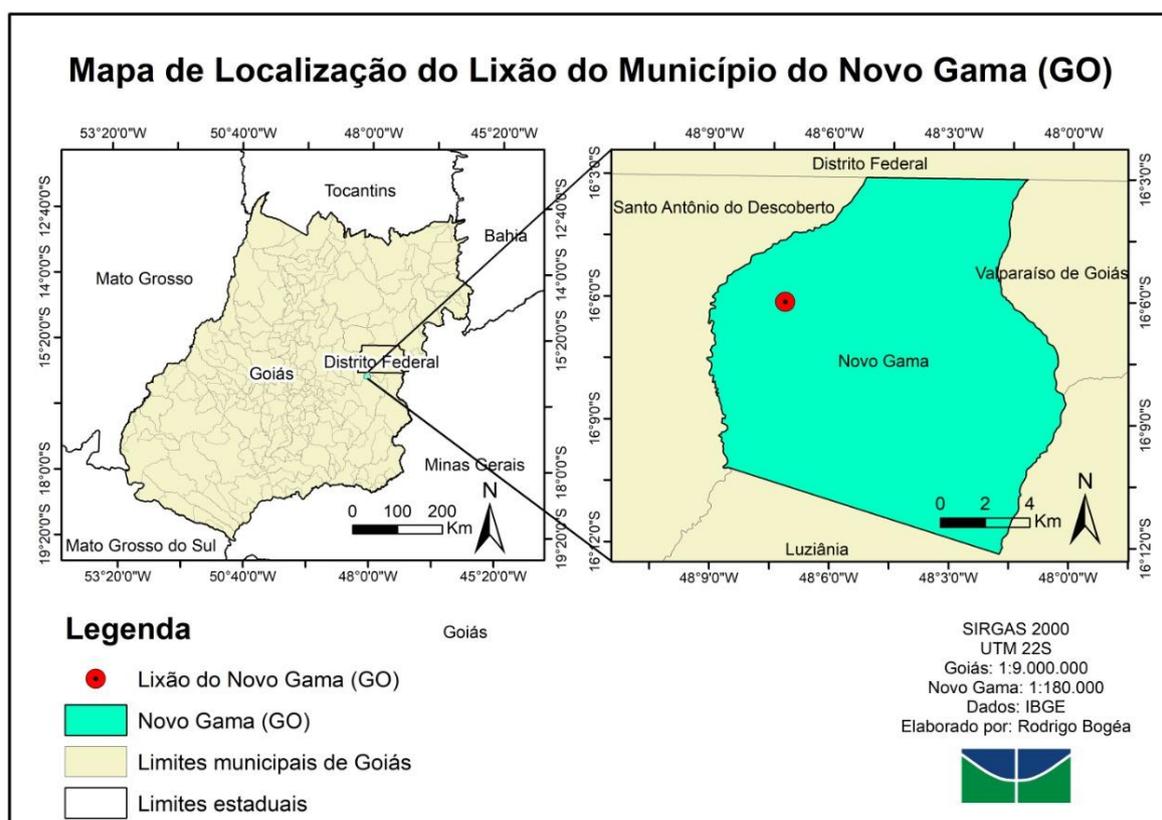


Figura 4.1 - Localização do Novo Gama e do Lixão. Fonte: Soares, 2019.

O Lixão do Novo Gama, além de ser atualmente o local de disposição final dos resíduos sólidos do próprio município, tem sido alvo de depósito clandestino de grandes quantidades de resíduo, que chegam por meio de caminhões, por conta do fechamento, em 2018, do Aterro Controlado da Estrutural, em Brasília. Além dos impactos ao meio ambiente, tais ações têm custado onerosas multas à prefeitura do município goiano.

Sem medidas de proteção ambiental, como impermeabilização das bases das células de lixo ou sistemas de drenagem e tratamento de percolado, o lixo é depositado diretamente sobre o solo. Como consequência da má gestão dos resíduos gerados, surgem problemas ambientais como a contaminação do solo, da água e do ar (Ferreira *et al.*, 2014).

Por fim, tendo em conta as características expostas anteriormente, o local de deposição de resíduos sólidos no Município do Novo Gama, cujo entorno corresponde à delimitação territorial do estudo, enquadra-se na classificação de lixão a céu aberto.

A Figura 4.2 apresenta uma imagem de satélite da área do Lixão do dia 8 de novembro de 2018.



Figura 4.2 - Área do Lixão do Novo Gama. Fonte: Google Earth, 2018.

5. METODOLOGIA

5.1. CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL

Para melhor visualização da metodologia utilizada na pesquisa, a Figura 5.1 apresenta o fluxograma das etapas metodológicas do trabalho realizado.

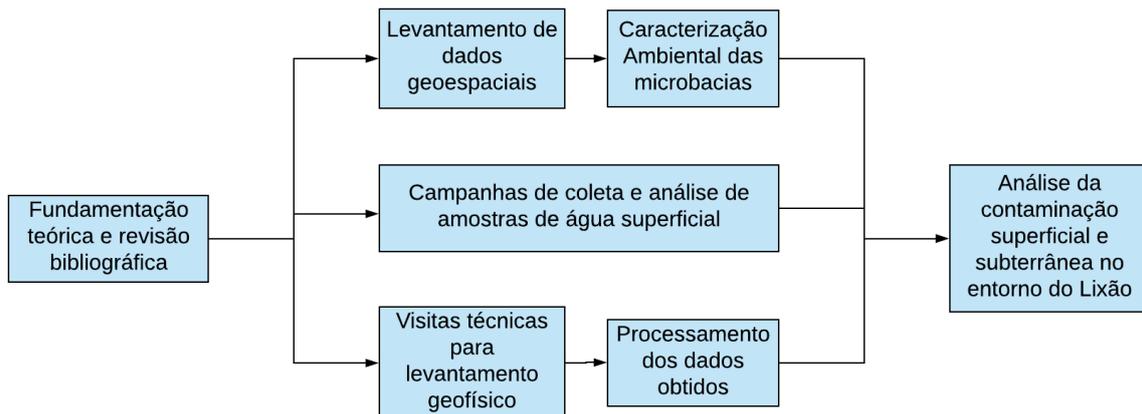


Figura 5.1 - Fluxograma geral da metodologia.

Inicialmente, realizou-se uma primeira visita técnica juntamente com equipe técnica da Prefeitura do Município do Novo Gama/GO, em setembro de 2018, para conhecimento inicial da situação do Lixão, bem como para a obtenção de informações locais relevantes junto à gestão municipal. A Figura 5.2 apresenta um registro fotográfico dessa visita à área do Lixão.



Figura 5.2 - Primeira visita técnica ao Lixão do Novo Gama.

Após a primeira visita, para reconhecimento da área, e o levantamento de metodologias para análise de áreas impactadas por lixões, realizado por meio da revisão bibliográfica, a metodologia foi estruturada em três principais etapas para a realização do estudo.

Em primeiro lugar, foram realizadas as campanhas de coleta de amostras de água superficial dos córregos e nascentes próximos à área do Lixão do Novo Gama e a imediata análise laboratorial dessas amostras de acordo com parâmetros físicos-químicos e biológicos. Foram feitas duas campanhas, ambas no mês de fevereiro de 2019, pertencente ao período chuvoso da região. A Figura 5.3 apresenta um registro fotográfico da primeira campanha.



Figura 5.3 - Campanha de coleta de amostras de água superficial realizada no dia 07/02/2019.

Na sequência, foram realizadas as visitas técnicas para obtenção de dados geofísicos de resistividade do solo. Essas visitas foram realizadas ao longo de duas semanas durante o mês de fevereiro de 2019, pelo fato de esse mês pertencer ao período chuvoso da região, estando o solo, dessa maneira, úmido, o que facilitou a coleta de dados pelo método empregado na pesquisa. Em seguida, os dados obtidos nas visitas foram processados computacionalmente.

A Figura 5.4 apresenta um registro fotográfico de uma das visitas técnicas de investigação geofísica.



Figura 5.4 - Visita técnica para investigação geofísica, realizada em fevereiro de 2019.

Por fim, foi realizado um levantamento de dados geoespaciais em órgãos governamentais, como o Portal SIEG do Estado de Goiás, e bases de dados variadas descritas no item 5.2 deste trabalho.

Em posse desses dados, foram confeccionados os mapas de topografia e declividade da região, o mapa pedológico, o mapa de delimitação das microbacias associadas à área do Lixão e entorno, o mapa de uso e ocupação do solo da região e o mapa para caracterização de águas subterrâneas.

Em posse dos resultados dessas análises, foi, enfim, avaliada a existência de contaminação superficial e subterrânea no entorno do Lixão do Novo Gama.

Como a formação de lixiviado está diretamente ligada ao regime de chuvas da região, é importante analisar a pluviometria da estação de monitoramento mais próxima do Lixão do Novo Gama.

A Figura 5.5 apresenta os dados de precipitação da estação meteorológica automática da Fazenda Água Limpa (FAL/UnB), para o ano de 2018.

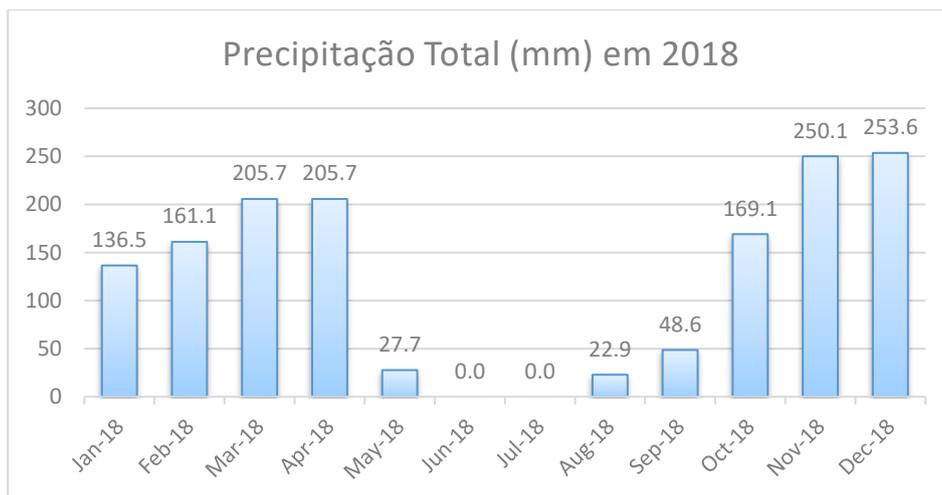


Figura 5.5 - Pluviometria na estação FAL-UnB. Fonte: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UnB (FAV/UnB), 2019.

Observando-se a Figura 5.5, é possível verificar que o mês escolhido para coleta de amostras de água, fevereiro, está inserido no período chuvoso da região, como era o desejado para o presente projeto.

Serão detalhadas, na sequência do texto, as metodologias para a caracterização ambiental da região, para a coleta e a análise das amostras de água superficiais e para o levantamento geofísico de eletrorresistividade do solo.

5.2. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

A caracterização ambiental da região foi realizada por meio da concepção de mapas temáticos no *software* ArcGIS ArcMap 10.5.

Os processos para a construção dos principais mapas são apresentados a seguir.

- Mapas de Topografia e Declividade

Para os mapas de topografia e declividade da região estudada, foi utilizado um MDE (Modelo Digital de Elevação), que constitui em um arquivo raster gerado a partir das curvas de nível da área. O MDE é um modelo de elevação criado geralmente a partir de uma imagem de radar SRTM. No presente estudo, ele foi obtido no portal SIEG/GO. Depois do *upload* do MDE no ArcMap, é imprescindível realizar a sua Reprojecção para o Sistema de Coordenadas Planas UTM Datum SIRGAS 2000. A declividade foi então

determinada pela ferramenta Slope, que gerou um arquivo raster como dado de saída. Para ambos os mapas, foram utilizadas as curvas de nível de escala 1:100.000 e os pontos altimétricos em escala 1:100.000.

- Mapa de Tipos de Solo

Para o mapa de tipos de solo, foi utilizado como base de dados o arquivo “shp” de Solos ZAEE, em escala 1:500.000, disponível no Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG) do estado, o qual classifica a região em tipos de solo como latossolo amarelo, latossolo vermelho, cambissolo, entre outros.

- Mapa de Delimitação das Microbacias Hidrográficas

As microbacias foram delimitadas com base no arquivo “shp” de drenagem ZAEE, escala 1:100.000, obtido no portal SIEG/GO. Foi realizado o mapeamento com a metodologia Otto Pfafstetter. Em seguida, o resultado foi corrigido e adaptado manualmente, utilizando o MDE como base para o mapeamento de microbacias menores.

- Mapa de Uso e Ocupação do Solo

Para o mapa de uso e ocupação do solo, o mapeamento foi realizado manualmente, de forma multi-escalar, utilizando como base imagens *World Imagery*, da Esri.

- Mapas para caracterização de Águas Subterrâneas

Para os mapas de tipos de aquíferos, o mapeamento foi realizado com base no arquivo “shp” Sistemas Aquíferos ZAEE, com escala 1:1.000.000, obtido no portal SIEG/GO.

A Tabela 5.1 a seguir sintetiza os dados citados.

Tabela 5.1 - Descrição dos dados utilizados

Dados	Fonte	Escala
Topografia e Declividade	Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido no Sistema Estadual de Geoinformações de Goiás (SIEG)	1:100.000
Pedologia	“Solos ZAEE” obtido no Sistema Estadual de Geoinformações de Goiás (SIEG)	1:500.000

Delimitação de Microbacias	“Drenagem ZAEE” obtido no Sistema Estadual de Geoinformações de Goiás (SIEG)	1:100.000
Uso e Ocupação do Solo	Imagens <i>World Imagery</i> , da Esri	Não se aplica
Caracterização de Águas Subterrâneas	“Sistemas Aquíferos ZAEE” obtido no Sistema Estadual de Geoinformações de Goiás (SIEG)	1:1.000.000

5.3. ANÁLISE DE AMOSTRAS DE ÁGUA SUPERFICIAL DE ACORDO COM PARÂMETROS DE QUALIDADE

Para a medição de cada parâmetro analisado, foram utilizados os métodos listados a seguir. Os parâmetros foram medidos utilizando os aparelhos e reagentes do Laboratório de Saneamento Ambiental da UnB e o cromatógrafo do Laboratório de Biologia da UnB.

- Turbidez

A turbidez das amostras foi medida em turbidímetro nefelométrico de bancada.

- Condutividade elétrica

A condutividade elétrica das amostras foi medida em eletrodo de condutividade.

- pH

O pH das amostras foi medido em eletrodo de pH (método eletrométrico).

- Temperatura e Oxigênio Dissolvido (OD)

A temperatura e o OD foram medidos com oxímetro de campo (método eletrométrico), diretamente nos córregos e nascentes estudados.

- Amônia

Na primeira campanha, a concentração de amônia foi obtida por cromatografia. Foi utilizado o cromatógrafo Metrohm, que utiliza colunas específicas para cátions, ânions e metais.

Na segunda campanha, quantidade de amônia nas amostras foi determinada pelo método de Nessler, previsto no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*

(APHA *et al.*, 1992). Nesse método, são adicionadas à amostra 3 gotas de mineral estabilizador e 3 gotas de álcool polivinílico dispersante, além do “reagente Nessler”, pré-fabricado. Findo o tempo de reação, as leituras são realizadas no espectrofotômetro.

- Nitrito

Na primeira campanha, a concentração de nitrito foi obtida por cromatografia. Foi utilizado o cromatógrafo Metrohm, que utiliza colunas específicas para cátions, ânions e metais.

Na segunda campanha, nitrito foi medido por espectrofotometria, prevista no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al.*, 1992), após a reação da amostra com o reagente pré-fabricado “NitriVer 3 – Nitrite”.

- Nitrato

A concentração de nitrato foi obtida por cromatografia. Foi utilizado o cromatógrafo Metrohm, que utiliza colunas específicas para cátions, ânions e metais.

- Coliformes totais e *E. coli*

Os coliformes totais e *E. coli* foram medidos com o método Colilert, o qual utiliza substrato cromogênico da marca Idexx, com auxílio de fonte de luz ultravioleta para determinação de *E. coli*.

- Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO foi medida por método espectrofotométrico com digestão em reator, previsto no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al.*, 1992), utilizando reagente pré-fabricado pela empresa Hach.

- Cloreto

Na primeira campanha, a concentração de cloreto foi obtida por cromatografia. Foi utilizado o cromatógrafo Metrohm, que utiliza colunas específicas para cátions, ânions e metais.

Na segunda campanha, o cloreto presente nas amostras foi medido pelo método de Mohr, que consiste em uma titulação com nitrato de prata, sendo que o indicador empregado é o cromato de potássio (Piveli e Kato, 2006). Dessa forma, observou-se a mudança da cor da

amostra de amarelado para um tom de “tijolo” e anotou-se o volume de reagente utilizado, relacionando-o posteriormente com a concentração de cloreto presente na amostra.

A Tabela 5.2 a seguir apresenta o resumo dos métodos empregados para determinação da concentração de cada parâmetro.

Tabela 5.2 - Métodos para determinação da concentração de cada parâmetro

Parâmetro	Análise	Equipamento
Turbidez	Medição direta	Turbidímetro nefelométrico de bancada
Condutividade Elétrica	Medição direta	Eletrodo de condutividade
pH	Medição direta por método eletrométrico	Eletrodo de pH
Temperatura	Medição direta por método eletrométrico	Oxímetro
Oxigênio Dissolvido	Medição direta por método eletrométrico	Oxímetro
Amônia	Cromatografia e Método de Nessler seguido de espectrofotometria	Cromatógrafo Metrohm e Espectrofotômetro
Nitrito	Cromatografia e Espectrofotometria	Cromatógrafo Metrohm e Espectrofotômetro
Nitrato	Cromatografia	Cromatógrafo Metrohm
Coliformes totais e <i>E. coli</i>	Método Colilert	Reagente Colilert, estufa e luz ultravioleta
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Método espectrofotométrico previsto no <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> (APHA <i>et al.</i> , 1992)	Espectrofotômetro e reagente da empresa Hach
Cloreto	Cromatografia e Método de Mohr	Cromatógrafo e reagentes para titulação

As amostras de água superficial foram coletadas em 5 diferentes córregos e nascentes próximos à área do Lixão do Novo Gama. A Figura 5.6 apresenta a localização desses pontos em relação ao Lixão.

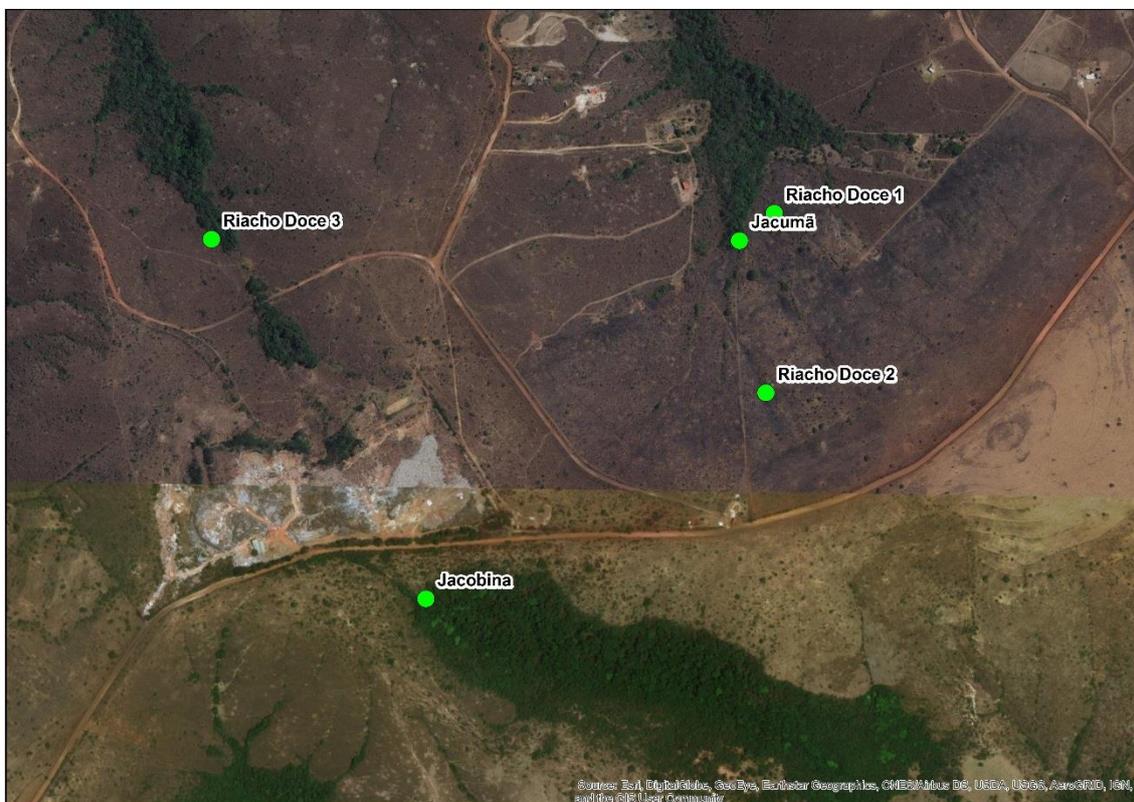


Figura 5.6 - Localização dos pontos de coleta de amostras de água superficial. Fonte: Soares, 2019.

5.4. LEVANTAMENTO GEOFÍSICO DE RESISTIVIDADE DO SOLO

Para o levantamento geofísico na área de estudo, foi utilizado o método da eletrorresistividade. A Figura 5.7 apresenta a configuração geral de eletrodo usada em medições de resistividade.

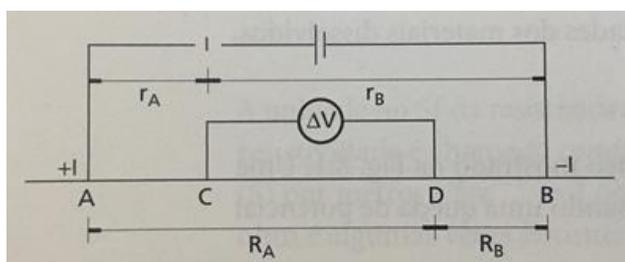


Figura 5.7 - Configuração geral de eletrodo para medições de resistividade. Fonte: Kearey et al., 2009.

Além disso, o procedimento adotado foi o de caminhamento de separação constante (CST – *constant separation traversing*), de acordo com o qual os eletrodos eram mantidos a uma distância fixa de 10 metros entre si e deslocados por 60 metros ao final de cada medição (e não a cada 100 metros, de forma a garantir uma sobreposição relativa de dados para enriquecimento do trabalho), até finalizar os 400 metros de linha de investigação adotados. A Figura 5.8 apresenta o esquema de obtenção de dados para uma linha de investigação do presente estudo, com os respectivos valores de profundidade e espaçamento.

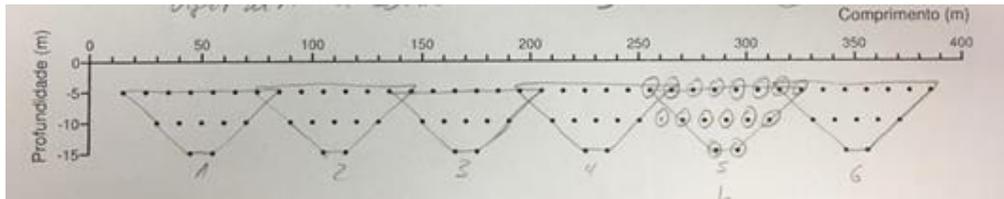


Figura 5.8 - Esquema de obtenção de dados para uma linha de investigação de 400 metros.

Para o arranjo de eletrodos, foi utilizada a Configuração Wenner, por ser a mais simples. A Figura 5.9 apresenta um esquema exemplificativo desse tipo de arranjo.

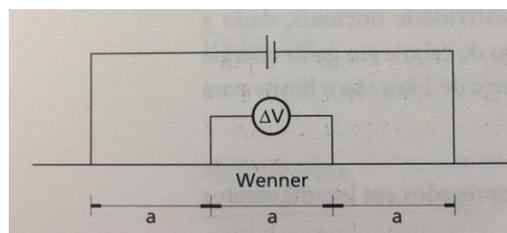


Figura 5.9 - Esquema de arranjo de eletrodos do tipo Wenner. Fonte: Kearey et al., 2009.

O resistivímetro utilizado para as medições foi o Geopulse. A Figura 5.10 apresenta um registro fotográfico do modelo utilizado.



Figura 5.10 - Resistivímetro Geopulse usado para as medições de resistividade do solo.

Para a medição de cada valor, diferentes conjuntos de 4 eletrodos eram posicionados manualmente nas entradas do Geopulse. Como o aparelho fornecia valores de resistência, a Equação 5.1 foi utilizada para transformá-los em valores de resistividade.

$$\text{Resistividade} = \text{Resistência} * 2\pi * \text{Profundidade} \quad \text{Equação 5.1}$$

Na Equação 5.1, o termo 2π provém da consideração do eletrodo como uma semiesfera, enquanto que a profundidade para cada medida correspondia à metade do espaçamento entre os eletrodos utilizados.

No total, foram colhidos dados em 4 diferentes linhas de investigação de 400 metros cada, espaçadas 50 metros entre si.

A Figura 5.11 apresenta um mapa com a localização das 4 linhas de investigação e das antigas lagoas de chorume no entorno do Lixão do Novo Gama.

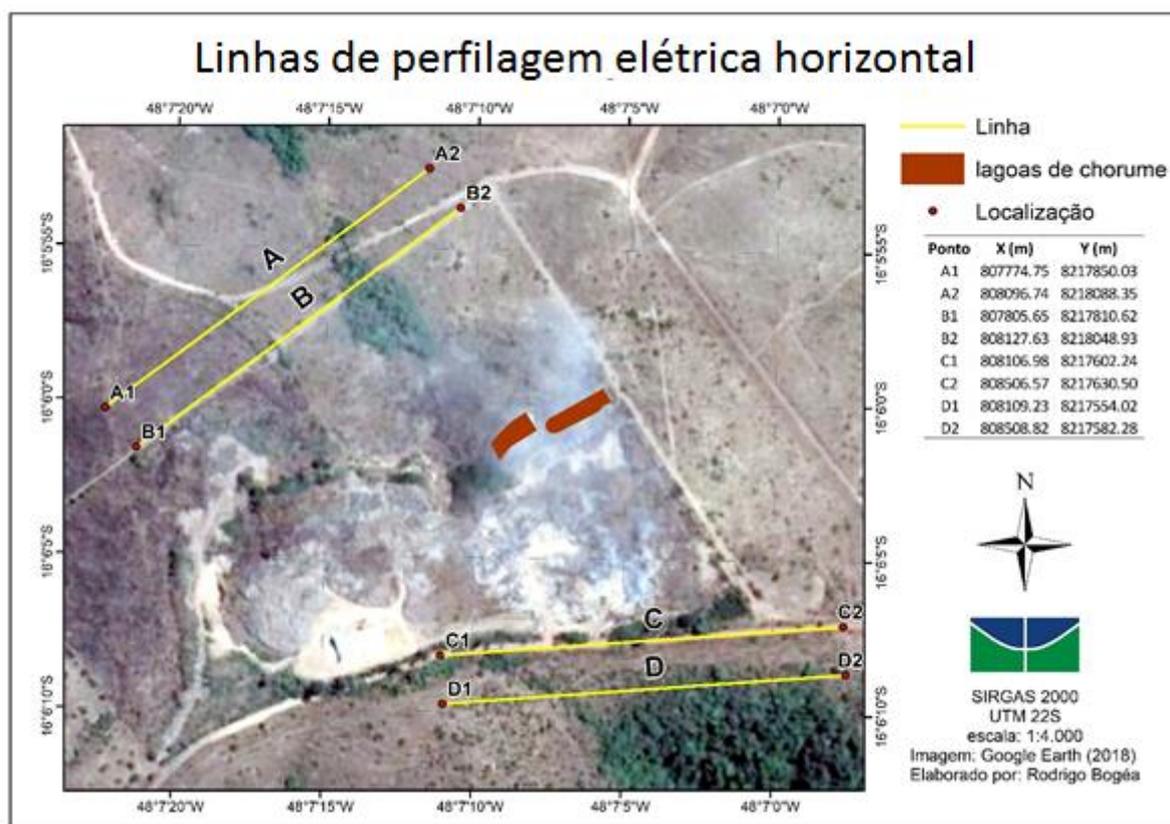


Figura 5.11 - Mapa de localização das linhas de investigação geofísica e das antigas lagoas de chorume. Fonte: Soares, 2019.

De posse dos valores de resistividade do solo ao longo das 4 linhas de investigação, utilizouse o *software* Res2dinvx64, da Geotomo, para realizar a análise dos dados obtidos. A ferramenta do programa que foi utilizada para o projeto foi a de inversão.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

Realizados os mapeamentos descritos na metodologia, foram obtidos os mapas temáticos apresentados na sequência, utilizados para caracterizar ambientalmente a região de estudo.

A Figura 6.1 a seguir apresenta o mapa de relevo da região.

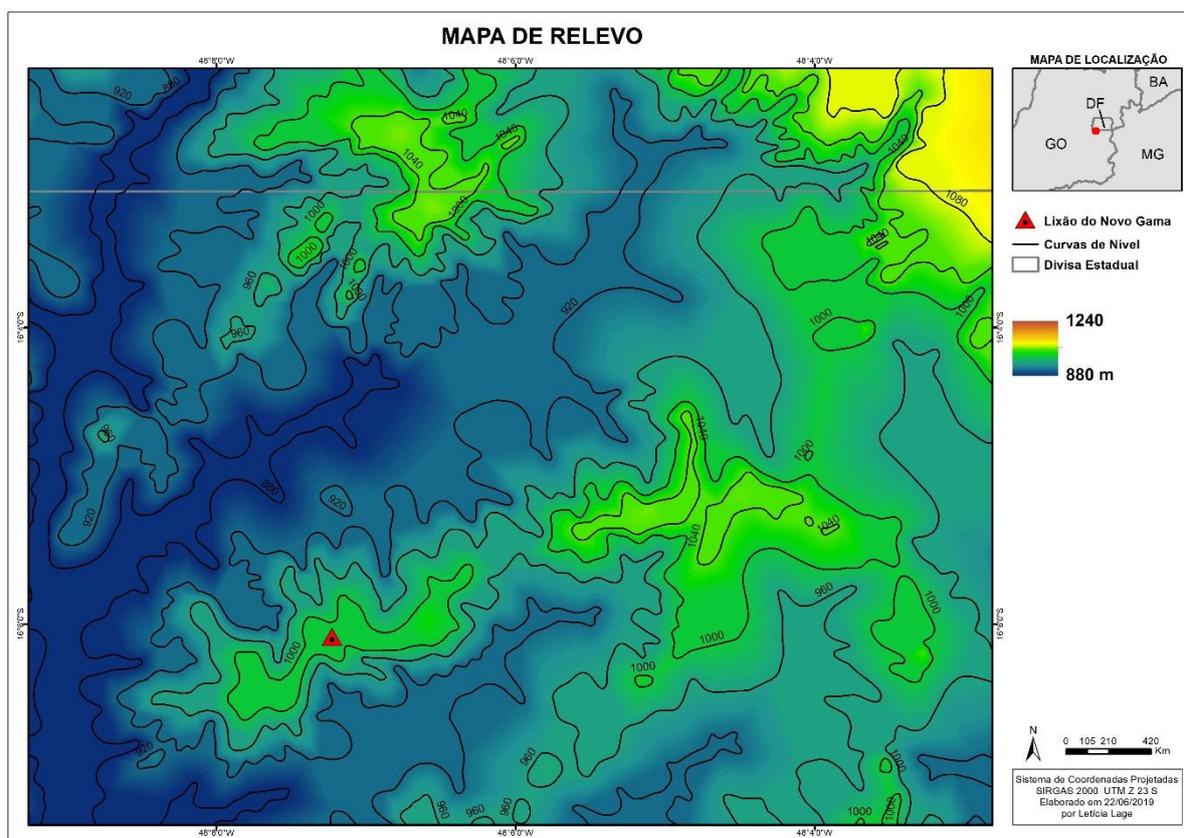


Figura 6.1 - Mapa de Relevo da região de estudo.

Pela Figura 6.1, pode-se observar que a área do Lixão do Novo Gama encontra-se numa região com altitude mais elevada que a das suas adjacências, tornando mais fácil o escoamento de lixiviado advindo do Lixão e a possibilidade de contaminação dos corpos aquáticos superficiais situados a jusante da área de disposição de resíduos sólidos.

A Figura 6.2 a seguir apresenta o mapa de declividade da região.

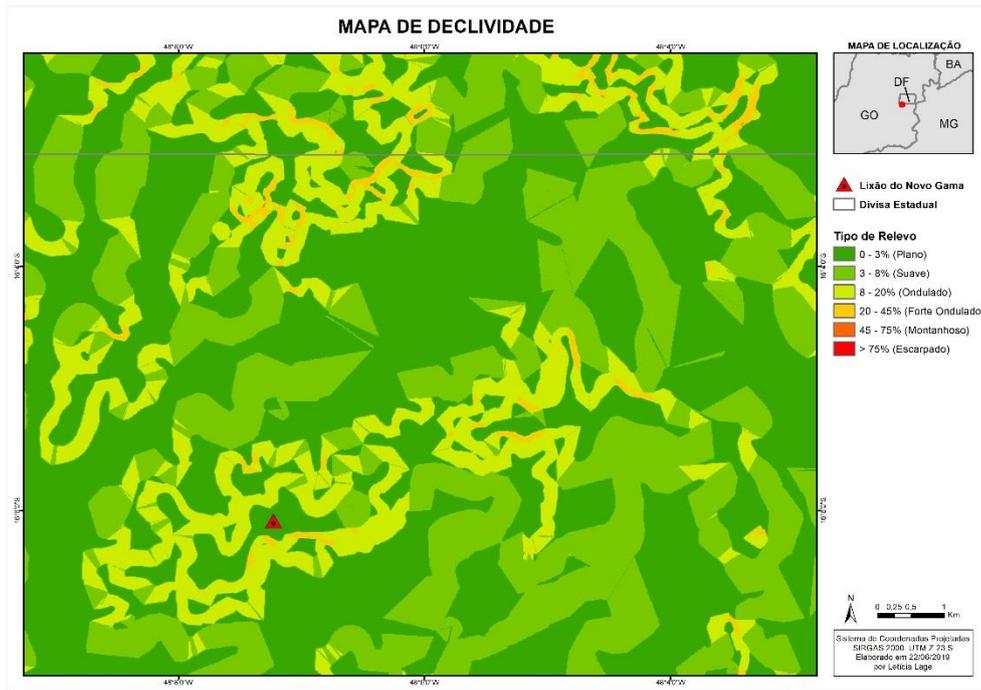


Figura 6.2 - Mapa de Declividade da região em estudo.

Pela Figura 6.2, verifica-se que a área do lixão apresenta um relevo do tipo plano, sem variações acentuadas de declividade.

A Figura 6.3 a seguir apresenta o mapa pedológico da área.

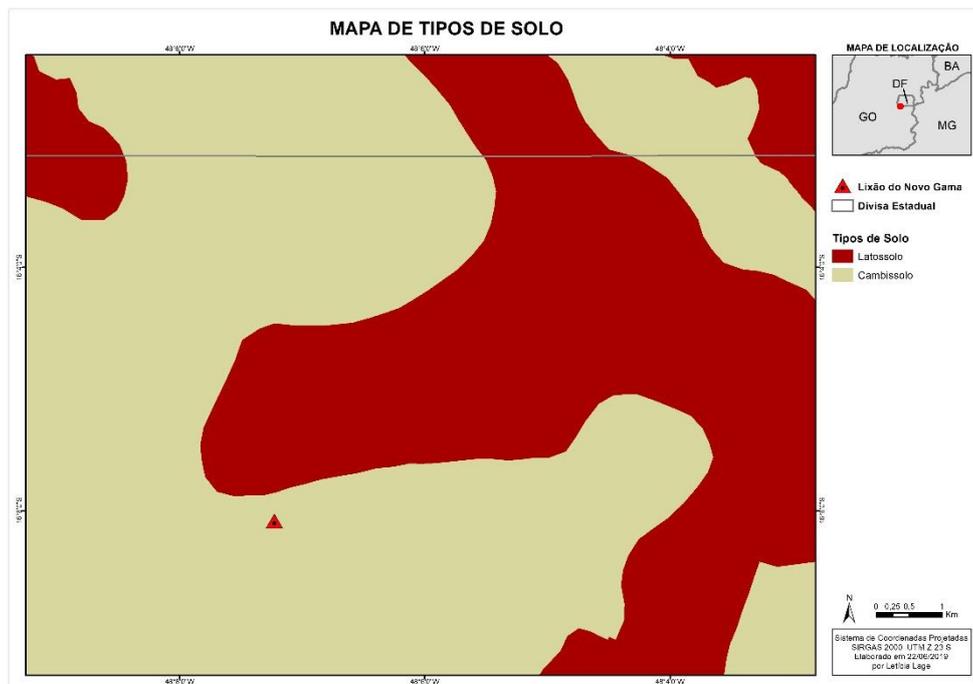


Figura 6.3 - Mapa de Tipos de Solos da região em estudo.

Pela Figura 6.3, verifica-se que o tipo de solo presente na área do Lixão do Novo Gama é o cambissolo. A Figura 6.4 a seguir apresenta o mapa de microbacias hidrográficas da região.

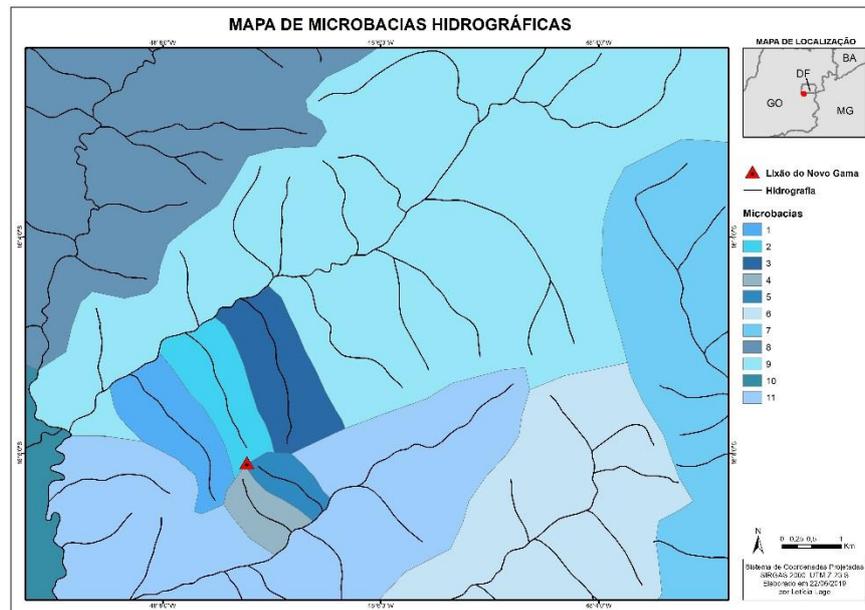


Figura 6.4 - Mapa de Microbacias Hidrográficas da região em estudo.

Pela Figura 6.4, verifica-se que a área do Lixão se encontra extremamente próxima de cinco diferentes nascentes, o que torna elevado o risco de contaminação dessas águas pelo percolado. A Figura 6.5 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo da área em estudo.

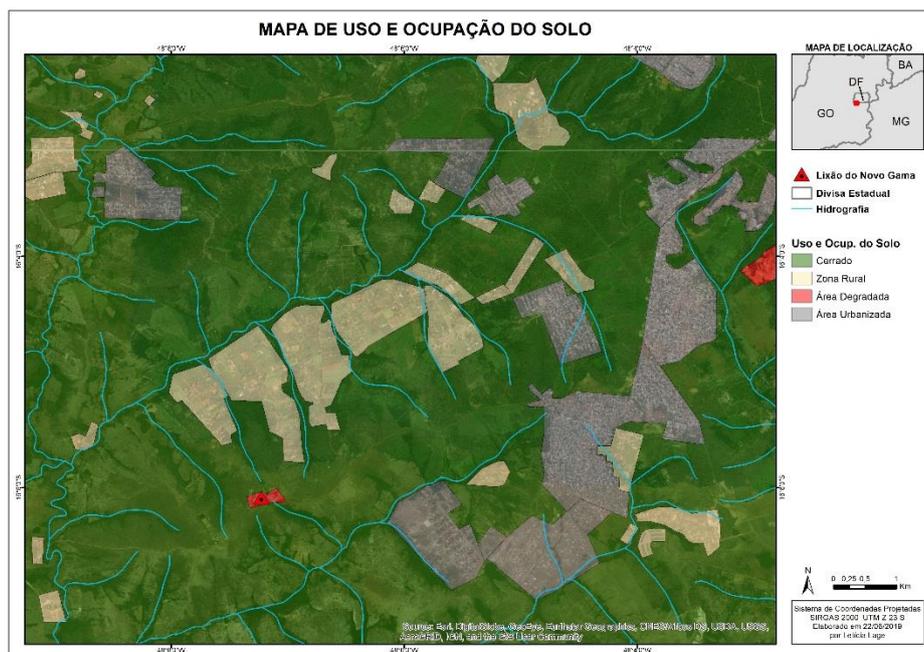


Figura 6.5 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo da região em estudo.

Pela Figura 6.5, verifica-se que o entorno do Lixão do Novo Gama é caracterizado pela presença de zonas rurais e corpos hídricos, o que os torna suscetíveis a contaminação por lixiviado. É possível observar também que as duas vertentes do Lixão escoam para microbacias que fazem parte da bacia hidrográfica do rio Alagado, que deságua no braço do reservatório de Corumbá IV, onde ocorrerá a futura captação de água para abastecimento do Distrito Federal e de Goiás.

A Figura 6.6 apresenta o mapa de classificação de águas subterrâneas.

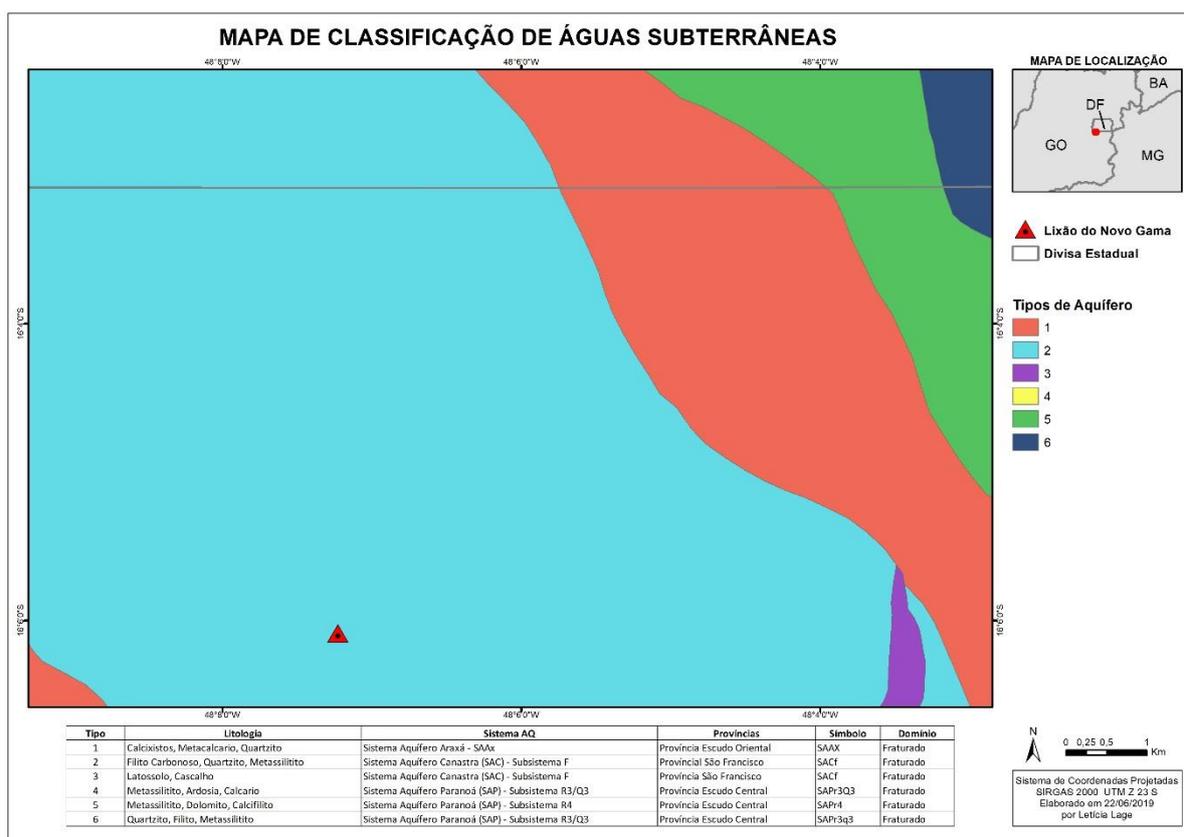


Figura 6.6 - Mapa de Classificação das Águas Subterrâneas da região em estudo.

Pela Figura 6.6, verifica-se que na área do Lixão do Novo Gama encontra-se aquífero de domínio fraturado. É importante ressaltar, no entanto, que existe um domínio poroso, formado pela cobertura de solos, acima do domínio fraturado.

6.2. ANÁLISE DE AMOSTRAS DE ÁGUA SUPERFICIAL DE ACORDO COM PARÂMETROS DE QUALIDADE

Realizadas as análises descritas na metodologia, os valores obtidos para cada parâmetro nas duas campanhas de coleta foram os apresentados nas Tabelas 6.1 e 6.2.

Tabela 6.1 - Resultados para os parâmetros de qualidade da água em cada ponto de amostragem (Campanha 1 – dia 07/02/2019).

Campanha 1 (07/02/2019)	Jacobina (J1)	Jacumã (J2)	Riacho Doce 3
Turbidez (NTU)	22,5	2,23	0,97
Condutividade elétrica (µS/cm)	27,3	5,82	331
pH	5,36	5,02	6,05
Temperatura (°C)	25,1	25,0	24,8
O ₂ (mg/L)	3,8	4,37	5,6
Amônia (mg/L)	1,3	1,294	0,923
Nitrato (mg/L)	6,031	3,104	5,148
Nitrito (mg/L)	0,034	0,056	0,012
Coliformes totais (NMP/100 ml)	Acima do limite detectável	378,4	Não realizado
<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	Acima do limite detectável	2,0	Não realizado
DQO (mg/L)	8,6	Não realizado	4,9
Cloreto (mg/L)	37,609	Não realizado	1,931

Pela Tabela 5.1 pode-se observar que os valores de turbidez e condutividade elétrica foram consideravelmente maiores para a amostra de Jacobina, o que pode ser explicado pela sua maior proximidade com a área do Lixão do Novo Gama e pelo escoamento superficial de lixiviado verificado visualmente nas visitas de campo. Além disso, a condutividade elétrica apresentou um valor extremamente elevado em Riacho Doce 3, o que pode indicar contaminação desse córrego por percolado. De acordo com Araújo (1996), a condutividade elétrica permite a avaliação do efeito de mineralização provocado nas águas pelo percolado. De modo geral, os principais elementos que influenciam no aumento da CE são a amônia e o cloreto (Araújo, 1996).

Considerando a topografia da região e a distância do córrego Jacumã à área do Lixão, seria válido considerar esse ponto como o “branco” do processo de amostragem, ou “controle”, ou seja, a condição da água sem influência do lixiviado do Lixão. Dessa maneira, pode-se observar que tanto Jacobina quanto Riacho Doce 3 apresentaram valores de pH maiores que o “branco”, o que está de acordo com a hipótese de contaminação por lixiviado, visto que esse contaminante apresenta caráter alcalino (Mondelli *et al.*, 2016).

No que se refere ao oxigênio dissolvido, observa-se que nenhuma das amostras apresentou a concentração mínima de OD para enquadramento em águas doces de classe 1, conforme a Resolução 357 do CONAMA (Brasil, 2005), sendo que as amostras de Jacobina e de Riacho Doce 1 não atingiram o limite mínimo de concentração de OD para águas doces de classe 3 (Brasil, 2005). O córrego Riacho Doce 3 apresentou valor mais elevado de OD provavelmente por ter uma queda d’água que antecede o ponto onde a amostragem foi realizada. A queda d’água pode ter provocado o aumento da concentração de OD.

As concentrações de nitrato, composto proveniente da oxidação da amônia obtidas para Jacobina e para Riacho Doce 3 foram maiores do que a obtida para o ponto de controle, o que evidencia a contaminação desses córregos e, também, o fato de que esse contaminante deve ter sido, provavelmente, oxidado antes do ponto de amostragem,

Como o nitrito é um composto instável, intermediário na oxidação da amônia para nitrato, atribui-se essa característica como causa dos baixos valores obtidos nas amostras.

Além disso, em Jacobina, as concentrações de coliformes totais e *E. coli* ultrapassaram o limite de detecção do método Colilert, o que indica contaminação biológica da água superficial por excretas, provavelmente do gado da região, presença verificada visualmente nas visitas de campo. A presença de coliformes totais e *E. coli* em todas as outras amostras possui

semelhante explicação. É importante ressaltar que, para a campanha 1, não foram realizadas diluições das amostras.

A concentração de DQO mais elevada em Jacobina corrobora os resultados dos outros parâmetros, sendo mais um indicador de provável contaminação por lixiviado. Da mesma forma, o valor de DQO, quando comparado com os obtidos para os outros pontos, também foi elevado em Riacho Doce 3, devido à sua proximidade com a área do Lixão, o que reafirma a hipótese de contaminação desse córrego por lixiviado.

Por fim, a concentração de cloreto obtida para Jacobina foi elevada, evidenciando a contaminação desse córrego, verificada, também, pelos aspectos visuais notados durante as visitas técnicas.

Na segunda campanha de coletas, com o objetivo de otimizar os resultados, foram coletadas amostras de Jacobina e de Riacho Doce 3, considerados como sendo os córregos mais afetados pelo fluxo superficial de percolado, levando em conta a topografia da região e a proximidade deles com a área do Lixão.

Tabela 6.2 - Resultados para os parâmetros de qualidade da água em cada ponto de amostragem (Campanha 2 – dia 19/02/2019).

Campanha 2 (19/02/2019)	Jacobina (J1)	Riacho Doce 3
Turbidez (NTU)	2,74	1,31
Condutividade elétrica (µS/cm)	11,31	314
pH	5,36	6,1
Temperatura (°C)	23,15	24,55
O ₂ (mg/L)	2,38	5,61
Amônia (mg/L)	0,1895	0,003
Nitrito (mg/L)	0,0018	0,0029
Cloreto (mg/L)	0,25	2,8
Coliformes totais (NMP/100 ml)	-	Sem diluição: 19866,3 Diluição 1/100: 29,2
<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	-	Sem diluição: 23,5 Diluição 1/100: 0,0

Pela Tabela 6.2, verifica-se que os valores de turbidez em Jacobina diferiram consideravelmente dos obtidos na primeira campanha, demonstrando que esse parâmetro muda bastante ao longo do tempo. Como na Campanha 1, a condutividade elétrica apresentou um valor extremamente elevado em Riacho Doce 3, o que indica contaminação desse córrego por percolado.

Em adição, a concentração de cloreto em Riacho Doce 3 também foi elevada, o que reforça a hipótese de contaminação por lixiviado.

Da mesma maneira, a presença de cloreto em Jacobina também pode ser um indicativo de contaminação decorrente do lixiviado. Os valores elevados de condutividade elétrica devem estar relacionados, muito provavelmente, à presença de cloreto nas duas amostras, tratando-se de mais um forte indicativo de contaminação.

A concentração mais elevada de amônia em Jacobina corrobora a hipótese de contaminação superficial por fonte próxima e por percolado de idade nova. Ao mesmo tempo, a concentração mais elevada de nitrito em Riacho Doce 3 reforça a hipótese de contaminação pelas antigas lagoas de chorume próximas ao local, visto que o nitrito é proveniente da oxidação da amônia ao longo do tempo.

A concentração muito elevada de coliformes totais em Riacho Doce 3 indica uma contaminação biológica da água superficial, provavelmente, por excretas do gado existente na região, rebanho identificado, visualmente, nas visitas de campo.

6.3. LEVANTAMENTO GEOFÍSICO DE RESISTIVIDADE DO SOLO

Após a inversão dos dados de campo, realizada pelo *software* Res2dinvx64, os resultados obtidos foram os seguintes, apresentados nas Figuras 6.7, 6.8, 6.9 e 6.10.

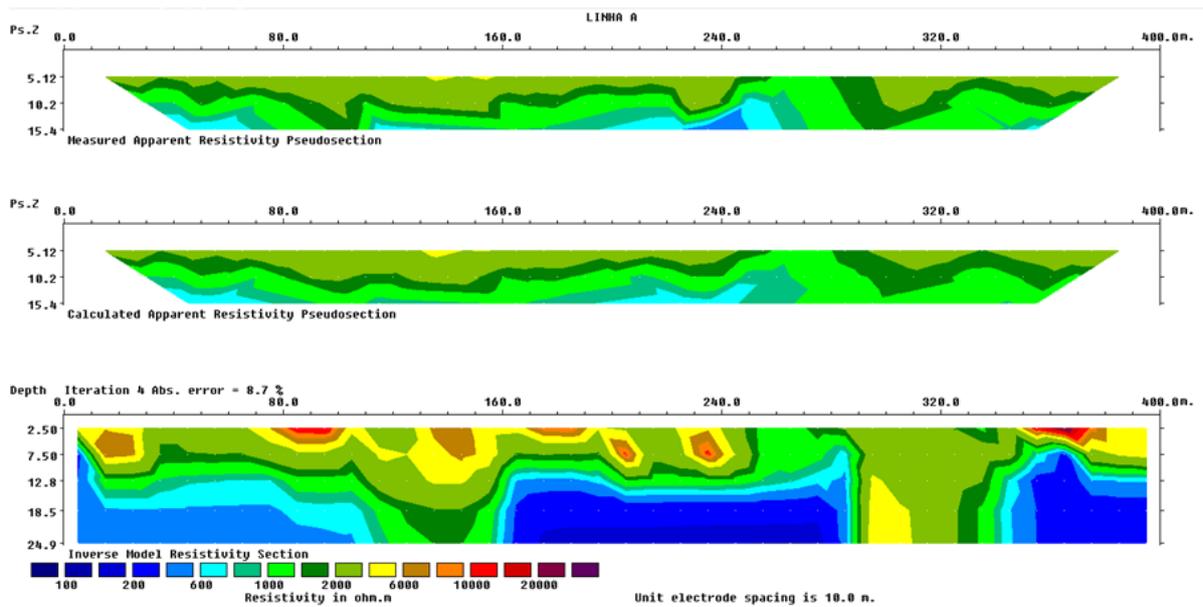


Figura 6.7 - Perfil de resistividade do solo obtido para a Linha A.

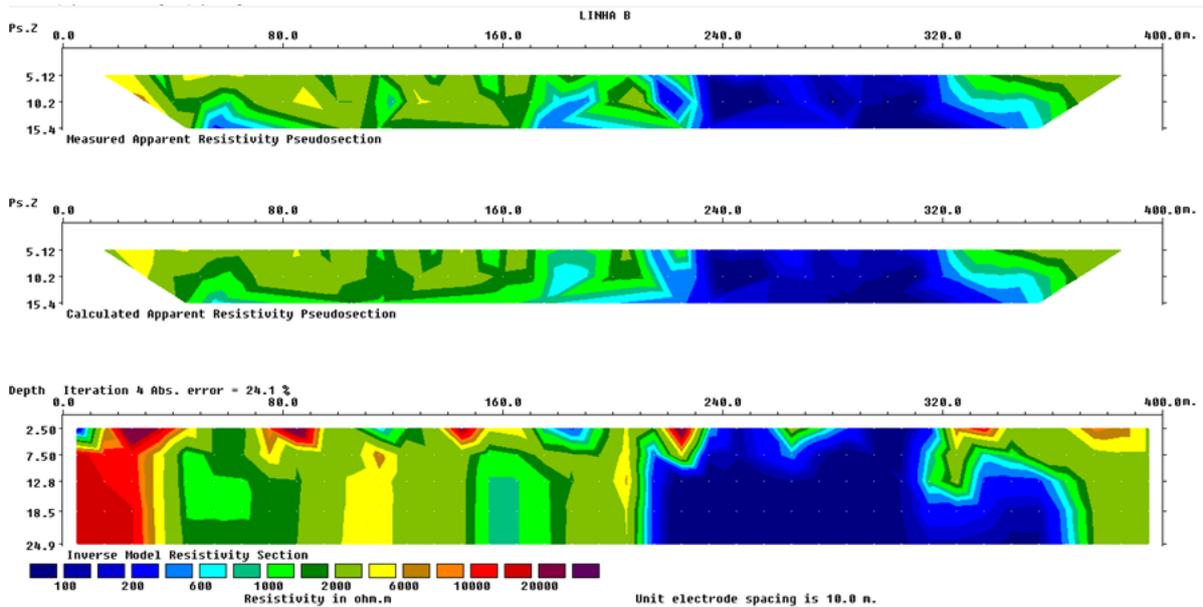


Figura 6.8 - Perfil de resistividade do solo obtido para a Linha B.

Na Figura 6.7 pode-se observar que existe uma faixa, entre os comprimentos de 240 e 320 metros, de menor resistividade. Essa faixa coincide com a região de menor altitude e vegetação mais densa observada em campo, comprovando que o modelo obtido condiz com a realidade. Na Figura 6.8 observa-se, da mesma maneira, uma faixa de menor resistividade nos comprimentos de 240 a 320 metros, coincidentes com a mesma “baixada” já citada. É

importante ressaltar também que, nessa faixa, os valores de resistividade na linha B são ainda menores que os da linha A, o que se deve a sua maior proximidade com as células de lixo. Além disso, é sabido que nesse lado do Lixão existiam antigas lagoas de chorume já desativadas, o que se revela consistente com os dados obtidos.

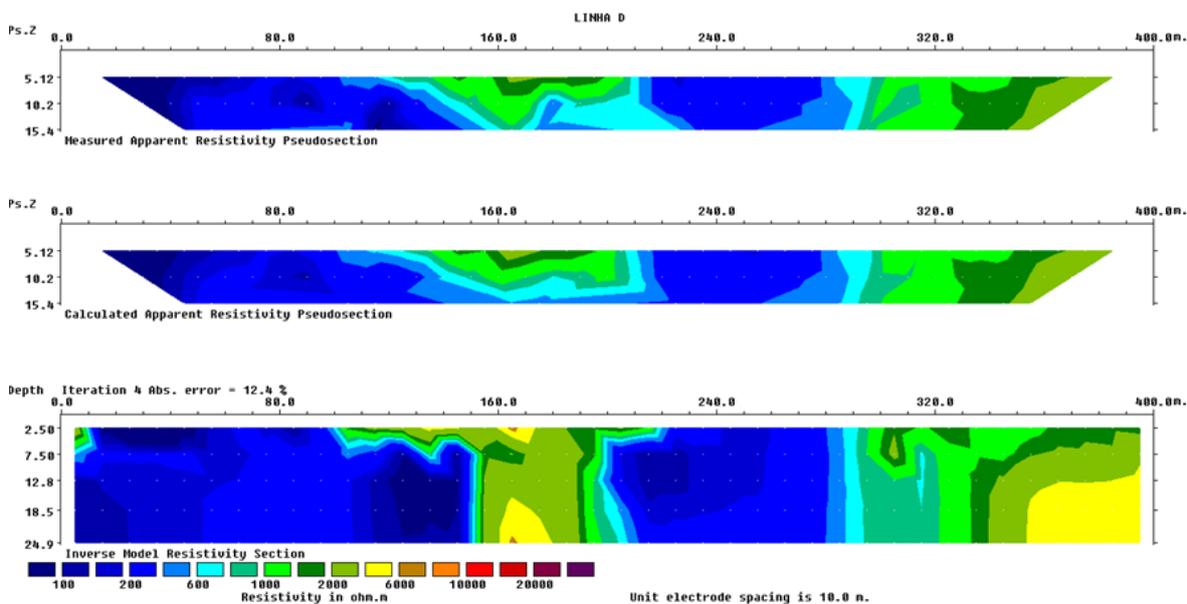


Figura 6.9 - Perfil de resistividade do solo obtido para a Linha C.

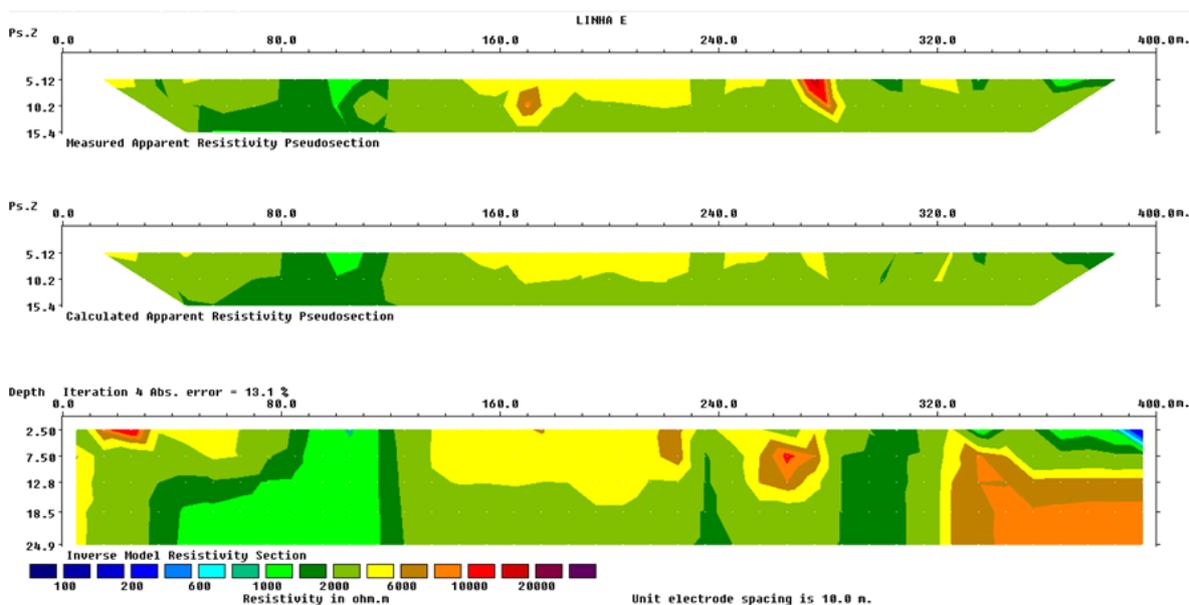


Figura 6.10 - Perfil de resistividade do solo obtido para a Linha D.

Na Figura 6.9 verifica-se a presença de uma faixa de menor resistividade entre os comprimentos de 10 a 100 metros, coincidentes com relatos de presença de antigas poças de chorume. Na Figura 6.10 observou-se que, apesar da presença de umidade e vegetação, a resistividade não atingiu valores como os verificados na linha C. Pode-se entender, então, que para que a resistividade chegue a valores mais baixos (correspondentes aos tons de azul na escala de resistividade), não existe apenas umidade no solo. Essa diferença de valores entre as linhas C e D é consistente com a proximidade maior da linha C com o Lixão.

Por fim, comparando os resultados obtidos para as linhas A e B com os obtidos para as linhas C e D, verifica-se que a contaminação nas linhas A e B é mais profunda, provavelmente advinda das antigas lagoas de chorume, enquanto a contaminação nas linhas C e D é mais superficial, possivelmente proveniente das células de lixo. Aqui, a contaminação é entendida como as faixas de valores de resistividade menores.

7. CONCLUSÕES

O objetivo principal do estudo foi avaliar, de maneira preliminar, a contaminação superficial e subterrânea nas áreas adjacentes ao Lixão do Novo Gama/GO. O objetivo foi satisfatoriamente atingido, tanto pela aplicação dos métodos diretos como indiretos.

A caracterização ambiental foi satisfatoriamente realizada a partir dos mapeamentos previstos. A partir dos mapas elaborados, foi possível extrair informações como: a presença de aquífero de domínio fraturado na área do Lixão, o tipo de solo existente como sendo o Cambissolo, a elevada altitude da localização do Lixão, a qual facilita o escoamento do contaminante. Por último, foi identificada a presença de nascentes e zonas rurais extremamente próximas ao Lixão, tornando os recursos hídricos superficiais muito suscetíveis à contaminação.

Pela aplicação do método direto, os valores de condutividade elétrica obtidos nas análises das amostras de águas superficiais nas nascentes localizadas no entorno do Lixão, constituíram forte indício de contaminação por percolado.

Com base na análise indireta, o experimento geofísico de medição da eletrorresistividade, as faixas de baixa resistividade obtidas (aqui entendidas como zonas de contaminação da água subterrânea) coincidiram com os locais esperados, observados durante as visitas técnicas, e a contaminação mais profunda nas linhas A e B do que nas linhas C e D corroborou com a hipótese de contaminação por percolado mais antigo nas linhas iniciais. Dessa maneira, a contaminação das águas subterrâneas pôde ser verificada, também, pelo método indireto.

Para uma região que não apresenta estudos prévios de caracterização ambiental e análise do processo de contaminação, o presente projeto constituiu-se como um importante mapeamento inicial da área e análise preliminar do impacto ambiental gerado pelo Lixão do município do Novo Gama.

8. RECOMENDAÇÕES

Como recomendação para futuros trabalhos, sugere-se o aprimoramento da base de dados geoespaciais com escalas maiores, para que a caracterização ambiental possa ser elaborada de forma mais detalhada, atentando às particularidades da localidade.

Recomenda-se o estabelecimento de um programa de monitoramento contínuo (se possível, de frequência trimestral) da condutividade elétrica dos recursos hídricos superficiais identificados no presente estudo como impactados pelos contaminantes provenientes do Lixão do Município do Novo Gama/GO.

Recomenda-se a instalação de poços de medição de águas subterrâneas na área do entorno do Lixão para acompanhamento da contaminação das águas subterrâneas nas áreas diretamente afetadas pela deposição de resíduos sólidos.

Recomenda-se a realização de modelagem hidrogeológica com o *software* Modflow para a ampliação do entendimento sobre o processo de contaminação das águas subterrâneas.

Recomenda-se o encerramento do Lixão do Município do Novo Gama e imediata recuperação da área degradada, como forma de impedir o avanço da pluma de contaminação e a geração de impactos maiores aos agricultores da região ou, ao menos, a impermeabilização das suas células de lixo e a coleta e disposição final corretas do chorume gerado na degradação dos resíduos sólidos. A falta de controle na disposição, na quantidade, no tipo de resíduo recebido e na manutenção do aterro poderá implicar em graves prejuízos ao meio ambiente e à saúde pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrelpe – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2018). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. São Paulo, Brasil, 73 p.
- Adasa – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. (2018). **Elaboração do plano de recursos hídricos das bacias hidrográficas dos afluentes distritais do rio Paranaíba (PRH – PARANAÍBA-DF)**.
- APHA, AWWA, WEF. (1992). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington D.C., EUA, 18 edição.
- Araújo, R. N. G. (1996). **Estudo Geoquímico da contaminação dos recursos hídricos e sua propagação nas adjacências do Aterro de Resíduos Sólidos Jockey Club-DF**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília, DF, 74p.
- BRASIL. (2005). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF. *Diário Oficial (da) União*, nº 053, p. 58-63.
- BRASIL. (2008). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Brasília, DF. *Diário Oficial (da) União*, nº 66, p. 64-68.
- BRASIL. (1997). Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF.
- BRASIL. (2010). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF.
- BRASIL. (2000). Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF.

- BRASIL. (2011). Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Brasília, DF.
- Carneiro, G. A. (2002). **Estudo de contaminação do lençol freático sob a área do Aterro de Lixo do Jockey Club-DF e suas adjacências**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 123p.
- Cavalcante, André Luís Brasil. (2017). **Avaliação e controle de poluição do solo**. Manuscrito cedido pelo autor. Brasília, Brasil.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Aquíferos**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Aquiferos-1377.html>>. Acesso em: 13 nov. 2018.
- FAV-UnB. **BASE DE DADOS – ESTAÇÃO AUTOMÁTICA (Dados diários)**. Disponível em: <<http://www.fav.unb.br/86-faculdade-veterinaria/128-base-de-dados-estacao-automatica-dados-diarios>>. Acesso em? 03 mai. 2019.
- Ferreira, E. M.; Cruvinel, K. A. S.; Costa, E. S. (2014). **Disposição final dos resíduos sólidos urbanos: diagnóstico da gestão do município de Santo Antônio de Goiás**. *Monografias Ambientais*, **13**(3), 3401-3411.
- Fetter, C.W.; Boving, T.; Kreamer, D. (2018). **Contaminant Hydrogeology**. Waveland, Illinois, E.U.A., 647p.
- Figueiredo, W. S.; Nascimento, C. T. C. (2015). **Soil electrical resistivity mapping in the Formosa City Landfill, Goiás State, Brazil**. *Revista Brasileira de Geofísica*, **33**(2), 251-259.
- Gomes, N. A.; *et al.* (2017). **Diagnóstico ambiental qualitativo no “lixão” da cidade de Pombal, Paraíba**. *Revista Verde*, **12**(1), 61-67.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Panorama Distrito Federal**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/panorama>>. Acesso em: 9 dez. 2018.

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Panorama Novo Gama**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/novo-gama/panorama>>. Acesso em: 13 nov. 2018.
- Kearey, P.; Brooks, M.; Hill, I. (2009). **Geofísica de exploração**. Oficina de textos, São Paulo, Brasil, 420p.
- Ministério do Meio Ambiente. **Ciclo Hidrológico**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico.html>>. Acesso em: 13 nov. 2018.
- 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**. *Eng Sanit Ambient*, **22**(1), 169-182.
- Pereira, A. R. (2018). **Estudo da Contribuição de Águas Subterrâneas e Retirada de Água por Poços sobre o Escoamento dos Córregos Adjacentes na Região do Núcleo Rural do Lago Oeste – DF**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 158p.
- Piveli, R. P.; Kato, M. T. (2006). **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-químicos**. Abes, São Paulo, Brasil, 285p.
- Prefeitura Municipal de Novo Gama. (2006). **Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos para o Município de Novo Gama – GO**.
- Reynolds, J. M. (1997). **An Introduction to Applied and Environmental Geophysics**. John Wiley & Sons, Inglaterra, 796p.
- Rios *et al.* (2013). **Caracterização exploratória-espacial da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite/Goiás**. *HOLOS Environment*, **13**(2), 175-187.
- Rocha *et al.* (2014). **Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil**. *Ambiente & Água*, **13**(2), 276-287.
- Rodrigues *et al.* (2014). **Avaliação preliminar da qualidade das águas subterrâneas e superficiais na área de entorno do antigo Lixão do município de Rolândia-PR**. *Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, São Paulo, Brasil.

- Sampaio Jr, C. H. L. (2016). **Diagnóstico preliminar do gerenciamento de resíduos sólidos gerados na cidade do Novo Gama (GO)**. Monografia de Projeto Final, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 65p.
- Santana-Silva, F. M. (2008). **Avaliação do método de precipitação química associado ao stripping de amônia no tratamento do lixiviado do Aterro da Muribeca-PE**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, PE, 117p.
- Sierra Club Legal Defense Fund. (1989). **The Poisoned well: new strategies for groundwater protection**. Washington D.C., EUA, 436p.
- Silva, J. L.; Tonello, K. C. (2014). **Morfometria da bacia hidrográfica do Ribeirão dos Pinheirinhos, Brotas-SP**. *Irriga*, **19**(1), 103-114.
- 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, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF.
- Solino, A. C. (2018). **Análise de modelos e técnicas de compostagem para o gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares orgânicos**. Monografia de Projeto Final, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF.
- Vilhena, A. (2018). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo, Brasil, 316p.

APÊNDICE

Campanha 1 (07/02/2019)	Riacho Doce 1	Riacho Doce 2
Turbidez (NTU)	0,93	0,97
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	5,37	9,46
pH	5,01	6,05
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	24,3	24,8
O_2 (mg/L)	3,29	5,6
Amônia (mg/L)	5,888	0,765
Nitrato (mg/L)	4,004	5,403
Nitrito (mg/L)	0,018	0,044
Coliformes totais (NMP/100 ml)	721,5	913,9
<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	8,5	79,4
DQO (mg/L)	4,9	3,0
Cloreto (mg/L)	2,817	16,437