

UNIVERSIDADE FUMEC  
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA – FEA

Camilla Moreira Guimarães  
Giulia Gomes Ferreira Lodi  
Letícia Capanema Ribeiro  
Luísa Porto Moreira  
Rafaela Primo Fernandes Pereira

**ANTEPROJETO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CHORUME DE UM  
ATERRO SANITÁRIO EM ESMERALDAS/MG**

Professora orientadora: Me. Paula Regina Balabram

Belo Horizonte  
Novembro de 2017

Camilla Moreira Guimarães  
Giulia Gomes Ferreira Lodi  
Leticia Capanema Ribeiro  
Luísa Porto Moreira  
Rafaela Primo Fernandes Pereira

**ANTEPROJETO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CHORUME DE UM  
ATERRO SANITÁRIO EM ESMERALDAS/MG**

Trabalho Final de Curso apresentado à  
Faculdade de Engenharia e Arquitetura da  
Universidade Fumec, como requisito parcial  
para conclusão do curso de Engenharia Civil.

Prof.<sup>a</sup> Orientadora: Me. Paula Regina Balabram

Belo Horizonte

Novembro de 2017

---

Camilla Moreira Guimarães

---

Giulia Gomes Ferreira Lodi

---

Leticia Capanema Ribeiro

---

Luísa Porto Moreira

---

Rafaela Primo Fernandes Pereira

**ANTEPROJETO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CHORUME DE UM  
ATERRO SANITÁRIO EM ESMERALDAS/MG**

---

Me. Paula Regina Balabram  
Universidade Fumec

---

Me. Fernando César Sotero Sbampato  
Universidade Fumec

---

Dra. Janaina Kizzi de Morais Silva  
Universidade Fumec

---

Enid Brandão Carneiro Drumond  
Prof.(a) Coordenadora da Disciplina

Belo Horizonte

Novembro de 2017

## **AGRADECIMENTOS**

À professora e orientadora Paula Balabram, pela constante paciência e dedicação.

Ao professor Eduardo Carneiro pelos conhecimentos cedidos que tanto incrementaram no desenvolvimento do trabalho.

Ao Júlio Cesar (*in memoriam*), pelas informações fornecidas e pelo entusiasmo diante das possibilidades de melhoria para o município de Esmeraldas.

À engenheira civil Livia Ganem por toda a ajuda e pelo material fornecido, essenciais na elaboração do anteprojeto.

À Marca Ambiental, pelos dados cedidos e pela cooperação durante o estudo.

## RESUMO

O trabalho acadêmico apresentado foi desenvolvido como requisito para conclusão do curso de Engenharia Civil pela Universidade FUMEC. No 8º período o grupo elaborou o PIN – Projeto Integrado, que compreendeu um diagnóstico do município de Esmeraldas. Através dele foi possível detectar algumas fragilidades quanto a infraestrutura existente e dentre elas foi destacada a forma de deposição dos resíduos sólidos. Assim, o PIN foi utilizado como referência para elaboração deste presente trabalho que tem como principal objetivo apresentar um anteprojeto de uma estação de tratamento de chorume de um aterro sanitário para o município de Esmeraldas/MG. O trabalho é dirigido aos alunos do curso de engenharia civil e também à população de Esmeraldas, com o propósito de propiciar um tratamento adequado para o chorume que é gerado em um aterro no município e gerar renda através da produção de água desmineralizada. Foram usadas fontes de consulta bibliográficas digitais, arquivos e documentos impressos na elaboração do presente estudo. Ademais, houve visita técnica que permitiu consulta a moradores, líderes comunitários e prestadores de serviço de Esmeraldas, que subsidiaram no desenvolvimento deste trabalho, fornecendo informações essenciais para a elaboração do anteprojeto.

**Palavras-chave:** Tratamento de Chorume. PIN. Esmeraldas. Aterro Sanitário.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Aterro Sanitário .....	15
Quadro 01 – Principais tipos de tratamento biológico .....	21
Quadro 02 – Características dos processos por separação de membranas .....	23
Figura 02 – Comparação entre sistemas de filtração .....	24
Figura 03 – Sistema de RO portátil .....	25
Figura 04 – Sistema de RO PROFlex Series GE Water .....	25
Figura 05 – Processo de eletrodialise .....	29
Figura 06 – Tratamento primário no Aterro de Gramacho .....	32
Figura 07 – Tratamento secundário no Aterro de Gramacho .....	32
Figura 08 – Tratamento terciário no Aterro de Gramacho .....	33
Mapa 01 – Mapa de Localização do aterro controlado .....	35
Mapa 02 – Tipologia dos solos .....	36
Imagem 01 – Solo Podzólico Vermelho Amarelo .....	37
Planta 01 – Planta Topográfica .....	38
Mapa 03 – Mapa Hipsométrico .....	39
Foto 09 – Processo de gradeamento .....	41
Foto 10 – Retenção de sólidos no gradeamento .....	41
Figura 09 – Sequência de tratamento .....	44
Gráfico 01 – Comparação entre métodos de cálculo .....	45
Gráfico 02 – Precipitação média mensal de Esmeraldas/MG .....	46

Figura 10 – Vistas do gradeamento .....	50
Figura 11 – Esquema da circulação da eletrodialise .....	54
Figura 12 – Esquema do filtro bag Laffi.....	55
Imagem 02 – Localização da estação de tratamento de chorume. ....	57
Quadro 03 – Parâmetros para reuso.....	58

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 01 – Concentração de substâncias no chorume (continua).....	16
Tabela 01 – Concentração de substâncias no chorume (final).....	17
Tabela 02 – Coeficiente de compactação .....	46

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APP	Área de Preservação Permanente
CP	Cimento Portland
COT	Carbono Orgânico Total
D	Diálise
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ED	Eletrodiálise
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos Sanitários
FEA	Faculdade de Engenharia e Arquitetura
Fumec	Fundação Mineira de Educação e Cultura
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	Organização Internacional de Normalização
MF	Microfiltração
NaOH	Hidróxido de Sódio
NBR	Norma Brasileira Registrada
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIN	Projeto Integrado
PVC	Policloreto de Polivinila
RO	Osiose Reversa
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
Tecma	Tecnologia em Meio Ambiente Ltda
UF	Ultrafiltração

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	12
2.	REFERENCIAL TEÓRICO .....	14
2.1.	Deposição dos resíduos sólidos.....	14
2.2.	Chorume.....	16
2.2.1.	<i>Cálculo da vazão do chorume</i> .....	18
2.2.1.1.	<u>Método Suíço</u> .....	18
2.2.1.2.	<u>Método Racional</u> .....	18
2.2.1.3.	<u>Método do Balanço Hídrico</u> .....	19
2.2.2.	<i>Tratamento do chorume</i> .....	20
2.2.2.1.	<u>Tratamento biológico</u> .....	21
2.2.2.2.	<u>Tratamento físico e químico</u> .....	22
2.2.2.3.	<u>Osmose Reversa</u> .....	23
2.2.2.4.	<u>Eletrodialise</u> .....	26
3.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	27
4.	ESTUDOS DE CASOS.....	28
4.1.	Aterro sanitário Marca Ambiental .....	28
4.2.	Aterro sanitário de Gramacho - RJ .....	30
4.2.1	<i>Etapa primária</i> .....	31
4.2.2	<i>Etapa secundária</i> .....	32
4.2.3	<i>Etapa terciária</i> .....	33
5.	ANTEPROJETO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CHORUME	34
5.1.	Caracterização da área.....	34
5.2.	Definição dos tratamentos a serem utilizados .....	39
5.2.1.	<i>Definição dos processos de tratamento</i> .....	40

<b><u>5.2.1.1. Tratamento preliminar</u></b> .....	40
<b><u>5.2.1.2. Tratamento primário</u></b> .....	41
<b><u>5.2.1.3. Tratamento secundário</u></b> .....	43
<b><u>5.2.1.4. Disposição final dos resíduos</u></b> .....	44
5.3. Cálculo da vazão de chorume .....	44
5.4. Dimensionamento dos dispositivos de tratamento .....	47
5.4.1. <i>Dimensionamento das tubulações</i> .....	47
<b><u>5.4.1.1. Trecho 1 – Espinha de peixe para o gradeamento</u></b> .....	48
<b><u>5.4.1.2. Trecho 2 – Gradeamento para a Calha Parshall</u></b> .....	48
<b><u>5.4.1.3. Trecho 3 – Calha Parshall para o tanque de NaOH</u></b> .....	49
<b><u>5.4.1.4. Trecho 4 – Tanque de NaOH para o tanque de clarificação</u></b> .....	49
<b><u>5.4.1.5. Trecho 5 – Tanque de clarificação para eletrodialise</u></b> .....	49
<b><u>5.4.1.6. Trecho 6 – Eletrodialise para filtro</u></b> .....	49
<b><u>5.4.1.7. Trecho 7 – Filtro para calha Parshall</u></b> .....	49
<b><u>5.4.1.8. Trecho 8 – Calha Parshall para o tanque de armazenamento de água</u></b> ..	50
5.4.2. <i>Gradeamento</i> .....	50
5.4.3. <i>Calhas Parshall</i> .....	52
5.4.4. <i>Tanque de hidróxido de sódio (NaOH)</i> .....	52
5.4.5. <i>Tanque de clarificação</i> .....	53
5.4.6. <i>Dispositivo de eletrodialise</i> .....	53
5.4.7. <i>Filtro</i> .....	54
5.4.8. <i>Tanque de armazenamento de água</i> .....	56
5.5. Anteprojeto .....	56
5.6. Reuso da água .....	57
5.6.1. <i>Reuso para fins não potáveis</i> .....	58
5.6.2. <i>Reuso industrial</i> .....	59

<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>61</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>
	<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>67</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>74</b>
	<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>76</b>
	<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>78</b>
	<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>80</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>82</b>
	<b>ANEXO B .....</b>	<b>84</b>
	<b>ANEXO C .....</b>	<b>87</b>
	<b>ANEXO D .....</b>	<b>89</b>
	<b>ANEXO E .....</b>	<b>90</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Localizado na região sudeste do Brasil, no estado de Minas Gerais encontra-se o município de Esmeraldas. Segundo As Minas Gerais (2016) e o IBGE (2016), o município se distancia a aproximadamente 63 km da capital do estado e pertence à zona metropolitana de Belo Horizonte.

Segundo dados dos censos realizados pelo IBGE (2016), o município de Esmeraldas vem acompanhando um grande aumento populacional. Considerando o censo de 1991 e a estimativa populacional de 2015, a população do município quase triplicou. O censo de 1991 do IBGE levantou para a cidade uma população de 24.298 habitantes. Já em 2000, este número era 47.090 e passou para 60.271 no censo de 2010. Este crescimento foi acompanhado de um adensamento urbano. Em 1991, Esmeraldas possuía mais de 70% de sua população nas áreas rurais, porém, devido à expansão da área urbana, este cenário mudou nos últimos 25 anos, e a população rural de Esmeraldas acabou sendo englobada pela urbanização.

Devido ao crescimento descontrolado e sem planejamento, Esmeraldas sofre com diversos problemas de infraestrutura e de âmbito social. Entre estes problemas encontra-se o local do descarte de resíduos sólidos, sendo que o local onde eles são depositados é erroneamente chamado de aterro controlado. Segundo informações verbais da coordenadora do meio ambiente de Esmeraldas, Érica: “Todo resíduo do município com exceção do resíduo hospitalar vai para o lixão, sem nenhum tipo de tratamento. Não é pesado, não é separado, não existe nenhum tipo de tratamento do chorume”. Assim, a forma precária e insalubre de deposição do lixo não atende às exigências federais e pode trazer inúmeros problemas para as famílias instaladas nos arredores e também desvalorizar a área onde está instalado um dos parques industriais do município, chamado de Fernão Dias.

O chorume produzido pelos resíduos sólidos é um líquido altamente poluente que pode contaminar o lençol freático e o solo. Segundo o Jornal Estado de Minas (2010) foi realizada uma perícia da polícia civil no lixão, inadequadamente chamado de Aterro Controlado de Esmeraldas, que concluiu que o lençol freático do local já havia sido comprometido. Esta contaminação faz com que a água não seja própria para o consumo, impedindo até mesmo a agricultura.

Visando propiciar um tratamento adequado para o chorume que é gerado no município, o presente trabalho apresenta um anteprojeto de uma estação de

tratamento de chorume de um aterro sanitário que deverá ser executado no local e cujo produto final é a água pura. A produção de água é também um potencial econômico, uma vez que pode ser vendida e utilizada no parque industrial Fernão Dias que fica próximo à área do descarte do lixo.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Este capítulo apresenta a base teórica utilizada para a elaboração do trabalho apresentado. Nele serão apresentadas as formas de deposição dos resíduos sólidos, o conceito de chorume e alguns modos de tratamento.

A deposição dos rejeitos sem tratamento, de forma descontrolada e desorganizada pode causar impactos negativos ao meio ambiente e danos à saúde pública. Em um lixão, o chorume gerado pelo lixo pode gerar contaminação do solo e do lençol freático. Por este motivo, em agosto de 2010 foi aprovada no Brasil a Lei nº 12.305/2010 denominada Política Nacional de Resíduos que obriga a substituição dos lixões e aterros controlados por aterros sanitários num prazo máximo de 4 anos, ou seja, até 2014, porém muitos lixões não se adequaram, e apenas modificaram o nome de lixão para aterro controlado sem executarem as adaptações necessárias.

Devido ao não cumprimento dos prazos para a extinção dos lixões, a lei 12.305 teve seu limite da data de adequação da deposição dos resíduos sólidos estendida. Segundo o site G1 (2015), o projeto inicial levado para ao plenário previa que a prorrogação para que as cidades brasileiras entrassem em conformidade com a Política Nacional dos Resíduos fosse até 2018. No entanto, o senador Fernando Bezerra Coelho (PSB-PE) apresentou uma emenda ao plenário que estabelecia prazos diferenciados para o fim dos lixões de acordo com a quantidade de habitantes do município. Por fim, ficou decidido então, que as capitais e municípios de região metropolitana terão até 31 de julho de 2018 para se adequarem a lei. Os municípios de fronteira e os que contam com mais de 100 mil habitantes, com base no Censo de 2010, terão até o ano de 2019. As cidades que têm entre 50 e 100 mil habitantes terão prazo até 31 de julho de 2020 e o prazo para os municípios com menos de 50 mil habitantes será até 31 de julho de 2021.

### **2.1. Deposição dos resíduos sólidos**

No Brasil existem três formas de deposição de resíduos sólidos: lixões, aterro controlado e aterro sanitário. De acordo com as definições do Âmbito Jurídico (2016), no lixão, os resíduos sólidos são depositados sem nenhum tratamento, podendo gerar contaminação do solo, do ar e de lençóis freáticos, como ocorre em Esmeraldas. Os aterros controlados possuem um sistema com drenos e canalizações para permitir que os gases sejam liberados do interior do aterro para a

atmosfera. Nestes, os resíduos devem ser cobertos por uma camada de grama ou manta.

Já para ser considerado um aterro sanitário, este deve possuir controle e monitoramento constante dos resíduos sólidos ali depositados, havendo separação entre os materiais de origens distintas. O terreno deve receber uma impermeabilização eficiente e adequada de forma a garantir a separação segura entre os resíduos depositados e o subsolo, impedindo que haja a contaminação do lençol freático. É necessário que existam drenos e canalizações para que os gases tóxicos provenientes da decomposição das matérias orgânicas sejam aproveitados como fontes de energia. Além disso, segundo a NBR 8419/1992 da ABNT esta técnica de deposição utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

Desta forma, os aterros sanitários são considerados, atualmente, como a melhor solução para o problema da deposição final dos resíduos sólidos por impedirem a contaminação do ambiente com a proteção do solo, da atmosfera e dos recursos hídricos, bem como a geração de energia. A figura 1 abaixo demonstra o esquema de um aterro sanitário.

Figura 01 – Aterro Sanitário



Fonte: Adaptado de Ambiente Gaia (2012).

## 2.2. Chorume

Segundo a NBR 8419/1992 da ABNT, chorume é:

Líquido, produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro e a elevada DBO (demanda bioquímica de oxigênio).

Segundo Cardillo (2013), o chorume pode ser originado de três maneiras: da umidade natural do lixo que aumenta significativamente nos períodos de precipitações; do fluido proveniente a partir da decomposição da matéria orgânica e de bactérias encontradas no lixo, que têm como função dissolver o resíduo orgânico.

Segundo a Infoescola (20-?), de um modo geral, a constituição do chorume engloba substâncias orgânicas como: carbono e nitrogênio e matérias inorgânicas como: mercúrio, cobre e chumbo. Porém essa composição irá variar de acordo com a idade do aterro, a título de exemplo: se o chorume for coletado quando o aterro ainda é jovem e não atingiu a fase estável de fermentação anaeróbia, o pH é baixo e as concentrações de DQO e COT (carbono orgânico total) são muito altas, com o passar do tempo os organismos estritamente anaeróbios decompõem os produtos da fermentação ácida e então as concentrações de DQO e COT diminuem e aumenta, gradativamente, a concentração de nitrogênio amoniacal. Abaixo, a tabela 01 mostra as variações das concentrações das substâncias existentes no chorume e o quadro 02 do anexo A contém os principais tratamentos do chorume de acordo com seus principais constituintes.

Tabela 01 – Concentração de substâncias no chorume (continua)

PARÂMETROS	FAIXA DE VARIAÇÃO
pH	3,5 - 9
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	850 - 17.500
DBO (mg/L)	15.000 - 50.000
DQO (mg/L)	21.000 - 78.000
Sólidos Suspensos (mg/L)	660 - 5.000
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	50 - 5.000
Nitrato (mg/L)	0,1 - 250
Nitrito (mg/L)	0,1 - 40
Arsênio (mg/L)	0 - 200
Cádmio (mg/L)	0 - 2

Fonte: CLARETO (1997) e HELD (1996).

Tabela 01 – Concentração de substâncias no chorume (final)

PARÂMETROS	FAIXA DE VARIAÇÃO
Cianetos (mg/L)	0 - 10
Zinco (mg/L)	0 - 25
Cloretos (mg/L)	100 - 12.400
Cobre (mg/L)	0 - 8
Cromo total (mg/L)	0 - 300
Ferro (mg/L)	2 - 2.100
Manganês (mg/L)	0 - 35
Mercúrio (mg/L)	0 - 0,05
Níquel (mg/L)	0 - 5
Chumbo (mg/L)	0 - 2
Sulfato (mg/L)	18 - 2.000
Fósforo total (mg/L)	0,1 - 31

Fonte: CLARETO (1997) e HELD (1996).

O volume do chorume produzido em aterros sanitários, lixões ou aterros controlados é variável, pois depende de fatores como as características dos detritos descartados, condições meteorológicas como índice pluviométrico e evapotranspiração, tempo de deposição do lixo, o modo de gerenciamento e as características físicas do local de descarte dos resíduos sólidos, escoamento superficial, infiltração subterrânea, umidade natural da massa de resíduos, grau de compactação dos resíduos e por fim, da capacidade de retenção de umidade na massa de resíduo, conforme Ehrig<sup>1</sup> e Lechner<sup>2</sup> *apud* Gomes, Silva e Grabin (2006).

Por ser um agente poluente o chorume não deve ser disposto diretamente no meio ambiente, pois pode provocar grande contaminação do lençol freático, do solo e dos recursos hídricos. Desta forma, deve sempre haver um processo de tratamento do chorume para preservação do meio ambiente e conseqüentemente dos seres vivos em geral, uma vez que com a contaminação dos recursos hídricos, peixes serão afetados; se água contaminada for utilizada para irrigação agrícola, alimentos também serão contaminados. Além disso, por ser um resíduo de alta carga orgânica é um grande atrativo para vetores de doenças como moscas, baratas, mosquitos e roedores.

<sup>1</sup> EHRIG, H. J. 1992. Cantidad y Contenidos de Lixiviados de Rellenos de Desechos Domésticos, In: Proyecto CEPIS/GTZ Fortalecimiento Técnico de CEPIS, San José, Costa Rica.

<sup>2</sup> LECHNER, P. 1994. Water Balance and Leachate Quantity. In: Curso Internacional sobre Diseño y Disposición Final de Residuos Sólidos (Rellenos Sanitarios). Disponível em: <<http://www.resol.com.br>> Acesso em: 05, Set, 2003.

### **2.2.1. Cálculo da vazão do chorume**

É necessário conhecer o volume de chorume gerado no aterro para que seja feito o dimensionamento adequado dos dispositivos de tratamento do mesmo. A estimativa da vazão do chorume pode ser calculada por três fórmulas diferentes: o Método Suíço, Método Racional e Método do Balanço Hídrico.

#### **2.2.1.1. Método Suíço**

O Método Suíço é o mais simples dos três métodos apresentados, pois, segundo Cardillo (2013), não utiliza fatores como escoamento superficial e evapotranspiração potencial e independe da cobertura e do tipo do solo. A fórmula leva em consideração a área do aterro, a precipitação e o grau de compactação. A fórmula algébrica é demonstrada na equação 1 abaixo.

$$Q = \frac{1}{t} \cdot P \cdot A \cdot K \quad (1)$$

Onde:

Q = Vazão média do chorume (L/s).

P = Precipitação média mensal (mm).

A = Área total do aterro (m<sup>2</sup>).

t = Número de segundos em um mês (s).

K = Grau de compactação dos resíduos sólidos urbanos.

#### **2.2.1.2. Método Racional**

Segundo Gomes, Silva e Grabin (2006), o Método Racional considera três fatores principais: a área da bacia de contribuição, a intensidade e duração das chuvas e o coeficiente de escoamento. Porém, o método considera que existe uma parcela da precipitação que escoar e, portanto, não gera chorume. A fórmula algébrica final é apresentada na equação 2 abaixo.

$$Q = \frac{[(P-ES)-EP]}{t} \cdot A \quad (2)$$

Onde:

Q = Vazão média do chorume (L/s).

P = Precipitação média mensal (mm).

EP = Evapotranspiração potencial (mm).

A = Área de contribuição (m<sup>2</sup>).

t = Número de segundos em um mês (s).

ES = (P x C) = Escoamento superficial (mm).

C = Coeficiente de escoamento superficial.

### 2.2.1.3. Método do Balanço Hídrico

Segundo Aquino e Oliveira (2013), o Método do Balanço Hídrico foi proposto por Charles Warren Thornthwaite em 1948 e em 1955 foi modificado por John Russ Mather, ficando conhecido como Balanço Hídrico de Thornthwaite & Mather. Este método estima a vazão de chorume a partir do princípio de conservação das massas, e da relação existente entre a precipitação, a evapotranspiração, o escoamento superficial e o armazenamento da água no solo. São utilizadas duas fórmulas para se chegar à vazão final, conforme demonstrado nas equações 3 e 4.

$$\text{PER} = \text{P} - \text{ES} - \Delta\text{AS} - \text{ER} \quad (3)$$

$$Q = \frac{(\text{PER} \cdot A)}{t} \quad (4)$$

Onde:

Q = Vazão média do chorume (L/s).

PER = Percolação (mm).

P = Precipitação média mensal (mm).

ES = (P x C) = Escoamento superficial (mm).

$\Delta\text{AS}$  = Variação no armazenamento de água no solo (mm).

ER = Evapotranspiração real (mm).

A = Área de contribuição (m<sup>2</sup>).

t = Número de segundos em um mês (s).

### **2.2.2. Tratamento do chorume**

O que é considerado como tratamento do chorume deve ser entendido como manejo do chorume, uma vez que são necessários não apenas um, mas vários processos para tratá-lo e assim, eliminar todos os riscos de contaminação existentes.

Existem atualmente várias formas de fazer esse manejo, Tchobanoglous<sup>3</sup> *apud* Iwai (2005) ressaltam as seguintes: recirculação do chorume; evaporação; tratamento propriamente dito seguido da deposição dos produtos gerados e por fim, envio do chorume produzido nos aterros para estações de tratamento de esgoto – ETE.

A recirculação do chorume é geralmente empregada como forma auxiliar no tratamento e também em aterros jovens, onde o chorume produzido tem alta carga orgânica. Ela acelera o processo de estabilização do aterro, além de reduzir os seus componentes orgânicos através da atuação dos agentes químicos e microbiológicos presentes no local. Ademais, ocorre também a redução do próprio volume de chorume, devido a evapotranspiração.

O processo de recirculação do chorume segundo Silva<sup>4</sup> (2002) *apud* Moraes (2005) e Andrade (2014) consiste no retorno do chorume produzido para o interior do aterro e pode ser feito de diversas maneiras, no entanto, os sistemas de injeção são considerados os mais eficientes, já que permitem a injeção de grandes volumes de chorume. O método consiste na instalação de poços rasos e profundos intercalados, sendo que os poços rasos são utilizados para captura do biogás, cuja produção é intensificada pelo processo.

Mesmo com a recirculação, a implantação de outros tipos de tratamento é essencial, pois o líquido ainda permanece tóxico. Porém essa implantação é feita de forma otimizada já que os dispositivos serão dimensionados, possivelmente, para um menor volume de chorume. A desvantagem desse método consiste na dificuldade de drenagem dos líquidos e dos gases provenientes dos resíduos,

---

<sup>3</sup> TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIRGIL, S.; *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. International Edition. McGraw-Hill, Inc., 1993.

<sup>4</sup> SILVA, A. C. *Tratamento do Percolado de Aterro Sanitário e Avaliação da Toxicidade*. Rio de Janeiro, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) COPPE/UFRJ. RJ.

especialmente para grandes montantes, devendo-se tomar cuidado especial na elaboração do projeto.

O tratamento efetivo do chorume pode ser subdividido em tratamento biológico, físico e químico. É importante ressaltar que o chorume é um líquido complexo, sua formação depende de vários fatores já mencionados anteriormente. Por isso, cada aterro sanitário deve verificar a composição do chorume que está sendo produzido a fim de identificar quais são as substâncias em maior número e conseqüentemente qual o tratamento mais indicado. Existe segundo McBean<sup>5</sup> *et al apud* Iwai (2005) tratamentos específicos para cada um dos seus componentes, conforme mostra o quadro 01 do anexo A.

### **2.2.2.1. Tratamento biológico**

De acordo com Metcalf & Eddie<sup>6</sup> *apud* Moraes (2005), o tratamento biológico é o responsável por dissolver sólidos suspensos e demais partículas orgânicas e remover alguns nutrientes como nitrogênio e fósforo, a fim de reduzir a carga orgânica do resíduo e contribuir para a estabilidade do aterro. Tais procedimentos podem ser classificados em anóxicos, anaeróbios, aeróbios ou facultativos (QUADRO 01). Os processos aeróbios são aqueles em que a oxidação ocorre através de bactérias na presença de oxigênio, por sua vez nos tratamentos anaeróbios os agentes responsáveis são gases como gás carbônico, nitratos e sulfatos. Nos processos facultativos ocorre a ação das bactérias em ambientes que podem ou não conter oxigênio. A desnitrificação acontece quando o nitrato de nitrogênio é convertido biologicamente em gás nitrogênio. Esse processo é classificado como anóxico, juntamente com a nitrificação.

Quadro 01 – Principais tipos de tratamento biológico

<b>ANAERÓBIOS</b>	<b>AERÓBIOS</b>	<b>FACULTATIVOS</b>	<b>ANÓXICOS</b>
Lagoas anaeróbias	Lagoas de estabilização	Lagoas facultativas	Nitrificação
Reatores	Lagoas aeradas		Desnitrificação
Filtro biológico	Lodos ativados		

Fonte: As Autoras (2017).

<sup>5</sup> MCBEAN, E. A.; ROVERS, F. A.; FARQUHAR, G. J.; Solid Waste Landfill Engineering and Design. Prentice Hall, Inc., 1995.

<sup>6</sup> METCALF & EDDY. Wastewater Engineering, Third Edition. NY: McGraw Hill, 2003.

### **2.2.2.2. Tratamento físico e químico**

Os tratamentos físicos e químicos são empregados quando elevados padrões de qualidade são exigidos ao final do processo e quando somente o tratamento biológico não consegue alcançar tais parâmetros. Segundo Metcalf & Eddie<sup>7</sup> *apud* Moraes (2005) existe uma grande variedade de processos físicos e químicos que podem ser empregados, eles são responsáveis pelo controle do pH, pela remoção de sólidos remanescentes, metais, demais compostos inorgânicos e também espumas presentes no lixiviado. É importante ressaltar que cada tipo de resíduo gera um chorume com características físico-químicas diferentes, portanto, é necessária a realização de estudos aprofundados no líquido tóxico para assim verificar qual ou quais processos são necessários. Os tipos mais comuns são retratados no quadro 02 do anexo A.

Atualmente, a preocupação com o ecossistema e sua possível contaminação é crescente. Dessa forma, o controle de qualidade dos efluentes que são descartados no meio ambiente é cada vez mais rigoroso. As estações de tratamento de esgoto e de água estão investindo cada vez mais em tecnologias capazes de tratar de forma refinada tais efluentes, muitas vezes tendo como produto final a água desmineralizada, que pode ser reutilizada para diversos fins, exceto para consumo humano, pois esta é isenta de sais minerais como: cálcio, ferro, magnésio, potássio e sódio que são essenciais na manutenção do equilíbrio eletrolítico do organismo humano.

As tecnologias responsáveis por esse tipo de tratamento estão associadas ao método de filtração através de membranas. A filtração é um método amplo bastante utilizado nos tratamentos primários e secundários de efluentes e lixiviados. Para ser considerado filtração, o processo deve separar de forma mecânica as partículas não desejadas de um determinado líquido ou gás. Existem diversos meios filtrantes que exercem essa função, entre eles podem ser citados os tecidos, placas metálicas, leitos porosos como a areia e as membranas poliméricas.

---

<sup>7</sup> METCALF E EDDY. Wastewater Engineering – Treatment Disposal Reuse, 3ª ed, McGraw Hill International Editions, 1991.

A filtração através de membranas pode ser subdividida, segundo Bernardes (2014) em microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração, osmose reversa, diálise e eletrodiálise, conforme especificado no quadro 02 a seguir.

Quadro 02 – Características dos processos por separação de membranas

TRATAMENTO	FORÇA DE CONDUÇÃO	MECANISMO DE SEPARAÇÃO	PARTÍCULAS RETIDAS	PRODUTO FINAL
<b>MICROFILTRAÇÃO (MF)</b>	Diferença de pressão (0,05MPa - 0,20MPa)	Peneiras e filtros	Sólidos suspensos e bactérias (Peso molecular > 500000 Da)	Água e sólidos dissolvidos
<b>ULTRAFILTRAÇÃO (UF)</b>	Diferença de pressão (0,10MPa - 0,70MPa)	Peneiras, filtros, difusão e exclusão molecular	Sólidos coloidais e macromoléculas (Peso molecular > 2000 Da)	Água, sais e compostos dissolvidos com baixo peso molecular
<b>NANOFILTRAÇÃO (NF)</b>	Diferença de pressão (0,50MPa - 2,50MPa)	Difusão de solutos, exclusão molecular e interações eletroestáticas	Moléculas (Peso molecular entre 500 Da e 2000 Da)	Água, sais e compostos dissolvidos com baixo peso molecular
<b>OSMOSE REVERSA (RO)</b>	Diferença de pressão (1,50MPa - 8,00MPa)	Difusão de solutos e exclusão molecular	Todos os solutos e materiais suspensos	Água e demais solventes
<b>DIÁLISE (D)</b>	Diferença de concentração	Difusão	Moléculas (Peso molecular > 5000 Da)	Água, íons e compostos orgânicos de baixo peso molecular
<b>ELETRODIÁLISE (ED)</b>	Diferença de potencial	Interação eletroestática	Macromoléculas e compostos não iônicos	Água e íons

Fonte: Bernardes (2014).

No presente trabalho serão apresentadas a eletrodiálise e a osmose reversa, uma vez que, a primeira é utilizada na estação de tratamento de chorume do aterro de Cariacica – ES e a segunda no tratamento terciário do aterro de Gramacho – RJ, aterros que fazem parte do estudo de caso relatado de forma detalhada no capítulo 4 deste documento. Além disso, a eletrodiálise foi escolhida pelo grupo como tratamento principal da estação de tratamento de chorume apresentada, e a sua escolha será justificada no capítulo 5.2 deste documento.

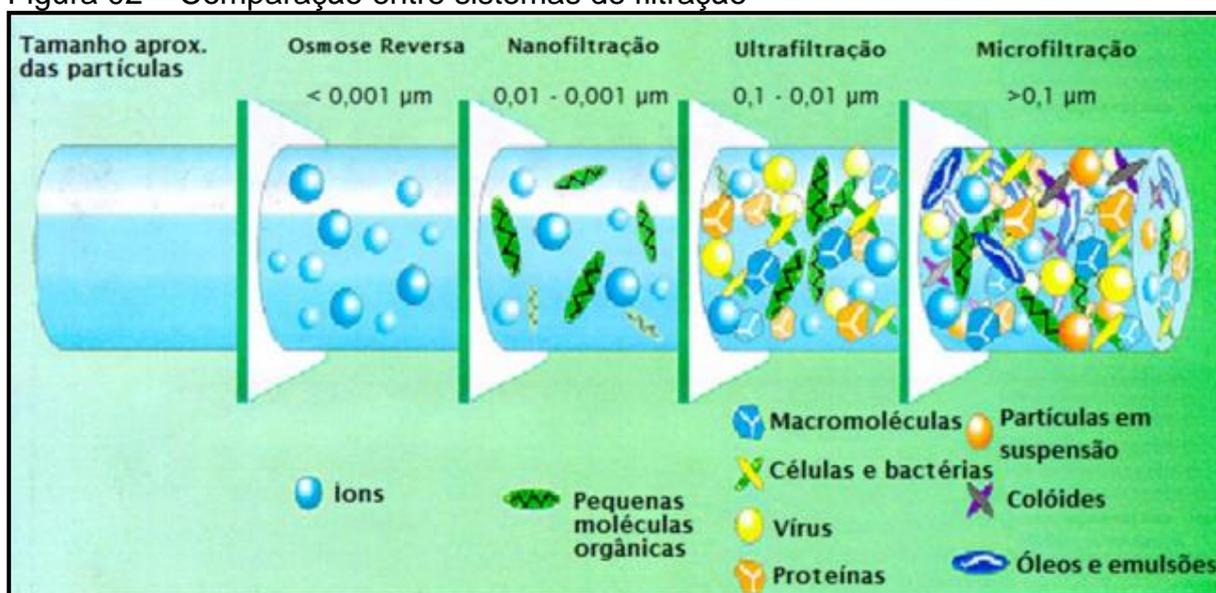
### 2.2.2.3. Osmose Reversa

A osmose é um processo físico natural que envolve a movimentação da água entre dois meios contendo sais dissolvidos. Os meios são separados por uma

membrana semipermeável, que permite a transferência da água do meio hipotônico para o meio hipertônico. O meio hipertônico é o meio em que existe a maior concentração de sais dissolvidos, já o meio hipotônico é o que há maior quantidade de água. A osmose reversa ou inversa é o processo contrário, ou seja, através da pressão exercida pelo equipamento ocorre a retenção do soluto e a passagem do solvente através da membrana. Tal pressão deve ser superior à pressão osmótica.

A osmose reversa é um processo de filtração utilizado em tratamentos terciários, onde a solução a ser tratada já passou por tratamentos primários e está livre de partículas sólidas e de boa parte da sua carga orgânica. A figura 02 mostra o limite das partículas dissolvidas em alguns processos.

Figura 02 – Comparação entre sistemas de filtração



Fonte: Hera Brasil (20-?).

Existem diversos tipos de equipamentos para osmose reversa, desde pequenos aparelhos portáteis, utilizados nos centros de saúde para tratamento de hemodiálise (FIGURA 03), até grandes conjuntos responsáveis por processos de dessalinização da água e tratamentos terciários de efluentes industriais e de lixiviados, como o modelo da marca *GE Water* mostrado na figura 04.

Figura 03 – Sistema de RO portátil



Fonte: Permution (2017).

Figura 04 – Sistema de RO PROflex Series GE Water



Fonte: Portal de tratamento de água (2017).

O custo para implantação e manutenção do processo de osmose reversa ainda é bastante elevado, já que esta é uma tecnologia nova e, portanto, ainda pouco acessível. De acordo com Bernardes (2014), a osmose reversa só foi desenvolvida a partir do surgimento das membranas de poliamida de acetato seguida pelas de fibra livre de alta eficiência, o que ocorreu há aproximadamente duas décadas.

#### **2.2.2.4. Eletrodialise**

O processo da eletrodialise promove a separação eletroquímica da água através da aplicação de corrente elétrica. Ela é considerada um processo físico já que, mesmo com a aplicação de uma corrente elétrica, as alterações sofridas pela matéria não provocam modificação na natureza da substância. A eletrodialise envolve apenas a separação entre solvente e soluto. O seu dispositivo é composto por duas placas de material condutor, sendo uma o cátodo e a outra o ânodo. Entre as placas existem membranas impermeáveis de transferência aniônica e catiônica, que permitem a passagem apenas de ânions e cátions, respectivamente.

Segundo Machado (2008), a eletrodialise remove partículas com tamanho até 0,1 µm com carga elétrica positiva ou negativa. É importante observar que substâncias neutras não ultrapassam as membranas, portanto, não são retiradas durante a eletrodialise.

Ainda segundo Machado (2008), as membranas possuem uma vida útil de 10 anos, enquanto os eletrodos possuem vida útil de 3 anos. Se houver o tratamento preliminar correto e a manutenção adequada, este tempo pode ser prolongado.

Como o processo da eletrodialise remove apenas os íons presentes na solução, tratamentos preliminares devem ser previstos. O principal a ser considerado neste tratamento é a adequação do pH, uma vez que ele pode causar a precipitação de alguns compostos, podendo assim danificar as placas e as membranas. Ainda assim, é recomendado realizar a redução da demanda química de oxigênio – DQO e da turbidez do líquido a ser tratado, pois a eficiência da eletrodialise no tratamento desses itens ainda é baixa.

A eletrodialise é utilizada em processos de dessalinização e tratamento de efluentes no geral. O produto final é a água desmineralizada, que após as análises corretas, possui diversas possibilidades de reuso. O processo da eletrodialise será explicado mais detalhadamente ao longo do trabalho apresentado.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração do anteprojeto foram necessárias pesquisas e coletas de dados em diferentes fontes, além da utilização de softwares para elaboração de mapas e para estudo da área.

Foram realizadas visitas técnicas, onde os prestadores de serviço da prefeitura de Esmeraldas e alguns moradores locais disponibilizaram informações acerca do município. Além disso, utilizou-se dados provenientes de consultas à internet e à especialistas.

Para elaboração de mapas, utilizou-se os softwares Google Earth, ArcGis 10.3 e Autocad Civil 2016. Como embasamento para o cálculo do volume de chorume a fórmula do Método Suíço foi empregada. Para o dimensionamento das tubulações da estação de tratamento de chorume usou-se a fórmula de Manning e os tratamentos preliminares foram dimensionados a partir do gradeamento e da calha Parshall.

Trata-se de um projeto de natureza aplicada, objetivo explicativo e de caráter qualitativo e quantitativo.

## 4. ESTUDOS DE CASOS

No Brasil, já começaram a ser implantadas tecnologias para tratar o chorume que produzem, ao final do tratamento, uma água limpa. Abaixo são apresentados dois estudos de caso de aterros brasileiros que utilizam diferentes tecnologias para o tratamento do chorume: o aterro de Cariacica-ES, e o aterro de Gramacho-RJ.

### 4.1. Aterro sanitário Marca Ambiental

A empresa Marca Ambiental implantou em um de seus aterros sanitários, em Cariacica-ES, um tratamento de chorume inovador que transforma o chorume em água limpa. Segundo informações do G1 (2014a), o processo é composto por três etapas e tem duração em torno de 30 minutos, tempo curto quando comparado aos processos tradicionais de tratamento de chorume.

Os produtos finais originados do tratamento de chorume são: água desmineralizada e um lodo, sendo sua eficiência da ordem de 93% a 95%, ou seja, de todo o chorume tratado, apenas cerca de 5% a 7% é lodo. Segundo o empresário Poy Ramos Carneiro, CEO da Marca Ambiental, em entrevista para o G1 (2014b), o lodo gerado pode ser encaminhado à compostagem e assim ser transformado em adubo orgânico. Contudo, na estação de Cariacica o material é levado para um aterro de resíduos sólidos de classe específica (IIA).

O aterro sanitário recebe, de acordo com informações cedidas pela analista da empresa: Juliana Tackla, e encontradas no anexo B, resíduos de 15 municípios que somados resultam em 1400 toneladas por dia. Ele ocupa uma área de 215 hectares e a estação de tratamento de chorume foi dimensionada para uma vazão de 10m<sup>3</sup>/h, mas atualmente opera apenas com 8m<sup>3</sup>/h.

O tratamento começa com a captação do chorume através de um sistema de drenagem abaixo do aterro sanitário, o material é então conduzido para uma lagoa de estabilização, onde o volume é homogeneizado e a vazão absorvida. Ainda segundo Juliana Tackla e conforme disposto nos documentos 01 e 02 do anexo B:

“O chorume bruto é bombeado para a ETE, onde após passar por um peneiramento é levado para um tanque trocador de calor, onde será aquecido com influência de uma caldeira. Após o trocador de calor, o efluente é submetido a uma unidade de tratamento especialmente projetada para a redução da concentração de amônia, pelo processo de *stripping*, a

injeção do ar no processo, que é a forma mais eficiente para a remoção de amônia concentrada no chorume”.

Após passar pelo processo acima descrito, o chorume é conduzido ao tanque de pré-oxidação, onde recebe a adição de produtos químicos, com o intuito de controlar o pH e reduzir a DQO do efluente.

Após a adição dos produtos, o chorume é conduzido para o tratamento chamado eletrodialise. Segundo Albornoz (2017), a eletrodialise é uma técnica para remover os íons poluentes de uma solução aquosa através da aplicação de uma corrente elétrica. Dentro do tanque são colocadas membranas seletivas, por onde ocorre a transferência de íons (ALBORNOSZ, 2017).

A figura 05 abaixo exemplifica o processo da eletrodialise.

Figura 05 – Processo de eletrodialise



Fonte: Albornoz (2017).

Segundo Chandler<sup>8</sup> *apud* Jornal Ciência (2016), ao fluir pelo sistema, a corrente elétrica aplicada faz com que a água contaminada se divida em duas regiões. Ao aumentar esta corrente, ela gera uma onda de choque entre as zonas que faz com que o fluxo se divida ao ponto de que a água e os agentes contaminantes sejam separados por uma barreira física no centro do fluxo.

O tratamento de eletrodialise aplicado no aterro de Cariacica é dividido em duas fases: primeiro ocorre a adição de eletrodos de ferro, depois o chorume recebe eletrodos de alumínio.

<sup>8</sup> CHANDLER, D. L. Shocking new way to get the salt out. 2015. Disponível em: <<http://news.mit.edu/2015/shockwave-process-desalination-water-1112>> Acesso em: 29, Abr, 2016.

O objetivo do método aplicado conforme mostrado no documento 01 do anexo B é a ocorrência de três processos simultaneamente: eletrocoagulação, eletrofloculação e eletroflotação. As duas fases existentes são separadas por um decantador, onde os resíduos da primeira são retirados para não atrapalharem a próxima etapa.

Após a eletrodialise a água passa ainda por três filtros tipo bag com diferentes diâmetros para a completa remoção dos sólidos suspensos, seguindo para filtro em leito de areia, depois filtro em leito de zeólita e por fim filtro em leito de carvão ativado. Os três últimos têm como objetivo, respectivamente, a remoção de partículas finas indesejáveis, resíduos de amônia e carga orgânica remanescente.

Por conter um alto grau de desmineralização, a água não pode ser ingerida e nem utilizada para banhos, uma vez que a falta de nutrientes nesta água pode desregularizar o equilíbrio dos sais no corpo humano. Em Cariacica, ela é utilizada em processos dentro do próprio aterro sanitário, como irrigação paisagística e também molhando a terra para reduzir a poeira do local.

#### **4.2. Aterro sanitário de Gramacho - RJ**

O Aterro Metropolitano de Gramacho foi implantado em 1978 e está localizado no município de Duque de Caxias (RJ), às margens da Baía da Guanabara. A Tecma - Tecnologia em Meio Ambiente Ltda. (2012) é a empresa pioneira no estudo e no tratamento de chorume no Brasil, e foi quem implantou em 1999 a primeira estação de tratamento de chorume do aterro sanitário de Gramacho. Segundo Diretor técnico da Tecma, o aterro recebia aproximadamente 8.000 toneladas de resíduos urbanos por dia, de toda a região metropolitana do Rio de Janeiro, e gerava 384 m<sup>3</sup>/dia de chorume. Atualmente o aterro de Gramacho já atingiu sua capacidade máxima e portanto não recebe mais nenhum tipo de resíduo, sendo que todo o material é agora encaminhado para a CTR Serópédica, de acordo com informações da Prefeitura do Rio de Janeiro (2013).

Para a realização da estação de tratamento de chorume foram realizadas análises laboratoriais, a fim de obter parâmetros relacionados aos valores de DBO, DQO, porcentagem de matéria orgânica e materiais tóxicos, a fim de melhor dimensionar a estação. De acordo com as notas de aula do professor Giordano

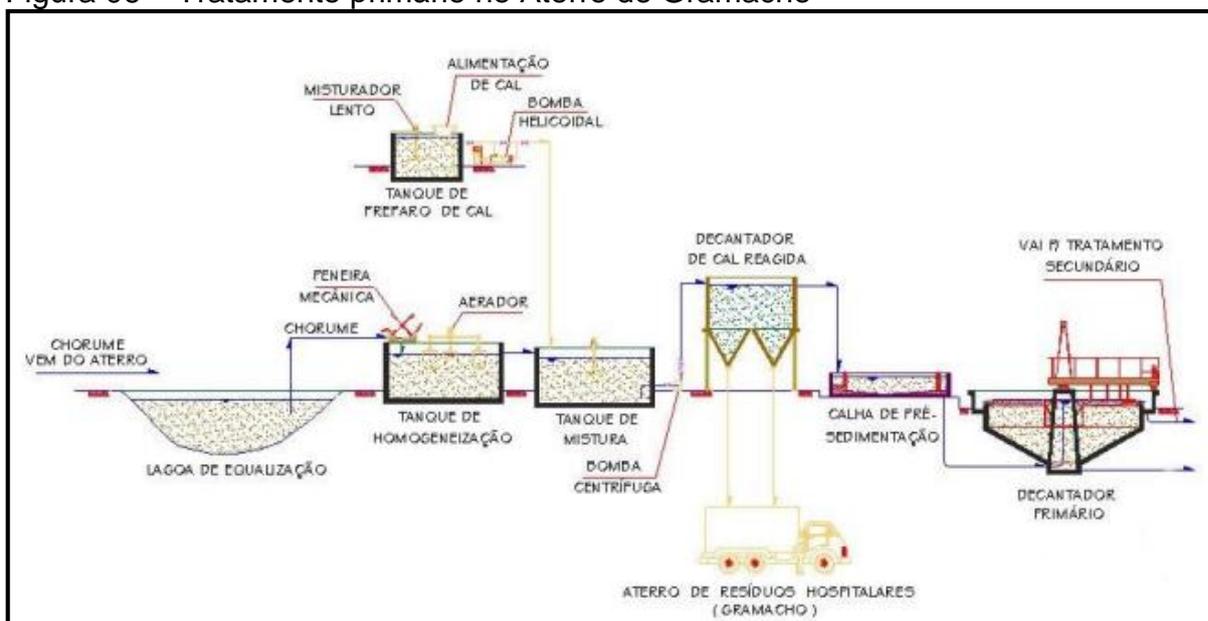
(2002), a sequência final do processo de tratamento do chorume compreende três etapas, que serão abaixo detalhadas.

#### **4.2.1 Etapa primária**

Na etapa primária (FIGURA 06), o chorume é coletado através de um canal de drenagem, instalado em torno do aterro e conduzido ao sistema de tratamento diretamente para ser estocado em uma lagoa de equalização, que tem a função de absorver as grandes variações de vazão de chorume, que ocorrem pela precipitação pluviométrica na área do aterro. Logo após, é bombeado para o tanque de homogeneização, onde se encontra uma peneira mecânica, que retêm materiais sólidos com granulometria maior que 0,25 mm, ou seja, sólidos finos e um aerador mecânico flutuante, que vai permitir a homogeneização e aeração do efluente, a fim de evitar a sedimentação do lodo.

Em seguida, este efluente equalizado e homogeneizado segue para um tanque de mistura, onde ocorre a adição de hidróxido de cálcio para coagulação química da matéria orgânica, evaporação da amônia e clarificação, que tornará o efluente altamente alcalino. Assim, a mistura é então bombeada para um decantador de cal reagida, onde o lodo é sedimentado e removido por descarga de fundo. Então, a substância líquida escoar por gravidade para as calhas de pré-sedimentação e em seguida para o decantador primário, onde ocorre a sedimentação dos sólidos que geram o lodo não retido nas etapas anteriores. Segundo a Prefeitura do Rio de Janeiro (2013) todo o lodo gerado pela estação de tratamento do chorume é desidratado e retornado ao aterro sanitário de classe específica como resíduo sólido.

Figura 06 – Tratamento primário no Aterro de Gramacho

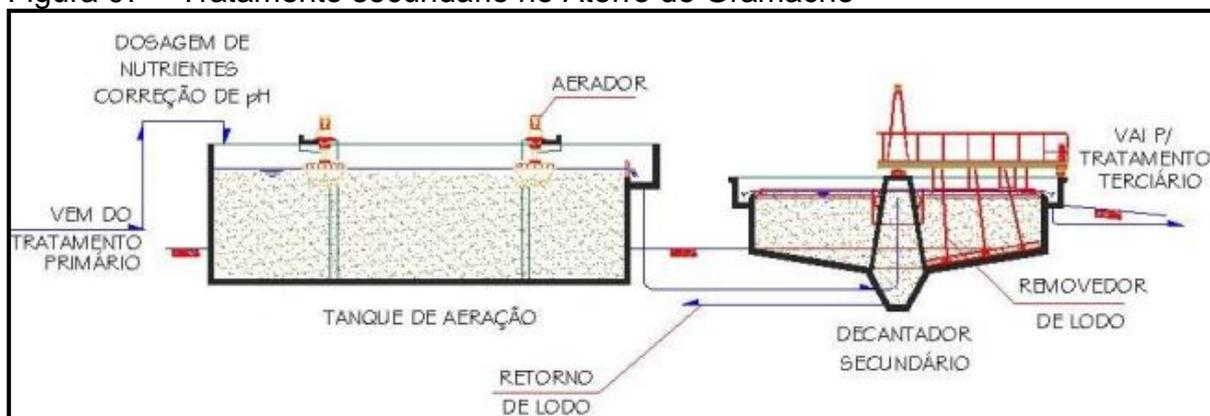


Fonte: Giordano (notas de aula) (2002).

#### 4.2.2 Etapa secundária

A etapa secundária (FIGURA 07) consiste em um tratamento biológico do sobrenadante, resultado do decantador primário. Este segue para um tanque de aeração para ser neutralizado, a partir de correções de pH e por meio de microorganismos aeróbicos e adições de fósforo como nutriente, ocorre a degradação da matéria orgânica presente no efluente. Logo após, escoo para um decantador secundário e para um poço de sucção, onde se inicia o tratamento terciário. O lodo resultante do decantador retorna para o tanque de aeração.

Figura 07 – Tratamento secundário no Aterro de Gramacho



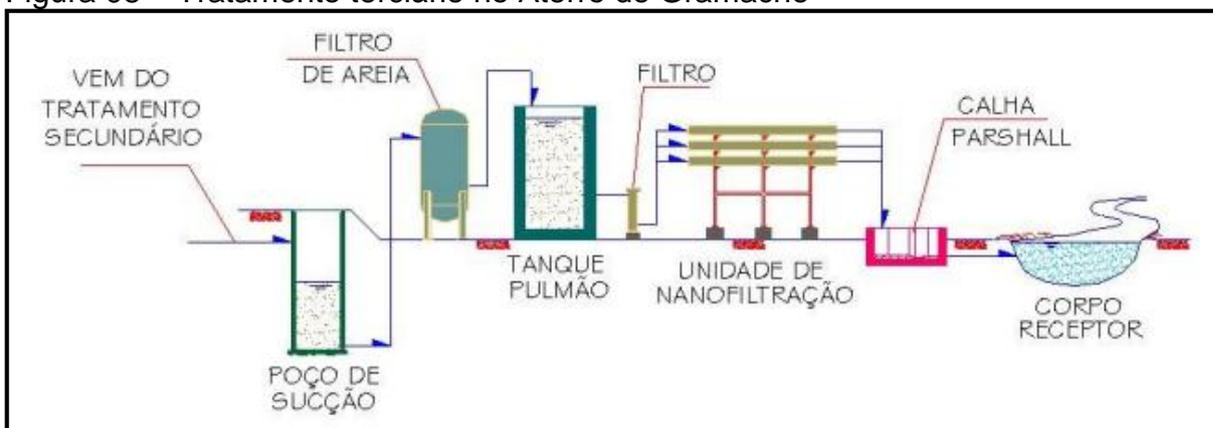
Fonte: Giordano (notas de aula) (2002).

### 4.2.3 Etapa terciária

No tratamento terciário (FIGURA 08), o efluente originado do tratamento secundário é bombeado para um tanque de areia, que tem a função de filtrar sólidos em suspensão, como flocos, ferrugens e produtos químicos precipitados na mesma. Um tanque de estocagem denominado tanque pulmão recebe o efluente proveniente do filtro de areia, de onde segue para o sistema de membranas filtrantes. Assim, nesse processo, uma das membranas é a de nanofiltração, responsável pela retenção final de microorganismos e moléculas orgânicas e outra é a osmose reversa, onde são retirados os sais. Dessa forma, o efluente resultante terá ausência de cor, odor e estará compatível os parâmetros da legislação ambiental.

Este chorume tratado originário das membranas filtrantes será escoado para um corpo receptor, que no caso é a Baía da Guanabara e para fins não potáveis, como reuso nas torres de resfriamento e lavagem de pisos do aterro.

Figura 08 – Tratamento terciário no Aterro de Gramacho



Fonte: Giordano (notas de aula) (2002).

## **5. ANTEPROJETO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CHORUME**

O aterro controlado de Esmeraldas, localizado às margens da MG-060, recebe diariamente 61 toneladas de resíduos sólidos urbanos, que são coletados no município, conforme demonstrado no documento 2 (ANEXO B), fornecido pela Prefeitura de Esmeraldas (2016). O lixo é depositado sem nenhum tratamento, não existe a captação e queima do gás metano emitido e não é feita a cobertura do lixo com terra e grama. O aterro controlado de Esmeraldas, segundo as definições do Âmbito Jurídico (2016), é na realidade um lixão, e, portanto, deve ser adequado conforme exigido pela Lei nº 12.305/2010.

Ao lado do lixão, a Prefeitura de Esmeraldas implantou o Parque Industrial Fernão Dias. Porém, as empresas e indústrias que foram alocadas exigem realocação, devido aos riscos e ao mau-cheiro produzidos pelo lixão. Segundo a Prefeitura de Esmeraldas (2016), foram descartados no local materiais como pneus, resíduos biológicos, resíduos hospitalares e carcaças de animais, contaminando mananciais próximos e tornando o local susceptível a explosões.

O anteprojeto da estação de tratamento de chorume foi elaborado considerando que o lixão será adequado para um aterro sanitário, onde deverá ocorrer a captação do chorume. A elaboração do projeto do aterro sanitário não é escopo deste trabalho, que visa dimensionar os dispositivos utilizados no tratamento do chorume nos mesmos modelos que o tratamento implantado em Cariacica/ES pela empresa Marca Ambiental.

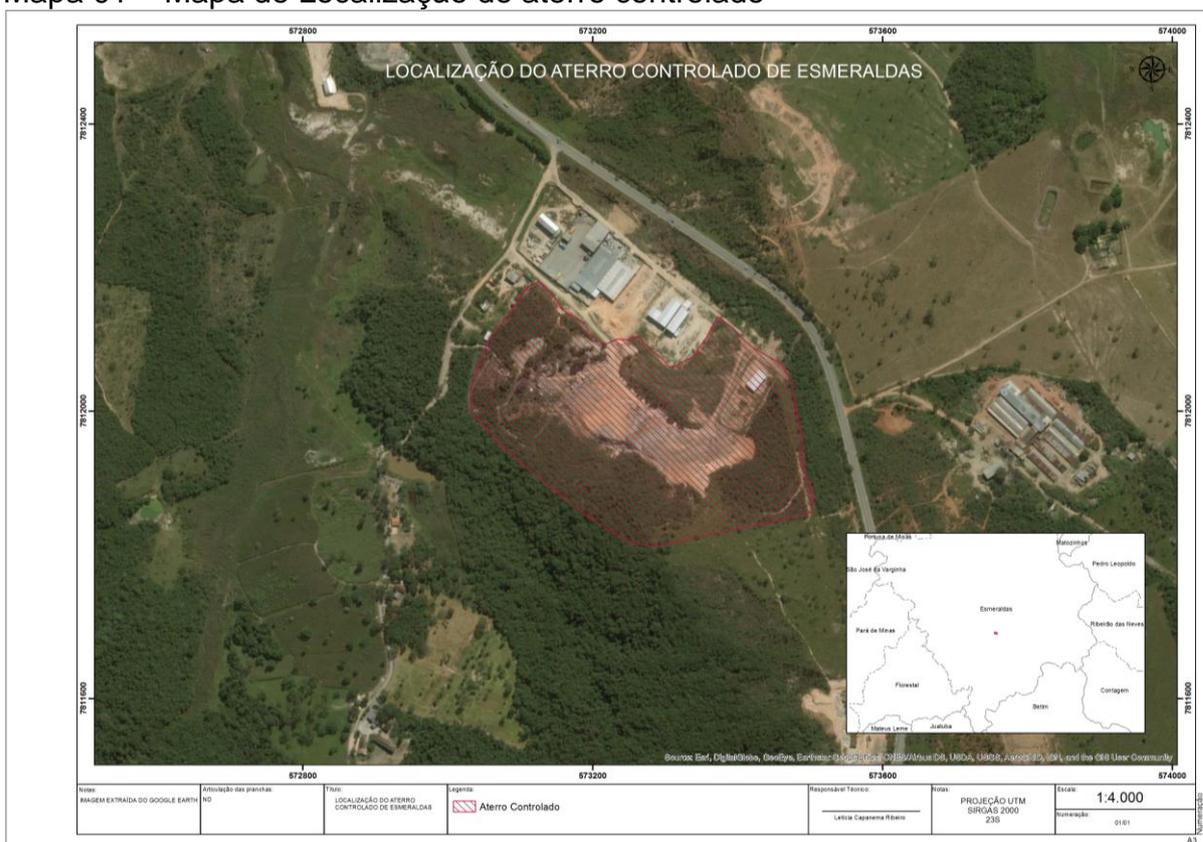
Com a implantação desta estação, procura-se obter uma valorização da área do Parque Industrial Fernão Dias, atraindo para o parque indústrias que possam usufruir do produto final do tratamento: água pura. Além de trazer benefícios econômicos para o município, a instalação da estação de tratamento de chorume trará benefícios ecológicos e sociais, uma vez que impede a contaminação do solo, do lençol freático e de mananciais próximos.

### **5.1. Caracterização da área**

Localizado na região sudeste do Brasil, no estado de Minas Gerais encontra-se o município de Esmeraldas que, segundo a Prefeitura de Esmeraldas (2016) faz divisa com 13 municípios, entre eles Betim, Contagem e Pará de Minas, que são centros econômicos em crescimento. Além disso, também segundo a Prefeitura de

Esmeraldas (2016) existem 3 vias de acesso importantes, sendo elas a MG 060, a BR 432 e a LMG 808. A área do aterro é de aproximadamente 110.550,44m<sup>2</sup>, sendo que, 85.000m<sup>2</sup> será efetivamente utilizado para o depósito do lixo no aterro sanitário previsto. A posição relativa do aterro em relação ao município pode ser vista no mapa 01, disponibilizado a seguir e no apêndice A.

Mapa 01 – Mapa de Localização do aterro controlado



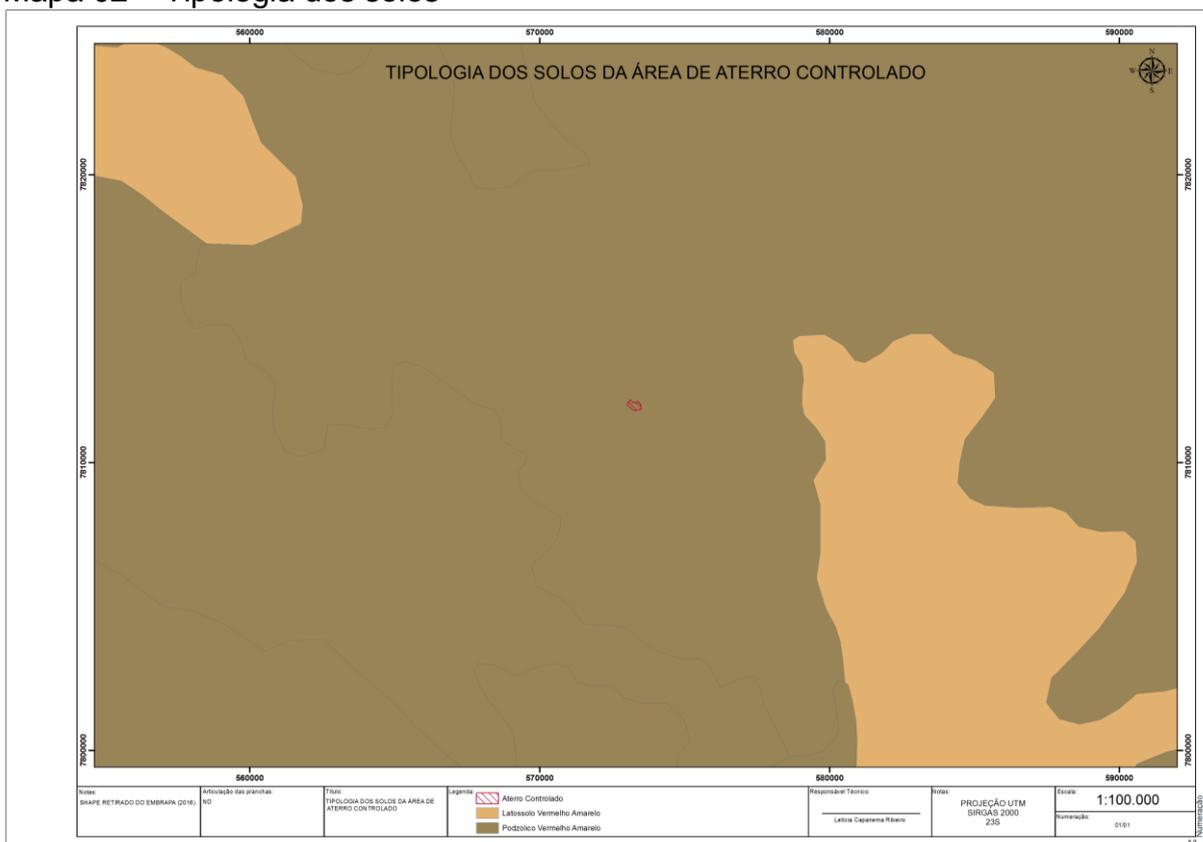
Fonte: As autoras (2017).

A área que será utilizada para o dimensionamento do aterro é superior à área que já se encontra destinada para a atual deposição dos resíduos, entretanto, toda essa área no entorno pertence à prefeitura, podendo ser concedida para a expansão e adequação do aterro. Além disso, para obter informações ambientais a respeito da área de implantação do projeto foram extraídas informações em formato *shapefile* do Sindicato Ambiental Rural do município de Esmeraldas, a fim de obter as regiões de APP, RPPN, vegetação nativa e reserva ambiental dentro do município, para que fosse realizado o desmatamento de uma pequena área seguindo as normas ambientais vigentes. Foi observado então, que a área do aterro não se encontra dentro de nenhuma das regiões citadas anteriormente, permitindo o processo de desmatamento.

Quanto à geomorfologia da região, segundo Alvarenga (2015), o relevo da região é caracterizado, predominantemente, por rochosos ondulados (60%), uma parte montanhosa (34%) e uma pequena área plana (6%). Além disso, no plano de expansão também constam características dos solos do município, sendo que, o grupo de tipologia de solos que melhor representa o município são os latossolos e podzólicos.

A partir de análises feitas pelo software ArcGis com o auxílio do Google Earth, foi extraída a área do aterro controlado, sendo ela de aproximadamente 85.000 m<sup>2</sup>. Além da área, informações no que diz respeito à tipologia do solo da região foram extraídas em formato de *shapefile* da Embrapa – monitoramento por satélite (2016) e constatou-se que o tipo de solo predominante da região em estudo é o Podzólico Vermelho-Amarelo conforme visto no mapa 02 a seguir e no apêndice B.

Mapa 02 – Tipologia dos solos



Fonte: As autoras (2017).

O Podzólico Vermelho-Amarelo é uma classe de solos que, segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (2014), possui características bem distintas. É um solo fortemente ácido e com baixa fertilidade

natural, possui textura arenosa média ou mais raramente argilosa, sendo que, normalmente esse tipo de solo é muito susceptível à erosão. Segundo a Agência de Informações Embrapa (2016), a erosão é mais facilmente controlada em regiões em que o aclave é inferior a 8%, que é o caso de Esmeraldas já que, segundo informações em forma de *shapefile* extraídas da Embrapa – monitoramento por satélite (2016), a região do aterro controlado é predominantemente plana. O aspecto visual dessa classe de solo pode ser visto na imagem 01 a seguir:

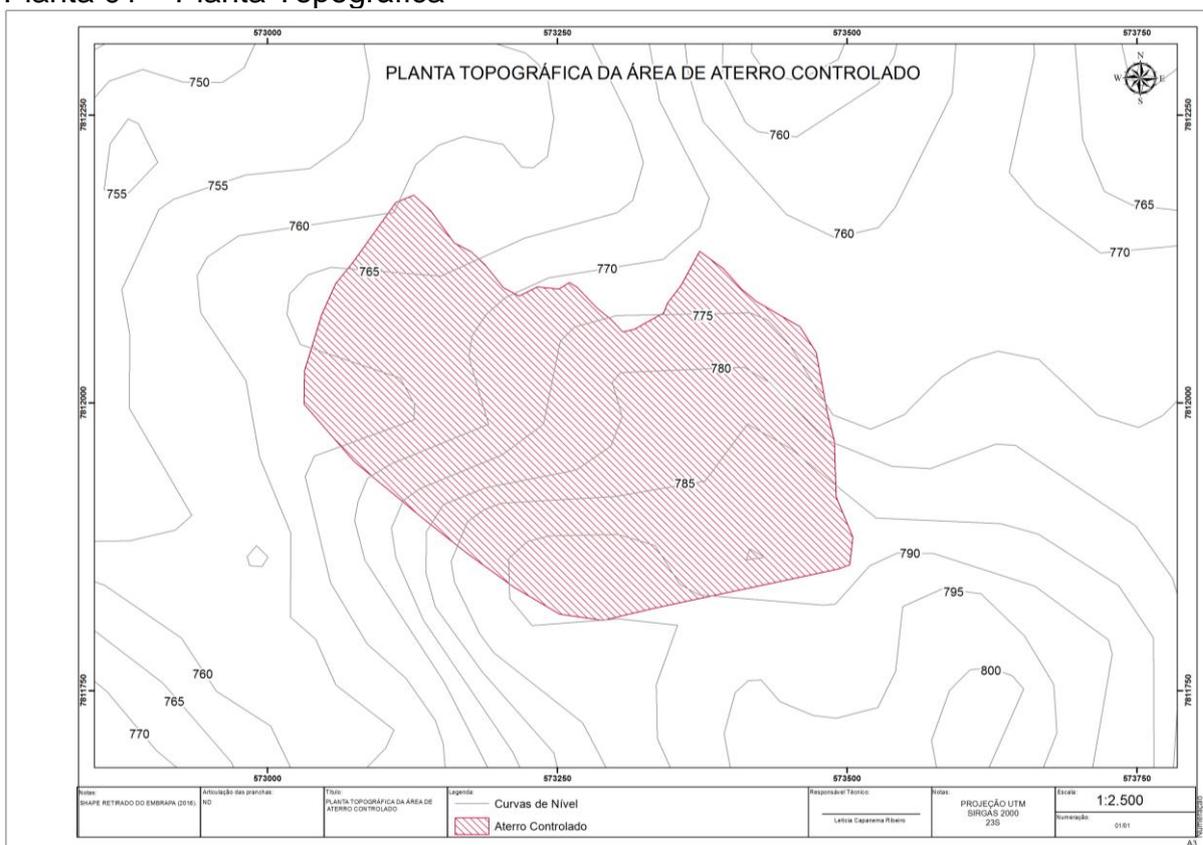
Imagem 01 – Solo Podzólico Vermelho Amarelo



Fonte: Intercâmbio Virtual (2009).

A partir de conteúdos da Embrapa – monitoramento por satélite (2016), foram extraídas curvas de nível da região em estudo, para que o perfil topográfico da região fosse caracterizado. Foi observado que as curvas de nível distam entre si 25 m e o aterro encontra-se em uma zona de transição entre cotas. Sendo assim, foi estipulada a inclinação máxima possível do terreno, simulando a situação crítica. A inclinação foi calculada dividindo a diferença de cota pelo comprimento do aterro, multiplicando esse valor por 100 para encontrar assim a inclinação em porcentagem. O maior lado do aterro é de aproximadamente 500 m e a diferença de cotas é de 25 m, portanto, a inclinação de aproximadamente 5,0%. É possível observar todas essas informações na planta 01 disponibilizada a seguir e no apêndice C.

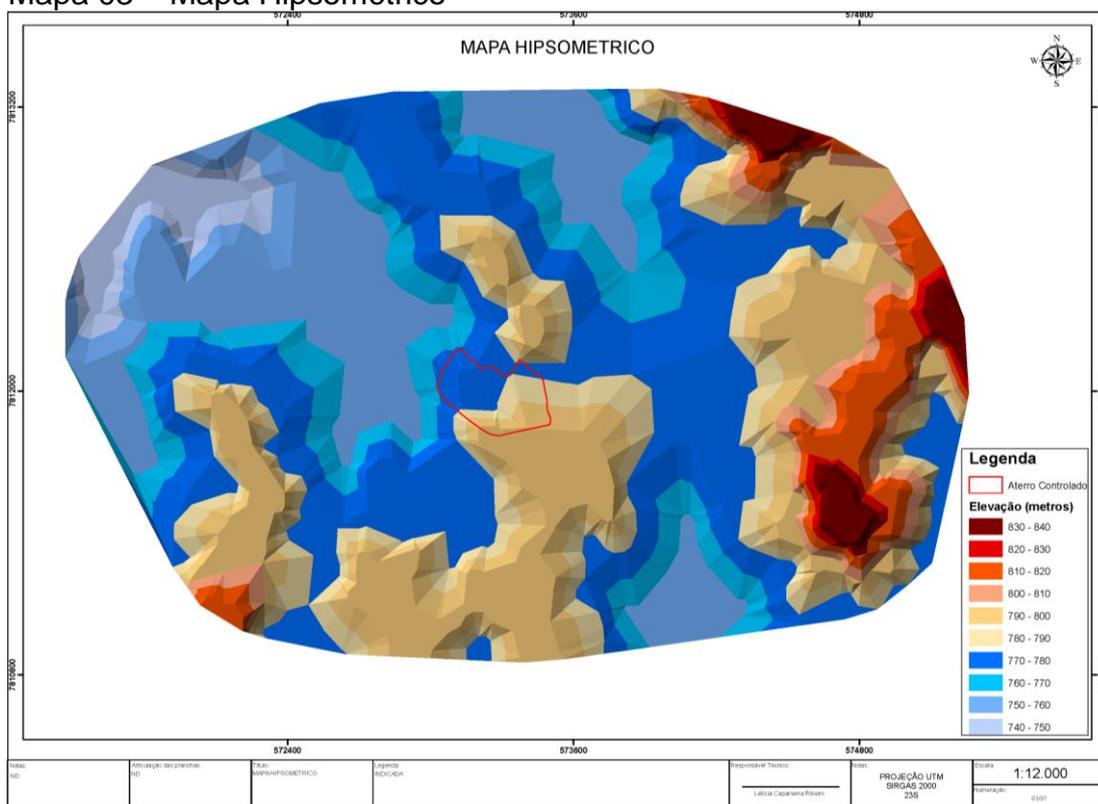
## Planta 01 – Planta Topográfica



Fonte: As autoras (2017).

Além da planta topográfica, também foi elaborada uma hipsometria da região, a fim de representar a altimetria da área, que será apresenta no mapa 03 disponibilizado a seguir e no apêndice D.

Mapa 03 – Mapa Hipsométrico



Fonte: As autoras (2017).

## 5.2. Definição dos tratamentos a serem utilizados

Após os estudos do aterro Marca Ambiental e do aterro de Gramacho, optou-se pela eletrodialise ao invés da osmose reversa. Embora ambas sejam tecnologias que envolvem altos custos, entende-se que existe uma grande necessidade de aplicar tecnologias sustentáveis, e espera-se que futuramente, com a maior aplicação destas tecnologias, o custo seja reduzido. A eletrodialise é um processo pouco difundido para tratamento de lixiviados e seu custo elevado está relacionado ao alto consumo de energia.

A escolha da eletrodialise se deu pelo fato de que este sistema demanda menos processos preliminares de tratamento do que a osmose reversa e, segundo Machado (2008), está sujeito a menos depósitos e incrustações. Dessa forma, o custo de implantação da estação e o custo de manutenção da eletrodialise é mais baixo se contraposto com os custos do tratamento que utiliza a osmose reversa. Ademais, como a área é limitada, um tratamento com um menor número de etapas se encaixa melhor, comparado com o que demanda um número maior, sendo assim, a eletrodialise é mais adequada para o local.

### **5.2.1. Definição dos processos de tratamento**

Segundo Gomes<sup>9</sup> *et al apud* Magalhães (2014), o chorume que chega à estação de tratamento pode conter matéria orgânica, amônia, metais pesados como o zinco e o mercúrio, entre outros poluentes. O tratamento da eletrodiálise elimina a maioria deles sem a necessidade de um tratamento anterior, porém, conforme demonstrado na tabela 01, do anexo C, de ensaio realizado por Albornoz (2017), a eletrodiálise não altera o pH, a DQO, nem a turbidez do efluente. A eletrodiálise também não retira partículas sólidas de grandes dimensões. Faz-se necessário, portanto, um tratamento anterior à eletrodiálise de forma que o resultado final do tratamento seja o mais eficiente possível.

#### **5.2.1.1. Tratamento preliminar**

Primeiramente, o chorume coletado deve ser submetido a um tratamento preliminar, que consiste em um gradeamento, de forma a retirar os sólidos mais grosseiros que são carregados pelo fluxo. O gradeamento é comumente empregado em processos de pré-tratamento de efluentes, pois a presença de partículas sólidas acarreta a diminuição da eficiência dos tratamentos subsequentes. O gradeamento, segundo o Portal de Saneamento Básico (2017), é feito através de estruturas metálicas e suas dimensões variam entre 1cm e 2cm, para reter sólidos finos e de 5cm a 10cm para sólidos maiores (FIGURA 09 E 10). A manutenção é feita de forma manual e periódica, através da coleta e raspagem do material retido nas grades. Após esse processo é medida a vazão do lixiviado através de uma calha Parshall.

---

<sup>9</sup> GOMES L.P. CANTANHEDE, A.L.G.; AMORIM, A.K.B; CASTILHOS JR., A.B.; FERNANDES, F.; FERREIRA, J.A.; JUCÁ, J.F.T., LANGE, L.C.; LEITE, V.D. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. IN: GOMES L.P. (ORG.) Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte. Brasil, Rio de Janeiro: Rima ABES, 360p. 2009.

Foto 09 – Processo de gradeamento



Fonte: Giordano (notas de aula) (2016).

Foto 10 – Retenção de sólidos no gradeamento



Fonte: Giordano (notas de aula) (2016).

### 5.2.1.2. Tratamento primário

Após o tratamento preliminar, o líquido é direcionado para o tratamento primário, onde ocorre além da sedimentação de sólidos não dissolvidos, o controle do pH, redução da turbidez do lixiviado e da demanda química de oxigênio (DQO). O controle do pH é importante para a determinação do padrão de qualidade da água. A sigla pH significa potencial hidrogeniônico, ou seja, a quantidade de íons de hidrogênio dissolvidos em uma solução, e através de uma escala logarítmica, o pH determina o seu grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade. Na água, inicialmente, tem-se apenas os íons da molécula dissociados, mas isso muda à medida em que outros produtos vão sendo agregados a ela, como por exemplo efluentes industriais, e no caso da estação de tratamento de chorume, poluentes provenientes da decomposição dos resíduos sólidos. O chorume como já citado, é a junção da precipitação que ocorre no aterro com os compostos gerados em tal decomposição e por isso, possui um pH variável, de acordo com a idade do aterro. Segundo as notas de aula do professor Gandhi Giordano da UERJ (2016), o pH de um chorume novo é em média 6,0 e de um mais antigo é cerca de 8,0. Como em Esmeraldas existe atualmente apenas um aterro controlado, que não realiza nenhum processo

de tratamento no lixiviado, pode-se considerar para o anteprojeto um pH de 6,0. Ademais, com a implantação da estação de tratamento, não haverá retenção do chorume no aterro. Todo o líquido drenado será encaminhado diretamente para a estação, evitando o seu envelhecimento. É vital, porém, que durante a concepção do projeto executivo, seja realizado um estudo sobre as características do chorume a ser tratado, a fim de conhecer sua composição.

Desse modo, verifica-se a necessidade de adicionar um composto básico que torne a solução neutra (pH próximo de 7,0) e assim, possibilite a sua entrada no tratamento da eletrodiálise. Inicialmente, pensou-se em adicionar cal, uma vez que este é o tratamento mais comum utilizado para controle de pH, porém, a cal pode promover a precipitação dos metais pesados presentes no chorume, o que poderia desgastar as placas utilizadas pela eletrodiálise. Portanto, o tratamento primário terá início após a medição da vazão, com o encaminhamento do chorume para um tanque onde o percolado receberá a adição de hidróxido de sódio (NaOH), popularmente conhecido como soda cáustica.

Após esta etapa, ainda é preciso retirar os sólidos que não se encontram dissolvidos no chorume. Esse resultado é atingido com a implantação de métodos que levam à sedimentação da matéria orgânica. Existem várias alternativas disponíveis no mercado, entre elas estão os diversos tipos de filtração e a clarificação. Devido à área disponível para implantação do projeto e considerando que o líquido já passou por um gradeamento e que passará ainda pela eletrodiálise, que possui eficiência em torno de 95%, optou-se pelo tanque de clarificação.

A clarificação é segundo Cetesb<sup>10</sup> *apud* Telles e Costa (2010):

“Este processo ocorre por meio da adição de produtos químicos para a oxidação da matéria orgânica, a desestabilização (coagulação) e o crescimento (floculação) das partículas coloidais, de forma a facilitar a sua separação posterior em tanque de sedimentação. Portanto, a clarificação é o conjunto de processos de oxidação, coagulação, floculação e sedimentação”.

---

<sup>10</sup> CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. VASCONSELOS, N. V. *et al.* Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água. v. 1 e 2, 2ª Ed. São Paulo, 1978.

Desse modo, juntamente com a adição dos compostos para controle do pH da solução, o primeiro tanque receberá também a adição dos produtos químicos responsáveis pela oxidação e coagulação. A primeira normalmente é feita com a adição de cloro e a segunda com a adição de sais de alumínio ou ferro, ainda segundo Telles e Costa (2010). O segundo tanque é responsável pela sedimentação dos compostos orgânicos e consequente separação das partículas sedimentadas da água clarificada. O lodo proveniente da sedimentação (cerca de 5% a 7% do total dos produtos finais) é retirado através de uma descarga de fundo e é em seguida reencaminhado ao início do processo de tratamento primário.

### **5.2.1.3. Tratamento secundário**

Após o tratamento primário, o líquido segue para a eletrodialise. Neste tratamento, o líquido percorre um canal com duas placas de ferro (uma em cima e outra embaixo) e membranas. Durante a passagem do fluxo, é aplicada uma carga nas placas, que através da diferença de potencial, geram uma corrente elétrica responsável pela separação da água e dos agentes poluentes.

Segundo Machado (2008):

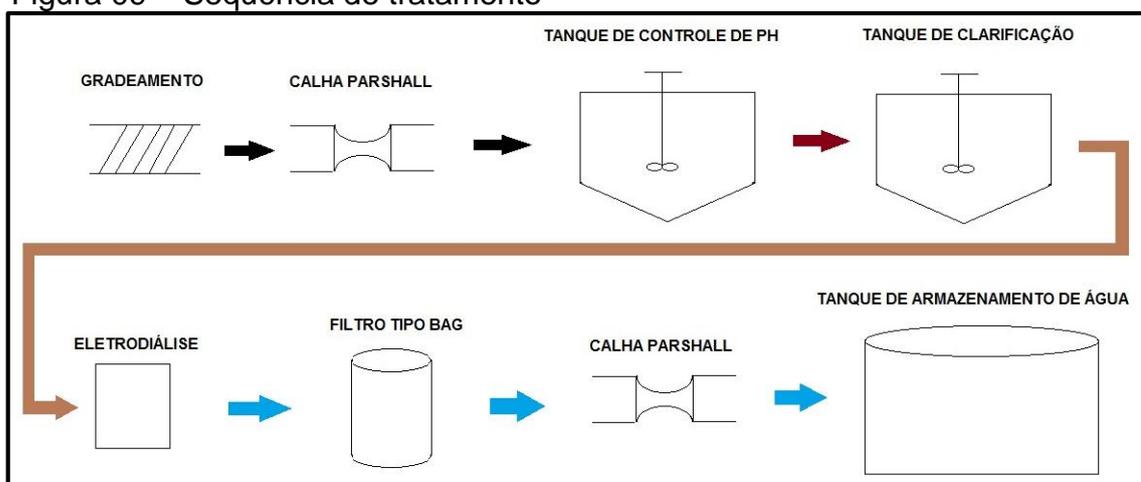
“Quando é aplicado um potencial elétrico nos eletrodos, os íons em solução são atraídos, os cátions para o catodo e os ânions para o anodo. Os cátions podem atravessar as membranas catiônicas, mas são bloqueadas pelas membranas aniônicas e o inverso acontece com os ânions”.

A água proveniente do tratamento deve ser submetida à filtração, onde são retiradas partículas que não tenham sido removidas pelas membranas de eletrodialise.

Depois da completa remoção dos poluentes, a água desmineralizada segue para uma segunda calha parshall, onde tem sua vazão medida, e então é direcionada para o tanque de armazenamento, de onde então, pode ser distribuída e reutilizada.

O processo completo do tratamento pode ser observado no esquema abaixo (FIGURA 09).

Figura 09 – Sequência de tratamento



Fonte: As autoras (2017).

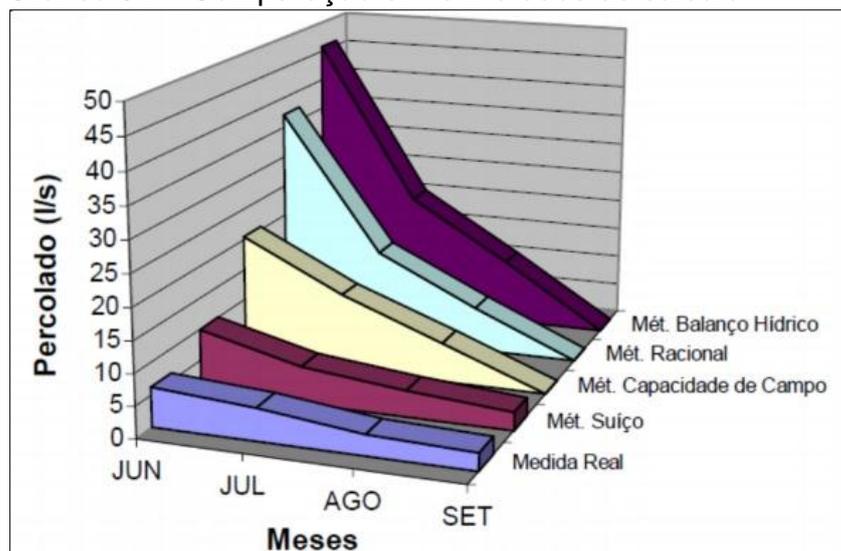
#### 5.2.1.4. Disposição final dos resíduos

A disposição final dos resíduos gerados pelo tratamento de águas residuais, esgoto e chorume é considerada uma das grandes questões ambientais atuais, uma vez que, eles são geralmente despejados em mananciais causando grande contaminação. Os tratamentos, em sua maioria, resultam em um líquido tratado e um sólido que é comumente chamado de lodo. De acordo com Telles e Costa (2010), o lodo é um composto heterogêneo com alto teor de umidade, formado basicamente por matéria orgânica sedimentada. Já existem diversos tipos de soluções para a sua disposição, entre elas: fabricação de fertilizantes, utilização como adubo orgânico, recuperação de solos degradados e até mesmo na produção de materiais para a construção civil, como tijolos cerâmicos. Quando for realizado o projeto executivo, devem ser feitos estudos mais aprofundados sobre a composição química do resíduo liberado e assim definir qual o seu melhor destino.

#### 5.3. Cálculo da vazão de chorume

Para o dimensionamento dos tanques utilizados no tratamento do chorume, optou-se pelo uso da fórmula do Método Suíço. Em estudo realizado pelo Engenheiro Luigi Cardillo (2013), observou-se que este método é o que mais se aproxima da vazão real quando comparado aos outros métodos empíricos, conforme apresentado no gráfico 01 abaixo.

Gráfico 01 – Comparação entre métodos de cálculo



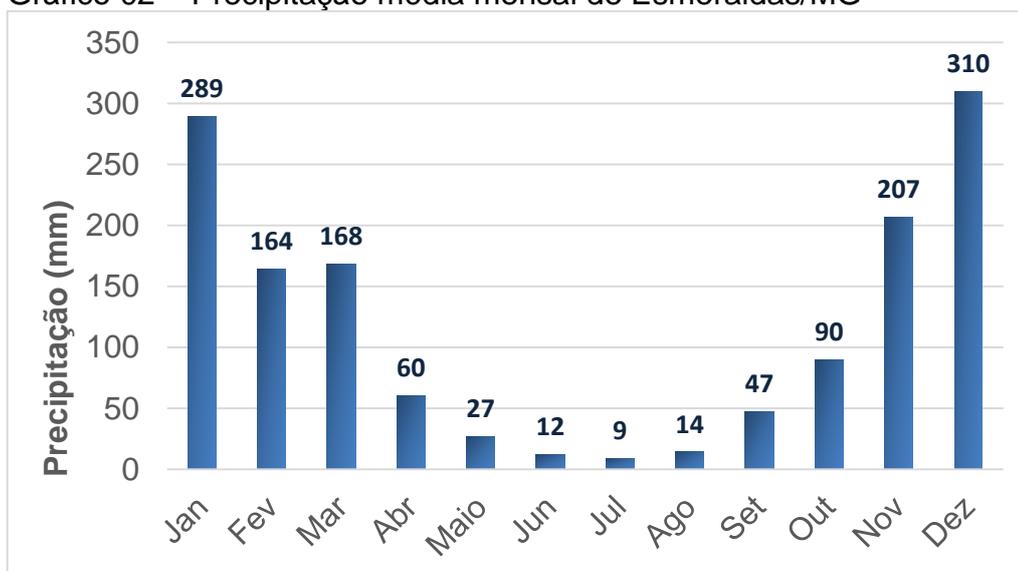
Fonte: Cardillo (2013).

Além de ser o método que mais se aproxima aos valores reais, é também o único onde todas as informações necessárias para cálculo foram fornecidas.

A fórmula do Método Suíço resulta no volume de percolado produzido pelo aterro. Para o cálculo, é necessário conhecer a área do aterro, a precipitação média mensal e o coeficiente de compactação dos resíduos sólidos.

Segundo dados históricos dos últimos 30 anos apresentados no gráfico 02 pelo Climatempo (2017), Esmeraldas apresenta uma precipitação média mensal de 116,5 mm, porém será utilizada a precipitação máxima de 310 mm, levando em consideração a sua situação crítica, para que o dimensionamento seja o mais seguro e confiável possível.

Gráfico 02 – Precipitação média mensal de Esmeraldas/MG



Fonte: Adaptado de Climatempo (2017).

Considerou-se que o aterro sanitário a ser implementado ocupará uma área total de 110.550,44 m<sup>2</sup> e área útil para depósito de lixo de 85.000 m<sup>2</sup> que será utilizada no cálculo da vazão, representando aproximadamente 76,89% da área total. Além disso, devido à baixa compactação dos resíduos sólidos depositados, foi adotada uma constante K de 0,5, conforme tabela 01.

Tabela 02 – Coeficiente de compactação

TIPO DE ATERRO	K
Aterro Fracamente Compactado	0,25 a 0,50
Aterro Fortemente Compactado	0,15 a 0,25

Fonte: Adaptado de Padilla (2007)

Assim considerando o método suíço descrito na equação 5 abaixo e através dos valores obtidos, tem-se:

$$Q = \frac{1}{t} \cdot P \cdot A \cdot K \quad (5)$$

$$P = 310 \text{ mm}$$

$$A = 85.000 \text{ m}^2$$

$$t = 2.595.000 \text{ s}$$

$$K = 0,50$$

$$Q = 5,08 \text{ L/s}$$

#### 5.4. Dimensionamento dos dispositivos de tratamento

Segundo o modelo de tratamento adotado serão necessários 3 tanques, sendo um para o tratamento com hidróxido de sódio, outro para o clareamento e terceiro para o armazenamento da água, e um dispositivo para o tratamento por eletrodiálise do chorume. Além destes, também são necessárias tubulações para o transporte do lixiviado entre os dispositivos, o gradeamento, duas calhas Parshall e um filtro bag.

Cada um dos tratamentos demanda um tempo de detenção para a ação. Os dispositivos são dimensionados de acordo com os tempos necessários. É importante avaliar os impactos ambientais causados por um chorume novo, já que no caso da estação de tratamento de Esmeraldas não ocorrerá o envelhecimento de tal líquido. De acordo com Serafim *et al* (2003) o chorume novo possui pH ácido, carga orgânica elevada (altos valores de DBO e DQO) e contém compostos orgânicos tóxicos, podendo ser considerado um material bastante agressivo. Sendo assim, a NBR 6118/2014 – Projetos de estruturas de concreto recomenda para ambientes quimicamente agressivos a utilização da classe de agressividade ambiental IV. Todos os dispositivos devem ser então dimensionados utilizando os parâmetros específicos dessa classe, logo tanto os tanques, quanto as tubulações precisam utilizar concreto C40 ou de resistência superior e devem ser observados também os cobrimentos mínimos previstos para essa situação.

##### 5.4.1. Dimensionamento das tubulações

Assume-se que a tubulação da drenagem do chorume dentro do aterro já estará pronta ao implantar a estação de tratamento, portanto, o dimensionamento da tubulação começa apenas após a saída do aterro em direção ao gradeamento. Toda a tubulação será de concreto, uma vez que a agressividade do chorume não permite o uso de PVC, ou outros materiais menos resistentes. O concreto possui coeficiente de rugosidade de 0,015, e as tubulações serão calculadas através da equação de Manning, cuja fórmula está descrita na equação 6 abaixo.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot A \cdot i^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Onde:

$Q$  = Vazão ( $m^3/s$ ).

$n$  = Coeficiente de rugosidade.

$R$  = Raio hidráulico (m), sendo este a área dividida pelo perímetro molhado.

$A$  = Área da seção transversal do escoamento ( $m^2$ ).

$i$  = Declividade (m/m).

Para o cálculo das dimensões utilizando Manning, assume-se um valor para a base ( $b$ ), e a altura ( $y$ ) pode ser calculada por tentativa e erro, ou utilizando o gráfico para cálculo do escoamento disponível no gráfico 01 do anexo D. Devido aos limites de velocidade e ao volume tratado, não serão utilizadas seções circulares, e sim seções celulares.

#### **5.4.1.1. Trecho 1 – Espinha de peixe para o gradeamento**

O chorume é produzido no aterro a uma vazão de 5,08 L/s sendo coletado através de um sistema de drenagem no modelo espinha de peixe, e segue para o gradeamento. Neste trecho, é utilizado um canal de concreto, aberto e retangular.

O canal irá percorrer um trecho de 3,0 m até chegar ao gradeamento, com uma inclinação de 0,006 m/m. Considerando a mesma vazão que sai do aterro e estabelecendo para a base um valor de 15 cm, através do gráfico para cálculo do escoamento obtém-se uma altura da lâmina d'água para o canal de 4,5 cm. Será adotada uma altura de 10 cm. Desta forma, o chorume percorre o canal a uma velocidade de 0,75 m/s.

#### **5.4.1.2. Trecho 2 – Gradeamento para a Calha Parshall**

Para o trecho entre o gradeamento até a primeira calha Parshall, serão adotados os mesmos parâmetros do trecho 1. Desta forma, este trecho será um canal de concreto, aberto e retangular de dimensões 15 x 10 cm, e sujeito à uma declividade de 0,006 m/m e extensão do trecho de 4,0 m.

#### **5.4.1.3. Trecho 3 – Calha Parshall para o tanque de NaOH**

A partir do trecho 3, o canal será fechado (seção celular), porém com as mesmas dimensões do trecho 1, ou seja, 15 x 10 cm, sujeito a inclinação de 0,006 m/m e extensão do trecho de 7,5 m.

#### **5.4.1.4. Trecho 4 – Tanque de NaOH para o tanque de clarificação**

O trecho 4 terá as mesmas dimensões que o trecho 3, sendo também uma seção celular, uma vez que a vazão e a inclinação se mantem. Desta forma, as dimensões do canal serão 15 x 10 cm e extensão do trecho de 4,0 m.

#### **5.4.1.5. Trecho 5 – Tanque de clarificação para eletrodialise**

Para a eletrodialise, é necessário que a velocidade com que o líquido chegue ao dispositivo não ultrapasse 0,4 m/s. Para reduzir a velocidade, foi necessário aumentar a base e reduzir a inclinação. Mantendo a mesma vazão de 5,08 L/s, considerando uma inclinação de 0,004 m/m e aumentando a base para 25 cm, calcula-se uma lâmina d'água de 5 cm. Desta forma, a velocidade da célula é limitada a 0,4 m/s, atingindo a especificação da eletrodialise. Além disso, a extensão do trecho é de 2,0 m.

#### **5.4.1.6. Trecho 6 – Eletrodialise para filtro**

Após sair da eletrodialise, é utilizada uma tubulação com as mesmas dimensões do trecho 3: seção celular de 15 x 10 cm com inclinação de 0,006 m/m e extensão do trecho de 2,0 m.

#### **5.4.1.7. Trecho 7 – Filtro para calha Parshall**

Após sair do filtro bag, é utilizada uma tubulação com as mesmas dimensões do trecho 1, ou seja, canal aberto de 15 x 10 cm com inclinação de 0,006 m/m e extensão do trecho de 2,0 m.

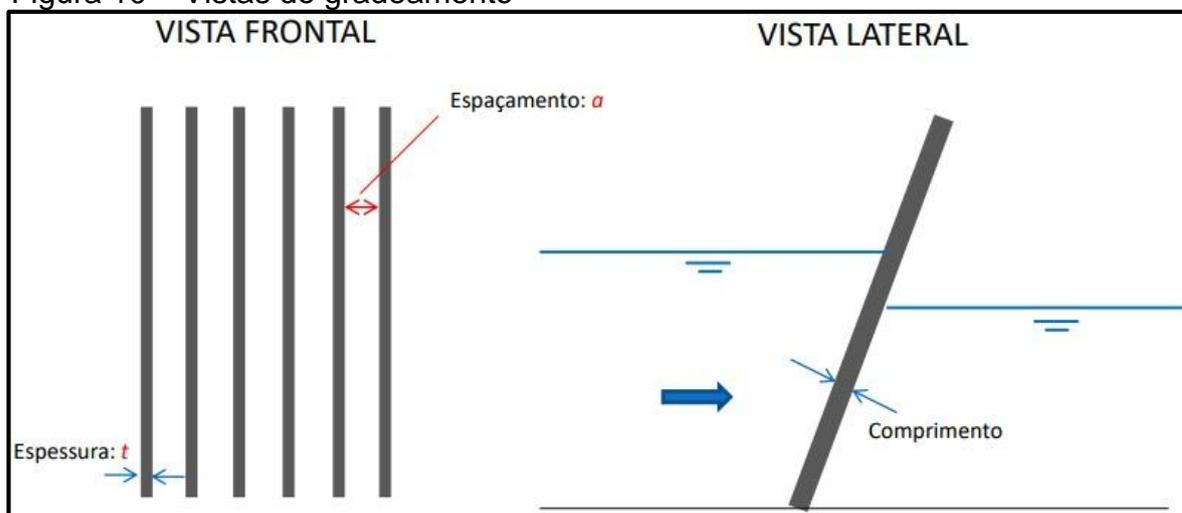
#### 5.4.1.8. Trecho 8 – Calha Parshall para o tanque de armazenamento de água

Saindo da calha Parshall em direção ao tanque de armazenamento de água, será utilizada a mesma tubulação do trecho 1: canal aberto de 15 x 10 cm e extensão do trecho de 2,0 m.

#### 5.4.2. **Gradeamento**

Será adotado na estação de tratamento de chorume um gradeamento de limpeza manual. Segundo Pivelli e Souza (20-?), as barras utilizadas variam em sua largura de 4 a 10 mm e em seu comprimento lateral de 25 a 75 mm. Ainda segundo Pivelli e Souza (20-?), as grades para limpeza manual devem ter uma inclinação entre 45 e 60°, e a velocidade de passagem nas barras deve ser entre 0,6 e 0,9 m/s. Segundo Abreu e Sá (2014), o espaçamento no gradeamento fino deverá ser entre 10 e 20 mm, enquanto no gradeamento grosso de 40 a 100 mm. Na figura 10, observa-se a vista frontal e lateral de um gradeamento.

Figura 10 – Vistas do gradeamento



Fonte: Pivelli e Souza (20-?).

O gradeamento utilizado será o gradeamento fino, devido à largura do canal que transporta o chorume até o gradeamento, com barras de espessura 6 mm e espaçamento 20 mm. Desta forma, sendo a largura do canal igual a 150 mm, serão utilizadas 5 barras, sendo 6 espaçamentos. A eficiência do gradeamento pode ser calculada pela equação 7.

$$E_{gf} = \frac{a}{a+t} \quad (7)$$

Onde:

$E_{gf}$  = Eficiência da grade fina.

$a$  = Espaçamento entre barras (mm).

$t$  = Espessura das barras (mm).

Desta forma, a eficiência do gradeamento fino adotado é de 76,9%. A altura das barras pode ser definida através das fórmulas para cálculo da seção e cálculo da área útil. Para cálculo da área útil, utiliza-se a equação 8 demonstrada abaixo.

$$v = \frac{Q_{max}}{A_u} \quad (8)$$

Onde:

$v$  = Velocidade de passagem nas grades (m/s).

$Q_{max}$  = Vazão máxima (m<sup>3</sup>/s).

$A_u$  = Área útil (m<sup>2</sup>).

Considerando que a velocidade será de 0,75 m/s e que a vazão máxima será o dobro da vazão calculada (10,16 L/s), a área útil deverá ser 0,014 m<sup>2</sup>. Após o cálculo da área útil, calcula-se a área da seção da barra através da equação 9 abaixo.

$$S = \frac{A_u}{E} \quad (9)$$

Onde:

$S$  = Área da grade (m<sup>2</sup>).

$E_{gf}$  = Eficiência da grade fina.

$A_u$  = Área útil (m<sup>2</sup>).

Desta forma, a área da grade será de 0,018 m<sup>2</sup>. Sendo a base pré-definida como 15 cm, será necessária uma grade de 12 cm de altura. Uma vez que a altura

do canal é de 10 cm, será adotada uma inclinação de 56°, de forma que não haja alteração na altura do canal.

#### **5.4.3. Calhas Parshall**

As calhas Parshall são equipamentos padronizados que variam em função da vazão. Para este anteprojeto, serão adotadas duas calhas. A primeira será implantada logo após o gradeamento, com o propósito de medir a vazão de chorume que será encaminhada para o tratamento primário, calculando assim o volume de produtos químicos que serão utilizados no tratamento. A segunda será após o tratamento da eletrodialise, para medir o volume de água que irá para o tanque de armazenamento de água.

Segundo Fernandes (2017), a garganta da calha Parshall a ser utilizada pode ser calculada através da equação 10 abaixo:

$$Q = 2,2 \cdot W \cdot H^{\frac{2}{3}} \quad (10)$$

Onde:

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s).

W = Largura da garganta (m).

H = Altura do nível d'água antes de entrar na calha (m).

Para a vazão de 5,08 L/s, a garganta calculada foi de 1,8 cm, portanto, em ambos os trechos serão utilizadas calhas de garganta de 1" (2,5 cm).

#### **5.4.4. Tanque de hidróxido de sódio (NaOH)**

O tratamento com hidróxido de sódio, segundo Metcalf & Eddy (2016), possui tempo de detenção de 30 minutos a 1 hora. Para a determinação exata do tempo de detenção do tratamento são necessários estudos mais aprofundados do lixiviado a ser tratado, já que como citado anteriormente, a idade do aterro influi diretamente nos componentes do chorume. Foi adotado na elaboração deste trabalho o tempo de detenção de 1 hora, a favor da segurança, portanto, obteve-se um volume retido de 18.288 litros. O tanque, portanto, terá as seguintes dimensões: altura de 3,0 m e 3,0 m de diâmetro.

O volume final do tanque é muito superior ao volume de cálculo, uma vez que é necessário considerar que a vazão aumenta muito em épocas de chuva e que existe uma perda de volume devido à presença do misturador.

#### **5.4.5. Tanque de clarificação**

O tanque de clarificação possui o mesmo tempo de detenção e, portanto, o mesmo volume retido que o tanque de hidróxido de sódio, assim, serão adotadas as mesmas dimensões: altura de 3,0 m e diâmetro de 3,0 m.

#### **5.4.6. Dispositivo de eletrodialise**

Para a eletrodialise, é necessário que o líquido a ser tratado esteja em uma corrente contínua. Segundo Machado (2008), a velocidade máxima permitida para a realização da operação é de 0,4 m/s, e a velocidade mínima é de 0,2 m/s. A velocidade do fluxo pode ser calculada através da fórmula descrita na equação 11 abaixo.

$$v = \frac{Q}{n.t.A} \quad (11)$$

Onde:

v = Velocidade (m/s).

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/h).

n = Número de membranas dividido por 2.

A = Área da seção de cada compartimento (m<sup>2</sup>).

t = Número de segundos em uma hora (s/h).

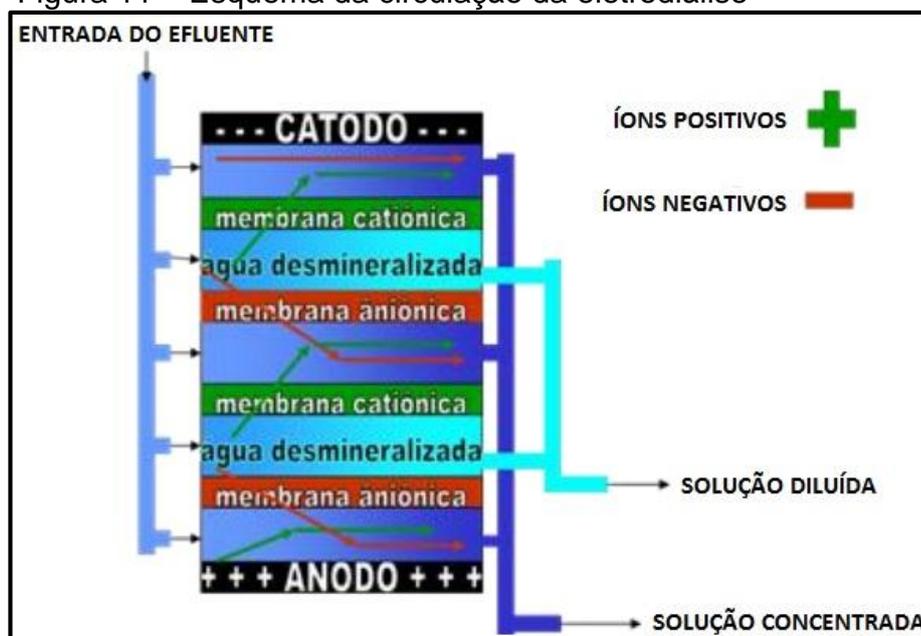
Adotando a vazão de 5,08 L/s (18,288 m<sup>3</sup>/h), a velocidade de 0,4 m/s (velocidade de chegada do trecho 5), e considerando que serão utilizadas membranas com área de seção de 0,00001 m<sup>2</sup>, define-se que o número de membranas necessárias para o tratamento é de 2.538.

Segundo a tabela 02 do anexo C, disponibilizada por Machado (2008), as membranas disponíveis no mercado possuem em média 0,25 mm de espessura, e as dimensões são de 100 x 100 cm para as membranas japonesas e de 46 x 102 cm para as membranas americanas. Para o dimensionamento foram escolhidas as

membranas japonesas K101 e A111 da Asahi Chemical Industry Co. Ltda. Estas membranas possuem espessura de 0,24 e 0,21 mm, respectivamente.

Considerando que devem existir espaços entre membranas para circulação da água (FIGURA 11), será adotada uma altura de 1,2 m.

Figura 11 – Esquema da circulação da eletrodialise



Fonte: Machado (2008).

O dispositivo terá largura e comprimento iguais às dimensões da membrana, portanto, 1 m de largura e 1 m de comprimento. Desta forma, as dimensões finais do dispositivo são: altura de 1,2 m, largura de 1 m e comprimento de 1 m.

#### 5.4.7. Filtro

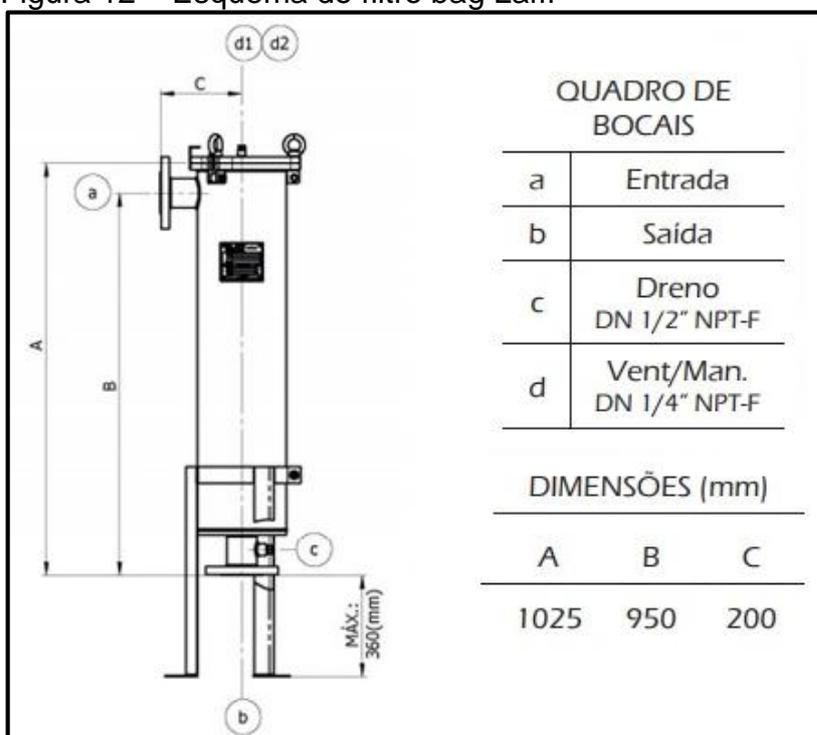
Após sair da eletrodialise é recomendado realizar a filtragem, para que toda e qualquer partícula não dissolvida, que ainda não foi retirada, seja então eliminada. É preciso considerar para a escolha do filtro ideal, quais componentes ainda estão presentes no lixiviado tratado e quais ainda precisam ser retirados, para que a água resultante fique de acordo com a legislação ambiental. Devem ser realizados ensaios com amostras do chorume, antes e depois de passar pelos tratamentos citados anteriormente. Somente com dados mais precisos acerca do lixiviado é possível realizar o dimensionamento e escolha correta do tratamento terciário necessário. Tais definições não fazem parte deste trabalho, uma vez que não existe nenhum tipo de estudo do lixo produzido no aterro controlado de Esmeraldas,

tampouco dados acerca da sua composição. Acredita-se, porém, com base nas bibliografias já citadas, que a tecnologia da eletrodialise é capaz de remover a maioria dos componentes tóxicos do chorume, sendo assim, o tratamento terciário deste anteprojeto é composto apenas por um filtro para a remoção de partículas suspensas.

Foi definida então a implementação de um filtro tipo *bag*, ou filtro bolsa, para retirar quaisquer impurezas ou resíduos presentes no material. Esse filtro foi escolhido por ser um dispositivo de fácil implementação, baixo custo e por apresentar alta eficiência na retenção de sólidos. De acordo com a empresa Laffi Filtration (2017), fabricante de diversos tipos de filtros, o filtro bag pode ser utilizado para vários tipos de líquidos, entre eles águas residuais.

Para o dimensionamento deste anteprojeto o filtro foi escolhido de acordo com a vazão necessária que é aproximadamente 18,30 m<sup>3</sup>/h. O modelo adotado foi o LFBSN-0102 DN 2.1/2" da marca Laffi. Ele possui capacidade de filtrar 36 m<sup>3</sup>/h e suas dimensões são mostradas na figura 12 e demais especificações no catálogo do anexo E.

Figura 12 – Esquema do filtro bag Laffi



Fonte: Adaptado de Laffi (2017).

#### **5.4.8. Tanque de armazenamento de água**

Para o armazenamento da água será dimensionado um tanque circular para armazenar um volume correspondente à 1 hora de tratamento. Considerando a vazão de 18,288 m<sup>3</sup>/h, o tanque terá 3 m de altura e 3 m de diâmetro.

#### **5.5. Anteprojeto**

Foi elaborada uma planta para melhor visualização e entendimento do tratamento, que pode ser encontrada no apêndice E, apresentando a vista em planta e um corte A-A e B-B de toda a estação de tratamento de chorume. Ela foi desenvolvida a partir dos cálculos realizados no dimensionamento já citado anteriormente e será disponibilizada no formato A1 e em escala de 1/50, exceto onde indicado.

Quanto à localização da estação de tratamento, foi escolhido um local que ocupasse uma área que facilite a terraplenagem necessária, já que o solo é irregular e possui inclinação de 5,0%, sendo que, a inclinação utilizada para o cálculo do dimensionamento não ultrapassa 0,6%. Além disso, também foi levado em consideração uma porção de menor altimetria para utilizar a inclinação natural do terreno no sistema de drenagem da área efetiva do aterro. A partir disso, pode-se determinar então que a área da estação de tratamento ficará localizada na porção noroeste do aterro, como pode ser observado na figura 15 abaixo:

Imagem 02 – Localização da estação de tratamento de chorume.



Fonte: As Autoras (2017).

## 5.6. Reuso da água

Com o crescimento populacional e a diversificação das atividades antrópicas, aumenta-se a utilização de recursos hídricos para consumo e para despejo de resíduos, tornando-os mais escassos e inapropriados ao abastecimento humano, o que desencadeia a busca por alternativas para gerenciamento desses recursos (SANTOS; MANCUSO, 2003). Desta forma, o reuso de efluentes tratados para fins não potáveis vem sendo cada vez mais estudado e validado como uma opção, uma vez que é uma ótima ferramenta de otimização, economia de água e sustentabilidade, além de diminuir e até eliminar os impactos negativos que iriam ocorrer, caso o efluente tratado de forma convencional fosse lançado em um corpo receptor. Outra vantagem dessa política de reuso é preservar a água potável, reservando-a exclusivamente para o atendimento das necessidades que exijam a sua potabilidade e para o abastecimento humano, obedecendo, de acordo com o site Migalhas (2017), um conceito instituído pelo Conselho Econômico e Social das Nações Unidas em 1985, “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma

água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior”.

Segundo a NBR 13969/97, para implantar um sistema de reuso, primeiramente deve-se definir a utilidade da água requerida para se definir a qualidade necessária. Visto que o Parque Industrial se encontra ao lado do aterro sanitário a ser implantado no município, a proposta principal é utilizar a água obtida através dos processos de tratamento do chorume para fins industriais e outros fins não potáveis, que não exijam um tratamento muito elaborado, como reuso nas descargas dos vasos sanitários.

### **5.6.1. Reuso para fins não potáveis**

De acordo com o item 5.6.4, NBR 13969/97, são previstos parâmetros e classificações que devem ser seguidas para o reuso da água (QUADRO 03), sendo que a Classe 1 engloba a lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água; Classe 2, lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes; Classe 3, reuso nas descargas dos vasos sanitários e para satisfazer os parâmetros de reuso para enxágue das máquinas de lavar roupas é necessário seguir esses padrões e acrescentar apenas uma cloração.

Quadro 03 – Parâmetros para reuso

<b>CLASSE</b>	<b>TURBIDEZ</b>	<b>COLIFORME FECAL</b>	<b>SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS</b>	<b>PH</b>	<b>CLORO RESIDUAL</b>
1	< 5 NTU	inferior a 200 NMP/100mL	inferior a 200mg/L	entre 6,0 e 8,0	entre 0,5 mg/L e 1,5mg/L
2	< 5 NTU	inferior a 500 NMP/100 mL	-	-	superior a 0,5mg/L
3	< 10 NTU	inferior a 500 NMP/100 mL	-	-	-

Fonte: Adaptado de NBR 13969/97

Desta forma, o grau de tratamento necessário para o uso em múltiplas classes 1, 2 e 3, será regido pela classe 1, que é o uso mais exigente quanto à qualidade de chorume tratado.

### **5.6.2. Reuso industrial**

Segundo o Centro Internacional de Referência em Reuso de Água – CIRRA (2016), no Brasil, as atividades industriais respondem por aproximadamente 20% do consumo de água. Desta forma, a prática do reuso industrial seria fundamental para sustentabilidade, teria benefícios econômicos, devido aos custos elevados da água industrial no Brasil e obedeceria às novas legislações visto que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) determina o regime de outorga de direitos de uso de recurso hídricos e a cobrança pela utilização destes, tanto na cobrança pela utilização da água como no despejo de efluentes, conforme na previsto na lei Federal n. 9.433.

A escolha da situação em que o reuso será utilizado é determinado a partir da qualidade da água resultante, a exemplo tem-se algumas situações em que poderiam ser utilizadas para fins industriais: torre de resfriamento, caldeiras, lavagem de tanques, peças e equipamentos, lavagem de pisos e veículos e processos industriais.

A título de exemplo temos a caldeira, um equipamento largamente utilizado na indústria que tem a finalidade de transformar água em vapor de água, utilizando para isso a queima de qualquer tipo de combustível. São utilizadas em empresas de processos industriais que precisam de altas temperaturas, em indústrias químicas e petroquímicas e em outros diversos segmentos industriais. A água de reuso pode e deve ser utilizada nesse equipamento, uma vez que este necessita que a água esteja isenta de sais minerais, ou seja desmineralizada, pois caso contrário haverá o acúmulo de sais na superfície que causarão corrosão e incrustação.

Segundo o Telles e Costa (2010), na cidade de Guarulhos – SP existem indústrias que captam a água do rio Tietê e de seus córregos, fazem nela um tratamento de forma a apresentar como produto final a água não potável, porém límpida, podendo conter grande número de coliformes, metais pesados, além de outras substâncias orgânicas e não orgânicas. Esta água é utilizada para resfriamento de máquinas e caldeiras. Visto que o rio Tietê é praticamente um “esgoto a céu aberto” e que o processo de eletrodialise fornece um produto final de água com características mais “especiais”, como menores taxas de coliformes e isenta de metais, a água resultante do tratamento do chorume em Esmeraldas, também poderá ser utilizada para os mesmos fins.

Assim sendo, pode-se elencar várias vantagens da aplicação do reuso:

- Conformidade ambiental em relação a padrões e normas ambientais estabelecidos, possibilitando melhor imagem da empresa no quesito ambiental – postura proativa.
- Credenciamento da empresa para futuros processos de certificação ambiental ISO 14001. Norma referente à gestão ambiental.
- Ampliação da oportunidade de negócios para as empresas fornecedoras de serviços e equipamentos, e em toda a cadeia produtiva.
- Ampliação na geração de empregos diretos e indiretos.
- Maximização da eficiência na utilização dos recursos hídricos.

Para um melhor aproveitamento da água de reuso, é necessário sempre fazer um monitoramento com análises e estudos sobre a qualidade da água para gerenciar ou evitar problemas de manutenção, como é destacado por Oenning<sup>11</sup> *apud* Telles e Costa (2010):

- Incrustações – formações de depósitos salinos devido a precipitações de sais, quando estes atingem concentrações superiores ao limite de solubilidade.
- Corrosão metálica – ocorre quando é criado um potencial elétrico entre superfícies metálicas diferentes.
- Crescimento biológico – nutrientes orgânicos, como nitrogênio e fósforo, favorecem o crescimento de microrganismos, juntamente com o fato do ambiente ser úmido e morno dentro das torres de resfriamento.

---

<sup>11</sup> OENNING Jr. A. Tese de Mestrado: “Avaliação de tecnologias avançadas para o reuso de água em indústria metalomecânica”. Universidade Federal do Paraná – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. 2006.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O lixão de Esmeraldas, erroneamente chamado de aterro controlado, foi o objeto de estudo deste trabalho, que buscou retratar o anteprojeto de uma estação de tratamento de chorume através de estudos ambientais, químicos e físicos, para posterior dimensionamento da estação de tratamento.

Vale ressaltar que o aterro de Esmeraldas, atualmente, encontra-se fora das normas da ABNT, sendo, portanto, um lixão. Entretanto, não foi o objetivo do trabalho adequar o aterro às normas técnicas, partindo do pressuposto de que o aterro sanitário já está construído, em funcionamento e regularizado. A partir disso, foi feito o estudo e dimensionamento de uma estação de tratamento de chorume para o aterro de Esmeraldas.

A estação de tratamento de chorume seria ideal para o município, uma vez que o tratamento de chorume é de extrema importância para a preservação do meio ambiente e conseqüentemente, dos seres vivos, uma vez que se disposto da forma incorreta pode contaminar o lençol freático e ser um atrativo de vetores de doença, por conter uma grande carga orgânica. Além disso, ao lado do aterro se encontra um Parque Industrial, que perde sua atratividade por estar ao lado de um “lixão”. Desta forma, além de permitir o tratamento do chorume, o presente trabalho busca transformá-lo em água para reuso em atividades industriais e para fins não potáveis, tornando assim, a região mais atraente.

Destaca-se que para a escolha adequada do tratamento do chorume é necessário que sejam feitos estudos de tratabilidade, isto é, obtenção de dados para conhecimento e análise provenientes de uma amostra deste chorume. O objetivo de tais estudos é determinar parâmetros e informações precisas que possibilitem a execução de um projeto eficiente. Além disso, a operação e o monitoramento da estação devem ser feitos por profissionais especializados, prevendo as devidas manutenções periódicas nos dispositivos de tratamento, a fim de garantir a sua eficácia.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419/1992 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.** 1992. 7 p.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 6118/2014 – Projetos de estrutura de concreto - procedimento.** Rio de Janeiro, ABNT, 2014.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001/2004 – Sistemas da gestão ambiental Requisitos com orientações para uso.** Rio de Janeiro, ABNT, 2004.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 13969/1997-Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dosefluentes líquidos – Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro, ABNT, 1997.
- ABREU, G. C. R.; SÁ, V. P. T. **Dimensionamento de uma estação de tratamento de esgoto para a cidade universitária da UFRJ de acordo com o plano diretor de 2020.** 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011372.pdf>> Acesso em: 25, Out, 2017.
- AGÊNCIA DE INFORMAÇÕES DA EMBRAPA. **Podzólicos / Argilosos.** 2016. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01\\_97\\_10112005101957.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_97_10112005101957.html)> Acesso em: 12, Set, 2017.
- ALBORNOZ, L. L. **Eletrodialise como tratamento terciário em uma estação de tratamento de efluentes de um campus universitário visando o reuso de água.** 2017. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/158235>> Acesso em: 19, Set, 2017.
- ALVARENGA, M. A. **Plano de Expansão Urbana de Esmeraldas Diagnóstico.** Esmeraldas, 2015.
- AMBIENTE GAIA. **Aterro Sanitário.** 2012. Disponível em: <<http://www.ambientegaia.com.br/aterrosanitario.php>> Acesso em: 31, Ago, 2017.
- ÂMBITO JURÍDICO. **A Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos e a meta de implantação de aterros sanitários no Brasil.** Disponível em: <[http://ambito-juridico.com.br/site/?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=14280&revista\\_caderno=5](http://ambito-juridico.com.br/site/?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=14280&revista_caderno=5)> Acesso em: 14,Nov, 2016.
- ANDRADE, S. F. **Aplicação da técnica de recirculação do chorume em aterros tropicais – estudo de caso do aterro sanitário metropolitano centro (ASMC).** Salvador, 2014. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/aplicacao-da-tecnica-de-recirculacao->

de-chorume-em-aterros-tropicais-estudo-de-caso-do-aterro-sanitario-metropolitano-centro-asmc/> Acesso em: 24, Nov, 2017.

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. **Emprego do Método de Thornthwaite&Mather (1955) para Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico do Núcleo de Degradação de São Raimundo Nonato-Piauí**. 01 ed. Revista Brasileira de Geografia Física, 2013. 12 p. v. 6. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbge/index.php/revista/article/download/356/383>> Acesso em: 31, Ago, 2017.

AS MINAS GERAIS. **Esmeraldas**. Disponível em: <<http://www.asminasgerais.com.br/qf/univlrcidades/cidades/esmeraldas/index.htm>> Acesso em: 15, Set, 2017.

BAPTISTA, M.; LARA, M. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. 3. Ed. Belo Horizonte: UFMG. 2014.

BERNARDES, M. A. General aspects of membrane separation processes In: BERNARDES, M. A.; RODRIGUES, M. A. S.; FERREIRA, J. Z. (Eds.) **Electrodialysis and Water Reuse: Novel Approaches**. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2014.

BRASÍLIA. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Resíduos Hídricos; altera a Lei no 7.990, de 28 de dezembro de 1989; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**.

BRASÍLIA. 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. **Diário Oficial da União**.

CARDILLO, L. **Chorume – Vazão e características**. 2013. Disponível em: <[http://web-resol.org/textos/cardillo\\_-\\_conceitos\\_basicos\\_volume\\_chorume\\_-\\_sept\\_18.pdf](http://web-resol.org/textos/cardillo_-_conceitos_basicos_volume_chorume_-_sept_18.pdf)> Acesso em: 03, Ago, 2017.

CIRRA USP. **Centro Internacional de Referência em Reuso de Água Universidade São Paulo**. 2016. Disponível em: <<https://http://biton.uspnet.usp.br/cirra/?cat=6>> Acesso em: 02, Set, 2017.

CLIMATEMPO. **Climatologia – Esmeraldas/MG**. 2017. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/3730/esmeraldas-mg>> Acesso em: 04, Set, 2017.

EMBRAPA – MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Brasil em relevo**. 2016. Disponível em: <<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/>> Acesso em: 02, Out, 2017.

FERNANDES, C. **Medidores Parshall**. 2017. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/PARSHALL.html>> Acesso em: 02, Out, 2017.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Podzólicos Vermelho-Amarelo**. 2014. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/574-podz%C3%B3licos-vermelho-amarelo#site>> Acesso em: 12, Set, 2017.

G1. **Senado aprova prorrogação do prazo para extinção de lixões**. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/politica/noticia/2015/07/senado-aprova-prorrogar-por-2-anos-extincao-de-lixoes.html>> Acesso em: 23, Nov, 2017.

G1. **Tecnologia criada no ES transforma chorume em água limpa**. 2014a. Disponível em: <<http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2014/10/tecnologia-criada-no-es-transforma-chorume-em-agua-limpa.html>> Acesso em: 12, Set, 2017.

G1. **Tecnologias transformam o chorume, resíduo tóxico do lixo, em água limpa**. 2014b. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2014/08/tecnologias-transformam-o-chorume-residuo-toxico-do-lixo-em-agua-limpa.html>> Acesso em: 16, Set, 2017.

GOMES, T. L.; SILVA, C. E.; GRABIN, T. F. **Aplicação de modelos empíricos na estimativa da geração de percolado em aterro sanitário**. 2006. 7 p. Disponível em: <<http://jaraca.ufsm.br/websites/ces/download/2006-SILC.pdf>> Acesso em: 30, Ago, 2017.

HERA BRASIL. **Tratamento de chorume osmose reversa**. (20??). Disponível em: <[http://www.ablp.org.br/pdf/Juan-Forniele-151123V1.0\\_Tratamento-de-Chorume.pdf](http://www.ablp.org.br/pdf/Juan-Forniele-151123V1.0_Tratamento-de-Chorume.pdf)> Acesso em: 28, Ago, 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2016. **Cidades - Esmeraldas, MG**. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/55H>> Acesso em: 07, Ago, 2016.

INFOESCOLA. **Chorume**. 20??. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/chorume>> Acesso em: 27, Nov, 2017.

INTERCÂMBIO VIRTUAL. **Solos – Características**. 2009. Disponível em: <<http://quarta--serie.blogspot.com.br/2009/08/solo-caracteristicas.html>> Acesso em: 12, Set, 2017.

IWAI, K. C. **Tratamento do chorume através da percolação em solos empregados como material de cobertura de aterros para resíduos sólidos urbanos**. 2005. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90805/iwai\\_ck\\_me\\_bauru\\_prot.pdf?sequence=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90805/iwai_ck_me_bauru_prot.pdf?sequence=1)> Acesso em: 24, Ago, 2017.

JORNAL CIÊNCIA. **Cientistas descobriram nova forma de separar o sal da água do mar**. 2016. Disponível em: <<http://www.jornalciencia.com/cientistas-descobriram-nova-forma-de-separar-o-sal-da-agua-do-mar/>> Acesso em: 16, Set, 2017.

JORNAL ESTADO DE MINAS. **Polícia civil encontra irregularidades no lixão de Esmeraldas**. 2010. Disponível em:

<[https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2010/12/27/interna\\_gerais,200426/policia-civil-encontra-irregularidades-no-lixao-de-esmeraldas.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2010/12/27/interna_gerais,200426/policia-civil-encontra-irregularidades-no-lixao-de-esmeraldas.shtml)> Acesso em: 25, Set, 2016.

LAFFI FILTRATION. **Laffi bag – filtro bolsa tipo side: informativo técnico.** Disponível em: <[http://www.laffi.com.br/download/IF-001-01\\_BAG\\_SIDE.pdf](http://www.laffi.com.br/download/IF-001-01_BAG_SIDE.pdf)> Acesso em: 30, Set, 2017.

MACHADO, M, B. **Avaliação do processo de eletrodíálise reversa no tratamento de efluentes de refinaria de petróleo.** 2008. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28928/000772914.pdf?sequence=1>> Acesso em: 23, Set, 2017.

MAGALHÃES, N. C. **Remoção e recuperação de amônia de lixiviado de aterro sanitário utilizando membranas contactoras e comparação com processos convencionais.** 2014. Disponível em: <[www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1088M.PDF](http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1088M.PDF)> Acesso em: 19, Set, 2017.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.** 5ª ed, McGraw Hill, 2016. Acesso em: 22, Set, 2017.

MIGALHAS. **Abastecimento de Água, Tratamento e Reuso de Efluentes.** 2017.. Disponível em: <<http://www.migalhas.com.br/Quentes/17,MI28187,61044-Abastecimento+de+Agua+Tratamento+e+Reuso+de+Efluentes>> Acesso em: 06, Set, 2017.

MORAES, L. J. **Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário.** 2005. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/3523/TESE%20DOUT%20PPGQ%20JOSMARIA%20LOPES%20DE%20MORAIS.pdf?sequence=1>> Acesso em: 22, Ago, 2017.

PADILLA, R. S. **Aplicação de um modelo computacional tridimensional para estimativa de balanço hídrico em aterros sanitários.** 2007. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/289M.PDF>> Acesso em: 05, Set, 2017.

PERMUTION. **Sistema de osmose reversa portátil RO1000.** Disponível em: <<http://www.permution.com.br/pt-br/sistema-de-osmose-reversa-portatil-ro1000>> Acesso em: 02, Set, 2017.

PIVELLI, R. P.; SOUZA, T. S. O. **Tratamento preliminar.** 20???. Escola Politécnica da USP. São Paulo. <[cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download](http://cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download)> Acesso em: 28, Set, 2017.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. **Sistema de osmose reversa flexível apresentado pela GE Water.** Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/sistema-de-osmose-reversa-flexivel-ge-water/>> Acesso em: 30, Ago, 2017.

PORTAL SANEAMENTO BÁSICO. **Tratamento preliminar de esgoto**. Disponível em: <<https://www.saneamentobasico.com.br/licitacao/tratamento-preliminar-de-esgoto/>> Acesso em: 22, Set, 2017.

PREFEITURA ESMERALDAS. **Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico**. Esmeraldas, 2016.

PREFEITURA RIO DE JANEIRO. **Companhia Municipal de Limpeza Urbana: O destino final dos resíduos removidos no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: < <http://www.rio.rj.gov.br/web/comlurb/exibeconteudo?id=4194245> > Acesso em: 28, Nov, 2017.

SANTOS, H. F.; MANCUSO, P. C. S. (Ed.). **Reuso de água**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2007. cap. 9, p. 291-338. METCALF A

SERAFIM, C. A. et al. **Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamento**. São Paulo, 2003. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/06/Chorume-impactos-ambientais-e-possibilidades-de-tratamento.pdf>> Acesso em 28, Nov, 2017.

TECMA. **Tecma – Tecnologia em meio ambiente**. 2012. Disponível em:<<https://http://www.tecma-tecnologia.com.br/site/categoria.php?id=1&nome=A-EMPRESA>> Acesso em: 18, Set, 2017.

TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. G. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2ª ed. São Paulo. 2010.

## GLOSSÁRIO

**Aeróbios:** Condição que implica a existência de oxigênio.

**Aerador:** Equipamento colocado na superfície dos tanques para realizar a integração do oxigênio com a água.

**Água desmineralizada:** Água com todos os sais minerais removidos.

**Air stripping:** Processo de tratamento para redução dos índices de amônia.

**Anaeróbios:** Condição que implica a ausência de oxigênio.

**Ânion:** Íon com carga elétrica negativa, apresenta menos prótons do que elétrons.

**Ânodo:** Corresponde ao eletrodo negativo, para o qual os íons positivos normalmente são atraídos.

**Anóxicos:** Condição que implica a inexistência de oxigênio e existência de compostos como o nitrato ou o sulfato.

**Calha Parshall:** Dispositivo medidor de vazão.

**Carvão ativado:** É uma forma de carbono muito usado para remover líquidos, gases e impurezas através da absorção por meio dos poros existentes no carvão.

**Cátions:** Íon com carga elétrica positiva, apresenta mais prótons do que elétrons.

**Cátodo:** Corresponde ao eletrodo positivo, para o qual os íons negativos normalmente são atraídos.

**Chorume:** Líquido escuro que contém alta carga poluidora e é proveniente de matérias orgânicas em putrefação.

**Clarificação:** Procedimento para clarear líquidos turvos.

**Coagulação:** Passagem de certos líquidos orgânicos para o estado sólido.

**Corrente contínua:** É considerada corrente contínua quando não tem o seu sentido alterado, ou seja, permanece sempre positiva ou negativa.

**Corrosão metálica:** Deterioração de um material devido às reações químicas ou eletroquímicas que ocorrem com o meio que interage.

**Decantador:** Equipamento que serve para separar, por meio da gravidade, os sólidos sedimentáveis que estão contidos em uma solução líquida.

**Descarga de fundo:** Procedimento que tem como objetivo eliminar o lodo.

**Desnitrificação:** Processo no qual, por meio de bactérias desnitrificantes, fazem o Nitrato ( $\text{NO}_3$ ) torna-se novamente o nitrogênio ( $\text{N}_2$ ).

**Dessanilização:** Processo físico-químico de retirada de sais da água.

**Diálise:** Processo físico-químico pelo qual duas soluções de concentrações diferentes são separadas por uma membrana semipermeável.

**Difusão:** Propagação; espalha por várias direções.

**Dreno:** Tubo cuja função é fazer o escoamento da água.

**Drenagem:** Escoamento de água feito através de mecanismos ou aparelhos apropriados.

**Efluente:** Resíduo líquido que sai durante os processos industriais.

**Eletrodiálise:** Processo que combina o uso de membranas de troca iônica com gradiente de potencial elétrico, objetivando a remoção de espécies iônicas de soluções aquosas.

**Eletrocoagulação:** Passagem de substâncias do chorume para o estado sólido através da aplicação de uma corrente elétrica.

**Eletrofloculação:** É o processo onde sólidos em suspensão formam partículas maiores por meio da aplicação de uma corrente elétrica.

**Eletroflotação:** Processo em que ocorre a separação de substâncias em misturas heterogêneas através da aplicação de uma corrente elétrica.

**Escoamento superficial:** Fluxo de água que ocorre na superfície do solo.

**Evaporação:** Processo pelo qual se transfere água do solo e das massas líquidas para a atmosfera.

**Evapotranspiração:** Processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera através da evaporação e da transpiração.

**Evapotranspiração potencial:** Quantidade máxima de água perdida para a atmosfera por evaporação e transpiração.

**Evapotranspiração real:** Quantidade de água que nas condições reais se evapora do solo e transpira das plantas.

**Facultativos:** Mistura de condições anaeróbicas e aeróbicas.

**Filtração:** Método utilizado para separar sólido de líquido

**Filtro biológico:** Filtro responsável pela conversão e oxidação de matéria orgânicas e nutrientes.

**Geomorfologia:** Ramo da geologia física que estuda as formas dos relevos através de estudos sobre sua origem e evolução.

**Gradeamento:** Etapa do tratamento composta por grades e destinada à retenção de material grosseiro.

**Hemodiálise:** Método de filtração do sangue por meio de um rim artificial.

**Hipertônico:** Solução em que a concentração de soluto é maior, quando comparada a outra solução.

**Hipotônico:** Solução em que a concentração de soluto é menor, quando comparada a outra solução.

**Impermeabilização:** Técnica que consiste na aplicação de produtos específicos, buscando impedir a infiltração de líquidos.

**Incrustação:** Crosta formada nas faces dos corpos que ficam muito tempo em contato com uma água que contém de sais calcários.

**Índice pluviométrico:** Somatório da quantidade de precipitação de água em um determinado local durante um determinado tempo.

**Íon:** São átomos que possuem cargas elétricas. Se classificam em ânions e cátions.

**Lagoa aerada:** Lagoa de tratamento com o objetivo de suprir a necessidade de oxigênio.

**Lagoas de estabilização:** Locais para tratamento de afluentes, por processos químicos e biológicos, com o objetivo de reter a matéria orgânica.

**Latossolo:** Tipo de solo constituído predominantemente por material mineral.

**Lixiviados:** Efluentes líquidos gerados como resultado da percolação de água em aterros sanitários.

**Lodo ativado:** Lodo resultante de um processo de tratamento de esgoto destinado à destruição de poluentes orgânicos biodegradáveis.

**Membrana impermeável:** Membrana que não permite a passagem de solvente, nem de soluto.

**Membranas poliméricas:** Estruturas que dividem duas fases como uma barreira seletiva entre elas.

**Microfiltração:** Processo de separação por membranas possui tamanho de poros entre 0,1 a 10 $\mu$ m.

**Nanofiltração:** Processo de separação por membranas, movido pela diferença de pressão.

**Nitrificação:** Processo de transformação do nitrogênio amoniacal em nitratos.

**Osmose reversa:** Processo de separação que usa pressão para forçar uma solução através de uma membrana que retém o soluto em um lado e permite que o solvente passe para o outro lado.

**Percolação:** Passagem lenta de um líquido por algum meio.

**pH:** Potencial hidrogeniônico, indica o grau de acidez ou alcalinidade de uma dada solução.

**Poço de sucção:** Equipamento responsável por criar uma área preferencial para captação de fluido com baixa aceleração.

**Podzólicos:** Tipo de solo com excesso dos elementos ferro e lima.

**Sedimentação:** Acumular sedimentos em camadas.

**Shapefile:** Formato popular de arquivo contendo dados geoespaciais em forma de vetor usado por Sistemas de Informações Geográficas.

**Soluto:** Aquilo que se dissolve em meio líquido.

**Solvente:** Permite que o soluto se distribua em seu interior.

**Tempo de detenção:** Tempo que a água demora a entrar e sair de determinado tratamento.

**Transpiração:** Processo de evaporação que ocorre através da superfície das plantas.

**Turbidez:** Propriedade física dos fluidos que se traduz na redução da sua transparência.

**Ultrafiltração:** Processo de separação utilizando membranas com tamanhos de poro na faixa de 0,1 a: 0,001 micron.

**Zeólita:** Mineral em forma de cristal geralmente encontrado no basalto.

**APÊNDICE A**

# LOCALIZAÇÃO DO ATERRO CONTROLADO DE ESMERALDAS

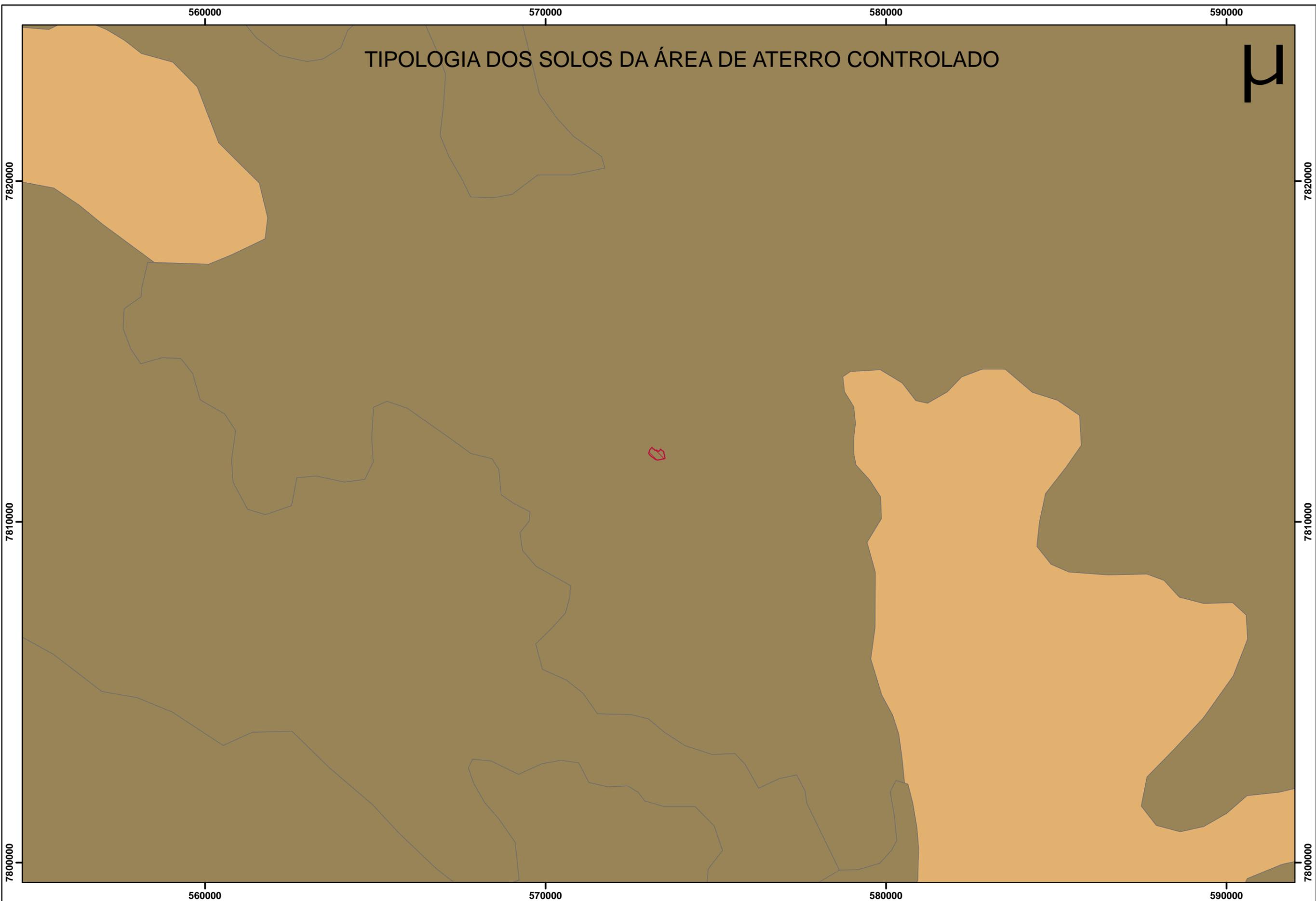


Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

<p>Notas: IMAGEM EXTRAÍDA DO GOOGLE EARTH</p>	<p>Articulação das pranchas: ND</p>	<p>Título: LOCALIZAÇÃO DO ATERRO CONTROLADO DE ESMERALDAS</p>	<p>Legenda:  Aterro Controlado</p>	<p>Responsável Técnico:  Leticia Capanema Ribeiro</p>	<p>Notas: PROJEÇÃO UTM SIRGAS 2000 23S</p>	<p>Escala: <b>1:4.000</b> Numeração: 01/01</p>
---	---	---	---	---	--	--

**APÊNDICE B**

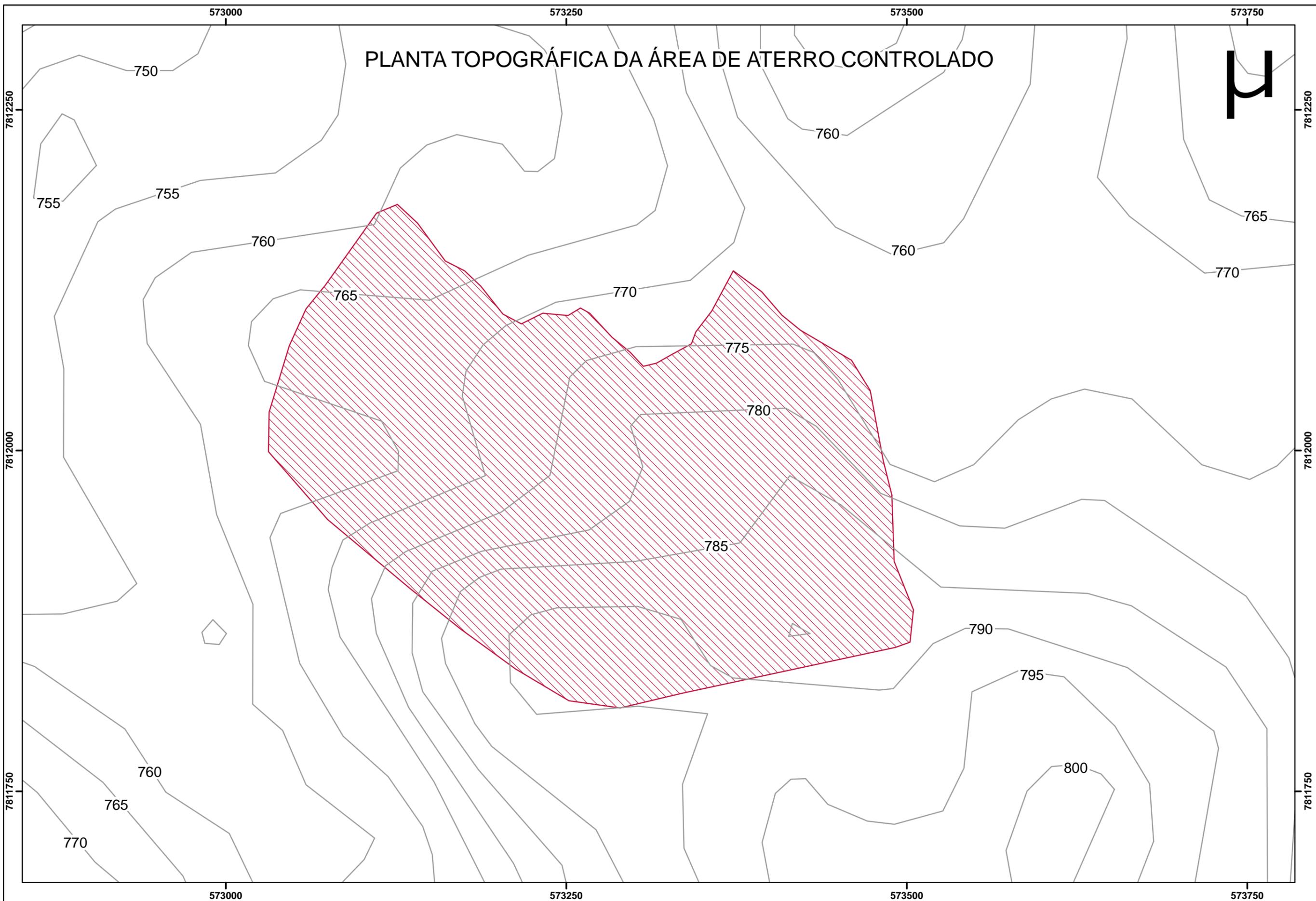
# TIPOLOGIA DOS SOLOS DA ÁREA DE ATERRO CONTROLADO



<p>Notas: SHAPE RETIRADO DO EMBRAPA (2016).</p>	<p>Articulação das pranchas: ND</p>	<p>Título: TIPOLOGIA DOS SOLOS DA ÁREA DE ATERRO CONTROLADO</p>	<p>Legenda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Aterro Controlado</li> <li> Latossolo Vermelho Amarelo</li> <li> Podzolico Vermelho Amarelo</li> </ul>	<p>Responsável Técnico:  Leticia Capanema Ribeiro</p>	<p>Notas: PROJEÇÃO UTM SIRGAS 2000 23S</p>	<p>Escala: <b>1:100.000</b></p> <p>Numeração: 01/01</p>
---	---	---	--	---	--	---

**APÊNDICE C**

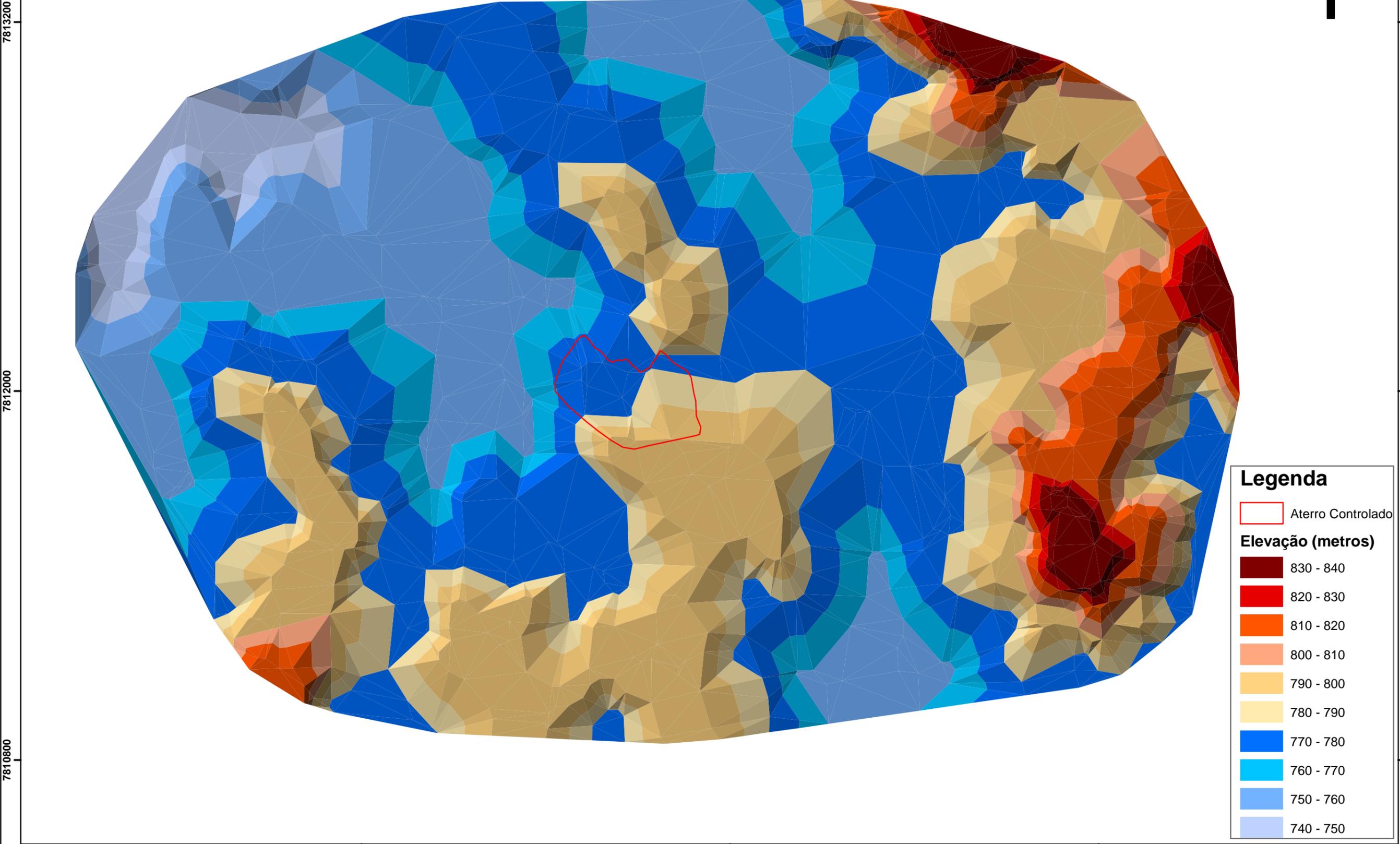
# PLANTA TOPOGRÁFICA DA ÁREA DE ATERRO CONTROLADO



<p>Notas: SHAPE RETIRADO DO EMBRAPA (2016).</p>	<p>Articulação das pranchas: ND</p>	<p>Título: PLANTA TOPOGRÁFICA DA ÁREA DE ATERRO CONTROLADO</p>	<p>Legenda:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— Curvas de Nível</li><li>▨ Aterro Controlado</li></ul>	<p>Responsável Técnico: Leticia Capanema Ribeiro</p>	<p>Notas: PROJEÇÃO UTM SIRGAS 2000 23S</p>	<p>Escala: <b>1:2.500</b></p> <p>Numeração: 01/01</p>
---	---	--	---	--	--	---

**APÊNDICE D**

# MAPA HIPSOMETRICO



**Legenda**

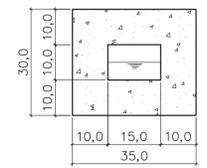
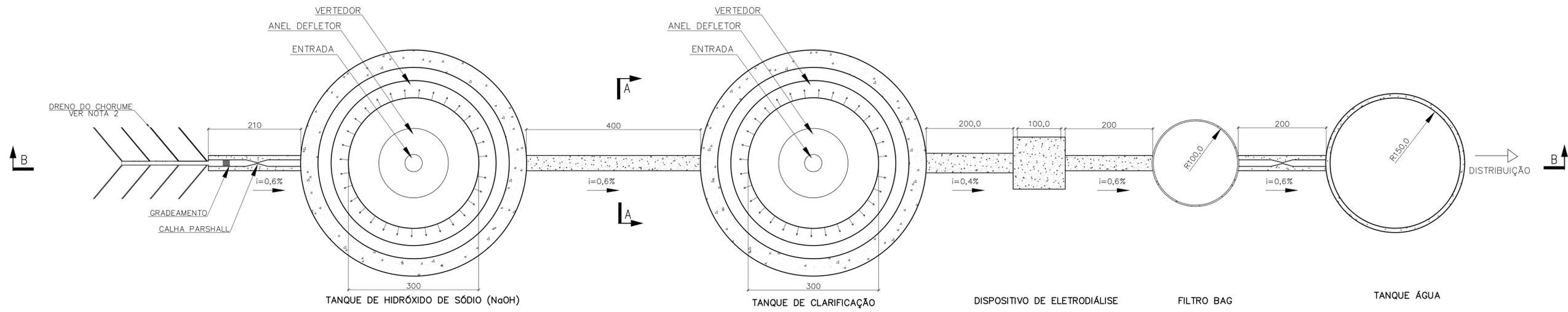
 Aterro Controlado

**Elevação (metros)**

-  830 - 840
-  820 - 830
-  810 - 820
-  800 - 810
-  790 - 800
-  780 - 790
-  770 - 780
-  760 - 770
-  750 - 760
-  740 - 750

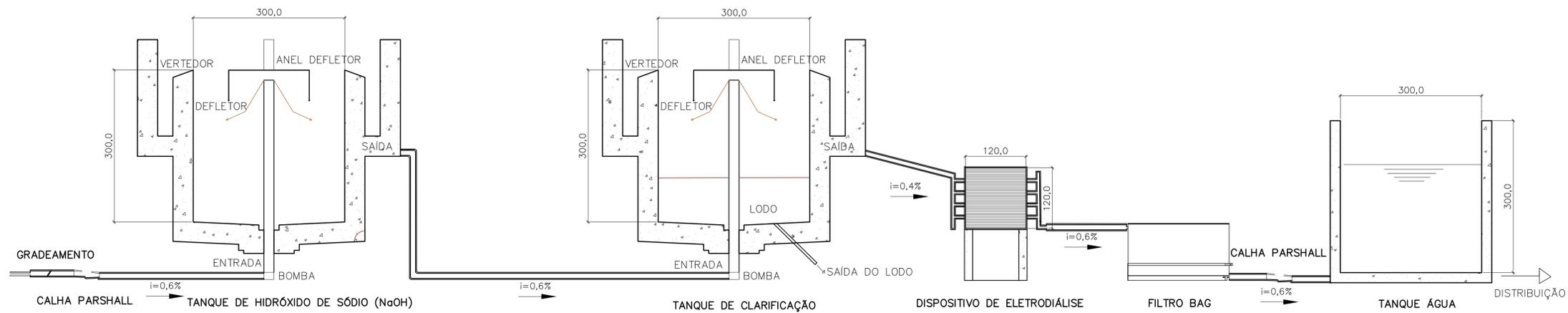
Notas: ND	Articulação das pranchas: ND	Título: MAPA HIPSOMETRICO	Legenda: INDICADA	Responsável Técnico:  Leticia Capanema Ribeiro	Notas: PROJEÇÃO UTM SIRGAS 2000 23S	Escala: <b>1:12.000</b> Numeração: 01/01
--------------	---------------------------------	------------------------------	----------------------	--	--	---

## APÊNDICE E



CORTE A-A  
ESCALA: 1/10

PLANTA  
ESCALA: 1/50



CORTE B-B  
ESCALA: 1/50

- NOTAS
- 1 - TODAS AS DIMENSÕES ESTÃO EM CENTÍMETRO, ELEVAÇÕES E COORDENADAS EM METRO, EXCETO ONDE INDICADO.
  - 2 - O DETALHAMENTO DA DRENAGEM É ORIUNDA DO ATERRO SANITÁRIO.

REVISÕES	
Nº	DESCRIÇÃO
0	EMISSÃO INICIAL

EMISSÃO		ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CHORUME	
DES.		TÍTULO:	ANTEPROJETO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CHORUME
PROJ.			
VERIF.			
APROV.		ESCALA INDICADA	No.
			REVISÃO 00

## ANEXO A

Quadro 01 – Processos de tratamento de chorume e suas aplicações

Processo de Tratamento	Aplicação	Observações
<i>Processos biológicos</i>		
Lodos ativados	Remoção de componentes orgânicos	Necessita de decantador
Sequência de reatores "batch"	Remoção de componentes orgânicos	Similar ao de lodos ativados, porém sem decantador (somente para pequenas vazões)
Lagoas aeradas	Remoção de componentes orgânicos	Requer muita área
Sistemas baseados em películas biológicas	Remoção de componentes orgânicos	Mais indicado para efluentes industriais
Sistemas anaeróbios (lagoas e reatores)	Remoção de componentes orgânicos	Baixos consumo de energia e produção de lodo; em climas muito frios requer aquecimento; riscos de instabilidade, principalmente na partida
Nitrificação/desnitrificação	Remoção de nitrogênio	Dependendo do sistema pode ser aplicado conjuntamente aos sistemas de remoção de componentes orgânicos.
<i>Processos químicos</i>		
Neutralização	Controle de pH	Aplicação limitada
Precipitação	Remoção de metais e alguns ânions	Gera lodo que deve ser disposto como resíduos perigoso
Oxidação	Remoção de componentes orgânicos	Mais indicado para águas residuárias diluídas e o uso de cloro pode gerar hidrocarbonetos clorados
Oxidação com vapor saturado	Remoção de compostos orgânicos	Custoso
<i>Operações físicas</i>		
Sedimentação/flotação	Remoção de sólidos suspensos	Aplicação limitada se aplicado isoladamente, porém pode ser útil em conjunto com outros processos.
Filtração	Remoção de sólidos suspensos	Util somente no refinamento do processo
"Air Stripping"	Remoção de amônia ou compostos orgânicos voláteis	Necessita de equipamento para controle de poluição atmosférica
Adsorção	Remoção de componentes orgânicos	Custos elevados, e ainda em testes
Troca iônica	Remoção de compostos inorgânicos dissolvidos	Util somente no refinamento do processo
Evaporação	Quando a descarga de chorume não é permitida	Resulta em lodo que pode ser perigoso, e pode ser custoso em regiões não áridas.

Fonte: IWAI (2005).

Quadro 02 – Principais constituintes e respectivos tratamentos do chorume

Constituinte	Características gerais	Processo de Tratamento Provável
Substâncias orgânicas em elevadas concentrações	<p>Chorume novo (DBO≈10.000 mg/l)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Na forma de ácidos graxos</li> <li>– Viável ao tratamento biológico, retendo-se qualquer inibição tóxica</li> </ul> <p>Chorume velho (DBO abaixo de 1.000 mg/l e DQO acima de 1.000 mg/l)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Na forma ácidos húmicos e fúlvicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tratamento biológico</li> <li>– Adsorção (ex: carvão ativado)</li> </ul>
Nitrogênio amoniacal	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Acima de 1.000 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nitrificação/desnitrificação biológica</li> <li>– Cloração ao Breakpoint</li> <li>– Troca iônica</li> </ul>
Metais pesados	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Em dezenas e centenas (mg/l)</li> <li>– Fe principalmente, Zn, Pb, Cu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Precipitação química</li> <li>– Tratamento bioquímico</li> </ul>
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Em dezenas (mg/l)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Adição suplementar, necessária ao tratamento biológico</li> </ul>
PH	<ul style="list-style-type: none"> <li>– O chorume é geralmente ácido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Neutralização por cal ou hidróxidos</li> </ul>
Íons conservativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Cl<sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> em milhares (mg/l), altas concentrações de sólidos dissolvidos são comuns no chorume.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Osmose reversa e ultrafiltração</li> </ul>

Fonte: IWAI (2005).

## ANEXO B

## Documento 01 – Informações sobre o aterro em Cariacica – ES (continua)



**MARCA**  
ambiental

Reciclagem de Resíduos

Rodovia Governador Mário Covas, s/nº  
Sítio Três Águas, Bairro Nova Rosa da Penha  
Cariacica-ES, Brasil. CEP 29157-400

55 27 2123.7700 / 7719 / 7738  
www.marcaambiental.com.br

Informações cedidas pela analista Juliana Tackla em 11 de setembro de 2017, à pesquisadora Luísa Porto afim de realização de trabalho de conclusão de curso de engenharia civil da FUMEC sob supervisão da prof. Paula Regina Balabram.

- 1) Qual o volume diário de lixo recebido pelo aterro.

Recebemos resíduos sólidos urbanos (rsu) de 15 municípios, totalizando em média 1400 t/dia.

- 2) Qual a área total ocupada pelo aterro e pela estação de tratamento de chorume.

Área total de 215 hectares.

- 3) Como funciona o processo de tratamento do chorume no aterro.

O chorume gerado no aterro da central de tratamento de resíduos da marca ambiental é drenado e conduzido para a lagoa de equalização existente, onde os picos de vazão e carga serão absorvidos e o material homogeneizado. O chorume bruto é bombeado para a ete, onde após passar por um peneiramento é levado para um tanque trocador de calor, onde será aquecido com influência de uma caldeira.

Após o trocador de calor, o efluente é submetido a uma unidade de tratamento especialmente projetada para a redução da concentração de amônia, pelo processo de *stripping*, a injeção do ar no processo, que é a forma mais eficiente para a remoção de amônia concentrada no chorume.

O chorume com a concentração de  $\text{nh}_3$  inferior a 1000 ppm, então já pode ser bombeado para o tanque de pré-oxidação. A pré oxidação do efluente é feita em meio ácido (ph 5,0) e com adição de peróxido de hidrogênio ( $\text{h}_2\text{o}_2$ ), usando um catalisador, esse processo é denominado de "oxidação fenton". Nesta etapa do processo já podemos observar a redução de 35 à 50 % de carga orgânica, já que parcela da matéria orgânica é retirada e o efluente após ser oxidado apresenta as condições/características ideais para o tratamento seguinte, o reator.

O efluente oxidado, segue para o processo eletrolítico, que ocorrerá por aplicação de corrente elétrica contínua e frequência variável na solução de chorume. O tratamento ocorrerá em 02 (duas) etapas eletrolíticas, ferro e alumínio. Desenvolvido a partir de processos de tratamentos físico-químicos convencionais, o sistema consiste na combinação de 03 processos que ocorrem simultaneamente dentro da célula eletrolítica: a eletrocoagulação, a eletrofloculação e a eletroflotação.

A vantagem do processo de eletrocoagulação se dá pelo fato da geração do agente coagulante "in situ", evita a adição de produtos químicos, como ocorre na coagulação química convencional.

Saindo do processo eletrolítico, o chorume segue por gravidade para o decantador, que tem como principal finalidade reter todo o material dissociado na etapa anterior, garantindo assim a qualidade das etapas seguintes.

O efluente clarificado, saído do decantador irá novamente por gravidade para a segunda etapa eletrolítica, porém, essa etapa estamos falando de eletrodos de alumínio, essa etapa tem como principal objetivo o processo de eletrocoagulação, pois, assim como o processo com eletrodos de ferro, onde tivemos a liberação de ferro para o meio, nessa etapa, temos a liberação de alumínio para o meio, que exercerá a função de coagular o efluente, o chorume, assim eliminando também a dosagem de um produto químico (coagulante).

O efluente já coagulado segue para a etapa de floculação, nesta etapa temos a adição do Floculante. Nesta etapa temos uma segunda decantação secundária, com função de reter todo o material floculado, o até então chorume já sai clarificado dessa etapa e segue para o tratamento terciário.

O tratamento terciário é iniciado por uma etapa de filtração em filtros bags de 03 (três) tipos diferentes micragens, diâmetros, com objetivo de garantir que o efluente irá seguir para a etapa seguinte sem sólidos suspensos. O efluente seguirá para filtro com leito de areia, onde serão retidos materiais finos indesejáveis as etapas posteriores. Após, a filtração em leito de zeólita, onde será absorvido o remanescente de  $\text{nh}_3$  presente no efluente, garantindo seu enquadramento na legislação vigente e por último, filtração em leito

Fonte: Marca Ambiental (2017).

## Documento 01 – Informações sobre o aterro em Cariacica – ES (final)



de carvão ativado que tem função absorver todo o remanescente de carga orgânica presente e odor, conforme recomendado por gomes (2009).

Rodovia Governador Mário Covas, s/nº  
Sítio Tres Águas, Bairro Nova Rosa da Penha  
Cariacica-ES, Brasil. CEP 29157-400  
55 27 2223.7700 / 7719 / 7738  
www.marcaambiental.com.br

4) Quais os tipos de tratamento aplicados ao chorume: físico e químico.

Processo físico químico, conforme demonstrado na resposta anterior.

5) Qual a vazão do chorume e quais as dimensões dos dispositivos de tratamento:

A ete possui capacidade para tratar 10m³/h de chorume. Atualmente opera com vazão de 8m³/h.

6) Qual é o destino dos produtos do tratamento do chorume: água e demais resíduos.

Os resíduos de processo gerados são os lodos e efluente de lavagem, advindos da limpeza dos filtros. O lodo de processo, que representa cerca de 5 a 7% do volume do chorume bruto total, que é encaminhado para desaguamento em centrífuga, que após desaguado, encaminhados para aterro de resíduos sólidos, classe iii.

Os líquidos advindos da limpeza de filtros são retornados novamente ao processo de tratamento, junto ao chorume bruto.

O volume de efluente, chorume, tratado disponível para reuso, ou seja, de água reciclada é equivalente a 95 a 93% do volume inicial. Algumas aplicações da água reciclada através do tratamento do chorume são: irrigação paisagística da empresa, usos industriais e recarga de corpos d'água.

Fonte: Marca Ambiental (2017).

## Documento 02 – Volume de lixo coletado em Esmeraldas



**PREFEITURA MUNICIPAL DE ESMERALDAS**

SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÓMICO

**Levantamento de informações sobre os serviços de limpeza urbana no município de Esmeraldas:**

Quantidade, Volume de Resíduos Sólidos Urbanos coletado pela empresa Vina em Esmeraldas:

- 52 toneladas / dia
- Um caminhão recolhe de 8 a 10 toneladas
- Periodicidade: 2ª a 6ª feira

---

Quantidade, Volume de Resíduos Sólidos Urbanos coletado pela Prefeitura de Esmeraldas:

- Entre 6 a 8 toneladas / dia
- Um caminhão recolhe de 10 a 12 m³
- Periodicidade: 2ª a 6ª feira
- 1 motorista e 2 ajudantes

---

**Quantidade, Volume de Resíduos Sólidos da Saúde coletado pela Serquip contratada pela Vina em Esmeraldas:**

- **960 kg / mês - (32 kg / dia)**
- **Periodicidade: 1 vez por semana em 7 unidades de saúde**
- **Valor pago discriminado em contrato da Vina pela Coleta, transporte e tratamento: R\$ 5.324,50 mês.**

---

**Quantidade, Volume de Resíduos Sólidos Global:**

- **61 Toneladas dia (Variação para mais).**

**Fontes:**  
 Empresa Vina Equipamentos e Construções LTDA.  
 Secretaria Municipal de Obras, Transporte e Trânsito- Garagem (Serviço de Limpeza)  
 Secretaria Municipal da Agricultura Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

Fonte: Prefeitura de Esmeraldas (2016).

## ANEXO C

Tabela 01 – Concentração inicial e final do efluente submetido à eletrodialise

Análise	Unidade	Concentração (mg/L)		Remoção (%)
		Inicial	Final	
pH	-	6,73 ± 0,12	5,42 ± 0,09	-
Cor	mg/L Pt.Co	84,8 ± 3,1	21,2 ± 4,6	75,0 ± 5,4
Turbidez	UTN	8,37 ± 0,09	4,13 ± 0,27	50,7 ± 3,2
CE	µS/cm	806,3 ± 23	8,0 ± 2,4	99,0 ± 0,3
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	46,8 ± 2,7	32,0 ± 7,0	31,6 ± 15,0
Alcalinidade	mg/L CaCO <sub>3</sub>	37,8 ± 1,8	9,1 ± 0,5	76,0 ± 1,2
ST	mg/L	538 ± 13	113 ± 20	78,9 ± 3,7
STV	mg/L	396 ± 19	62 ± 24	84,3 ± 6,1
STF	mg/L	142 ± 10	51 ± 4	63,8 ± 2,9
SDT	mg/L	530 ± 16	108 ± 20	79,6 ± 3,7
SDF	mg/L	140 ± 15	50 ± 3	64,0 ± 2,4
SDV	mg/L	390 ± 9	58 ± 23	85,2 ± 5,9
NTK	mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	27,1 ± 2,0	1,0 ± 0,0	96,3 ± 0,0
NH <sub>3</sub>	mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	22,3 ± 1,5	1,0 ± 0,0	95,5 ± 0,0
F <sup>-</sup>	mg/L F <sup>-</sup>	0,5 ± 0,02	0,02 ± 0,01	96,72 ± 1,91
Cl <sup>-</sup>	mg/L Cl <sup>-</sup>	139,86 ± 2,31	0,33 ± 0,14	99,76 ± 0,08
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1,19 ± 0,01	0,01 ± 0,00	99,16 ± 0,00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	23,19 ± 0,54	0,04 ± 0,02	99,84 ± 0,08
PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	2,64 ± 0,06	0,18 ± 0,12	93,16 ± 3,69
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	17,99 ± 1,35	0,21 ± 0,11	98,81 ± 0,51
PT	mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> - P	3,90 ± 1,00	0,50 ± 0,00	87,18 ± 0,00

Fonte: Albornoz (2017).

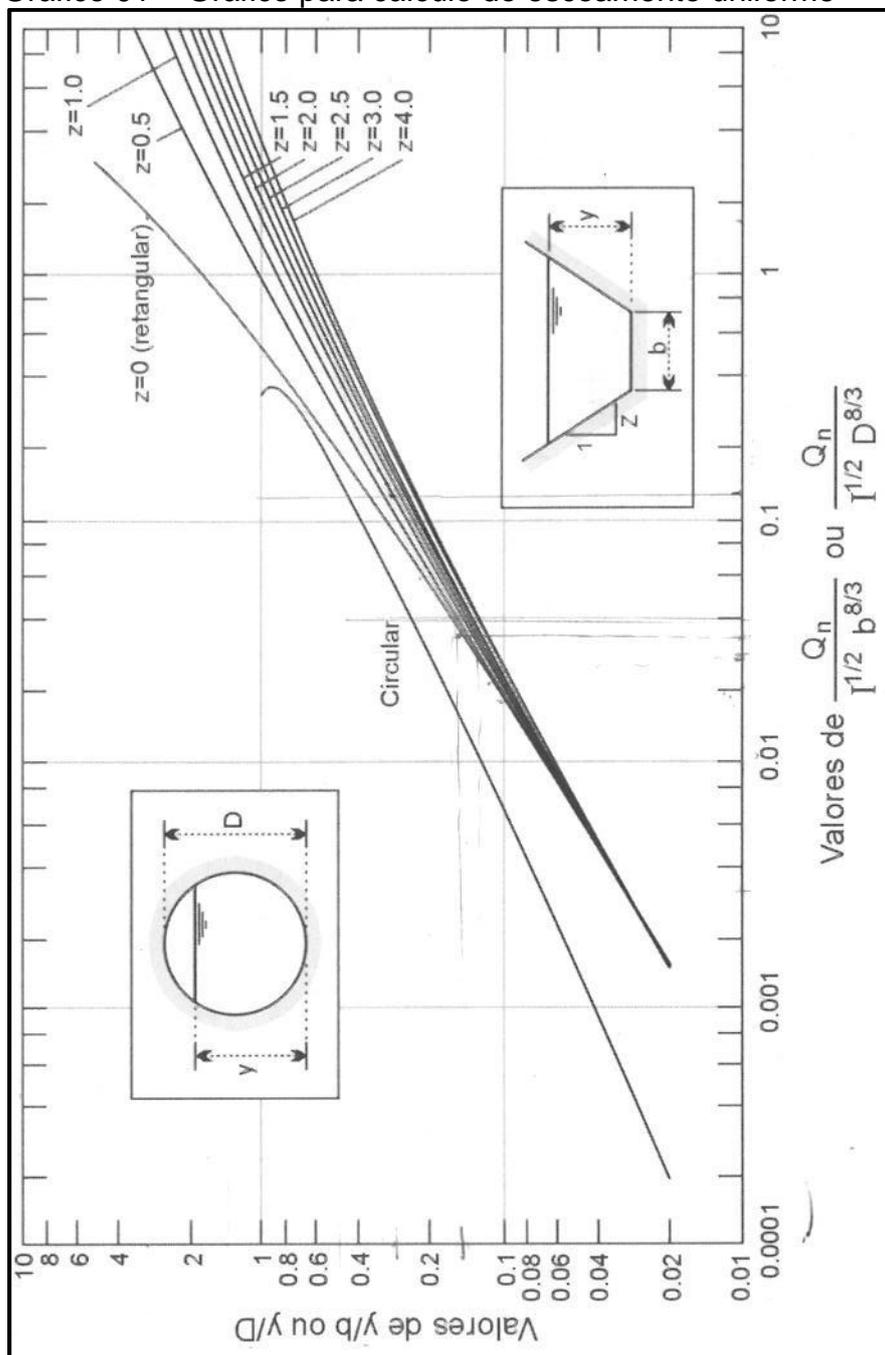
Tabela 02 – Membranas comerciais de eletrodialise

Membrana	Estrutura	Capacidade de troca-iônica (meq/g)	Espessura (mm)	Conteúdo de água (%)	Resistência elétrica * ( $\Omega \text{ cm}^2$ ) Solução de 0,5M NaCl	Permeabilidade (%) Solução de 0,1/ 0,01 M NaCl
<b>Tokuyama Soda Co. Ltda. Japan</b>						
Neosepta CMX	Catiônica, PS/DVB	1,5 - 1,8	0,14 - 0,20	25 - 30	1,8 - 3,8	97
Neosepta AMX	Aniônica, PS/DVB	1,4 - 1,7	0,12 - 0,18	25 - 30	2,0 - 3,5	95
Neosepta CMS	Catiônica, PS/DVB	2	0,15	38	1,5 - 2,5	—
Neosepta ACM	Aniônica, PS/DVB	1,5	0,12	15	4 - 5	—
CL - 25T	Catiônica	2	0,18	31	2,9	81 *
ACH - 45T	Aniônica	1,4	0,15	24	2,4	90 *
<b>Asahi Glass Co. Ltda. Japan</b>						
CMV	Catiônica, PS/DVB	2,4	0,15	25	2,9	95
AMV	Aniônica, PS/butadieno	1,9	0,14	19	2,0 - 4,5	92
HJC	Catiônica, heterogênea	1,8	0,83	51	—	—
ASV	Aniônica	2,1	0,15	24	2,1	91 *
<b>Asahi Chemical Industry Co. Ltda. Japan</b>						
K101	Catiônica, PS/DVB	1,4	0,24	24	2,1	91*
A111	Aniônica, PS/DVB	1,2	0,21	31	2 - 3	45 *
<b>Ionics Inc. USA</b>						
61 CZL386	Catiônica heterogênea	2,6	0,63	40	9	—
103PZL183	Aniônica heterogênea	1,2	0,6	38	4,9	—
67 HMR	Catiônica, Acrilica	2,1	0,57	46	2,8	91*
64 LMP	Catiônica, Acrilica/DVB	2,4	0,56	42	6,5	90 *
61 CMR	Catiônica PS/DVB	2,1	1,2	40	15	—
69 HMP	Catiônica Acrilica/DVB	2,1	0,63	49	6	—
204 SZRA	Aniônica Acrilica	2,4	0,56	46	3,5	93 *
204 UZRA	Aniônica Acrilica	2,8	0,57	40	3,7	96 *
103 QDP	Aniônica PS/DVB	2,18	0,54	36	4,1	96 *
<b>Du Pont Co. USA</b>						
Nafion 117	Catiônica fluoretada	0,9	0,2	16	1,5	97
Nafion 901	Catiônica fluoretada	1,1	0,4	5	3,8	96
<b>RAI Research Corp. USA</b>						
R-5010-H	Catiônica LDPE	0,9	0,24	20	8 - 12	95
R-5030-L	Aniônica LDPE	1	0,24	30	4 - 7	83
R-1010	Catiônica fluoretada	1,2	0,1	20	0,2 - 0,4	86
R-1030	Aniônica fluoretada	1	0,1	10	0,7 - 1,5	—
<b>Institute of Plastic Materials, Moscow</b>						
MA-40	Aniônica	0,6	0,15	17	5	95
<b>CSMCRI, Bhavnagar India</b>						
IPC	Catiônica LDPE/HDPE	1,4	0,14 - 0,16	25	1,5 - 2	97
IPA	Aniônica LDPE/HDPE	0,8 - 0,9	0,16 - 0,18	15	2 - 4	92
HGC	Catiônica, PVC heterogênea	0,67 - 0,77	0,22 - 0,25	14	4 - 6	87
HGA	Aniônica, PVC heterogênea	0,4 - 0,5	0,22 - 0,25	12	5 - 7	82

Fonte: Machado (2008).

## ANEXO D

Gráfico 01 – Gráfico para cálculo do escoamento uniforme



Fonte: Baptista e Lara (2014).

## ANEXO E

Documento 01 – Catálogo do filtro tipo *bag* (continua)



**FILTRO BOLSA TIPO SIDE**

**INFORMATIVO TÉCNICO**

**ACABAMENTO**

**Filtros em aço inox**  
Externo e interno: Jateado com micro esferas de vidro;

**Filtros em aço carbono**  
Externo: Jateado com granalha de aço e pintura padrão LAFFI;  
Interno: Jateado com granalha de aço;

**NORMAS UTILIZADAS**  
Construção: ASME VIII div.1 ed.2013;  
Conexões flangeadas: ANSI B16.5;  
Conexões rosçadas: ANSI B16.11;  
Materiais classificados ASTM;

**SPARE PARTS standard**

- Cesto suporte (Inox 316);
- Pé suporte (Inox 304);
- Anel de vedação (viton);
- Kit fixação (olhal): Em Aço Carbono;
- Kit fix em Inox 304, (apenas se o filtro for em Inox 316);
- Posicionador de bolsa (Inox 316).

**ACESSÓRIOS**  
(Disponíveis para venda):

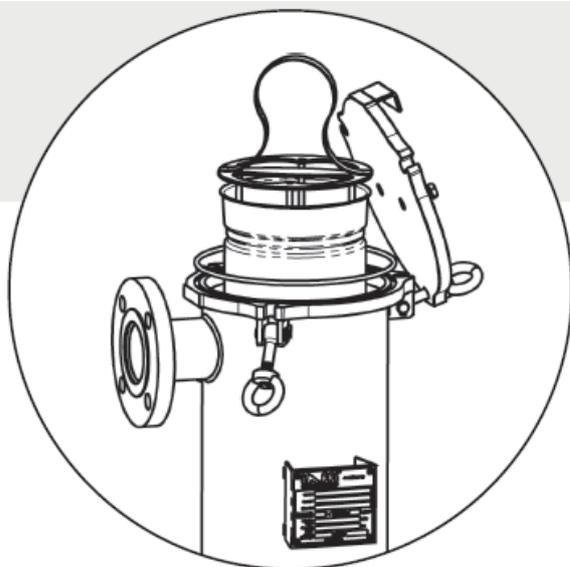
- Balão espaçador;
- Barra magnética;
- Posicionador para barra magnética;
- Manômetro;
- Elemento filtrante;

**APLICAÇÕES:**  
Filtração de líquidos:

- Água;
- Óleo;
- Tintas;
- Vernizes;
- Bebidas;
- Químicos;
- Produtos alimentícios;

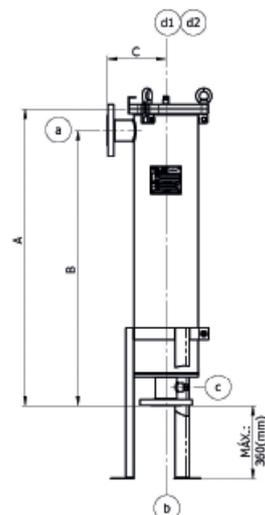


Fonte: Laffi (2017).

Documento 02 – Catálogo do filtro tipo *bag* (final)

Conexão SHURJOINT, para adaptações alternativas de conexões ou interface entre componentes.

QUADRO DE BOCAIS	
a	Entrada
b	Saída
c	Dreno DN 1/2" NPT-F
d	Vent/Man. DN 1/4" NPT-F



MODELO	CONEXÃO AO PROCESSO	MATERIAL	ACESSO AO ELEMENTO	VOL. (Lts.)	VAZÃO MÁX. (m <sup>3</sup> /h @ 1CP)	ÁREA FILTR. (m <sup>2</sup> )	PR. PROJ. (kgf/cm <sup>2</sup> )	TEMP. PROJ. °C	PESO (kg)	DIMENSÕES (mm)		
										A	B	C
LFBSN-0101	DN 2"	FLANGE ANSI B16.5	PARAFUSO OLHAL (LOOSE-TYPE)	20	18	0,25	10,0	120	35	625	550	200
LFBSN-0102	DN 2.1/2"	ACO CARBONO INOX 304		30	36	0,50	10,0	120	48	1025	950	200
LFBSN-0103*	DN 1"	NPT-F ANSI B16.11		3	6	0,10	10,0	120	8	380	315	85
LFBSN-0104*	DN 1.1/2"			5	12	0,16	10,0	120	10	475	400	80

\*0103 e 0104 são fornecidos sem pé suporte;  
Quadro de configurações possíveis, código LAFFI será informado pelo setor de vendas.

Fonte: Laffi (2017).