

Elaboração de Diagnóstico de Contaminação e Proposta de Remediação do Antigo Lixão da Estrutural

ESTADO DA ARTE SOBRE A CONTAMINAÇÃO, MÉTODOS DE REMEDIAÇÃO SELECIONADOS E DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS A SEREM DESENVOLVIDOS NOS ESTUDOS

Levantamento de Dados e Sistematização do Documento:

José Eloi Guimarães Campos

Drielly Souza Rodrigues

Turene Alves de Oliveira

Brasília, Maio de 2020.

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. LOCALIZAÇÃO	1
1.2. HISTÓRICO	2
2. TRABALHOS ANTERIORES	3
2.1 ARAÚJO (1996)	3
2.2 FRANCO (1996)	4
2.3 SANTOS (1996)	5
2.4 PEREIRA <i>ET AL.</i> (1997)	5
2.5 JUNQUEIRA (2000)	6
2.6 ABREU (2001)	7
2.7 CARNEIRO (2002)	9
2.8 CAMPOS <i>ET AL.</i> (2006)	10
2.9 CAMPOS (2007)	11
2.10 HOLGER (2011)	13
2.11 CAVALCANTI (2013)	14
2.12 BARBOSA (2014)	16
2.13 MONTEIRO FILHO (2018)	17
2.14 GUEDES (2019)	18
3 SÍNTESE SOBRE O MEIO FÍSICO LOCAL	20
4. DANOS AMBIENTAIS	23
6. MEDIDAS PARA REMEDIAÇÃO E MITIGAÇÃO DE IMPACTOS	35
6.1 FITORREMEDIAÇÃO	35
6.2 ESTABILIZAÇÃO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO	38
6.3 TRATAMENTO DE CHORUME	41
6.4 GASES DO EFEITO ESTUFA	45
7. DESENHO DOS EXPERIMENTOS E LOCALIZAÇÃO DE PONTOS AMOSTRAIS	46
8. TERMOS DE REFERÊNCIAS PARA CONTRATAÇÃO DE SERVIÇOS ESPECIALIZADOS	65
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
10. CONTRATAÇÕES E AÇÕES – FINATEC	74
11. REFERÊNCIAS	75
12. RESPONSÁVEIS PELA REDAÇÃO E REVISÃO DESTE DOCUMENTO TÉCNICO	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do Aterro Controlado do Jockey Club. _____	1
Figura 2 - Histórico da acumulação de resíduos sólidos no Lixão da Estrutural ou Lixão do Jockey Clube (Franco, 1996). _____	4
Figura 3 - Mapa de distribuição dos poços de monitoramento instalados com auxílio de trado manual (Abreu, 2001). _____	8
Figura 4 - Grid de distribuição dos elementos aplicados à modelagem matemática na região do Lixão da Estrutural (Carneiro, 2002). _____	10
Figura 5 - Mapa de sentido de fluxo mostrando que a pluma se divide para leste e oeste respectivamente em direção ao Córrego do Acampamento e Córrego Cabeceira do Valo (Carneiro 2002). _____	10
Figura 6 - Mapa dos limites do lixão retificado (Campos et al. 2006). _____	12
Figura 7 - Distribuição das linhas de geofísica realizadas no trabalho de Hoger (2011). _____	13
Figura 8 - Exemplo de seção geofísica 7 mostrando região sem presença de pluma de chorume. Toda a área investigada apresenta alta resistividade. Seção situada no interior do Parque nacional de Brasília em local distante dos limites do lixão (resultado obtido no Projeto IWAS/ UnB/ CAESB, Holger, 2011). ____	14
Figura 9 - Exemplo de seção geofísica 3 mostrando a região de ocorrência da pluma de chorume em profundidade. As faixas de baixa resistividade indicam a presença de íons presentes no percolado de resíduos sólidos. Seção situada no limite entre o depósito atual e o lixo antigo (resultado obtido no Projeto IWAS/ UnB/ CAESB, Holger, 2011). _____	14
Figura 10 - Exemplo de resultado obtido com uso do Radar de Penetração no Solo, com indicação de cava de resíduo (Cavalcanti, 2013). _____	15
Figura 11 - Distribuição das seções geofísicas realizadas nos limites da área do Lixão da Estrutural (Cavalcanti, 2013). _____	15
Figura 12 - Exemplos de seções geofísicas interpretadas que foram levantadas na porção sudoeste da área do Lixão da Estrutural (Cavalcanti, 2013). _____	16
Figura 13 - A: localização das linhas com relação ao maciço de resíduos. B: Linha L3, mostrando a presença de chorume distribuído na porção superior com até 50 metros de espessura. C: Linha L4, mostrando presença de chorume a profundidades de cerca de 20 metros ao sul e até mais de 75 metros na porção norte da linha coincidente com a principal faixa de acumulação de resíduos na porção central do lixão da Estrutural. Observação: as figuras dispostas à direita e à esquerda representam diferentes métodos de inversão dos dados brutos obtidos em campo. _____	19
Figura 14 - Porção superior de perfil de Latossolo Vermelho de textura muito argilosa. Estrutura granular no horizonte A e AB e textura grumosa no horizonte Bw. _____	21
Figura 15 - Modelo de Única Superfície Potenciométrica sem confinamento, onde a superfície de saturação permanece no meio aquífero intergranular superior. SPMP - superfície potenciométrica do meio poroso; SPMF - superfície potenciométrica do meio fraturado. _____	22
Figura 16 - Divisão do Aterro do Jockey Clube em porções: sul, intermediária e norte (Araújo, 1996). _	23
Figura 17 - Modelo de manejo e descarte de resíduos sólidos em aterro. Modificado de Plano de Manejo das Áreas de Proteção da Vila Estrutural e Plano de Uso do Parque Urbano da Estrutural (IBRAM, 2019). _____	24
Figura 18 - Exemplo de dreno de gases em funcionamento no Lixão da Estrutural. _____	25
Figura 19 - Piscina de chorume em funcionamento no Lixão da Estrutural. À esquerda, visão geral da piscina. À direita, chegada do chorume à piscina por meio de manilha e detalhe da lona de revestimento, já com porções desgastadas pela exposição. _____	25
Figura 20 - Mapa de distribuição da pluma de contaminação na região do Aterro do Jockey / Cidade Estrutural, para o ano de 2001 (Fonte dos dados: Araújo 1996, Franco 1996; base cartográfica Koide et al. 1999). As setas indicam o fluxo subterrâneo local preferencial da pluma. Equidistância das curvas de nível 2 metros. _____	28
Figura 21 - Imagens do processo de montagem e execução da sondagem tipo SPT. _____	29
Figura 22 - Perfil de ensaio do tipo Standart Penetration Test - SPT do Furo 1 (Campos et al., 2007). _	31
Figura 23 - Perfil de ensaio Standart Penetration Test - SPT do Furo 3 (Campos et al., 2007). _____	32

Figura 24 - Fotografias de tipos de resíduos observados nas sondagens: lixo orgânico, lixo composto e lixo inorgânico (predominância de plástico). Além destes ainda ocorrem materiais metálicos, e blocos de concreto e restos de obras civis. _____ 34

Figura 25 - Mecanismo de fitodegradação em espécie florestal. Em vermelho os contaminantes em solução do solo. Em verde- a quebra das estruturas moleculares do contaminante e absorção pelas estruturas orgânicas (Silva et al. 2019). _____ 36

Figura 26 - Mecanismo de fitoacumulação em espécies florestais (Almeida 2011). _____ 37

Figura 27 - Mecanismo de fitoestabilização em espécie florestal (Almeida 2011). _____ 37

Figura 28 - Instalação de muro impermeável (Fetter, 2001). _____ 38

Figura 29 - Instalação de poço de bombeamento. Com tratamento ou reinjeção (Fetter, 2001). _____ 39

Figura 30 - Impermeabilização de fundo e topo do sítio de geração da pluma de contaminação (Fetter, 2001). _____ 39

Figura 31 - Bombeamento a jusante e montante para estabilização da pluma de contaminação (Fetter, 2001). _____ 40

Figura 32 - Injeção de nutrientes a montante com bombeamento da pluma a jusante seguido de tratamento ou reinjeção (Fetter, 2001). _____ 40

Figura 33 - Instalação de septo permeável preenchido com sistema de filtro físico (Fetter, 2001). _____ 41

Figura 34 - Fluxograma com análise de parâmetros considerados para a seleção do método apropriado para tratamento de chorume (Forgie, 1988 e Renou et al., 2008). _____ 42

Figura 35 - Destilador apresentado contendo um tanque de aço inoxidável AISI-304 de 160 cm de altura e 90 cm de diâmetro de 30 Kg de peso, um condutor de chapa galvanizada de 300 x 0,4 x 0,2 cm, termômetro, chave, duas caixas de fibra de vidro de 0,5 e 1 m³, um queimador industrial e um botijão de gás butano (Massai & Massai, 2005). _____ 43

Figura 36 - Sistema de Wetland na Mina de Águas Claras, MG (Vale, 2018). _____ 45

Figura 37 - Detalhe representativo de uma chaminé para a extração do gás de aterro (fonte: Tchobanoglous et al. (1994). _____ 46

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados analíticos de amostras de água subterrânea coletadas no Poço 5 (Abreu, 2001). 8

Tabela 2 - Resultados analíticos de amostras de água subterrânea coletadas na nascente do Córrego do Acampamento (Abreu, 2001). _____ 9

Tabela 3 - Totais mensais de Precipitação Pluviométrica da estação do INMET em milímetros. _____ 22

Tabela 4 - Composição média e máxima do chorume do Aterro do Jockey. Os valores de background são relacionados a amostras retiradas da nascente “Peito de Moça” situada no Parque Nacional de Brasília em área fora da influência da Pluma de contaminação. Todas as unidades em mg/L, com exceção da CE (condutividade elétrica) medida em $\mu\text{S}/\text{cm}$ e pH adimensional. (TSD significa total de sólidos dissolvidos). Fonte: Franco (1996) e Araújo (1996). _____ 26

Tabela 5- Resultado das análises químicas obtidas de amostras de água retiradas a partir de sondagem Standart Penetration Test - SPT. _____ 33

Tabela 6 - Comparação entre concentrações antes e depois do plantio em experimento de fitorremediação. _____ 38

Tabela 7 - Principais métodos de tratamento de chorume e sua eficiência em função da idade do percolado de resíduos. A: boa eficiência; B: moderada eficiência e C: baixa eficiência (Abbas et al., 2009). _____ 42

1. INTRODUÇÃO

A prática de aterrar o lixo é um dos meios mais antigos de disposição de resíduos sólidos e tem sido adotada por séculos. Parte dos resíduos aterrados dá origem ao chorume, um líquido extremamente poluente com odor fétido e coloração escura, formado a partir da biodegradação da matéria orgânica. Esse efluente é uma das maiores restrições em relação ao descarte de rejeitos diretamente sobre o solo, uma vez que, durante a percolação do chorume, desde a zona vadosa até a zona saturada do aquífero, vários compostos químicos e biológicos podem ser transportados e, conseqüentemente, poluir o solo, o aquífero e as águas superficiais.

O Distrito Federal conta atualmente com 3.015.268 habitantes (IBGE, 2019), cujos resíduos sólidos foram descartados no Aterro Controlado do Jockey Club, popularmente conhecido como Lixão da Estrutural, desde o início da década de 1970 até o início de 2018. A constante atividade antrópica acarretou no aumento do volume desses resíduos, o que resultou em inúmeros problemas ambientais relacionados aos métodos inadequados de disposição e estocagem, provocando a contaminação do solo e das águas subterrâneas.

À vista disso, o seguinte trabalho objetiva elaborar um diagnóstico fundamentado com testes pilotos a partir de tecnologias adequadas para o efetivo controle da contaminação e remediação dos danos causados.

1.1. Localização

A área de estudo está localizada a oeste de Brasília, sendo delimitada a nordeste pelo Parque Nacional de Brasília (bacia do Córrego do Acampamento), a oeste pela cabeceira do ribeirão Vicente Pires (representada pelo Córrego Cabeceira do Valo) e a sul pela DF-095, conhecida como Via Estrutural (Figura 1).

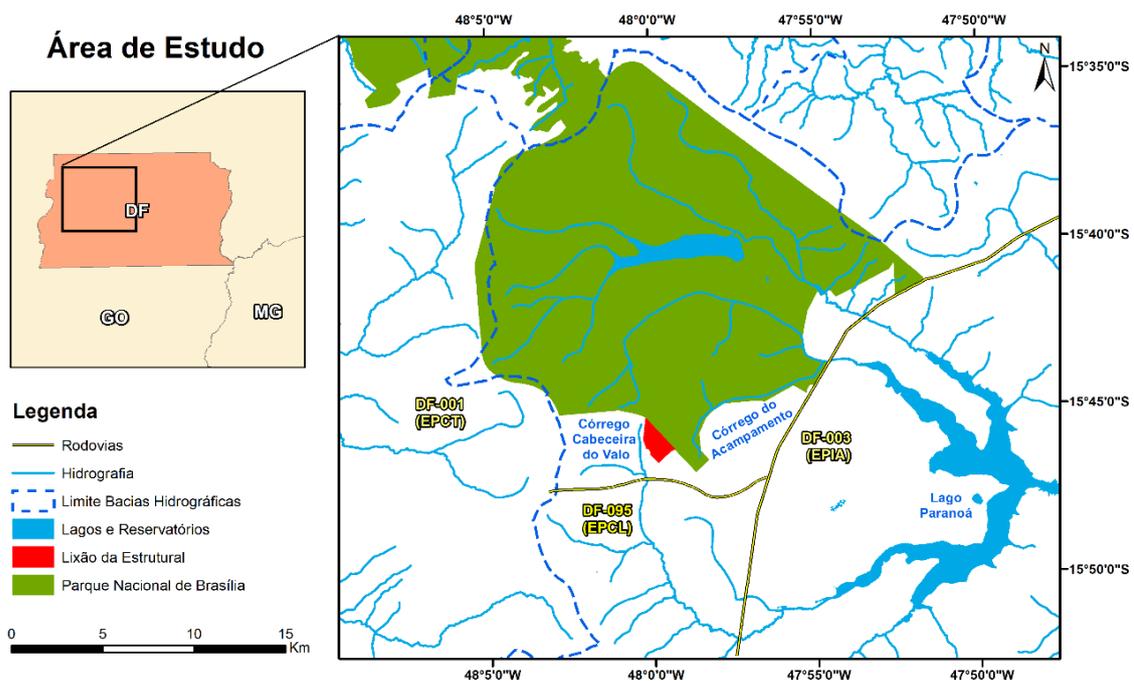


Figura 1 - Mapa de localização do Aterro Controlado do Jockey Club.

1.2. Histórico

No dia 21 de abril de 1960, durante o governo do Presidente Juscelino Kubitschek, foi inaugurada a cidade de Brasília baseada no Plano Urbanístico de Lucio Costa. Um projeto arquitetônico moderno e futurista, porém, com um planejamento urbano não tão estruturado. A nova capital, como qualquer outra cidade, geraria resíduos e eles ao serem coletados deveriam ser depositados em algum local, porém a gestão dos resíduos sólidos não foi considerada de forma adequada.

Sendo assim, foi inaugurada a Usina de Tratamento de Lixo da Asa Sul (UTL), cuja função era separar o lixo que pudesse ser reaproveitado e transformar o lixo biodegradável em composto orgânico. Todavia, o que era rejeitado acabava sendo descartado no Aterro Controlado do Jockey Club (CODEPLAN, 1972). Em meados da década de 1980 o Aterro Controlado do Jockey Club passou a ser a única localidade oficial destinada ao descarte de resíduos sólidos da região.

A Política Nacional de Meio Ambiente estabelecida a partir da Lei Nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 (Brasil, 1981) veda o descarte de resíduos sólidos em aterros. Subsequente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estipulada pela Lei Nº 12.305 de 10 de agosto de 2010 (Brasil, 2010), determinou que, a partir de agosto de 2014, os rejeitos só deveriam ser dispostos em aterros sanitários.

Posteriormente, no dia 02 de abril de 2015 foi criado o Grupo de Trabalho, com base no Decreto Nº 36.437/2015 (Distrito Federal, 2015), com o objetivo de desenvolver e implementar o Plano de Intervenção no Aterro Controlado do Jockey Club, visando dar o correto tratamento e destinação dos resíduos sólidos urbanos, provenientes dos serviços contratados pelo Serviço de Limpeza Urbana (SLU, 2015). O Plano de Intervenção passou a ser coordenado pelo Escritório de Projetos Especiais (EPE), que foi instituído pelo governador do Distrito Federal no dia 22 de julho de 2016 (Distrito Federal, 2016).

Um dos propósitos do Plano de Intervenção foi elaborar e executar o Plano de Transição a fim de manejar os resíduos sólidos do Distrito Federal até que os centros de triagem previstos estivessem em condições de funcionamento adequadas. Outra questão ponderada foi a garantia das condições de trabalho e sustento para os catadores de matérias recicláveis durante o processo de encerramento das atividades do Aterro Controlado do Jockey Club, que teve suas atividades encerradas no dia 20 de janeiro de 2018.

Concomitantemente à instalação do aterro, algumas pessoas vislumbraram a oportunidade de sustento a partir da coleta de materiais recicláveis. Por conseguinte, a invasão das terras públicas deu origem a Vila Estrutural, hoje reconhecida como Cidade Estrutural.

Em 1º de fevereiro de 2002, foi publicada a Lei Complementar Nº 530 que declara a área da Estrutural como Zona Habitacional de Interesse Social e Público (ZHISP), estabelecendo uma faixa de tamponamento de 300 metros entre o assentamento e o Parque Nacional de Brasília (Distrito Federal, 2002).

A Cidade Estrutural somada à Cidade do Automóvel constitui o Setor Complementar de Indústria e Abastecimento (SCIA), que até então era vinculado à Região Administrativa do Guará (RA X). Só em 27 de janeiro de 2004, com a publicação da Lei Nº 3.315/2004 o SCIA passou a constituir a Região Administrativa do SCIA (RA XXV) (Distrito Federal, 2004).

2. TRABALHOS ANTERIORES

Os principais trabalhos consultados como base do presente estudo incluem: Araújo (1996), Franco (1996), Santos (1996), Abreu (2001), Carneiro (2002), Campos *et al.* (2006), Campos (2007), Cavalcanti (2011), Barbosa (2014) e Guedes (2019) relacionados à geologia, à hidrogeologia, à geomorfologia, à assinatura geofísica do chorume, à caracterização química do lixiviado do lixo e à delimitação e caracterização da pluma de contaminação causada pelo aterro.

2.1 Araújo (1996)

A Dissertação de Mestrado de Ricardo Natal Gonçalves de Araújo (1996) foi dedicada à caracterização química do lixiviado do lixo e apresenta os seguintes resultados principais:

- Análise da qualidade das águas a partir da amostragem de 12 poços de monitoramento e de 7 cisternas, além de coletas de amostras de águas nos córregos Cabeceira do Vale e Acampamento;
- Levantamento topográfico de poços e cisternas visando maior precisão do comportamento da pluma de contaminação;
- Monitoramento por um período de oito meses, de setembro de 1995 a abril de 1996 dos níveis e da qualidade das águas;
- Foram determinados 22 elementos, 4 compostos, além de medições de condutividade, sólidos totais dissolvidos e pH, num total de 2200 determinações;
- Foi concluído que o depósito de lixo provoca aumento da mineralização das águas subterrâneas nas vizinhanças do aterro, onde a condutividade elétrica das águas variou de 3,7 a 1.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- Os compostos e elementos amônia, cloreto, nitrato, fósforo, manganês, magnésio e cálcio contribuem para o aumento da condutividade das águas subterrâneas na região;
- A amônia e o cloreto são os melhores indicadores de poluição pelo lixo;
- A propagação lateral dos contaminantes é muito localizada não alcançando mais de 100 metros a partir dos centros de deposição do lixo;
- Não foi detectada contaminação dos córregos pelos componentes presentes no nível freático;
- Foi observado que a elevação da superfície freática provoca aumento da mineralização das águas, devido ao maior aporte e migração lateral de chorume.

2.2 Franco (1996)

A Dissertação de Mestrado de Heitor de Araújo Franco (1996) estudou a pluma de contaminação e seus limites a partir da integração de métodos geofísicos (sondagem elétrica vertical, perfilagem eletromagnética, sondagem magnetotelúrica, gradiometria magnética e sísmica de refração) e alcançou os seguintes resultados principais:

- Em função da pequena espessura da camada de lixo e do pequeno comprimento do arranjo de geofones, apenas a profundidade do nível freático pôde ser determinada pelo método sísmico;
- A análise de perfis e mapas de contorno da intensidade do campo magnético medida no sensor superior e inferior, bem com o da diferença entre eles, foi avaliada para diferenciar a área onde há lixo enterrado da área de cerrado preservado;
- A gradiometria magnética delimitou muito bem a interface aterro/cerrado, evidenciando uma grande sensibilidade do equipamento quando se transpassa de um meio para outro;
- Os dados de eletrorresistividade, perfilagem eletromagnética e química aquática revelaram que há uma pluma de contaminação rasa a partir da área do aterro em direção ao Parque Nacional de Brasília, sem, contudo definir seu limite;
- A sondagem magnetotelúrica constatou a possibilidade de os contaminantes atingirem as águas subterrâneas profundas caso o solo não os retenha.

O trabalho também apresentou o histórico da acumulação de resíduos a partir de informações publicadas e análises de fotografias aéreas (Figura 2).

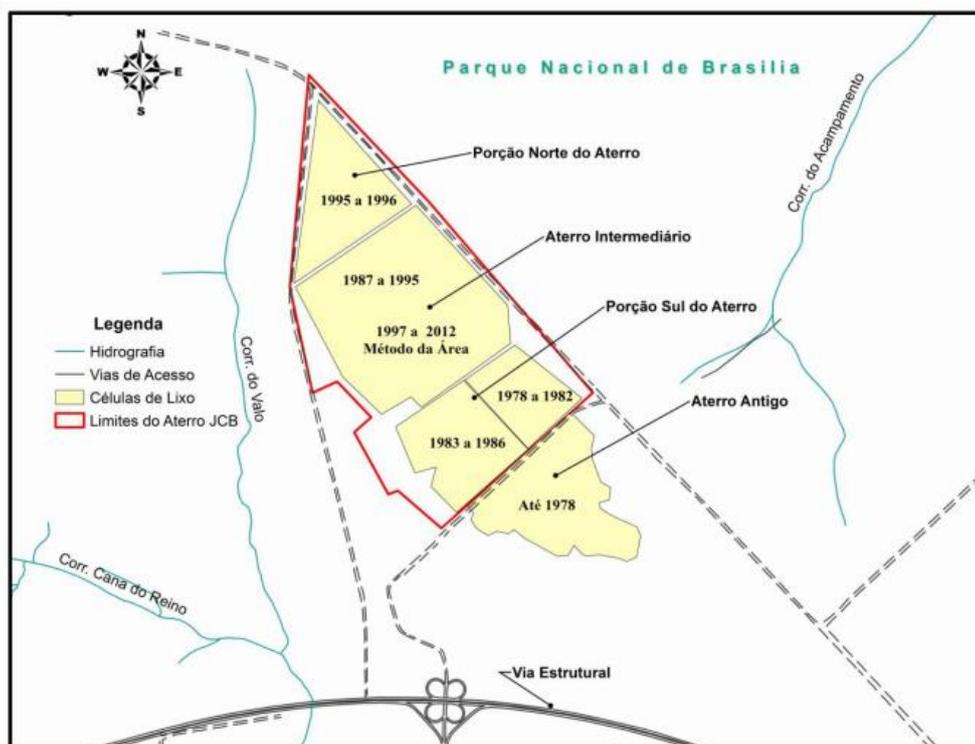


Figura 2 - Histórico da acumulação de resíduos sólidos no Lixão da Estrutural ou Lixão do Jóquei Clube (Franco, 1996).

2.3 Santos (1996)

A dissertação de mestrado de Paulo César Vieira dos Santos (1996) teve como objetivo desenvolver um sistema de coleta de amostra de água na zona não saturada, monitorar a qualidade da água no aterro controlado do Jockey Club e elaborar ensaios de laboratório de amostras de solo retirados do local.

Para se coletar amostra de água na zona não saturada, foi idealizado um primeiro sistema, que se deparou com muitos problemas na prática e chegou a ser inviabilizado. Após isso, a solução definitiva foi o Sistema de Pedra Porosa, o qual utiliza uma pedra porosa que suporta pressão de bombeamento na faixa de 100 KPa acoplado a uma bomba manual de sucção, assim impedindo a passagem de resíduos sólidos pelo equipamento. A instalação do equipamento na zona não saturada foi feita a partir da perfuração a seco, ultrapassando a camada de lixo no solo. Com a aplicação de pressão na coleta de amostras, alcançou-se comumente de 20 a 200 ml de amostra em um tempo de 24 h.

Os ensaios de solo mostraram que o solo é predominantemente argiloso, e, apesar disso, a permeabilidade do solo é moderada a alta, com valores da escala de 10^{-6} m/s. Isso foi explicado pela estruturação granular e grumosa do solo, que causou uma porosidade superior a 40%.

Em relação à produção de chorume, notou-se que a produção é incrementada com o aumento das chuvas, sendo comprovado que, entre os meses chuvosos de dezembro e maio, há a maior produção de chorume e, entre os meses de julho e setembro, a produção é muito menor.

As análises químicas do percolado de chorume mostraram um pH de tendência alcalina, com elevadas concentrações de amônia. Além disso, em geral, há elevadas concentrações para os elementos Cd, Fe, Mn, Ni, e P, além de concentrações baixas em Cu, Cr, Zn, Mg e Ca, e extremamente baixas em Ge, La, Mo, Ce, Y, Sr, Ti, V, Co, Ba, Be e Zr.

2.4 Pereira *et al.* (1997)

O trabalho de Pereira *et al.* (1997) apresenta vários resultados com relação a região do aterro, com destaque para a caracterização dos solos em que são definidos 4 tipos de solos:

- Solo residual laterítico representado por latossolo vermelho com textura muito argilosa, variação de espessura de 10 a 15 metros e condutividade hidráulica variável de 10^{-6} a 10^{-7} m/s;
- Solo laterítico coluvionar, com textura argilosa a muito argilosa, variação de espessura de 15 a 25 metros e condutividade entre 10^{-6} a 10^{-8} m/s;
- Cascalho laterítico, representado por um horizonte petroplíntico de coloração marrom e aspecto concrecionário que representam zonas de antiga oscilação do nível freático;
- Solo saprolítico de ardósia e quartzito, com condutividade hidráulica respectivamente de 10^{-8} m/s e 10^{-5} m/s.

2.5 Junqueira (2000)

A tese de doutorado de Fernando de Faria Junqueira (2000) intitulada “*Análise do comportamento de resíduos sólidos urbanos e sistemas filtro-drenantes em diferentes escalas, com referência ao Aterro do Jôquei Clube - DF*” representa um trabalho de pesquisa com grande contribuição ao conhecimento na região do Lixão da Estrutural. O trabalho apresenta um levantamento de literatura sobre o meio físico da região, sobre as características químicas do chorume, vazões de produção de chorume, além de construir e monitorar vários experimentos de células filtrantes em diferentes escalas.

Dois experimentos são destacados, os quais são denominados de CMA: “Célula Membrana Areia” e CMG: “Célula Membrana Geocomposto”. Estas células foram diretamente preenchidas por lixo com compactação que resultou na densidade de 0,7 t/m³. Além das células também foram produzidas caixas experimentais de aterros, com compactação que resultou na densidade 0,3 t/m³ nestes sistemas.

O trabalho apresentou a caracterização gravimétrica dos resíduos oriundos das cidades do Gama e Sobradinho, respectivamente, com as seguintes proporções: papel 12,4 e 9,9%; papelão 12,8 e 10,1%; plástico fino 10,9 e 13,5%; plástico duro 6,7 e 7,8%; matéria orgânica 47,5 e 46,6%; latas 4,14 e 3,1% e outros 5,6 e 9,0%.

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa a composição do chorume foi monitorada a partir da análise de diferentes parâmetros: pH, nitrato, amônia, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e cloreto.

As seguintes conclusões deste trabalho podem ser destacadas:

- A impermeabilização das células experimentais alcançaram os resultados esperados, uma vez que a decomposição dos resíduos se deu em ambiente anaeróbico, isto é, a impermeabilização restringiu a entrada de ar atmosférico para o interior das células;
- A impermeabilização do fundo das células CMA e CMG funcionou de forma satisfatória, no sentido de não permitir a infiltração do chorume para o solo subjacente;
- Os sistemas de drenos de chorume associado às células CMA e CMG funcionaram de formas distintas. O dreno sintético libera o chorume de forma imediata, enquanto no filtro de areia há um retardo na liberação do chorume;
- O resíduo depositado nas células experimentais sofre recalques sucessivos, em função da transformação da matéria orgânica em gases e líquidos;
- O volume de chorume gerado é condicionado pela sazonalidade climática, nos períodos secos do ano há redução significativa da produção do percolado de lixo e nos picos do período chuvoso há aumento. A compactação do lixo no aterro é outro fator que determina o volume de produção de chorume: quanto maior a compactação, menor a produção de chorume.
- A composição do chorume muda sensivelmente quando analisados os percolados das células CMA, CMG e caixas de aterros. A variação é decorrente do tempo de permanência

do chorume em contato com o lixo e na densidade do aterro final. Independentemente do tipo de experimento, os valores das substâncias químicas eram elevados com destaque para: cloretos, nitrogênio na forma de amônia e nitrato, demanda química de oxigênio e demanda bioquímica de oxigênio.

2.6 Abreu (2001)

A Dissertação de Mestrado de Feliciano de Abreu (2001) objetivou definir a possível interferência da pluma de contaminação do lixão com a contaminação das piscinas do Parque Nacional de Brasília (Água Mineral de Brasília). Os principais resultados desta pesquisa são:

- Foram realizados o acompanhamento e a avaliação da qualidade da água subterrânea junto à nascente do Córrego do Acampamento como forma de detectar uma possível contaminação provocada pelo aterro do Jockey Club;
- Para realização dos estudos, foram instalados poços de monitoramento que permitiram, também, uma melhor avaliação do perfil de solos do local;
- Foram coletadas amostras de água nas fontes, nos poços e nos cursos de água da área próxima as fontes e instalado um pluviômetro na área do Parque para o acompanhamento dos índices pluviométricos;
- Os estudos realizados indicam que a principal fonte de contaminação das águas da fonte é a infiltração das águas de escoamento superficial, que carrega os contaminantes para o aquífero;
- Devido à pequena profundidade do nível freático próximo à fonte que alimenta a piscina, o aquífero é pouco protegido e a ocorrência de eventos de contaminação das águas da fonte é observada após eventos de precipitação;
- A contaminação da nascente do Córrego do Acampamento não está vinculada à pluma de contaminação do Aterro do Jockey Club (Lixão da Estrutural).

O trabalho de Abreu (2001) foi pioneiro na instalação de poços de monitoramento. Os trabalhos anteriores utilizaram poços existentes na região (em geral cisternas para bombeamento de água utilizada em irrigação de pequenas culturas). A Figura 3 mostra a disposição dos poços instalados por ocasião do desenvolvimento deste trabalho (com profundidade máxima de 8,9 metros) e as Tabelas 1 e 2 mostram resultados analíticos como exemplo dos resultados obtidos por Abreu (2001).

Os resultados apresentados na Tabela 1 que representam valores reduzidos das substâncias avaliadas mostram que o Poço 5 apresenta profundidade insuficiente, pois como a pluma de chorume é densa esta tende a migrar verticalmente e os poços para alcançar seu topo devem ter maiores profundidades. Poços rasos permitem obtenção de amostras de águas de chuva que se infiltram para a recarga dos aquíferos intergranulares locais.

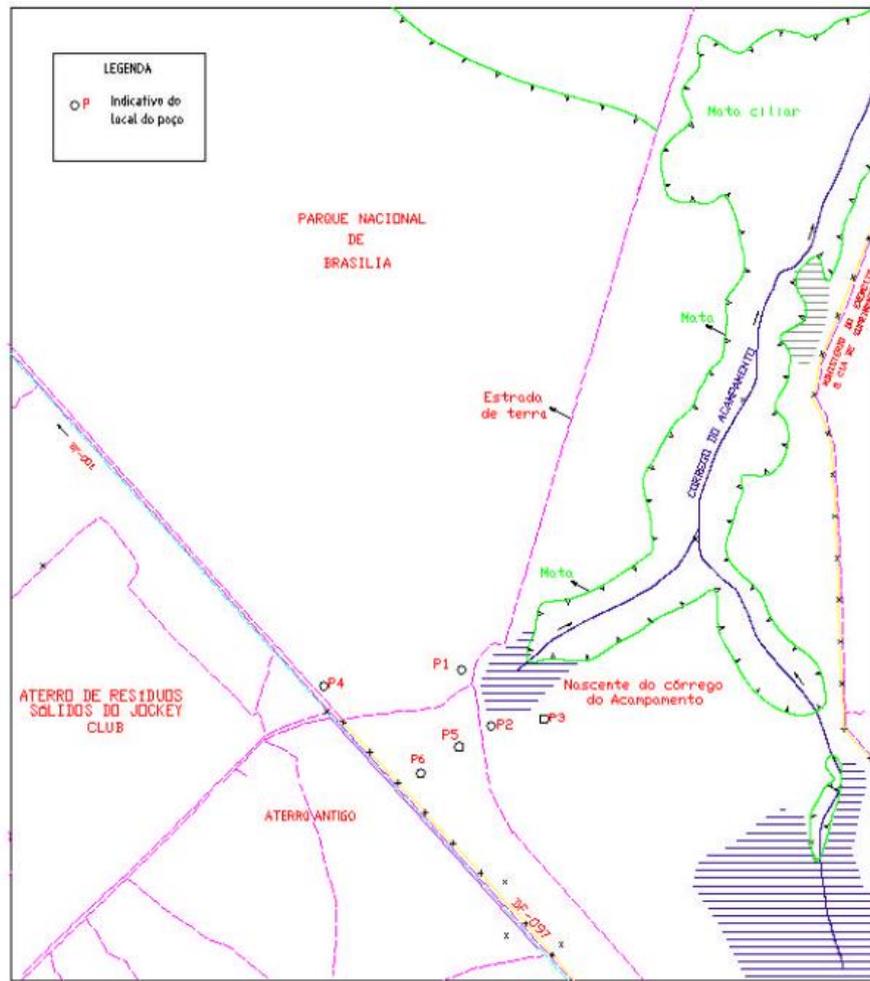


Figura 3 - Mapa de distribuição dos poços de monitoramento instalados com auxílio de trado manual (Abreu, 2001).

Tabela 1 - Resultados analíticos de amostras de água subterrânea coletadas no Poço 5 (Abreu, 2001).

Parâmetro \ Coleta	13/Set/00	02/Out/00	15/Fev/01	21/Mar/01
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	14,2	14,3	9,3	8,7
STD (ppm)	9,8	9,9	6,5	6,1
pH	6,17		4,87	5,41
Turbidez (uT)		0,485		0,174
Nitrogênio Amoniacal - mg N (NH_3) / L		0,03	0	-0,01
Nitrito - mg N (NO_2) / L				0,004
Nitrato - mg N (NO_3) / L	0	0	0	0
Cloreto (mg/L)	0,8	0,3		0,4
Coliforme Total (NMP/100ml)		10,9	0	
Escherichia Coli (NMP/100ml)		0	0	

Tabela 2 - Resultados analíticos de amostras de água subterrânea coletadas na nascente do Córrego do Acampamento (Abreu, 2001).

Parâmetro \ Coleta	20 /Jul/00 (Amostra 1)	20/Jul/00 (Amostra 2)
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	5,4	4,6
STD (ppm)	--	--
pH	4,8	5,3
Turbidez (uT)	--	--
Nitrogênio Amoniacal - mg N (NH_3) / L	--	--
Nitrito - mg N (NO_2^-) / L	0,004	0,003
Nitrato - mg N (NO_3^-) / L	0 (ausente)	- 0,1
Cloreto (mg/L)	- 0,7	- 0,3
Coliforme Total (NMP/100ml)	114,5	0 (ausente)
Escherichia Coli (NMP/100ml)	53,7	4,1

2.7 Carneiro (2002)

A dissertação de mestrado de Gustavo Antônio Carneiro (2002) teve como objetivo caracterizar a situação da contaminação das águas subterrâneas na região do aterro do Jockey Club e adjacências, por meio de análises da qualidade da água. Além disso, a realização de modelagens matemáticas, que permitiram a simulação do fluxo subsuperficial e do transporte de contaminantes no meio poroso, bem como a projeção de cenários futuros.

Na campanha de amostragem da pesquisa, foram utilizados 11 poços rasos de monitoramento no Parque Nacional de Brasília, 1 poço no interior do aterro e 14 cisternas nas regiões habitadas, além de 3 pontos para coleta de água no córrego Cabeceira do Valo e 1 na nascente do córrego do Acampamento. Para as modelagens, foram utilizados os *softwares* HELP, MODFLOW, MODPATH e SPRING com uso de *grid* regular mostrado na Figura 4.

Como resultado da campanha de qualidade da água e das modelagens matemáticas, foram observadas duas frentes de contaminação das águas subterrâneas: uma em direção à nascente do córrego do Acampamento e outra em direção ao córrego Cabeceira do Valo (Figura 5). Dentre os parâmetros analisados, a amônia, o cloreto, a DQO e a condutividade elétrica se mostraram bons indicadores de contaminação, exibindo mais altas respostas no poço localizado no interior do aterro. As simulações de cenários futuros para os anos de 2010, 2030 e 2050 apontam à seriedade do problema, que tende a se agravar com o passar dos anos.

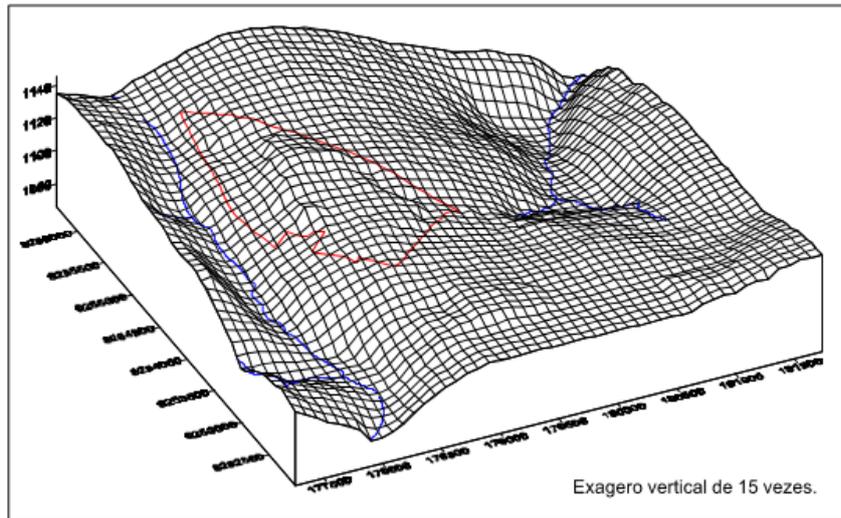


Figura 4 - Grid de distribuição dos elementos aplicados à modelagem matemática na região do Lixão da Estrutural (Carneiro, 2002).

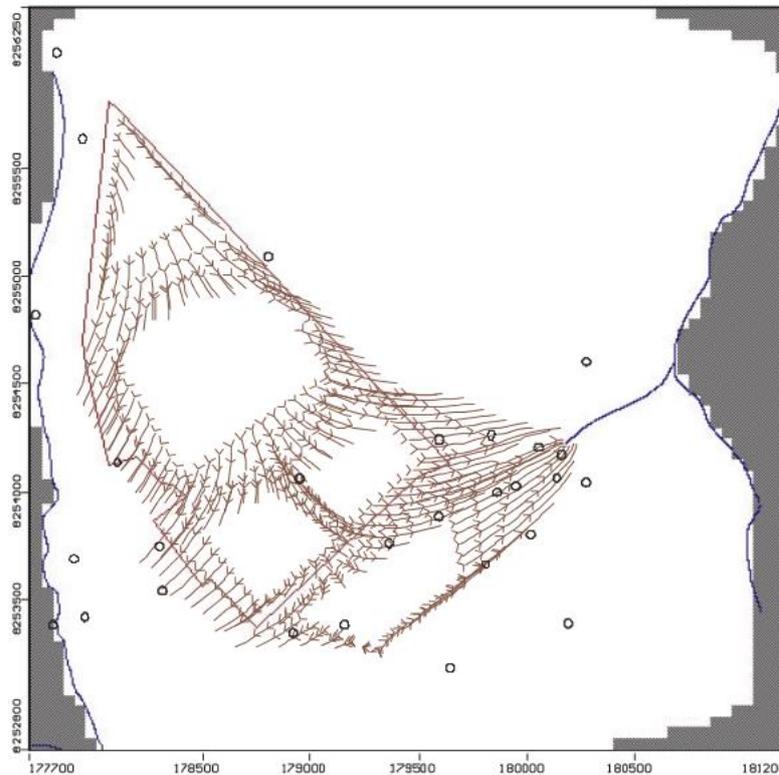


Figura 5 - Mapa de sentido de fluxo mostrando que a pluma se divide para leste e oeste respectivamente em direção ao Córrego do Acampamento e Córrego Cabeceira do Valo (Carneiro 2002).

2.8 Campos *et al.* (2006)

O relatório do estudo desenvolvido por José Eloi Guimarães Campos e colaboradores definiu uma delimitação com precisão dos limites do Aterro do Jockey e, de forma preliminar, os aspectos geotécnicos locais, sendo que a área do estudo corresponde ao antigo aterro, com deposição de lixo anterior a 1992. Na época da deposição desse lixo, não houve controle algum em relação à delimitação de áreas de acumulação de resíduos, tampouco foram feitos mapas de controle.

Os métodos de perfuração utilizados no trabalho foram: sondagem com ensaio SPT, sondagem mecânica helicoidal e sondagem manual a trado. No ensaio SPT, são utilizados tubos cravados no solo a partir de quedas sucessivas de martelo, inferindo a resistência geotécnica. Na sondagem mecânica helicoidal, é utilizado um caminhão perfuratriz rotativo autopropulsionado para atravessar o solo. A sondagem manual a trado era utilizada em locais inacessíveis aos outros equipamentos.

Com base nos dados das sondagens, um novo limite do aterro foi definido, a partir da junção de áreas com presença de lixo no solo. O limite do aterro foi sensivelmente inferior ao inferido por Franco (1996), passando de 4638 ha para 3749 ha (Figura 6).

A observação do material retirado a partir das sondagens levou à divisão dos resíduos em quatro tipos: lixo orgânico, lixo inorgânico, lixo composto e restos de obra (aterro). Foram feitos 109 furos mecânicos e 16 furos manuais.

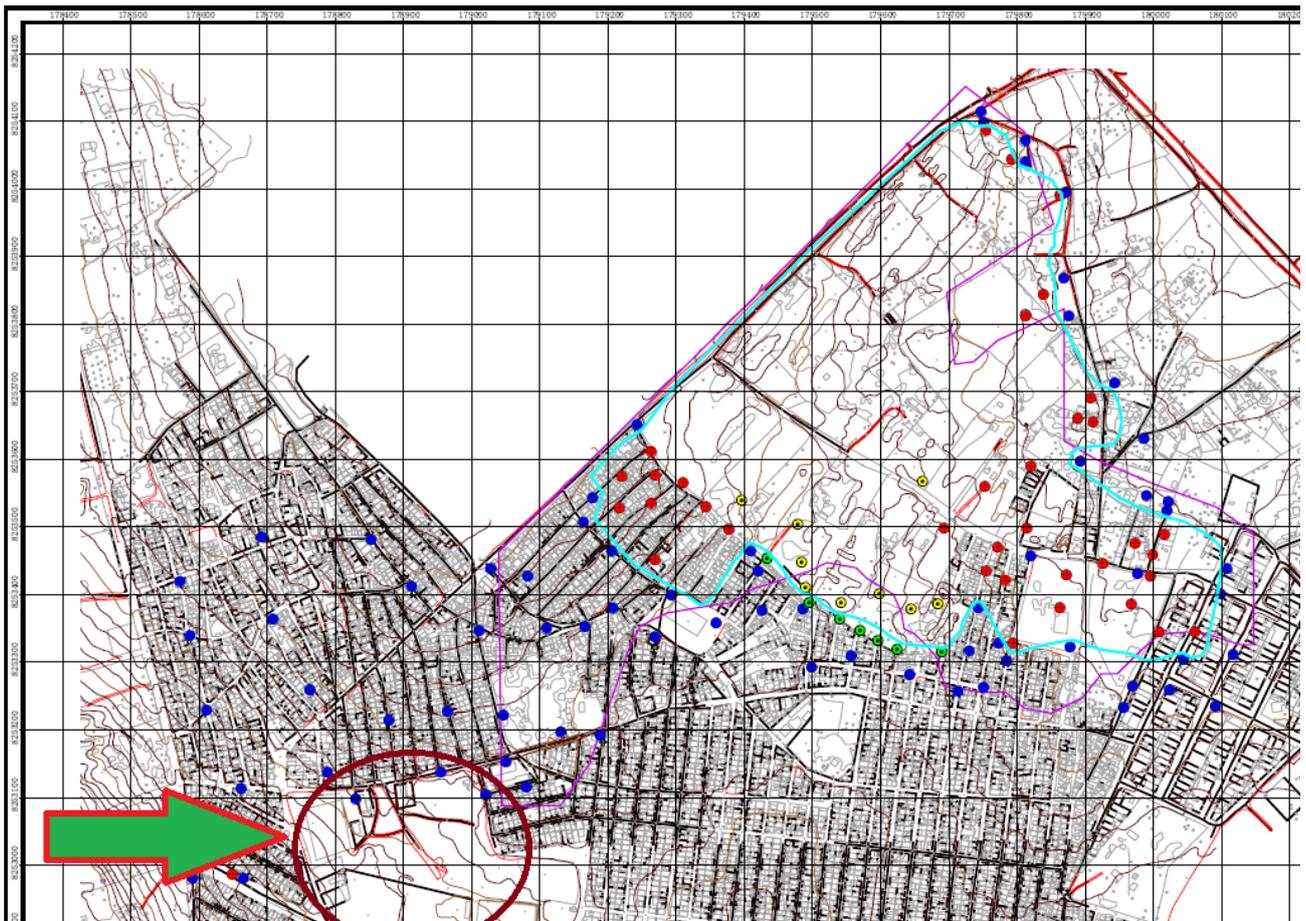
A partir das sondagens, foi possível concluir que a porção do solo com presença de lixo possui alta penetrabilidade e heterogeneidade, podendo gerar risco geotécnico a obras civis instaladas na região. A instabilidade causada pode ser contornada se as fundações de futuras obras de habitação coletiva forem profundas, atravessando todo o limite do lixo. Além disso, as fundações devem ser impermeabilizadas, a fim de evitar a corrosão causada pela água subterrânea, devido à mistura com o chorume.

Já a porção externa do aterro apresenta condições geotécnicas semelhantes ao resto do Distrito Federal, com pouco risco geotécnico.

2.9 Campos (2007)

O relatório de José Eloi Guimarães Campos (2007) delimitou e caracterizou a pluma de contaminação de chorume produzida pelo lixo doméstico despejado no Aterro do Jockey Club, além de representar um laudo técnico para o licenciamento ambiental, de forma a se definir a possibilidade de ocupação urbana de parte da área.

Há uma ampla variedade composicional do chorume na área, e a concentração também varia. Porém, os locais de maior contaminação são as zonas de acumulação de lixo, com diminuição progressiva das substâncias dissolvidas com a sua migração para áreas distantes no núcleo de acumulação de resíduos.



Legendas

-  Nova Poligonal do Aterro Antigo
-  Limite do Aterro Antigo
-  Malha Urbana
-  Curvas de Nível Mestras
-  Curvas de Nível Intermediárias
-  Vias Pavimentadas
-  Vias Não Pavimentadas
-  Hidrografia
-  Furos a Trado Negativos
-  Furos a Trado Positivos
-  Furos de Sondagem Negativos
-  Furos de Sondagem Positivos

Figura 6 - Mapa dos limites do lixão retificado (Campos *et al.* 2006).

A água subterrânea contaminada sofre aumento significativo no seu pH e nos teores de elementos e substâncias dissolvidas. Os principais elementos e substâncias responsáveis pela mineralização do chorume são: potássio, cloreto, cálcio, magnésio e nitrato.

A partir dos furos das sondagens geotécnicas, foram coletadas amostras de água de maiores profundidades, que mostraram que, enquanto em profundidades rasas, o chorume se apresentava alcalino, em maiores profundidades, ele se apresenta fortemente ácido. Além disso, a pluma de contaminação aumenta em maiores profundidades, provavelmente por causa da alta densidade do chorume.

Utilizando-se de informações hidrodinâmicas dos aquíferos locais, foi realizado um cálculo preliminar estimando-se a velocidade média do fluxo da contaminação da pluma em 22 metros por ano. A relativa contenção da pluma é causada pela baixa condutividade hidráulica local de seus solos com textura muito argilosa, além do pequeno gradiente hidráulico e a retenção de parte da carga contaminante.

Outro resultado do trabalho afirma que para minimizar ao máximo os riscos de contaminação para as populações assentadas, os aquíferos locais não devem ser utilizados para nenhuma atividade.

A pluma de contaminação tem maior expansão em direção ao Parque Nacional de Brasília. Para a minimização da expansão da pluma, deve-se impermeabilizar áreas do aterro antigo, intermediário e recente, e as águas acumuladas nesse processo devem ser infiltradas em trincheiras de recarga para diluir a pluma. Além disso, deve-se paralisar a acumulação de lixo e fechar a área.

2.10 Holger (2011)

O trabalho de Reiner Stollberg Holger (2011) intitulado “*Municipal waste disposal Lixão do Jóquei, Brasília, Distrito Federal do Brasil: site investigation, groundwater monitoring and hydroquematical analysis*” objetivou determinar os limites da pluma de contaminação baseado em estudos geofísicos, com auxílio do método de eletrorresistividade com arranjo dipolo-dipolo.

Foram realizadas sete linhas de geofísica sendo duas no interior da área do Parque Nacional de Brasília (em áreas reconhecidamente sem presença de chorume) e cinco nas adjacências do aterro (Figura 6). As Figuras 8 e 9 mostram exemplos de resultados obtidos.

Como não foi possível realizar aquisição de dados nas áreas externas, não foi possível determinar a projeção da pluma de chorume, principalmente para o interior do Parque Nacional de Brasília.

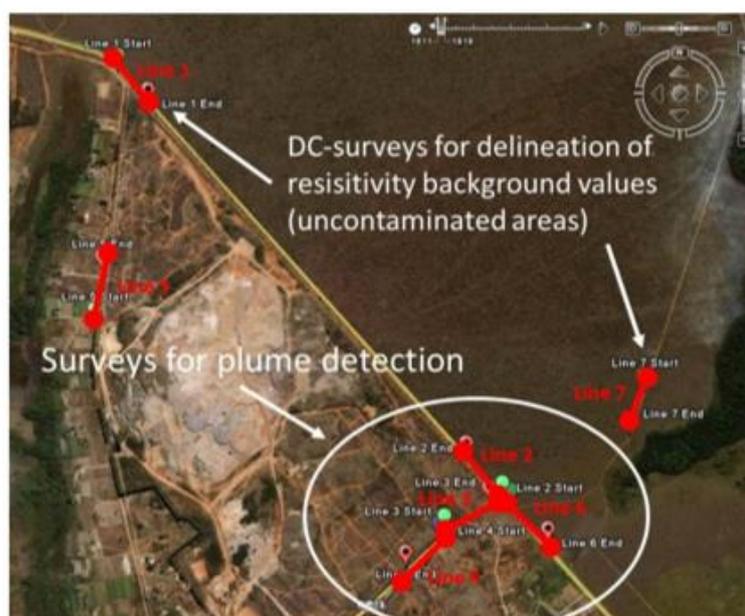


Figura 7 - Distribuição das linhas de geofísica realizadas no trabalho de Hoyer (2011).

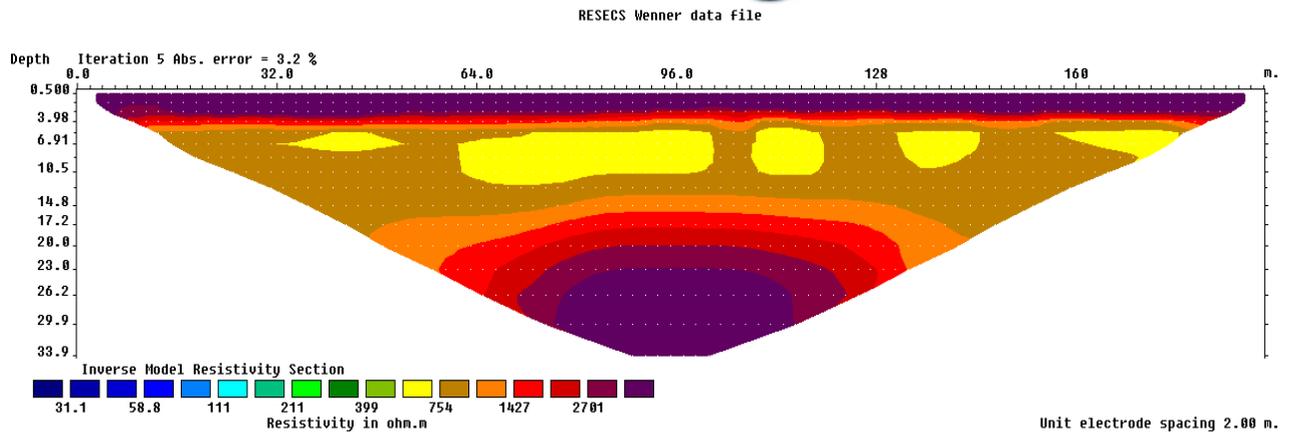


Figura 8 - Exemplo de seção geofísica 7 mostrando região sem presença de pluma de chorume. Toda a área investigada apresenta alta resistividade. Seção situada no interior do Parque nacional de Brasília em local distante dos limites do lixão (resultado obtido no Projeto IWAS/ UnB/ CAESB, Holger, 2011).

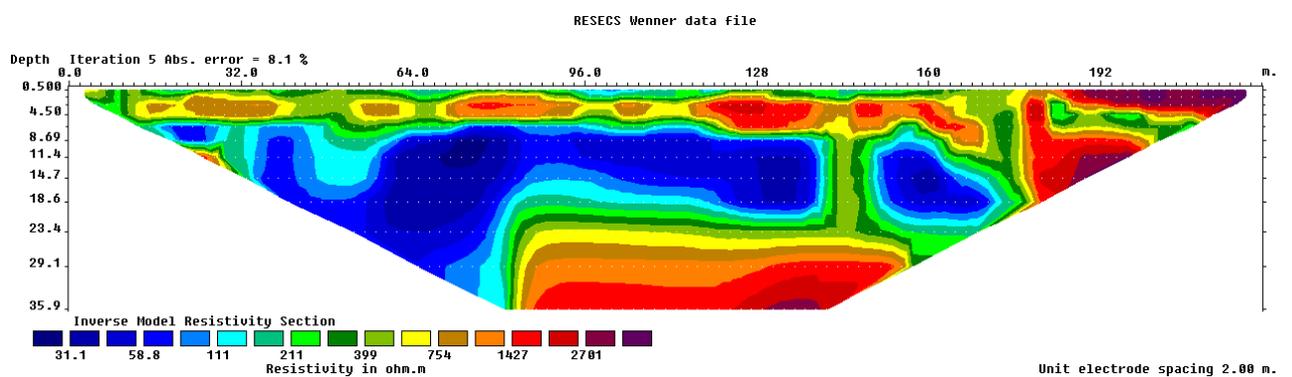


Figura 9 - Exemplo de seção geofísica 3 mostrando a região de ocorrência da pluma de chorume em profundidade. As faixas de baixa resistividade indicam a presença de íons presentes no percolado de resíduos sólidos. Seção situada no limite entre o depósito atual e o lixo antigo (resultado obtido no Projeto IWAS/ UnB/ CAESB, Holger, 2011).

2.11 Cavalcanti (2013)

A Dissertação de Mestrado de Márcio Maciel Cavalcanti (2013) investigou a evolução da pluma de contaminação causada pelo Aterro Controlado do Jockey Club, além de delimitá-la a partir de métodos geofísicos elétricos do tipo *Ground Penetrating Radar* (GPR) e Eletrorresistividade 2D.

Os métodos geoeletricos têm forte aplicação em casos de contaminação de chorume devido ao forte contraste de resistividade e condutividade causado pela presença do lixiviado. O chorume exibe características de baixa resistividade e alta condutividade no local de sua contaminação.

O primeiro método empregado no estudo foi o GPR, com uma antena blindada de 200 MHz. A velocidade média de propagação da onda eletromagnética foi de 0,07 m/ns e foi possível atingir uma profundidade de 9,45 metros. O GPR mostrou uma forte atenuação do sinal eletromagnético na presença de contaminação pelo chorume e grande ocorrência de refletores descontínuos de alta amplitude por conta de resíduos sólidos enterrados, que estão relacionados a lixo e entulho descarregados no local. O GPR também pôde mostrar com maior clareza os locais de antigas cavas onde se depositava e enterrava o lixo (Figura 10).

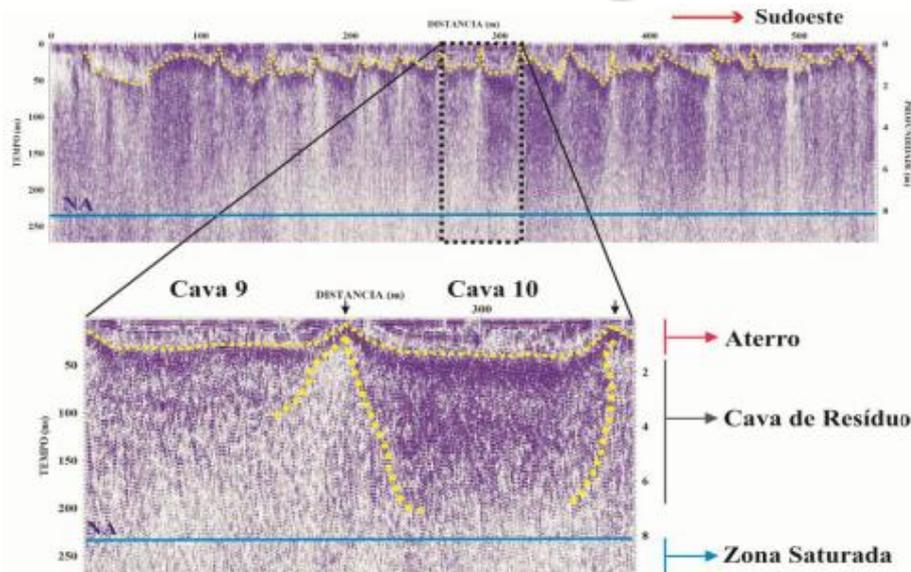


Figura 10 - Exemplo de resultado obtido com uso do Radar de Penetração no Solo, com indicação de cava de resíduo (Cavalcanti, 2013).

Quinze seções de aquisições de eletrorresistividade foram levantadas nos limites externos do aterro, a partir das técnicas de caminhamento elétrico e arranjo dipolo-dipolo (Figura 11). As seções de eletrorresistividade mostraram contaminação em todo o limite do aterro, de acordo com a baixa resistividade exibida, com grandes zonas de solo/saprólito contaminado a levemente contaminado (Figura 12).

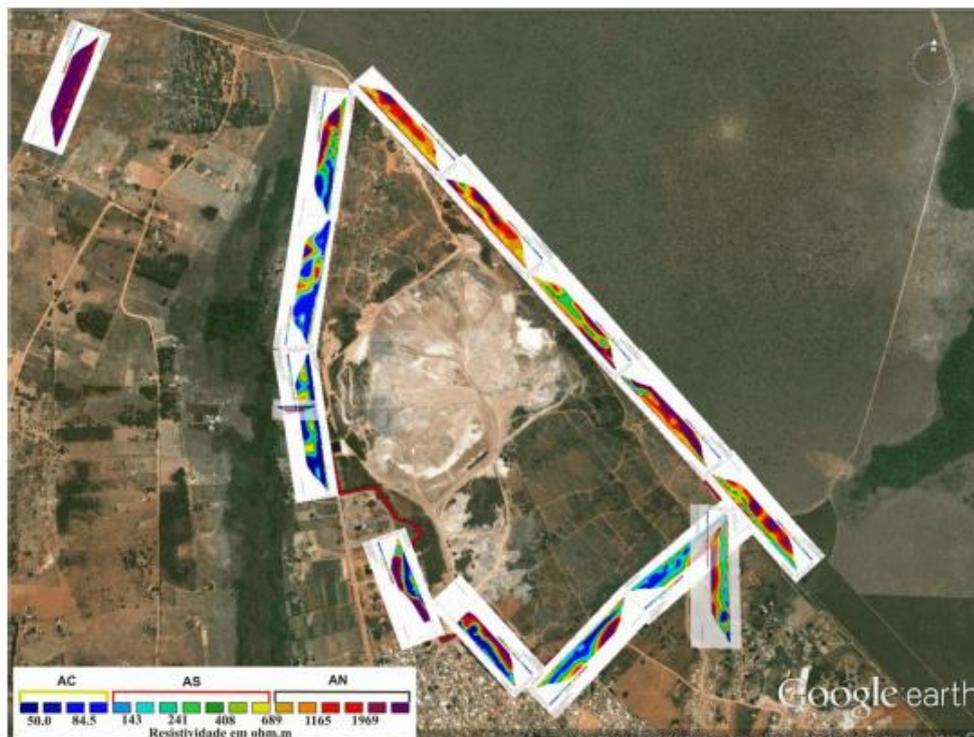


Figura 11 - Distribuição das seções geofísicas realizadas nos limites da área do Lixão da Estrutural (Cavalcanti, 2013).

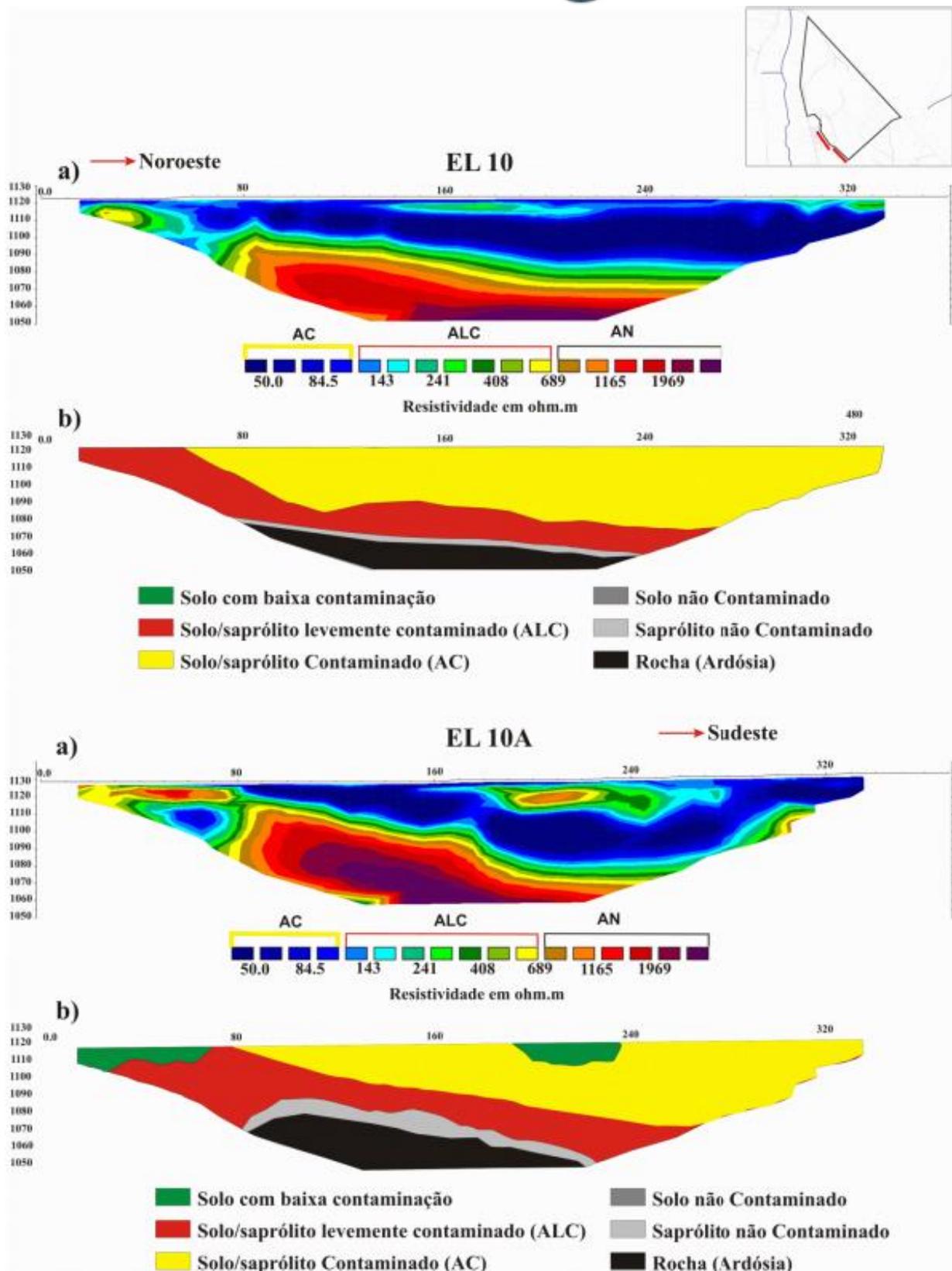


Figura 12 - Exemplos de seções geofísicas interpretadas que foram levantadas na porção sudoeste da área do Lixão da Estrutural (Cavalcanti, 2013).

2.12 Barbosa (2014)

O trabalho de Monografia de Graduação apresentado por Laila Queiroz Barbosa (2014) intitulado “Remediação de área degradada por resíduos sólidos urbanos: estudo de caso Jockey

Club de Brasília - DF”, teve como alvo a proposição de ações para a remediação da área degradada pelo Lixão da Estrutural.

A poligonal do Lixão da Estrutural foi classificada como área contaminada sob intervenção, uma vez que a contaminação com concentrações de substâncias químicas no solo e nas águas subterrâneas acima dos valores de referência já foi previamente determinada, sendo necessárias intervenções para remediação.

O trabalho mostra que a área de disposição de resíduos é um divisor hidrográfico, de forma que os efluentes migram para leste (em direção às nascentes do Córrego do Acampamento) e para oeste (em direção ao curso do Córrego Cabeceira do Valo) afluente direto do Ribeirão Vicente Pires.

Dentre as ações de intervenção o trabalho enumera as seguintes técnicas que podem ser aplicadas para a mitigação do impacto ambiental na região:

- Barreiras verticais do tipo parede diafragma plástica, com intuito de conter a propagação da pluma aos corpos hídricos e evitar a contaminação das águas subterrâneas, por meio do impedimento de fluxos horizontais de água contaminada do material isolado para o solo adjacente;
- Células impermeáveis na porção norte e sul (nas células mais antigas do lixão) - consiste na impermeabilização das células com o uso de geomembranas - no eixo horizontal ao fundo, com o intuito de homogeneizar a topografia, através do processo de codisposição, intercalando os resíduos velhos e os resíduos novos, criando células com mesma altura observada no alto topográfico, causado pela disposição na região intermediária, dando continuidade da área para disposição de resíduos;
- Barreira hidráulica constituída por poços verticais de bombeamento e ponteiros filtrantes, que são instalados ao longo de uma linha, geralmente no limite da pluma de contaminação ou dentro da própria pluma, alterando seu fluxo e tratando o líquido bombeado;
- Atenuação natural monitorada, que consiste na resposta natural de sistemas hidrológicos à contaminação, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos que, sob condições favoráveis, agem sem intervenção humana, reduzindo massa, toxicidade, mobilidade, volume ou concentração de contaminantes no solo ou nas águas subterrâneas com o tempo ou distância da fonte.

2.13 Monteiro Filho (2018)

A dissertação de Arthur Monteiro Filho (2018) foi intitulada “Hibridização de gás confinado em depósitos de resíduo sólido urbano com heliotérmica para geração de energia - o caso do Lixão da Estrutural no DF”.

O trabalho apresenta os seguintes resultados com relação ao Lixão da Estrutural:

- A geração de energia elétrica de forma consorciada entre a tecnologia solar térmica com o uso do gás gerado pela decomposição dos resíduos pode ser vantajosa do ponto de vista ambiental;
- O campo solar pode aumentar a eficiência da geração térmica pela queima do gás de forma a se minimizar os efeitos da liberação do metano produzido. Mesmo com a produção de CO₂ pela queima do hidrocarboneto ainda há vantagem, pois o CO₂ menos nocivo à atmosfera que o metano;
- O trabalho ainda mostra que é necessário melhor conhecer o maciço de resíduos sólidos para que se possa prever a produção dos gases;
- Devem-se testar diferentes configurações de usinas heliotérmicas para se verificar a eficiência da hibridização entre energia solar e energia produzida pela combustão do gás produzido pelo aterro.

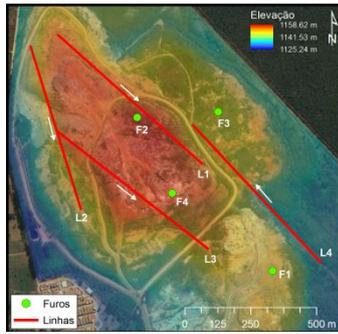
2.14 Guedes (2019)

O trabalho de conclusão do curso de geofísica, realizado na Universidade de Brasília por Victor José Cavalcanti Bezerra Guedes intitulado “Caracterização da assinatura sísmica e geoelétrica do Aterro Jockey Clube de Brasília” propôs aplicar a integração de métodos geofísicos para a determinação de parâmetros no maciço de resíduos sólidos. Os resultados de tomografias elétricas obtidas a partir de diferentes arranjos de eletrodos são mostrados na Figura 13.

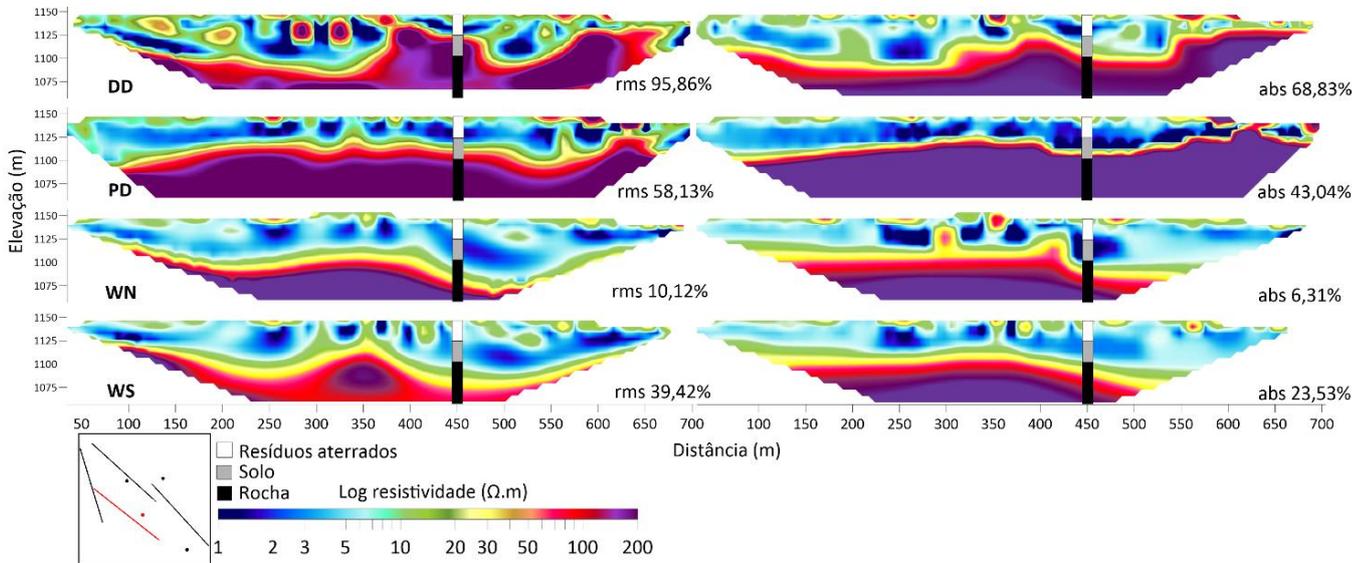
Este estudo foi focado apenas na porção de acumulação de resíduos não tendo se preocupado com as áreas adjacentes de migração da pluma de contaminação.

Dentre os principais resultados podem ser enumerados:

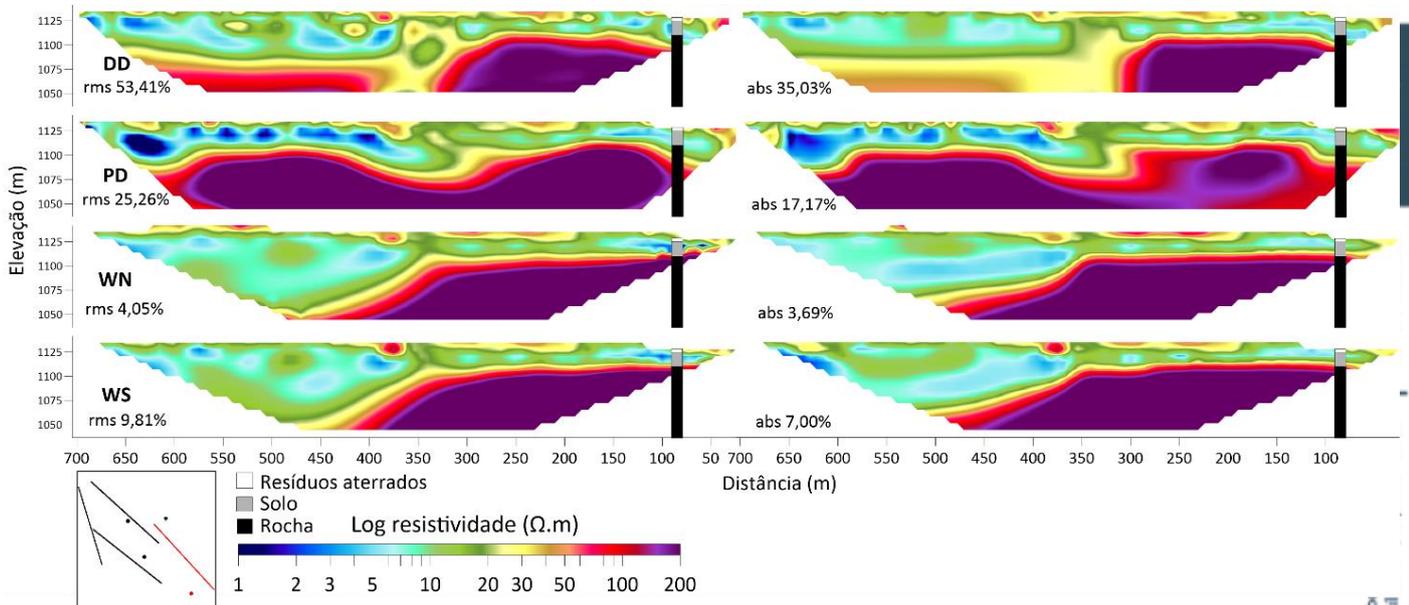
- Dentre os diferentes arranjos eletródicos avaliados dipolo-dipolo, polo-dipolo, Wenner e Wenner- Schlumberger o que apresentou a melhor solução para determinar o limite resíduo-rocha foi o caminhamento polo-dipolo;
- A profundidade do limite resíduo-rocha varia de 25 a 45 metros, a qual foi determinada pela combinação do método elétrico em associação com o método de sísmica de refração;
- O trabalho conclui que a associação dos dois métodos é interessante para estudar aterros de resíduos sólidos, entretanto para que a sísmica funcione de forma mais eficiente nas áreas com maiores espessuras de resíduos, é necessário que a fonte de energia tenha maior potência, como queda de peso ou explosivos;
- Os resultados indicam que a rocha abaixo do maciço de resíduos apresenta suas características geotécnicas modificadas, provavelmente, em função da presença de chorume.



A



B



C

Figura 13 - A: localização das linhas com relação ao maciço de resíduos. B: Linha L3, mostrando a presença de choroço distribuído na porção superior com até 50 metros de espessura. C: Linha L4, mostrando presença de choroço a profundidades de cerca de 20 metros ao sul e até mais de 75 metros na porção norte da linha coincidente com a principal faixa de acumulação de resíduos na porção central do lixão da Estrutural. Observação: as figuras dispostas à direita e à esquerda representam diferentes métodos de inversão dos dados brutos obtidos em campo (Guedes 2019).

3 SÍNTESE SOBRE O MEIO FÍSICO LOCAL

Geologia

A geologia da área de estudo é representada por ardósias da Formação Ribeirão do Torto do Grupo Paranoá. A determinação do contexto geológico foi feita com base nos estudos regionais de Freitas Silva & Campos (1998) e a partir das informações de subsuperfície obtidas no estudo de Campos *et al.* (2006). Na região predominam amplamente ardósias roxas, friáveis, com duas clivagens bem definidas, além de restritas camadas e lentes arenosas, e apenas na porção mais rebaixada, ao longo do vale do córrego do Cabeceira do Valo, ocorrem metarritmitos intemperizados, com camadas arenosas intercaladas com camadas argilosas.

O trabalho de Junqueira (2000), a partir de dados de sondagens realizadas na área do lixão, admite a presença de materiais arenosos em profundidade. Entretanto esta informação não foi confirmada por nenhum trabalho realizado posteriormente na região. Caso realmente ocorram camadas arenosas duas hipóteses podem ser avaliadas para sua explicação: presença de lentes arenosas que esporadicamente ocorrem na Formação Ribeirão do Torto, ou exposição da porção superior da Formação Ribeirão Piçarrão do Grupo Paranoá (que é exposta em zonas axiais de dobras anticlinais na região da Depressão do Paranoá).

Solos

O conjunto rochoso de ardósia se encontra sobreposto por espessa camada de latossolo vermelho e latossolo vermelho-amarelo, com espessura mínima de 5 metros que pode alcançar até mais de 30 metros na porção elevada da área (Embrapa, 1978). Os solos apresentam textura muito argilosa a argilosa e são muito ricos em óxidos e hidróxidos de ferro e pobres em argilominerais. Os solos são estruturados, sendo a estrutura grumosa a mais comum em profundidade e a estrutura granular, pequena observada nos horizontes superficiais.

Parte dos solos está contaminada com metais e outros materiais derivados da decomposição do lixo, entretanto na maior parte da área os espessos latossolos apresentam suas feições naturais preservadas.

Na região ocorrem áreas com movimentação de solos que permitem a observação da porção superior dos perfis de latossolos. Nestes perfis é possível observar aterros de materiais alóctones e remoção de horizontes superficiais.

A Figura 14 mostra um perfil aberto na área do Lixão.



Figura 14 - Porção superior de perfil de Latossolo Vermelho de textura muito argilosa. Estrutura granular no horizonte A e AB e textura grumosa no horizonte Bw.

Hidrogeologia

Na área de propagação da pluma de contaminação ocorre o Sistema **P₁** no contexto das águas rasas (Domínio Intergranular) e o Subsistema **A** (do Sistema Paranoá) relacionado às águas profundas no domínio dos reservatórios fraturados (Barros, 1987 e 1994; Amore, 1994; Campos & Freitas-Silva, 1998, Campos & Freitas-Silva, 1999; Campos & Tröger 2000 e Campos 2004).

O Sistema **P₁** na área em estudo apresenta as seguintes características: é definido como um sistema heterogêneo e anisotrópico; apresenta espessura saturada da ordem de 30 metros; tem zona não saturada variando de 3 metros (período chuvoso) até mais de 10 metros (meses mais secos do ano), condutividade hidráulica variando da ordem de 10^{-6} a 10^{-7} m/s e apresenta elevada vulnerabilidade em decorrência da restrita espessura da zona vadosa.

O subsistema **A** é definido como fortemente anisotrópico e heterogêneo, com condutividade hidráulica média da ordem de 10^{-7} m/s, com vazões médias de 4.500 L/h (com alta incidência de poços secos), restrita continuidade lateral, é considerado como de reduzida vocação hidrogeológica e apresenta vulnerabilidade baixa a muito baixa.

Um aspecto importante na hidrogeologia da região é associado ao restrito gradiente hidráulico observado no divisor hidrográfico. Este dado associado à baixa condutividade hidráulica e restrita porosidade efetiva resulta em baixa velocidade linear média do fluxo subterrâneo.

Os dados existentes indicam que os dois domínios hidrogeológicos locais estejam contaminados pelo chumbo produzido pelo lixão. Atualmente a pluma deve migrar na porosidade intergranular de latossolos e na porosidade matricial e secundária planar de ardósias.

Segundo as informações de solos, relevo e geologia a região do Lixão da Estrutural é considerada como associada ao modelo de superfícies potenciométrica única sem confinamento segundo as diretrizes de Lousada (2005) e Lousada & Campos (2005) (Figura 15).

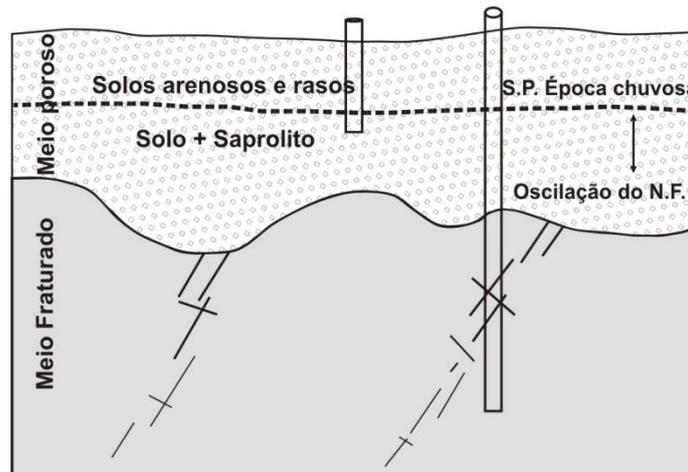


Figura 15 - Modelo de Única Superfície Potenciométrica sem confinamento, onde a superfície de saturação permanece no meio aquífero intergranular superior. SPMP - superfície potenciométrica do meio poroso; SPMF - superfície potenciométrica do meio fraturado (Lousada 2005).

Clima

Os dados expressos na Tabela 3 mostram que a distribuição pluviométrica no ciclo hídrico apresenta o padrão típico da região centro-oeste do Brasil e do domínio morfoclimático dos cerrados. O regime de chuvas caracteriza a forte sazonalidade e apresenta duas estações bem definidas: um verão chuvoso e inverno seco. Durante os meses de novembro, dezembro e janeiro são precipitados, em média, 47% do volume total das chuvas.

A partir do mês de janeiro é iniciada a diminuição gradual das chuvas, sendo que nesse mês ocorrem, com grande frequência, os veranicos quinzenais, os quais são distribuídos na primeira ou segunda quinzena.

Tabela 3 - Totais mensais de Precipitação Pluviométrica da estação do INMET em milímetros.

Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Total	241.4	214.7	188.9	123.8	39.3	8.8	11.8	12.8	51.9	172.1	238.0	248.6

Na área em estudo os valores médios totais de longo período ficam entre 1.450 e 1.500 mm, sendo considerada como uma região de elevada taxa de precipitação média. Esta expressiva altura anual de chuvas causa a proliferação de grande volume de chorume forçando sua migração para áreas em direção aos exutórios naturais.

Geomorfologia e Hidrografia

A geomorfologia local é associada à Depressão do Paranoá (segundo Novas Pinto & Carneiro, 1984; Novaes Pinto, 1986; Novaes-Pinto, 1994a; Novaes-Pinto, 1994b), sendo caracterizada por um relevo suave ondulado com declividade menor que 10%, restrita amplitude

topográfica, presença de rampas longas e predominância de pedogênese sobre o transporte e deposição.

A área representa um divisor de hidrográfico que delimita a bacia do córrego Cabeceira do Vale (um dos formadores do Ribeirão Vicente Pires) que drena suas águas em direção a oeste/sudoeste com a bacia do Córrego do Acampamento que drena para oeste/nordeste. A área apresenta padrão de relevo plano a suave ondulado com cotas entre 1130 e 1070 metros.

4. DANOS AMBIENTAIS

Segundo Araújo, 1996 o aterro é dividido em três porções: sul, intermediária e norte. A porção sul é a mais antiga e parte dela está fora dos limites do aterro. Contém o lixo aterrado desde o início de sua operação até o ano de 1977. Atualmente, essa área encontra-se invadida e habitada. De 1977 a 1993 a deposição do lixo ocorreu na porção intermediária, próxima ao vale do córrego Cabeceira do Vale. De 1993 em diante a porção norte foi sendo coberta pelo depósito de lixo (Figura 16).

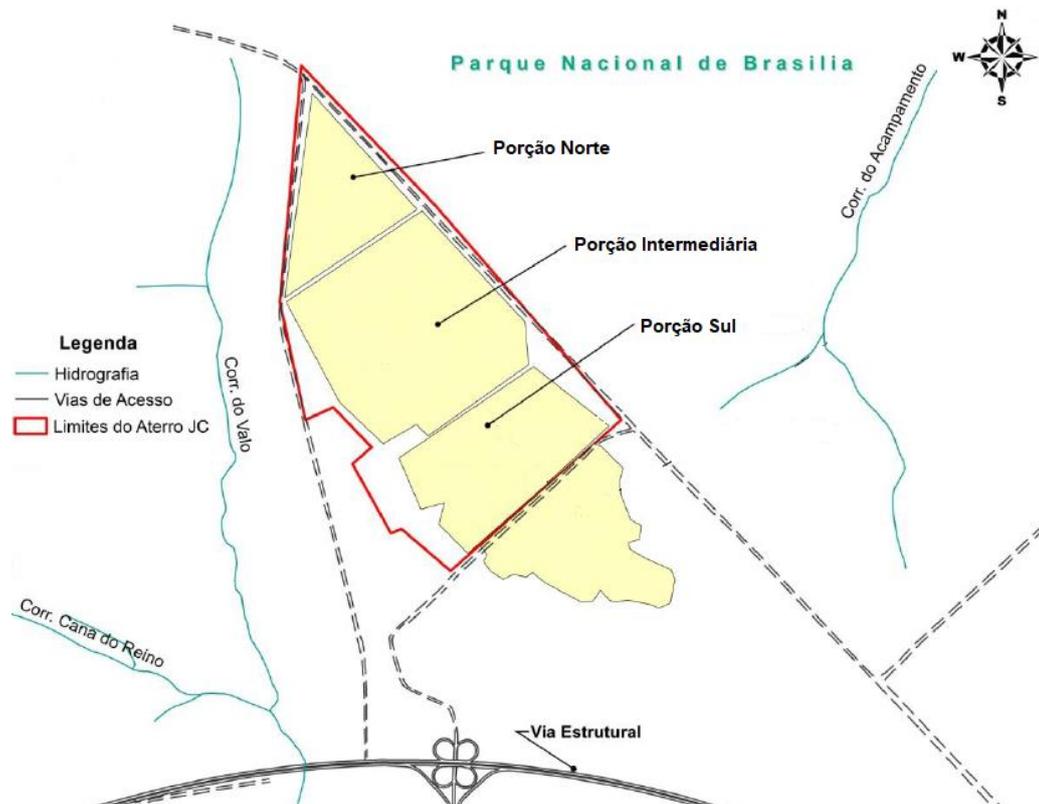


Figura 16 - Divisão do Aterro do Jockey Club em porções: sul, intermediária e norte (Araújo, 1996).

A Figura 17 exemplifica o método de descarte utilizado na fase em que o Lixão da Estrutural foi considerado “Aterro Controlado” do Jockey Club. A disposição do lixo ocorria com a escavação prévia do solo e a implantação de drenos de gases (Figura 18), a fim de neutralizar a produção de gases gerada a partir da decomposição da matéria orgânica

encontrada no substrato do aterro. Esses drenos são construídos com manilhas de concreto preenchidas por matacões de calcário, nos quais, à medida que o nível topográfico do lixo se eleva, são colocadas novas manilhas para dar continuidade à canalização. O lixo, então, era depositado nas valas e posteriormente compactado e recoberto por solo inerte para que pudesse receber outra camada de lixo.

Segundo o CEMPRE (2010), é necessário o plantio de árvores e arbustos de pequeno e médio porte, preferencialmente com espécies nativas da região, a fim de se evitar impactos visuais negativos à população, assim como a dispersão horizontal do biogás ocasionada pelos ventos, reduzindo assim a propagação de maus odores para a vizinhança do aterro.

A piscina de chorume (Figura 19) é representada por uma escavação de aproximadamente 32 metros de profundidade, que era impermeabilizada com uma lona resistente que recebia o efluente. O chorume, por sua vez, chegava à piscina por meio de manilhas, e então, era acumulado no local, até ser reinjetado no aterro com auxílio de caminhões-pipa. A reinjeção é um método de tratamento do chorume que propicia a atenuação dos constituintes pela atividade biológica e por reações físico-químicas que ocorrem no interior do aterro (Pires, 2002).

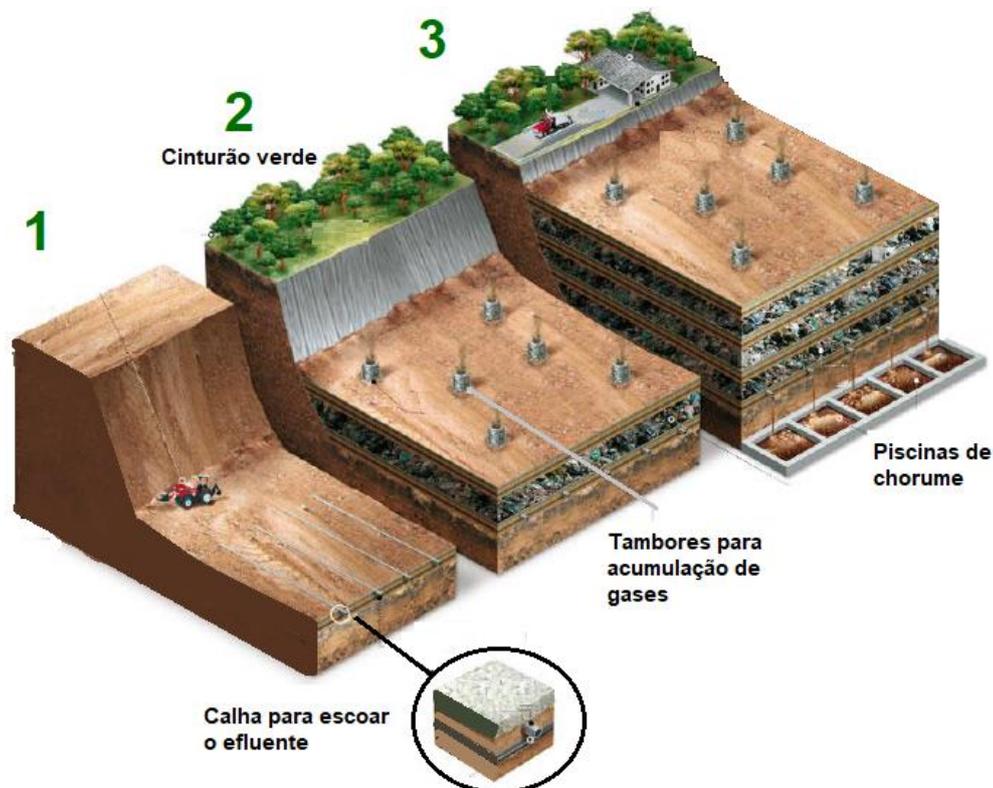


Figura 17 - Modelo de manejo e descarte de resíduos sólidos em aterro. Modificado de Plano de Manejo das Áreas de Proteção da Vila Estrutural e Plano de Uso do Parque Urbano da Estrutural (IBRAM, 2019).



Figura 18 - Exemplo de dreno de gases em funcionamento no Lixão da Estrutural.



Figura 19 - Piscina de chorume em funcionamento no Lixão da Estrutural. À esquerda, visão geral da piscina. À direita, chegada do chorume à piscina por meio de manilha e detalhe da lona de revestimento, já com porções desgastadas pela exposição.

Medidas de proteção ambiental, tais como coleta e tratamento de chorume e biogás são sistemas recentemente implementados, e uma impermeabilização dos solos nunca foi feita.

Assim sendo, o funcionamento do lixão gerou, e ainda gera sérios danos ambientais, apresentando contaminação de solos, mas principalmente, de águas subterrâneas da região. Um agravante disso é a proximidade do aterro com o Parque Nacional de Brasília, uma importante unidade de conservação que, surgiu da necessidade de se proteger os rios fornecedores de água potável à capital federal.

Estudos realizados na área, tanto de química aquática, quanto de geofísica, indicam a presença de uma pluma de contaminação proveniente do aterro, em direção às suas adjacências.

Caracterização Química da Pluma de Contaminação

A pluma de contaminação por chorume apresenta composição variável dentro de sua área de expansão. A maior concentração é observada sob a zona de acumulação do lixo e sua migração segundo os gradientes hidráulicos locais tende a uma diminuição progressiva das substâncias dissolvidas. A redução da concentração está relacionada ao afastamento da fonte com ampliação da área da pluma e diluição a partir da mistura com águas não contaminadas. A entrada de águas não contaminadas se dá por aporte subterrâneo e pela infiltração de águas de precipitação pluvial.

Como há variação composicional do chorume, a melhor forma de se apresentar os teores das diversas substâncias dissolvidas e os parâmetros físico-químicos é a partir da média, valores máximos e comparação com valores de referência (Tabela 4).

Para efeito de comparação com um padrão foram utilizados resultados de análises de amostras oriundas da nascente denominada “Peito de Moça” situada em contexto hidrogeológico similar, contudo, fora do alcance e da influência da pluma de contaminação do aterro em estudo.

Tabela 4 - Composição média e máxima do chorume do Aterro do Jockey. Os valores de *background* são relacionados a amostras retiradas da nascente “Peito de Moça” situada no Parque Nacional de Brasília em área fora da influência da Pluma de contaminação. Todas as unidades em mg/L, com exceção da CE (condutividade elétrica) medida em $\mu\text{S}/\text{cm}$ e pH adimensional. (TSD significa total de sólidos dissolvidos). Fonte: Franco (1996) e Araújo (1996).

Parâmetro	Média	Máximo	Background
pH	6,0	7,6	4,9
CE	93,1	1220,0	2,6
TSD	68,2	620,0	1,2
Dureza	10,1	46,1	0,03
Nitrato	1,0	2,9	0,0
Nitrito	0,02	0,2	0,0
Amônia	0,24	1,34	0,0
Cloro Total	0,1	0,76	0,0
Alcalinidade	32,3	452,0	0,3
O ₂ Consumido	9,9	56,1	0,0
O ₂ Dissolvido	27,8	136,2	28,6
Sulfato	5,0	21,0	0,0
Fosfato	0,35	2,5	0,01
Potássio	7,73	44,0	0,56
Ferro	0,15	0,62	0,28
Manganês	0,036	0,366	0,01
Alumínio	32,3	452,0	4,28
Cálcio	6,40	49,1	2,54
Magnésio	1,3	17,86	3,69

De forma geral há o aumento dos teores dos diversos elementos e substâncias dissolvidas na água subterrânea, com exceção do pH que sofre significativo aumento, mostrando que o chorume apresenta características alcalinas.

Os trabalhos de hidroquímica detalhados realizados no aterro indicam que os principais elementos e substâncias responsáveis pela mineralização do chorume são: potássio, cloreto, cálcio, magnésio e nitrato.

Araújo (1996) e Santos (1997) mostram que há uma tendência de aumento da concentração dos íons dissolvidos quando se amostra águas a partir de maiores profundidades. Esses autores consideram que a condutividade elétrica das águas é o principal parâmetro analítico para a caracterização da composição do chorume.

Distribuição da Pluma de Contaminação

Para a determinação dos limites atuais da pluma foram aplicados os dados de migração sobre os modelos reais realizados nos anos 1996 e 2001. Para a projeção da migração foram utilizados dados de velocidade média do fluxo a partir das informações hidrodinâmicas dos aquíferos do domínio intergranular, incluindo: porosidade eficaz, condutividade hidráulica e gradiente hidráulico.

A velocidade linear média pode ser obtida a partir da seguinte fórmula: $V = (K \cdot \eta_e \cdot H) / L$, onde V = velocidade linear média do fluxo, K = condutividade hidráulica; η_e = porosidade eficaz; H = diferença de carga hidráulica e L = distância entre ponto de recarga e ponto considerado.

Os seguintes valores são considerados como parâmetros de entrada: K variando entre 5×10^{-6} e 6×10^{-5} m/s; η_e variando entre 10 e 15%; gradiente hidráulico H/L com variação entre 0,004 e 0,01 (0,4% a 1%). Nessas condições pode-se calcular as velocidades de fluxo em dois cenários considerados como velocidade máxima e velocidade mínima do fluxo ($V_{MAX} = K_{MAX} \times \eta_{eMAX} \times Grad_{MAX}$) e ($V_{MIN} = K_{MIN} \times \eta_{eMIN} \times Grad_{MIN}$).

Os valores de condutividade hidráulica da ordem de grandeza de 10^{-6} a 10^{-5} m/s representam os valores modais obtidos em ensaios de infiltração *in situ* realizados em todo o território do Distrito Federal. São considerados compatíveis com os solos locais em que mesmo com textura argilosa a muito argilosa, apresentam estruturação granular e grumosa modificando o comportamento do funcionamento hídrico dos latossolos.

Os valores de porosidade eficaz entre 10 e 15% também são considerados coerentes com os materiais em estudo. Mesmo com valores de porosidade total que devem ser superiores a 30%, a porosidade efetiva não deverá superar 15% em virtude da grande retenção de água na forma de umidade (por tensão superficial e forças de atração moleculares) que é observada nesses materiais.

Os valores de gradiente hidráulico local foram obtidos diretamente a partir do mapa potenciométrico produzido por Araújo (1996). Neste caso, foram considerados: gradiente mínimo de 2 metros de diferença de carga hidráulica em 500 m de extensão lateral do aquífero e gradiente máximo de 2 metros de variação de carga hidráulica em 195 metros do aquífero.

Considerando um cenário simplista de propagação da pluma pode-se afirmar que com a condição mais rápida do fluxo ($V_{MAX} = 6 \times 10^{-4}$ m/s \times 0,15 \times 0,01 = 9×10^{-7} m/s = 28,38 m/ano) a

pluma deve migrar cerca de 30 metros por ano. Na condição mais lenta ($V_{\text{MIN}} = 5 \times 10^{-5} \text{ m/s} \times 0,1 \times 0,004 = 2 \times 10^{-8} \text{ m/s} = 0,63 \text{ m/ano}$) a migração seria em torno de 65 cm por ano. O cenário é considerado simplista, pois a determinação de fluxo de uma pluma de contaminação deve levar ainda em consideração vários outros parâmetros como: densidade da solução, advecção, retenção, dispersão lateral, dispersão longitudinal, possíveis anisotropias e heterogeneidade do aquífero e outros fatores.

A partir dos cálculos teóricos e dos dados de hidroquímica obtidos desde 1996 foram confeccionados o mapas da distribuição da pluma de contaminação para os anos de 1996, 2001 e 2007, exemplificado pela Figura 20.

O incremento da pluma observada nos dois intervalos de tempo analisados é coerente com os cálculos e estimativas de migração, com ampliação de cerca de 20 metros por ano em direção à nascente do córrego do Acampamento (no interior do Parque Nacional de Brasília). O valor de cerca de 20 metros ao ano é coerente com todo o modelo de fluxo e condição real de migração da pluma, o que envolve retenção pela função filtrante do aquífero e migração vertical descendente que também minimiza a magnitude do vetor resultante.

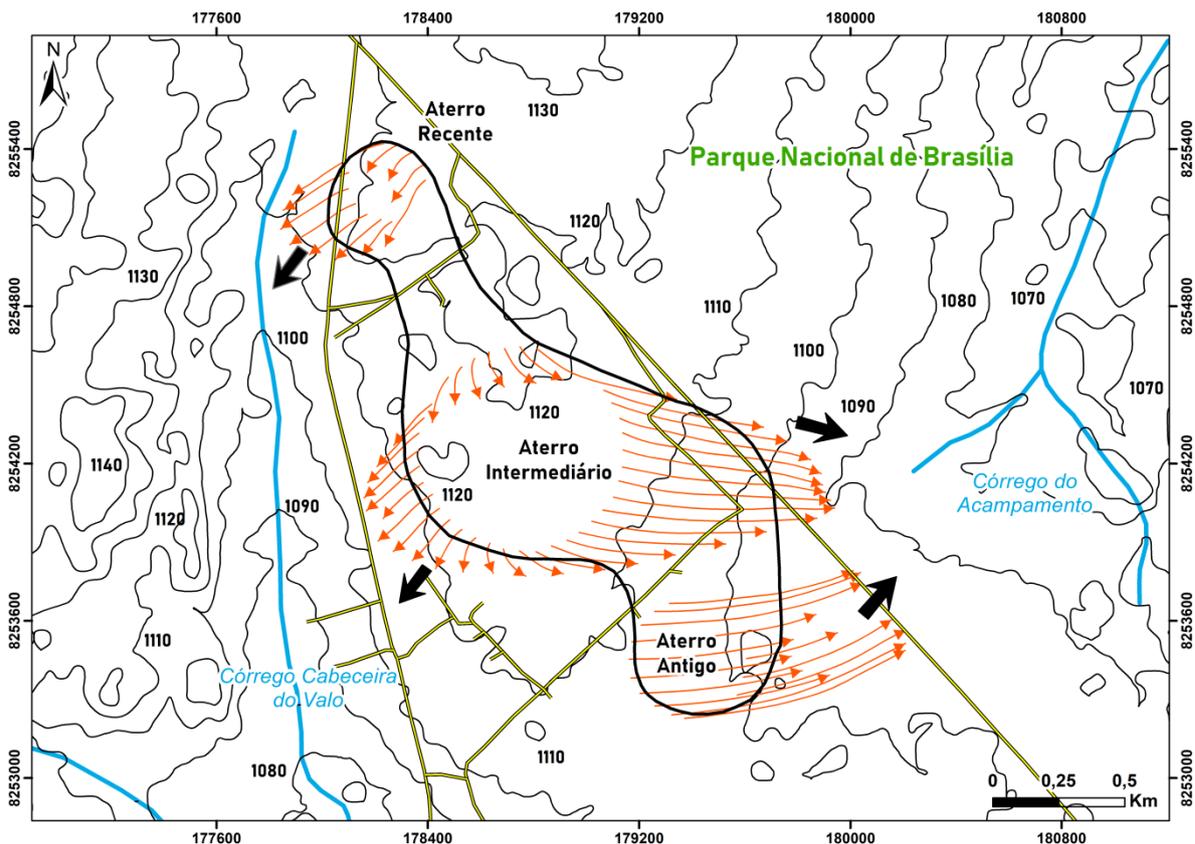


Figura 20 - Mapa de distribuição da pluma de contaminação na região do Aterro do Jockey / Cidade Estrutural, para o ano de 2001 (Fonte dos dados: Araújo 1996, Franco 1996; base cartográfica Koide *et al.* 1999). As setas indicam o fluxo subterrâneo local preferencial da pluma. Equidistância das curvas de nível 2 metros.

A partir das considerações e análises realizadas pode-se afirmar com ampla margem de segurança que a pluma alcançará a nascente do córrego do Acampamento nos próximos cinco anos.

A análise do comportamento da pluma atual indica que são restritas as áreas ocupadas por edificações urbanas da Cidade Estrutural que apresentam interferência com a pluma de contaminação. De forma mais ampla essas áreas correspondem às porções do extremo NW e SE da atual poligonal da área urbana.

Caracterização Geotécnica dos Terrenos Adjacentes

A metodologia objetivou caracterizar os terrenos afetados pela pluma de contaminação. A perfuração foi iniciada com o trado /cavadeira até a profundidade de 1 m, instalando-se o primeiro segmento do tubo de revestimento, segundo as normas ABNT (NBR 6484/96, MB-3 e NB 617/80) (Figura 21).

Durante as operações de perfuração, nos casos em que a parede do poço se mostrou instável, procedeu-se à descida de revestimento até a profundidade necessária, alternadamente com a operação de perfuração/ensaio. O tubo de revestimento ficou a uma profundidade máxima de 3,5 m, sendo que a partir dessa profundidade a parede se comportava de forma autossustentável.

Durante a operação de perfuração também foram anotadas as profundidades das transições de camadas detectadas por exame tátil-visual e da mudança de coloração dos materiais trazidos à boca do furo pelo trado espiral. Adicionalmente, o nível de água, quando existente no interior do furo, manteve-se em cota igual durante toda atividade de sondagem realizada.



Figura 21 - Imagens do processo de montagem e execução da sondagem tipo SPT.

As principais características observadas estão listadas a seguir:

- *O lixo representa material com alta penetrabilidade e muito heterogêneo;*
- *A maior parte da seção dos espessos latossolos argilosos da área apresentam alta penetrabilidade, em geral até espessuras maiores que 30 m;*
- *A seção com baixa penetrabilidade/impenetrável se dá de forma abrupta, em geral já em material saprolítico;*
- *A área do aterro não apresenta grau de compactação elevado, a penetrabilidade é extremamente alta o que indica um solo pouco resistente à carga, ou colapsível na parte superior;*
- *A resistência do solo começa a ocorrer em profundidades médias de 15 a 20 metros tanto pra a área do aterro como para as áreas externas;*
- *É possível inferir que o horizonte de alteração, que gera o solo, não é homogêneo apresentando níveis mais arenosos com uma resistência a penetração de 60/15 (60 pancadas para uma penetração de 15 cm) ou superior a 440.000 N (Força de cada pancada $F = ma$, onde a é a aceleração da gravidade vezes 0,75, pois o peso é lançado dessa altura; m a massa do peso em gramas, que é de 65.000 vezes o número de pancadas);*
- *O horizonte mais resistente é o horizonte C1, que apresenta uma resistência de 60-70/45 devida, provavelmente, à presença de pequenos aglomerados de argila dura ou material inconsolidado proveniente da alteração da ardósia;*
- *É possível verificar que o modifica de forma acentuada a característica natural do material, sendo observado que a até mais de 25 metros o maciço é considerado de má qualidade para suportar fundações de obras civis.*

Os resultados dos ensaios SPT mostraram que profundidades entre 34 a 37 metros a ardósia sotoposta aos resíduos sólidos (que foi atacada pelo chorume) se apresenta com aspecto plástico e sem condições para suportar fundação de obras (Figuras 22 e 23).

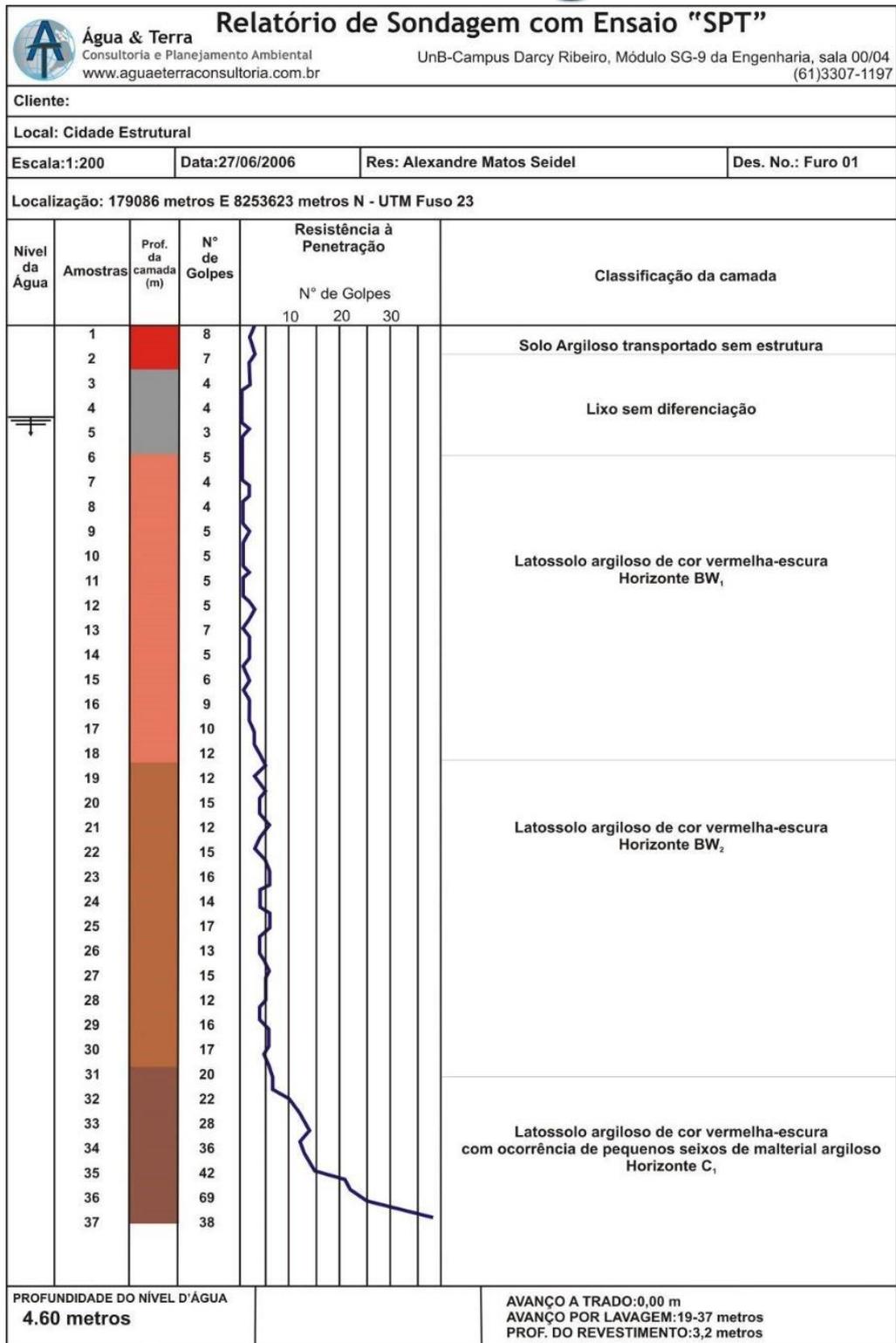


Figura 22 - Perfil de ensaio do tipo *Standart Penetration Test* - SPT do Furo 1 (Campos et al., 2007).

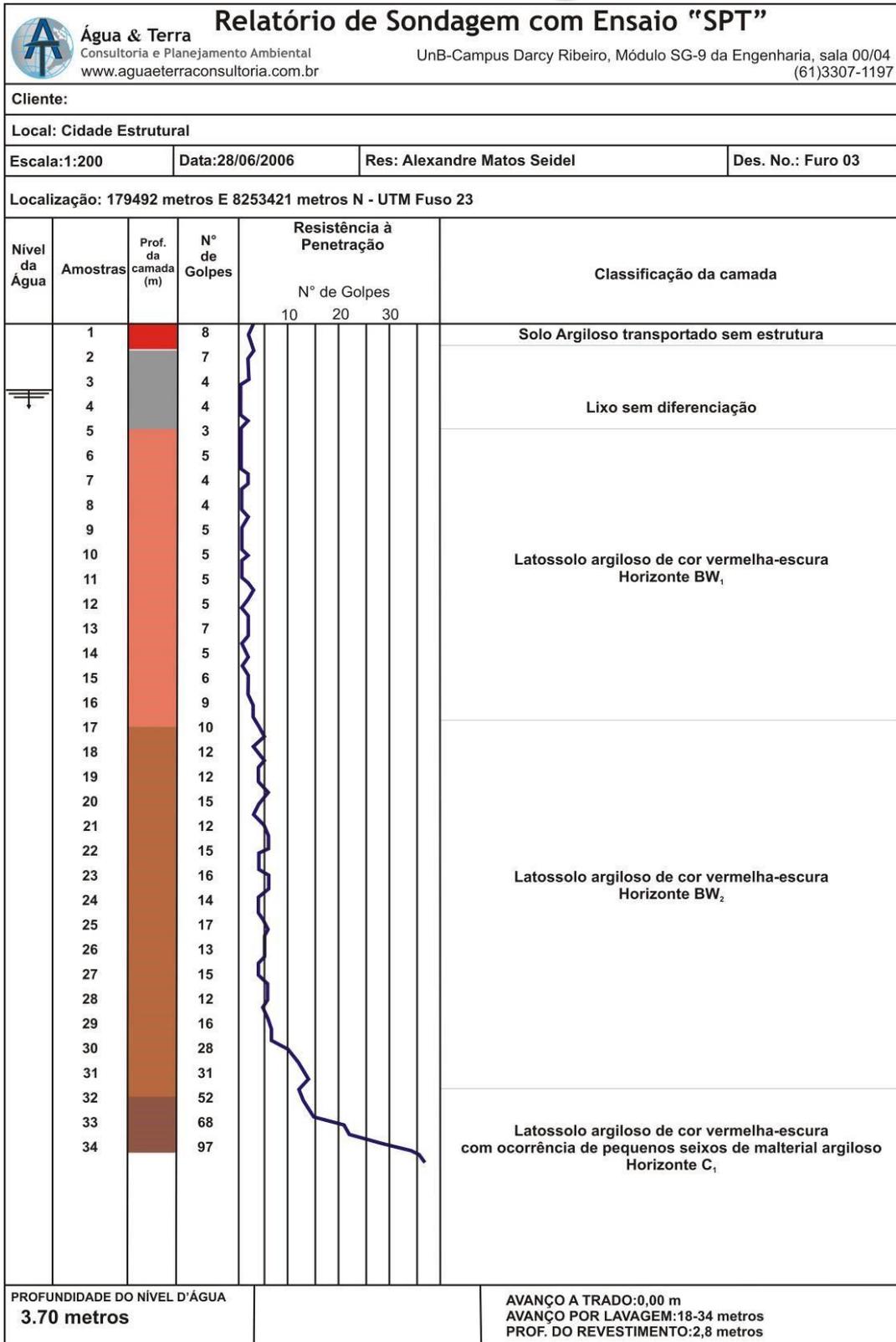


Figura 23 - Perfil de ensaio *Standart Penetration Test* - SPT do Furo 3 (Campos et al., 2007).

Em dois dos pontos sondados para SPT foram coletadas amostras de água para avaliação química. As análises foram realizadas no Laboratório de Água da CAESB e apresentaram os seguintes resultados (Tabela 5).

Tabela 5- Resultado das análises químicas obtidas de amostras de água retiradas a partir de sondagem *Standart Penetration Test - SPT*.

SPT 2		SPT 3	
Profundidade	36 m	Profundidade	37 m
pH	4,8	pH	5,7
Turbidez	137 uT	Turbidez	>4000 uT
Nitratos	37,5 mg de N/L	Nitratos	1,4 mg de N/L
Sódio	5,64 mg/L	Sódio	5,15 mg/L
Potássio	37,3 mg/L	Potássio	1,52 mg/L
Zinco	0,037 mg/L	Zinco	<0,016 mg/L
Manganês	0,172 mg/L	Manganês	0,032 mg/L
Cobre	0,0001 mg/L	Cobre	0,0066 mg/L
Chumbo	0,0096 mg/L	Chumbo	0,0096 mg/L
Cádmio	<0,0001mg/L	Cádmio	<0,0001mg/L

Os valores relativamente reduzidos dos metais de transição devem-se provavelmente ao elevado poder filtrante da zona não saturada do aquífero, uma vez que, em geral, os chorumes apresentam elevados teores em chumbo, cádmio, cobre e zinco.

Os resultados apresentados mostram que o chorume apresenta tendência alcalina quando amostrado em porções rasas da pluma de contaminação, passa a um comportamento fortemente ácido quando em profundidades maiores que 35 metros.

Além do mais, esses resultados da composição da pluma em profundidade evidenciam que há ampliação vertical da pluma, muito provavelmente ligada a alta densidade da solução representada pelo chorume.

Classificação dos Resíduos

A observação do material retirado das sondagens permitiu qualificar os resíduos em quatro tipos gerais denominados de lixo orgânico, lixo inorgânico, lixo composto e aterro (restos de obras). A Figura 24 ilustra alguns desses tipos de materiais.



Figura 24 - Fotografias de tipos de resíduos observados nas sondagens: lixo orgânico, lixo composto e lixo inorgânico (predominância de plástico). Além destes ainda ocorrem materiais metálicos, e blocos de concreto e restos de obras civis.

O lixo orgânico apresenta forte odor fétido, cor escura, aspecto plástico, sendo interpretado como produzido por material predominantemente composto por matéria orgânica. No lixo inorgânico são principalmente observados plásticos, latas, tecidos e menor proporção de restos orgânicos. O lixo composto representa uma associação dos anteriores, sendo observados ambos componentes em diferentes proporções e nesse caso o odor fétido é menos pronunciado.

O tipo denominado aterro é composto por blocos de concreto, ferro, fragmentos de azulejo e demais materiais comumente encontrados em escombros de obras civis. Ao contrário dos outros tipos, que são sempre encontrados a mais de 40 cm de profundidade, esse material é comumente distribuído nas ruas como forma de revestimento do pavimento.

6. MEDIDAS PARA REMEDIAÇÃO E MITIGAÇÃO DE IMPACTOS

6.1 Fitorremediação

A fitorremediação representa a propriedade de que diferentes espécies vegetais apresentam de reter contaminantes dispersos nos solos. De forma geral a pesquisa de espécies para fitorremediação é baseada em espécies de ciclo curto utilizadas em lavouras (ex.: girassol, milho, leguminosas, etc.). Entretanto, existem espécies florestais que também apresentam a propriedade de retenção e metais pesados e outros contaminantes (Silva *et al.* 2019).

Os metais pesados ou metais de transição mais comumente encontrados como fonte de contaminação são o Cádmiio, chumbo, cobalto, cobre, mercúrio níquel e zinco. Estes cátions apresentam a propriedade de se ligarem com a hemoglobina do sangue e causar sérios problemas à saúde humana (Silva *et al.* 2019).

Para crescer e completar o ciclo de vida, as plantas devem adquirir não apenas macronutrientes (N, P, K, S, Ca e Mg), mas também micronutrientes essenciais, como Fe, Zn, Mn, Ni, Mo e outros metais que funcionam como micronutrientes. Plantas desenvolveram mecanismos altamente específicos para reter, translocar e armazenar esses nutrientes. Por exemplo, o movimento do metal através das membranas biológicas é mediado por proteínas com funções de transporte. Além disso, mecanismos sensíveis mantêm a concentração intracelular de íons metálicos dentro da faixa fisiológica. Em geral, o mecanismo de captação é seletivo, plantas preferencialmente adquirindo alguns íons sobre outros. A seletividade da captação de íons depende da estrutura e propriedades dos transportadores de membranas. Essas características permitem que os transportadores reconheçam, vinculem e mediam o transporte transmembrana de íons específicos. Por exemplo, alguns transportadores mediam o transporte de cátions divalentes, mas não reconhecem íons mono ou trivalentes (Lasat 2000).

Atualmente há amplo desenvolvimento da pesquisa a respeito da fitorremediação com destaque para os seguintes trabalhos: Lasat, (2000); Prasad, (2004); Anselmo & Jones, (2005); Tavares, *et al.*, (2013); Cunha & Fernandes, (2014), DalCorso *et al.* (2019) e Silva *et al.* (2019).

As espécies hiperacumuladoras são convencionalmente definidas como aquelas capazes de acumular metais em níveis 100 vezes maiores do que aqueles normalmente medidos em plantas comuns não acumuladoras. Assim, um hiperacumulador concentrará mais de 10 ppm de Hg; 100 ppm de Cd; 1.000 ppm de Co, Cr, e Pb; e 10.000 ppm de Ni e Zn.

Souza *et al.* (2013) apresentam um artigo de revisão discutindo sobre técnicas de fitorremediação, mais especificamente com relação às espécies não hiperacumuladoras em associação com agentes orgânicos quelantes. Os autores concluem que esta técnica é promissora, mas que no Brasil apenas são realizados estudos experimentais em casa de vegetação sem a aplicação comercial como desenvolvido nos estados Unidos e Canadá.

Processos atuantes nos Sistemas de Fitorremediação

Fitodegradação

Consiste na absorção dos contaminantes pelas raízes das plantas e posterior quebra das moléculas, de forma que os metabólitos apresentem menor toxidez ou até mesmo não sejam tóxicos. A planta absorve o contaminante em suas raízes a partir da solução do solo e utiliza parte de sua molécula como nutriente, e os metais são incorporados às estruturas orgânicas e se mantêm inertes ou não bio-disponíveis.

Este processo é aplicado para mitigação de contaminantes orgânicos em solos.

A Figura 25 mostra de forma esquemática o processo de fitodegradação (Silva *et al.* 2019).

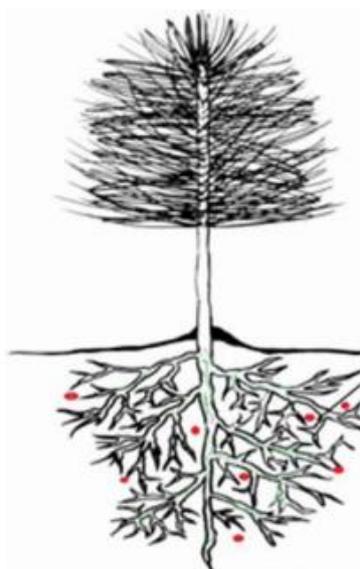


Figura 25 - Mecanismo de fitodegradação em espécie florestal. Em vermelho os contaminantes em solução do solo. Em verde- a quebra das estruturas moleculares do contaminante e absorção pelas estruturas orgânicas (Silva *et al.* 2019).

Fitoacumulação

A fitoacumulação consiste da absorção dos contaminantes a partir do solo e armazenamentos nas estruturas vegetais como raízes, caules e folhas, com posterior descarte (Figura 26). A planta pode por mecanismos fisiológicos, se adaptar para acumular maiores níveis de metais, entretanto a plantas já adaptadas para acumulação seletiva de determinados metais as quais são denominadas de hiperacumuladoras. Um exemplo deste tipo de vegetação florestal do cerra é a volquízea que é reconhecida como hiperacumuladora de alumínio.

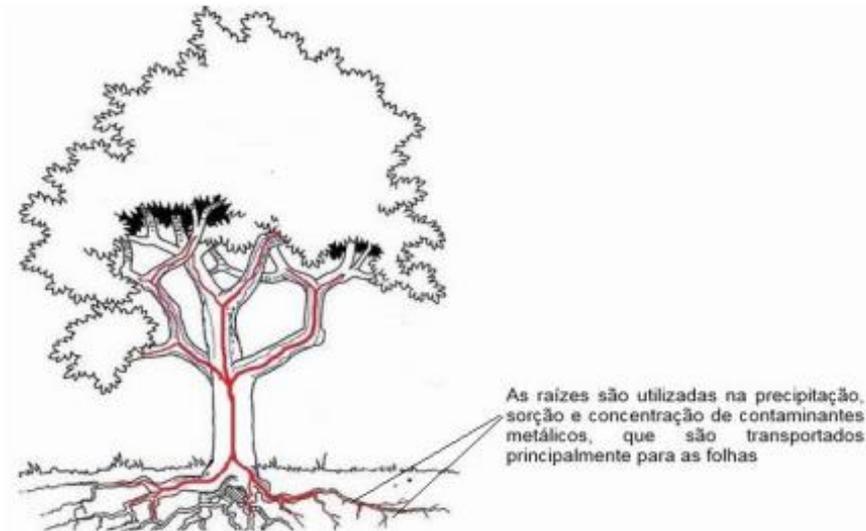


Figura 26 - Mecanismo de fitoacumulação em espécies florestais (Almeida 2011).

Fitoestabilização

Este processo se dá na zona de raízes de forma que a partir de reações de absorção, adsorção e ou precipitação há a acumulação do contaminante (Figura 27). De forma geral visa diminuir a biodisponibilidade de metais para os solos e águas subterrâneas. O processo de estabilização se dá pela mudança das condições físico-químicas proporcionadas pela zona de interação raízes-solo.

Este processo pode ser revertido caso retornem as condições anteriores ao seu desenvolvimento e desta forma os contaminantes poderão ser tornar novamente disponíveis.



Figura 27 - Mecanismo de fitoestabilização em espécie florestal (Almeida 2011).

Diferentes abordagens na forma de se estudar a eficiência da fitorremediação mostram que para diferentes espécies vegetais a acumulação dos metais pode ser observada nas folhas, nas raízes ou nos caules. Tal variação se dá em função das estruturas vegetais, e do tipo de processo predominante na retenção dos metais.

O trabalho de Tavares *et al.* (2013) mostra resultados de experimentos com plantio de sorgo, algodão, milho, girassol e mucuna com relação a diferentes metais e dois tipos de análises (DTPA e Mehlich) (Tabela 6).

Tabela 6 - Comparação entre concentrações antes e depois do plantio em experimento de fitorremediação.

Espécie	Cu	Zn	Cr	Co	Ni	Cd	Pb
DTPA mg.kg ⁻¹							
T0	3,10	1,50	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	3,00
Sorgo	2,51 a	1,25 a	<L.D.	<L.D.	0,53 a	<L.D.	2,68 ab
Algodão	2,13 a	1,19 a	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	2,39 ab
Milho	2,22 a	1,13 a	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	2,43 ab
Girassol	1,43 a	1,06 a	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	1,50 b
Mucuna	2,75 a	1,10 a	<L.D.	<L.D.	0,05 a	<L.D.	3,24 a
MEHLICH mg.kg ⁻¹							
T0	13,00	6,50	0,30	0,40	1,50	<L.D.	5,50
Sorgo	11,19 ab	5,47 a	0,24 bc	<L.D.	0,68 ab	<L.D.	4,75 a
Algodão	10,76 ab	5,27 a	0,21 cd	<L.D.	0,47 ab	<L.D.	4,59 a
Milho	10,57 ab	4,99 a	0,28 ab	0,15 a	0,71 ab	<L.D.	5,49 a
Girassol	6,41 c	4,67 a	0,16 d	0,07 ab	0,32 b	<L.D.	2,65 b
Mucuna	12,72 a	4,82 a	0,31 a	0,092 ab	0,90 a	<L.D.	4,50 a

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Tukey 0,05.

* T0 (Concentração antes do plantio das espécies).

6.2 Estabilização da Pluma de Contaminação

Para a estabilização de plumas de contaminação diferentes técnicas podem ser aplicadas. A escolha da técnica mais adequada deve considerar a: toxidez da pluma, sua densidade, profundidade do nível freático no local, extensão da fonte e dimensões da pluma de contaminação, miscibilidade dos componentes da pluma com a água do aquífero, além de aspectos financeiros (custo de implantação **Resíduo** cas, tempo de monitoramento, avaliação da efetividade, dentre outros).

A Figura 28 mostra uma técnica comumente aplicada ao rebaixamento do nível freático sob o sítio gerador do efluente. Esta técnica é útil para casos em que o nível freático é raso e há restrita produção de efluente.

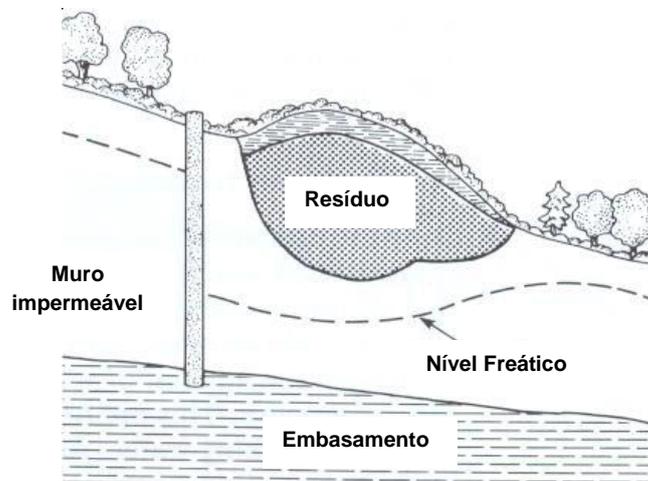


Figura 28 - Instalação de muro impermeável (Fetter, 2001).

A estabilização por rebaixamento do nível freático é ilustrada na Figura 29. Neste caso uma bateria de poços (em geral alinhados) na porção de montante do sítio gerador do efluente. É aplicado para locais com efluente de elevada densidade. O líquido bombeado é destinado ao devido tratamento.

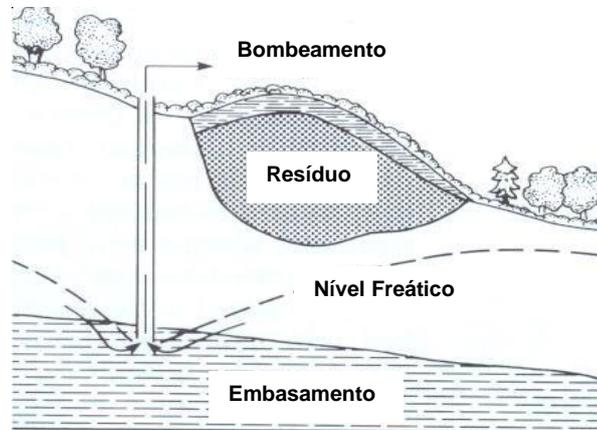


Figura 29 - Instalação de poço de bombeamento. Com tratamento ou reinjeção (Fetter, 2001).

A técnica ilustrada na Figura 30 é definida pela injeção de material impermeável (mistura de argilas ou pasta de cimento) na porção de fundo do sítio gerador dos efluentes. Trata-se de um método de elevado custo com aplicação restrita a pequenos aterros ou a aterros de resíduos altamente tóxicos em bacias em que há captação de águas para abastecimento.

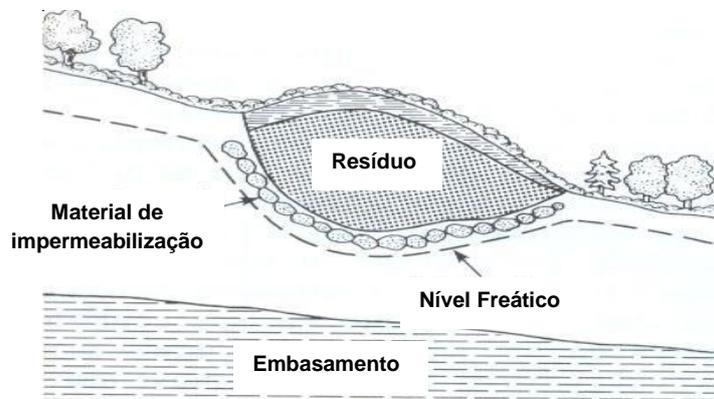


Figura 30 - Impermeabilização de fundo e topo do sítio de geração da pluma de contaminação (Fetter, 2001).

A Figura 31 mostra a técnica de remoção da pluma de contaminação com bombeamento permanente a montante e a jusante do foco gerador e posterior tratamento dos efluentes. Este método e suas variações são muito comumente aplicados em sítios de deposição de resíduos domésticos.

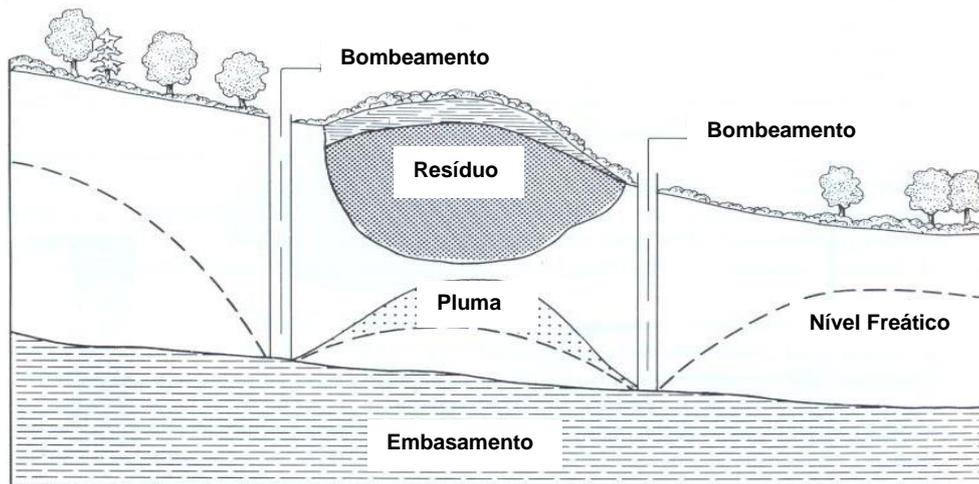


Figura 31 - Bombeamento a jusante e montante para estabilização da pluma de contaminação (Fetter, 2001).

A técnica ilustrada na Figura 32 corresponde a método avançado e moderno de tratamento *in situ*, com injeção de nutrientes para favorecer a degradação dos contaminantes associada a bombeamento e reciclagem. O processo deve apenas ser cessado quando a produção de efluentes for minimizada ou eliminada. Este tipo de processo é aplicável para casos em que há produção de contaminantes orgânicos no efluente.

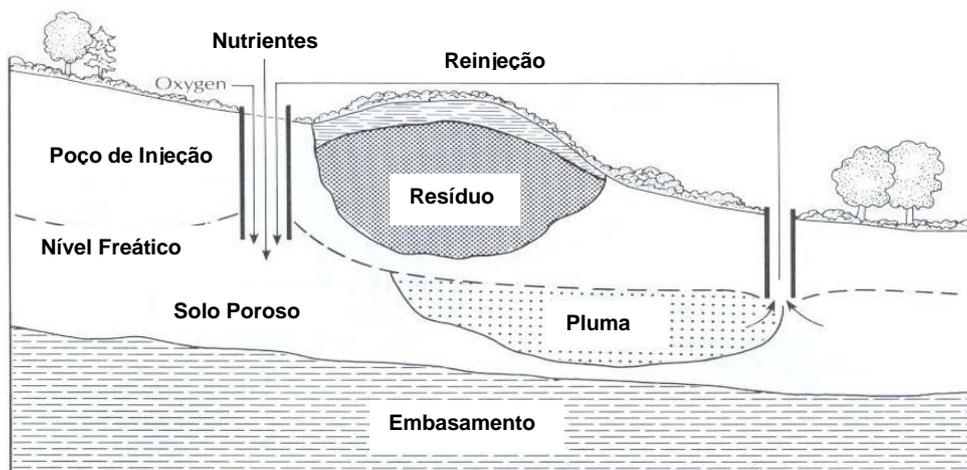


Figura 32 - Injeção de nutrientes a montante com bombeamento da pluma a jusante seguido de tratamento ou reinjeção (Fetter, 2001).

Na Figura 33 é apresentado um método de estabilização da pluma de contaminação acoplada ao tratamento *in situ* por filtro físico. A filtragem é realizada em um septo permeável (com elevada condutividade hidráulica). Junto com o material de elevada permeabilidade (geralmente cascalho) é associado elementos filtrantes (por exemplo, pelets de carvão ativado) que são responsáveis pela retenção de metais ou outros contaminantes.

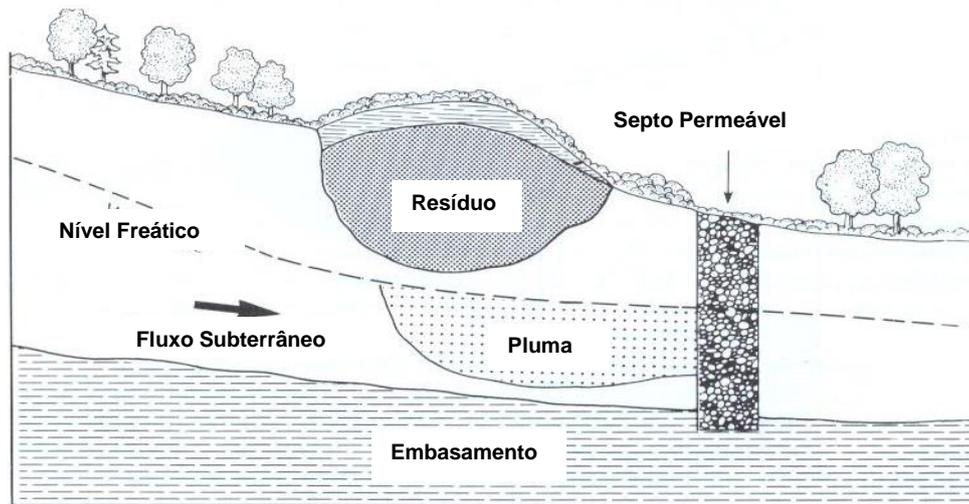


Figura 33 - Instalação de septo permeável preenchido com sistema de filtro físico (Fetter, 2001).

Em todos os casos a estabilização da pluma de contaminação é precedida da impermeabilização do maciço em que o efluente é gerado. A ideia é minimizar a produção primária do efluente com a infiltração das águas de chuva

6.3 Tratamento de Chorume

Os aterros de resíduos sólidos urbanos acumulam grandes volumes de materiais orgânicos e inorgânicos cuja decomposição gera um líquido denso rico em metais e substâncias orgânicas e inorgânicas que apresentam amplo potencial de contaminação ambiental, com destaque para as águas subterrâneas e superficiais.

Desta forma, estudar as formas de neutralização deste efluente ou mesmo de seu tratamento antes de seu lançamento final ou aproveitamento da água tratada é de extrema importância.

Várias técnicas são aplicadas ao tratamento de chorume, sendo que o maior problema associado é o custo de processamento por m³ de efluente tratado.

Atualmente, uma série de tecnologias tem sido utilizada para tratamento de chorume com o objetivo de alcançar valores para lançamento final em corpos hídricos. Os tratamentos podem ser por processos biológicos (lodo ativado, lagoas de estabilização aeróbicas e anaeróbicas e filtros biológicos); processos físico-químicos (flotação, coagulação /floculação, adsorção, precipitação química, injeção de ar, ajuste de pH, oxidação química, troca iônica e tratamento eletroquímico); tratamentos oxidativos avançados (processo Fenton e ozonização) e sistemas naturais (*wetlands* construídas) (Renou *et al.*, 2008 e Raghav *et al.*, 2013).

Para a escolha do método ideal de tratamento é necessário conhecer as características químicas do chorume, uma vez que estas se modificam com o tempo de produção do lixiviado de resíduos. A Figura 34 mostra um fluxograma que pode ser aplicada para escolha do melhor método de tratamento.

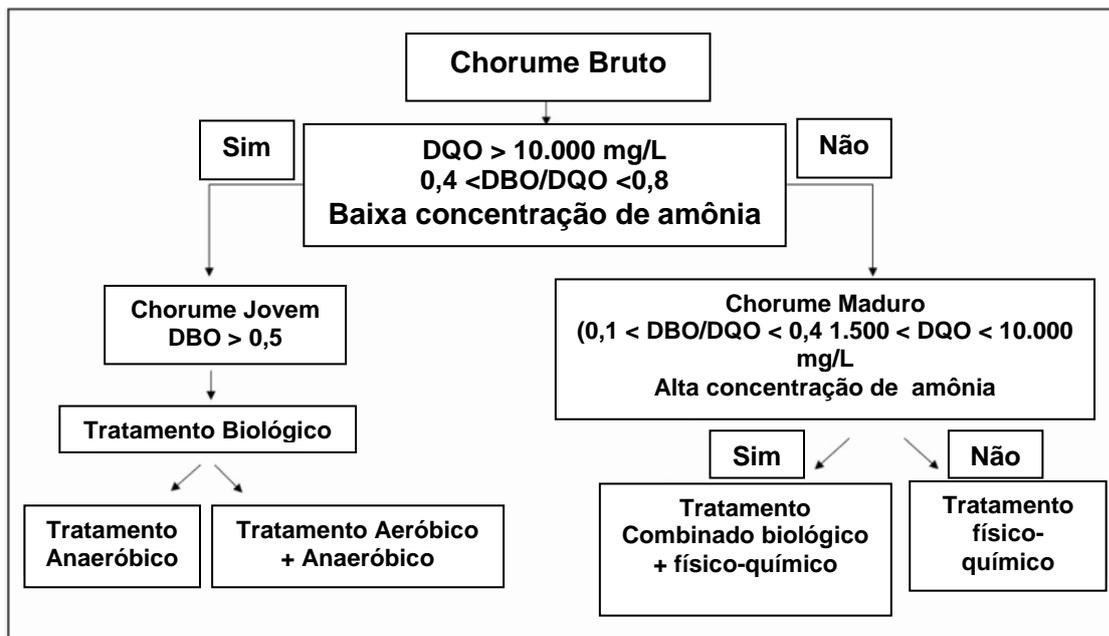


Figura 34 - Fluxograma com análise de parâmetros considerados para a seleção do método apropriado para tratamento de chorume. DBO - demanda bioquímica de oxigênio; DQO - demanda química de oxigênio (Forgie, 1988 e Renou *et al.*, 2008).

O tratamento de chorume por processos biológicos são os mais comuns e economicamente viáveis no Brasil, com elevada eficiência para remover matéria orgânica biodegradável. O tratamento é realizado com uso de sistemas de lagoas, filtros biológicos lodo ativados e *wetlands*. Este tipo de sistema de tratamento ainda continua sendo utilizado mesmo para chorumes antigos em que as opções de tratamentos físicos químicos ou por filtração poderiam ser mais adequadas (Tabela 7).

Tabela 7 - Principais métodos de tratamento de chorume e sua eficiência em função da idade do percolado de resíduos. A: boa eficiência; B: moderada eficiência e C: baixa eficiência (Abbas *et al.*, 2009).

Método de tratamento	Idade do Chorume		
	Jovem < 5 anos	Moderada 5 a 10 anos	Antigo > 10 anos
Tratamento combinado com esgoto doméstico	A	B	C
Processo Aeróbico	A	B	C
Processo Anaeróbico	A	B	C
Evaporação Natural	A	B	C
Coagulação / Flocculação	C	B	B
Precipitação Química	C	B	C
Adsorção de Carbono	C	B	A
Oxidação	C	B	B
Injeção de ar	C	B	B
Troca iônica	A	A	A
Microfiltração	C	-	-
Ultrafiltração	C	-	-
Nanofiltração	A	A	A
Osmose reversa	A	A	A

O processo de fitorremediação representa o tratamento com uso de plantas e microrganismos em um hábitat similar ao natural. Este tipo de processo quando viável (em função das características do chorume) pode representar uma excelente alternativa para tratamento, pois apresenta baixo custo, operação simples e viabilidade quando existir grandes áreas disponíveis. Em clima tropical esta alternativa ainda é favorecida pelas elevadas taxas de evaporação direta e de evapotranspiração.

A seguir são apresentadas de forma sucinta exemplos de técnicas experimentais aplicadas ao tratamento de efluentes de resíduos sólidos.

Oxidação Térmica

O princípio da técnica de oxidação térmica é aquecer o chorume em um reator utilizando gás butano como fonte de energia. Um reator experimental proposto por Massai & Massai, (2005) é ilustrado na Figura 35. O resultado obtido é água condensada e lodo em pequenas proporções. O lodo resultante é totalmente inodoro com baixa taxa de contaminação e grande carga de matéria orgânica, podendo ser usado como fertilizante de solos. O custo é em média em torno de R\$ 160,00 por m³ de gás butano, levando em consideração um botijão de 13 Kg no valor de R\$ 60,00. Caso seja utilizado gás natural do próprio aterro este custo será nulo, havendo apenas o custo da instalação e manutenção do reator.

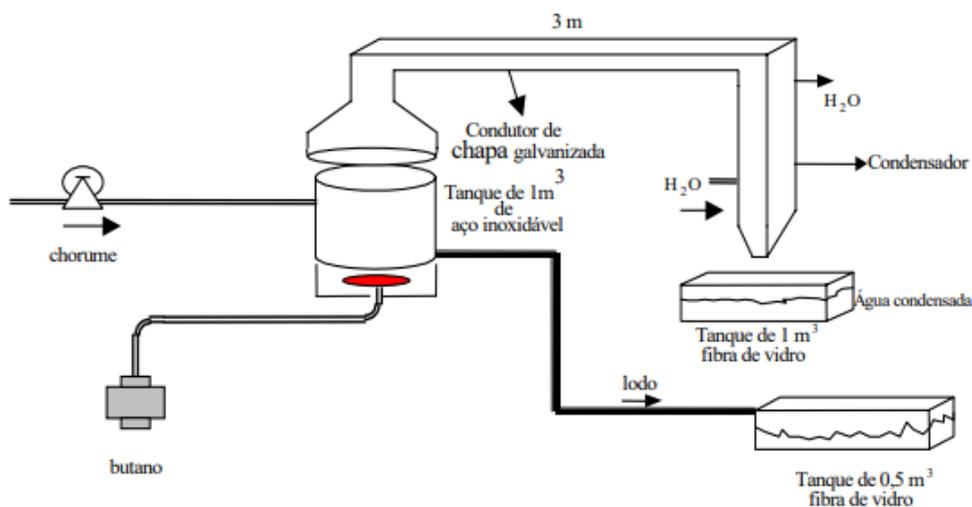


Figura 35 - Destilador apresentado contendo um tanque de aço inoxidável AISI-304 de 160 cm de altura e 90 cm de diâmetro de 30 Kg de peso, um condutor de chapa galvanizada de 300 x 0,4 x 0,2 cm, termômetro, chave, duas caixas de fibra de vidro de 0,5 e 1 m³, um queimador industrial e um botijão de gás butano (Massai & Massai, 2005).

Tratamento Biológico

Consiste na transformação química da matéria orgânica em elementos estáveis a partir do contato do chorume com uma cultura de microrganismos. Os principais processos utilizados são:

- Aeróbicos: onde a matéria orgânica e o nitrogênio amoniacal é oxidado na presença de oxigênio livre, produzindo CO₂, H₂O, NO₂ e NO₃.

- Anaeróbicos: que metabolizam a matéria orgânica na ausência de oxigênio.

Amaral (2009) propõe dois tipos de tratamentos com uso de reator de lodo ativado e lagoas de aeração.

Este sistema de tratamento objetiva a estabilização da carga iônica presente no chorume.

O lodo proveniente do reator de lodo ativado ou de estação de tratamento de esgotos domésticos é injetado na lagoa aerada que é alimentada por uma bomba peristáltica com vazões variáveis em função do volume de chorume adicionado. A lagoa de decantação recebe continuamente o sobrenadante da lagoa de aeração. Ao atingir volumes elevados na lagoa de decantação, parte do sobrenadante é descartada. Uma vez que esse processo não é significativo para a oxidação do nitrogênio amoniacal, o sobrenadante deve ser submetido a um tratamento físico-químico com adição de sais de fósforo e magnésio com o intuito de formar estruvita, que é um mineral que pode ser usado como fertilizante.

Osmose Reversa

Baseia-se em um processo físico de separação de partículas presentes em uma solução. Ao aplicar uma pressão superior à pressão osmótica no chorume, as moléculas de água são forçadas a atravessar a membrana no sentido inverso ao da osmose natural. O chorume a ser tratado circula sobre a membrana osmótica, já o permeado fluirá perpendicularmente, atravessando a membrana e posteriormente circulando pela camada drenante em seu interior.

A desvantagem deste tipo de sistema é vinculada ao elevado custo das membranas que devem ser substituídas periodicamente. Dados da literatura mostram que este método é efetivo para tratamentos de diferentes tipos de chorume.

Wetland

Trata-se de um tratamento secundário do chorume, que tenha sido previamente tratado em sistemas biológicos aeróbios. A remoção da matéria orgânica e dos nutrientes dentro de um filtro *wetland* se deve ao uso de macrófitas aquáticas. Estas espécies absorvem material orgânico, nutrientes e metais pesados, além de apresentar uma relativa resistência a salinidade elevadas o que é uma das características do chorume de aterros sanitários, principalmente quando o chorume é recirculado. As raízes e rizomas das plantas excretam substância de ações biológicas, como também promovem a transferência de oxigênio do ar atmosférico para o substrato.

Em *wetlands* *construídos* o sistema é artificialmente estabelecido com diferentes tecnologias incluindo plantas aquáticas em diferentes substratos tais como: areia, cascalho, brita ou outro material inerte. Nessas condições, o *wetland* reproduz a atuação da natureza e trata o chorume através de processos físicos, químicos e biológicos (Figura 36).



Figura 36 - Sistema de *Wetland* na Mina de Águas Claras, MG (Vale, 2018).

6.4 Gases do Efeito Estufa

O gás produzido pela decomposição de resíduos sólidos de aterros compõe uma mistura com diferentes componentes, contudo o metano e o dióxido de carbono são os mais abundantes. Além destes ainda ocorre vapor de água, gás sulfídrico, amônia que imprimem o mau cheiro característico destes voláteis.

O volume de gás produzido e sua composição dependem do tempo em que os resíduos foram acumulados, da compactação do maciço de resíduos, da umidade associada aos resíduos e da relação matéria orgânica / inorgânica nos resíduos.

Os aterros podem produzir gases desde o início de sua operação até décadas depois de encerrada a cumulação de resíduos na área.

A forma mais adequada para se minimizar a ação dos gases de efeito estufa produzidos em lixões e aterros é a partir da produção de energia elétrica em usinas térmicas (termelétricas a gás) ou em associação com fontes solares (em usinas heliotérmicas). Entretanto, o investimento para instalação destas usinas é muito elevado e desta forma este tipo de aproveitamento é pouco aplicado no Brasil.

Assim, para se evitar a liberação dos gases diretamente para a atmosfera faz-se a queima destes produtos nas saídas dos drenos que são edificadas durante as fases de acumulação e compactação dos resíduos. Mesmo não sendo a forma mais adequada a queima direta possibilita diminuição do impacto, uma vez que transforma o gás metano e dióxido de carbono que é menos nocivo ao efeito de aquecimento global. Ademais, outros gases são degradados, sendo inclusive produzido vapor de água neste processo.

Um problema recorrente a respeito da caracterização dos gases emitidos pelos lixões é relativo aos poços para drenagem destas substâncias. De forma geral, se utiliza os drenos que são instalados durante a acumulação dos resíduos (na fase ativa do aterro ou lixão). Entretanto,

o ideal é a instalação de sistemas dedicados exclusivamente a este tipo de monitoramento e amostragem. Quando o sistema não é instalado de forma adequada pode haver perda de gases nas áreas adjacentes aos drenos, por falta de impermeabilização adequada.

A Figura 37 mostra ilustração esquemática contendo todo o aparato técnico que deve estar presente em um sistema de monitoramento e extração de gases de aterros sanitários. O sistema deve ter pelo menos dois sistema de isolamento com bentonita para evitar vazamentos.

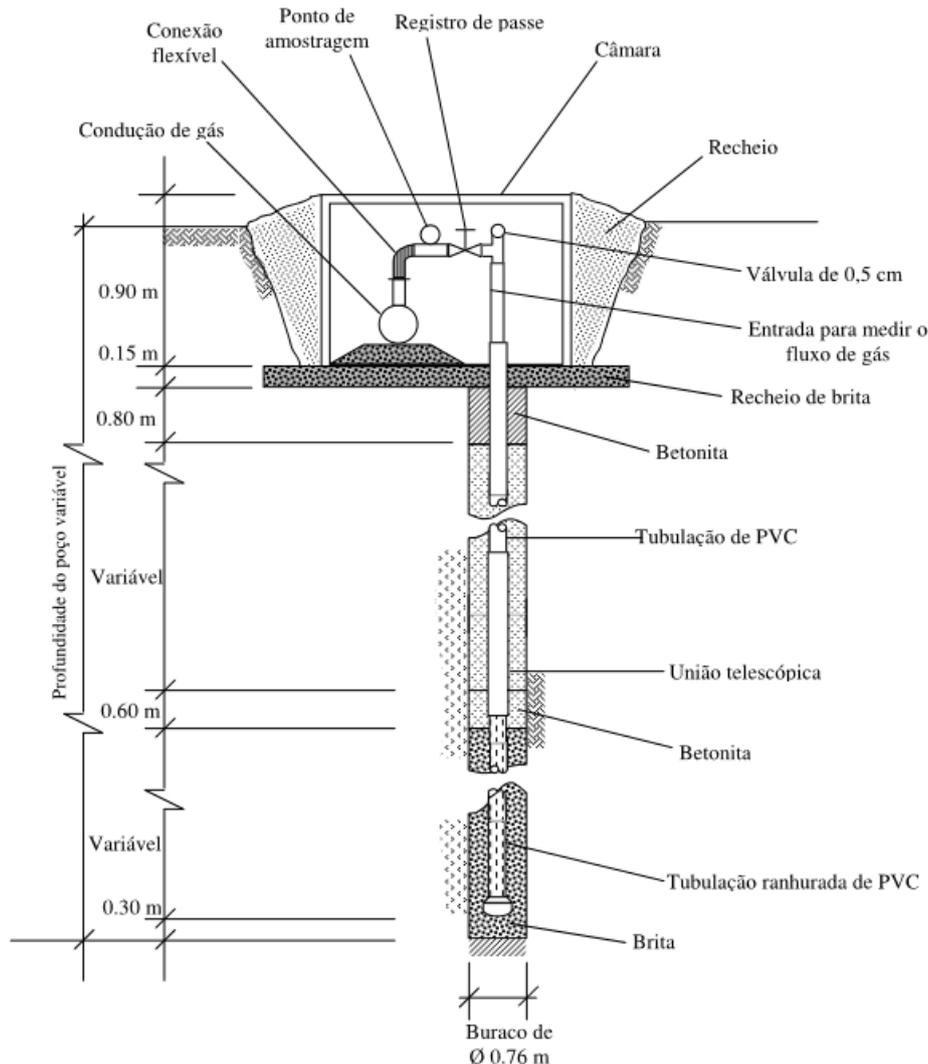


Figura 37 - Detalhe representativo de uma chaminé para a extração do gás de aterro (fonte: Tchobanoglous *et al.* (1994).

7. DESENHO DOS EXPERIMENTOS E LOCALIZAÇÃO DE PONTOS AMOSTRAIS

De acordo com o Contrato Nº 101/2019 e respectivo Termo de Referência, o presente documento deve contemplar referências específicas a um conjunto de itens, os quais são enumerados de forma específica a seguir. Caso alguns dos itens não estejam contemplados, as respectivas justificativas são apresentadas.

Atividade 1: Elaborar Estado da Arte sobre a ocupação do Lixão da Estrutural.

Item contemplado no corpo do documento (item 1.2 que traz de forma sintética o histórico de ocupação da área do Lixão).

Atividade 2: Estruturar banco de dados espaciais com os dados ambientais disponíveis (geológicos, geofísicos e hidrogeológicos), em conformidade com o modelo conceitual e de entidades e relacionamentos aprovado previamente. Ainda não existem dados cartográficos primários. Todos os dados georreferenciados a serem gerados serão organizados conforme exigência do Termo de Referência e com os respectivos metadados especificados para cada plano de informação.

Atividade 3: Utilizar banco de imagens de satélite disponíveis na Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE-DF). Para escolha das linhas em que serão realizadas as seções geofísicas e para definição das áreas para implantação de experimentos de fitorremediação e estabilização de metais no solo foram utilizadas imagens do histórico disponível no sistema *Google Earth*. Algumas destas imagens foram utilizadas nas etapas de definição dos desenhos experimentais apresentados no presente texto.

Atividade 4:

i) Mapear a rede de amostragem de água superficial de acordo com uso e ocupação, tipos de solo, histórico indicado por moradores circunvizinhos, de percolados superficiais, rede de drenagem, limites do lixão, área de influência e unidades de conservação em conformidade do modelo conceitual e de entidades e relacionamentos aprovados previamente. Para a caracterização da rede de pontos para monitoramento da qualidade das águas superficiais serão utilizados os pontos propostos pelo Projeto Finatec / CEB. Os demais aspectos estão devidamente contemplados na parte inicial deste documento.

ii) Mapear a rede de amostragem de água subterrânea e monitoramento do nível freático na área do projeto. Na área existem 10 poços recém-instalados pelo projeto Finatec/CEB, além de um poço de monitoramento da rede da Agência Distrital de Águas, Saneamento e Energia - ADASA. As coordenadas UTM do poço da ADASA são: 820.833,40 mE e 8.254.469,12 mS zona 22L. As coordenadas dos poços existentes não foram disponibilizadas até o momento.

iii) Definir os locais de construção dos poços de monitoramento e bombeamento, de acordo com tipos de aquíferos, uso e ocupação. Pontos posicionados na imagem da Figura 38.

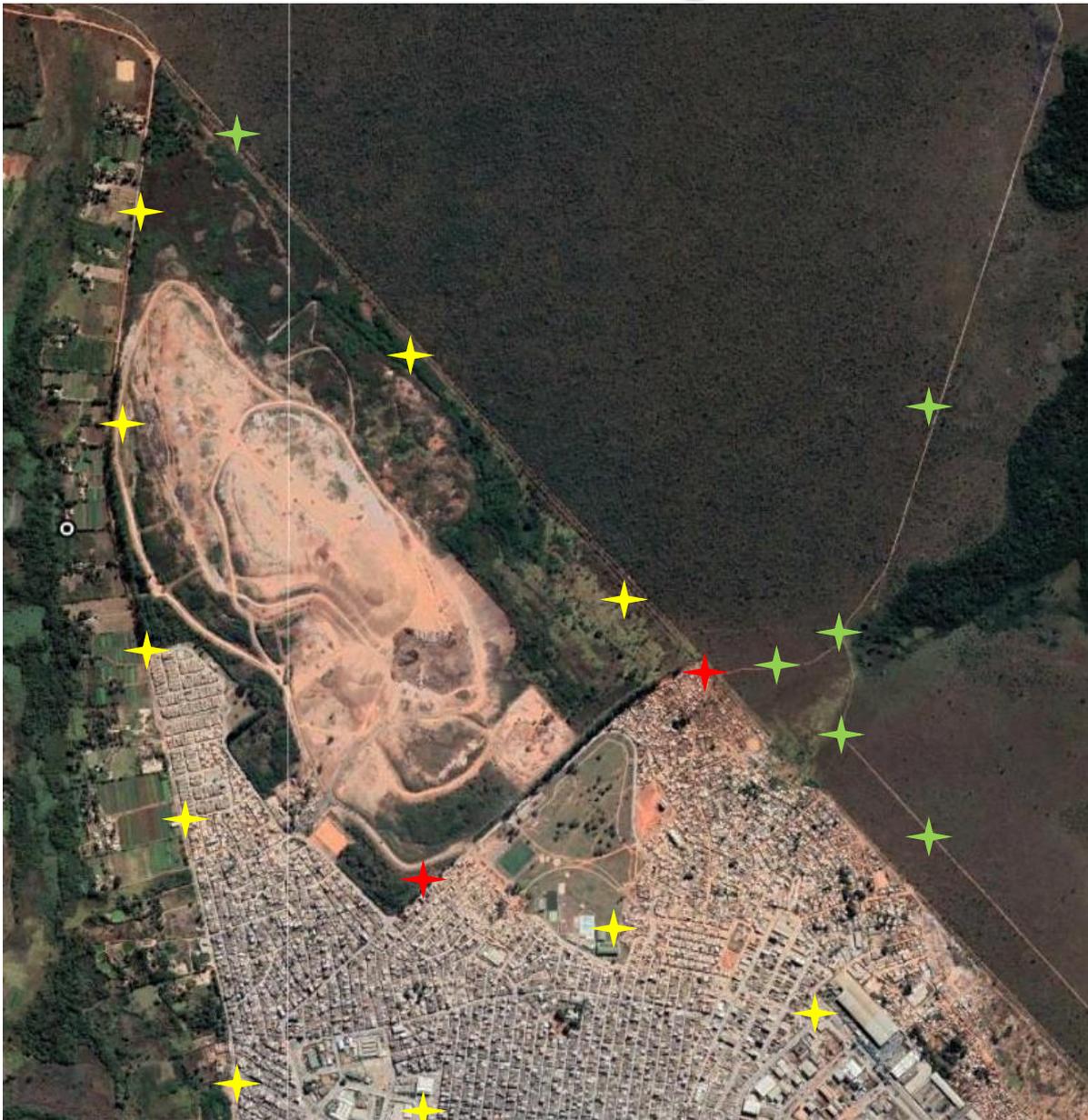


Figura 38 - Localização dos poços de monitoramento a serem instalados. Os poços destacados em vermelho deverão ter 80 metros de profundidade e os demais até 30 metros. Os poços destacados em verde estão situados no interior do Parque Nacional e Brasília. Os pontos escolhidos estão em áreas públicas ou em faixas de domínio de vias de acesso. Cinco poços estão locados no interior do Parna de Brasília. No interior da poligonal da URE já existem 10 poços construídos pelo projeto Finatec/CEB.

iv) Definir a rede de amostragem de solo na área de influência do projeto. Para a determinação das áreas de solos afetadas por contaminação serão integrados resultados de diferentes tipos de observações: amostragem de solos a diferentes profundidades para determinações quantitativas dos metais presentes (Figura 39); avaliação de locais com acúmulo de resíduos (mesmo em áreas externas ao lixão), locais com percolação de efluentes das ocupações irregulares, locais com modificação das feições pedogenéticas naturais (incluindo mudança de cor por aumento do conteúdo de matéria orgânica) e quaisquer outros locais com mudança dos perfis naturais dos solos que tenham potencial de contaminação (ex.: aterros com escombros de obras).

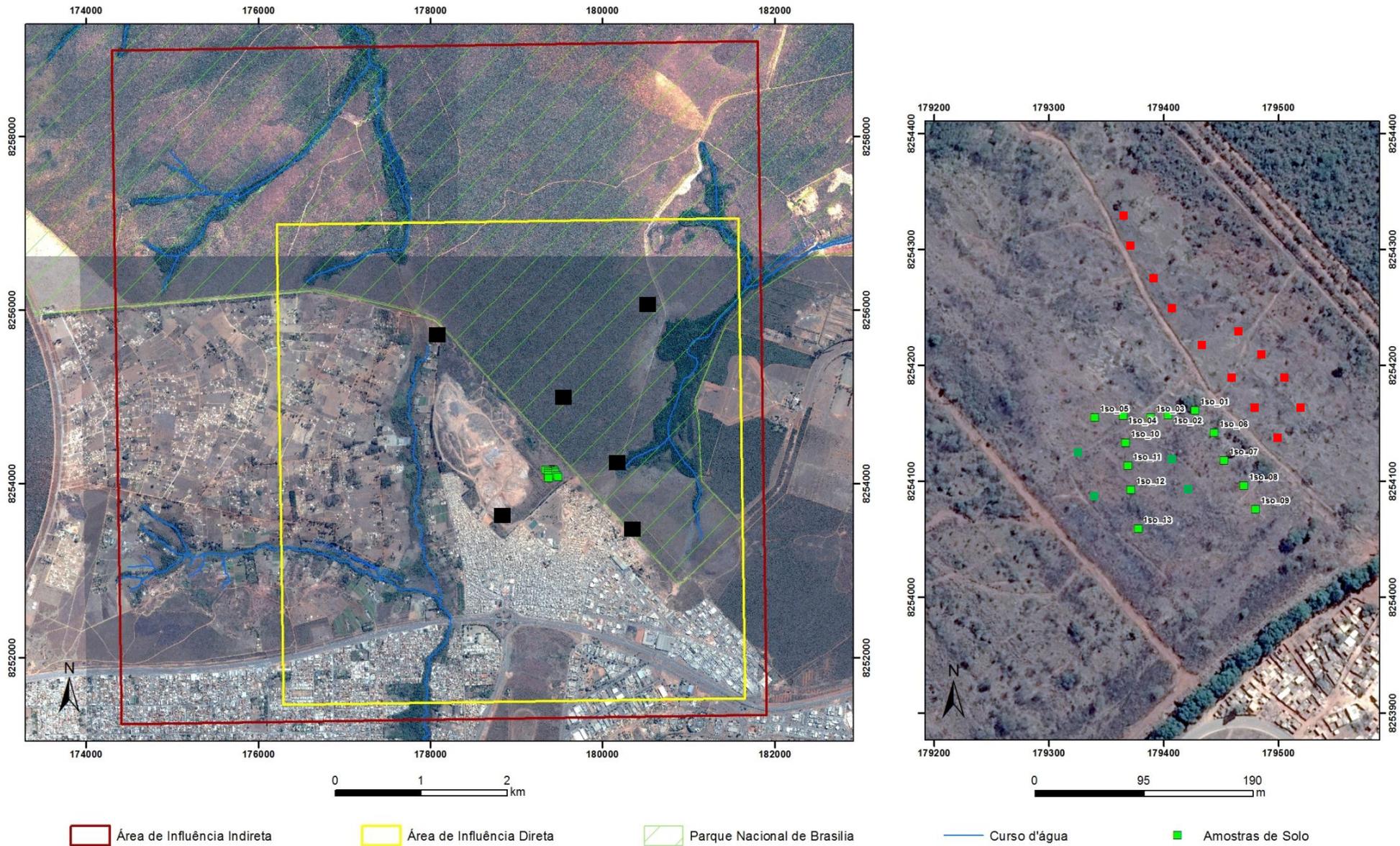


Figura 39 - Mapa-imagem com a localização dos pontos de amostragem de solos. Na imagem de situação, os marcos em preto indicam amostras para determinação dos limites da área contaminada. Na imagem de detalhe: os marcos em verde indicam amostras na área do experimento de estabilização de metais no solo e os marcos em vermelho são amostras nas áreas dos experimentos de fitorremediação.

Durante a execução das amostragens e avaliação dos resultados analíticos, caso seja considerado necessário novas amostras de solos serão obtidas para se ampliar a assertividade dos limites das áreas de solos contaminados. Neste caso as análises adicionais poderão ser realizadas no laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília para não atrasar o andamento do projeto.

v) Definir a rede de caracterização de emissões de gases de efeito estufa e de resíduos sólidos na área de influência do projeto. Para a determinação das emissões de gases de efeito estufa serão utilizados os dados primários produzidos pelo projeto Finatec / CEB.

Atividade 5: Apresentar os locais de execução dos perfis geofísicos de tomografia elétrica nas áreas internas e externas do lixão da estrutural, em conformidade com seu enquadramento no modelo conceitual, de entidades, relacionamentos e atributos. Neste caso, apresentar a metodologia de interpolação dos pontos, tamanho dos grids de saídas, nível altimétrico basal de referência e demais metadados respectivos.

As seções previstas estão localizadas na imagem da Figura 40.

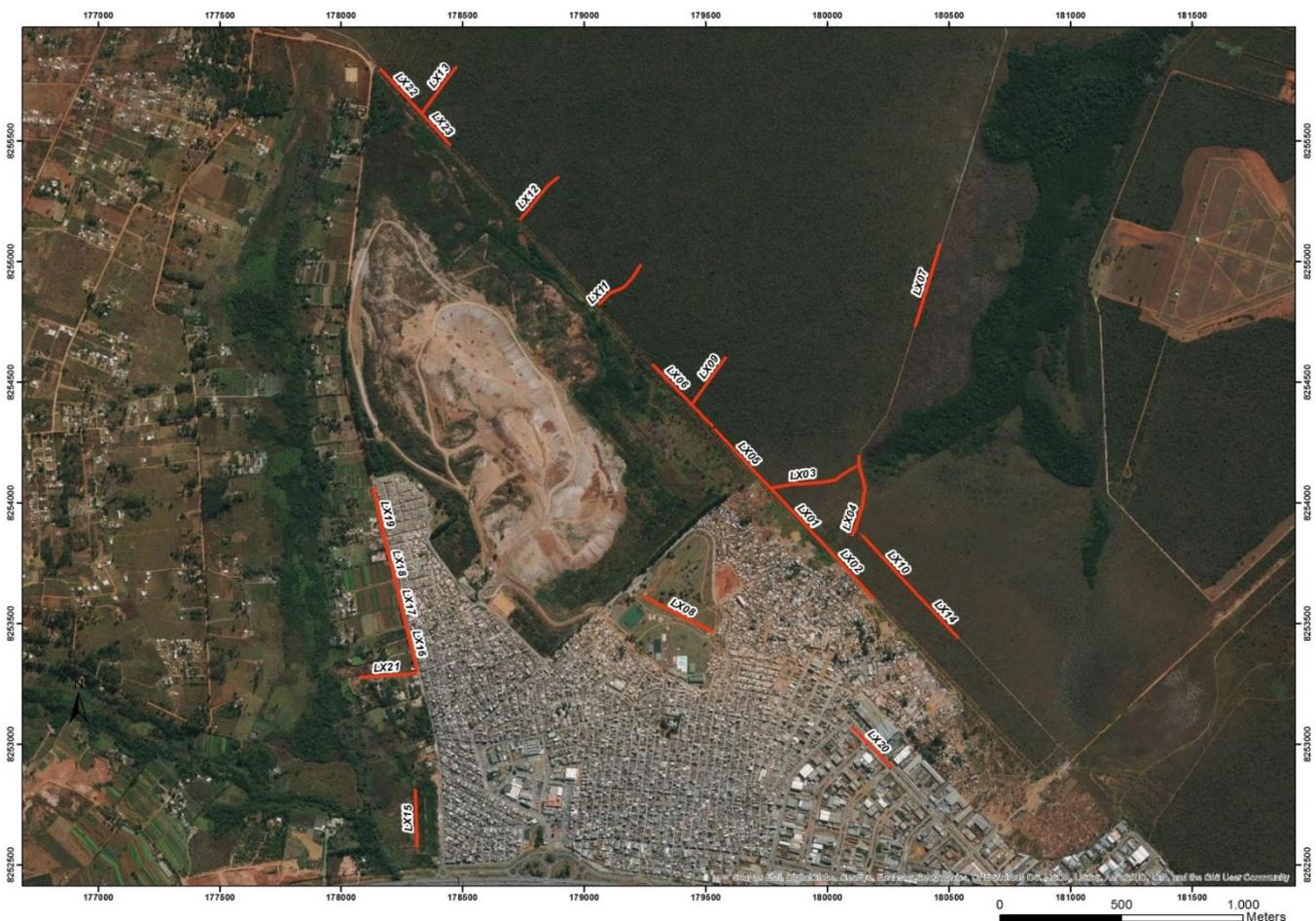


Figura 40 - Imagem mostrando a localização das seções geofísicas propostas. Outras seções podem ser inseridas caso se avalie a necessidade para melhor delimitação da pluma de contaminação.

Para o mapeamento da pluma serão utilizados dados geofísicos existentes, dados de sondagens prévias, além dos dados gerados neste projeto. Devido a baixa densidade de dados

e a sua distribuição irregular a interpolação será feita de forma supervisionada por especialista, após determinadas as faixas de resistividades representativas de chorume concentrado ou diluído.

Atividade 6: Definir o protocolo de amostragem de água subterrânea, parâmetros inorgânicos e parâmetros orgânicos a serem analisados, em conformidade com seu enquadramento no modelo conceitual, de entidades, relacionamentos e atributos.

Protocolo de Coleta de Amostras de Água Subterrânea

Com o objetivo de definir a técnica de coleta de água subterrânea para poços de monitoramento na região do antigo lixão e áreas do entorno, segue um protocolo técnico específico para essa atividade.

O objetivo principal dessa atividade é a realização de campanhas de coleta de água subterrânea em diversos poços da região do DF com o intuito de se obter dados de cátions, ânions, demais substâncias além dos parâmetros físico-químicos para caracterização hidroquímica. Para tanto, os dados coletados serão plotados em diagramas de Piper e Stiff para sua interpretação hidroquímica.

Para o estudo hidroquímico será utilizado o amostrador do tipo *bailer* uma vez que os poços terão ampla seção dentro da zona saturada e sua renovação será rápida com uma taxa de recarga maior que 5 minutos por *bailer* retirado (os poços deverão ter duas seções filtrantes a distintas profundidades). Em princípio não serão utilizadas bombas submersíveis.

Para a medição dos parâmetros físico-químicos em campo serão utilizados instrumentos de múltipla função. Os parâmetros a serem medidos serão: Temperatura, pH, condutividade elétrica e potencial de oxidação e redução (ORP ou Eh). Todos os equipamentos deverão ser calibrados diariamente antes das atividades de campo.

Os coletores de água deverão ser treinados e devem utilizar luva latex durante as operações de amostragem. A vidraria previamente limpa em banho ácido deverá ser utilizada para a coleta de dados físico-químicos. Água deionizada ou destilada deverá ser utilizada na limpeza dos equipamentos de medição de parâmetros de campo e vidraria antes da medida em cada poço.

Os frascos de coleta devidamente limpos em banho ácido deverão conter a solução preservante ácida (HNO_3 concentrado e 50% diluído em água deionizada) para o caso da coleta de cátions. Amostras que apresentem turbidez acima de 10 NTU deverão ser filtradas, com filtro de membrana de nylon e de 0,45 micrômetros, antes da coleta ser realizada nos frascos (ou seja, antes da acidificação). Os parâmetros de ânions deverão somente ser coletados em frascos limpos e mantidos em ambiente refrigerado até o momento da análise.

Os frascos deverão ser identificados em campo em função dos pontos de coleta. A planilha de campo deverá conter espaço para coleta de todos os parâmetros físico químicos de campo (T, pH, Eh, e Condutividade Elétrica) e deverá ser utilizada e preenchida ainda em campo.

Na planilha deverá constar a técnica utilizada para coleta, incluindo volume de purga, limpeza de *bailer*, característica geral da água.

Os parâmetros físicos químicos de: condutividade elétrica, pH e temperatura devem ser medidos imediatamente depois da retirada da amostra do poço. Quando estes parâmetros se estabilizarem (ou seja, apresentarem medidas seguidas com variações menores que 5%), a água dos poços pode ser coletada.

O nível d'água deve ser medido antes e depois da purga e para os casos em que o nível não retorne em no máximo 10 minutos (após 10 litros de purga) o poço não deverá ser amostrado (estes poços não fornecem dados representativos da formação geológica ou do fluxo de água contaminada).

O volume de amostras a ser coletado para as duas classes de parâmetros (cátions e ânions) deverá ser de no mínimo 500 mL a 1000 mL.

Dez por cento (10%) das amostras coletadas deverão ser amostras em branco (água deionizada preservada da mesma forma que as amostras normais e enviada ao laboratório para análise) e amostras em duplicata (amostra coletada em um mesmo ponto de uma amostra anterior). Essas amostras serão identificadas da mesma forma das outras amostras, de forma que o laboratório onde serão realizadas as análises não possa identificá-las.

O tempo de validade das amostras de ânions (devido a presença de bicarbonato) após a coleta é de 24 horas. Já o tempo de expiração das amostras de cátions é de 6 meses. Desta forma, recomenda-se que as amostras sejam analisadas dentro do seu prazo de validade. A análise das amostras em um tempo maior do que 24 horas após a coleta (principalmente no caso dos ânions) deverá ser reportada pelo laboratório.

Atividade 7: Mapear os locais de construção dos poços onde serão descritos e amostrados para envio ao laboratório, em conformidade com seu enquadramento no modelo conceitual, de entidades, relacionamentos e atributos.

Os poços estão localizados na imagem da Figura 38. Estas estruturas hidráulicas serão utilizadas para o monitoramento quantitativo das águas subterrâneas, para monitoramento do nível freático e para a confecção do mapa potenciométrico e de rede de fluxo. Os cálculos de gradiente para determinação da velocidade linear média do fluxo subterrâneo também serão obtidos a partir dos dados potenciométricos e de cota de boca dos poços.

Atividade 8: Definir o protocolo de amostragem do solo e parâmetros físico-químicos a serem analisados, assim como os parâmetros de interpolação para geração dos mapas de superfície contínua dos parâmetros mapeados em campo, em conformidade com seu enquadramento no modelo conceitual, de entidades, relacionamentos e atributos.

As amostras de solo serão obtidas com auxílio de escavadeira articulada e trado de 4 polegadas. Antes da retirada a amostra a vegetação de cobertura deve ser retirada.

Dois tipos de amostras de solos serão coletadas nos diferentes experimentos: i) para o estudo de estabilização dos metais no solo serão obtidas amostras em duas profundidades entre 0 e 20 cm e entre 40 e 60 cm; ii) para o estudo de fitorremediação uma amostra composta de 0 a 40 cm será obtida nas adjacências das áreas plantadas ou das espécies amostradas (para o caso de vegetação existente nas áreas afetadas pela contaminação dos solos).

Para todo o conjunto de amostras serão avaliados os seguintes metais: chumbo, zinco, cádmio, mercúrio, cobre, arsênio, ferro e alumínio. Para amostras selecionadas serão avaliados parâmetros pedológicos incluindo: pH em água e KCl, sódio, potássio, cálcio, magnésio, e valor V (com a determinação do eutrofismo/distrofismo e acidez).

Atividade 9: Mapear os locais de construção dos poços onde serão monitorados/analísados in situ as emissões de gases de efeito estufa, em conformidade com seu enquadramento no modelo conceitual, de entidades, relacionamentos e atributos.

Para esta etapa serão utilizados dados provenientes do projeto Finatec/CEB. Os dados serão tratados de forma qualitativa, em associação com as direções de propagação dos ventos e tipos de gases produzidos.

Atividade 10: Mapear os locais de amostragem dos resíduos sólidos para realização de análise gravimétrica ex situ, em conformidade com seu enquadramento no modelo conceitual, de entidades e relacionamentos.

Os pontos para amostragens *ex situ* dos resíduos para as análises de caracterização gravimétrica e descrição dos rejeitos estão apresentados na Figura 41.

A escolha destes pontos considerou os seguintes critérios: facilidade de acesso da máquina retroescavadeira (que deverá decapear a área e retirar as amostras), restrito risco de acidentes de deslizamento do terreno (por estarem situadas em áreas aplainadas na porção elevada do aterro), restrito risco de explosões (por estarem próximas aos drenos de gases) e por possibilitarem a amostragem de diferentes áreas de deposição de resíduos com diferentes idades.

Atividade 11: Apresentar e implantar um conjunto de soluções de fitorremediação exitosas e técnicas de sucesso utilizadas em situações similares para a descontaminação com a utilização de espécies nativas e espécies exóticas (neste caso apresentar os riscos associados).

As técnicas descritas de forma genérica como fitorremediação são relativamente recentes e os estudos publicados são, de forma geral, descrições de experimentos em casa de vegetação ou em plantios de pequenas parcelas. A maior parte dos artigos encontrados se refere aos conceitos e não propriamente à resultados práticos do uso de plantas na remoção de metais de

solos contaminados. A seguir são apresentados resultados de estudos selecionados na literatura.



Figura 41 - Pontos para amostragem de resíduos para análises gravimétricas e de caracterização.

Barros, (2007) realizou estudos sobre o potencial do bambu da espécie *Guadua angustifolia* Kunz. para a fitorremediação de zinco e cádmio. Os estudos foram realizados com base em plantio em casa de vegetação e mostraram a eficiência desta espécie na fitoacumulação destes metais.

Nalon, (2008) desenvolveu pesquisa considerando plantas de diferentes espécies de eucalipto existentes (*E. grandis*, *C. citriodora* e *E. saligna*) e cultivares de mesmas espécies para mostrar que o eucalipto é excelente para a fitorremediação de solos contaminados por chumbo. A concentração de chumbo nas plantas foi maior nas raízes, demonstrando que o chumbo foi pouco translocado para a parte aérea.

Cruvinel (2009) avaliou o potencial de fitorremediação de duas espécies de gramíneas: *Brassica juncea* e *Brachiaria decumbens*. O principal resultado indica que nenhuma das duas espécies se mostrou boas acumuladoras para o cádmio e as duas espécies apresentaram resultados satisfatórios para remoção de zinco, cromo, níquel e chumbo.

Araujo *et al.*, (2011) estudaram a aplicabilidade da gramínea braquiária na retenção de arsênio e concluíram que a *Brachiaria decumbens Stapf.* é uma espécie que pode ser utilizada em programas de recuperação/revegetação de áreas degradadas e contaminadas com arsênio.

Quege, (2011) e Quege *et al.*, (2013) desenvolveram trabalho experimental com aplicação de plantas de bambu para o tratamento de esgoto sanitário pelo sistema zona de raízes. Os resultados mostraram que a espécie *Guadua Angustifolia* apresentou as maiores eficiências na depuração de diferentes parâmetros do efluente doméstico.

Silva, (2012) realizou estudo para avaliação de espécies adequadas para as práticas de fitorremediação. As espécies que se mostraram eficientes foram: *Vismia guianensis* (Lacre Vermelho), *Vismia japurensis* (Lacre), *Annona exsucca* (Envireira), *Alibertia edulis* (Purui), *Poaceae* (Capim Colonião), *Lantana camara* (Chumbinho) e *Diffenbachia picta Schott.* (Aninga do Pará)

Martinez *et al.* (2013) aplicaram testes de fitorremediação com uso de gramíneas das famílias da brachiária e mostarda da Índia. Dentre os principais resultados afirmam que a mostarda da Índia se mostrou melhor na remoção de cromo (37%), chumbo (39%) e níquel (68%), enquanto o capim braquiária removeu melhor os metais chumbo (40%), cromo (62%) e níquel (88%). Ambas as espécies se mostraram como boas opções para fitorremediação de solos contaminados com metais pesados.

Kede, (2014) realizou pesquisa em casa de vegetação em que foi associado o uso de fosfatos com espécies vegetais visando à fitorremediação de solos contaminados por metais tóxicos na região de Santo Amaro (BA). Os resultados foram promissores, principalmente quando os fosfatos solúveis eram associados às espécies vegetais escolhidas.

Martins, (2015) fitorremediação de solo oriundo de área industrial multicontaminado com metais pesados e hidrocarbonetos do petróleo por girassol.

Franchi *et al.*, (2017) desenvolvem um trabalho com de plantio de *Brassica juncea* e *Lupinus albus* visando à determinação do potencial de fitorremediação para solos contaminados com arsênio e mercúrio. Adicionalmente foi adicionado fertilizante na forma de tiosulfato de amônia e culturas de bactérias resistentes aos metais. Os resultados mostram que o potencial de fitoextração das espécies de plantas utilizadas em associação do com tiosulfato e as bactérias é ampliado de forma significativa.

Bonfim, (2018) utilizou a espécie *Crotália Juncea* em estudo de fitorremediação de metais pesados nas adjacências de uma rodovia no estado do Rio de Janeiro. A espécie utilizada apresentou boa adaptação e resistência na presença de diferentes metais, incluindo: Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, V e Zn. Também se mostrou boa fitoextratora para Sr e boa fitoestabilizadora para Cu, Mn e Zn.

Alaboudi *et al.*, (2018) apresentam um estudo experimental com cultivo em vasos do girassol em solos previamente contaminados por chumbo e cádmio com diferentes concentrações (0, 10, 20, 40, 80, 100 e 200 mg/kg de solo). Os resultados mostram que o girassol

apresenta potencial para acumulação de chumbo e cádmio, sendo mais favorável à retenção de cádmio que de chumbo. Os autores ainda concluem que mais estudos são necessários para se avaliar o potencial do girassol para fitorremediação de solos contaminados.

Desenho Experimental do Piloto a ser Desenvolvido na Área do Lixão da Estrutural

Duas ações simultâneas relativas à fitorremediação serão desenvolvidas na área em estudo: i) plantio de espécies exóticas de ciclo curto e de espécies arbóreas e arbustivas nativas e exóticas e ii) amostragem de espécies arbustivas nativas e exóticas existentes nas áreas próximas ao aterro (em que ocorrem solos contaminados por metais).

A Figura 42 mostra as áreas escolhidas para a realização dos experimentos de plantios. A amostragem dos solos e plantas existentes será realizada nas adjacências nordeste e oeste do lixão.

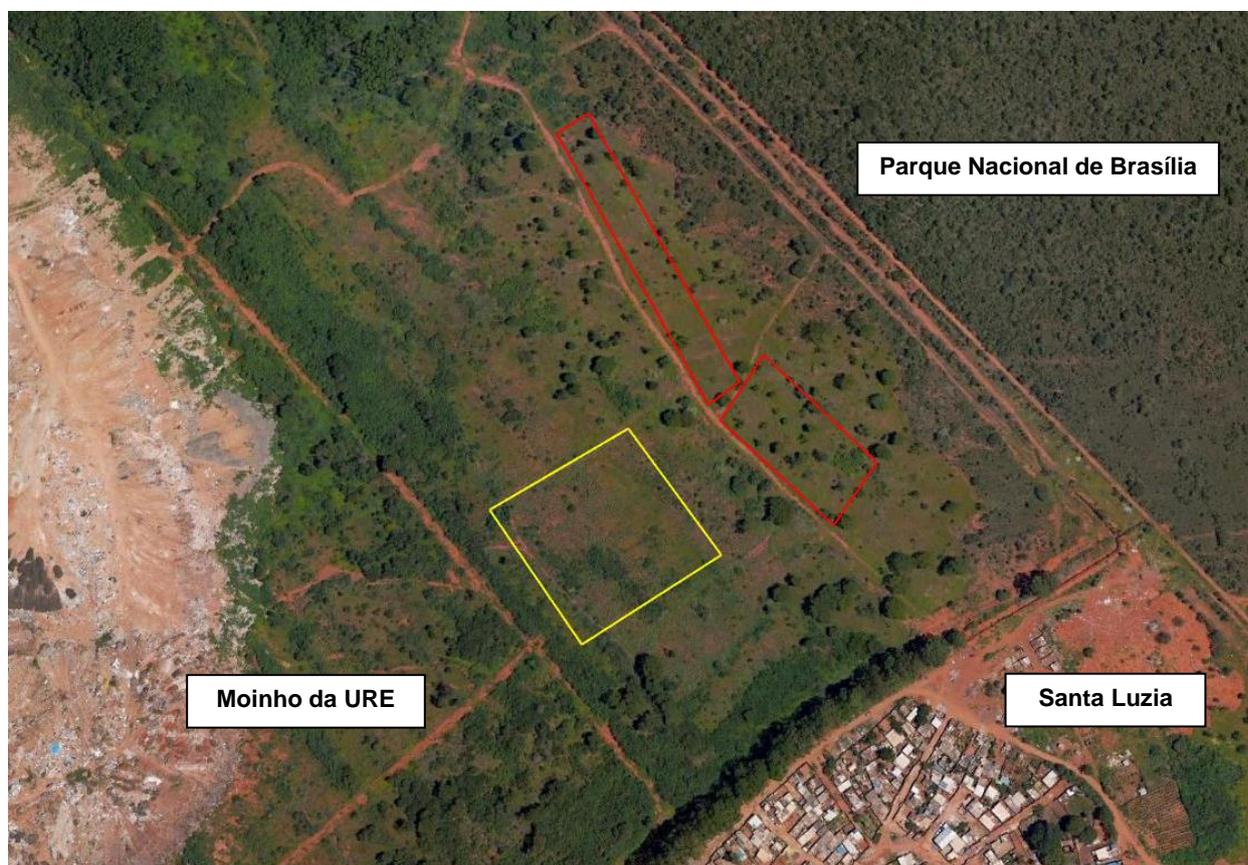


Figura 42 - Localização dos experimentos de estabilização de metais no solo (área destacada em amarelo) e fitorremediação (áreas destacadas em vermelho - espécies exóticas ao sul e espécies arbóreas ao norte).

Na área a sul equivalente a 0,5 hectare (100 x 50 metros) será realizado o tratamento tradicional de calagem do solo com pó de dolomito e plantado dois tipos de sementes com uso de NPK. Em função da verificação de resultados reportados na literatura e em função da disponibilidade de sementes no mercado local e no entorno do DF foram escolhidas as culturas de **girassol** e **sorgo**. O plantio deverá ser em sulcos em parcelas de 25 x 50 metros, compondo

2 grandes parcelas das quais serão obtidas amostras nos solos e da vegetação após desenvolvimento de cada cultura.

Análises de metais nos solos serão realizadas antes do plantio e depois que as plantas atingirem seu estado adulto. Duas amostras de solos por parcela estão previstas.

Análises da massa vegetal deverão ser realizadas após as plantas atingirem seu estado maduro (fim do ciclo vegetal). Serão analisadas as mesmas espécies de metais em todas as matrizes (solos e massa vegetal).

Na outra parcela, também equivalente a 0,5 hectare (200 x 25 metros) serão plantadas as espécies arbustivas e arbóreas nativas e exóticas. A escolha das espécies nativas será condicionada à disponibilidade no mercado local, no entanto, pelo menos 10 espécies, com no mínimo 20 exemplares de cada espécie serão testadas. O **eucalipto** deverá ser uma das espécies a ser plantada em baixa densidade, em função de seu rápido desenvolvimento e dos resultados promissores relatados na literatura. Espécies de **bambu** serão plantadas na área oposta (extremo noroeste da área do lixão) em função de seu potencial de espalhamento e proximidade com o Parque Nacional de Brasília.

Na lista de espécies nativas consideradas para o plantio serão priorizadas: mamacadela, ipê roxo, angico, pata de vaca, jatobá, federgoso, mulungu, copaíba, cedro e baru. O plantio deverá ser em linha com intercalação de espécies com distanciamento de 2,5 metros entre plantas e 2,5 metros entre as linhas. O berço para inserção das mudas deverá ser cilíndrico, com 100 mm de diâmetros e pelo menos 60 cm de profundidade.

No pedido de aquisição junto ao viveiro que deverá fornecer as mudas para plantio estão previstas 400 mudas de espécies nativas do cerrado e 100 mudas de eucalipto. As espécies deverão estar em condição de plantio, isto é, ter tempo e desenvolvimento compatível com a mudança de ambientes do viveiro para o terreno natural.

Paralelamente ao plantio nestas duas parcelas, serão utilizadas plantas adultas existentes nas adjacências do lixão, incluindo espécies nativas do cerrado e espécies exóticas pioneiras. A coleta deverá ser realizada em 4 espécimes de cada espécie escolhida. As mesmas espécies coletadas nas adjacências do lixão deverão ser obtidas em áreas afastadas (preferencialmente em unidades de conservação ambiental como o Jardim Botânico, e Estação Ecológica de Águas Emendadas), além de áreas urbanas sem a presença de resíduos sólidos.

Dentre as espécies nativas escolhidas incluem: **faveira, angico, volquizea e pequi** e dentre as espécies exóticas foram escolhidas o **eucalipto, margaridão, mamona e leucena**.

As Figuras 43 a 50 ilustram as ações preliminares desenvolvidas em campo.



Figura 43 - Preparação da terra para o plantio de espécies nativas e exóticas com aragem e gradeamento em sítio antes utilizado para acumulação de resíduos sólidos, indicando moderado grau de contaminação do solo por metais.



Figura 44 - Distribuição de pó de rocha dolomítica (calagem do solo) para regulação do pH e melhor desenvolvimento do plantio.



Figura 45 - Abertura das covas para plantio de mudas de espécies nativas e eucalipto (espécie exótica), que serão testadas para efeitos de fitorremediação.



Figura 46 - Plantio de muda de baru que é uma das espécies dentre outras nove que foi escolhida para o teste de fitorremediação.



Figura 47 - Estágio inicial do sorgo que é uma das duas espécies escolhidas para o teste de fitorremediação (15 dias após o plantio).



Figura 48 - Girassol após 10 dias do plantio. Espécie também escolhida para teste de eficiência para fitorremediação de metais pesados em solo contaminado.



Figura 49 - Ação de irrigação manual e localizada de mudas de espécies arbóreas nativas, plantadas no dia 16 de março de 2020.



Figura 50 - Detalhe de planta recém-irrigada com cerca de 4 litros de água captada no córrego Cabeceira do Valo (porção oeste da área do Lixão).



Figura 51 - Girassol após 50 dias do plantio, mostrando excelente desenvolvimento em função da opção de manejo com uso de calagem e fertilização do solo.



Figura 52 – Desenvolvimento do sorgo após 50 dias do plantio.



Figura 53 - Ataque de formiga cortadeira em planta nativa no sítio escolhido para os testes de fitorremediação.



Figura 54 - Controle de pragas nas áreas plantadas, com uso de formicida aplicado com auxílio de polvilhadeira.



Figura 56 - Muda de eucalipto em pleno desenvolvimento na área teste de fitorremediação por espécie exótica. A escolha do eucalipto foi realizada, pois já existem trabalhos de mostram a eficiência desta espécie para fins de fitorremediação..



Figura 57 - Pequi que foi amostrado na área adjacente ao lixão para determinar a eficiência desta espécie nativa para fins de fitorremediação. Outras amostras foram obtidas na área do lixão e no campus Universitário Darcy Ribeiro (que apresenta o mesmo tipo de solo, geologia e relevo) para efeitos de comparação dos teores de metais.

Tratamento do Chorume

Os experimentos relativos à rotas de tratamento de chorume deverão ser desenvolvidos nas proximidades dos reservatórios de chorume situado na porção oeste do lixão. Como é uma área de acesso controlado e com vigilância permanente as caixas de águas e reservatórios serão mantidos em condições naturais sob-regime de chuvas e ataque da luz solar, de forma que os experimentos mantenhas as condições mais próximas de sua eventual aplicação em escala de tratamento real.

O local apresenta desnível no talude do reservatório maior, de forma que permite a instalação das caixas em série, possibilitando a drenagem dos efluentes por gravidade s cada etapa de tratamento.

8. TERMOS DE REFERÊNCIAS PARA CONTRATAÇÃO DE SERVIÇOS ESPECIALIZADOS

Na etapa inicial do projeto alguns serviços especializados deverão ser contratados incluindo o estudo geofísico para delimitação preliminar da pluma de contaminação, a construção dos poços de monitoramento e a contratação dos laboratórios para realização das análises químicas. A seguir são apresentados os termos de referência para cada uma destas contratações, os quais visam nortear a aquisição dos melhores serviços disponíveis no mercado.

8.1 TERMO DE REFERÊNCIA PARA CONTRATAÇÃO DO ESTUDO GEOFÍSICO

Do Objeto

O presente Termo de Referência se destina a atender às necessidades do Projeto “Elaboração de Diagnóstico de Contaminação e Proposta de Remediação do Antigo Lixão da Estrutural”, com relação a contratação de empresa para prestação de serviços na área de Geofísica Aplicada.

Detalhamento dos Serviços

Descrição dos serviços a ser prestados: os serviços a serem prestados compreendem aquisição de no mínimo vinte seções de tomografia elétrica, com aplicação do método de eletrorresistividade.

O arranjo dos eletrodos deve ser do tipo Dipolo-Dipolo, com distância entre os eletrodos de 10 metros. As análises pretendem determinar os locais de presença de chorume na zona saturada do aquífero freático local, nas adjacências de área de acumulação de resíduos sólidos (no Parque Nacional de Brasília e na região de chácaras no alto curso do córrego Cabeceira do Valo).

Os serviços prestados deverão ser realizados por equipe com experiência prévia em aquisição de dados geoeletricos com o arranjo proposto.

Em função do espaço disponível as seções poderão variar de: 360 metros, 240 metros, 180 metros e até 120 metros. A profundidade mínima de investigação deve ser de 40 metros.

As seções deverão ser entregues impressas e em formato digital compatível com o software 2ResInv, além dos dados brutos adquiridos em campo.

Do Pagamento

O pagamento será realizado, após a conclusão dos serviços, em um prazo de 10 (dez) dias após aprovação dos serviços realizados e apresentação da documentação de suporte do pagamento (Nota Fiscal e demais comprovantes legais).

Do Prazo e Local dos Serviços

O prazo de execução dos serviços será de 15 (quinze) dias após a assinatura do contrato.

Os locais de realização das seções geofísicas serão determinados pelos técnicos envolvidos no desenvolvimento do projeto, que as coordenadas de cada seção devem ser apresentadas pela equipe executora das atividades de campo (coordenadas UTM do início e do final de cada seção).

Obrigações da Contratada

A empresa a ser CONTRATADA assumirá as seguintes obrigações específicas, além daquelas estabelecidas no Contrato a ser firmado pelas partes:

Executar os serviços de acordo com as especificações e condições constantes neste Termo de Referência;

Manter, durante toda a execução do contrato, a mesma qualificação e capacidade técnica apresentada no ato da licitação, necessárias à perfeita execução dos serviços a serem contratados;

Trabalhar de forma unificada com a equipe de coordenação do Projeto de forma a garantir a perfeita execução dos trabalhos;

Reparar, corrigir ou substituir, às suas expensas, no total ou em parte, os serviços e/ou produtos em que se verificarem vícios, defeitos ou incorreções;

Fornecer por sua conta exclusiva, toda a mão de obra, material e equipamentos necessários à perfeita execução dos serviços contratados, responsabilizando-se por todas as despesas decorrentes desse fornecimento;

Prestar todos os esclarecimentos que forem solicitados pela CONTRATANTE, atendendo de imediato as reclamações;

Manter, durante toda a vigência do contrato, profissionais devidamente identificados no local dos serviços, com capacidade técnica compatível aos serviços a serem contratados, mediante sua supervisão direta, em número adequado à demanda, de modo a cumprir o prazo estabelecido para a perfeita execução dos serviços;

Executar os serviços em conformidade com a legislação e normas técnicas aplicáveis, respondendo, inteiramente, por quaisquer danos ocasionados pela má execução;

Garantir a limpeza do local durante a coleta das amostras e retirar, ao término dos serviços, todos os equipamentos, máquinas, ferramentas, sobra de materiais e entulhos, deixando o local totalmente limpo e com o mínimo de impacto possível;

Não ceder ou transferir, no todo ou em parte, a execução dos serviços ora contratados sem prévia e expressa autorização da CONTRATANTE;

Aceitar os acréscimos ou supressões que se fizerem necessários ao presente Contrato em até 25% (vinte e cinco por cento) do valor inicial pactuado;

Manter rigorosamente a gerência do contrato tomando todas as medidas necessárias para o controle e acompanhamento de sua execução;

Comunicar à Coordenação do Projeto, por escrito, quaisquer anormalidades que ponham em risco o êxito e a execução dos serviços, propondo as ações corretivas necessárias;

Prestar as informações e esclarecimentos relativos ao objeto desta contratação que venham a ser solicitados pelos agentes designados pela CONTRATANTE.

Da Garantia

Os serviços a serem prestados deverão ter garantia mínima de 06 (seis) meses após o recebimento dos serviços, devendo ser substituídos e reparados gratuitamente pela CONTRATADA, quando notificada pela FINATEC.

Além das garantias contratuais deverão ser observadas as garantias legais previstas no Código Civil.

8.2 TERMO DE REFERÊNCIA PARA CONTRATAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

Do Objeto

O presente termo de Referência se destina a atender as necessidades do Projeto “Elaboração de Diagnóstico de Contaminação e Proposta de Remediação do Antigo Lixão da Estrutural” e tem por finalidade a contratação de empresa especializada em perfuração de poços de monitoramento de água na área interna e externa do Lixão da Estrutural - DF, conforme abaixo:

Construção de 18 poços de monitoramento de água subterrânea, sendo 16 poços de até 30 metros de profundidade e 02 poços de até 80 metros de profundidade;

Construção de 18 cercas e sistema de proteção dos poços de monitoramento.

Local da Realização dos Serviços

Os poços de monitoramento serão construídos nas adjacências da área do Lixão da Estrutural localizado entre a Cidade Estrutural, o Parque Nacional de Brasília e o Setor de chácaras do Córrego do Valo. O Lixão contempla uma área com cerca de 200 hectares com vias internas não asfaltadas, mas, que comporta o tráfego de caminhões. Nas áreas externas ao Lixão os poços serão construídos em locais de fácil acesso de caminhões para o transporte dos equipamentos de perfuração. A CONTRADADA deverá verificar as restrições ambientais com relação aos poços a serem construídos no interior da área do Parque Nacional de Brasília (ex.: impossibilidade de abertura de acessos, impossibilidade de supressão de vegetação nativa, etc.).

A Coordenação do Projeto ficará responsável em apresentar para a empresa a ser CONTRATADA, a localização exata dos 18 pontos de construção dos poços de monitoramento, e deverá realizar as locações, dos pontos além das coordenadas UTM.

Especificações dos Serviços

As empresas deverão atender às especificações mínimas para a prestação dos serviços de construção dos poços de monitoramento, conforme tabela abaixo.

Item	Parâmetro	Especificação	Quantidade
1	Perfuração de poço tubular.	6" diâmetro	Até 640 metros
2	Reabertura da porção superior do poço	8" diâmetro	Até 80 metros
3	Revestimento.	PVC 4" diâmetro	Até 640 metros
4	Revestimento – Filtro.	PVC 4" diâmetro	Até 90 metros
5	Pré-filtro.	Seixo selecionado	~6,0 metros cúbicos
6	Tampa, cimento, acabamento (tubo com 1 m aço carbono), manilha com tampa e cadeado (o tubo e a manilha deverão ser chumbados com concreto na cabeça do poço).	Tampa com cadeado; Acabamento em Aço carbono.	18 unidades
7	Bentonita (para selo sanitário dos poços)	Sacos de 20 Kg	54 unidades
8	Deslocamento.	Caminhão com a torre e caminhão com o compressor, além dos acessórios como gerador dentre outros.	02 unidades
9	Laje de Proteção.	Concreto com traço forte, em formato quadrado e com 50 cm de lado.	18 unidades
10	Área de proteção.	Com cercamento dos poços (conforme item 3.6).	18 unidades

Os serviços de perfuração e instalação de poços de monitoramento deverão seguir rigorosamente as normas ABNT NBR 15.495-1/2007 e ABNT NBR 15.495-2/2007.

Os poços devem ter um selo sanitário composto por pelo menos 3 sacos de bentonita, que deverá compor um anel a cerca de 5 metros de profundidade. A porção superior do poço deve ser preenchida com concreto que deverá compor uma laje de proteção quadrada (0,5 metro de lado) com 40 cm de altura. Idealmente a concretagem deve ser realizada com concreto usinado a ser bombeado no espaço anelar de cada poço.

Após conclusão da obra, cada poço deverá ser desenvolvido e limpo com auxílio de compressor. Alternativamente esta limpeza poderá ser realizada antes da concretagem do espaço anelar.

O acabamento do poço deve ter três sistemas de proteção: o primeiro representado por um cap enroscado na cabeça do poço; o segundo representado por um tubo de aço carbono com 6" de diâmetro dotado de um sistema para ser acoplar um cadeado médio a grande e o terceiro representado por uma manilha de concreto com tampa também em concreto (esta tampa

deve ter uma alça para facilitar sua remoção no momento de se acessar o poço de monitoramento).

A área de proteção citada no item 3.1 tem o objetivo de proteger o local de instalação dos poços, e deverá atender as seguintes especificações:

O perímetro da área deverá ter uma configuração quadrática com 8 metros lineares, ou seja, 04 laterais de 2,0 metros;

Em uma das laterais deverá ser instalado um sistema de acesso de 1,0 metro e uma corrente com cadeado (sistema do tipo “colchete”);

O perímetro será delimitado por arame farpado, com seis fios ao redor de cada lado, sendo uma estaca em eucalipto tratado em cada um dos lados e uma na parte central de cada lado;

O cadeado de cada sistema poço / cerca de proteção deverá ter, preferencialmente, o mesmo segredo, isto é, uma única chave para abrir a cerca de proteção e o poço.

Dúvidas técnicas relativas à perfuração, completção, isolamento e acabamento dos poços devem ser direcionadas à equipe técnica responsável pela execução do Projeto.

Relatórios

Os relatórios deverão ser escritos em língua portuguesa e entregues para análise da Coordenação do Projeto em uma via impressa e um arquivo digital ou conforme solicitação.

Após a análise e aprovação dos relatórios pela Coordenação do Projeto, deverão ser encaminhadas outras vias originais em meio analógico e em meio digital contendo mapas e plantas.

A qualidade deverá ser laserprint ou similar, em papel formato A4, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com exceção dos mapas, desenhos, gráficos e demais anexos, para os quais poderão ser utilizados outros formatos para sua perfeita compreensão.

Todos os documentos que compõem o relatório devem ser fornecidos em CD-ROM ou DVD, conforme o conteúdo, formatado e gravado no editor de texto “Word” e planilhas “Excel”. Após aprovação, o produto deve ser entregue em arquivo de texto .pdf e .docx.

Vigência

O prazo de execução dos serviços será de 45 (quarenta e cinco) dias, após a assinatura do contrato de prestação dos serviços.

Equipe

A empresa deverá disponibilizar, no mínimo, um profissional de nível superior, na área de geologia, para acompanhar a equipe de profissionais necessária para o desenvolvimento dos trabalhos. Este profissional ou outro associado à equipe da empresa deve ser especialista em ensaios hidráulicos em poços de monitoramento (ex.: ensaios tipo Slug Test, tratamento de dados de testes de bombeamento, etc.).

Habilitação Técnica

A empresa deverá apresentar certidão de registro de pessoa jurídica expedido pelo CREA/CONFEA em plena validade.

A empresa deverá apresentar o registro no órgão de classe do profissional exigido para a elaboração do trabalho.

A empresa deverá apresentar atestado técnico e/ou certidão de acervo técnico referente à instalação de poços de monitoramento, objeto deste termo de referência.

A empresa deverá apresentar declaração do(s) profissional(is) exigido no item 6 deste Termo de Referência, informando que concorda em participar da execução dos trabalhos.

Acompanhamento e Fiscalização

Para a avaliação, acompanhamento e recebimento dos produtos especificados neste Termo de Referência, além do fiscal do contrato, poderá ser constituída uma Equipe de Acompanhamento e Fiscalização, formada por técnicos do Projeto.

A empresa a ser CONTRATADA deverá estar presente em toda reunião técnica em que for convocada para discussão dos trabalhos, sejam reuniões com a Contratante e/ou com o órgão ambiental ou demais órgãos vinculados ao licenciamento do empreendimento.

A CONTRATADA é responsável pela qualidade técnica dos trabalhos e consequente aprovação do estudo pelo órgão ambiental, devendo atender às solicitações deste quando necessário.

A CONTRATADA é responsável pelas autorizações junto aos órgãos competentes, nas emissões de autorização e/ou licenças para a perfuração dos poços, dentro das normas legais.

Obrigações da Contratada

A empresa a ser CONTRATADA assumirá as seguintes obrigações específicas, além daquelas estabelecidas no Contrato a ser firmado pelas partes:

Manter rigorosamente gerência do contrato tomando todas as medidas necessárias para seu controle e acompanhamento da execução;

Cumprir o Termo de Referência em sua totalidade, responsabilizando-se pelo perfeito cumprimento do objeto do contrato;

Seguir normas, políticas e procedimentos da CONTRATANTE relativos à execução dos serviços;

Arcar com os eventuais prejuízos causados à CONTRATANTE ou a terceiros, provocados por ineficiência ou irregularidade cometida por seus empregados ou prepostos envolvidos na execução dos serviços, respondendo integralmente pelo ônus decorrente de sua culpa ou dolo na entrega dos serviços, o que não exclui nem diminui a responsabilidade pelos danos que se constatarem, independentemente do controle e fiscalização exercidos pela CONTRATANTE;

Comunicar à Coordenação do Projeto, por escrito, quaisquer anormalidades que ponham em risco o êxito e a execução dos serviços, propondo as ações corretivas necessárias;

Contratar, se for o caso, mão de obra especializada, qualificada e em quantidade suficiente à perfeita prestação dos serviços, em seu nome e sob sua responsabilidade, sem

qualquer solidariedade da CONTRATANTE, cabendo-lhe efetuar todas as obrigações trabalhistas, bem como seguros e quaisquer outros necessários;

Prestar as informações e esclarecimentos relativos ao objeto desta contratação que venham a ser solicitados pelos agentes designados pela CONTRATANTE.

Obrigações da contratante

A CONTRATANTE assumirá as seguintes obrigações:

Fornecer informações necessárias à execução dos serviços, proporcionado as condições necessárias para que a CONTRATADA possa cumprir o contrato;

Notificar a CONTRATADA sobre irregularidades observadas nos serviços visando à imediata adoção das providências;

Indicar o fiscal do contrato, o qual acompanhará o perfeito cumprimento do objeto e das demais cláusulas do edital e do contrato;

Atestar os serviços desde que tenham sido entregues conforme estipulado no contrato, encaminhando as notas fiscais / faturas devidamente atestadas para pagamento no prazo determinado.

Propriedade dos Produtos

Todo e qualquer material gerado em virtude do desenvolvimento do produto, seja intermediário ou final, será de propriedade exclusiva da SEMA/FINATEC, limitada a aplicação no Projeto, sendo expressamente vedado, a qualquer pessoa que tenha conhecimento de seu conteúdo, o repasse de produtos e informações a terceiros sem expressa autorização da CONTRATANTE.

Pagamento

O pagamento será efetuado em duas parcelas, sendo a primeira no importe de 40% (quarenta por cento) após a assinatura do contrato, e os 60% (sessenta por cento) restante após a entrega dos serviços, mediante depósito bancário, em conta corrente de titularidade da empresa, no prazo de até 10(dez) dias úteis, contados da apresentação da respectiva nota fiscal, emitida de acordo com as normas e legislação aplicável, devidamente atestada pelo Coordenador do Projeto.

8.3 TERMO DE REFERÊNCIA PARA CONTRATAÇÃO DE ANÁLISES QUÍMICAS DE SOLOS E ÁGUAS

Do Objeto

O presente Termo de Referência se destina a atender às necessidades do Projeto “Elaboração de Diagnóstico de Contaminação e Proposta de Remediação do Antigo Lixão da Estrutural”, a saber, a contratação de empresa para prestação de serviços de análise de amostras de solo e dos parâmetros constantes no Plano de Trabalho que inclui: chumbo, zinco,

cádmio, mercúrio, cobre, arsênio, ferro e alumínio, além do Ph em H₂O e em KCl em amostras selecionadas.

Detalhamento dos Serviços

Descrição dos serviços a ser prestados: os serviços a serem prestados compreendem análises de até 160 (cento e sessenta) amostras de solos, em duas etapas, sendo oitenta no início do projeto e 80 depois de encerrados os experimentos de campo.

O método de digestão das amostras é o indicado pela Embrapa para análises de solos, incluindo uso de ácido acético a frio e demais procedimentos tradicionalmente aplicados a Análises de solos. As análises pretendem determinar os teores de metais biodisponíveis em solos tropicais nas adjacências de área de acumulação de resíduos sólidos.

Os serviços prestados deverão ser realizados por laboratório acreditados e com credenciamento por organismos nacionais.

Os laudos deverão ser entregues impressos e em formato digital em planilha eletrônica excel.

Do Pagamento

O pagamento será realizado, após a conclusão dos serviços, em um prazo de 10 (dez) dias após aprovação dos serviços realizados e apresentação da documentação de suporte do pagamento (Nota Fiscal e demais comprovantes legais).

Do Prazo e Local de Coleta

O prazo de execução dos serviços será de 30 (trinta) dias após a assinatura do contrato.

As amostras serão realizadas pelos técnicos envolvidos no desenvolvimento do projeto, sendo enviadas diretamente ao laboratório escolhido para a realização das análises.

Obrigações da Contratada

A empresa a ser CONTRATADA assumirá as seguintes obrigações específicas, além daquelas estabelecidas no Contrato a ser firmado pelas partes:

Executar os serviços de acordo com as especificações e condições constantes neste Termo de Referência;

Manter, durante toda a execução do contrato, a mesma qualificação e capacidade técnica apresentada no ato da licitação, necessárias à perfeita execução dos serviços a serem contratados;

Trabalhar de forma unificada com a equipe de coordenação do Projeto de forma a garantir a perfeita execução dos trabalhos;

Reparar, corrigir ou substituir, às suas expensas, no total ou em parte, os serviços e/ou produtos em que se verificarem vícios, defeitos ou incorreções;

Fornecer por sua conta exclusiva, toda a mão de obra, material e equipamentos necessários à perfeita execução dos serviços contratados, responsabilizando-se por todas as despesas decorrentes desse fornecimento;

Prestar todos os esclarecimentos que forem solicitados pela CONTRATANTE, atendendo de imediato as reclamações;

Manter, durante toda a vigência do contrato, profissionais devidamente identificados no local dos serviços, com capacidade técnica compatível aos serviços a serem contratados, mediante sua supervisão direta, em número adequado à demanda, de modo a cumprir o prazo estabelecido para a perfeita execução dos serviços;

Executar os serviços em conformidade com a legislação e normas técnicas aplicáveis, respondendo, inteiramente, por quaisquer danos ocasionados pela má execução;

Garantir a limpeza do local durante a coleta das amostras e retirar, ao término dos serviços, todos os equipamentos, máquinas, ferramentas, sobra de materiais e entulhos, deixando o local totalmente limpo e com o mínimo de impacto possível;

Não ceder ou transferir, no todo ou em parte, a execução dos serviços ora contratados sem prévia e expressa autorização da CONTRATANTE;

Aceitar os acréscimos ou supressões que se fizerem necessários ao presente Contrato em até 25% (vinte e cinco por cento) do valor inicial pactuado;

Manter rigorosamente a gerência do contrato tomando todas as medidas necessárias para o controle e acompanhamento de sua execução;

Comunicar à Coordenação do Projeto, por escrito, quaisquer anormalidades que ponham em risco o êxito e a execução dos serviços, propondo as ações corretivas necessárias;

Prestar as informações e esclarecimentos relativos ao objeto desta contratação que venham a ser solicitados pelos agentes designados pela CONTRATANTE.

Da Garantia

Os serviços a serem prestados deverão ter garantia mínima de 06 (seis) meses após o recebimento dos serviços, devendo ser substituídos e reparados gratuitamente pela CONTRATADA, quando notificada pela FINATEC.

Além das garantias contratuais deverão ser observadas as garantias legais previstas no Código Civil.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste documento foram apresentados os principais dados e resultados de pesquisas que versaram sobre o Lixão da Estrutural desde os anos 1990. Além dos resultados de trabalhos realizados na área do antigo aterro, ainda foram levantados estudos sobre formas de mitigação dos impactos de aterros e de remediação de áreas degradadas pela acumulação de resíduos e por fim apresentado o desenho experimental dos pilotos a serem desenvolvidos na área.

A literatura consultada sobre as principais técnicas de remediação deverá ser utilizada para os trabalhos que serão desenvolvidos na região. Destaque para as técnicas de

fitorremediação e tratamento de chorume que apresentam ampla lista de referências bibliográficas com apresentação de diferentes técnicas.

Antes da determinação dos métodos de tratamento de chorume deverão ser realizadas análises para a caracterização da sua composição química (com destaque para DQO, DBO e série nitrogenada) e física (densidade, cor, turbidez, etc.), que serão fundamentais para a escolha das técnicas.

Para a escolha das espécies para fitorremediação uma avaliação criteriosa da capacidade de disseminação e invasão das exóticas deverá ser estabelecida, haja vista a proximidade da área contaminada com o Parque Nacional de Brasília.

Os trabalhos de geofísica existentes, principalmente aqueles que utilizaram métodos geolétricos com uso do arranjo Dipolo-Dipolo serão integralmente aproveitados para a distribuição das linhas a serem desenvolvidas e direcionamento das seções que serão realizadas no interior do Parque Nacional, as quais serão prioritariamente, perpendiculares às linhas base situadas ao longo da cerca limítrofe do parque.

Os dados e informações enumeradas neste documento serão também importantes para evitar superposição de trabalho e para melhor direcionar os esforços na continuidade de execução do presente trabalho.

10. CONTRATAÇÕES E AÇÕES – FINATEC

Em referência as contratações previstas e realizadas pela Finatec para a execução do projeto seguem o andamento:

1) Processo seletivo para contratação de empresa para realizar as perfurações dos poços de monitoramento finalizado. Empresa contratada Green Field - Tecnologia em Prospeção Ltda – EPP.

2) Processo seleção de empresas para prestação de serviços de análise de amostras de solo e água conforme parâmetros constantes no Plano de Trabalho que inclui: análises de metais como chumbo, zinco, cádmio, mercúrio, cobre, arsênio, ferro e alumínio, análises de massa vegetal e análises do Ph em H₂O e em KCl em amostras selecionadas. O processo seguirá com autorização às empresas selecionadas para efetuar as análises por demandas/ordem de serviços uma empresa fará a análise da água e outra a análise do solo e material vegetal. Processo finalizado foram autorizadas duas empresas para realizar as análises químicas previstas no projeto: Tommasi Analítica Ltda e Soloquímica Analises De Solo Ltda

3) Contratação de empresa para realizar os Estudos Geofísicos: processo finalizado empresa Craton Consultoria em Geologia contratada;

4) Outras ações - Instalação de técnicas de fitorremediação:

- a) Aquisição de insumos como pó de dolomito e mudas já efetuadas;
- b) Contratação de serviços para preparação de Solo para Plantio de espécies exóticas e nativas nos experimentos de fito remediação e estabilizações de metais no solo [locação de máquinas com operador para preparação do solo];
- c) Contratação de serviços para preparação de abertura de 500 covas cilíndricas com 4 polegadas de diâmetro e 60 cm de profundidade e plantio das mudas;
- d) Contratação de empresa para irrigação.

5) Contratação de técnico especializado em tratamento de chorume e demais aspectos intervenientes na gestão dos percolados de resíduos sólidos e demais técnicos em processo de formalização.

11. REFERÊNCIAS

- Abbas, A.A., Jingsong, G., Ping, L.Z., Ya, P.Y., Al-Rekabi, W.S. 2009. Review on landfill leachate treatment. *Am. J. Appl. Sci.* 6:672-684.
- Abreu, F. 2001. Estudo e avaliação da contaminação das fontes do Parque Nacional de Brasília. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. (inédito). 123p.
- Alaboudi, K.; Ahmeda, B.; Brodiec, G. 2018. Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals of Agricultural Sciences* 63:123-127.
- Almeida, E.A.P. 2011. Avaliação do potencial da espécie *Vetiveria Zizanioides* na fitorremediação de metais traço presentes em ambientes aquáticos. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. 79p.
- Amaral, M.S. 2009. Tratamento físico-químico de lixiviado de aterro sanitário pré-tratado por processo biológico aeróbio, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo. 98 p.
- Amore, L. 1994. Fundamentos para uso e proteção das águas subterrâneas do Distrito Federal. Escola de Engenharia de São Carlos, Dissertação de Mestrado.
- Anselmo, A.L.F. & Jones, C.M. 2005. Fitorremediação de solos contaminados - O estado da arte. XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. p. 5273-5280.
- Araújo, A.S.A.; Guilherme, L.R.G., Lopes, G., Campos, M.L. 2011. Fitorremediação de solos contaminados com arsênio utilizando braquiária. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(1):84-91.
- Araújo, R.N.G. 1996. Estudos Geoquímicos da contaminação dos recursos hídricos e sua propagação nas adjacências do aterro de resíduos sólidos Jockey Club- DF. Dissertação de mestrado Nº 107. 74p.
- Barbosa, L.Q. 2014. Remediação de Área Degradada por Resíduos Sólidos. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, xi,99p.
- Barros, A.C.A. 2007. Estudos sobre o potencial do bambu *Guadua angustifolia* Kunz. para a fitorremediação dos Metais Pesados Zinco e Cádmiio. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Química e Biotecnologia. Universidade Federal de Alagoas.
- Barros, J.G.C. 1987. Geologia e hidrogeologia do Distrito Federal. In: Inventário hidrogeológico do Distrito Federal. (GDF/CAESB) Brasília DF. P. 79-330.

- Barros, J.G.C. 1994. Caracterização geológica e hidrogeológica do Distrito Federal. In: Cerrado, caracterização, ocupação e perspectivas. Pinto, M.N. (Org.). Brasília. Editora UnB/SEMATEC. 2a ed. p. 265-283.
- Bonfim, A.C.F. 2018. Avaliação de metais e fitorremediação de solos adjacentes à rodovia Washington Luiz no Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 84p.
- Brasil. 1981. Lei Nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938compilada.htm> Acesso em 13/12/2019
- Brasil. 2010. Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605/1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em 13/12/2019
- Campos, J.E.G. 2007. Análise e delimitação da pluma de contaminação do Aterro do Jockey, Região da Vila Estrutural - DF. 11p.
- Campos, J.E.G. & Freitas-Silva, F.H. 1998. Hidrogeologia do Distrito Federal. In: Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Parte I. Vol II. IEMA-SEMATEC/Universidade de Brasília. (Inédito). 66p.
- Campos, J.E.G. & Freitas-Silva, F.H. 1999. Arcabouço hidrogeológico do Distrito Federal. In: XII Simp. Geol. Centro-Oeste. Boletim de Resumos. Brasília. 113p.
- Campos, J.E.G. 2004. Hidrogeologia do Distrito Federal: subsídios para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. RBG(1):41-48.
- Campos, J.E.G.. & Tröger, U. 2000. Groundwater occurrence in hard rocks in the Federal District of Brasília: A Sustainable Supply?. In: Sililo, Groundwater: Past Achievements and Future Challenges, Proc. of XXX I.A.H. Congress. Cape Town, South Africa, Balkema, 109-113.
- Campos, J.E.G.; Santos L.M.; Seidel. A.M. 2006. Estudos geotécnicos preliminares e caracterização dos limites da área do antigo aterro na região da Vila Estrutural - DF. Água e Terra Consultoria e Planejamento Ambiental. Relatório Técnico. 70 p.
- Carneiro, G.A. 2002. Estudo da contaminação do lençol freático sob área do aterro de lixo do Jockey Club - DF e suas adjacências. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia, Universidade de Brasília. 123p.
- Cavalcanti, M.M. 2013. Monitoramento geoeletrico da pluma de contaminação gerada pelo Lixão da Estrutural. Dissertação de Mestrado em Geociências Aplicadas - Universidade de Brasília.
- CEMPRE, 2010. Compromisso Empresarial para Reciclagem. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado, ed. 3, São Paulo, Editora CEMPRE, 2010.
- CODEPLAN, 1972. Companhia do Desenvolvimento do Planalto Central. *I Plano Diretor de Limpeza Urbana do Distrito Federal*. Codeplan/GDF, Brasília, DF, 368p.
- Costa, A.M.; Alfaia, R.G.S.M., Campos, J.C. 2019. Landfill leachate treatment in Brazil - An overview. *Journal of Environmental Management* 232:110-116.
- Cruvinel, D.F.C. 2009. Avaliação da fitorremediação em solos submetidos a contaminação com metais. Dissertação de Mestrado. Universidade de Ribeirão Preto. 79p.
- Cunha, M. & Fernandes T. 2014. Fitorremediação de solos. Universidade Federal de Juiz de Fora. Química Analítica e Ambiental. 36p.
- DalCorso, G.; Fasani, E.; Manara, A.; Visioli, G.; Furini, A. 2019. Heavy Metal Pollutions: State of the Art and Innovation in Phytoremediation. *International Journal Molecular Science*, 20:1-17.

- Distrito Federal, 2002. Lei Complementar Nº 530 de 1º de fevereiro de 2002. Declara Zona Habitacional de Interesse Social e Público - ZHISP, o parcelamento de solo urbano denominado Vila Estrutural, localizado na Região Administrativa do Guará - RA X. Disponível em :
<http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/52357/Lei_Complementar_530_20_01_2002.html> Acesso em 12/12/2019.
- Distrito Federal, 2004. Lei Nº 3.315 de 27 de janeiro de 2004. Cria a Região Administrativa do Setor Complementar de Indústrias e Abastecimento- RA XXV e as suas Subadministrações Regionais. < http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/51257/Lei_3315_27_01_2004.html>
- Distrito Federal, Decreto Nº 37.505 de 22 de julho de 2016. Define as competências do Escritório de Projetos Especiais da Governadoria do Distrito Federal (EPE). Disponível em: <http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/5fe1ec0f170343c192d128e28ad1f876/exec_dec_375_05_2016.html> Acesso em 12/12/2019.
- Distrito Federal. 2015. Decreto Nº 36.437/2015. Institui o Grupo de Trabalho para elaborar e implementar o plano de intervenção de atividades de ordenamento do Lixão do Jockey Club, visando dar o correto tratamento e destinação dos resíduos sólidos urbanos, provenientes dos serviços contratados pelo Serviço de Limpeza Urbana- SLU.
- Forgie, D.J.L. 1988. Selection of the most appropriate leachate treatment methods. Water Pollut. Res. J. Can. 23:308-355.
- Franchi, E.; Rolli, E.; Marasco R.; Agazzi, G.; Borin, S.; Cosmina. P.; Pedron, F.; Rosellini, I.; Barbafieri. M.; Petruzzelli, G. 2017. Phytoremediation of a multi contaminated soil: mercury and arsenic phytoextraction assisted by mobilizing agent and plant growth promoting bacteria. J Soils Sediments 17:1224-1236.
- Franco, H.A. 1996. Geofísica e Química Aquática Aplicados ao Estudo da Contaminação de Recursos Hídricos Subterrâneos no Aterro do Jockey Club, Brasília - DF. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. (inédito). 96p.
- Freitas Silva, F.H. & Campos, J.E.G. 1998. Geologia do Distrito Federal. *In*: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Parte I. IEMA-SEMATEC/Universidade de Brasília. 86 p. (Relatório Inédito).
- Guedes, V.J.C.B. 2019. Caracterização da assinatura sísmica e geoleétrica do Aterro Jockey Clube de Brasília. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geofísica. Universidade de Brasília. 77p.
- IBGE, 2019. <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/df/brasil.html>> Acesso 10/12/2019.
- IBRAM, 2019. Plano de Manejo das Áreas de Proteção da Vila Estrutural- Plano de Uso do Parque Urbano da Estrutural. Disponível em: <<http://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2019/05/Plano-de-Manejo-Parque-Urbano-Estrutural.pdf>> Acesso em 11/12/2019
- Junqueira, F.F. 2000. Análise do Comportamento de Resíduos Sólidos Urbanos e Sistemas Dreno-Filtrantes em diferentes escalas, com referência ao Aterro do Jockey Clube - DF, 2000. Tese de doutorado em Geotecnia. Universidade de Brasília, FT, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. xvi, 288 p. Brasília.
- Kede, M.L.F.M. 2014. O uso de fosfatos associado à fitorremediação em solos de Santo Amaro (BA) contaminados por metais tóxicos. Tese de Doutorado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- Lasat, M.M. 2000. Phytoextraction of Metals from Contaminated Soil: A Review of Plant/Soil/Metal Interaction and Assessment of Pertinent Agronomic Issues. Journal of Hazardous Substance Research 2(5):1-126.
- Lousada, E.O. & Campos, J.E.G. 2005. Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da região do Distrito Federal. Revista Brasileira de Geociências, 35(3):407-414.

- Lousada, E.O. 2005. Estudos hidrogeológicos e isotópicos no Distrito Federal: Modelos conceituais de fluxo. Brasília-DF. 124p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- Martinez, M.S.; Cruvinel, D.F.C.; Baratto, D.M. 2013. Avaliação da fitorremediação de solos contaminados com metais pelo capim braquiária e mostarda da Índia. Revista do Departamento de Águas e Esgotos e São Paulo, 191:1-8.
- Martins, C.D.C. 2015. Fitorremediação de solo oriundo de área industrial multicontaminado com metais pesados e hidrocarbonetos do petróleo por girassol (*Helianthus annuus*). Tese de Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 187p.
- Massai, L.R & Massai, L.R.D. 2005 Oxidação Térmica do Líquido percolado de aterros sanitários. XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Campina Grande, PB.
- Nalon, L. 2008. Potencial do eucalipto na fitorremediação de um solo contaminado por chumbo. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. 94p.
- Novaes Pinto, M. & Carneiro, P.J.R. 1984. Análise preliminar das feições geomorfológicas do Distrito Federal, in: Anais IV Congresso Brasileiro de Geógrafos, São Paulo, 2: 190-213.
- Novaes Pinto, M. 1986. Superfícies de Aplanamento na Bacia do Rio São Bartolomeu, Distrito Federal/Goiás. Revista Brasileira de Geografia, IBGE, Rio de Janeiro, 48 (3), p. 237-257.
- Novaes Pinto, M. 1994a. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: NOVAES PINTO, M. (org). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília. Editora UnB. 2a ed.. p. 285-320.
- Novaes Pinto, M. 1994b. Paisagens do cerrado no Distrito Federal. In: NOVAES PINTO, M. (org). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília. Editora UnB. 2a ed.. p. 511-542.
- Pereira, J.F.; Pastore, E.L. Souza, N.M.; Silveira, R.B. 1997. Caracterização Geológico-Geotécnica da área de deposição de resíduos sólidos no Aterro do Jôquei Clube no Distrito Federal. Volumes 1 a 4. Universidade de Brasília - FINATEC - SLU. Brasília DF.
- Pires, J.C.A. 2002. Projeto de Tratamento do Chorume Produzido no Aterro Metropolitano de Gramacho através de "Wetland". FEN/UERJ, Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental - Área de Concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial.
- Prasad, M.N.V. 2004. Phytoremediation of metals in the environment for sustainable development. Prod. Indian Natural Science Academy B70(1):71-98.
- Quege, K.E. 2011. Tratamento de esgoto sanitário pelo sistema zona de raízes utilizando plantas de bambu. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás.
- Quege, K.E.; Almeida, R.A.; Ucker, F.E. 2013. Utilização de plantas de bambu no tratamento de esgoto sanitário pelo sistema de alagados construídos. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. 10(10):2069-2080.
- Raghab, S.M., El Meguid, A.M.A., Hegazi, H.A., 2013. Treatment of leachate from municipal solid waste landfill. HBCR J. 9:187-192.
- Renou, S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F., Moulin, P. 2008. Landfill leachate, treatment: review and opportunity. J. Hazard. Mater. 150:468-493.
- Santos, P. C. V.1996. Estudos da contaminação de água subterrânea por percolado de aterro de resíduos sólidos- caso Jockey Club- DF. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-32^a/96, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, DF, 135 p.
- Silva, J.F. 2012. Prospecção de plantas fitorremediadoras em solos contaminados por metais pesados. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Amazonas. 91p.
- Silva, T.J.; Hansted, F.; Tonello P.S.; Gouveia, D. 2019. Fitorremediação de solos contaminado

- com metais: panorama atual e perspectivas de uso de espécies florestais. Revista Virtual de Química, 11(1):1-17.
- SLU, 2015. Serviço de Limpeza Urbana. Plano de Intervenção do Lixão do Jóquei. Disponível em: < http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/12/plano_intervencao.pdf> Acesso em 13/12/2019.
- Souza, L.A.; Piotto, F.A.; Nogueiro, R.C.; Azevedo, R.A. 2013. Use of non-hyperaccumulator plant species for the phytoextraction of heavy metals using chelating agents. Scientia Agricola, 70(4):290-295.
- Tavares, S.R.L.; Oliveira S.A.; Salgado C.M. 2013. Avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. Holos, 29(5):80-97.
- Tchobanoglous, G., Thessen, H., Vigil, S.A. 1994. "Composicion y Caracteristicas, Generacion, Movimento y Control de los Gases de Vertedoro". Gestion Integral de Resíduos Sólidos, v. 1, capítulo 11.4, Mc Graw Hill.
- Vale, 2018. Vale é pioneira em uso de tecnologia de tratamento de efluentes no Brasil. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/vale-e-pioneira-em-uso-de-tecnologia-de-tratamento-de-efluentes-no-brasil.aspx> 2018>.

12. RESPONSÁVEIS PELA REDAÇÃO E REVISÃO DESTE DOCUMENTO TÉCNICO

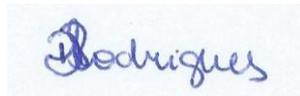
Brasília, 11 de maio de 2020.



José Eloi Guimarães Campos
Geólogo, Coordenador do Projeto e Responsável Técnico



Turene Alves de Oliveira
Gestor Ambiental



Drielly Souza Rodrigues
Geóloga



Luiza Lavocat Galvão de Almeida Coelho
Gerente de Projetos - FINATEC