

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS DO LENÇOL FRÉATICO POR DISPOSIÇÃO  
INADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E MONITORAMENTO POR  
IMAGENS DE SATÉLITE NA BACIA DO ARARIPE, REGIÃO DO CARIRI –  
CE/BRASIL**

**ERICA DAIANE SANTOS LAGE E JOSÉ MÁRIO DOS SANTOS JÚNIOR**

---

**FORTALEZA  
2016**

CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS DO LENÇOL FRÉATICO POR DISPOSIÇÃO  
INADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E MONITORAMENTO POR  
IMAGENS DE SATÉLITE NA BACIA DO ARARIPE, REGIÃO DO CARIRI –  
CE/BRASIL

ERICA DAIANE SANTOS LAGE E JOSÉ MÁRIO DOS SANTOS JÚNIOR

Relatório de Graduação apresentado ao curso de Geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em geologia.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Beltrão Sabadia  
Co-orientador: Prof. Dr. Michael Vandesteem Silva Souto

Fortaleza  
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Central do Campus do Pici

- 
- L17c Lage, Erica Daiane Santos.  
Contaminação das águas do lençol freático por disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e monitoramento por imagens de satélite na Bacia do Araripe, região do Cariri – CE/Brasil / Erica Daiane Santos Lage, José Mário dos Santos Júnior. – 2016.  
52 f. : il.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Fortaleza, 2016.  
Orientação: Prof. Dr. José Antônio Beltrão Sabadia.  
Coorientação: Prof. Dr. Michael Vandesteen Silva Souto.
1. Águas subterrâneas. 2. Lixo. I. Santos Júnior, José Mário dos. II. Título.

CDD 551

CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS DO LENÇOL FRÉATICO POR DISPOSIÇÃO  
INADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E MONITORAMENTO POR  
IMAGENS DE SATÉLITE NA BACIA DO ARARIPE, REGIÃO DO CARIRI –  
CE/BRASIL

ERICA DAIANE SANTOS LAGE E JOSÉ MÁRIO DOS SANTOS JÚNIOR

Relatório de Graduação apresentado ao curso de geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC), como requisito parcial para a obtenção do grau de geólogo.

Aprovada em: 22 / 7 / 2016

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. José Antônio Beltrão Sabadia (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Michael Vandesteen Silva Souto (Co-orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Enéas Oliveira Lousada  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## DEDICATÓRIAS

José Mário dos Santos Júnior

Dedico este trabalho primeiramente, a meu pai Mário e ao meu irmão Marcos, pois confiaram em mim e me deram esta oportunidade de concretizar e encerrar mais uma caminhada da minha vida. Sei que eles não mediram esforços pra que este sonho se realizasse, sem a compreensão, ajuda e confiança deles nada disso seria possível hoje. A eles além da dedicatória desta conquista dedico a minha vida.

A minha mãe Jucivania (in memoriam), que infelizmente não pode estar presente neste momento tão feliz da minha vida, mas que não poderia deixar de dedicar a ela, pois se hoje estou aqui, devo muitas coisas a ela e por seus ensinamentos e valores passados. Obrigada por tudo! Saudades eternas!

A minha namorada Jessyca, que em muitos finais de semana me proporcionou seu carinho e seu sorriso tão lindo, e fazendo eu até esquecer as minhas ansiedades e angústias. Por toda paciência, compreensão, carinho e amor, e por me ajudar muitas vezes a achar soluções quando elas pareciam não aparecer. Você foi a pessoa que compartilhou comigo os momentos de tristezas e alegrias. Além deste trabalho, dedico todo meu amor a você.

Aos meus amigos, em especial Nádia, que me apoiaram e que sempre estiveram ao meu lado durante esta longa caminhada, que muitas vezes compartilhei momentos de tristezas, alegrias, angústias e ansiedade, mas que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e me ajudando. A vocês meus amigos dedico este trabalho e todo meu carinho.

A estes dedico meu trabalho, sem a ajuda, confiança e compreensão de todos, este sonho não teria se realizado.

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele eu não teria traçado o meu caminho e feito a minha escolha pela geologia.

Aos nossos pais que doaram seu tempo para que efetivasse a nossa pesquisa, sem eles nada disso seria possível, eles foram à peça fundamental para a concretização do nosso trabalho. A vocês expesso o meu maior agradecimento.

Aos nossos professores apenas uma palavra, obrigado. Obrigado por chamar pra perto, corrigir, criticar sem destratar e principalmente por ensinar não somente conteúdos acadêmicos, mas valores e princípios éticos e profissionais que ficaram marcados em nosso caráter. Em especial, agradecemos aos Professores. Dr. José Antônio Beltrão Sabadía e Dr. Michael Vandesteem Silva Souto por nos receber de braços abertos como orientandos e não negar ajuda de qualquer natureza nos diversos momentos em que por nós foi solicitado. Obrigado!

“Algumas pessoas marcam a nossa vida para sempre, umas porque nos ajuda na construção, outras porque nos apresentam projetos de sonho e outras ainda porque nos desafiam a construí-los”.

“Não é o mais forte que sobrevive nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças.” Charles Darwin

## RESUMO

O lixão de Resíduos Sólidos Urbanos de Juazeiro do Norte encontra-se localizado na região do Cariri, extremo sul do estado do Ceará, próximo à margem direita do rio Batalheiras, fazendo parte da Bacia hidrográfica do rio Salgado. O lixão de Juazeiro do Norte segue produzindo chorume, produto de lixiviação, que escorre livremente por suas pendentes norte e leste, diretamente para os corpos de águas superficiais existentes, como também infiltrando-se nas águas subterrâneas e surgindo como fluxo de base do rio Batalheiras. O tipo de solo existente no lixão favorece esse processo de contaminação das águas subterrâneas, pois, sendo de elevada permeabilidade, facilita o fluxo de percolados líquidos através do solo e subsolo. Uma vez que essas águas poderiam apresentar alto risco de contaminação, conseqüentemente causar danos à população que utilizam desse recurso. O objetivo do trabalho é mostrar a importância da Bacia do Araripe, e as conseqüências ambientais da má disposição de resíduos sólidos, fazendo um diagnóstico ambiental do lixão através de imagens de satélite de alta resolução do município de Juazeiro do Norte, com conseqüente avaliação do nível de contaminação das águas do lençol freático. Levando em conta o que foi analisado, percebe-se que, as águas subterrâneas e superficiais da área estudada na Bacia do Araripe, estão sendo contaminadas pela deposição inadequada dos resíduos sólidos depositados no lixão, gerando fluidos (chorume) que esta em contato com as águas subterrâneas e superficiais no seu entorno.

**Palavras-Chave:** Lixão, Contaminação, Lençol Freático, Bacia do Araripe.

## ABSTRACT

The Solid Urban dump of Juazeiro do Norte is located in the region of Cariri, the southern tip of the state of Ceará, next to the right bank of the river Batalheiras, being part of the hydrographic basin of the river Salgado. The dump of Juazeiro do Norte is still producing slurry, which freely flows through its northern and eastern slopes, directly into the existing surface water bodies, but also seeping into groundwater and emerging as base flow of the river Batalheiras. The type of soil in the landfill facilitates the groundwater contamination process as it has a very high permeability; it facilitates the flow of liquid percolates through the soil and subsoil. Since these waters could present high risk of contamination, therefore causing damage to the population using this resource. The objective of this research is to show the importance of the Araripe Basin and environmental consequences of poor solid waste disposal, making an environmental diagnosis of the landfill through satellite high resolution images of the county of Juazeiro do Norte, with observation/evaluation of the water contamination level from the groundwater. Taking into account what has been analyzed, it is clear that groundwater and surface water in the area studied in the Araripe Basin, are being contaminated by improper disposal of solid waste deposited in the landfill, generating fluids (slurry) that is in contact with the groundwater and surface water in its surroundings.

**Keywords:** Trash, Contamination, Groundwater, Araripe Basin.

## ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E REGIÃO CIRCO VIZINHAS. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	2
FIGURA 2 - MAPA DE ACESSO À ÁREA DE ESTUDO LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE. (FONTE: CPRM, 2015).-----	3
FIGURA 3 - MAPA PRÉ-CAMPO COM LOCALIZAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA (AZUL) E POÇOS (PRETO). (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	5
FIGURA 4 - (A) SONDA MULTIPARAMETRICA. (B) GPS GARMIN. (C) MEDIDOR DE NÍVEL ESTÁTICO. (D) COLETOR DE AMOSTRAS D'ÁGUA. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	6
FIGURA 5 - (A) LAGOA DENTRO DO LIXÃO REFERENTE AO PONTO 1 COM MAIOR TEOR DE CONTAMINAÇÃO; (B) COLETA DE AMOSTRA EM CACIMBA; (C) MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS TEMPERATURA, PH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA COM SONDA MULTIPARAMÉTRICA; (D) RECOLHENDO DADOS DO PONTO 2. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	7
FIGURA 6- MAPA GEOLÓGICO DA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE. (FONTE: MODIFICADO DE ASSINE, 1990).-----	14
FIGURA 7 - IMAGEM DO GOOGLE EARTH PRO® DE JUNHO DE 2003 PARA ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO LIXÃO. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	17
FIGURA 8- IMAGEM DO GOOGLE EARTH PRO® DE JULHO DE 2004 PARA ANALISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO LIXÃO. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	18
FIGURA 9- IMAGEM DO GOOGLE EARTH PRO® DE AGOSTO DE 2009 PARA ANALISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO LIXÃO. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	19
FIGURA 10- IMAGEM DO GOOGLE EARTH PRO® DE FEVEREIRO DE 2013 PARA ANALISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO LIXÃO. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	20
FIGURA 11- IMAGEM DO GOOGLE EARTH PRO® DE SETEMBRO DE 2013 PARA ANALISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO LIXÃO. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	21
FIGURA 12- IMAGEM DO GOOGLE EARTH PRO® DE AGOSTO DE 2014 PARA ANALISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO LIXÃO. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	22
FIGURA 13 - IMAGEM DO GOOGLE EARTH PRO® DE ABRIL DE 2016 PARA ANALISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO LIXÃO. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	23
FIGURA 14 - EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO DA ÁREA DE 2004 A 2016. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	24
FIGURA 15 - REGISTRO DOS VALORES DE MÉDIAS PARA TEMPERATURA DAS AMOSTRAS NOS PONTOS DEVIDAMENTE COLETADOS SEPARADOS EM (CACIMBAS E LAGOS) E (MONTANTE E JUSANTE DO LIXÃO). (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	28
FIGURA 16- REGISTRO DOS VALORES DE MÉDIAS PARA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DAS AMOSTRAS NOS PONTOS DEVIDAMENTE COLETADOS SEPARADOS EM (CACIMBAS E	

LAGOS) E (MONTANTE E JUSANTE DO LIXÃO). (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	28
FIGURA 17- REGISTRO DOS VALORES DE MÉDIAS PARA PH DAS AMOSTRAS NOS PONTOS DEVIDAMENTE COLETADOS SEPARADOS EM (CACIMBAS E LAGOS) E (MONTANTE E JUSANTE DO LIXÃO). (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	29
FIGURA 18 - CLASSIFICAÇÃO EM RELAÇÃO AOS SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	30
FIGURA 19 - REPRESENTAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS, 4 AMOSTRAS NO C1 (AZUL) BAIXO RISCO DE SALINIZAÇÃO, 8 AMOSTRAS NA C2 (VERDE) MÉDIO RISCO DE SALINIZAÇÃO E 1 AMOSTRA NO C3 (AMARELO) ALTO RISCO DE SALINIZAÇÃO. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	33
FIGURA 20 - MODELO DE ELEVAÇÃO EM 2D DA ÁREA DE INFLUENCIA. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	34
FIGURA 21 - MODELO DE ELEVAÇÃO EM 3D DA ÁREA DE INFLUENCIA. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	35
FIGURA 22 - MODELO DE ELEVAÇÃO EM 2D COM O FLUXO SUPERFÍCIE E SUBSUPERFÍCIE. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	35
FIGURA 23 - RIO BATALHEIRAS SECO. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	36
FIGURA 24 - GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO ANUAL DA CIDADE DE JUAZEIRO DO NORTE ENTRE 2003 A 2016. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	36
FIGURA 25 - (A) MATERIAL RECICLÁVEL COM DESTINO PARA A ARPLAST RECICLÁVEIS. (B) ÁREA TOTAL DO LIXÃO. (C) PEQUENAS PORÇÕES DE ACUMULO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. (D) SOTERRAMENTO POR LIXO. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016).-----	37

**ÍNDICE DE TABELA**

TABELA 1 - REPRESENTAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS EM CAMPO. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016). -----	6
TABELA 2 – TABELA DE POÇÕES DA REGIÃO EM ESTUDO. (FONTE: AUTORES SANTOS & LAGE, 2016). -----	16
TABELA 3 - RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005 -----	29
TABELA 4 - REPRESENTAÇÃO DE RISCO DE SÓDIO (S) E SALINIZAÇÃO (C).-----	31

**SUMARIO**

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO</b> .....	2
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	3
3.1. Objetivo geral.....	3
3.2. Objetivos específicos.....	3
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	4
4.1. Fase pré-campo.....	4
4.2. Fase campo.....	5
4.3. Fase pós-campo.....	7
<b>5. GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	8
5.1. Sequência Paleozóica.....	8
5.2. Sequência Juro-Neocomiana.....	9
5.3. Sequência Aptiano-Albiana.....	11
5.4. Sequência Albiana-Cenomoniana.....	13
<b>6. CONTEXTO HIDROGEOLOGICO</b> .....	14
6.1. Regional.....	14
6.2. Local.....	15
<b>7. RESULTADOS OBTIDOS</b> .....	16
7.1. Análise Temporal do Lixão.....	16
7.2. Análises Físico-químicas das águas.....	25
7.3. Fluxo de contaminação.....	33
7.4. Precipitação.....	36
7.5. Situação atual.....	37
<b>8. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES</b> .....	37
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	40

## 1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Araripe é a mais extensa das bacias interiores do Nordeste do Brasil. Sua área de ocorrência não se limita à Chapada do Araripe, estendendo-se também pelo Vale do Cariri, num total de aproximadamente 9.000 km<sup>2</sup>, onde encontra-se na fronteira dos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí. É composta por sedimentos que datam períodos diferentes de idade Cenozóica, Mesozóica e Paleozóica. A região onde esta localizado o lixão de Juazeiro do Norte está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Salgado, na sub-bacia do Rio Batalheiras. O município de Juazeiro do Norte possui atualmente uma população com aproximadamente 560.325 habitantes, a qual não possui um destino adequado para os resíduos sólidos gerados pela população, aonde esses resíduos vêm sendo depositados inadequadamente numa área próxima a zona urbana.

A geração descontrolada e a disposição inadequada de resíduos sólidos têm gerado sérios problemas de degradação do meio ambiente. Os prejuízos mais graves ocorrem em função da contaminação do solo e dos lençóis freáticos pelos líquidos percolados (chorume). O lixão do Município de Juazeiro do Norte-CE/Brasil localiza-se próximo ao Rio Batalheiras, fazendo parte da bacia do Rio Salgado. O tipo de solo existente no lixão favorece esse processo de contaminação das águas subterrâneas, pois, sendo de elevada permeabilidade, facilita o fluxo de percolados líquidos através do solo e subsolo. Pelo fato do lixão estar assentado sobre rochas arenosas, o percolado líquido pode ser facilmente transportado por entre os poros das rochas e atingir as águas mais profundas, inclusive do Sistema Aquífero Missão Velha.

Estes líquidos, carregados de matéria orgânica decomposta e de produtos químicos tóxicos disseminados no lixo, acabam sendo levados por via subterrânea ou superficial até os rios, onde são incorporados à água. Esses rios, muitas vezes localizados a poucos metros do lixão, geralmente são os mesmos mananciais que servem de abastecimento urbano na região, o que em muitas vezes pode deixar em risco a saúde da população.

O objetivo do trabalho é mostrar a importância da Bacia do Araripe, e as consequências ambientais da má disposição de resíduos sólidos, fazendo um

diagnóstico ambiental do lixão através de imagens de satélite de alta resolução do município de Juazeiro do Norte, com consequente avaliação do nível de contaminação das águas do lençol freático.

## 2. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo está localizada no município de Juazeiro do Norte, no Estado do Ceará, e está sobre a Bacia do Araripe, e fazendo parte da bacia hidrográfica metropolitana do Cariri, situado no extremo sul do Estado do Ceará. O lixão está demarcado com o polígono vermelho no mapa. (Figura 1).

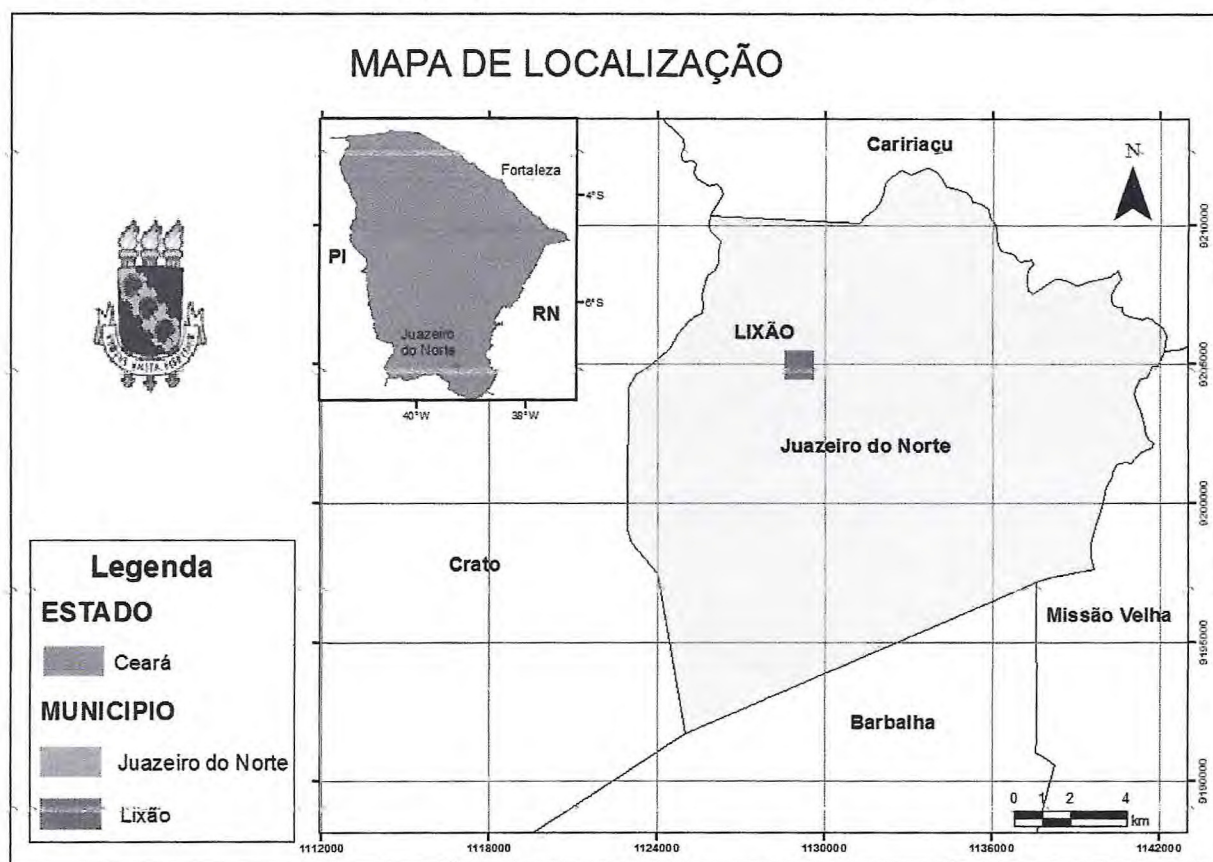


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo e região circó vizinhas. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

O acesso à área de estudo pode ser feito, partindo de Fortaleza pela BR-116 até a BR-230 seguindo pela CE 060 até as mediações do município de Juazeiro do Norte. (Figura 2).



Figura 2 - Mapa de acesso à área de estudo localizada no município de Juazeiro do Norte. (Fonte: CPRM, 2015).

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo geral

Ressaltar a importância regional da Bacia do Araripe em relação às águas subterrâneas, com foco na qualidade das águas nas proximidades do lixão.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Adquirir imagens de satélite de alta resolução para monitorar a dimensão do lixão/aterro no intervalo do ano de 2003 a 2016;
- Investigar estudos sobre a drenagem superficial da área; a fim de descobrir sentido de fluxo das águas;

- Coletar amostras de água nos entornos do lixão, e realizar análises químicas;
- Utilizar de *softwares* como Qualigraf® e Surfer® para analisar a qualidade dessas amostras de água e fazer um mapa de direção de fluxo;

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia que foi empregada no trabalho de conclusão do curso consistiu em três fases:

##### 4.1. Fase pré-campo

Consistiu em levantamento bibliográfico e cartográfico para conhecimento geológico da Bacia do Araripe, onde é a região em estudo, aquisição das imagens de satélite do Google Earth Pro®, do satélite *Quick Bird* com resolução espacial 0,51 centímetros, com maior escala de detalhe, essas imagens são adquiridas gratuitamente. As imagens são obtidas na cor visível não sendo necessário o realce das imagens. Foi utilizada a técnica de georeferenciamento que consiste em tornar as coordenadas das imagens conhecidas num dado sistema de referencia, no caso o WGS 84 e confecção dos pré-mapas com identificação dos prováveis locais de coleta dos corpos d'água e poços, obtidos no (SIRGAS) no site da CPRM, também a confecção do mapa de localização e vias de acesso, para posterior análise. Gerou-se uma planilha no Excel® 2007 com coordenadas e dados dos poços da região juntamente com as localizações dos corpos d'água. Foram escolhidos pontos de amostragem tanto a montante quanto a jusante do lixão (Figura 3).



Figura 3 - Mapa pré-campo com localização de corpos d'água (azul) e poços (preto). (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

#### 4.2. Fase campo

Corresponde à coleta de dados na área, com visita realizada no período de 3 a 6 de junho de 2016, foram coletadas as amostras em corpos d'água, cacimbas e poços tubulares, não foi possível coletar todos os pontos alocados no mapa pré-campo, pelo fato de difícil acesso e não foram coletadas amostras no rio Batalheiras por estar em período de seca. Foram realizadas análises in situ dessas amostras com o auxílio de uma sonda multiparamétrica obtendo dados como temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH, e condutividade elétrica ( $\mu\text{c}/\text{cm}$ ), no caso de cacimbas e poços tubulares, foi utilizado um medidor de nível estático posteriormente a coleta da água com um coletor cilíndrico para determinar o nível estático das águas (Figura 4), além disso todos esses pontos coletados foram marcados no GPS (Tabela 1).

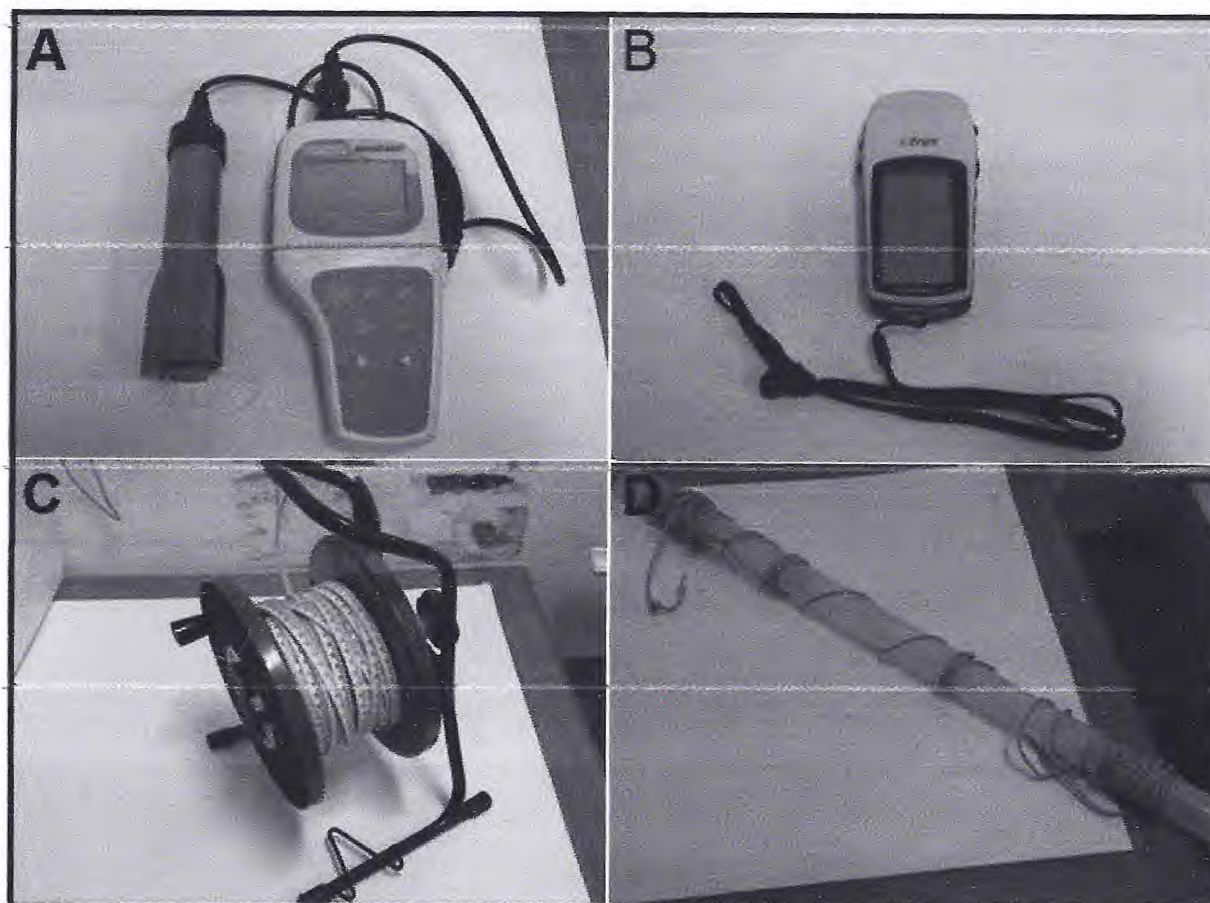


Figura 4 - (A) Sonda multiparametrica. (B) GPS Garmin. (C) Medidor de nível estático. (D) Coletor de amostras d'água. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

Tabela 1 - Representação das amostras coletadas em campo. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

PONTOS	ID	COORD (X)	COORD (Y)	COTA	TIPO	PROFU.	NE (m)	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Ph	TEMP (C°)	COR	ODOR	TURBIDEZ
1	0	465774	9208796	411	Lago			893	7,8	28,3	Cinza Escuro	Muito Forte	fraca
2	0	465882	9208894	416	Lago			272	8,82	31	Marrom	Moderado	Moderada
3	0	466827	9208750	388	Lago			331	8,42	31,2	Marrom Claro	Suave	Fraca
4	0	466284	9209060	387	Lago			225	8,69	32,4	Marrom	Suave medio	Moderada
5	0	465968	9208740	421	Lago			371	7,95	32,4	Marrom	Forte	Moderada
6	0	465894	9208712	373	Cisterna			108,6	8,68	27,8	Cristalina	Inodor	Ausente
7	0	464358	9210876	401	Poço	114	5	330	6,32	30,4	Cristalina	Inodor	Ausente
8	0	463578	9208910	413	Açude			144,1	8,31	32,7	Cristalina	Inodor	Fraca
9	0	466205	9211134	385	Cacimba	6,63	2,03	648	7,3	29	Cristalina	Suave	Ausente
10	0	466081	9211012	380	Cacimba	8,71	4,12	682	7,4	30,1	Cristalina	Suave	Ausente
11	0	465624	9210219	387	Cacimba	11,25	6,77	691	7,93	29,4	Cristalina	Suave	Ausente
12	0	467128	9208920	375	Cacimba	12,73	7,81	271	8,42	31,7	Marrom Escuro	Suave medio	Moderada
13	0	466018	9208484	426	Cacimba	10,82	6,22	161,3	8,21	30,2	Cristalina	Inodor	Ausente

Essa coleta foi realizada através de pontos específicos pré-selecionados nos mapas realizados na fase pré-campo, de acordo com a proximidade com o foco principal, lixão, e de acordo com a topografia local (Figura 5).



Figura 5 - (A) Lagoa dentro do lixão referente ao ponto 1 com maior teor de contaminação; (B) coleta de amostra em cacimba; (C) Medição dos parâmetros temperatura, pH e condutividade elétrica com sonda multiparamétrica; (D) recolhendo dados do ponto 2. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

### 4.3. Fase pós-campo

Consistiu em confeccionar mapas com os softwares Google Earth Pro<sup>®</sup>, onde foram obtidas as imagens (*Quick Bird*) a partir de 2003 até 2016 para análise evolutiva temporal da área de estudo, utilizamos o ArcGIS<sup>®</sup> 10.3 para fazer o georeferenciamento das imagens obtidas no Google Earth Pro e fazer o recorte dos limites da área. O software Qualigraf<sup>®</sup> foi utilizado para fazer as análises de sólidos totais dissolvidos (STD), gerando um gráfico de classificação das águas; também no Qualigraf<sup>®</sup> foi realizado a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) para obter a salinização das águas, inserindo os dados obtidos em campo e gerando uma tabela demonstrativa com os pontos coletados. O software Surfer<sup>®</sup> foi utilizado para fazer o mapa do modelo de elevação em 2D e 3D da área e o mapa de fluxo dos contaminantes. O ArcGIS<sup>®</sup> 10.3 foi utilizado para refazer o mapa de localização para

melhor representação da região estudada. A estruturação da tabela de coleta foi feita no Excel<sup>®</sup> 2007.

## **5. GEOLOGIA REGIONAL**

A geologia do Cariri é caracterizada pela ocorrência de rochas da Bacia Sedimentar do Araripe, de idade Cenozóica, Mesozóica e Paleozóica.

A Bacia do Araripe é a mais extensa das bacias do Nordeste do Brasil, onde sua área de ocorrência estende-se um total de aproximadamente 9.000 km<sup>2</sup>; encontra-se na fronteira dos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí.

Segundo Ponte & Appi (1990) a Bacia do Araripe é composta por sedimentos que datam períodos diferentes, podendo ser subdivididas em sequência Paleozóica, sequência Juro-Neocomiana, sequência Aptiano-Albiana e por fim a sequência Albiana-Cenomoniana.

### **5.1. Sequência Paleozóica**

Composta unicamente pela Formação Cariri aflora na porção leste da bacia, definindo os contornos do Vale do Cariri. Sua espessura é reduzida, talvez nunca ultrapassando uma centena de metros. Na parte oeste da bacia não aflora, ocorrendo apenas em subsuperfície.

#### **5.1.1. Formação Cariri**

Constitui-se quase que exclusivamente de arenitos, onde descontínuos níveis decimétricos de siltitos brancos com tonalidades arroxeadas completam o quadro de uma unidade litologicamente monótona. Na parte inferior predominam arenitos feldspáticos, frequentemente verdadeiros arcósios. São brancos com tons róseos, têm granulometria média a muito grossa, muitas vezes conglomerática, com grãos angulares a subangulares. Níveis de conglomerados ocorrem, sendo mais comuns na base onde incluem fragmentos líticos do embasamento e feldspatos bem preservados. Em direção ao topo, os arenitos feldspáticos gradam para arenitos quartzosos branco-acinzentados de granulometria média a grossa, com seixos de

quartzo dispersos ou acompanhando os planos de estratificação, quando por vezes formam níveis delgados de conglomerados quartzosos. Característica diagnóstica destes arenitos é a ocorrência disseminada de minerais esverdeados, identificados por Feitosa (1987) como palygorskita (argilomineral fibroso). As estratificações são geralmente cruzadas de médio porte, tabulares planares e secundariamente acanaladas, em sets com espessuras decimétricas a métricas. São interpretadas como originadas em sistemas fluviais entrelaçados (*braided*), com escassez acentuada da fração pelítica de planície de inundação.

## 5.2. Sequência Juro-Neocomiana

Essa sequência é marcada pelas formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara, é produto da resposta sedimentar à subsidência mecânica, no interior da Região Nordeste do Brasil, induzida pela transmissão no interior da placa dos esforços decorrentes dos processos de rifteamento do Gondwana. Seus sedimentos afloram extensivamente na porção leste da bacia, ao longo do Vale do Cariri, numa sub-bacia estruturada por falhas predominantemente distensionais, de direções nordeste e leste-oeste, que definem um arcabouço em horstes e grabens.

### 5.2.1. Formação Brejo Santo

Constitui a unidade basal da sequência Juro-Neocomiana, é composta por folhelhos e argilitos vermelhos, siltitos, calcíferos, localmente listrados ou manchados de verde claro, entre os quais ocorrem entremeadas camadas decimétricas a métricas de arenitos finos a médios, e delgadas lâminas de calcário argiloso, rico em ostracodes, às vezes formando bancos decimétricos de puro ostracodito. Os próprios pelitos são freqüentemente ricos em carapaças destes crustáceos, o que os torna comumente calcíferos, achando-se presentes formas típicas do Andar Dom João, constatadas por Braun (1966). Também comuns na associação são os restos de vertebrados, especialmente peixes, ainda não estudados. Tais sedimentos são litológica e cronoestratigraficamente correlatos aos das Formações Aliança da Bacia do Recôncavo-Tucano e Bananeiras da Bacia de Sergipe-Alagoas. Sua espessura sedimentar total é da ordem de 450 m. O registro

de formas exclusivamente não-marinhas indica sedimentação continental, em depressões amplas e rasas, onde se desenvolveram sistemas aluviais/lacustres caracterizados por condições oxidantes, ambientes propícios à formação de camadas vermelhas (*red beds*).

### 5.2.2. Formação Missão Velha

Passa a comportar única e exclusivamente os arenitos com troncos silicificados, imediatamente sobrejacentes aos folhelhos da Formação Brejo Santo. O contato entre as duas unidades é concordante, materializado por uma passagem gradual de fácies pelíticas avermelhadas para fácies psamíticas sobrepostas, que apresentam pouca variação granulométrica na vertical. Sua espessura é de cerca de 200 m, sendo constante ao longo da bacia. Esta homogeneidade litológica é também observada na área de afloramento ao longo do Vale do Cariri, onde a unidade é caracterizada por arenitos quartzosos, ligeiramente feldspáticos e/ou caolínicos, às vezes conglomeráticos, portadores de abundantes troncos e fragmentos de madeira silicificada, atribuídos à conífera *Dadoxylon benderi*, mas ainda não descritos (BRITO, 1987). Os arenitos apresentam-se em sets comumente decimétricos, com estratificação cruzada predominantemente cuneiforme planar ou acanalada. Aos arenitos intercalam-se níveis descontínuos, decimétricos a métricos, de siltitos arroxeados. O perfil estratigráfico vertical, mostrando granocrescência ascendente gradual dos pelitos avermelhados da Formação Brejo Santo para os arenitos da Formação Missão Velha, permite interpretar um empilhamento sedimentar progradante, onde lagos rasos e/ou planícies aluviais distais úmidas foram colmatadas por sistemas fluviais, através de rios entrelaçados de pequeno a médio porte, mas de alta energia a julgar pelas litologias e dimensões dos sets. Regionalmente, são os sedimentos em questão correlatos aos das Formações Sergipe da Bacia do Recôncavo-Tucano e Serraria da Bacia de Sergipe-Alagoas.

### 5.2.3. Formação Abaiara

No empilhamento estratigráfico vertical sobrepõe-se uma sucessão que apresenta maior variação faciológica lateral e vertical, distinguindo-se claramente

dos sedimentos sotopostos, o que permitiu que fosse caracterizada como uma nova unidade litoestratigráfica. Na área de afloramento no Vale do Cariri, predominam, na base, folhelhos silticos e siltitos vermelhos e verdes-claros, com intercalações lateralmente descontínuas de camadas decimétricas de arenitos finos e lâminas de carbonatos argilosos. Para o topo, interestratificadas com folhelhos silticos esverdeados, ocorrem lentes métricas de arenitos quartzosos finos a muito grossos, com níveis conglomeráticos, onde também se encontram fragmentos de madeira silicificada. Compõe o quadro final arenitos finos a médios, subarredondados, em sets decimétricos a métricos, com estratificação cruzada tabular tangencial na base, sendo comuns estruturas convolutas formadas por deformação penecontemporânea. Nestes arenitos, intercalam-se alguns poucos níveis decimétricos a métricos de folhelhos papiráceos, frequentemente fossilíferos, com escamas de peixes, mas sobretudo portadores de ostracodes, em geral muito recristalizados. Os sedimentos da Formação Abaiara são também de origem continental, patenteando no andar Rio da Serra a permanência dos mesmos tratos deposicionais do Andar Dom João. Os folhelhos e siltitos de tonalidades avermelhadas presentes na base do Andar Rio da Serra são interpretados como produto de sistemas lacustres rasos/planícies aluviais, em direção ao topo sendo sucedidos por arenitos fluviais. Os folhelhos esverdeados e os biosparitos (ostracodes), entremeados aos arenitos, são os registros de lagos efêmeros adjacentes aos canais, originados nas várzeas como consequência de inundações. Constituíam subambientes de baixa energia, onde os ostracodes se desenvolveram abundantemente.

### **5.3. Sequência Aptiano-Albiana**

Composta pelas formações Barbalha e Santana, ocorre em quase toda a extensão da Chapada do Araripe e, descontinuamente, ao longo do Vale do Cariri. Distingue-se estrutural e estratigraficamente das duas sequências sotopostas, sobre as quais se assenta em discordância angular. Na porção ocidental da bacia, é comum repousar diretamente sobre o embasamento pré-cambriano/eopaleozóico.

### 5.3.1. Formação Barbalha

É a unidade basal da sequência Aptiano-Albiana, constituída predominantemente de fácies arenosas com intercalações de lamitos avermelhados e amarelados, e de níveis delgados de conglomerados. Os arenitos são finos a médios, subarredondados a subangulares, em geral bastante friáveis, argilosos e micáceos, às vezes seixosos e/ou portadores de feldspatos caulinizados e bolas de argila. A estratificação é cruzada, de médio a pequeno porte, tabular planar ou tangencial na base, comparecendo também feições sigmoidais. Tais sedimentos apresentam-se em ciclos com granodecrescência ascendente que culminam em intervalos pelíticos. São interpretados como fluvio-lacustres, não só pelas litologias e estruturas sedimentares, mas pela presença de fósseis continentais.

### 5.3.2. Formação Santana

Culminando o último ciclo granodecrescente da Formação Barbalha, numa passagem gradual, tem-se uma seção de folhelhos papiráceos calcíferos, interestratificados com calcários micríticos laminados, formando extensos bancos com espessuras de até mais de duas dezenas de metros. Folhelhos pirobetuminosos com teores de até 25% de carbono orgânico total, e frequentemente calcíferos devido a abundância de carapaças de ostrácodes, continuam presentes. O registro fóssilífero é abundante, sendo também encontrados conchostráceos, fragmentos vegetais lenhosos carbonizados, além de pequenos peixes (*Dastilbe elongatus*) e insetos (MABESOONE & TINOCO, 1973; MARTINS, 1990). Por sobre os calcários laminados, em associação com folhelhos verdes e/ou pretos (pirobetuminosos), acham-se presentes evaporitos. Estes apresentam pouca variabilidade química, restringindo-se a sulfates de cálcio, principalmente sob a forma de gipsita laminada primária com cristais colunares dispostos em paliçadas (palisades).

#### 5.4. Sequência Albiana-Cenomoniana

Os sedimentos desta sequência pertencem a uma única unidade litoestratigráfica, denominada Formação Exu (BEURLEN, 1962). Seu contato com a sequência aptiano-albiana é de difícil observação no campo, consequência da presença constante de depósitos de tálus nas escarpas da Chapada do Araripe.

##### 5.4.1. Formação Araripina

Está restrita à porção oeste da bacia, constitui-se de uma associação de fácies heterolíticas, caracterizada por grande diversidade de litótipos, recorrentes e geneticamente relacionados. Ritmitos argilo-siltosos de colorações avermelhadas, arroxeadas e amareladas, com laminação plano-paralela, constituem a principal fácies presente. Disponibilidade de fração areia muito fina resulta em acamamento lenticular (*linsen*) e ondulado (*wavy*), ou mesmo constitui níveis de arenitos argilosos finos a muito finos, que se apresentam em camadas centimétricas a decimétricas, com laminação cruzada cavalgante (*climbing ripple cross-lamination*). Quando sobrepõem litologias argilosas, geram estruturas de sobrecarga como pseudonódulos e almofadas e estruturas em chama. Aos ritmitos associam-se, também, arenitos em que predominam as frações areia fina a média, dispostos em corpos de geometria lenticular, com espessuras variando de alguns centímetros a alguns metros.

##### 5.4.2. Formação Exu

Está sobreposta às fácies heterolíticas da Formação Araripina, a associação de fácies psamíticas da Formação Exu registra o recobrimento das planícies aluviais argilosas, frequentemente úmidas, por sedimentos tipicamente fluviais. Apresentando-se em ciclos com granodecrescência ascendente, dados por níveis seixosos na base seguidos de arenitos grossos com estratificação cruzada tabular a acanalada e dispostos em sets decimétricos a métricos, em meio aos quais ocorrem fácies lamíticas de planície de inundação, os sedimentos em questão são interpretados como produtos de rios meandrantés. No entanto, a pobreza em fácies



folhelhos, podendo alcançar uma espessura total da ordem de 1.600 m, sendo proposta a seguinte divisão hidrogeológica da bacia: Sistema Aquífero Superior (Formações Exu e Araripina), com espessura de  $\pm 320$  m; Aquiclude Santana, com espessura de  $\pm 180$  m; Sistema Aquífero Médio (Formações Barbalha, Abaiara e Missão Velha), com espessura de  $\pm 500$  m; Aquiclude Brejo Santo, com espessura de  $\pm 400$  m e Sistema Aquífero Inferior (Formação Cariri e parte basal da Formação Brejo Santo), com espessura de  $\pm 60$  a 100 m.

A recarga aquífera é oriunda da infiltração pluviométrica direta e a água infiltrada no topo da chapada desce por gravidade até atingir o nível de saturação, passando a circular sub-horizontalmente no sentido dos exutórios naturais (Fontes naturais).

O Sistema Aquífero Médio tem sua recarga também pluviométrica, facilitada pelas elevadas permeabilidade e porosidade dos litotipos.

O Sistema Aquífero Inferior possui pequena a média vocação hidrogeológica, com os poços construídos neste sistema fornecendo vazões geralmente inferiores a 20 m<sup>3</sup>/h, aumentando à medida que captam o Aquífero Mauriti. Assim como os demais, sua recarga é proveniente das precipitações atmosféricas e seus exutórios são as redes de drenagem existentes na região.

## 6.2. Local

O contexto hidrogeológico local é representado pelo Rio Batalheiras, onde percorre a borda leste da área de influência de contaminação, e sendo o principal afluente do Rio Salgado, na Sub-Bacia Salgado. A área de trabalho esta sobre a Formação Missão Velha que contém o sistema aquífero médio, possuindo descarga natural do sistema de fluxo hídrico subterrâneo, fazendo-se ao longo do vale do Rio Salgado e de seus afluentes, garantindo parcialmente o caráter perene de algumas drenagens da região e possivelmente propagando contaminação da área de estudo.

Alguns poços próximos à área de estudo contém dados necessários para posterior comparação da contaminação que o lixão emana nos solos (Tabela 2).

Tabela 2 – Tabela de poços da região em estudo. (Fonte: Autores Santos &amp; Lage, 2016).

CÓDIGO	COORDs (UTM) X	COORDs (UTM) Y	POÇOS							SITUAÇÃO
			PROPRIETARIO	LOCALIDADE	PROFUNDIDADE	NÍVEL ESTÁTICO (m)	CE (µS/cm)	Ph	TEMPERATURA (C°)	
2300014384	9205993	467229	SERGIO GURCEL	FAZ. Barro Branco	96.00	20.00	308.00			Equipado
2300014385	9208007	468744	PREEITURA	CASAS DE UMARI	80.00	8.00	160.00			Equipado
2300014386	9208216	469019	PREEITURA	UMARI I	60.00		236.00			Equipado
2300014442	9210216	468430	PREEITURA	SITIO TAQUARI	144.00					Abandonado
2300014443	9210125	468431	PREEITURA	SITIO TAQUARI	76.00	6.00				Abandonado
2300014457	9210997	468322	PREEITURA	SEDE-VILA PE CICERO	22.00					Não instalado
2300014458	9210959	466441	PREEITURA	SEDE-VILA PE CICERO	84.00					Equipado
2300014459	9210954	466461	PREEITURA	SEDE-VILA PE CICERO	84.00					Abandonado
2300014958	9207414	467612	RUI COSTA	FAZENDA CALIFORNIA	70.00	16.50				Equipado
2300015019	9206892	467336	TEODORO DE J. GERMANO	FAZ. Barro Branco	102.00	5.20				Abandonado
2300015074	9210945	468506	VITORINO LUIZ DA SILVA	PE. CICERO	86.00	13.00				Fechado
2300015079	9210637	468678	SEVERINO P. CASTRO	PE. CICERO	80.00	23.70				Fechado
2300015164	9210577	467579	ARLINDO COSTA MIRANDA	SITIO PAU D'ARCO	90.00	33.25				Equipado
2300020225	9208094	468878	SRH	Umarí	102.00					
2300020692	9210892	464704	CAGECE	Palmeirinha - CAGACE (PT-32)	42.00	9.00	181.81	6.26		Equipado
2300021119	9207667	468552	SOHIDRA	Sede - Novo Juazeiro	80.00	28.00	190.10	6.49		
2300021123	9207048	468447	SOHIDRA	Barro Branco I	83.00	5.45	452.00	5.60	26.8	
2300021126	9210493	467828	SOHIDRA	Taquari	60.00	7.00		7.08		
2300021157	9208497	469793	SOHIDRA	Carás do Umarí	90.00	17.70	114.40	6.85		
COG/JUN/0001	9206529	469922	COGERH	VILA STO ANTONIO SISAR			17.68			ABs HUMANO
COG/JUN/0002	9205713	465821	COGERH	FAZ BOCA DAS COBRAS	80.00	10.19				IRRIGACÃO

## 7. RESULTADOS OBTIDOS

A área de estudo está inserida no município de Juazeiro do Norte, no Estado do Ceará, e está sobre a Bacia do Araripe, fazendo parte da bacia hidrográfica metropolitana do Cariri, situado no extremo sul do Estado do Ceará.

A litologia encontrada nas proximidades da área de estudo corresponde por arenito fino a médio com coloração avermelhada pouco coeso, e por arenito médio a grosso com coloração avermelhada e poucas porções conglomeráticas fracamente coesas, determinada pela Formação Missão Velha.

### 7.1. Análise Temporal do Lixão

A análise temporal do lixão foi realizada através de imagens obtidas do Google Earth Pro com resolução espacial de 5 m e georeferenciada no Arcgis 10.3.

As imagens obtidas no Google Earth Pro® tem início no ano de 2003 até 2016, e as análises foram realizadas em um período temporal para acompanhar a evolução do lixão. Foram analisadas respectivamente as imagens de 2003, 2004, 2009, 2013, 2014 e 2016.

A imagem de junho de 2003 apresenta mata nativa preservada no local do lixão, mostrando que nesse período ainda não estava instalado o lixão. Contudo, o antigo lixão ainda encontrava-se em operação, onde apresenta queima de resíduos sólidos no local (Figura 7).

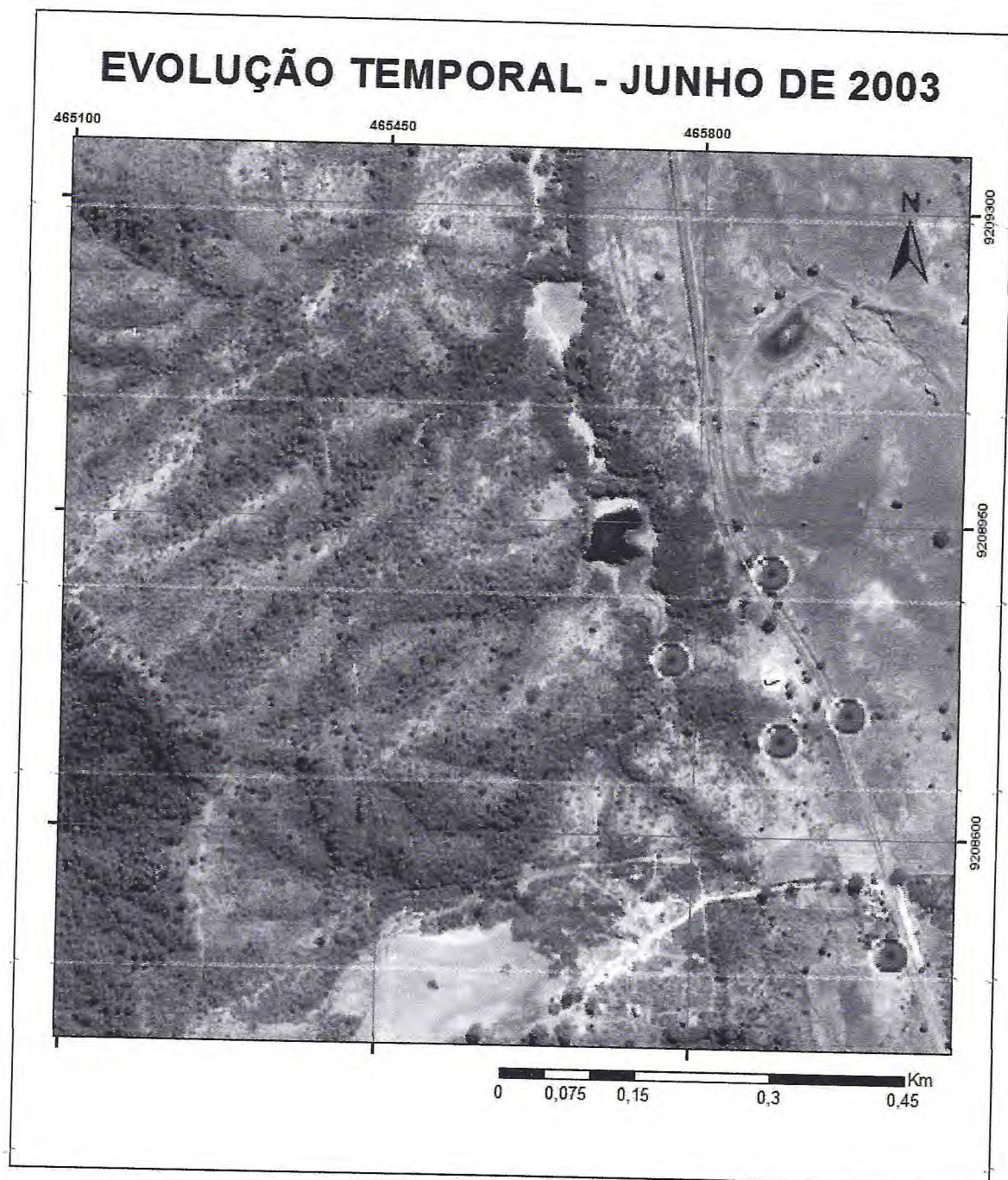


Figura 7 - Imagem do Google Earth Pro® de junho de 2003 para análise da evolução temporal do lixão. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

A imagem de julho de 2004 apresenta o início das atividades de depósito de resíduos sólidos na área de estudo, mostrando o desmatamento da mata no local. No entanto o antigo local destinado a resíduos sólidos encontra-se em atividade de queima dos resíduos (Figura 8).



Figura 8- Imagem do Google Earth Pro® de julho de 2004 para análise da evolução temporal do lixão.  
(Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

A imagem de agosto de 2009 apresenta um salto na evolução do lixão, onde observa-se um enorme crescimento da área de ocupação dos resíduos, impedindo o curso da drenagem existente antes da instalação do lixão. O antigo lixão mostra-se desativado e com retomada da vegetação na área, mas ainda com resíduos sólidos presentes (Figura 9).

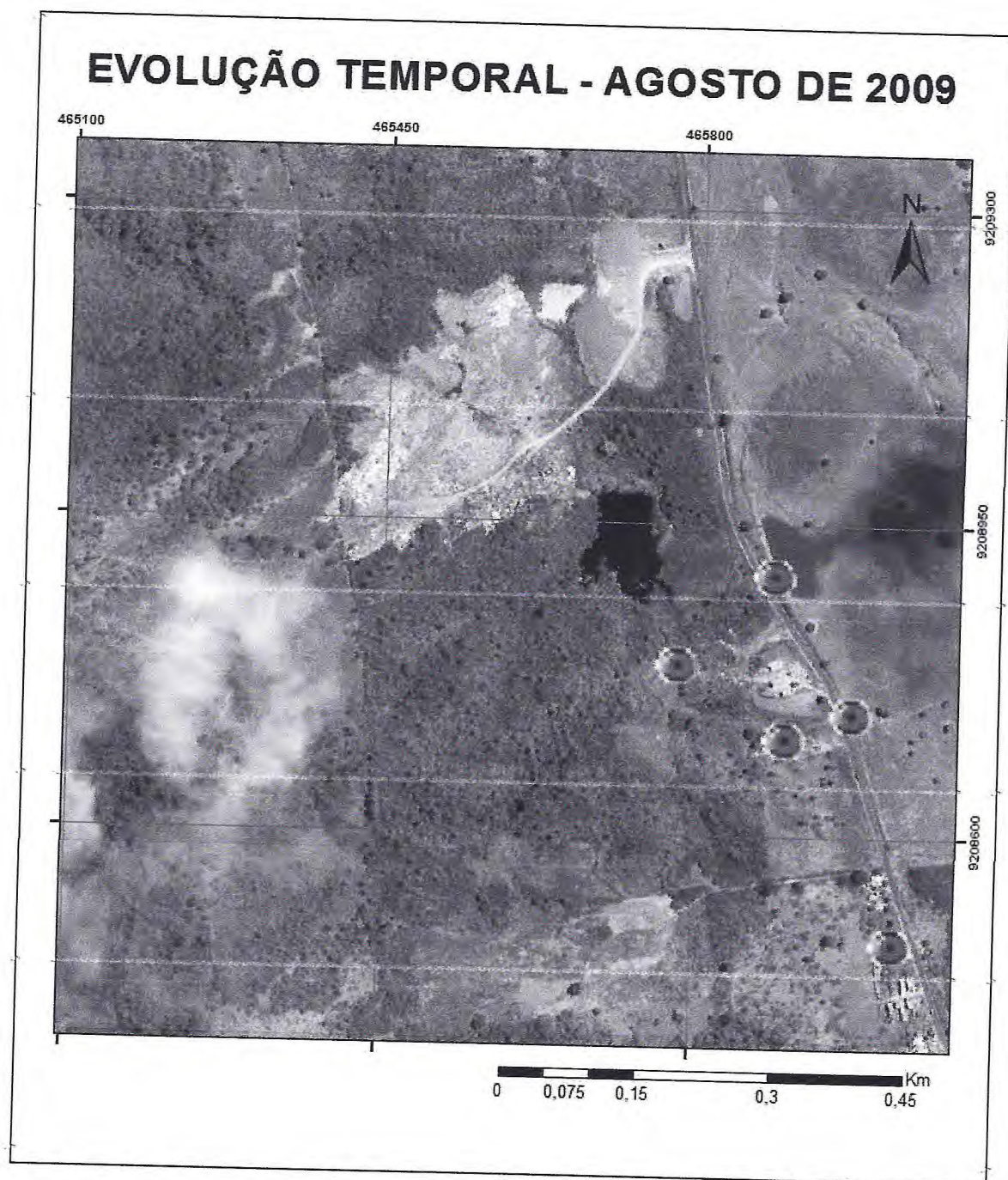


Figura 9- Imagem do Google Earth Pro® de agosto de 2009 para análise da evolução temporal do lixão. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

A expansão da área do lixão mostra-se clara na imagem de fevereiro de 2013 soterrando (com resíduos sólidos) o pequeno lago na drenagem a norte do lixão, mostrando a agressividade da atividade no local. No sul a antiga área do lixão encontra-se totalmente revegetada (Figura 10).

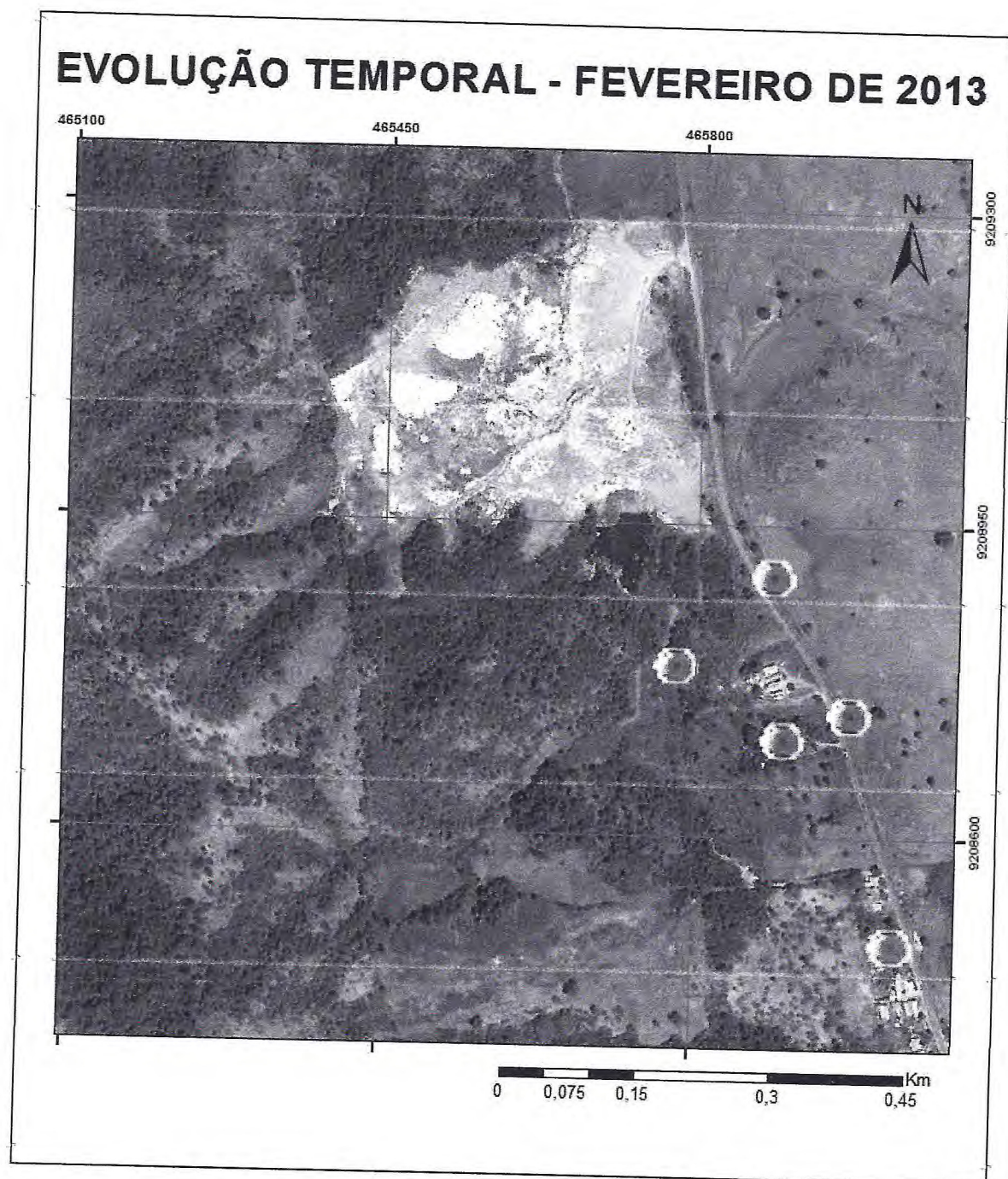


Figura 10- Imagem do Google Earth Pro® de fevereiro de 2013 para análise da evolução temporal do lixão. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

Em Setembro de 2013 apresenta uma estação de seca na região estudada e as atividades na área aumentam consideravelmente em 7 meses mostrando o soterramento (com resíduos sólidos) do lago a sul do lixão e expandindo a oeste, ocorrendo um dos anos de maior atividade na área. A antiga área ainda encontra-se destacada por diferença da vegetação (Figura 11).

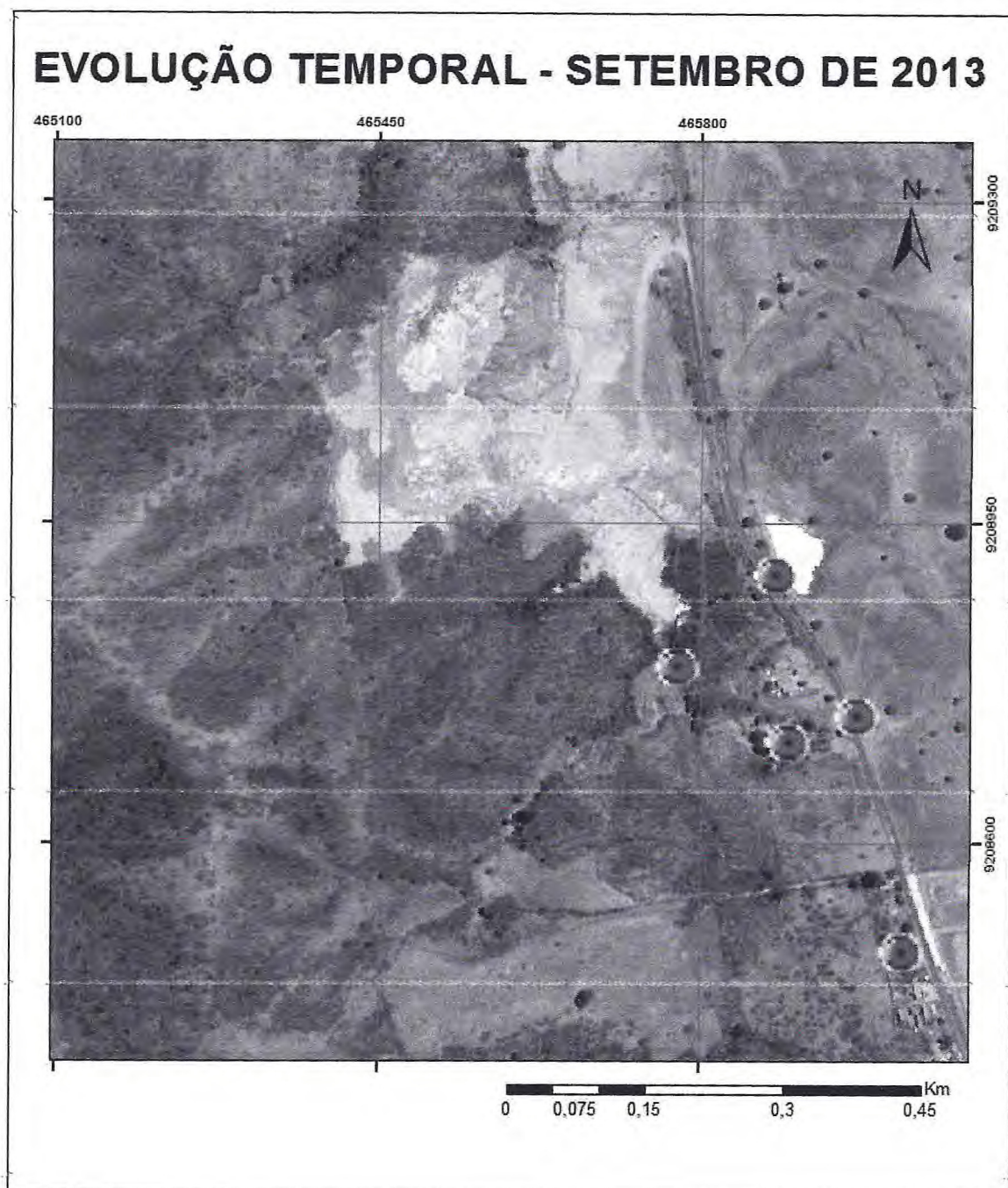


Figura 11- Imagem do Google Earth Pro® de setembro de 2013 para análise da evolução temporal do lixão. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

A imagem de agosto de 2014 mostra a maior atividade na área, represando a drenagem a sul do lixão (Figura 12). A reciclagem iniciou a partir desse período reduzindo o acúmulo de resíduos sólidos na área.



Figura 12- Imagem do Google Earth Pro® de agosto de 2014 para análise da evolução temporal do lixão. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

Por fim, a análise evolutiva temporal mostra na imagem de abril de 2016 pequenas porções de resíduos sólidos localizados a NW na área, indicando uma redução marcante de resíduos sólidos na área do lixão por intensas atividades de reciclagem (Figura 13).



Figura 13 - Imagem do Google Earth Pro® de abril de 2016 para análise da evolução temporal do lixão. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

A análise temporal do lixão mostrou que a disposição de resíduos sólidos desordenada na área alterou drasticamente a drenagem superficial, onde impede que a drenagem que existia no sentido S-N foi interrompida pela atividade agressiva na área, represando corpo d'água com os resíduos sólidos.

A Figura 14 apresenta a evolução da ocupação da área por resíduos sólidos, onde em 2003 o local ainda não apresentava acúmulo de lixo, e no ano de 2004 iniciou o processo de ocupação com 4,2 ha avançando para 11,7 ha em 2013 e sua atual situação 2016 encontra-se com 15,7 ha.

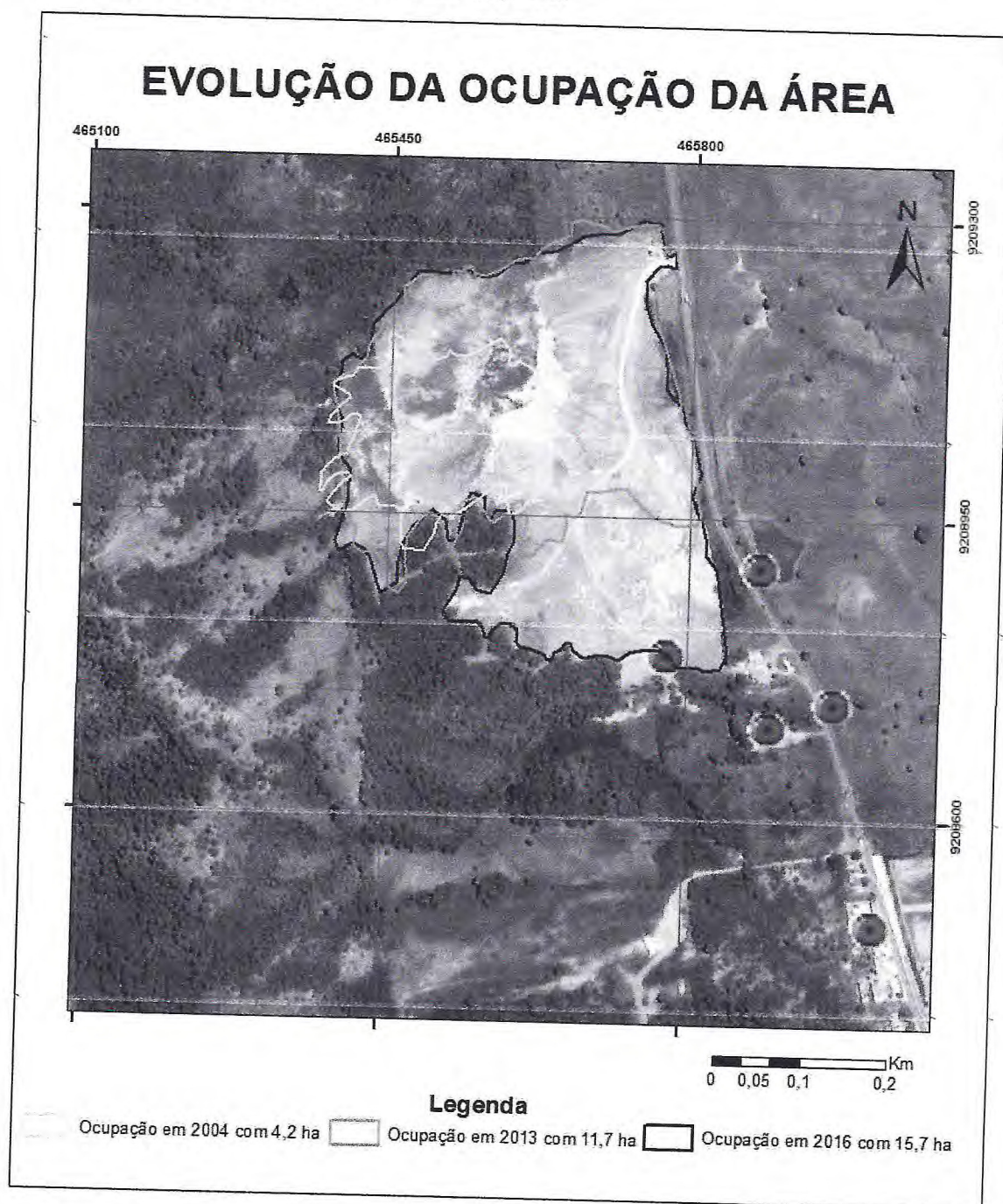


Figura 14 - Evolução da ocupação da área de 2004 a 2016. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

## 7.2. Análises Físico-químicas das águas

As coletas e análises químicas das águas foram realizadas a partir de dados de condutividade elétrica (CE), pH, temperatura (°C), turbidez e cor da água, onde as características físico-químicas são representadas a seguir:

A condutividade elétrica é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicam ambientes impactados.

A condutividade elétrica também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. Altos valores podem indicar características corrosivas da água.

Em físico-química, o pH é uma escala para medida do potencial hidrogeniônico ou potencial de hidrogênio, que indica a acidez ou basicidade de uma solução aquosa. Soluções com pH menor que 7 são ácidas, e com pH maior que 7, básicas ou alcalinas. A água pura é neutra (pH = 7), não sendo considerada ácida nem básica. Ao contrário do que é comumente dito, o valor do pH pode ser menor que 0 e maior que 14, para ácidos e bases muito fortes, respectivamente.

O pH pode ser determinado usando um medidor de pH (também conhecido como pHmetro) que consiste em um eletrodo acoplado a um potenciômetro. O medidor de pH é um milivoltímetro com uma escala que converte o valor de potencial do eletrodo em unidades de pH. Este tipo de eletrodo é conhecido como eletrodo de vidro, que na verdade, é um eletrodo do tipo "íon seletivo".

Variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termo elétrica.

A temperatura desempenha um papel crucial no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam. Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, de sova e incubação do ovo.

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (esta redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral etc.

A erosão das margens dos rios em estações chuvosas, que é intensificada pelo mau uso do solo, é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas e que exige manobras operacionais, tais como alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares, nas Estações de Tratamento de Águas. Este exemplo mostra também o caráter sistêmico da poluição, ocorrendo inter-relações ou transferência de problemas de um ambiente (água, ar ou solo) para outro.

Os esgotos domésticos e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Um exemplo típico deste fato ocorre em consequência das atividades de mineração, onde os aumentos excessivos de turbidez têm provocado formação de grandes bancos de lodo em rios e alterações no ecossistema aquático.

Alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água.

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de

parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Dentre os colóides orgânicos, podem ser mencionados os ácidos húmico e fúlvico, substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos. Também os esgotos domésticos se caracterizam por apresentarem predominantemente matéria orgânica em estado coloidal, além de diversos efluentes industriais, que contêm taninos (efluentes de curtumes, por exemplo), anilinas (efluentes de indústrias têxteis, indústrias de pigmentos etc.), lignina e celulose (efluentes de indústrias de celulose e papel, da madeira etc.).

Há também compostos inorgânicos capazes de causar cor na água. Os principais são os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes em diversos tipos de solo. Alguns outros metais presentes em efluentes industriais conferem-lhes cor, mas, em geral, íons dissolvidos pouco ou quase nada interferem na passagem da luz.

O problema maior de cor na água é, em geral, o estético, já que causa um efeito repulsivo na população.

É importante ressaltar que a coloração, realizada na rede de monitoramento, consiste basicamente na observação visual do técnico de coleta no instante da amostragem.

Como descrito anteriormente, fizemos as primeiras análises *in situ* assim obtendo resultados de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e pH. A média total das temperaturas medidas foi de  $30,51^{\circ}\text{C}$ , havendo variação de menos de  $5^{\circ}\text{C}$  entre as amostras, que pode ter sido influenciado pelo período de coleta (manhã e tarde) (Figura 15).

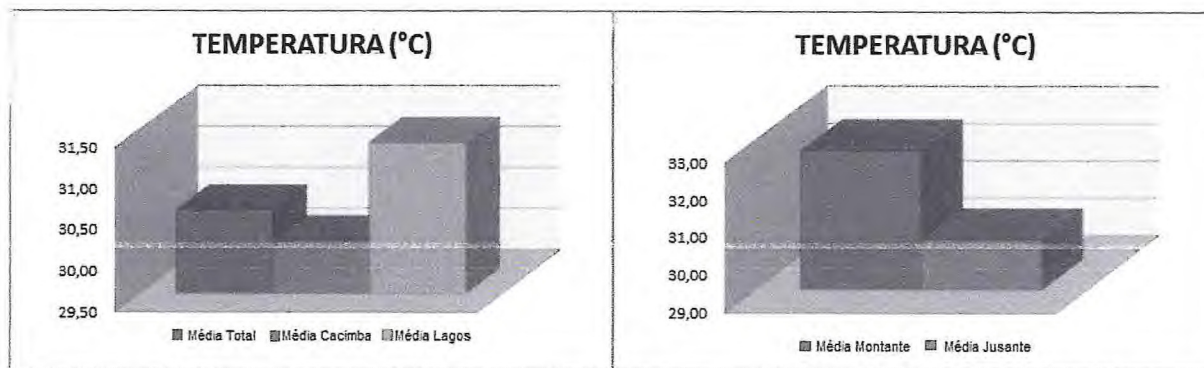


Figura 15 - Registro dos valores de médias para temperatura das amostras nos pontos devidamente coletados separados em (cacimbas e lagos) e (Montante e jusante do lixão). (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

A média total da condutividade elétrica é de 394,46  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sendo que a média para amostras de cacimba foi superior à média total, obtendo-se o valor de 463,88  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A média de condutividade para jusante foi bastante elevada em relação a montante, o que indica contaminação devido ao lixão (Figura 16).

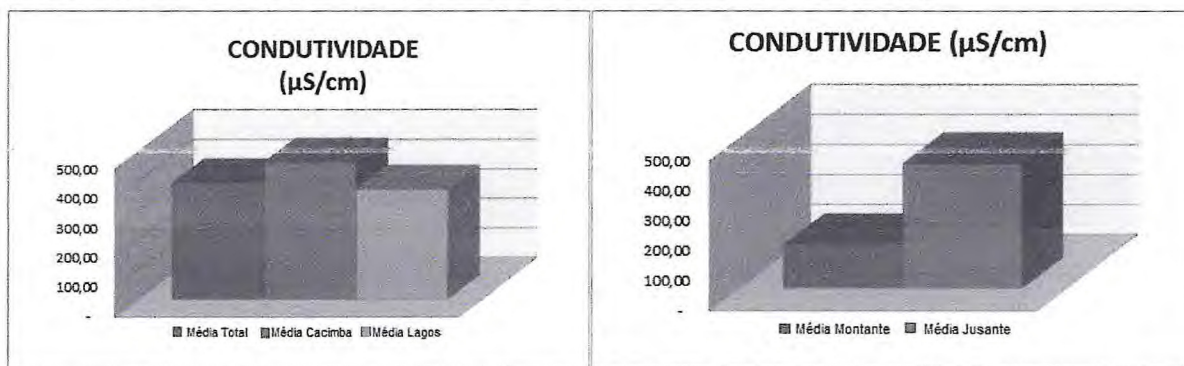


Figura 16- Registro dos valores de médias para condutividade elétrica das amostras nos pontos devidamente coletados separados em (cacimbas e lagos) e (Montante e jusante do lixão). (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

As medidas de pH das amostras variaram de 6,3 a 8,8, onde a média do pH calculado para as águas da cacimba é 7,6 e a média das águas dos lagos é 8,3. Em relação ao pH da montante do lixão encontra-se superior ao pH da jusante. (Figura 17).

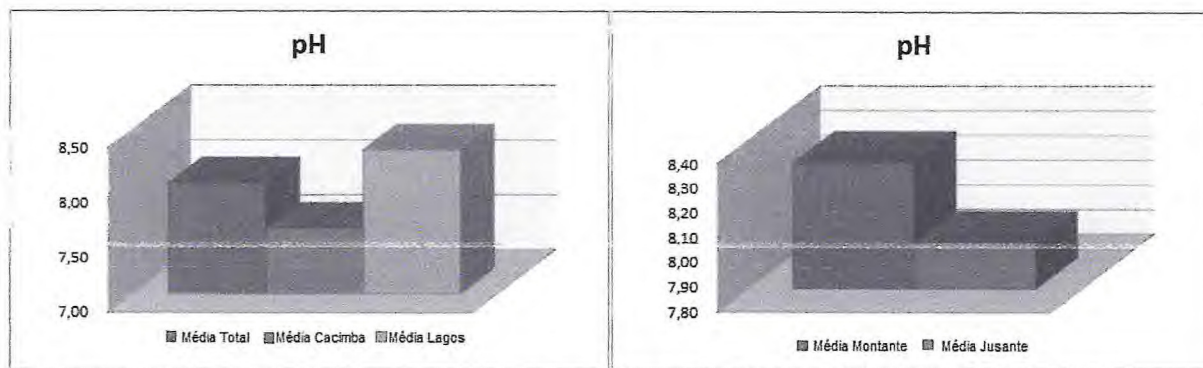


Figura 17- Registro dos valores de médias para pH das amostras nos pontos devidamente coletados separados em (cacimbas e lagos) e (Montante e jusante do lixão). (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

### 7.2.1. Sólidos totais dissolvidos

Sólidos Totais Dissolvidos (STD) corresponde ao peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume, ou seja, representa a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil.

A Condutividade Elétrica (CE) guarda uma estreita relação com STD. Na maioria das águas subterrâneas naturais, a CE da água, multiplicada por um fator que varia entre 0,55 e 0,75, gera uma boa estimativa de STD (SANTOS, A.C. in Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações, 1997). Para águas salinas o fator é, usualmente, maior que 0,75 e, para águas ácidas, normalmente, é menor que 0,55.

Neste programa é empregado um valor médio (0,65) considerado bom principalmente para a região nordeste, de clima quente.

Com base no STD estimado é apresentada a seguinte classificação.

Tabela 3 - Resolução CONAMA 357/2005.

Tipo de Águas	STD (mg/L)
Doce	0 – 500
Salobra	500 – 1500
Salgada	> 1500

Águas com STD superior a 35.000 mg/L são consideradas Salmouras (ex: águas marinhas).

Na Figura 18 mostra a distribuição das amostras na classificação do tipo de águas, onde obtivemos que 12 amostras classificam-se como água doce e 1 amostra classifica-se como água salobra.

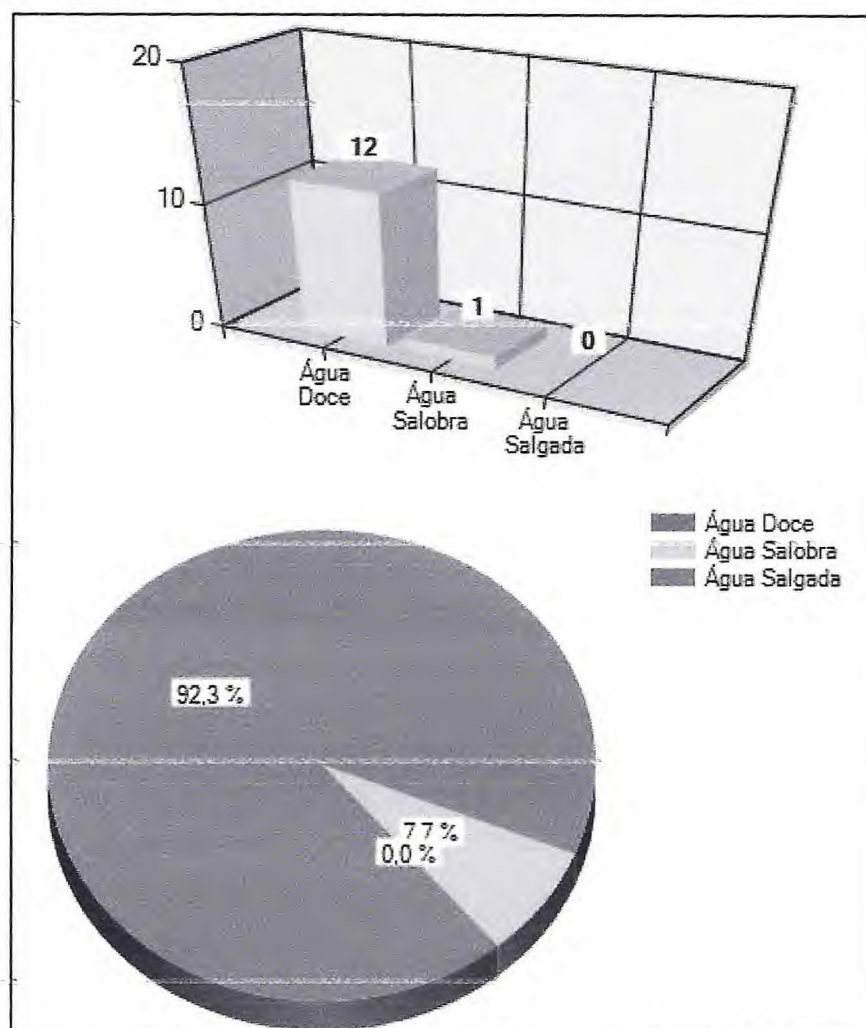


Figura 18 - Classificação em relação aos sólidos totais dissolvidos. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

### 7.2.2. Salinização

Razão de Adsorção de Sódio (RAS) é utilizada, juntamente com a condutividade elétrica, para a classificação da água para fins de irrigação. Quanto maior o RAS menos apropriada a água será para irrigação.

O RAS é uma razão que indica a percentagem de sódio contido numa água que pode ser adsorvido pelo solo.

A classificação das águas para irrigação é determinada pela concentração de alguns íons, tais como o sódio, potássio, cloreto, sulfato e borato, e parâmetros como os sais dissolvidos, condutividade elétrica e a concentração total de cátions, que influenciam de maneira diferenciada no crescimento de cada espécie vegetal.

Dentre os critérios para classificação da água para fins de irrigação, um dos mais aceitos atualmente é a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL). Esta classificação baseia-se na razão de adsorção de sódio (SAR) e na condutividade elétrica da água.

Tabela 4 - Representação de risco de sódio (S) e salinização (C).

<i>Risco de Sódio</i>				<i>Risco de Salinização</i>		
	Classe	Nº	%	Classe	Nº	%
▶	S1	0	0,0	C0	0	0,0
	S2	0	0,0	C1	4	31,0
	S3	0	0,0	C2	8	62,0
	S4	0	0,0	C3	1	8,0
				C4	0	0,0
				C5	0	0,0

C0: águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação;

C1: águas de salinidade fraca, CE compreendida entre 100 e  $\mu\text{mhos/cm}$  a 25° C (sólidos dissolvidos: 64 a 160 mg/L). Podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de incidentes provenientes da salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca;

C2: águas de salinidade média, CE entre 250 e 750  $\mu\text{mhos/cm}$  a 25°C (sólidos dissolvidos: 160 a 480 mg/L). Devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo. Os vegetais de fraca tolerância salina podem ainda serem cultivados na maioria dos casos;

C3: águas de alta salinidade, CE entre 750 e 2250  $\mu\text{mhos/cm}$  a 25° C (sólidos dissolvidos: 480 a 1440 mg/L). Só Podem ser utilizadas em solos bem drenados. Mesmo em solos bem cuidados, devem ser tomadas precauções especiais para

evitar a salinização, e apenas os vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados;

C4: águas de salinidade muito alta, com CE entre 2250 e 5000  $\mu\text{mhos/cm}$  a 25°C (sólidos dissolvidos: 1440 a 3200 mg/L). Geralmente não servem para irrigação, podendo ser, excepcionalmente, utilizadas em solos arenosos permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados. Apenas os vegetais de altíssima tolerância salina podem ser cultivados nestas condições;

C5: águas de salinidade extremamente alta, CE entre 5000 e 20000  $\mu\text{mhos/cm}$  a 25° C (sólidos dissolvidos: 3200 a 12800 mg/L). Sãoguas utilizáveis apenas em solos excessivamente permeáveis e muito bem cuidados. A única exceção , o cultivo de palmeiras.

Como não fizemos análise para sódio só iremos considerar a concentração de sólidos totais nas amostras e apresentar o risco de salinidade (C) na Figura 19.

Observamos 4 amostras na classe C1 (azul), 8 amostras na classe C2 (verde) e 1 amostra na classe C3 (amarelo).

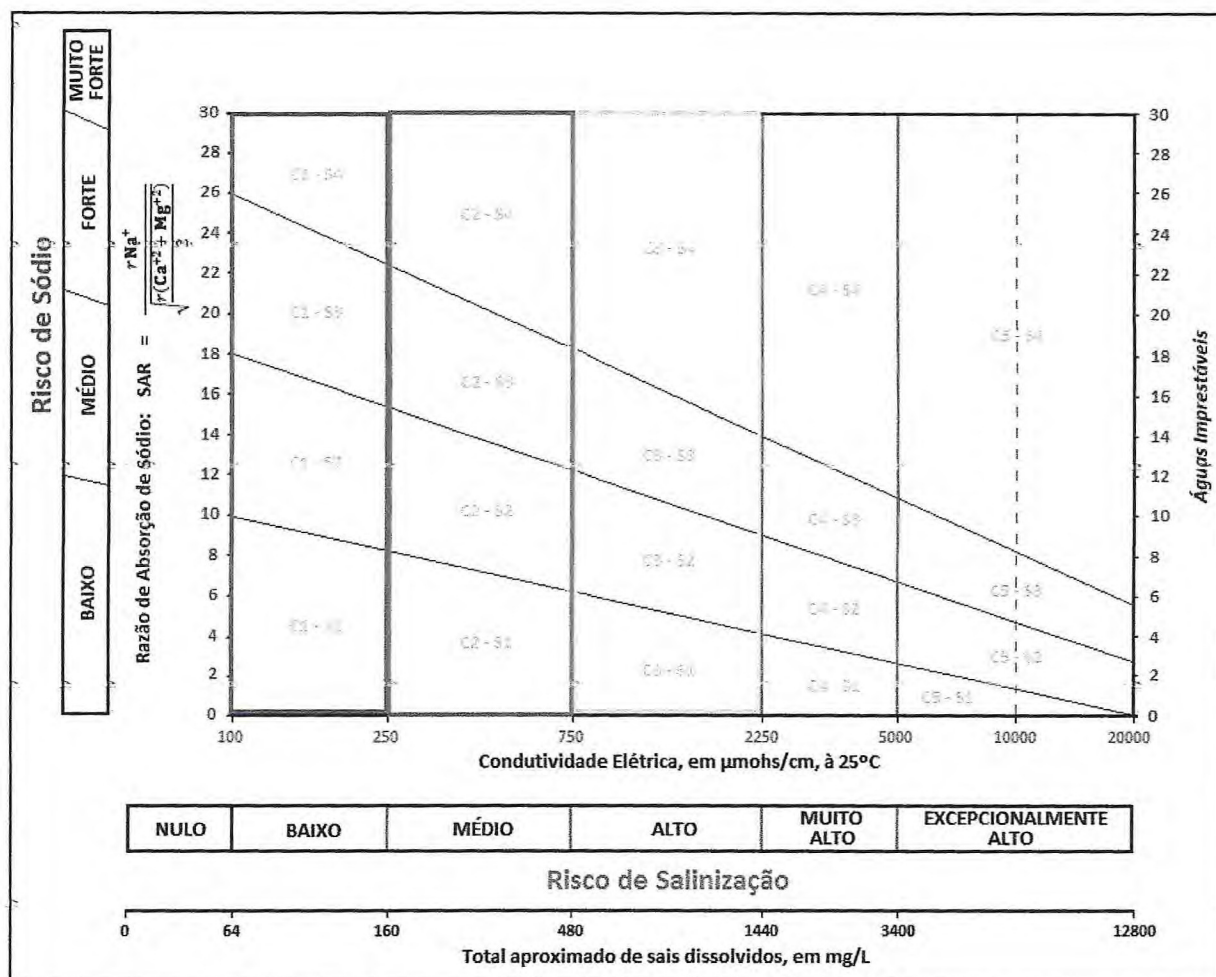


Figura 19 - Representação da distribuição das amostras, 4 amostras no C1 (azul) baixo risco de salinização, 8 amostras na C2 (verde) médio risco de salinização e 1 amostra no C3 (amarelo) alto risco de salinização. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

As amostras apresentam de baixo a alto risco de salinização e podem ser utilizadas em solos para cultivos de tolerante a muito tolerante a salinização. A maioria das amostras coletadas não está disponível para consumo humano, todavia podem ser usados para cultivo de espécies como aspargo, espinafre, algodão, cevada, etc.

### 7.3. Fluxo de contaminação

O fluxo de contaminação da região estudada mostra-se em uma direção preferencial para NE, onde observamos pelos dados coletados e o relevo modelado

no Surfer. O fluxo também é influenciado pela antiga drenagem que existia antes da instalação do lixão com sentido S-N.

Com o programa Surfer® conseguimos elaborar a partir dos pontos coletados um modelo de elevação em 2D e 3D, o fluxo superficial e subsuperficial como apresenta as Figuras 20, 21 e 22.

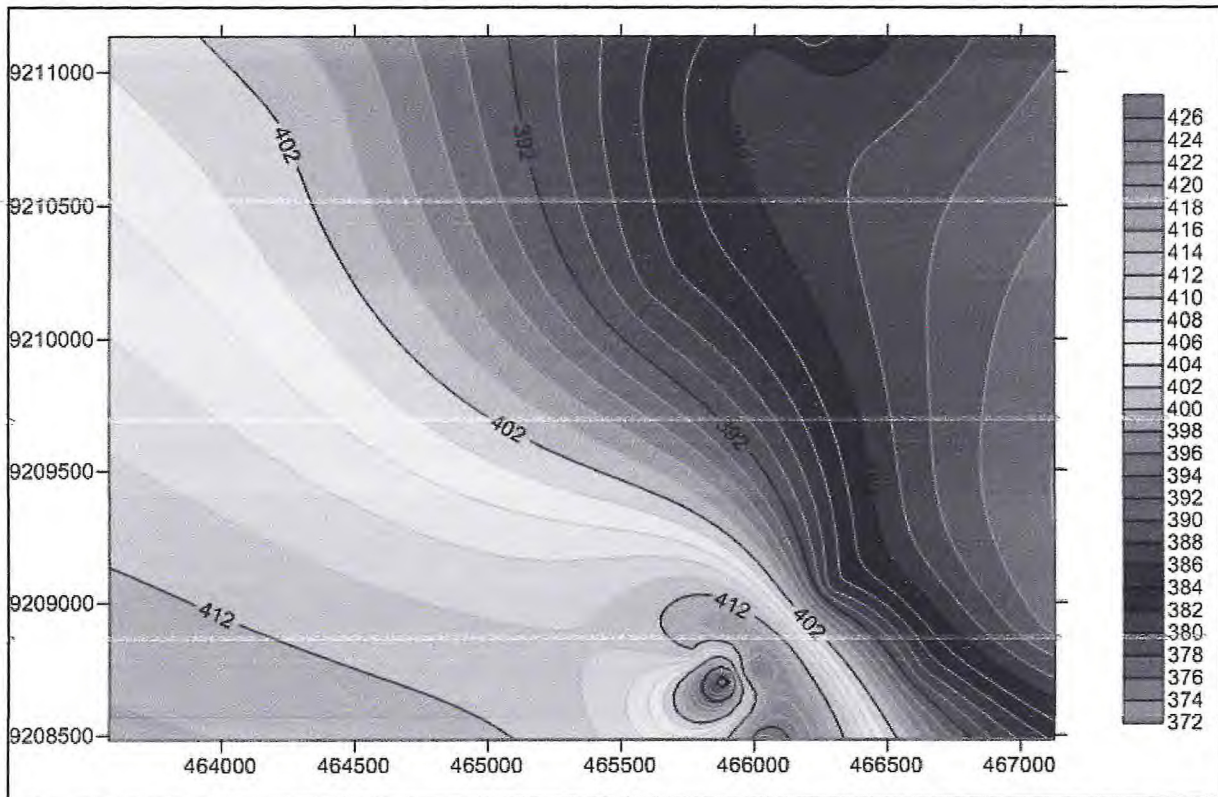


Figura 20 - Modelo de elevação em 2D da área de influência. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

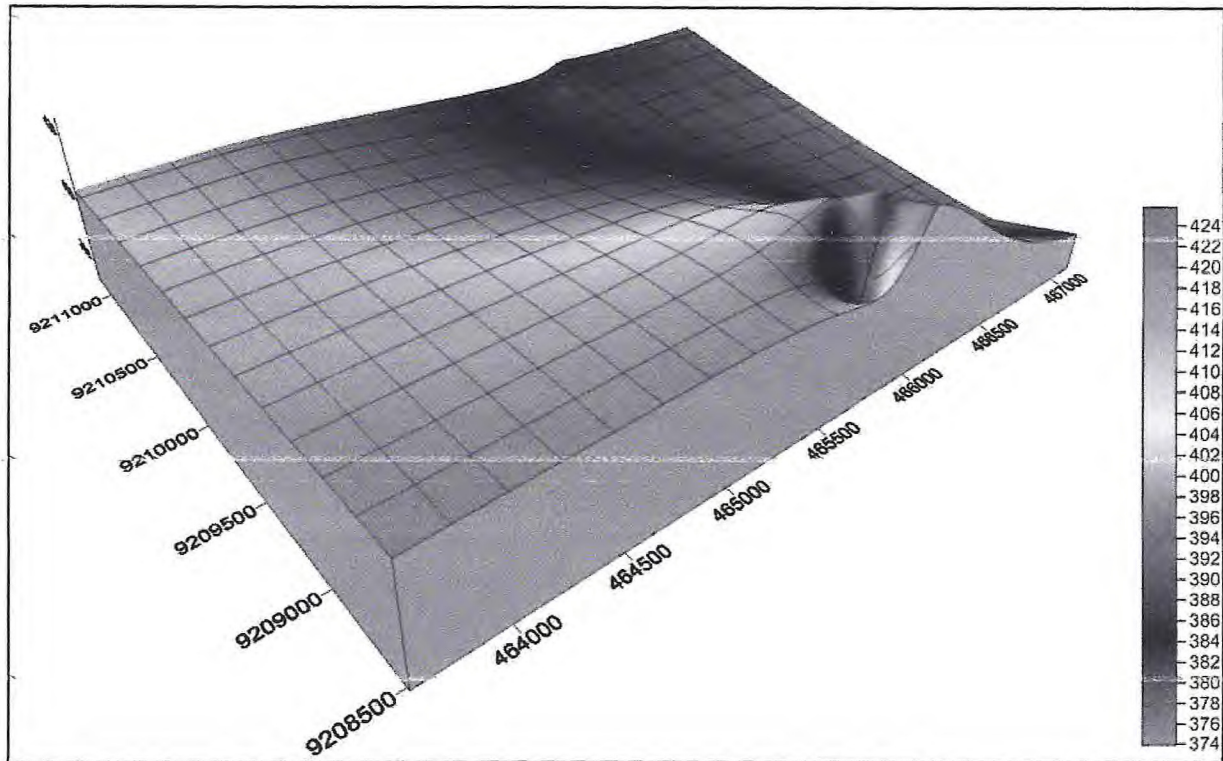


Figura 21 - Modelo de elevação em 3D da área de influencia. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

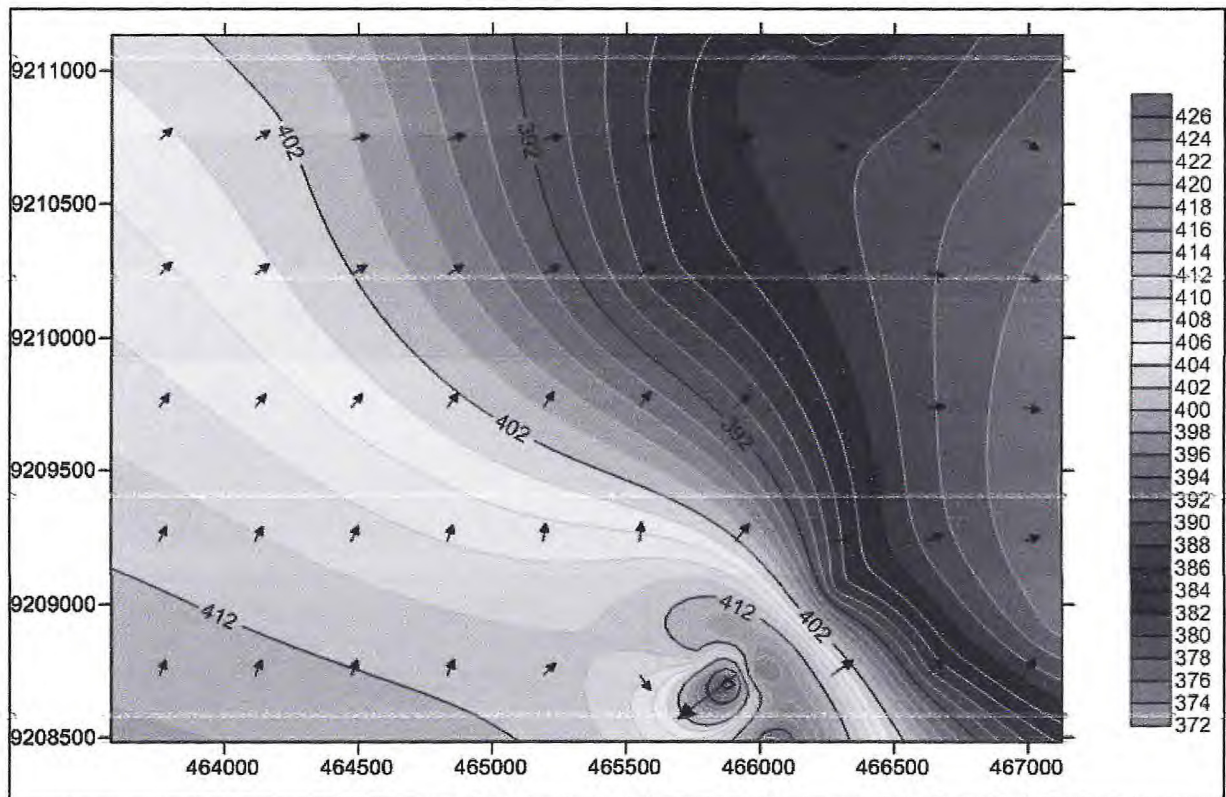


Figura 22 - Modelo de elevação em 2D com o fluxo superfície e subsuperfície. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

#### 7.4. Precipitação

A coleta no rio Batalheiras foi impossibilitada, por encontra-lo totalmente seco, com apenas pequenas poças d'água em seu curso (Figura 23). O leito do rio apresenta ressecado e com pequenas gretas de ressecamento, evidenciando um período de ausência de chuvas.



Figura 23 - Rio batalheiras seco. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

Essa ausência de chuva pode ser observada no gráfico abaixo (Figura 24), onde mostra que nos últimos anos a precipitação de chuva encontra-se abaixo do esperado na região.

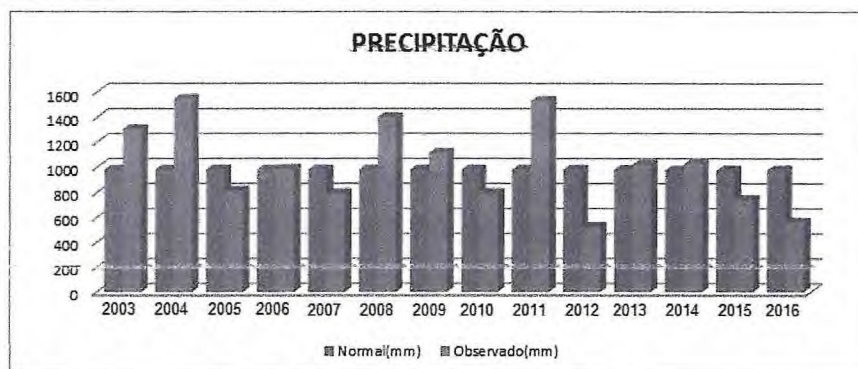


Figura 24 - Gráfico de precipitação anual da cidade de Juazeiro do norte entre 2003 a 2016. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

## 7.5. Situação atual

Atualmente o lixão encontra-se em um processo de reciclagem dos resíduos sólidos que são despejados diariamente no local, o material reciclável tem destino para a empresa de reciclagem Arplast Recicláveis que se encontra a 3 km de distância do lixão (Figura 24A).

A área do lixão esta com aproximadamente 16 hectares, mas com poucos locais de deposição de resíduos sólidos e área sendo soterrada pelo lixo (Figura 24).



Figura 25 - (A) Material reciclável com destino para a Arplast recicláveis. (B) Área total do lixão. (C) Pequenas porções de acúmulo de resíduos sólidos. (D) Soterramento por lixo. (Fonte: Autores Santos & Lage, 2016).

## 8. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A sub-bacia rio batalheiras, integrante da bacia hidrográfica do rio salgado, está localizada próximo à zona urbana de Juazeiro do Norte. Quanto ao seu uso e ocupação destacam-se em sua maioria residências. Ao longo do rio encontra-se em

sua proximidade o lixão da cidade de Juazeiro do Norte, onde são depositados os resíduos sólidos da mesma e cidades vizinhas.

O motivo principal para realização desse trabalho foi investigar a influência que o lixão possui nas águas superficiais e subterrâneas da região, com ênfase nas proximidades do mesmo. Uma vez que essas águas poderiam apresentar alto risco de contaminação, conseqüentemente causar danos à população que utilizam desse recurso.

Todos os objetivos em questão obtiveram respostas satisfatórias, onde temos resultados esclarecedores como imagens de satélite de alta resolução para monitorando a dimensão do lixão/aterro no intervalo do ano de 2003 a 2016; onde analisamos a evolução da dimensão do lixão e o soterramento da drenagem superficial que existia no local de instalação do lixão. Foram realizados estudos sobre a drenagem superficial da área, onde foi possível descobrir o sentido do fluxo das águas; as drenagens superficiais foram realizadas através do surfer e obtivemos sentido preferencial NE. Foram Coletadas amostras de água nos entornos do lixão e realizado análises químicas, que revelou alta condutividade elétrica nas proximidades do lixão indicando sólidos dissolvidos. Os softwares utilizados foram Qualigraf e Surfer, onde foi possível analisar a qualidade dessas amostras de água através de métodos como Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e mapa de direção de fluxo.

A qualidade da água da sub-bacia rio batalheira sofre influência indireta da deposição de resíduos sólidos do lixão. A variável química mostra que todos os corpos hídricos próximos ao lixão encontram-se em processo de contaminação. As amostras coletadas encontra-se nas classes 1 e 2 respectivamente água doce e salobra do padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Essas alterações são atribuídas à disposição continua de poluentes.

Levando em conta o que foi analisado, percebe-se que, as águas subterrâneas e superficiais da área estudada na Bacia do Araripe, estão sendo contaminadas pela deposição inadequada dos resíduos sólidos depositados no lixão, gerando fluidos (chorume) que esta em contato com as águas subterrâneas e superficiais no seu entorno.

Contudo, para o melhor entendimento dos danos causados pelo lixão, é necessário que seja feita uma análise mais refinada quanto a elementos químicos dissolvidos na água, metais pesados e coliformes, assim podendo desvendar o potencial de contaminação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSINE, M. L. Sedimentação e tectônica da Bacia do Araripe (Nordeste do Brasil). 1990. 124 p. il. tese (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1990.
- BEURLEN, K. 1962. A geologia da Chapada do Araripe. An. Acad. bras. Cienc., 34(3):365-370.
- BRAUN, O.P.G. 1966. Estratigrafia dos Sedimentos da Parte Inferior da Região Nordeste do Brasil (Bacias do Tucano-Jatobá, Mirandiba e Araripe). Rio de Janeiro, DNPM/DGM. 75 p. (Boletim 236).
- BRITO, LM. 1987. As unidades litoestratigráficas da passagem Jurássico-Cretáceo do Nordeste do Brasil. Rev. Bras. Geoc., 17(2):81-85.
- CPRM, Geobank – Disponível em: <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em 4 de dezembro de 2015.
- CPRM, SIAGAS – Disponível em: <[http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php)>. Acesso em 4 de dezembro de 2015.
- FEITOSA, M.C. 1987. Fases Sedimentares e Modelo Depositional dos Arenitos Inferiores do Vale do Cariri. Recife. 73 p. (Dissertação de Mestrado, UFPE).
- FISHER, W.L. & BROWN L.F., Jr. 1972. Clastic Depositional Systems: a Genetic Approach to Facies Analysis. Austin, Univ. Texas/Bur. Econ. Geol. 211 p.
- Funcema, calendário de chuvas – Disponível em: <<http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/maxima/anual>>. Acesso em 20 de Junho de 2016.
- Funcema, Qualigraf – Disponível em: <<http://www3.funceme.br/qualigraf/>>. Acesso em 20 de Junho de 2016.
- MABESOONE, J.M. & TINOCO, LM. 1973. Paleogeography of Aptian Santana Formation (Northeastern Brazil). Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol., 14(2):87-118.
- MARTINS-NETO, R.G. 1990. Sistemática dos Ensifera (Insecta, Orthopteroidea) da Formação Santana, Cretáceo Inferior do Nordeste do Brasil. São Paulo. 267 p. (Dissertação de Mestrado, IG/USP).
- PONTE, F. C. & APPI, C.J. 1990. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. In: CONOR. BRAS. GEOL., 36. Natal, 1990. Anais... Natal, SBG. v.I. p. 211-226.

Resolução CONAMA Nº 357/2005 - Data da legislação: 17/03/2005 - Publicação  
DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63.