

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

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE CAMPANHA DE
ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E GEOFÍSICA
DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA FINS DE
REMEDIAÇÃO A PARTIR DO ESTUDO DE CASO DO ATERRO
CONTROLADO DO JÓQUEI CLUBE DE BRASÍLIA**

JOHANNA AUGUSTA AREND DOS SANTOS

ORIENTADOR:

PROF. ANDRÉ LUÍS BRASIL CAVALCANTE, DSc.

COORIENTADOR:

PROF. LUCIANO SOARES DA CUNHA, DSc.

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

BRASÍLIA/DF, 11 DE JULHO DE 2019

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

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE CAMPANHA DE
ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E GEOFÍSICA
DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA FINS DE
REMEDIAÇÃO A PARTIR DO ESTUDO DE CASO DO ATERRO
CONTROLADO DO JÓQUEI CLUBE DE BRASÍLIA**

JOHANNA AUGUSTA AREND DOS SANTOS

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

APROVADA POR:

Prof. André Luís Brasil Cavalcante, DSc (ENC/FT/UnB)
(Orientador)

Prof. Luciano Soares da Cunha, DSc (IG/UnB)
(Orientador)

Prof. Claudia Marcia Coutinho Gurjão, DSc (ENC/FT/UnB)
(Examinador Interno)

Prof. Manuelle Santos Gois, DSc (Pesq. ENC/FT/UnB)
(Examinador Externo)

DATA: BRASÍLIA/DF, 11 de julho de 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

AREND DOS SANTOS, JOHANNA AUGUSTA

Metodologia para Determinação de Campanha de Ensaios de Caracterização Geotécnica e Geofísica de Aterros de Resíduos Sólidos para fins de Remediação a partir do Estudo de Caso do Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília [Distrito Federal] 2019

xiii, 90 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharela, Engenharia Ambiental, 2019)

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

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|---------------|-----------------------------|
| 1. Geotecnia | 2. Resíduos Sólidos Urbanos |
| 3. Geofísica | 4. Aterros |
| I. ENC/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AREND S., J.A. (2019). Metodologia para Determinação de Campanha de Ensaios de Caracterização Geotécnica e Geofísica de Aterros de Resíduos Sólidos para fins de Remediação a partir do Estudo de Caso do Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 104 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Johanna Augusta Arend dos Santos

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Metodologia para Determinação de Campanha de Ensaios de Caracterização Geotécnica e Geofísica de Aterros de Resíduos Sólidos para fins de Remediação a partir do Estudo de Caso do Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2019

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

Johanna Augusta Arend dos Santos
AE 02 lote C/D bl C apt 501- Guará II
71070-625 – Brasília/ DF - Brasil

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de trilhar uma jornada de busca pelo conhecimento, sempre agraciada pela Sua Luz.

Agradeço às três mais importantes pessoas da minha vida: minha mãe, meu pai e minha irmã. Aos dois primeiros, obrigada por todo amor, esforço e dedicação para nos transmitirem os melhores valores possíveis e por sempre acreditarem no poder transformador da educação. À minha amada irmã, agradeço por todo companheirismo, por todo amor compartilhado, por ser minha eterna conselheira e meu porto seguro.

Ao meu namorado Rafael, obrigada pelo incansável apoio, pelas tantas vezes que me auxiliou, me escutou e me aconselhou. Obrigada por toda a paciência, o carinho, o amor e o companheirismo.

Agradeço, também, à minha família por sempre torcer por mim, me ajudar nos momentos de dificuldades, e por fazer parte dessa caminhada de forma tão presente, sobretudo, o meu cunhado Ian, a minha tia Joice, a minha madrastra Neila e o Lucas.

Agradeço ao meu orientador André Brasil, por acreditar no meu potencial, transmitindo sempre confiança e otimismo ao longo da elaboração do trabalho. Obrigada por todos os ensinamentos e orientações. Ao professor Luciano Cunha, agradeço por todo auxílio e disponibilidade. Agradeço, também, a todos os professores e servidores da Universidade de Brasília que fizeram parte e contribuíram para a minha formação, bem como ao Projeto RAEESA, à Finatec e à CEB.

À Kathy, meu mais sincero agradecimento, por todos os momentos de orientação, conselhos, puxões de orelha e por todas as conversas. Obrigada por acreditar tanto em mim, por perdoar alguns deslizes e ser sempre tão acolhedora.

Aos alunos do Geofluxo, agradeço os momentos de troca de conhecimento, suporte e atenção, em especial, à Manu, ao Felipe, à Camilla, à Mari e ao Moisés.

Agradeço aos meus queridos amigos de graduação, dos tempos de escola, do intercâmbio e do Litro de Luz. Obrigada por estarem presentes nessa caminhada e por todas as experiências e conselhos compartilhados que tornaram essa jornada mais prazerosa.

RESUMO

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE CAMPANHA DE ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E GEOFÍSICA DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA FINS DE REMEDIAÇÃO A PARTIR DO ESTUDO DE CASO DO ATERRO CONTROLADO DO JÓQUEI CLUBE DE BRASÍLIA.

De acordo com a Associação Internacional de Resíduos Sólidos- ISWA (2016), as disposições irregulares de resíduos (aterros controlados e lixões) representam as maiores fontes de poluição de ar, solo e águas do planeta. Conforme relatório recente da Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais- ABRELPE (2017), em torno de 40% dos resíduos gerados no Brasil ainda não seguem o padrão disposto na lei. O segundo maior lixão do mundo, estudo de caso da presente pesquisa, se encontra na capital do Brasil- o Aterro Controlado do Jockey Clube de Brasília (Aterro JCB) e foi fechado no começo do ano de 2018. O objetivo deste trabalho é, a partir da bibliografia analisada- 76 trabalhos, definir uma metodologia de ensaios de maior relevância para a caracterização geotécnica, geofísica e de resíduos de uma área de deposição de resíduos. Segundo a análise realizada, estabeleceram-se como prioritários os ensaios geotécnicos de: classificação do solo, permeabilidade, granulometria, massa específica dos grãos, limites de Atterberg, porosidade, curva característica, teor de umidade, resistência ao cisalhamento, grau de saturação, pH, concentração de metais, concentração de nutrientes, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, concentração de contaminantes e Eh. Dentre os ensaios de resíduos destacaram-se: gravimetria, umidade, densidade, monitoramento de recalques, compressibilidade, condutividade elétrica, resistência ao cisalhamento, poder calorífico, pH, concentração de metais, lixiviação, gases, matéria orgânica e controle de temperatura. Para os geofísicos foram escolhidos: eletrorresistividade, radar de penetração, eletromagnético e sísmica. A pesquisa foi desenvolvida de forma direcionada ao estudo de caso do Aterro JCB, de modo que foi possível, ao final, aplicar a metodologia na região. Para isso, foram gerados mapas com as áreas em que ainda não haviam sido realizadas coletas por trabalhos anteriores, definidas como locais prioritários para ensaios futuros e foram contabilizados os ensaios necessários para o local.

Palavras chave: disposição final, resíduos sólidos, geotecnia, geofísica, remediação, Aterro Controlado do Jockey Clube de Brasília.

ABSTRACT

METHODOLOGY FOR DETERMINING A CAMPAIGN OF GEOTECHNICAL AND GEOPHYSICAL CHARACTERIZATION TESTS OF SOLID WASTE LANDFILLS FOR THE PURPOSE OF REMEDIATION FROM THE CASE STUDY OF THE CONTROLLED LANDFILL OF THE BRASILIA CLUB JOCKEY.

According to the International Association of Solid Waste - ISWA (2016), irregular waste disposal are the largest sources of air, soil and water pollution on the planet. According to a recent report of the Brazilian Association of Public Cleaning and Special Waste Companies- ABRELPE (2017), around 40% of generated waste in Brazil still does not follow the standard established by law. The second largest inadequate landfill in the world, study case of the present research, is located in the Brazilian capital - Controlled Landfill of Brasilia Jockey Club (Landfill BJC) and was closed at the beginning of the year 2018. The objective of this work is, from the bibliografic research-76 studies, defines a methodology of greater relevance tests for geotechnical, geophysical and waste characterization of a waste disposal area. According to the analysis made, the geotechnical tests defined as priority were: soil classification, permeability, particle size, grain specific gravity, Atterberg limits, porosity, characteristic curve, moisture content, shear strength, degree of saturation, pH, metal concentration, concentration of nutrients, organic matter, cation exchange capacity, concentration of contaminants and Eh. For the waste characterization it were chosen: gravimetry, moisture, density, pressure monitoring, compressibility, electrical conductivity, shear strength, calorific value, pH, metal concentration, leaching, gases, organic matter and temperature control were among the most important. For the geophysicists were chosen: electroresistivity, penetration radar, electromagnetic and seismic. The research was developed focoused in the study case of the Landfill BJC, so that it was possible, in the end, to apply the methodology in the region. For this, maps were generated with areas where previous collections had not yet been performed, defined as priority sites for future trials, and the necessary tests for the site were counted.

Keywords: final disposal, solid waste, geotechnics, geophysics, remediation, Controlled Landfill of Brasilia Jockey Club.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. Objetivo Geral	4
2.2. Objetivos Específicos	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. Resíduos Sólidos no Saneamento do Brasil	5
3.2. Aterro Controlado do Jockey Club de Brasília	13
3.3. Elementos Necessários para a Remediação.....	16
3.4. Caracterização Geotécnica	17
3.4.1. Características Físicas	17
3.4.2. Características Químicas	21
3.4.3. Propriedades Hidráulicas.....	21
3.5. Caracterização de Resíduos Sólidos	22
3.5.1. Gravimetria.....	23
3.5.2. Recalque	23
3.5.3. Processo de Degradação	24
3.6. Caracterização Geofísica	24
3.6.1. Eletroresistividade.....	25
3.6.2. Polarização Induzida	27
3.6.3. Potencial Espontâneo	29
3.6.4. Eletromagnético Indutivo	31
3.6.5. Ground Penetrating Radar - GPR.....	32
3.6.6. Sísmica de Reflexão e Refração	35
3.7. Estudos já realizados para o Aterro Controlado do Jockey Club de Brasília	
35	

3.7.1.	Bernardes <i>et al.</i> 1999.....	36
3.7.2.	Tapahuasco 2009.....	38
3.7.3.	Cavalcanti 2013 e Cavalcanti <i>et al.</i> 2014.....	38
3.7.4.	Barbosa <i>et al.</i> 2015.....	40
4.	METODOLOGIA.....	41
4.1.	Coleta de Informações sobre Caracterização de Lixões e Aterros Controlados	41
4.2.	Seleção de trabalhos relacionados à caracterização geotécnica, geofísica e de Resíduos	42
4.3.	Seleção de trabalhos do Item anterior Realizados no Aterro JCB.....	42
4.4.	Mapeamento dos Ensaios Realizados Pelos trabalhos analisados.....	43
4.5.	Definição de pontos amostrais estratégicos.....	43
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1.	Coleta de Informações sobre Caracterização de Lixões e Aterros Controlados	44
5.2.	Seleção de trabalhos relacionados à caracterização geotécnica, geofísica e de Resíduos	50
5.2.1.	Estudos de Caracterização Geotécnica.....	51
5.2.2.	Estudos de Caracterização de Resíduos Sólidos.....	54
5.2.3.	Estudos de Caracterização Geofísica.....	56
5.3.	Seleção de trabalhos do Item anterior Realizados no Aterro JCB.....	57
5.4.	Mapeamento dos Ensaios Realizados Pelos trabalhos analisados.....	59
5.4.1.	Datação.....	61
5.4.2.	Mapas de amostragens realizadas.....	64
5.5.	Definição de pontos amostrais estratégicos.....	68
6.	CONCLUSÕES.....	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Realidade no Aterro JCB até janeiro de 2018 (Foto: Myke Sena), (Jornal de Brasília, 2018).....	11
Figura 3.2 - Catadores esperando a descarga de caminhão no antigo lixão da Estrutural em Brasília/ DF (Foto: Marília Marques), (Imprensa Pública, 2018).	11
Figura 3.3 - Disposição final de Resíduo Sólidos no Brasil (t/dia) - ABRELPE (2017)	12
Figura 3.4 - Mapa de localização do Aterro Controlado do Jockey Clube, Cavalcanti (2013).	14
Figura 3.5- Pedologia da área de estudo	15
Figura 3.6 - Ensaio de Granulometria: (A) Lavagem da amostra e (B) Secagem dos finos, Massad (2016).	18
Figura 3.7 - Ensaio de Casagrande para determinação do Limite de liquidez Casagrande, Massad (2016).....	19
Figura 3.8 - Conceituação Básica LL e LP, Massad (2016).	19
Figura 3.9 - Determinação do limite de plasticidade, Massad (2016).	20
Figura 3.10 - Ensaio de Compactação, Massad (2016).....	21
Figura 3.11 - Coleta de vazão de percolação no ensaio de permeabilidade, Massad (2016).	22
Figura 3.12 - Configuração de campo no método de eletrorresistividade, Braga (2006)	25
Figura 3.13 - Representação SEV, Velozo (2006).....	26
Figura 3.14 - Representação Caminhamento Elétrico, Velozo (2006).	27
Figura 3.15 - Curva de descarga IP na polarização induzida, Braga (2006).....	28
Figura 3.16 - Esquema da Polarização Metálica ou Eletrônica, Braga (2006)	29
Figura 3.17 - Diferença de potencial redox em célula galvânica, adaptada Moreira (2009)	30
Figura 3.18 - Modo de Operação método Eletromagnético Indutivo, Velozo (2006).	31
Figura 3.19 - Método Eletromagnético Indutivo, adaptado Velozo (2006).....	32
Figura 3.20 - Itens para a realização de GPR, Velozo (2006) adaptada.	33
Figura 3.21 - Operação GPR, Velozo (2006) adaptada.	34

Figura 3.22 - (a) Comportamento das frentes de onda no GPR. (b) Esquema chegada das frentes de onda no GPR, Cavalcanti (2013) adaptada.....	34
Figura 3.23 - Modelo geológico-geotécnico proposto por Bernardes <i>et al.</i> (1999) sentido Oeste para Leste, adaptado por Cavalcanti (2013)	37
Figura 3.24 - Histórico de deposição do Aterro JCB, adaptada por Cavalcanti (2013)	39
Figura 4.1 - Esquema da metodologia adotada	41
Figura 5.1- Distribuição de trabalhos por áreas de interesse	51
Figura 5.2- Relação do número de trabalhos de geotecnia que abordam cada parâmetro de caracterização física e hidráulica.....	52
Figura 5.3- Relação do número de trabalhos de geotecnia que abordam cada ensaio de caracterização química e biológica	53
Figura 5.4- Relação do número de trabalhos de resíduos que abordam cada parâmetro de caracterização física e hidráulica.....	54
Figura 5.5- Relação do número de trabalhos de resíduos que abordam cada ensaio de caracterização química e biológica	56
Figura 5.6- Relação do número de trabalhos relacionados a cada método geofísico	56
Figura 5.7- Deposição ao longo dos anos no Aterro JCB	63
Figura 5.8- Ensaios Geotécnicos Realizados	65
Figura 5.9- Amostras Abreu (2001) e Santana <i>et al.</i> (2009).....	66
Figura 5.10- Ensaios Geofísicos Realizados.....	67
Figura 5.11- Áreas de influência para cada ponto de amostragem considerando raios de 200 m	74
Figura 5.12- Áreas de influência para cada ponto de amostragem considerando raios de 500 m	75
Figura 5.13- Áreas prioritárias para ensaios futuros, a partir de buffers de 200 metros	76
Figura 5.14- Áreas prioritárias para ensaios futuros, a partir de buffers de 500 metros	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Classes de Resíduos Sólidos (NBR n° 10.004, ABNT, 2004)	6
Tabela 3.2- Classificação de resíduos quanto à origem (NBR n° 10.004, ABNT 2004).....	7
Tabela 3.3- Classificação de resíduos quanto à periculosidade (NBR n° 10.004, ABNT 2004).....	8
Tabela 3.4 - Quantidade de unidades de processamento de RSU com informações atualizadas, por tipo de unidade e agente operador (SNIS, 2016).....	9
Tabela 3.5- Métodos geofísicos e os parâmetros físicos correspondentes, Braga (2006)	25
Tabela 5.1- Trabalhos relacionados à caracterização de aterros de resíduos sólidos	44
Tabela 5.2- Identificação dos trabalhos de cada área com relação à Tabela 5.1...	51
Tabela 5.3- Estudos realizados no Aterro JCB	58
Tabela 5.4- Trabalhos Aterro JCB- resíduos sólidos	59
Tabela 5.5- Trabalhos Aterro JCB- geofísica	59
Tabela 5.6- Trabalhos Aterro JCB- geotecnia.....	60
Tabela 5.7- Percentual de repetição dos ensaios geotécnicos mais recorrentes....	68
Tabela 5.8- Percentual de repetição dos ensaios com resíduos mais recorrentes .	68
Tabela 5.9- Ensaios geotécnicos mais relevantes além dos mais recorrentes.....	69
Tabela 5.10- Ensaios de resíduos mais relevantes além dos mais recorrentes.....	69
Tabela 5.11- Métodos geofísicos mais relevantes além dos mais recorrentes.....	70
Tabela 5.12- Proposta de campanha de ensaios de caracterização geotécnica para aterros de resíduos	70
Tabela 5.13- Proposta de campanha de ensaios de caracterização de resíduos para aterros de resíduos	71
Tabela 5.14- Proposta de campanha de ensaios de caracterização geofísica para aterros de resíduos	71
Tabela 5.15- Detalhamento de áreas e ensaios para caracterização do Aterro JCB	73
Tabela 5.16- Aplicação da metodologia para o Aterro JCB- quantidade de ensaios por área para os <i>buffers</i> considerados.....	78

Tabela 6.1- Aplicação da metodologia para o Aterro JCB- quantidade de ensaios por área para os buffers considerados.....	80
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	- Norma Brasileira aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	- Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ASB	- Aterro Sanitário de Brasília
Aterro JCB	- Aterro Controlado do Jockey Club de Brasília
CAESB	- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
Cap.	- Capacidade
CDR	- Combustível Derivado de Resíduo
CEB	- Companhia Energética de Brasília
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Dist.	- Distribuição
DF	- Distrito Federal
Embrapa	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPR	- Ground Penetrating Radar (Radar de Penetração no Solo)
ISWA	- Associação Internacional de Resíduos Sólidos
Landfill BJC	- Controlled Landfill of Brasilia Jockey Club
LL	- Limite de Liquidez
LP	- Limite de Plasticidade
m	- metros
Monit.	- Monitoramento
MT	- Mato Grosso
PNB	- Parque Nacional de Brasília
PNRS	- Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	- Política Nacional de Saneamento Básico
RCC	- Resíduos da Construção Civil
SEDUH	- Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação
SiBCS	- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIG	- Sistemas de Informação Geográfica
Sisnama	- Sistema Nacional de Meio Ambiente
SLU-DF	- Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNVS - Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
Terracap - Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), a utilização de soluções ambientalmente corretas na gestão de resíduos propicia uma considerável economia para o orçamento público e assegura um dos princípios fundamentais da Constituição da República Federativa do Brasil, 1988, aquele que garante a todos o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, considerado bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, que deve ser preservado para as presentes e futuras gerações (ABRELPE, 2017).

Ao se analisarem os relatórios do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) dos anos de 2008 e 2016, pode-se perceber que a disposição de resíduos sólidos não foi foco no Brasil ao longo dos anos. Conforme relatório recente da ABRELPE (2017), em torno de 40% dos resíduos gerados no Brasil ainda são dispostos em locais irregulares.

Os dados gerados pelo SNIS nesse âmbito são precários, visto que as informações de deposição são fornecidas pelas prefeituras, que, apesar de não serem as únicas responsáveis, muitas vezes, não possuem profissionais com conhecimentos técnicos da área. Isso prejudica o mapeamento do real problema e a promoção de ações de combate e redução do número de lixões e aterros controlados.

Essa configuração é extremamente preocupante, visto que, de acordo com a Associação Internacional de Resíduos Sólidos- ISWA (2016), essas unidades representam as maiores fontes de poluição de ar, solo e águas do planeta. Justamente devido a esse cenário, a ISWA, junto com outras associações, como a ABRELPE no Brasil, começou uma campanha de erradicação dos 50 maiores lixões do mundo.

O primeiro passo da ABRELPE, junto à gestão do Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal- SLU-DF, foi trabalhar para fechar o segundo maior lixão do mundo, que se encontrava na capital do Brasil- o Aterro Controlado do Jockey Club de Brasília- Aterro JCB. Foram mais de 50 anos de operação, sendo que, nesse período, o lixão serviu como ponto de despejo para todo tipo de resíduo, desde domésticos até hospitalares, passando por aqueles provenientes da construção civil.

O cenário no Aterro JCB era alarmante: havia cerca de 2 mil catadores de materiais recicláveis trabalhando em cima do maciço de lixo, em condições desumanas, sujeitos a acidentes e a todo tipo de contaminação. Segundo Paulo Celso dos Reis, diretor técnico do SLU-DF, por ano, aconteciam, em média, dois acidentes fatais, além daqueles menos graves, mas muito mais frequentes (G1 GLOBO, 2018).

Além disso, o lixão foi construído sem o planejamento e a infraestrutura adequados, não foi feita a impermeabilização do solo, gerando percolação do lixiviado, podendo atingir mananciais responsáveis pelo abastecimento de água do Distrito Federal-DF. Em 2018, o local foi desativado e passou a funcionar apenas como Unidade de Recebimento de Entulhos- URE, recebendo apenas resíduos da construção civil. Essa situação é temporária e será mantida somente enquanto não são feitas as concessões, por parte da Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal- Terracap, de locais para tratamento e reciclagem desse tipo de resíduo. Os resíduos domiciliares estão sendo encaminhados para o novo Aterro Sanitário de Brasília- ASB, que foi construído com base em todas as normas e procedimentos técnicos necessários e sem a permissão de entrada de catadores (Metrópoles, 2018).

O espaço de 200 hectares onde fica localizado o lixão, apesar de não aparentar, pode trazer ainda muitos benefícios. Há diversos trabalhos relacionados à produção de energia a partir de mineração de resíduos e da coleta de metano, projetos inovadores focados no conceito de economia circular, que considera toda a cadeia de produção, desde a extração até o destino do resíduo. Nesse contexto, a Companhia Energética de Brasília- CEB se interessou pelo potencial do Aterro JCB e está financiando um estudo com pesquisadores da Universidade de Brasília- UnB, denominado Remediação Ambiental- Energética e Sustentável para Aterros (RAEESA), em que o presente trabalho se enquadra.

O projeto RAEESA tem por objetivo analisar o potencial de geração de energia do Aterro JCB, por meio de três diferentes fontes: biogás, mineração e energia solar. Além disso, há um interesse em definir uma solução para a remediação do local, visto que, para a etapa de mineração, é de suma importância o desenvolvimento de estudos nesse campo. Isto posto, faz-se necessário a elaboração de uma proposta, para solucionar, também, os problemas de contaminação. Entretanto, para chegar a uma conclusão quanto à remediação de um aterro, exige-se que seja realizado um diagnóstico da situação local,

determinando as características do solo e do maciço de lixo para depois poder escolher qual a melhor forma de remediação.

Nesse contexto, no presente trabalho, serão realizadas pesquisas de metodologias já utilizadas para caracterização tanto geotécnica e de resíduos quanto geofísica. Tais métodos já foram analisados por diversos pesquisadores, inclusive para casos de remediação de aterros controlados e lixões. Para o próprio lixão da Estrutural (Aterro JCB) há muitos diagnósticos já realizados em outros períodos. Sendo assim, o objetivo desse trabalho é compilar informações a respeito dessas técnicas, escolher, baseado em critérios, os melhores métodos que devem ser aplicados, elaborando ao fim uma metodologia de caracterização de solos de aterros de resíduos sólidos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Elaborar uma metodologia de ensaios com base no estudo de caso do Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília, por meio de uma análise bibliográfica de técnicas de caracterização geotécnica, de resíduos e geofísica utilizadas em aterros de resíduos sólidos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma revisão bibliográfica no Brasil focada na caracterização de aterros de resíduos sólidos;
- Classificar os trabalhos em função dos tipos de caracterização;
- Analisar pesquisas recentes desenvolvidas no Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília, DF;
- Mapear os ensaios já realizados no Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília, DF;
- Propor uma campanha de ensaios necessárias para classificar um Aterro de Resíduos Sólidos em função das informações obtidas durante a pesquisa.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com a Política Nacional de Saneamento Básico (lei nº 11.445/ 2007)- PNSB, o conceito de saneamento engloba abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas e limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. No presente trabalho, dar-se-á enfoque a esse último tópico. Neste momento, será realizada uma contextualização quanto à problemática estudada. É imprescindível ressaltar os aspectos legais relacionados ao tratamento e destinação de resíduos sólidos no Brasil, bem como o histórico do problema. Para a definição dos ensaios de caracterização do Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília- Aterro JCB, também serão apresentados estudos já desenvolvidos nessa área.

3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS NO SANEAMENTO DO BRASIL

Segundo Boscov (2008), resíduo pode se referir a qualquer tipo de matéria descartada ou abandonada durante atividades industriais, comerciais, domésticas ou outras, como também a produtos secundários cuja demanda econômica é inexistente e que necessitam de disposição. No âmbito social, o conceito de resíduo é frequentemente associado a “lixo”. Em uma pesquisa realizada por Neto (2005), com estudantes de ensino fundamental, para 82% dos entrevistados, lixo são restos inúteis que não podem ser reaproveitados. Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004), resíduos sólidos são definidos como:

“aqueles nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível.”

Ainda sobre a definição de resíduos sólidos, pode-se apresentar o exposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010) no inciso XVI de seu artigo 3º, em que a definição apresentada na NBR nº 10.004, (ABNT, 2004) é ampliada, focalizando a preocupação na etapa de disposição final, da seguinte forma:

“qualquer material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.”

No inciso XV, do artigo 3º, a PNRS define como rejeitos:

“os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.”

Sendo assim, a lei estabelece uma condição de máximo aproveitamento do resíduo antes do descarte, que pode ser feita por meio da reutilização, da reciclagem, da compostagem, da recuperação ou do aproveitamento energético. De acordo com a PNRS (2010), a disposição final é a última alternativa para os resíduos sólidos. Além das definições já descritas, precisa-se ressaltar as classes de resíduos definidas pela NBR nº 10.004 (ABNT, 2004) (Tabela 3.1).

Tabela 3.1- Classes de Resíduos Sólidos (NBR nº 10.004, ABNT, 2004)

		são aqueles em que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, podem apresentar riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, ou ainda os inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos
Classe I	Perigosos	
Classe II	Não-	são aqueles que não se enquadram na classe I e que podem ser combustíveis, biodegradáveis ou solúveis em água
A	inertes	
Classe II	Inertes	são aqueles que, ensaiados segundo o teste de solubilização apresentado pela NBR 10006/2004, não apresentam qualquer de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando os padrões de cor, turbidez, sabor e aspecto.
B		

Percebe-se, portanto, que as interações químicas e biológicas dos resíduos se relacionam diretamente à sua classificação. Há, ainda, uma classificação apresentada na PNRS (2010), indicada pelas Tabela 3.2 e Tabela 3.3.

Tabela 3.2- Classificação de resíduos quanto à origem (NBR nº 10.004, ABNT 2004)

I - Quanto à origem			
Resíduos	Definição	Resíduos	Definição
a) domiciliares	os originários de atividades domésticas em residências urbanas	g) serviços de saúde:	os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
b) Limpeza urbana:	os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;	h) construção civil:	os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
c) sólidos urbanos:	os englobados nas alíneas “a” e “b”;		os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
d) estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços:	os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;	i) agrossilvopastoris:	
e) serviços públicos de saneamento básico:	os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;	j) serviços de transportes:	os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
f) industriais:	os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;	k) mineração:	os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Tabela 3.3- Classificação de resíduos quanto à periculosidade (NBR nº 10.004, ABNT 2004)

II - Quanto à periculosidade	
Resíduos	Definição
a) perigosos:	aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
b) não perigosos:	aqueles não enquadrados na alínea “a”.

Posto isto, ficam claros os riscos de contaminação associados à resíduos, de forma que o correto tratamento dos resíduos gerados se torna uma obrigação e deixa de ser uma possibilidade.

Dentre essas destinações, destaca-se, como opções para disposição final, a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. Compreendendo-se por rejeitos aqueles resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (PNRS, 2010).

Apesar das recomendações contidas na PNRS, historicamente, os municípios brasileiros não têm dado a devida atenção a essa problemática. Mesmo com todos os riscos à saúde, à contaminação do solo e de lençóis freáticos e com a exigência da PNRS (2010) de que até 2014 todos os lixões do Brasil fossem extintos, a realidade que se apresenta, não é nada promissora. Diversos municípios continuam optando pelo despejo de resíduos em lixões ou em aterros controlados que diferem dos primeiros somente por receber uma camada de material inerte ao fim de cada jornada de trabalho (NBR nº 8849 ABNT, 1985). Esses dois tipos de destinação foram proibidos a partir da sanção da Lei 12.305/ 2010- Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil.

Tabela 3.4 - Quantidade de unidades de processamento de RSU com informações atualizadas, por tipo de unidade e agente operador (SNIS, 2016).

Tipo de unidade de processamento (*)	Quantidade de unidade por tipo de operador						Total	
	Prefeitura	Empresa	Consórcio	Associação catadores	Outro operador	Total		
						Absoluto	Relativo	
Lixão	1132	45	2	2	22	1203	30,3%	
Aterro controlado	566	46	4	11	1	628	15,8%	
Aterro sanitário	458	192	22	1	14	687	17,3%	
Unidade de triagem (galpão ou usina)	247	105	5	484	55	896	22,6%	
Un. de compostagem (pátio ou usina)	50	10	0	7	0	67	1,7%	
Unidade de transbordo (RDO+RPU)	59	56	1	4	1	121	3,0%	
Un. de tratamento por incineração	0	19	0	0	0	19	0,5%	
Unidade de manejo de galhadas e podas	24	8	0	0	0	32	0,8%	
Vala específica de RSS (res. De serv. Saúde)	15	4	1	0	0	20	0,5%	
Un. de tratamento por micro-ondas ou autoclave	2	16	0	0	0	18	0,5%	
Queima em forno de qualquer tipo	1	2	0	0	0	3	0,1%	
Aterro industrial	2	2	0	0	0	4	0,1%	
Área de transbordo e triagem de RCC** e volumosos {ATT}	19	12	1	2	2	36	0,9%	
Área de reciclagem de RCC** (antiga "estação de reciclagem entulho")	10	8	1	3	2	24	0,6%	
Aterro de RCC** (antigo "at. Inertes')	41	14	0	1	0	56	1,4%	
Outro	56	86	0	9	4	155	3,9%	
Total - 2016	2682	625	37	524	101	3969	100,0%	
	67,6%	15,7%	0,9%	13,2%	2,5%	100,0%	*	
Total - 2015	2625	600	28	510	96	3859	100,0%	
	68,0%	15,5%	7,0%	13,2%	2,5%	100,0%	*	
Total - 2014	2702	621	27	277	86	3713	*	
	72,8%	16,7%	0,7%	7,5%	2,3%	100,0%	*	

* Classificação segundo informações dos municípios

** RCC: Resíduos da construção civil

No Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos de 2008, construído pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), consta que a maior parte dos resíduos coletados era disposta em 189 aterros sanitários, aterros controlados ou lixões, compartilhados, ou não. Segundo a classificação dos órgãos gestores municipais, 24,3% eram lixões, 33,9% eram aterros controlados e 41,8% eram aterros sanitários. No entanto, o destino final da massa total de 28,4 milhões de toneladas não seguia a mesma distribuição: 65,1% eram dispostos em aterros sanitários, 21,4% em aterros controlados e 13,5% em lixões. Dessas unidades, 42,5% não tinham impermeabilização da base; 43,9% não tinham tratamento, nem internamente à sua área, nem externamente; 76,6% realizavam uma cobertura diária dos resíduos; 11 dessas unidades (3,6%) abrigavam 199 moradias de catadores; Além disso, 8.533 catadores, entre os quais 152 menores de 14 anos, trabalhavam rotineiramente em mais ou menos 70 desses lixões ou aterros.

Segundo o Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos de 2016, elaborado pelo SNIS, das 2.518 unidades por disposição no solo cadastradas, existiam 1.203 unidades classificadas como lixões, ou seja, 48% delas; 628 unidades classificadas como aterros controlados (25%) e 687 como aterros sanitários (27%). Os lixões, somados aos aterros controlados, representavam 46,15% de todos os tipos de unidade de processamento de resíduos do Brasil, como retratado na Tabela 3.4. Ou seja, o número de lixões aumentou drasticamente em um período recente de 8 anos. Entende-se que, pelos dados do diagnóstico serem obtidos junto às prefeituras de cada município, nem sempre as informações são fidedignas à realidade, posto o desconhecimento frequente dos agentes públicos que as fornecem. Ademais, muitos municípios podem ter alterado a classificação de suas formas de disposição no curso desses 8 anos. Todavia, a diferença dos dados colhidos expressa claramente a ausência de comprometimento com o fechamento de tais instalações até o ano de 2016. O cenário dos catadores de materiais recicláveis se alterou um pouco com a inserção de algumas cooperativas de materiais recicláveis na gestão dos resíduos sólidos de alguns municípios, entretanto, há ainda muitos catadores trabalhando em lixões, expostos a situações de completa insalubridade.

As Figura 3.1 e Figura 3.2 ilustram a realidade vivida por muitas famílias brasileiras que tiram a sua renda da venda de materiais recolhidos em lixões, trabalhando em regimes completamente exaustivos e insalubres, expostos a vetores de doenças, sem a utilização de equipamentos de proteção e correndo reais riscos de morte. Após janeiro de 2018, as

imagens descritas, felizmente, não representam mais a situação do Aterro JCB, visto que esse foi encerrado e não há mais a ação de catadores no local.



Figura 3.1 - Realidade no Aterro JCB até janeiro de 2018 (Foto: Myke Sena), (Jornal de Brasília, 2018).



Figura 3.2 - Catadores esperando a descarga de caminhão no antigo lixão da Estrutural em Brasília/ DF (Foto: Marília Marques), (Imprensa Pública, 2018).

De acordo com o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil, desenvolvido pela (ABRELPE, 2017), a disposição final de resíduos no país praticamente se manteve a mesma de 2016 para 2017, com uma proporção entre o que segue para locais adequados e inadequados bastante parecida com o ano anterior: cerca de 42,3 milhões de toneladas de RSU, ou 59,1% do coletado, dispostos em aterros sanitários e o restante, correspondente a 40,9% dos resíduos coletados, despejado em locais inadequados por 3.352 municípios brasileiros, totalizando mais 29 milhões de toneladas de resíduos em

lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações, com danos diretos à saúde de milhões de pessoas (Figura 3.3).

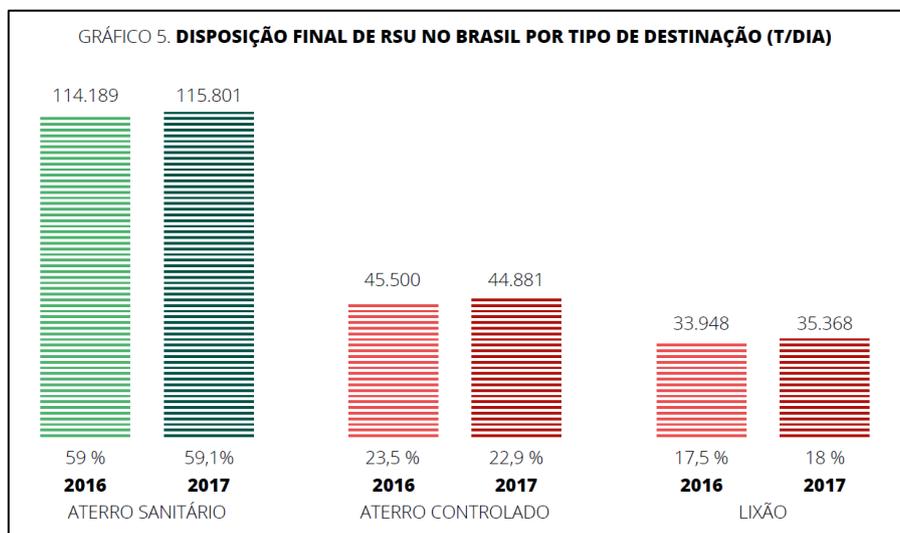


Figura 3.3 - Disposição final de Resíduo Sólido no Brasil (t/dia) - ABRELPE (2017)

Dessa forma, fica claro a situação crítica do Brasil frente às questões de disposição final de resíduos. Há muito despreparo e desconhecimento nos municípios e, pelo fato de os lixões e aterros estarem geralmente localizados em áreas mais afastadas, não são foco de investimentos públicos, tendo em vista que são ações pouco notadas e reconhecidas pela população.

Apesar da quase ausência de investimentos dos governos locais, há organismos tanto nacionais quanto internacionais interessados em combater a propagação de lixões pelo Brasil. A ISWA- Associação Internacional de Resíduos Sólidos lançou, em setembro de 2016, uma Campanha internacional pelo fechamento dos 50 maiores lixões do mundo. A decisão foi tomada após a constatação de que tais locais são as maiores fontes de poluição do planeta, haja visto todo o risco de poluição do ar, do solo e das águas associadas à utilização dos mesmos. A vida de milhares de pessoas é ameaçada, porque podem ser contaminadas com substâncias cancerígenas e tóxicas.

Junto à essa associação, agindo no território nacional, a ABRELPE tem concentrado esforços para transformar a realidade brasileira, divulgando o roteiro para Encerramento de Lixões, produzido pela ISWA. Na corrida para atingir a meta até 2030, o primeiro foco da campanha no Brasil foi o Aterro Sanitário do Jockey Clube de Brasília, muito

conhecido como Lixão da Estrutural. Esse local ocupava, no ranking mundial, a posição de segundo maior lixão do mundo e primeiro na América Latina, recebendo 4 mil toneladas de lixo e afetando 5 milhões de pessoas. O primeiro foco da campanha da ISWA e da ABRELPE, é também, o foco do presente trabalho (ABRELPE, 2017).

3.2. ATERRO CONTROLADO DO JÓQUEI CLUBE DE BRASÍLIA

O Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília (Aterro JCB) localiza-se no ponto $15^{\circ} 46' 20.7372''$ S, $47^{\circ} 59' 45.0204''$ W, a menos de 20 quilômetros do Palácio do Planalto, sede do governo brasileiro. O local de disposição tem como principal forma de acesso a Estrada Parque Ceilândia (DF-095), também conhecida como Via Estrutural, que liga o Plano Piloto às cidades de Taguatinga, Ceilândia e Brazlândia (Cavalcanti, 2013). Podem-se observar essas informações mais detalhadamente na Figura 3.4.

O Aterro JCB estabeleceu-se em formato trapezoidal, cujo vértice do topo do triângulo aponta aproximadamente para Noroeste. Ao Sul encontra-se uma porção de terra, que, no passado, fez parte do Aterro, atualmente, faz parte da região de Santa Luzia, habitada por famílias de baixa renda. A Oeste do Aterro, está o córrego Cabeceira do Valo e uma região de chácaras, de pequena produção hortifrutigranjeira. A Norte e a Leste, estão o córrego do Acampamento e a área do Parque Nacional de Brasília (PNB) (Cavalcanti, 2013). Na Figura 3.4 é possível visualizar toda essa configuração.

O clima da região, é o característico do Planalto Central brasileiro tropical, com duas estações bem definidas, o inverno seco e frio e o verão úmido e quente, de forma que as ocorrências de chuva são no verão e na estiagem do inverno- de novembro a abril. Diferenças de altitude provocam uma certa alteração na temperatura regional. A vegetação típica de Brasília é o cerrado, de árvores tortuosas e raízes profundas devido à escassez de água. Sendo que no Aterro JCB prevalece o Campo Limpo, variação dos Campos do Cerrado (Cavalcanti, 2013).

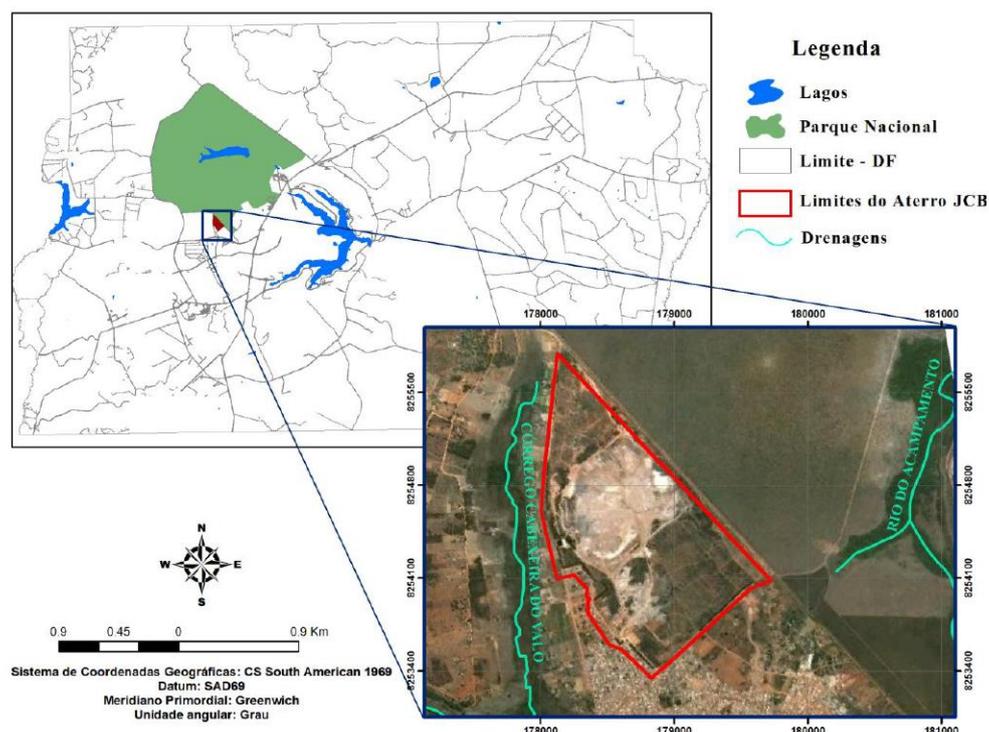


Figura 3.4 - Mapa de localização do Aterro Controlado do Jockey Clube, Cavalcanti (2013).

A unidade estratigráfica do aterro é ardósia, sendo a unidade geológica o Grupo Paranoá. A região conta com um desenvolvimento de solo bem estruturado sobre as ardósias. O solo superficial apresenta alta porosidade, variação de textura e composição mineralógica. As classes de solo predominantes na área são latossolo vermelho e latossolo vermelho-amarelo, nos arredores do aterro percebe-se a presença de zonas de gleissolo e cambissolo. Na Figura 3.5 pode-se analisar o mapa pedológico da região.

Desde meados da década de 50 até o início de 2018, quando teve suas atividades encerradas, esse aterro era o destino de toneladas de lixo geradas na capital federal, mais precisamente, cerca de 40 milhões de toneladas somadas ao longo dos mais de 50 anos de disposição indevida. O ponto mais alto da montanha de resíduos tem 55 metros de altura (Agência Brasília, 2018) e a área do aterro corresponde à 200 hectares (G1 GLOBO, 2018).

É importante contextualizar que, segundo Bernardes *et al.* (1999), ambos os córregos fronteiros ao aterro são afluentes de corpos d'água utilizados como fonte de abastecimento de água para Brasília. De tal forma que a contaminação gerada pela percolação do lixiviado do aterro afeta diretamente a qualidade da água que deve ser

tratada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal- CAESB e que é posteriormente distribuída às residências do Distrito Federal -DF.

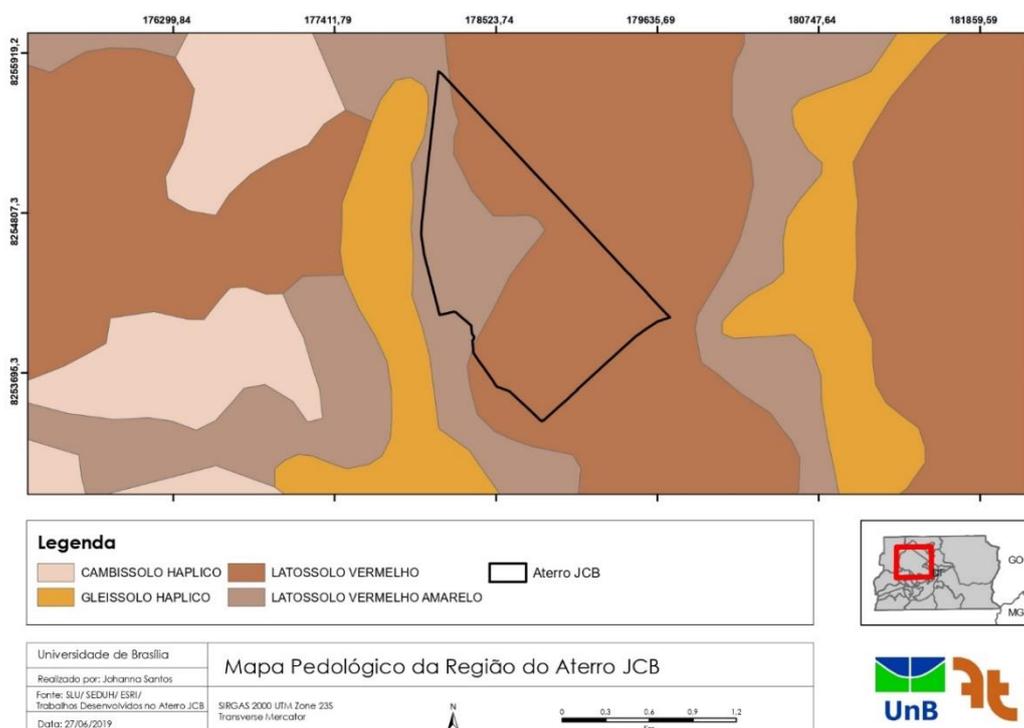


Figura 3.5- Pedologia da área de estudo

Além do problema de contaminação da água, há a questão do esgotamento da área. Não há mais espaço para a deposição e não há a presença de cobertura de solo. Em 2015, segundo a diretora-presidente do Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal- SLU-DF, o antigo lixão foi transformado em aterro controlado, por passar a contar com drenagem de gás e lixiviado (Agência Brasília, 2018). Entretanto, a própria gestão do SLU-DF reconheceu e trabalhou para que o Aterro JCB tivesse suas atividades encerradas.

Foram várias etapas durante os longos anos de deposição no aterro, a princípio, todo tipo de resíduo gerado em Brasília ia para o local, incluindo resíduos hospitalares, resíduos da construção civil e resíduos domiciliares urbanos. Tal configuração impacta, ainda hoje, na problemática do aterro, visto que não houve um padrão de disposição de resíduos ao longo do tempo que possa ser traçado e os dados que se têm são incertos. Diante do exposto, a necessidade de remediação da área é urgente.

3.3. ELEMENTOS NECESSÁRIOS PARA A REMEDIAÇÃO

Como já abordado no tópico anterior, existe uma problemática muito relevante em relação à contaminação em um lixão: a poluição de corpos hídricos. O lixiviado, o principal agente dessa contaminação, é um líquido negro, de odor nauseante que possui altas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos. Esse líquido resulta da percolação da água através dos resíduos em decomposição. A sua composição química varia de acordo com alguns fatores como condições pluviométricas locais, tempo de disposição e características do próprio lixo. O risco do lixiviado está associado principalmente à solubilidade das substâncias que o compõem, que podem facilmente contaminar as águas de lençóis freáticos e corpos hídricos nas proximidades de um lixão (Bertazzoli e Pelegrini, 2002).

Visto que o lixão de Brasília foi construído sem barreiras para a contaminação, pode-se concluir que a situação local é crítica. Sendo assim, é necessária a realização de estudos para que a poluição seja contida. Para trabalhar nesse contexto, sabe-se que a remediação é um dos passos mais importantes a serem dados. Todavia, de acordo com a literatura de Mecânica dos Solos, para realizar um trabalho de remediação de áreas contaminadas por resíduos, é imprescindível passar pela etapa inicial de diagnóstico, onde são coletadas informações sobre o meio atingido e sobre as características da contaminação.

Há diversas caracterizações que são necessárias para a elaboração de um reconhecimento situacional completo. Segundo um termo de referência elaborado pelo Núcleo de Estudos de Resíduos Sólidos, Fundação Universidade Federal do Rio Grande (NERS/RG, 2003), sugerem-se estudos do meio físico, do meio biótico, do meio antrópico, bem como um diagnóstico específico da pluma de contaminação, contando com a identificação da fonte a partir de análises do lixiviado gerado, além da identificação das características do perfil geotécnico (análises geofísicas). Outros trabalhos, como Barbosa *et al.* (2001), sugerem ainda análises específicas de solo, ou, em outros casos, análises dos resíduos depositados.

3.4. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Diversos trabalhos já foram desenvolvidos no âmbito da caracterização geotécnica de aterros sanitários. Muitos dos ensaios realizados têm carácter de grande importância na tomada de decisão de qual tipo de remediação é mais adequado para um determinado local. Neste trabalho, serão apresentados aqueles ensaios que se revelam mais essenciais para o diagnóstico das áreas de estudo, de acordo com a literatura de mecânica dos solos. Como o Brasil está localizado em uma zona tropical, boa parte do seu solo apresenta características típicas de não saturados, de forma que revelam comportamento mecânico e propriedades físico-químicas divergentes da mecânica dos solos tradicional. Portanto, para construir essa seção do trabalho, será utilizada como base a literatura geotécnica específica para solos não saturados. Percebe-se que, nos estudos analisados, antes da classificação a partir de ensaios, é realizada uma classificação do solo com base na pedologia local, conforme foi realizado pelo presente estudo na seção 3.2, esse dado auxilia nos ensaios de caracterização, pois cada classe de solo possui particularidades que podem ser confirmadas por meio de experimentos.

3.4.1. Características Físicas

Os solos aqui estudados possuem diversas propriedades físicas, são elas: estrutura do solo, textura do solo, porosidade, cor e consistência. Juntas, tais propriedades definem as características físicas do solo de um determinado local. Conhecer esses parâmetros, possibilita o entendimento dos mecanismos que regem o comportamento do solo em estudo, tornando possível o uso e manejo do mesmo. Para a definição das características físicas de um determinado solo, é necessário a realização de ensaios, que devem seguir o disposto pela ABNT (Camapum de Carvalho, *et al.* 2015).

As normas da associação que são relacionadas a esse procedimento, são:

NBR 7181 (ABNT, 2018) - Análise granulométrica - procedimento.

NBR 6458 (ABNT, 2016) - Determinação da massa específica.

NBR 6459 (ABNT, 2016) - Determinação do limite de liquidez.

NBR 7180 (ABNT, 2016) - Determinação do limite de plasticidade.

NBR 7182 (ABNT, 2016)- Ensaio de compactação.

3.4.1.1. Granulometria

Os solos também podem ser classificados de acordo com o tamanho de suas partículas. Essa medição das dimensões, que podem variar desde intervalos de micro até centímetros, de suas partículas denomina-se granulometria. A NBR nº 7181 (ABNT, 2018) apresenta uma metodologia para delimitação da granulometria dos solos por peneiramento ou por sedimentação combinada com peneiramento. A Figura 3.6 ilustra procedimentos de ensaio de granulometria.

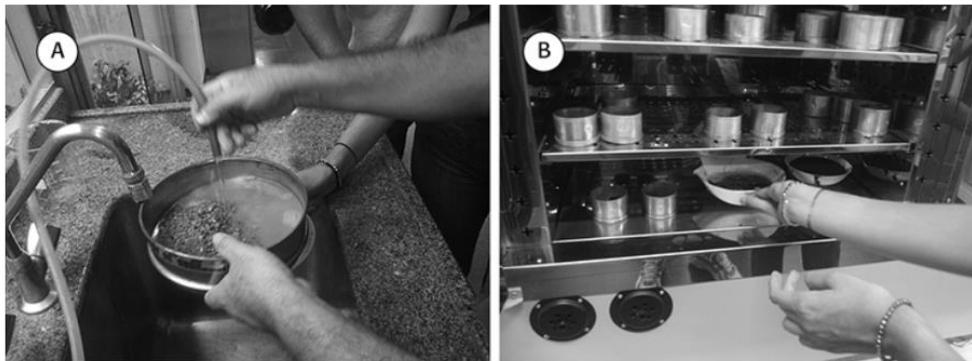


Figura 3.6 - Ensaio de Granulometria: (A) Lavagem da amostra e (B) Secagem dos finos, Massad (2016).

Além da granulometria pode ser realizado também o ensaio de Difractometria de Raios-X, um procedimento originário da geofísica, comumente utilizado pela geotecnia, que permite a determinação quantitativa dos minerais presentes nos solos considerando todas as frações existentes na amostra.

3.4.1.2. Massa específica

Relação entre quantidade de matéria (massa) e volume. Razão entre a massa total e o volume total do solo. A NBR nº 6458 (ABNT, 2016) apresenta o método para a determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água dos grãos de pedregulhos retidos na peneira de 4,8 mm, por meio da realização de ao menos dois ensaios. Além disso, a norma define o método para o cálculo da massa específica dos grãos de solos que contêm frações retidas e passadas na peneira utilizada. A massa específica é um dos índices físicos comumente determinados na mecânica dos

solos, além dela, costumam ser medidos o peso específico, índice de vazios, porosidade, teor de umidade, grau de saturação e outros.

3.4.1.3. Limite de liquidez

O limite de liquidez (LL) é uma medida do espaçamento entre as partículas de solo no qual as forças de atração são reduzidas a um valor tal que a resistência ao cisalhamento é de, aproximadamente, 2,5 kPa (25 g/cm²). A determinação do LL é feita por meio do ensaio de Casagrande (Figura 3.7).

O LL pode ser definido como a umidade de um solo remoldado no limite entre os estados líquido e plástico. É um dos três Limites de Atterberg (liquidez, plasticidade e contração) e auxilia na representação da plasticidade- indicadora da interação do solo com a água. Há uma relação entre os limites de liquidez e plasticidade, a diferença dos dois valores resulta no índice de plasticidade, como na Figura 3.8 (NBR nº 7180, ABNT, 2016). Já o limite de contração corresponde à umidade máxima de um solo, em que a diminuição da umidade não causa redução do volume do solo, é a fronteira entre o estado semissólido e sólido do solo (Camapum de Carvalho, *et al.* 2015).



Figura 3.7 - Ensaio de Casagrande para determinação do Limite de liquidez Casagrande, Massad (2016).



Figura 3.8 - Conceituação Básica LL e LP, Massad (2016).

3.4.1.4. Limite de plasticidade

O Limite de plasticidade (LP) é ponto de umidade em que água livre começa a existir em excesso, ou seja, em quantidade maior do que a necessária para satisfazer a adsorção forte. Ao se atingir o LP, há o princípio da formação de uma camada dupla. Também pode ser interpretado como o teor de umidade limite, abaixo do qual o solo perde

a plasticidade, isto é, deforma-se, com mudança de volume e com trincamento. Na Figura 3.9, pode-se visualizar parte do processo de obtenção do LP.



Figura 3.9 - Determinação do limite de plasticidade, Massad (2016).

O LP também pode ser definido como a umidade de um solo remoldado no limite entre os estados plástico e semissólido. Assim como o limite de liquidez, é um dos Limites de Atterberg e também auxilia na representação da plasticidade.

3.4.1.5. Ensaios de compactação

A compactação visa aumentar a compacidade de um solo por meio da redução de vazios, com a utilização de esforços externos. A consistência e a compacidade são propriedades, de solos argilosos e arenosos, respectivamente, relacionadas ao teor de umidade presente naqueles. A depender da quantidade de água contida em seus vazios, o solo pode apresentar-se em estado líquido, plástico, semissólido ou sólido. Com o aumento da densidade do solo, gerado pela compactação, reduz-se o índice de vazios e as propriedades se tornam melhores. A partir da metodologia exposta na NBR nº 7182 (ABNT, 2016), pode-se determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados. A Figura 3.10 exemplifica um ensaio de compactação.



Figura 3.10 - Ensaio de Compactação, Massad (2016).

Os ensaios de compactação também são empregados na preparação de amostras para experimentos de compressibilidade e resistência ao cisalhamento. O estudo de tais características é fundamental para a análise e previsão da movimentação de um maciço de resíduos ao longo dos anos.

3.4.2. Características Químicas

Para os solos não saturados, característicos de Brasília, são bastante relevantes as seguintes propriedades: pH, potencial redox (Eh), superfície específica, ponto de carga zero (PCZ), atividade físico-química expressa pelas capacidades de troca catiônica (CTC) e aniônica (CTA), capacidade tampão e estabilidade dos agregados do solo. Dentre essas, o pH e o Eh são influenciados pela mineralogia do solo e pelo teor e composição química da água presente. As outras propriedades, estão relacionadas à mineralogia. No Brasil, utiliza-se como maior referência para os ensaios que fornecem essas propriedades, o Manual de Métodos de Análise de Solo produzido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Embrapa (2017).

A avaliação das concentrações de metais, de nutrientes e de contaminante, o teor de matéria orgânica, a DQO e a saturação por bases e alumínio também podem contribuir na determinação das condições de um solo e são fatores, frequentemente, monitorados.

3.4.3. Propriedades Hidráulicas

As propriedades hidráulicas de um solo estão diretamente relacionadas às condições de percolação desse. Denomina-se condutividade hidráulica o coeficiente de permeabilidade dos solos.

Permeabilidade é o parâmetro utilizado para medir a velocidade aparente de um fluido ao penetrar um meio com certo índice de vazios. Para a Geotecnia, determinar esse

parâmetro significa lidar com os problemas que envolvem fluxo de água. A permeabilidade é fundamentada na Lei de Darcy, que apresenta que a vazão de água percolada através de uma areia é proporcional ao gradiente hidráulico e à área da seção transversal do permeâmetro.

Há alguns fatores que interferem na determinação do coeficiente de permeabilidade como: porosidade do solo, grau de saturação, tamanho e forma das partículas, composição mineralógica, estrutura do solo e viscosidade do fluido. Entretanto, as informações principais para determinação do coeficiente de permeabilidade são: grau de compactação, grau de saturação e índice de vazios. Na Figura 3.11, observa-se um dos procedimentos do ensaio de permeabilidade.

A sucção também é um fator a ser avaliado no que concerne às propriedades hidráulicas de um solo. É definida como uma capacidade energética de um solo para reter água. Presente em minerais menores e mais ativos, assume uma natureza predominantemente química. Em minerais mais granulares e menos ativos, a retenção de água assume natureza predominantemente física, originando o efeito capilar.



Figura 3.11 - Coleta de vazão de percolação no ensaio de permeabilidade, Massad (2016).

3.5. CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Para a caracterização de aterros de resíduos sólidos, é fundamental a realização de estudos visando à definição das características dos materiais aterrados no local. Nos estudos encontrados cujo escopo abrangia as propriedades dos resíduos sólidos executaram-se ensaios muito semelhantes aos padronizados para a geotecnia. Dessa forma, nesse tópico, foram abordados somente aqueles que foram desenvolvidos somente para os estudos com resíduos sólidos. Ressalta-se que, para o caso do Aterro JCB no cenário abordado pelo presente trabalho, a caracterização dos resíduos é indispensável

tpara a mineração do aterro. A partir dessas características, será possível determinar quais áreas de deposição contêm resíduos com maior potencial gerador de energia.

3.5.1. Gravimetria

A gravimetria constitui-se num método de classificação do percentual de cada tipo de resíduo gerado. Assim, o material a ser trabalhado é separado em categorias, como orgânicos, papel/ papelão, plástico, papeis, metais e outros. Sabe-se que a composição gravimétrica dos resíduos está intimamente ligada à renda da população. Populações de mais alto poder aquisitivo tendem a consumir mais produtos industrializados, gerando um percentual de orgânico bem menor e, conseqüentemente, maior quantidade de resíduos de vidros e plásticos. A composição física dos resíduos é condicionante do comportamento global do aterro, e se trata de conhecimento relevante para estudos da área (Cardim, 2008).

O percentual de orgânicos correlaciona-se diretamente ao teor de umidade e à capacidade de retenção dessa, à permeabilidade e ao peso específico dos resíduos. Plásticos, borrachas, panos e outros materiais semelhantes são formados por elementos fibrosos que afetam diretamente o comportamento do maciço, especialmente no que diz respeito à resistência ao cisalhamento, visto que atribuem falsos valores de coesão. Quanto aos materiais inertes e de dimensões estáveis, como resíduos de construção, proporcionam à massa de resíduos uma resistência ao atrito entre as partículas (Cardim, 2008).

Dentro das novas perspectivas para a área de resíduos sólidos no mundo, as análises de potencial calorífico vêm ganhando espaço. Essa propriedade é uma quantificação do potencial de recuperação de energia a partir da incineração dos resíduos. Como cada material tem um potencial de queima diferente, o resultado desse parâmetro é diretamente influenciado pela composição gravimétrica dos resíduos (Quaghebeur et al., 2013).

3.5.2. Recalque

A compressibilidade é um dos fenômenos mais estudados dentro das análises de resíduos, visto que o lixo depositado em aterros sofre intensos processos de degradação, levando à recalques gradativos ao longo dos anos. A previsão desse processo auxilia na avaliação da eficiência dos componentes de um aterro como camadas de cobertura, drenos de gases e fluidos, reforços e outros. Além disso, uma estimativa acurada da

deformabilidade das massas de resíduos é determinante para a vida útil de um aterro, tendo em vista que a partir disso pode-se calcular a capacidade volumétrica adicional gerada pelo recalque. Assim, é possível perceber facilmente que, o cálculo da densidade, ou seja, do volume ocupado pelos resíduos constitui também um importante parâmetro de dimensionamento (Cardim, 2008).

3.5.3. Processo de Degradação

A degradação dos resíduos é fruto de uma transformação integrada de processos físico-químicos e biológicos. Estes últimos são os de maior destaque nos resíduos orgânicos e de certa forma naqueles provenientes de celulose. A idade do resíduo, a umidade, a composição gravimétrica, o teor de matéria orgânica, a temperatura e a presença de nutrientes para o desenvolvimento microbiano são fundamentais no processo de degradação da matéria (Cardim, 2008).

A matéria orgânica, a princípio no estado sólido, sofre ação dos microrganismos, sendo transformada em altas concentrações de gases metano, gás carbônico, ácido sulfídrico, amoníaco e outros e uma parcela de lixiviado. Sendo assim, o monitoramento de gases e de lixiviados é, também, muito recorrente nos estudos analisados (Cardim, 2008). Dentro das propriedades dos resíduos, o controle de alguns parâmetros auxilia no monitoramento da degradação da matéria orgânica. Portanto, frequentemente os valores de sólidos totais, sólidos totais voláteis, carbono, nitrogênio, hidrogênio, cloreto, concentração metais e outros compostos presentes no lixiviado e nos resíduos são determinados por meio de ensaios. Além disso, a condutividade elétrica, medida da capacidade de uma solução de condução de corrente elétrica, se revela como um importante fator no entendimento das fases de estabilização da matéria orgânica em aterros de resíduos (Alcântara, 2007).

3.6. CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA

Há vários métodos geofísicos amplamente utilizados em investigações ambientais em aterros e lixões. Isso se dá pelo fato de os materiais poluentes apresentarem uma boa variação de contraste das propriedades físicas com relação ao meio em que são dispostos. Dentre os métodos existentes, destacam-se seis que serão abordados no presente estudo: eletrorresistividade, polarização induzida, potencial espontâneo, eletromagnético indutivo, *Ground Penetrating Radar* (Radar de Penetração no Solo)- GPR e sísmico. Para

cada um desses métodos, há um parâmetro geofísico correspondente (Tabela 3.5). Nos subtópicos elaborados na sequência, analisou-se cada técnica separadamente.

Tabela 3.5- Métodos geofísicos e os parâmetros físicos correspondentes, Braga (2006)

Métodos Geofísicos	Parâmetros Físicos
Eletorresistividade	Resistividade elétrica
Polarização induzida	Variações de voltagem
Potencial espontâneo	Potencial natural
Eletromagnético	Condutividade elétrica
Radar de penetração	Constante dielétrica/ permissividade dielétrica
Sísmico de reflexão e refração	Velocidade de propagação de ondas mecânicas

3.6.1. Eletorresistividade

Pertencente ao grupo dos métodos geoeletricos, esse método utiliza como parâmetro físico a resistividade elétrica. É o mais simples para a manipulação e para o entendimento, por fazer uso da condução direta de corrente. A metodologia consiste em identificar a distribuição da resistividade no solo e utilizá-la como base para o estudo da subsuperfície. Faz-se o uso de medidas da diferença de potencial elétrico entre dois pontos do terreno, correlacionadas às distribuições de correntes elétricas contínuas ou de baixa frequência, de origem artificial, visando alcançar o valor da resistividade elétrica dos materiais geológicos presentes naquela camada de solo (Braga, 2016).

Em geral, o método da eletorresistividade baseia-se na introdução de uma corrente elétrica artificial por meio de dois eletrodos (A e B), buscando obter a diferença de potencial gerado em outros dois eletrodos (M e N) como resultado da passagem do fluxo de corrente, possibilitando a determinação da resistividade real ou aparente em subsuperfície como está representado na Figura 3.12 (Braga, 2006).

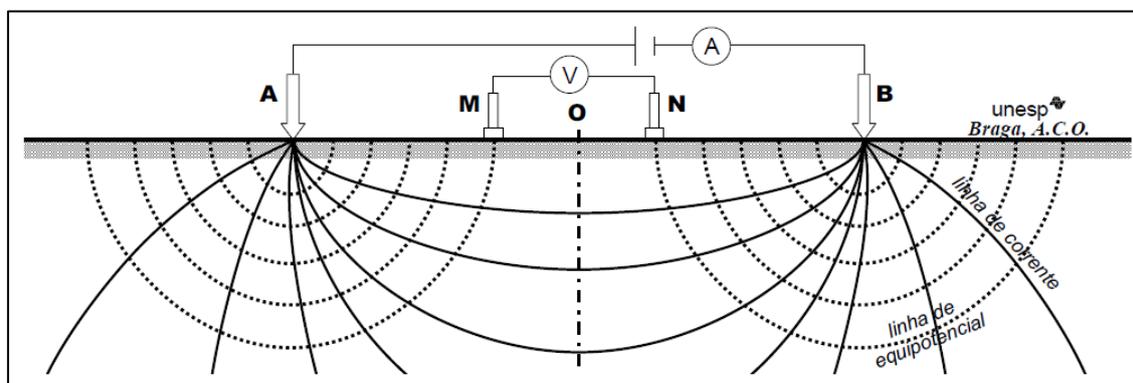


Figura 3.12 - Configuração de campo no método de eletorresistividade, Braga (2006)

Com base na literatura geofísica, a resistividade dos solos e rochas que apresentam condutividade eletrolítica é função de quatro elementos: composição mineralógica, porosidade, teor de água e quantidade/ natureza dos sais dissolvidos. No caso, os estudos ambientais, focos do presente trabalho, têm-se como cerne a quantidade de água contida e a salinidade dessa água, visto que o aumento desses fatores gera uma diminuição dos valores de resistividade. Há duas técnicas de aplicação do método de eletrorresistividade: a sondagem elétrica vertical (SEV) e o caminhamento elétrico, que diferem entre si pela configuração dos eletrodos (Veloza, 2006).

A SEV é mais apropriada para informações pontuais a diferentes profundidades. Para estudos ambientais, essa técnica apresenta grande importância na detecção e caracterização da poluição do solo e do lençol freático. De forma ainda mais específica, nas pesquisas em áreas de disposição de resíduos, é possível obter a profundidade da rocha sã, a profundidade do nível freático e a direção do fluxo da água subterrânea. A Figura 3.13 representa a aplicação desse método (Veloza, 2006).

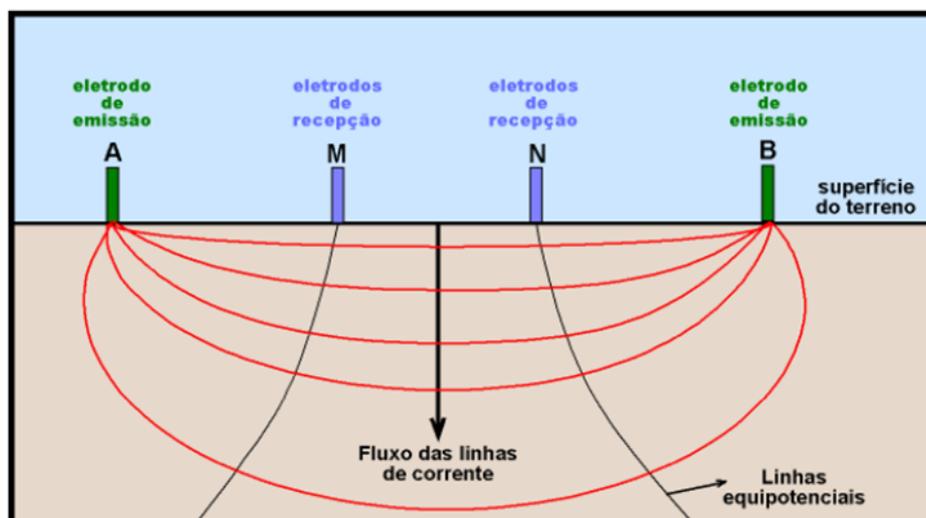


Figura 3.13 - Representação SEV, Veloza (2006)

Quanto ao caminhamento elétrico, a técnica fundamenta-se na obtenção da variação lateral da resistividade a uma proximidade quase constante. Adota-se um espaçamento entre os eletrodos e realizam-se medições de resistividade aparente ao longo dos perfis. Esse método é ilustrado na Figura 3.14. Há diversas possibilidades de arranjos geométricos, e frequentemente, combinam-se as duas técnicas, SEV e caminhamento elétrico, para a obtenção de resultados mais satisfatórios (Veloza, 2006).

Segundo Braga (2006), a resistividade varia conforme a porosidade, composição mineralógica, grau de saturação, resistividade do fluido, tamanho e forma das partículas sólidas, condições de metamorfismo e outros fatores. Assim, é um importante parâmetro para a investigação geofísica em um aterro.

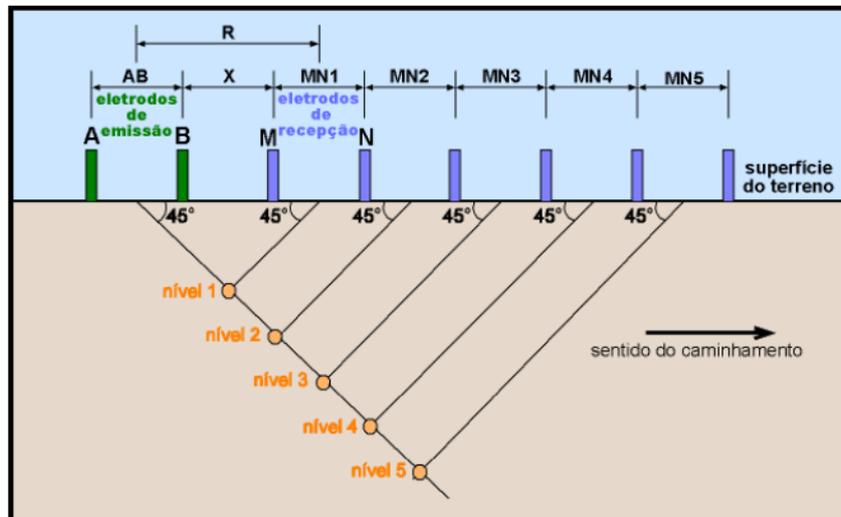


Figura 3.14 - Representação Caminhamento Elétrico, Velozo (2006).

3.6.2. Polarização Induzida

O método de polarização induzida surgiu em meados da década de 20, quando um pesquisador de nome *Conrad Schullumberger* percebeu, em estudos geoeletricos próximos a jazidas de sulfetos, que, quando uma corrente elétrica era interrompida, o campo criado não se extinguia bruscamente, mas de forma lenta. Teoricamente, a resposta da polarização induzida é uma quantidade, com dimensões, muito reduzida, na prática medida tal como uma variação de voltagem em função do tempo ou frequência, que recebem os nomes, respectivamente, de IP-Domínio do Tempo e IP- Domínio da Frequência (Braga, 2006).

Na variação temporal, aplica-se, por meio da emissão de eletrodos de corrente (A e B), cravados na superfície de um terreno, uma diferença de potencial primária ao solo (ΔV), provocando uma polarização desse. A diferença de potencial primária (ΔV_p) não estabiliza e nem se anula de forma instantânea quando a corrente é emitida e cortada em pulsos sucessivos, ela varia com o tempo na forma de uma curva, conforme exposto na Figura 3.15 (Braga, 2006).

A amplitude do gráfico representa a maior ou menor capacidade dos diferentes materiais de se polarizar e são, de tal forma, a essência do método. Assim, a capacidade

de polarização constitui a susceptibilidade IP dos materiais. Há dois fenômenos físico-químicos principais para explicar a polarização induzida, a polarização metálica ou eletrônica e a polarização de membrana. A primeira acontece pela passagem da condução iônica para a eletrônica e vice-versa, criando concentrações de íons diferentes do estado natural. Quando a corrente é interrompida, a organização volta ao normal, mas, para isso, leva um certo período, em que se pode observar a polarização do corpo - na Figura 3.16, pode-se observar um esquema da situação descrita. Este fenômeno é muito importante para a identificação de metais condutores (condutibilidade eletrônica) que não apresentam continuidade elétrica. É nesse ponto que o método se diferencia dos outros semelhantes a ele, eletrorresistividade e eletromagnetismo, por se adequar melhor a tais situações (Braga, 2006).

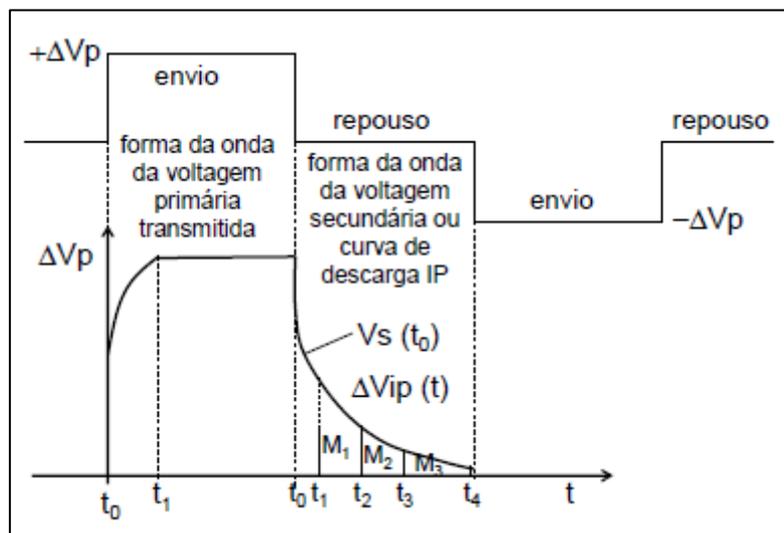


Figura 3.15 - Curva de descarga IP na polarização induzida, Braga (2006)

A polarização de membrana acontece em solos cuja composição não apresenta substâncias metálicas. É um fenômeno fruto da diferença de mobilidade entre os ânions e cátions, frequentes em minerais argilosos. Ocorre a formação de gradientes de concentração que geram uma sobretensão residual (Braga, 2006).

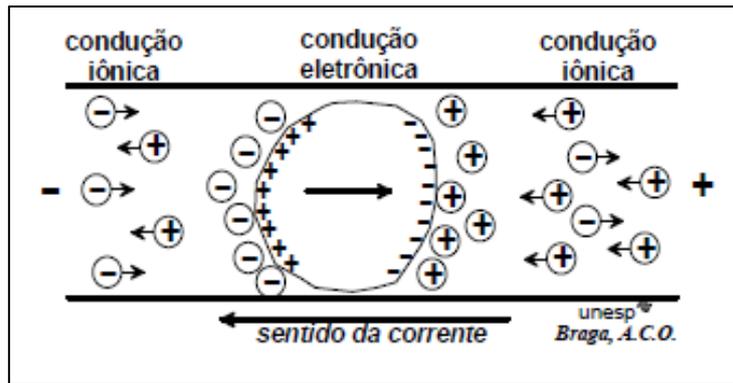


Figura 3.16 - Esquema da Polarização Metálica ou Eletrônica, Braga (2006)

3.6.3. Potencial Espontâneo

Um dos mais antigos métodos geofísicos, o potencial espontâneo surgiu em 1830 e é amplamente utilizado em estudos de águas subterrâneas dentro do campo da engenharia. Em pesquisas recentes, vem sendo aplicado também para a determinação do gradiente de concentração de contaminantes em subsuperfície. É um método rápido e de baixo custo de aquisição. Baseia-se na leitura de campo elétrico natural, sem que seja preciso utilizar circuitos de injeção de corrente elétrica ou geração de campo eletromagnético. As anormalidades apresentadas no método são fruto de variações na temperatura, gradiente de pressão, porosidade, migração de fluidos, variação de resistividade e da umidade do solo (Moreira, 2009).

Na aplicação do método, parte-se do princípio de que, em certas condições, heterogeneidades condutoras do subsolo se polarizam e geram correntes elétricas (Veloza, 2006). Em relação ao processo geracional, o potencial espontâneo classifica-se em eletroquímico, eletrolítico e mineral. O primeiro engloba o potencial de difusão e o potencial de *Nernst*; o segundo abrange o potencial de eletrofiltração e o potencial bioelétrico; e o último surge devido a reações geoquímicas de oxidação/redução num corpo de minério (Moreira, 2009).

Dentro do potencial eletroquímico, o potencial de difusão relaciona-se a gradientes de concentração de espécies iônicas em subsuperfície, diferenças na mobilidade de cátions e ânions determinam diversas taxas de difusão e a formação de um potencial elétrico. O potencial de *Nernst* é também tratado como potencial de folhelho em perfilagens de poços. Em locais onde há o contato de níveis de folhelho com arenito, ocorre uma diferença de potencial fruto da permeabilidade dos meios a íons específicos, e, como consequência dessa diferença, há uma busca pela estabilidade, cujo equilíbrio foi

estudado e definido por *Nernst*. A magnitude dos dois processos explicitados nesse parágrafo é diretamente proporcional à temperatura (Moreira, 2009).

Para o potencial eletrolítico, observa-se também a existência de dois potenciais específicos. O primeiro deles, o potencial de eletrofiltração, é fruto do encontro da água com outro fluido qualquer ou com rochas porosas ou fraturadas. Quanto maior o volume de precipitação e mais acentuadas as características citadas, maior a amplitude do potencial de eletrofiltração. O segundo potencial, bioelétrico, é gerado pela seletividade de íons à ação de absorção de água pelas raízes das plantas. Tal fenômeno pode criar campos elétricos (Moreira, 2009).

O potencial mineral pode ser comparado ao comportamento de uma célula galvânica, como a ilustrada na Figura 3.17. Tal configuração é consequência da presença de diferentes depósitos minerais, em que ocorrem reações de oxirredução (Moreira, 2009).

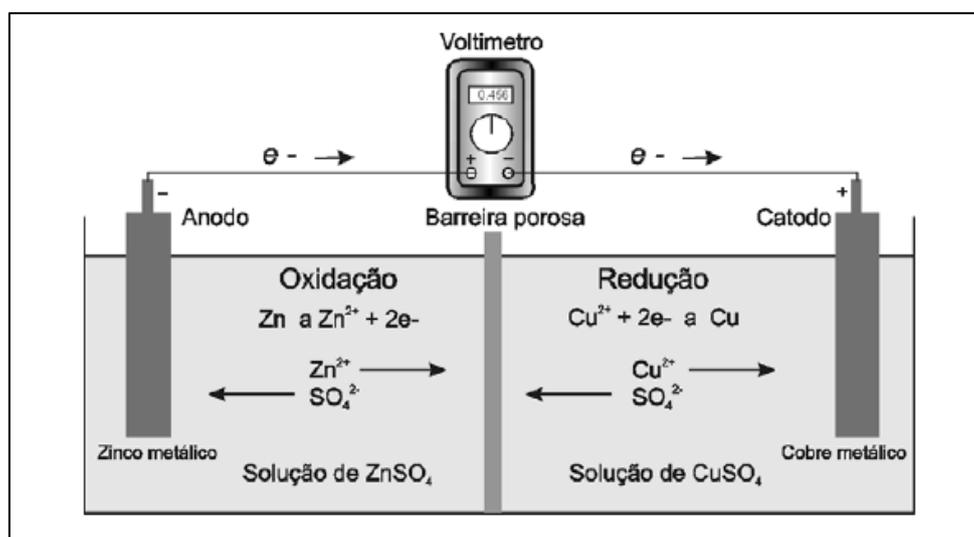


Figura 3.17 - Diferença de potencial redox em célula galvânica, adaptada Moreira (2009)

Moreira (2009) combinou os três métodos geofísicos supracitados - eletrorresistividade, polarização induzida e potencial espontâneo- sobre valas de resíduos fechados ano a ano, no aterro controlado do município de Cordeirópolis (SP). Em seus estudos, foi possível verificar que a degradação de resíduos sólidos e seus subprodutos alteram as propriedades físicas do meio geológico, de forma associada a uma relação direta entre a queda nos valores de resistividade e as elevadas concentrações de lixiviado. A resistividade resultou em baixos valores onde as valas eram mais recentes e aumento

progressivo nas valas mais antigas. Em comparação aos valores de referência, os resultados indicam idade de término da produção e percolação de lixiviado para o subsolo.

3.6.4. Eletromagnético Indutivo

O presente método é extensamente utilizado devido à simples e rápida operação, ilustrada na Figura 3.18. Por meio dos equipamentos, é possível realizar mapeamentos de plumas de contaminação, intrusões salinas, exploração arqueológica, entre outros. O aparato permite a medição direta da condutividade dos materiais geológicos com base nos princípios de indução eletromagnética. É formado por duas bobinas, uma transmissora (Tx) e outra receptora (Rx), e, ligado a primeira, existe um módulo de controle e emissão de corrente elétrica alimentado por uma bateria; ligado à segunda, existe um módulo de leitura. Os módulos ficam interligados por meio de um cabo de referência (Veloza, 2006).

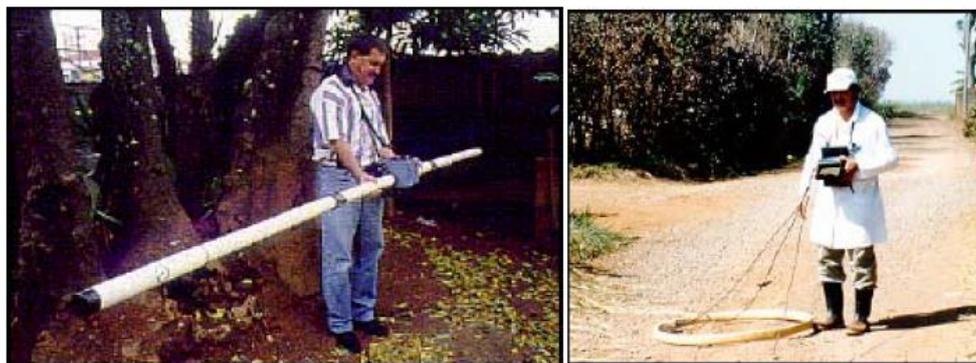


Figura 3.18 - Modo de Operação método Eletromagnético Indutivo, Veloza (2006).

Como apresentado no esquema da Figura 3.19, o método funciona da seguinte forma: injeta-se uma corrente alternada na bobina transmissora, o que produz um campo magnético primário, ortogonal à disposição da bobina. Tal campo estimula correntes elétricas no subsolo que, ao passar por um condutor, originam um campo magnético secundário, que pode ser lido pela bobina Rx, junto ao campo magnético primário (Veloza, 2006).

Na investigação de áreas contaminadas, esse método pode se adequar perfeitamente quando os seguintes pontos são considerados primordiais: rapidez na obtenção de dados, possibilidade de cobertura total do local de investigação com a utilização de instrumentos contínuos, determinação dos limites da pluma de condutividade do solo e das águas subterrâneas, faixa de profundidade de 0,75 m a 60 metros, leituras diretas em unidades de condutividade elétrica, possibilidade de mapeamento das diferenças hidrogeológicas,

definição da direção do fluxo de contaminação, obtenção de taxas migratórias de contaminantes quando o ensaio é realizado em períodos diferentes, mapeamento de minerações abandonadas e mapeamento de dutos metálicos enterrados (CETESB, 2001).

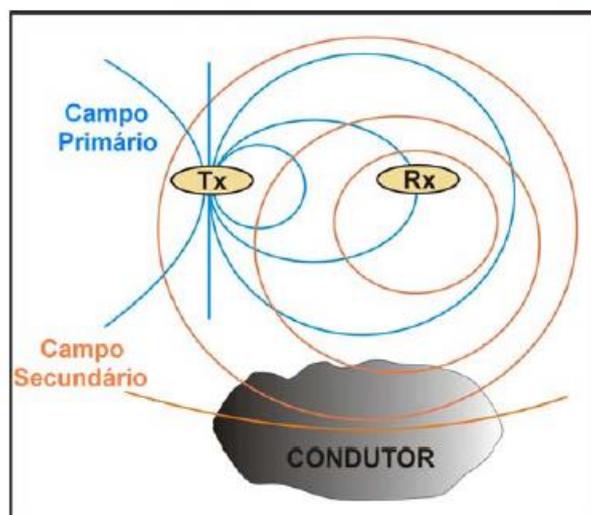


Figura 3.19 - Método Eletromagnético Indutivo, adaptado Velozo (2006).

No artigo de Shiraiwa *et al.* (2003), o método eletromagnético indutivo foi utilizado, no lixão de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, para delimitar a área ocupada por resíduos e identificar a zona de influência da contaminação. Os resultados foram analisados de forma integrada aos resultados de outros métodos também realizados (resistividade e GPR), revelando-se positivamente conclusivos, visto que foi possível caracterizar a área de estudo.

3.6.5. Ground Penetrating Radar - GPR

O radar de penetração de solo (*Ground Penetrating Radar* – GPR) funciona a partir da emissão ininterrupta de ondas eletromagnéticas e recepção dos sinais refletidos transmitidos e refratados nas interfaces ou estruturas em subsuperfície. As ondas de alta frequência (normalmente entre 10 MHz a 3000 MHz) são emitidas, atingindo o solo, onde a propagação de sinal varia conforme as características elétricas de cada material ali existente. Irradia-se, por meio de uma antena transmissora, um pulso de energia para o subsolo; esse pulso passa por reflexões, refrações e difrações, para, então, ser captado por uma antena receptora. O método GPR é semelhante às técnicas de reflexão sísmica e de sonar, porém é fundamentado na reflexão de ondas eletromagnéticas (Cavalcanti, 2013 e Velozo, 2006).

Existem alguns fabricantes de equipamentos para a realização do GPR. Como um exemplo de aplicação, cita-se o caso do equipamento do fabricante Hamak, em que são necessários seis itens, mostrados na Figura 3.20: computador, unidade de controle, transmissor, receptor, antena transmissora e antena receptora. O transmissor e o receptor permanecem ligados às antenas que, por sua vez, devem estar conectadas à unidade de controle via cabos de fibra ótica, e esta última se conecta ao computador, que envia sinais para os módulos transmissor e receptor, gerando uma visualização praticamente instantânea do sinal coletado. A energia refletida é registrada de acordo com o tempo de atraso; posteriormente, é amplificada, digitalizada e armazenada no computador (Veloza, 2006).

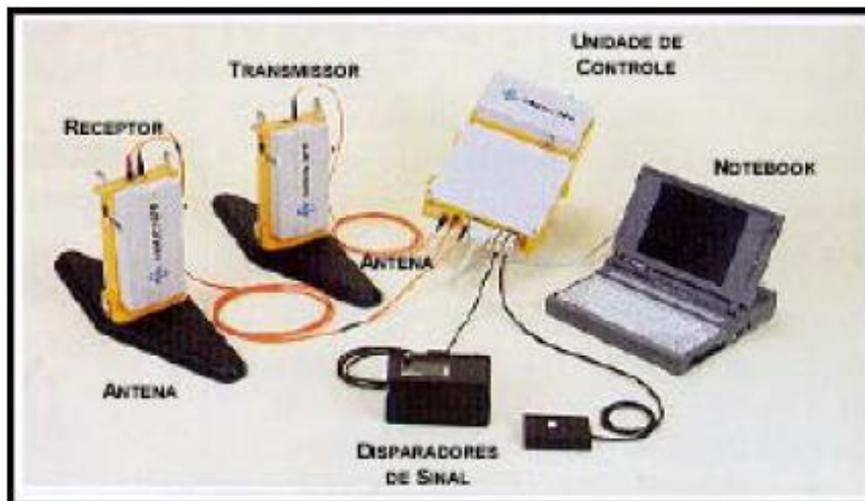


Figura 3.20 - Itens para a realização de GPR, Veloza (2006) adaptada.

O método GPR consiste na propagação do sinal eletromagnético repetidas vezes para dentro da Terra por uma antena transmissora colocada na superfície, a operação é exemplificada na Figura 3.21. A propagação do sinal eletromagnético é função da frequência do sinal emitido e das propriedades elétricas dos materiais presentes no solo. Essas propriedades estão intimamente relacionadas ao teor de umidade da subsuperfície. Quanto maior a quantidade de água, maior a atenuação do sinal da onda. O esquema da Figura 3.22 apresenta o comportamento das ondas eletromagnéticas emitidas no processo (Cavalcanti, 2013).



Figura 3.21 - Operação GPR, Velozo (2006) adaptada.

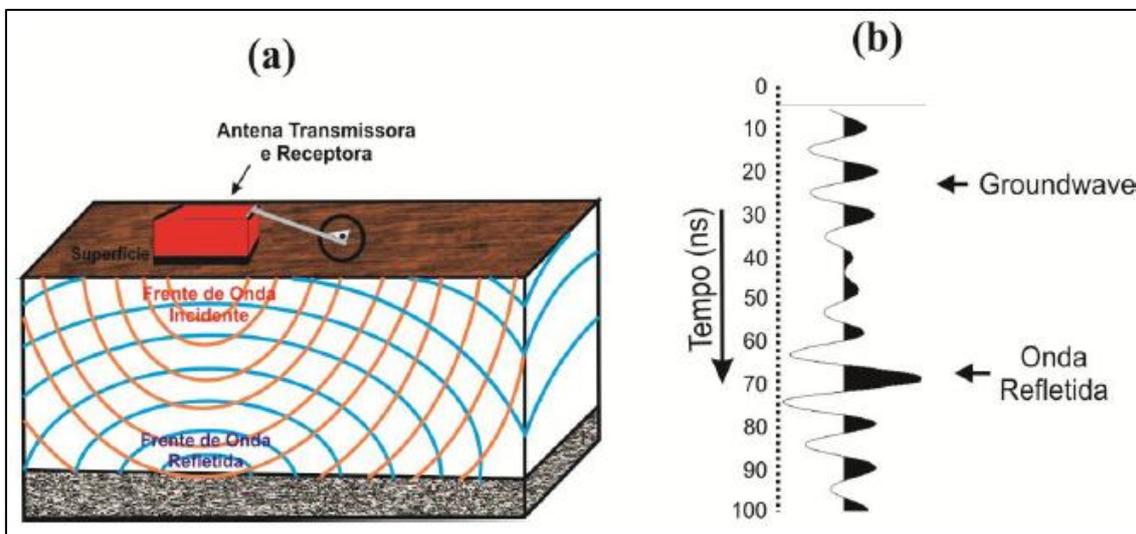


Figura 3.22 - (a) Comportamento das frentes de onda no GPR. (b) Esquema chegada das frentes de onda no GPR, Cavalcanti (2013) adaptada.

Segundo o relatório da CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2001), devem ser considerados os seguintes pontos a favor da escolha do GPR: realização de perfis ao longo de linhas, gerando seções contínuas e imediatas; faixa de velocidade variando de 0,5 a 2 km/h para perfis detalhados e superior a 8 km/h para perfis de reconhecimento; possibilidade de interpretar gráficos no campo; boa definição para corpos de poucos centímetros até um metro; versatilidade de antenas quanto à adequação às condições locais; a partir de interpretação e condições simples é possível determinar profundidades aproximadas e relativas; pode-se detectar contaminações por compostos orgânicos; viável para áreas urbanizadas; aplicável sobre diversas superfícies com exceção das metálicas e da superfície do mar; variedade de técnicas de

processamento de dados; detecção de dutos ou galerias subterrâneas de qualquer material; e identificação de vazamentos em tubulações.

No estudo realizado por Shiraiwa et al. (2003) no lixão de Cuiabá/ MT, os perfis de GPR foram adotados para localizar a pluma de contaminação, a profundidade do nível freático, a estratigrafia do lixão e localizar regiões anômalas dentro dos resíduos. Visto que os resultados gerados foram satisfatórios, o método GPR, combinado as técnicas de SEV e caminhamento eletromagnético, apresentou-se como uma boa forma de investigação geofísica de aterros.

3.6.6. Sísmica de Reflexão e Refração

A sísmica de reflexão e de refração são métodos geofísicos em que se observa a propagação de ondas mecânicas no subsolo. O comportamento dessas ondas é diretamente relacionado com propriedades físicas de materiais, como grau de consolidação/cimentação, alteração, compactação, saturação do maciço, entre outros. De forma que a sísmica produz informações que podem ser integradas com dados de sondagens mecânicas, como percussão, rotativa, trado, ensaio CPT, entre outros, contribuindo efetivamente para a caracterização geológica e geotécnica dos terrenos (de Souza *et al.*, 2013).

O resultado das técnicas de reflexão e refração é função de como um raio sísmico se comportará no limiar de dois meios de diferentes velocidades de propagação de onda. De forma que o raio pode ser refletido ou refratado criticamente na extensão do limite até que atinja a superfície. Pode-se estimar a velocidade de propagação da onda no meio, bem como a profundidade da superfície refratora, por intermédio da constatação do tempo que uma onda acústica leva para realizar o trajeto entre o local de disparo e uma série de detectores (geofones) dispostos em um perfil. Dentro desse método, a sísmica de refração foi extensamente aplicada na engenharia, e é recomendada para a definição da profundidade do topo rochoso e da espessura de cobertura da rocha alterada ou solo (Franco, 1996).

3.7. ESTUDOS JÁ REALIZADOS PARA O ATERRO CONTROLADO DO JÓQUEI CLUBE DE BRASÍLIA

Diversos estudos já foram desenvolvidos na área de investigação do presente trabalho. Foi realizado um extenso trabalho de coleta de dados da região por Nisiyama (2019) e Diniz (2019), que serviu como base para a presente pesquisa, os trabalhos

coletados foram: Amorim e Aguiar (1978); Boaventura *et al.* (1995); Santos (1996); Franco (1996); Techniplan (1996); Pastore (1997); LM Tratamento de Resíduos (1998); Pastore *et al.* (1998); Koide e Bernardes (1998); Santos *et al.* (1998); Bernardes *et al.* (1999); Farias *et al.* (1999); Abreu (2001); Carneiro (2002); Santos (2004); Santana e Imaña-Encinas (2004); Lima (2004); BELACAP (2005); Governo do Distrito Federal (2005); Agua & Terra Consultoria e Planejamento (2006); Santana (2007); Cardim (2008); Santana e Imanã-Encinas (2009); Tapahuasco (2009); Stollberg e Weiß (2011); Greentec (2012a); Greentec (2012b); Greentec (2012c); Cavalcanti (2013); Orrego (2013); Cavalcanti *et al.* (2014); Barbosa *et al.* (2015); Castanheira (2016); Salgado (2016); Cruvinel *et al.* (2017); Giacomazzo (2017); e Filho (2018). Serão abordados nesse tópico, alguns dos estudos de relevância no campo da engenharia. São eles: Bernardes *et al.* (1999), Barbosa *et al.* (2015), Cavalcanti (2013), Cavalcanti *et al.* (2014) e Tapahuasco (2009).

3.7.1. Bernardes *et al.* 1999

Bernardes *et al.* (1999) desenvolveram um artigo apresentando uma proposta de análise geofísica e geoquímica do Aterro JCB. O estudo foi dividido em três etapas, sendo a primeira correspondente a identificação e delimitação da área com levantamentos topográficos e aerofotogramétricos. A segunda etapa foi centrada em investigações geológicas e geotécnicas a partir de ensaios laboratoriais e de campo para definição das camadas de disposição. Foram realizados ensaios com sondagens geofísicas e sondagem mecânicas através de poços, trado, percussão e com o uso de sonda rotativa. Além disso, foram executados ensaios de infiltração nos estratos superficiais das camadas de solo e instalaram-se piezômetros para a avaliação do regime hidrológico e o monitoramento do lençol freático. A terceira e última etapa foi referente à coleta e amostragem de água do subsolo para, junto aos dados de datação do lixo depositado, originarem um modelo de evolução provável para a contaminação do subsolo e do lençol freático. Foram realizados, também, ensaios para a caracterização geoquímica. No momento, dar-se-á foco à parte do trabalho que se mostra relevante para o presente estudo.

Na aerofotogrametria, chegou-se a conclusões semelhantes às apresentadas na Figura 3.24 com relação às áreas de deposição. Portanto, foi possível determinar quais as áreas em que a decomposição dos resíduos estava mais avançada. Com o levantamento planialtimétrico, constatou-se que, na época, a área do aterro já compreendia mais de 174 hectares, tendo apenas alguns declives suaves e taludes de inclinação máxima de 10 graus.

Na segunda etapa, os ensaios realizados centraram-se na permeabilidade e no comportamento mecânico, mais especificamente, no que se refere à compressibilidade e à resistência ao cisalhamento dos estratos de solos locais. Executaram-se diversos ensaios de campo e laboratório com os solos superficiais, tanto em condição natural quanto compactada. Foi utilizado também o método geofísico de GPR, atingindo a metragem de 5000 metros de extensão, entretanto, devido a obstáculos presentes, as linhas geofísicas programadas precisaram sofrer mudanças. Apesar disso, os resultados obtidos foram de grande valia para a definição do modelo geológico. Na área geotécnica, foram realizados os ensaios de caracterização, compactação, adensamento, permeabilidade, ensaios triaxiais e ensaios de cisalhamento direto. O resultado consolidou-se no modelo de seções geológico-geotécnicas exposto na Figura 3.23 (Bernardes *et al.* 1999).

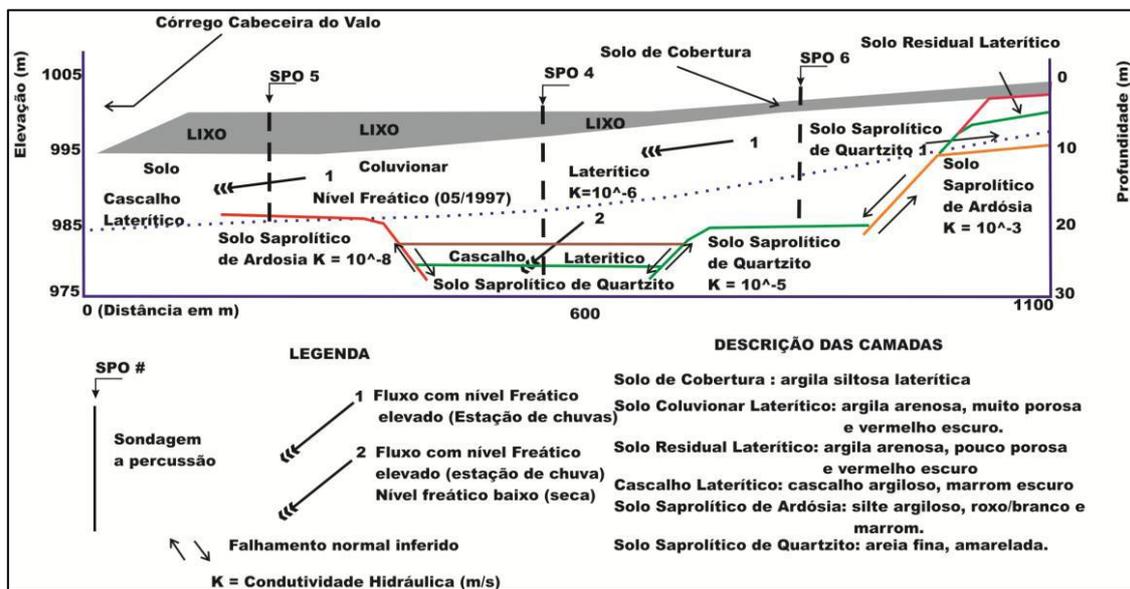


Figura 3.23 - Modelo geológico-geotécnico proposto por Bernardes *et al.* (1999) sentido Oeste para Leste, adaptado por Cavalcanti (2013)

A terceira etapa do trabalho de Bernardes *et al.* (1999) não será descrita no presente trabalho, dado que as análises realizadas por eles foram muito abrangentes e não se enquadram no campo aqui estudado. Infelizmente, desde a data da publicação do trabalho explorado nesse tópico até hoje, já se passaram quase 20 anos, durante os quais o Aterro JCB continuou sendo o receptáculo dos resíduos gerados no DF, portanto, novas amostragens e análises precisam ser feitas. Apesar de não fornecer dados atualizados, o trabalho de Bernardes *et al.* (1999) serve como um excelente ponto de partida para o presente estudo.

3.7.2. Tapahuasco 2009

A tese de doutorado de Tapahuasco (2009) teve por finalidade a investigação do comportamento mecânico dos resíduos sólidos em maciços sanitários. O foco do trabalho foi o desenvolvimento de um modelo de previsão de recalques. Para tal, foram realizados ensaios de compressibilidade. Foi estabelecida também, uma relação entre o teor orgânico e a variação da compressão. Ao final, o autor elaborou um novo modelo de previsão de deformações de maciços sanitários.

Foram realizados ensaios em laboratório e em campo, a partir de células experimentais. Para tanto, foi adotada uma proporção gravimétrica de RSU, de forma que os ensaios pudessem ser mais controlados e representativos. Foram aplicados diversos estágios de carregamento vertical nas amostras de RSU. O estudo contou, ainda, com o acompanhamento das propriedades físico-químicas e produção do lixiviado. As células construídas em campo situavam-se dentro do próprio Aterro JCB. Foi feita uma caracterização geotécnica do solo do local de pesquisa, por meio da definição de parâmetros como massa específica dos grãos, LL, LP e curva granulométrica. Produziram-se, também, dois lisímetros para melhor compreensão dos fenômenos que afetam os recalques em aterros sanitários. A medida do pH foi utilizada na análise da biodegradação dos resíduos. Concluiu-se, para a bioestabilização dos resíduos sólidos, que há a predominância de uma faixa ácida ($\text{pH} < 7$) nos primeiros 100 dias após aterramento, com altas concentrações de DQO, ST e STV; e de uma faixa alcalina ($\text{pH} > 7$) após esse período, apresentando concentrações baixas de DQO, ST e STV. Como conclusão, Tapahuasco (2009) propõe um modelo de previsão de recalques.

3.7.3. Cavalcanti 2013 e Cavalcanti *et al.* 2014

Na dissertação de mestrado de Cavalcanti (2013), foram aplicados os métodos de GPR e eletrorresistividade no Aterro JCB. Anteriormente a isso, foi realizada uma caracterização da área de estudo, com detalhes sobre vegetação, geomorfologia, geologia, pedologia, hidrogeologia e topografia. As conclusões obtidas nessa fase, serviram como ponto de partida para as análises geofísicas. Nesse momento inicial, foram considerados os dados obtidos por estudos anteriores a respeito da evolução de deposição no aterro, expostas na Figura 3.24.

Devido à movimentação intensa de caminhões no local na época dos ensaios, as investigações geofísicas foram realizadas somente na parte externa do aterro e em um

ponto interno. Mesmo com esse impedimento, as conclusões da utilização do GPR levaram ao estabelecimento de quatro padrões de refletores, relacionados, respectivamente, à: camada de argila utilizada para a cobertura dos resíduos; presença de resíduos sólidos; estrutura do solo; solo contaminado pela percolação do lixiviado (Cavalcanti, 2013).

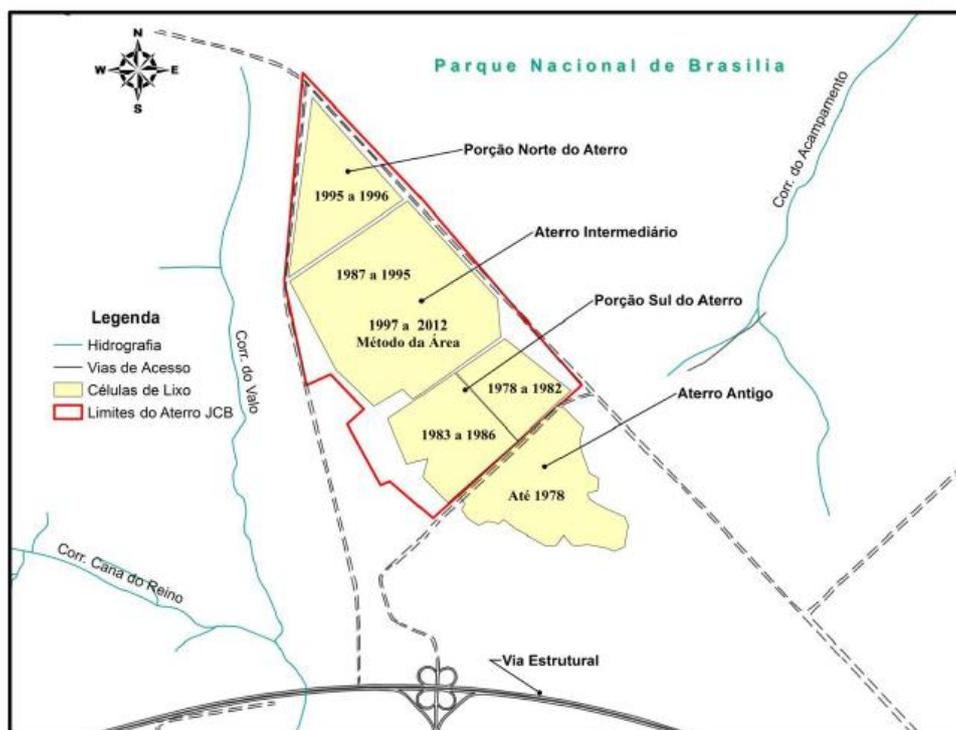


Figura 3.24 - Histórico de deposição do Aterro JCB, adaptada por Cavalcanti (2013)

Quanto aos resultados do método da eletrorresistividade, foi possível distinguir camadas de solo, solo com resíduos, saprolito saturado e embasamento rochoso. Ao aplicar as seções de eletrorresistividade na imagem de satélite, podem-se definir as áreas contaminadas. Com os resultados dos dois métodos associados, foi definido o fluxo preferencial da pluma de contaminação (Cavalcanti, 2013). Nas conclusões de Cavalcanti (2013), há uma recomendação de realização de análises físico químicas de amostras do solo e água para que seja possível complementar o estudo realizado, a fim de caracterizar a área contaminada.

Cavalcanti *et al.* (2014) desenvolveram um estudo mais focado na aplicação da eletrorresistividade no Aterro JCB, e os resultados obtidos foram semelhantes aos resultados de resistividade de Cavalcanti (2013). Foram definidas cinco zonas de resistividade e as respectivas composições de solo para cada uma.

3.7.4. Barbosa *et al.* 2015

No trabalho de Barbosa *et al.* (2015), considerou-se que a situação mais crítica no Aterro JCB eram as possibilidades de contaminação dos recursos hídricos das proximidades do local, bem como dos lençóis freáticos. Dessa forma, o estudo focalizou-se na elaboração de uma proposta de contenção ou isolamento da pluma de contaminante (lixiviado), por meio de barreiras físicas verticais e impermeabilização do solo, e também em medidas para o tratamento dos meios contaminados, com o uso de barreiras hidráulicas e atenuação natural. Foram analisadas quatro alternativas de remediação, pontuando seus aspectos positivos e negativos. Para esse estudo, foram utilizados como base os trabalhos desenvolvidos por Carneiro (2002) e por Cavalcanti (2013).

4. METODOLOGIA

Para o presente projeto, desenvolve-se uma metodologia sistematizada, que começa a partir da escolha dos trabalhos a serem estudados, ainda na revisão bibliográfica. Na Figura 4.1, pode-se compreender melhor o processo adotado para a evolução da pesquisa. Nos subtópicos seguintes, cada etapa da metodologia desenvolvida é abordada de forma um pouco mais detalhada.

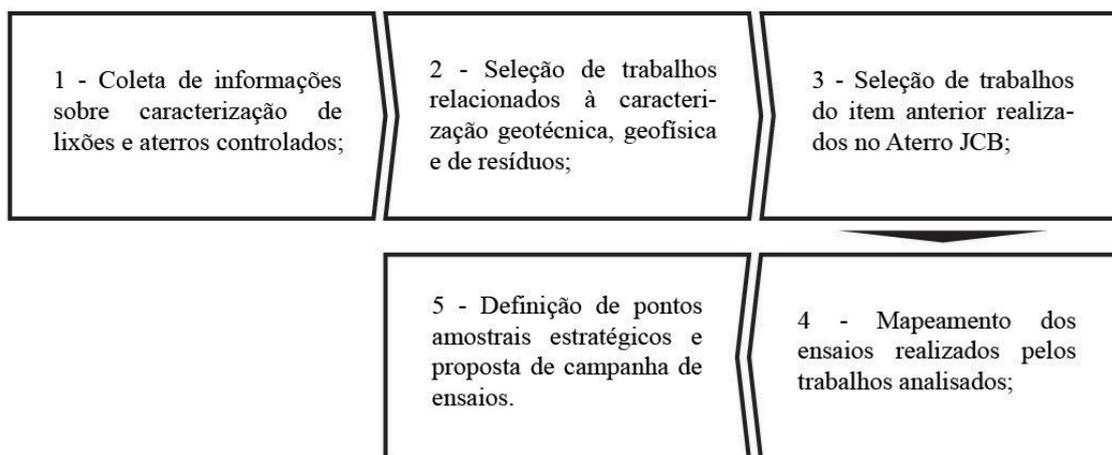


Figura 4.1 - Esquema da metodologia adotada

Os primeiros três tópicos relacionados na Figura 4.1 dizem respeito à seleção dos trabalhos que servem de base para as escolhas realizadas nas etapas seguintes. Os itens 1, 2 e 3 da Figura 4.1 referem-se ao levantamento bibliográfico, que fundamenta a definição da metodologia a ser desenvolvida. Os itens de 3, 4 e 5 estão focalizados no estudo de caso do Aterro JCB. Os dois últimos abordam o mapeamento e definição da campanha de ensaios necessária.

4.1. COLETA DE INFORMAÇÕES SOBRE CARACTERIZAÇÃO DE LIXÕES E ATERROS CONTROLADOS

Como parte integrante da metodologia desse trabalho, pode-se destacar, primeiramente, todo o embasamento teórico realizado a partir da leitura de outros estudos. No primeiro momento, selecionam-se aqueles trabalhos que são relevantes por serem relacionados à caracterização de áreas contaminadas pela disposição incorreta de resíduos sólidos. Como o foco do presente trabalho é o Estudo de Caso do Aterro JCB, cabe ressaltar que maiores esforços são dispendidos, na intenção de se reunir o maior número possível de trabalhos desenvolvidos no local. Destaca-se aqui a colaboração dos outros

estudantes envolvidos no Projeto RAEESA, em especial Nisiyama (2019) e Diniz (2019), na compilação de material.

4.2. SELEÇÃO DE TRABALHOS RELACIONADOS À CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA, GEOFÍSICA E DE RESÍDUOS

Nessa etapa são selecionados aqueles trabalhos, dentre os coletados na etapa anterior, que apresentam conteúdo relacionado, especificamente, à caracterização geotécnica, de resíduos sólidos e geofísica de aterros controlados ou lixões. Há muitos estudos desenvolvidos no âmbito da contaminação hídrica, da delimitação da pluma de contaminante e outros, mas essas pesquisas ultrapassam a alçada do presente estudo.

São desenvolvidas análises dos ensaios realizados, de forma que se torna claro os procedimentos mais relevantes dentre aqueles desenvolvidos por trabalhos anteriores. Assim, são fornecidos os insumos para o resultado da metodologia a ser desenvolvida.

4.3. SELEÇÃO DE TRABALHOS DO ITEM ANTERIOR REALIZADOS NO ATERRO JCB

O presente estudo tem por finalidade satisfazer uma necessidade apresentada pela CEB, que vem sendo trabalhada pelo Projeto RAEESA. É importante, portanto, direcionar esforços para as análises que se apresentaram como mais relevantes na área de produção de energia pela mineração. Assim, os estudos mais interessantes nessa tônica seriam aqueles relacionados à caracterização do resíduo presente no maciço do aterro, bem como aqueles que auxiliariam na quantificação das dimensões do mesmo. A seleção de tais trabalhos é elaborada com base nas informações coletadas nos processos anteriores.

É pertinente destacar, também, a estruturação do trabalho, partindo dos princípios básicos de geotecnia e selecionando aqueles ensaios que se apresentam, historicamente e dentro dos estudos analisados, como mais relevantes para uma caracterização geotécnica e de resíduos sólidos. No campo da geofísica, o procedimento executado é semelhante, com a seleção dos métodos mais utilizados em investigações de aterros de resíduos. Além disso, realiza-se a compilação dos trabalhos do item 4.2 que são também relacionados ao Aterro JCB, auxiliando na análise situacional e na definição da proposta do que precisa ser realizado.

4.4. MAPEAMENTO DOS ENSAIOS REALIZADOS PELOS TRABALHOS ANALISADOS

Nesse momento realiza-se um compilado dos ensaios de interesse geotécnico que já foram desenvolvidos para o Aterro JCB. Assim, aplica-se um filtro, visando à constatação daqueles ensaios que ainda precisam ser feitos. Para a melhor organização dessas etapas, utiliza-se o Microsoft Office Excel.

Além da organização dos trabalhos, são produzidos mapas com as coordenadas dos pontos de ensaios já realizados no local, a partir do uso de ferramentas dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), em especial o ArcGIS e o *Google Earth*. São dois mapas, um geotécnico e outro geofísico. As análises de resíduos não geraram dados geográficos, visto que são realizadas, na maioria, com materiais que chegam no Aterro JCB por meio de caminhões de lixo. Os mapas construídos nesse ponto servem como ponto de partida para a definição dos pontos amostrais necessários para complementação de estudos.

4.5. DEFINIÇÃO DE PONTOS AMOSTRAIS ESTRATÉGICOS

Os resultados obtidos pelos trabalhos aqui analisados são utilizados nesse ponto, bem como o conteúdo produzido por estudantes vinculados ao Projeto RAEESA, Diniz (2019) e Nisiyama (2019). São estudos que reúnem informações sobre pluma de contaminação, áreas utilizadas ao longo do tempo para deposição de material e mapeamento local. Essas informações são manipuladas com o intuito de definir de forma georreferenciada os pontos mais vulneráveis e prioritários para a amostragem. Para a definição desses pontos, faz-se o uso de ferramentas SIG. A partir dos resultados, definem-se os parâmetros mais essenciais para a caracterização de aterros de resíduos sólidos e, principalmente, do caso em estudo- Aterro JCB.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. COLETA DE INFORMAÇÕES SOBRE CARACTERIZAÇÃO DE LIXÕES E ATERROS CONTROLADOS

Foram encontrados 76 trabalhos nessa ótica, que se encontram listados na Tabela 5.1. Os trabalhos foram enumerados em ordem cronológica, de forma a facilitar a referência a cada um deles a partir desse ponto do trabalho.

Com exceção do primeiro trabalho, que data de 1978, a seleção de pesquisas abarcou trabalhos produzidos desde a última década do século XX até o ano de 2018. O primeiro trabalho, mais antigo, foi abordado por se tratar de uma análise gravimétrica dos resíduos encaminhados ao Aterro JCB no ano de 1978, importante insumo para o Estudo de Caso do presente estudo.

Tendo em vista as especificidades geotécnicas do Brasil e a problemática enfrentada em todo o território no que tange à gestão de resíduos sólidos, a maior parte das pesquisas buscadas foram de origem brasileira. Todavia, foram abordados alguns trabalhos desenvolvidos em outros países, principalmente no âmbito da caracterização de resíduos, que tem sido amplamente pesquisada no exterior, devido à crescente importância que tem se levantado em torno da mineração de resíduos como alternativa para obtenção de matéria prima.

Tabela 5.1- Trabalhos relacionados à caracterização de aterros de resíduos sólidos

Item	Trabalho	Autores	País	Ano
1	Características Físicas e Químicas do Lixo do Distrito Federal	Amorim e Aguiar	Brasil	1978
2	Geoquímica de Solo e Água no Aterro Sanitário (Lixão) do Distrito Federal	Boaventura <i>et al.</i>	Brasil	1995
3	Estudo da Contaminação de Água Subterrânea por Percolado de Aterro de Resíduos Sólidos- Caso Jockey Club- DF	Santos	Brasil	1996
4	Geofísica e Química Aquática Aplicadas ao Estudo de Contaminação de Recursos Hídricos Subterrâneo no Aterro do Jockey Club- DF	Franco	Brasil	1996
5	Solid Waste Management in the Federal District Area	Techniplan	Brasil	1996

Item	Trabalho	Autores	País	Ano
6	Estudos geológico-geotécnicos para o planejamento e projeto de disposição de resíduos urbanos de lixo do Jóquei	Pastore	Brasil	1997
7	Projeto do Aterro Sanitário do Jóquei Club	LM	Brasil	1998
8	Método de Investigação e Modelo Geológico-Geotécnico do Aterro de Lixo do Jóquei- Brasília- DF	Pastore	Brasil	1998
9	Contaminação do Lençol Freático Sob a Área do Aterro do Jockey Club, Distrito Federal	Koide e Bernardes	Brasil	1998
10	Características do Chorume do Aterro do Jockey Club/DF	Santos	Brasil	1998
11	Caracterização Geofísica e Geoquímica da Área de Disposição de Resíduos Urbanos “Aterro do Jóquei Clube” em Brasília – DF	Bernardes <i>et al.</i>	Brasil	1999
12	Caracterização Química e Mineralógica do Solo do Aterro Sanitário do Jockey Club (DF) e a Influência da Matéria Orgânica e pH no Comportamento dos Elementos	Farias <i>et al.</i>	Brasil	1999
13	Características do Lixão de Canabrava, em Salvador –BA, e seus Impactos Ambientais	Barbosa <i>et al.</i>	Brasil	2001
14	Estudo e Avaliação da Contaminação das Fontes do Parque Nacional de Brasília	Abreu	Brasil	2001
15	Geofísica Elétrica na Caracterização da Hidrologia Subterrânea na Região do Aterro Metropolitano Centro, Salvador, Bahia	Cavalcanti <i>et al.</i>	Brasil	2002
16	Caracterização Geofísica de Áreas Utilizadas para Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos	Elis e Zuquette	Brasil	2002
17	Estudo de Contaminação do Lençol Freático sob a Área do Aterro de Lixo do Jockey Club-DF e suas Adjacências	Carneiro	Brasil	2002
18	Métodos de Eletroresistividade e de Polarização Induzida Aplicados na Área de Disposição de Resíduos Urbanos: Aterro Controlado de Rio Claro – SP	Moura e Malagutti Filho	Brasil	2003

Item	Trabalho	Autores	País	Ano
19	Estudos Geofísicos Integrados no Lixão de Cuiabá, MT, Brasil- Resultados Preliminares	Shiraiwa <i>et al.</i>	Brasil	2003
20	Estudo da Degradação e dos Recalques em Células Experimentais de Resíduos Sólidos no Aterro do Jockey Club/DF	Santos	Brasil	2004
21	Modelo espacial de contaminação do solo e do lençol freático do aterro do Jockey Club para o Parque Nacional de Brasília, Brasília- DF	Santana e Imanã-Encinas	Brasil	2004
22	Avaliação da Influência da ocupação do entorno do parque nacional de Brasília na qualidade e na disponibilidade da água bruta do sistema de abastecimento público Torto/ Santa Maria	Lima	Brasil	2004
23	Plano de Encerramento- Aterro Controlado do Jóquei	PROGEA Belacap	Brasil	2005
24	Destinação Final do Lixo no DF	Programa Brasília Sustentável- Governo do Distrito Federal	Brasil	2005
25	Caracterização Geológico-Geotécnica do Lixão Desativado de São Carlos- SP, com Auxílio da Geofísica	Veloso	Brasil	2006
26	Aplicação de Métodos Geofísicos para Identificar Áreas Contaminadas por Resíduos de um Curtume	Fachin <i>et al.</i>	Brasil	2006
27	Aplicação Integrada de Métodos Geofísicos em uma Área de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos em Bauru- SP	Lago <i>et al.</i>	Brasil	2006
28	Estudos Geotécnicos Preliminares e Caracterização dos Limites da Área do Antigo Aterro na Região da Vila Estrutural – DF	Água e Terra	Brasil	2006
29	Avaliação da Influência da Composição de Resíduos Sólidos Urbanos no Comportamento de Aterros Simulados	Alcântara	Brasil	2007
30	Considerações sobre a Remediação e Monitoramento Geotécnico e Ambiental do Lixão de Salvaterra – Juiz de Fora/ MG	Teixeira <i>et al.</i>	Brasil	2007

Item	Trabalho	Autores	País	Ano
31	Influência de Depósito de Lixo na Fitossociologia das Espécies Arbóreas de Cerrado	Santana	Brasil	2007
32	Comportamento de um Aterro Sanitário Experimental: Avaliação da Influência do Projeto, Construção e Operação	Catapreta	Brasil	2008
33	Estudo da Resistência de Resíduos Sólidos Urbanos por meio de Ensaios de Cisalhamento Direto De Grandes Dimensões	Cardim	Brasil	2008
34	Composição química do solo e da água subterrânea em áreas adjacentes a Aterros Sanitários	Santana e Imanã-Encinas	Brasil	2009
35	Análise do Comportamento de Maciços Sanitários e Proposta de um Novo Modelo de Previsão de Recalques Considerando a Parcela de Biodegradação	Tapahuasco	Brasil	2009
36	O Impacto Ambiental Oriundo do Descarte Irregular de Resíduos: A Contaminação do Solo e das Águas Subterrâneas no Município de São Paulo	Ramires e Vitor	Brasil	2010
37	Determinação das Características de Resíduo Sólido Urbano Aterrado	Moreira <i>et al.</i>	Brasil	2010
38	Monitoramento da Atenuação Natural do Solo de Cobertura em um Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos em Passo Fundo, RS	Melo <i>et al.</i>	Brasil	2010
39	Modelo Reológico de Comportamento de Resíduos e Aterros Sanitários, Segundo Critérios de Projeto e Operação Atuais no Brasil	Benvenuto e Cipriano	Brasil	2010
40	Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos e Caracterização Química do Solo da Área de Disposição Final do Município de Cáceres-MT	Alcantara	Brasil	2010
41	Recalque em Aterros: Influência da Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos, do Clima e da Biodegradação	Alcântara e Jucá	Brasil	2010
42	Remediação do Lixão de Altamira-PA Projeto Básico	CSANEO-Engenharia e Consultoria Ambiental	Brasil	2011

Item	Trabalho	Autores	País	Ano
43	Caracterização do Solo de Cobertura de Aterros Encerrados com Ferramentas (Geo)estatísticas	Samuel-Rosa <i>et al.</i>	Brasil	2011
44	Municipal waste disposal Lixão do Jóquei, Brasília, Distrito Federal do Brasil: Site investigation, groundwater monitoring, and hydrochemical analysis	Stollberg e Weiss	Brasil	2011
45	Produto 4 – Plano de Manejo ARIE da Vila Estrutural	Greentec	Brasil	2012
46	Produto 4 – Plano de Manejo ARIE da Cabeceira do Valo	Greentec	Brasil	2012
47	Plano de Uso do Parque Urbano da Estrutural	Greentec	Brasil	2012
48	Métodos Geofísicos em Geotecnia e Geologia Ambiental	IPT (Souza e Gandolf)	Brasil	2013
49	Vila Estrutural: Uma Abordagem sobre Ocupação e a Produção do Espaço	Orrego	Brasil	2013
50	Aplicação de Métodos Geométricos no Delineamento da Pluma de Contaminação nos Limites do Aterro Controlado do Jokey Clube de Brasília	Cavalcanti	Brasil	2013
51	Estudo dos Recalques do Aterro Sanitário da Central de Resíduos do Recreio- Minas do Leão/ RS	Denardin	Brasil	2013
52	Case Study on Sampling, Processing and Characterization of Landfilled Municipal Solid Waste in the View of Landfill Mining	Kaartinen <i>et al.</i>	Finlândia	2013
53	Determinación de Propiedades Físico-Químicas de los Materiales Agregados en Muestra de Escombros en la Ciudad de Bogotá D. C.	Porras <i>et al.</i>	Colômbia	2013
54	Avaliação Ambiental de Propriedades Químicas do Solo em Lixão Desativado do Município de Rolândia-PR	Fávaro	Brasil	2014
55	Levantamento Geofísico (Eletrorresistividade) nos Limites do ACJ- Brasília-DF	Cavalcanti	Brasil	2014
56	Aspectos Geotécnicos e Ambientais para a Disposição Adequada de Lodo de Esgoto	da Silveira	Brasil	2014

Item	Trabalho	Autores	País	Ano
57	Characteristics and the recovery potential of plastic wastes obtained from landfill mining	Zhou <i>et al.</i>	China	2014
58	Landfill Mining – Case Study: Characterization and treatment of excavated waste from Austrian sanitary landfill sites and estimation of the resource potential	Wolfsberger <i>et al.</i>	Austria	2014
59	Physical and chemical characterization of waste wood derived biochars	Yargicoglu <i>et al.</i>	USA	2014
60	Análise do Monitoramento da Contaminação Ambiental do Solo do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos Encerrado de Seropédica	Lima	Brasil	2015
61	Propostas de Remediação de Área Degradada por Resíduos Sólidos Urbanos – Estudo de Caso Aterro Jokey Club Brasília, DF	Barbosa <i>et al.</i>	Brasil	2015
62	Rare earth elements and critical metal content of extracted landfilled material and potential recovery opportunities	Gutiérrez-Gutiérrez <i>et al.</i>	UK	2015
63	Aspectos Geotécnicos e Ambientais Relacionados à Implantação do Aterro Sanitário Oeste	Nisiyama	Brasil	2016
64	Áreas Contaminadas e com Potencial de Contaminação no Município de Paulínia	Profírio <i>et al.</i>	Brasil	2016
65	Avaliação de Aspectos Geológicos e Geotécnicos na Implantação do Aterro Sanitário de São Carlos- SP, com auxílio da Geofísica	Schettini	Brasil	2016
66	Enquadramento dos Corpos Hídricos Subterrâneos do Distrito Federal: Parâmetros Hidrogeoquímicos e Ambientais	Castanheira	Brasil	2016
67	Análise da Situação Atual do Lixão da Estrutural	Salgado	Brasil	2016
68	Estudo da Permeabilidade dos Solos de Fundação do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos de Bauru/ SP	Jesus	Brasil	2016
69	Incremento de Lodo de ETA em Barreiras Impermeabilizantes de Aterro Sanitário	Golçalves <i>et al.</i>	Brasil	2016

Item	Trabalho	Autores	País	Ano
70	Water, Environment and Health: The impact of the open dump in Brasilia-DF, Brazil	Cruvinel <i>et al.</i>	Brasil	2017
71	Estudo do Potencial de Contaminação do Aterro Controlado do Jóquei Clube (DF)	Giacomazzo	Brasil	2017
72	Hibridização de gás confinado em depósitos de resíduo sólido urbano com heliotérmica para geração de energia – o caso do Lixão da Estrutural no DF	Filho	Brasil	2017
73	Mechanical characterization of municipal solid waste from two waste dumps at Delhi, India	Ramaiah <i>et al.</i>	Índia	2017
74	Studies on Characterization of Mechanically Biologically Treated Waste from Bangalore City	Lakshmikanthan <i>et al.</i>	Índia	2017
75	Caracterización físico-química de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos del vertedero controlado en el Centro Urbano Abel Santamaría de Santiago de Cuba	Hernández-Nazario <i>et al.</i>	Cuba	2018
76	Characterization of landfilled materials: screening of the enhanced landfill mining potential	Quaghebeur <i>et al.</i>	Bélgica	2018

5.2. SELEÇÃO DE TRABALHOS RELACIONADOS À CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA, GEOFÍSICA E DE RESÍDUOS

Como resultado do filtro descrito no segundo item da metodologia (item 4.2), foi gerado a Figura 5.1. Ressalta-se que alguns trabalhos foram contabilizados em mais de uma área, tendo em vista que permeavam dois ou mais assuntos de interesse. As pesquisas que foram elencadas em cada área, de acordo com a numeração apresentada no item 5.1, seguem discriminadas na Tabela 5.2.

Os trabalhos que foram descartados tratavam de assuntos como a contaminação de lençóis freáticos, caracterização de percolado, ocupação urbana no entorno do Aterro JCB, gerenciamento de resíduos sólidos, análises estatísticas, propostas de remediação de aterros, classificação de corpos hídricos, aspectos políticos da Região do Jóquei, impacto na saúde da população gerado pela contaminação de água e análises de geração de gases.

Apesar de serem pontos de suma importância, não fazem parte dos eixos do presente estudo.

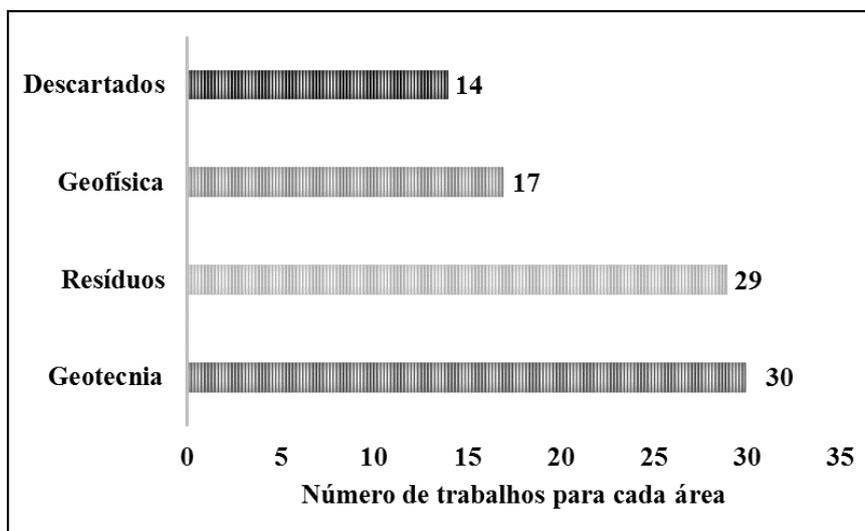


Figura 5.1- Distribuição de trabalhos por áreas de interesse

Tabela 5.2- Identificação dos trabalhos de cada área com relação à Tabela 5.1

Geotécnicos: 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 20, 21, 23, 28, 29, 31, 32, 34, 35, 36, 38, 40, 45, 46, 47, 54, 56, 60, 63, 64, 68, 69

Resíduos: 1, 3, 7, 13, 20, 28, 29, 30, 32, 33, 35, 37, 39, 40, 41, 42, 51, 52, 53, 57, 58, 59, 62, 73, 74, 75, 76

Geofísicos: 4, 6, 8, 9, 11, 15, 16, 18, 19, 23, 25, 26, 27, 44, 48, 50, 55, 65

Descarte: 5, 10, 17, 22, 24, 43, 49, 61, 66, 67, 70, 71, 72

5.2.1. Estudos de Caracterização Geotécnica

A partir da busca de trabalhos de caracterização geotécnica, foram construídos dois gráficos. O primeiro deles (Figura 5.2) apresenta a relação dos parâmetros de caracterização física e hidráulica, com destaque para o número de vezes em que são abordados nos diferentes trabalhos. O segundo gráfico (Figura 5.3) foi construído a partir dos ensaios de caracterização química e biológica e, assim como o anterior, foi classificado a partir da recorrência das análises.

A partir da análise da Figura 5.2, percebe-se que o primeiro passo para a caracterização geotécnica de uma dada região de disposição de resíduos deve ser a

classificação do solo. Essa classificação foi feita de diferentes formas nos diferentes trabalhos, em alguns casos foram realizados ensaios, em outros foi utilizado o disposto na literatura e/ou a análise visual do perfil.

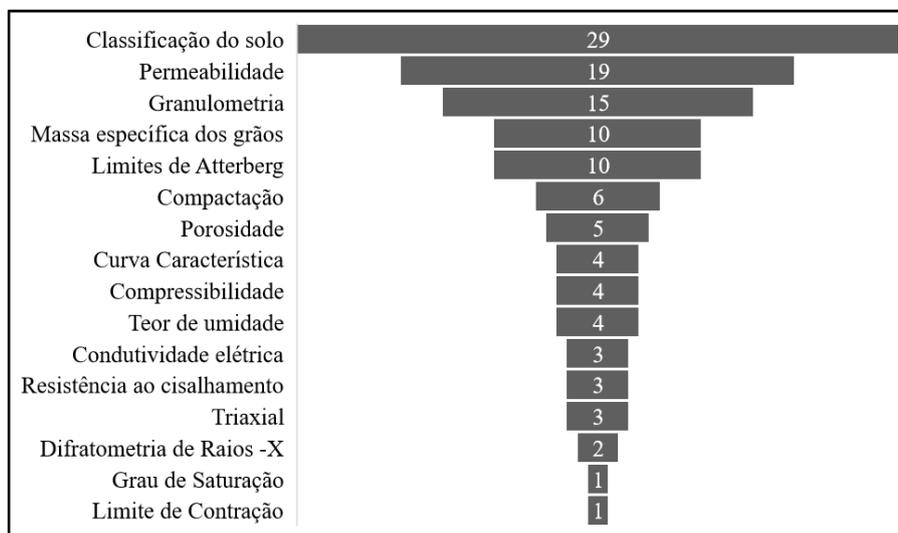


Figura 5.2- Relação do número de trabalhos de geotecnia que abordam cada parâmetro de caracterização física e hidráulica

Percebe-se, também, a importância das análises de permeabilidade. Sabe-se que as áreas de deposição de resíduos estão susceptíveis a diversas formas de poluição. Dessa forma, a análise da permeabilidade do solo auxilia na previsão de contaminação dos corpos hídricos. Isso porque o lixiviado, gerado pela degradação dos resíduos, aliado à precipitação de chuva, permeia pelo solo, antes de contaminar as águas subterrâneas. Assim, as condições de permeabilidade são determinantes na análise de contaminação.

A granulometria de um solo, junto aos Limites de Atterberg, a massa específica, porosidade e o teor de umidade, englobam os ensaios de caracterização básica mais empregados na Mecânica dos Solos clássica. Esses ensaios são, em geral, os primeiros passos dados quando se necessita caracterizar um solo. Dessa forma, foram procedimentos de destaque também nesse estudo.

Os ensaios de compactação, assim como os citados até então, foram bastante empregados, dado que fornecem um importante parâmetro para aterros, visto que, diariamente, o solo desses locais deve ser compactado.

Outros ensaios como o de curva característica, de compressibilidade e de resistência ao cisalhamento, são igualmente relevantes, entretanto, quando realizados, costumam ser

o foco dos trabalhos, diferente dos ensaios já mencionados, que costumam servir de insumos para outros experimentos. O ensaio triaxial, é um ensaio muito completo para a determinação da resistência ao cisalhamento e do comportamento tensões-deformações, mas quando empregado, costuma ser o foco da pesquisa, por ser muito trabalhoso.

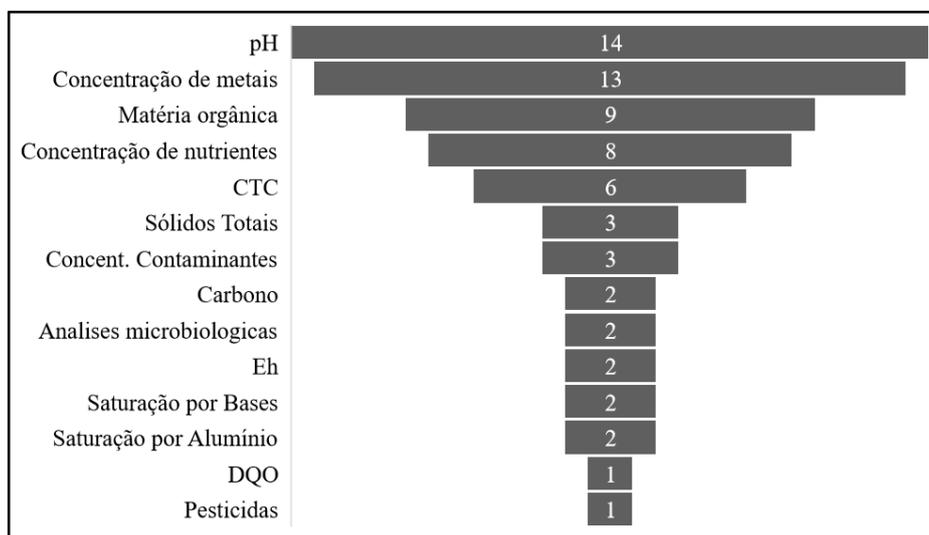


Figura 5.3- Relação do número de trabalhos de geotecnia que abordam cada ensaio de caracterização química e biológica

Dentro das caracterizações químicas, percebe-se a importância da definição do pH, um dos fatores determinantes do equilíbrio e da estabilidade do solo. Além dele, a medição da concentração de metais e nutrientes é expressiva. Esses experimentos representam uma maneira eficiente de determinação do nível de contaminação e de disponibilidade de nutrientes em um solo.

A maior parte das análises descritas, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica (CTC), sólidos totais, carbono, Eh, saturação por base e por alumínio e DQO, faz parte de uma gama de experimentos que ajudam na determinação das características químicas do solo, levando a conclusões a respeito das interações entre o solo e os resíduos. Esses fatores podem servir de insumo para a indicação do nível de contaminação do solo ou de propensão a absorver determinado contaminante. As análises microbiológicas também podem cooperar para a definição da fase de degradação em que os resíduos se encontram.

Cabe evidenciar que, frequentemente, as análises descritas na Figura 5.3 são realizadas com o lixiviado e com águas retiradas de poços e corpos hídricos das imediações dos aterros. Esses trabalhos não foram abordados no gráfico, visto que as

análises descritas se ativeram aos solos e não são objeto de estudo principal da presente pesquisa.

5.2.2. Estudos de Caracterização de Resíduos Sólidos

Foram desenvolvidos muitos estudos de caracterização dos resíduos sólidos, de forma um tanto quanto semelhante aos estudos geotécnicos. O resultado da pesquisa encontra-se exposto nas figuras Figura 5.4 e Figura 5.5, de maneira análoga à empregada no subitem anterior. Para a melhor visualização, as palavras monitoramento, capacidade e distribuição foram abreviadas para monit., cap. e dist. respectivamente.

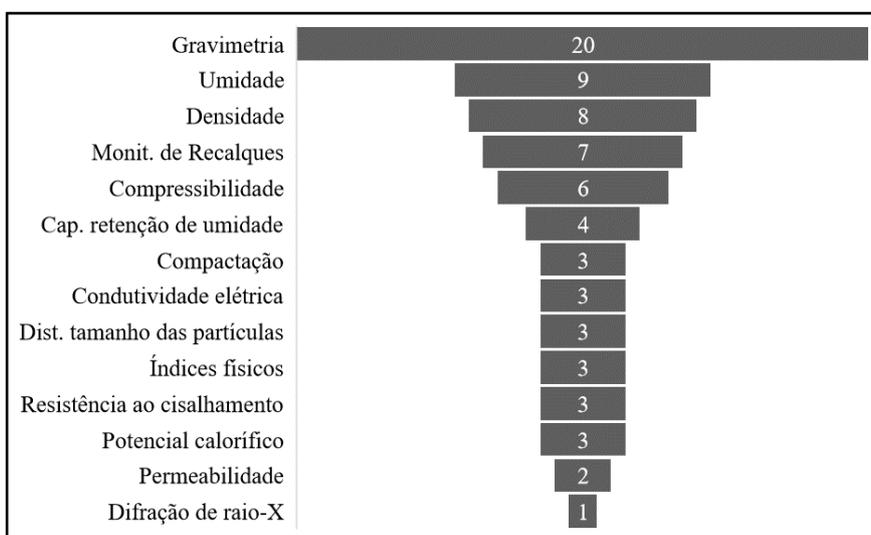


Figura 5.4- Relação do número de trabalhos de resíduos que abordam cada parâmetro de caracterização física e hidráulica

Percebe-se que, com exceção da granulometria, há uma variedade muito expressiva dos métodos empregados em análises de resíduos. Isso demonstra que os estudos do comportamento de resíduos apresentam-se ainda como uma vertente relativamente nova, ainda não tão consolidada, como é o caso dos estudos geotécnicos.

A determinação da umidade dos resíduos, pode ser muito determinante para a degradação da matéria orgânica e para o nível de contaminação, pois, com a presença de água, há uma solubilização dos componentes químicos, reduzindo a concentração destes. Assim, a investigação da capacidade de retenção de umidade também é de grande relevância para os parâmetros descritos.

A densidade é um importante fator no estudo de resíduos, visto que, a partir dela, é possível determinar o espaço que esse material irá ocupar e, conseqüentemente, pode-se prever a quantidade de material que pode ser ou foi aterrado em um determinado local.

O recalque em resíduos ocorre de uma forma mais complexa do que no solo sem contaminação, tendo em vista que envolve a atividade microbiana, o decaimento da concentração de elementos químicos e outros fatores que podem levar à diminuição do volume de resíduos e a um recalque expressivo. Dentro desse viés de prever os comportamentos dos maciços de resíduos, encontram-se também os ensaios de compressibilidade, compactação e resistência ao cisalhamento.

A difração de Raios-X, incorporada da geofísica, assim como nos estudos geotécnicos, pode ser utilizada para complementar a caracterização do material, a partir dos tamanhos das partículas, assim como a análise de distribuição do tamanho das partículas. O potencial calorífico de um resíduo é a forma utilizada para se determinar a rentabilidade da utilização do material para usinas de incineração de resíduos para geração de energia.

Com relação à Figura 5.5, o pH apresenta-se, novamente, como o fator de maior importância. Isso se dá pela sua influência no processo de biodegradação dos resíduos orgânicos, revelando condições propícias ou não para tal. De forma semelhante, a concentração de nutrientes dos resíduos, como nitrogênio, carbono, hidrogênio e cloreto, assim como a concentração de metais nos resíduos, é determinante no que tange a taxa de degradação da matéria orgânica, monitorada em diversos trabalhos. O controle da temperatura é de suma relevância no favorecimento da degradação biológica.

Semelhante ao observado nos estudos geotécnicos, em alguns trabalhos relacionados à resíduos sólidos, foram feitas coletas de lixiviado para análises químicas. Esses experimentos eram em geral mais abrangentes, dada a maior facilidade de determinação das concentrações no percolado. Alguns trabalhos apresentaram, também, estudos sobre os gases gerados nos aterros de resíduos, entretanto, estes não serão aprofundados na presente pesquisa.

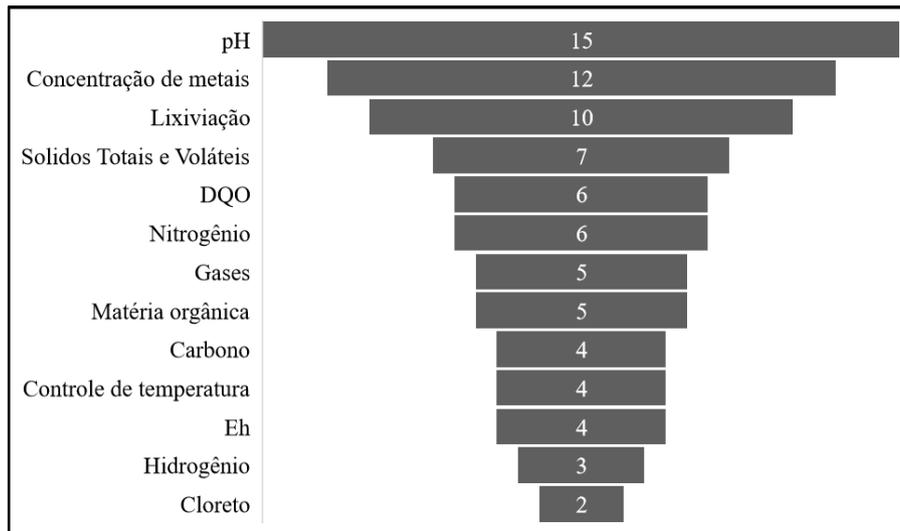


Figura 5.5- Relação do número de trabalhos de resíduos que abordam cada ensaio de caracterização química e biológica

5.2.3. Estudos de Caracterização Geofísica

No âmbito da geofísica, foi elaborado a Figura 5.6, que apresenta os resultados obtidos quanto à abordagem dos métodos geofísicos.

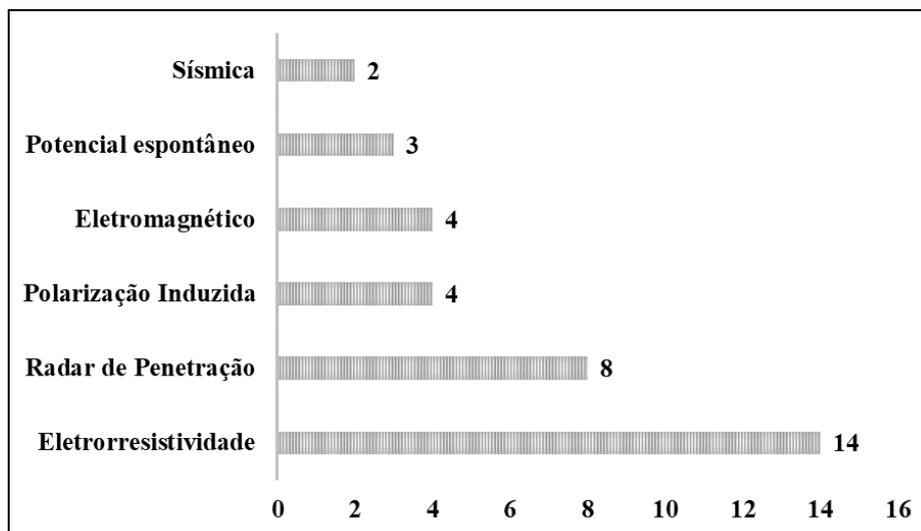


Figura 5.6- Relação do número de trabalhos relacionados a cada método geofísico

Os trabalhos encontrados demonstram que os métodos geofísicos podem fornecer resultados muito proveitosos nas investigações de áreas de disposição de resíduos. Nota-se que o método mais empregado foi a eletrorresistividade, que fornece a resistividade elétrica em um perfil de solo. Segundo de Souza e Gandolfo (2013), as propriedades elétricas dos terrenos sofrem grande influência de eventos que alterem as condições

naturais. Como exemplo desses eventos, pode-se citar a percolação de lixiviado, o que justifica a reincidência do estudo nos trabalhos analisados.

O método GPR, conforme já descrito nesse trabalho, é de alta resolução e fornece a constante dielétrica/ permissividade dielétrica de uma determinada região. O método pode ser utilizado para a detecção da pluma de contaminação, profundidade do nível freático, estratigrafia de aterros e para a identificação de regiões anômalas dentro dos resíduos. Apesar disso, o GPR tem aplicações restritas em virtude do baixo poder de penetração do sinal eletromagnético em regiões ricas em argilas. Entretanto, o seu frequente uso para identificação de utilidades em subsuperfície o torna ainda muito proveitoso para estudos em aterros de resíduos sólidos (de Souza *et al.*, 2013).

A polarização induzida é um fenômeno físico elétrico, em que se detecta a resposta das defasagens de voltagem no subsolo. A partir da sua utilização é possível determinar a presença de materiais polarizáveis no subsolo (Moura e Malagutti Filho, 2003). O método geofísico eletromagnético está associado à detecção da condutividade elétrica do meio. Assim, trata-se de uma forma eficiente de determinar a presença de metais no subsolo, o que pode ser interessante para a caracterização de maciços de resíduos sólidos.

O potencial espontâneo, que fornece o potencial natural de uma dada região, apresenta uma certa facilidade de execução e fornece dados qualitativos que podem ser úteis na determinação da direção da pluma de contaminação. O método sísmico lida com a propagação das ondas elásticas nos materiais geológicos e, assim, está diretamente correlacionado a certas propriedades físicas de materiais, como grau de consolidação/cimentação, alteração, compactação, saturação do maciço. Portanto, a sísmica gera informações que podem ser associadas a resultados de caracterização geotécnica como dados de sondagens mecânicas: percussão, rotativa, trado, ensaio CPT.

5.3. SELEÇÃO DE TRABALHOS DO ITEM ANTERIOR REALIZADOS NO ATERRO JCB

Dentre os estudos já apresentados no tópico 5.1 e 5.2 37, detalhados na Tabela 5.3, foram desenvolvidos no Aterro JCB. Desses itens, foram trabalhados aqueles que se atinham aos temas focos desse estudo: caracterização geotécnica, geofísica e de resíduos. Os que apresentavam focos somente em análises ambientais, geoquímicas, espaciais, modelagem, entre outros, foram classificados apenas na marcação “Outros” na tabela,

não sendo objeto de aprofundamento do presente trabalho. Portanto, no âmbito do Aterro JCB, fazem parte do descarte os trabalhos de números 5, 10, 17, 22, 24, 49, 61, 66, 67, 70, 71, 72. Ressalta-se que em 1998 foi realizado o “Projeto do Aterro Sanitário do Jockey Clube”, que pode ter impulsionado outras pesquisas no período. Por outro lado, a redução do número de trabalhos em alguns períodos pode ter sido resultado de questões políticas.

Tabela 5.3- Estudos realizados no Aterro JCB

Numeração	Ano	Caracterização de Resíduos	Geotecnia	Geofísica	Outros
1	1978				
2	1995				
3	1996				
4	1996				
5	1996				
6	1997				
7	1998				
8	1998				
9	1998				
10	1998				
11	1999				
12	1999				
14	2001				
17	2002				
20	2004				
21	2004				
22	2004				
23	2005				
24	2005				
28	2006				
31	2007				
33	2008				
34	2009				
35	2009				
44	2011				
45	2012				
46	2012				
47	2012				
49	2013				
50	2013				
55	2014				
61	2015				
66	2016				
67	2016				
70	2017				
71	2017				
72	2017				

5.4. MAPEAMENTO DOS ENSAIOS REALIZADOS PELOS TRABALHOS ANALISADOS

Os trabalhos foram divididos entre as três categorias já mencionadas e os ensaios realizados foram catalogados. É importante ressaltar que o resultado desse processo foi incluído na análise dos subtópicos do item 5.2. As Tabela 5.4, Tabela 5.5 e Tabela 5.6 correspondem aos dados encontrados na busca do Aterro JCB, sendo eles, respectivamente, referentes aos trabalhos de resíduos, geofísica e geotecnia.

Tabela 5.4- Trabalhos Aterro JCB- resíduos sólidos

Numeração Trabalhos	Ano	Compressão confinada	Cisalhamento direto	Gravimetria (diferentes condições)	Distribuição do tamanho das partículas	Monitoramento de Recalques	Peso específico	Temperatura	Umidade	Poder calorífico	pH (lixiviado e resíduos)	ST/STV (lixiviado e resíduos)	Concentração de contaminante	DQO (lixiviado e resíduos)
		1	1	7	1	3	1	2	4	1	5	4	2	4
1	1978													
3	1996													
7	1998													
20	2004													
28	2006													
31	2007													
33	2008													
35	2009													
45	2012													

Tabela 5.5- Trabalhos Aterro JCB- geofísica

Numeração	Ano	GPR	Sondagem Eletromagnética	Sísmica de Refração	Resistividade
		6	1	1	5
4	1996				
23	2005				
44	2011				
50	2013				
6	1997				
8	1998				
11	1999				
55	2014				

Tabela 5.6- Trabalhos Aterro JCB- geotecnia

Numeração	Ano	Mineralógicas			Físicas										Químicas														
		Classificação do solo	Classificação segundo Casagrande	Permeabilidade	Massa específica dos grãos	Curva Característica	Difratometria de Raios -X	Triaxial	Grau de Saturação	Porosidade	Limites de Atterberg	Cisalhamento direto	Condutividade elétrica	Compactação	Compressibilidade	Granulometria	Carbono	Saturação por Bases	Saturação por Alumínio	CTC	Pesticidas	Concentração de contaminantes	Matéria Orgânica	DQO	Eh	STD/STV	Concentração de metais	Concentração de nutrientes	pH
		17	5	9	5	1	2	2	1	3	6	1	2	2	2	9	2	1	1	3	1	3	2	1	1	2	5	5	7
2	1995																												
3	1996																												
6	1997																												
7	1998																												
8	1998																												
11	1999																												
12	1999																												
14	2001																												
20	2004																												
21	2004																												
23	2005																												
28	2006																												
31	2007																												
34	2009																												
35	2009																												
45	2012																												
46	2012																												
47	2012																												

Os ensaios já realizados no Aterro JCB foram mapeados a partir das informações dispostas nos trabalhos. Em alguns casos, não foram descritos os pontos de coleta ou de geração de perfis. Portanto, para os trabalhos geotécnicos de número 7, 8, 12, 21, 23 e 31 e para os trabalhos geofísicos de número 6, 8 e 11, não foi possível realizar a georreferenciação. Quanto aos trabalhos de caracterização de resíduos, a maior parte deles foi feita a partir da amostragem de resíduos ainda não depositados no aterro, e as exceções coincidiram com aqueles em que também foi feita a análise geotécnica, portanto, as coordenadas, se fornecidas, foram inseridas no respectivo mapa.

Foi gerado também o mapa, Figura 5.7, a partir de imagens de referência de anos anteriores, que retratam o princípio da deposição dos resíduos sólidos no Aterro JCB. No trabalho de Santos (1996) foi feito um processo semelhante, que foi adaptado por Cavalcanti (2013), e o produto gerado corresponde à Figura 3.24 do presente trabalho. Os dois mapas de datação junto aos mapas de amostragem serviram de base para a escolha dos futuros pontos amostrais estratégicos para a realização de novos ensaios de caracterização no local, visando à definição dos processos de remediação adequados à área. Nos subtópicos seguintes pode-se analisar os mapas gerados.

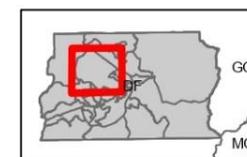
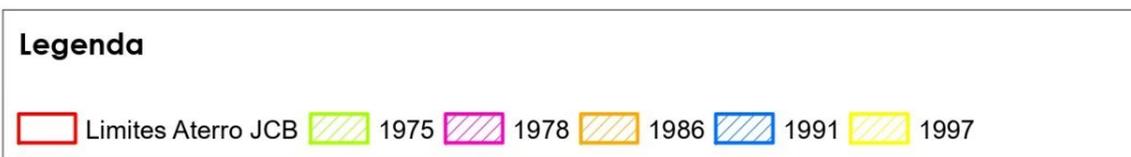
5.4.1. Datação

Os anos evidenciados no mapa de datação (Figura 5.7) são os de 1975, 1978, 1986, 1991 e 1997. Ressalta-se que o mapa utilizado como base para esse projeto e para os seguintes foi disponibilizado pela Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação (SEDUH) e data do ano de 2015. Percebe-se que durante mais de uma década, de 1975 a 1986, a região de deposição de resíduos foi a que hoje é ocupada pelo Setor Habitacional Santa Luzia. Nesse período, a deposição era realizada irregularmente, e a região em que hoje está localizado o Aterro JCB não era ainda destinada a nenhum uso.

No ano de 1986 o local de disposição dos resíduos passou a ser parte da área que integra a poligonal do aterro. Em 1998 houve um registro de um projeto de Aterro Sanitário para a região, e tal documento consta na base de dados deste trabalho, sob numeração 7. O projeto foi desenvolvido voltado para a análise situacional do local, não havendo registros de melhorias realizadas ou previstas para serem realizadas.

A deposição de resíduos continuou nos anos seguintes, como pode ser visto pelas feições do mapa de 1991 e 1996, avançando para dentro da área do Aterro JCB. De acordo

com Cavalcanti (2013) de 1997 a 2012 foi utilizada para aterramento a área de interseção dos anos de 1991 e 1997, denominada por “aterro intermediário”. Entretanto, percebe-se pela imagem fornecida pela SEDUH e por imageamentos de satélites disponibilizados pelo software *Google Earth* que, após o ano de 2012, além dessa área que vinha sendo utilizada, a disposição se estendeu para as porções Noroeste e Sul do aterro. Assim, de 2012 até o encerramento das atividades de aterramento de resíduos sólidos urbanos em janeiro de 2018, praticamente toda a área do aterro foi utilizada para deposição. Com exceção da região mais próxima à Santa Luzia e de uma faixa na fronteira com o PNB que, segundo informações do SLU, foi embargada em vista do risco de contaminação do parque. De 2018 a 2019 o Aterro JCB vem recebendo somente resíduos da construção civil, considerados inertes e sem potencial poluidor.



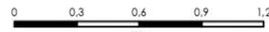
Universidade de Brasília	Mapa Datação Aterro JCB	
Realizado por: Johanna Santos		
Fonte: SLU/ SEDUH/ Trabalhos Desenvolvidos no Aterro JCB	SIRGAS 2000 UTM Zone 23S Transverse Mercator	 
Data: 25/06/2019		



Figura 5.7- Deposição ao longo dos anos no Aterro JCB

5.4.2. Mapas de amostragens realizadas

O mapa de amostragens geotécnicas, Figura 5.8, compila os pontos de coleta já realizadas no local. As áreas referentes ao Parque Urbano da Estrutural, à ARIE Cabeceira do Valo e à ARIE Vila Estrutural foram traçadas de acordo com as informações dos Planos de Manejo e Uso desenvolvidos pela Greentec para cada local. Com exceção da ARIE Cabeceira do Valo, não foram realizadas amostragens pela empresa, nesses casos a caracterização foi realizada com base no disposto na literatura. Os ensaios realizados por Abreu (2001) e Santana *et al.* (2009) apresentaram pontos que se estenderam para além dos limites do Aterro JCB, localizando-se dentro do perímetro do Parque Nacional de Brasília. Assim, esses dois trabalhos foram abordados na Figura 5.9 para não prejudicar a visualização dos pontos de coleta dos demais trabalhos.

Na Figura 5.10, podem-se visualizar os locais de sondagens de perfis geofísicos. Percebe-se que Stollberg e Weiß (2011) e Cavalcanti (2013 e 2014) fizeram perfis de controle nos arredores do aterro, além dos perfis realizados nos limites desse. Franco, ainda em 1996, desenvolveu um trabalho muito completo, abrangendo 4 técnicas de sondagens. Cabe ressaltar que, tanto no mapa de ensaios geotécnicos quanto no de ensaios geofísicos alguns pontos não foram plotados com precisão, tendo em vista a evolução dos softwares SIG ao longo dos anos que os estudos analisados foram desenvolvidos. Foram usadas ferramentas diversas dentro do software ArcGIS para a conversão de coordenadas e georreferenciamento de mapas e informações coletadas.

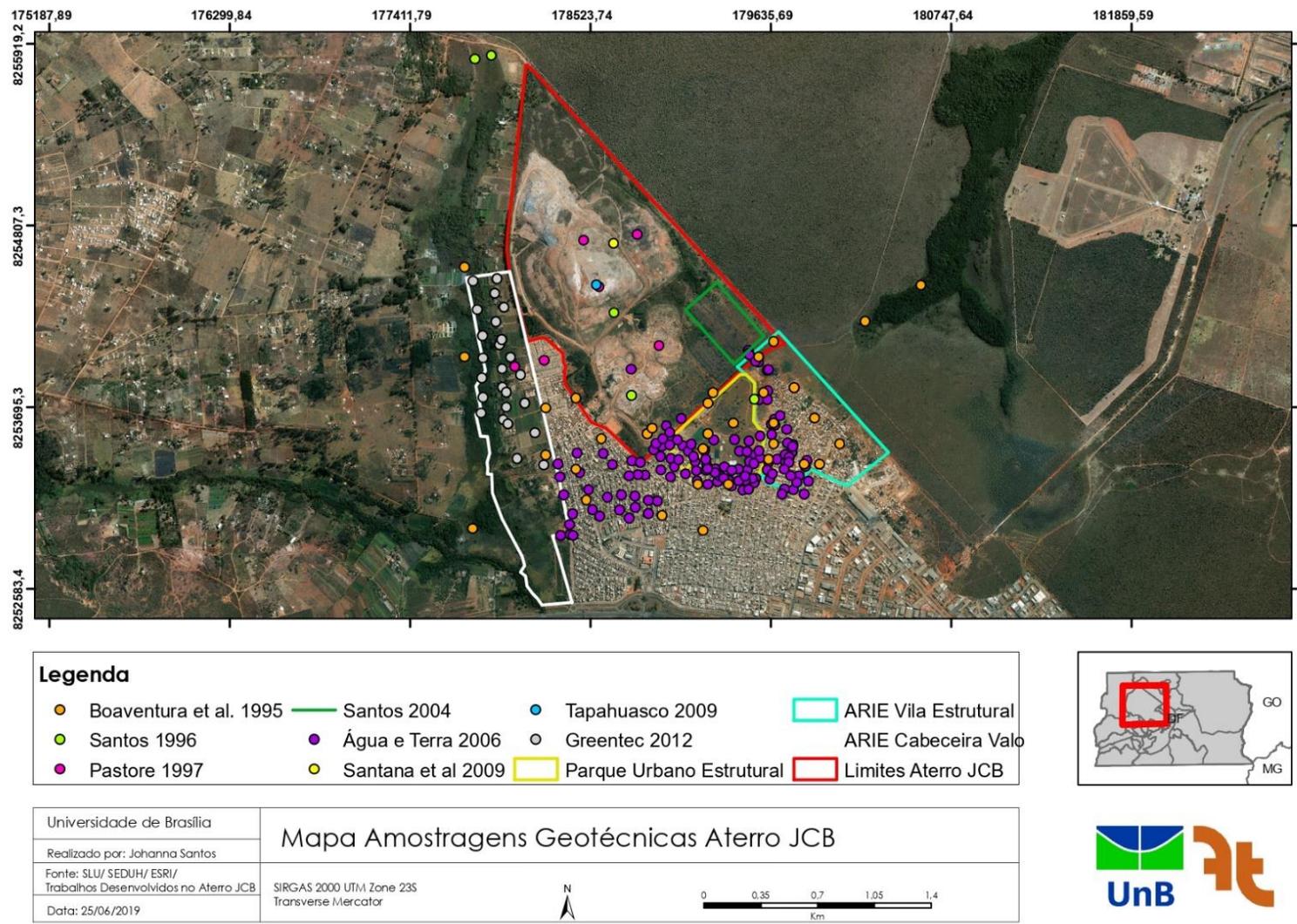
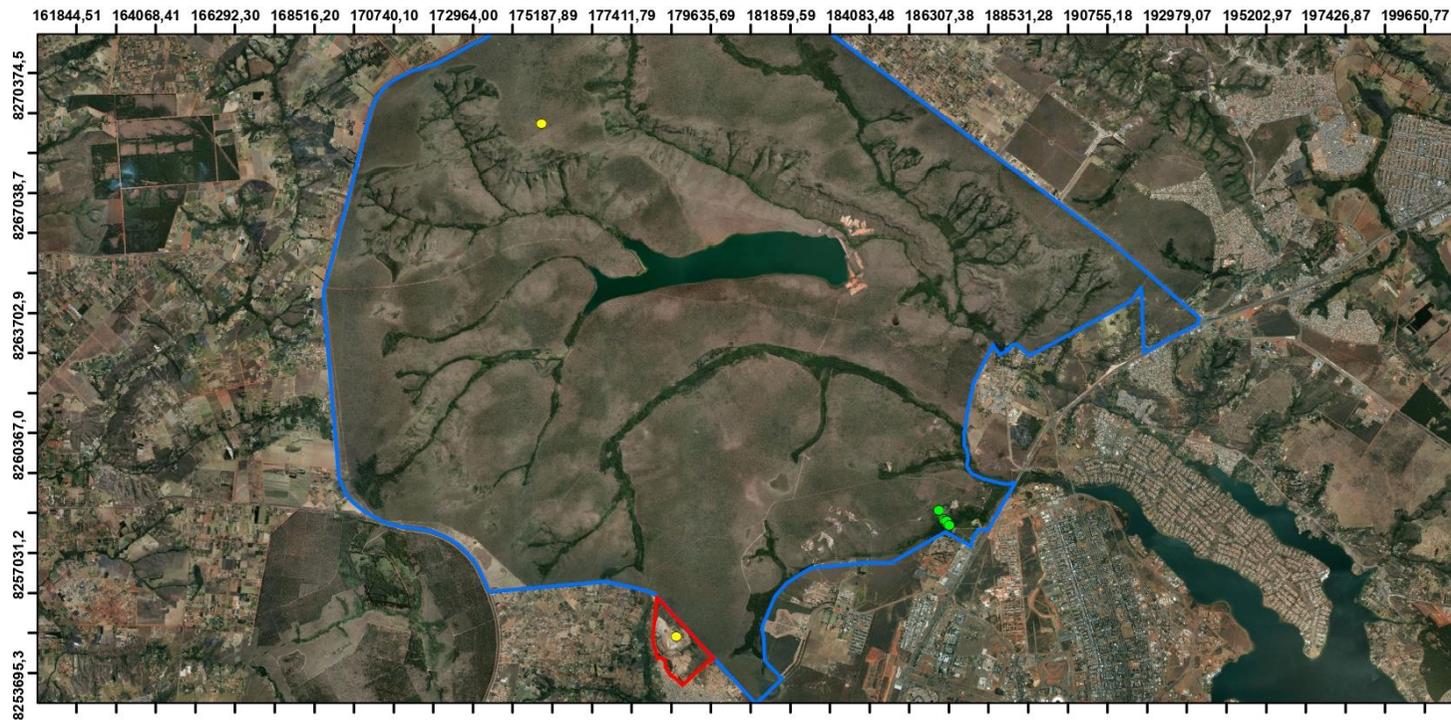
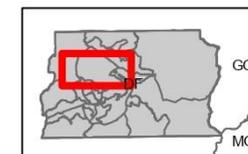


Figura 5.8- Ensaios Geotécnicos Realizados



Legenda

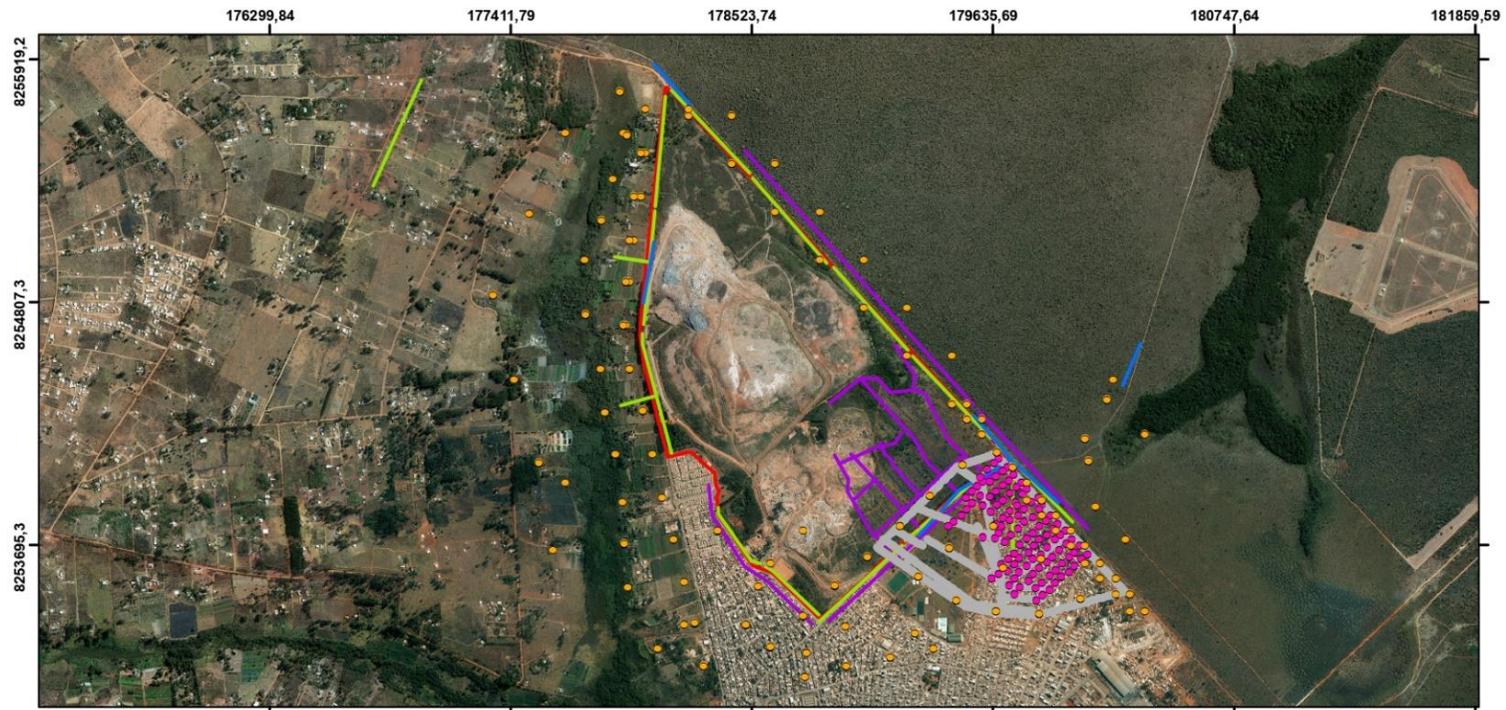
- Santana et al 2009
- Abreu 2001
- ▭ Limites Aterro JCB
- ▭ PNB



Universidade de Brasília	Mapa Amostragens no PNB		
Realizado por: Johanna Santos	Fonte: SLU/ SEDUH/ ESRI/ Trabalhos Desenvolvidos no Aterro JCB		
Data: 28/06/2019	SIRGAS 2000 UTM Zone 23S Transverse Mercator		

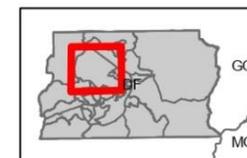


Figura 5.9- Amostras Abreu (2001) e Santana *et al.* (2009)



Legenda

Limites Aterro JCB	Cavalcanti 2012	Stollberg e Weiss 2011	Franco 1996	Gradiometria Magnética
Eletrorresistividade	Perfis de Resistividade	Eletrorresistividade	Sondagem Magnetotelúrica	
GPR		Perfilagem Eletromagnética		



Universidade de Brasília	Mapa Amostragens Geofísicas Aterro JCB SIRGAS 2000 UTM Zone 23S Transverse Mercator
Realizado por: Johanna Santos	
Fonte: SLU/ SEDUH/ Trabalhos Desenvolvidos no Aterro JCB	
Data: 25/06/2019	



Figura 5.10- Ensaios Geofísicos Realizados

5.5. DEFINIÇÃO DE PONTOS AMOSTRAIS ESTRATÉGICOS

Os estudos e análises realizadas até então, levaram à definição de alguns ensaios específicos como prioritários, dado o número de sua reincidência na pesquisa como um todo. Foram filtrados aqueles cujo percentual de aplicação foi maior ou igual a 25%. As Tabela 5.7 e

Tabela 5.8 apresentam tais resultados para a caracterização geotécnica e de resíduos, respectivamente. Para a geofísica, foram observados como mais recorrentes o emprego dos métodos de eletrorresistividade (82%) e radar de penetração (47%).

Tabela 5.7- Percentual de repetição dos ensaios geotécnicos mais recorrentes

Geotecnia	
Características Físicas e Hidráulicas	Percentual
Classificação do solo	97%
Permeabilidade	63%
Granulometria	50%
Massa específica dos grãos	33%
Limites de Atterberg	33%
Características Químicas e Biológicas	Percentual
pH	47%
Concentração de metais	43%
Matéria orgânica	30%
Concentração de nutrientes	27%

Tabela 5.8- Percentual de repetição dos ensaios com resíduos mais recorrentes

Resíduos	
Características Físicas e Hidráulicas	Percentual
Gravimetria	69%
Umidade	31%
Densidade	28%
Características Químicas e Biológicas	Percentual
pH	52%
Concentração de metais	41%
Lixiviação	34%

Apesar de estatisticamente os ensaios com o maior número de repetições serem os mais importantes, existem outros ensaios adicionais que foram definidos também como prioritários, ainda que não tenham sido realizados com tanta frequência. Cabe aqui pontuar que as escolhas desses ensaios geotécnicos e geofísicos foram voltadas essencialmente para a remediação da área, enquanto a seleção para resíduos foi pautada

também no objetivo de caracterização do material depositado para a mineração. Os ensaios selecionados a partir de aspectos de relevância dos resultados encontram-se nas Tabela 5.9

Tabela 5.10Tabela 5.11, sendo, respectivamente, geotécnicos, de resíduos e geofísicos.

Tabela 5.9- Ensaaios geotécnicos mais relevantes além dos mais recorrentes

Características Físicas e Hidráulicas		
Propriedade	Percentual	Justificativa da Relevância
Porosidade	17%	Índices Físicos: O conhecimento das propriedades do solo permite avaliar melhor a percolação do lixiviado pelos vazios.
Teor de umidade	13%	
Grau de Saturação	3%	
Curva Característica (sucção)	13%	Permite determinar a tendência de lixiviados de permanecerem nos vazios do solo, o que pode fazer com que a contaminação não chegue nos corpos hídricos.
Resistência ao cisalhamento	10%	A determinação da tendência do solo a se romper auxilia na avaliação da estabilidade do maciço
Características Químicas e Biológicas		
CTC	20%	Avaliação da atividade físico-química do solo.
Eh	7%	Influenciado pela mineralogia do solo e pelo teor e composição química da água presente nos vazios, auxilia na identificação de contaminantes no solo.
Concentração de Contaminantes	10%	Determinação do nível de contaminação.

Tabela 5.10- Ensaaios de resíduos mais relevantes além dos mais recorrentes

Características Físicas e Hidráulicas		
Propriedade	Percentual	Justificativa da Relevância
Monitoramento de Recalques	24%	Controle da estabilidade do maciço de resíduos.
Compressibilidade	21%	A capacidade de compressibilidade influi na quantidade de resíduo que pode estar contido num determinado volume.
Condutividade elétrica	10%	Determinação do caráter elétrico dos materiais, pode ser comparado aos resultados geofísicos
Resistência ao cisalhamento	10%	Avaliação da estabilidade do maciço de resíduos e solo
Potencial calorífico	10%	Quantificação do potencial gerador de energia dos resíduos aterrados
Características Químicas e Biológicas		
Gases	17%	Apesar de não ser uma medição direta de resíduos, a quantificação dos gases gerados permite estimar o potencial de produção de metano- fonte de energia- dos aterros de resíduos

Matéria orgânica	17%	A quantificação do teor de orgânicos dos resíduos é essencial na definição do potencial calorífico ou do potencial de geração de metano.
Controle de temperatura	14%	A temperatura regula os processos de degradação da matéria orgânica.

Tabela 5.11- Métodos geofísicos mais relevantes além dos mais recorrentes

Métodos Geotécnicos		
Propriedade	Percentual	Justificativa da Relevância
Eletromagnético	24%	Simple e rápida operação, atinge até 60 metros de profundidade, leituras diretas da velocidade da onda eletromagnética.
Sísmica	12%	Informações produzidas podem ser correlacionadas às propriedades físicas geotécnicas dos materiais.

Portanto, com a adição dos itens expostos, foram geradas as Tabela 5.12, Tabela 5.13 e Tabela 5.14 em que está descrita a campanha de ensaios necessária para um processo de caracterização de uma área de aterramento de resíduos. Cada procedimento foi detalhado com a respectiva dimensão e norma de regulamentação para a caracterização geotécnica e de resíduos e com o respectivo parâmetro físico para a caracterização geofísica.

Tabela 5.12- Proposta de campanha de ensaios de caracterização geotécnica para aterros de resíduos

GEOTECNIA			
	Ensaio	Norma	
	Classificação do solo	[-] SiBCS	
	Permeabilidade	[LT ⁻¹] NBR n° 13292 (ABNT, 2019) NBR n° 14545 (ABNT, 2015)	
Físicas e Hidráulicas	Granulometria	[-] NBR n° 7181 (ABNT, 2018) NBR n° 6457 (ABNT, 2016)	
	Massa específica dos grãos	[Adm] NBR n° 6458 (ABNT, 2016) NBR n° 6457 (ABNT, 2016)	
	Limites de Atterberg	[%] NBR n° 6459 (ABNT, 2016) NBR n° 7180 (ABNT, 2016)	
	Porosidade	[Adm] NBR n° 6457 (ABNT, 2016)	
	Curva Característica	[Adm] NBR n° 7182 (ABNT, 2016)	
	Teor de umidade	[%] NBR n° 16097 (ABNT, 2016)	
	Resistência ao cisalhamento	[MT ⁻² L ⁻¹] NBR n° 12770 (ABNT, 2019) NBR n° 6484 (ABNT, 2001)	
	Grau de Saturação	[%] NBR n° 6458 (ABNT, 2016)	
	Químico	pH	[Adm] NBR n° 9252 (ABNT, 2016)
		Concentração de metais	[ML ⁻³] Embrapa (2017)

Concentração de nutrientes	[ML ⁻³]	Embrapa (2017)
Matéria orgânica	[ML ⁻³]	NBR n° 13600 (ABNT, 2019)
CTC	[Adm]	Embrapa (2017)
Concentração de Contaminantes	[ML ⁻³]	Embrapa (2017)
Eh	[Adm]	NBR n° 9252 (ABNT, 2016)

Tabela 5.13- Proposta de campanha de ensaios de caracterização de resíduos para aterros de resíduos

RESÍDUOS				
	Ensaio	Norma		
Físicas e Hidráulicas	Gravimetria	[%]	NBR n° 10007 (ABNT, 2017)	
	Umidade	[%]	NBR n° 16097 (ABNT, 2016)	
	Densidade	[ML ⁻³]	NBR n° 6458 (ABNT, 2016) NBR n° 6457 (ABNT, 2016)	
	Monitoramento de Recalques	[L]	NBR n° 12770 (ABNT, 2019) NBR n° 6484 (ABNT, 2001)	
	Compressibilidade	[T ² LM ⁻¹]	NBR n° 12770 (ABNT, 2019) NBR n° 6484 (ABNT, 2001)	
	Condutividade elétrica	[I ² T ³ M ⁻¹ L ⁻³]	-	
	Resistência ao cisalhamento	[MT ⁻² L ⁻¹]	NBR n° 12770 (ABNT, 2019) NBR n° 6484 (ABNT, 2001)	
	Poder calorífico	[L ² T ⁻²]	-	
	Químicos e Biológicos	pH	[Adm]	NBR n° 9252 (ABNT, 2016)
		Concentração de metais	[ML ⁻³]	Embrapa (2017)
Lixiviação		[-]	NBR n° 10005 (ABNT, 2017)	
Gases		[-]	NBR n° 16562 (ABNT, 2017)	
Matéria orgânica		[ML ⁻³]	NBR n° 13600 (ABNT, 2019)	
Controle de temperatura		Kelvin	NBR n° 14610 (ABNT, 2015)	

Tabela 5.14- Proposta de campanha de ensaios de caracterização geofísica para aterros de resíduos

Ensaio	
Eletroresistividade	Resistividade elétrica
Radar de Penetração	Constante dielétrica/ Permissividade dielétrica
Eletromagnético	Condutividade elétrica
Sísmica de Reflexão e Refração	Velocidade de propagação de ondas mecânicas

Por meio do cruzamento dos dados obtidos para o Aterro JCB e das Tabelas 5.12, 5.13 e 5.14 foram definidos os ensaios prioritários a serem realizados na região. Objetivou-se, na seleção, cumprir com todos os pontos da metodologia proposta, e adicionar resultados de ensaios menos recorrentes. Assim, os ensaios de caracterização geotécnica que precisam ser realizados são: porosidade, curva característica (sucção), teor de umidade, resistência ao cisalhamento e grau de saturação dentre os físicos e hidráulicos; e matéria orgânica, CTC, concentração de contaminantes e Eh dentre os químicos e biológicos.

Para a definição dos pontos de amostragem futuros, foram consideradas como prioritárias as regiões em que ainda foram realizados estudos com coleta de solo. A fim de determinar essas regiões, foram desenvolvidos alguns procedimentos no ArcGIS. Foram gerados *buffers* de 200 metros de raio em torno da área total de deposição ao longo dos anos. Em volta dos pontos já amostrados pelos trabalhos estudados, foram definidas áreas de influência, a partir da geração de *buffers* de 200 m e 500 m de raio, que constam nas figuras 5.11 e 5.12, respectivamente, cabe ressaltar que, a partir de *buffers* de 750 metros de raio, toda a área é considerada atendida. As áreas dos *buffers* de amostragem foram descontadas da área de influência para a datação, determinada anteriormente. Desse modo, chegou-se aos mapas propostos nas Figuras 5.13 e 5.14. Os mapas sugerem duas análises, uma, mais conservadora, em que os ensaios são considerados representativos em um raio de 200 metros (Figura 5.13) e outra em que o raio proposto é de 500 metros (Figura 5.14 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Para a primeira delas, a área total que deve ser amostrada compreende 149,87 hectares e para a segunda 26,99 hectares. Sugere-se que, além do disposto nos mapas, sejam analisados pontos mais internos ao PNB que, por ser uma área de preservação tão próxima de um aterro de resíduos, se torna um caso que precisa ser monitorado.

Para a caracterização de resíduos, foram selecionados para a futura realização os seguintes ensaios: densidade, monitoramento de recalques, compressibilidade, condutividade elétrica, resistência ao cisalhamento e potencial calorífico dentre os físicos e hidráulicos; e concentração de metais, gases, matéria orgânica e controle de temperatura dentre os químicos e biológicos.

No que concerne aos estudos geotécnicos, foram realizados diversos tipos de ensaios. A maior parte dos estudos desenvolvidos até então, principalmente no que tange

às pesquisas geofísicas, centravam-se na delimitação dos limites e da propagação da pluma de contaminação. Logo, foram realizadas poucas sondagens no interior do Aterro JCB. Dentro da perspectiva de estudos de aterros para a mineração de resíduos, é fundamental que tais pesquisas, na região de deposição, também sejam realizadas. Após o fechamento do Aterro JCB, o desenvolvimento dessas pesquisas torna-se bem mais aplicável. Os métodos menos empregados, que se sugerem para estudos futuros foram o eletromagnético e a sísmica de reflexão e refração, visto que esses foram indicados em trabalhos estudados como apropriados e recomendados para estudos geotécnicos em superfície.

Foi gerado um exemplo de aplicação da metodologia proposta, com base nos resultados obtidos para o Aterro JCB. Para tal procedimento, considerou-se as áreas em que já foram realizados ensaios geotécnicos como caracterizadas. Isto posto, foi determinado uma quantidade de ensaios de cada tipo a ser desenvolvida em cada área de coleta com base em conhecimentos prévios adquiridos. Após, foi definido o número de amostragens necessárias determinando como caracterizadas áreas de 200 m, 500 m e 750 m de raio de buffer (raio de influência) em torno de cada ponto amostrado. Os resultados gerados podem ser visualizados na Tabela 5.15 de forma resumida e com o detalhamento dos ensaios na Tabela 5.16.

Tabela 5.15- Detalhamento de áreas e ensaios para caracterização do Aterro JCB

Raio do Buffer [m]	Área Caracterizada [m²]	Área a ser caracterizada [m²]	Ensaios Faltantes
200	2722508	1498700	644
500	3951308	269900	35
750	4221208	0	0

A partir dos resultados gerados pelos ensaios propostos por essa metodologia, será possível definir quais as formas de remediação mais adequadas para o Aterro JCB, para assim, conter a contaminação, preservando os corpos d'água adjacentes e os mananciais do DF; e melhorar a qualidade de vida da população que vive na região. Além disso, será possível partir para o reaproveitamento dos resíduos sólidos ali depositados, por meio da geração de energia elétrica limpa e sustentável, seguindo o propósito da economia circular e fechando um ciclo de décadas de consumo.

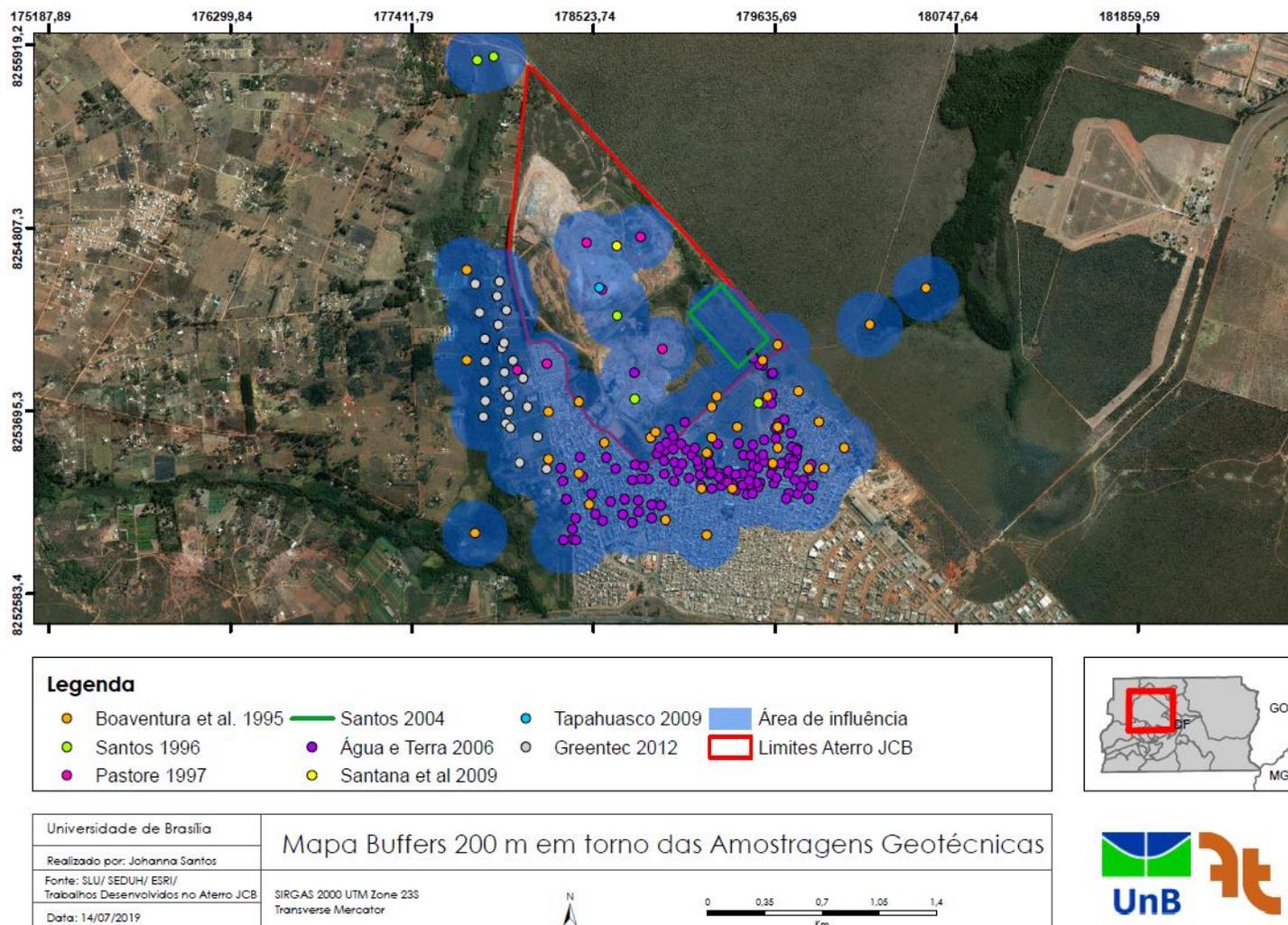


Figura 5.11- Áreas de influência para cada ponto de amostragem considerando raios de 200 m

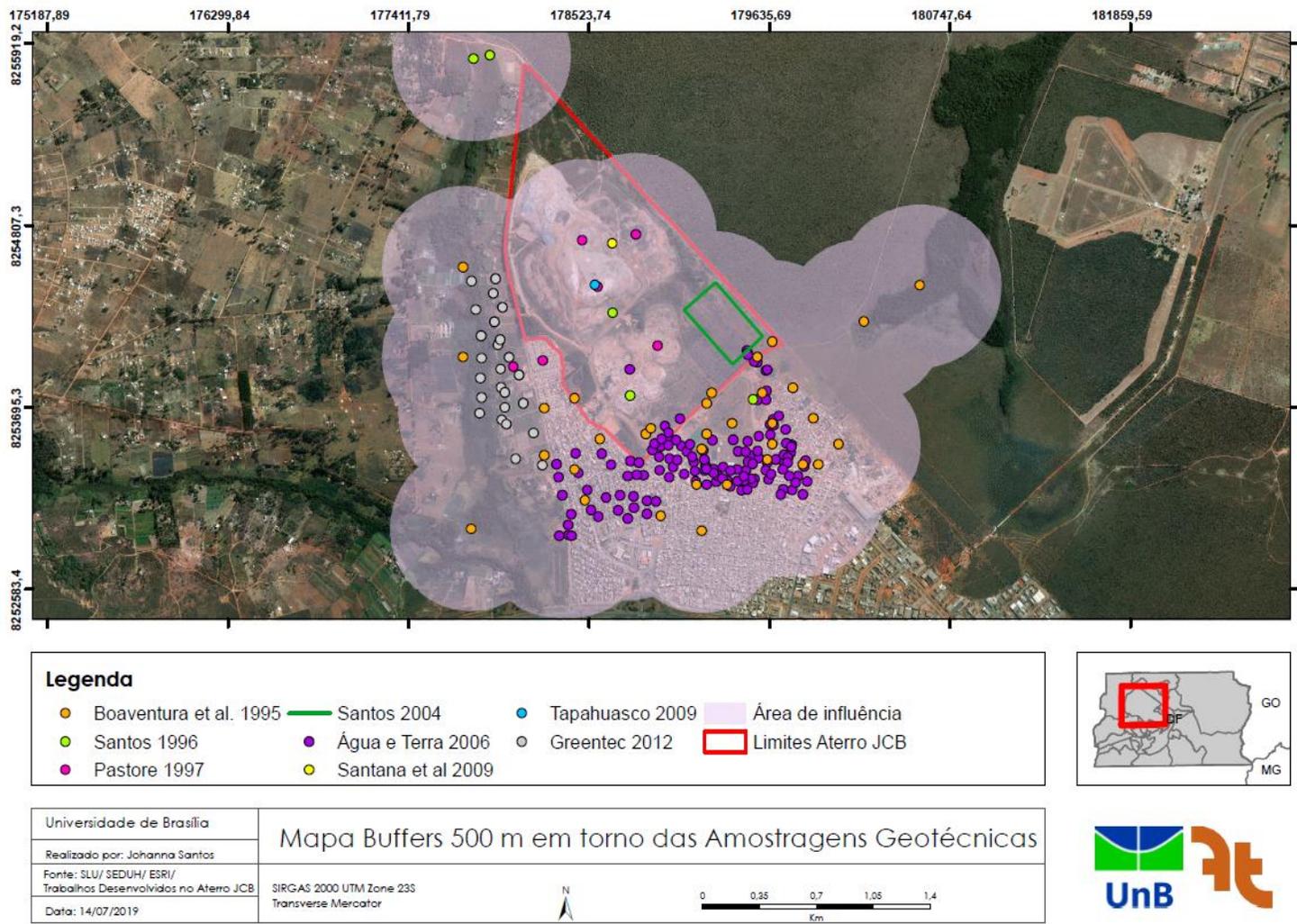
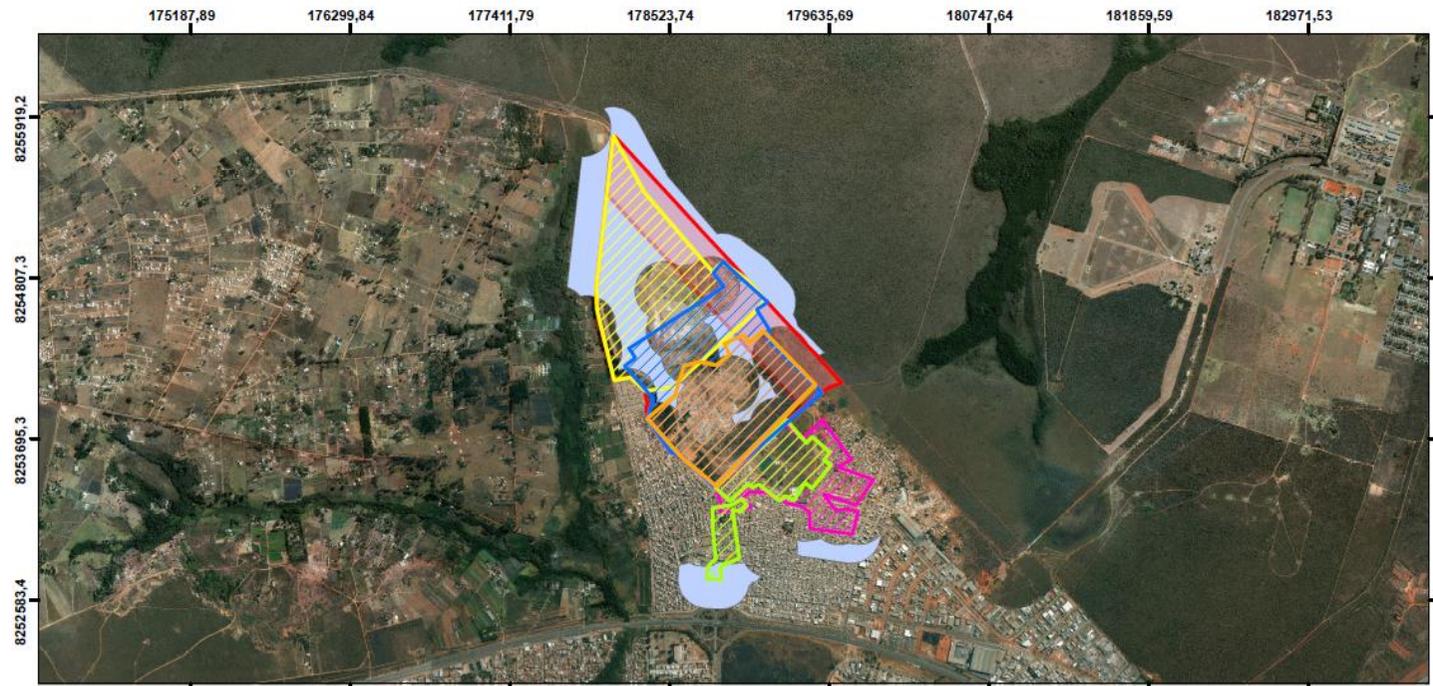
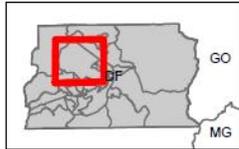


Figura 5.12- Áreas de influência para cada ponto de amostragem considerando raios de 500 m



Legenda

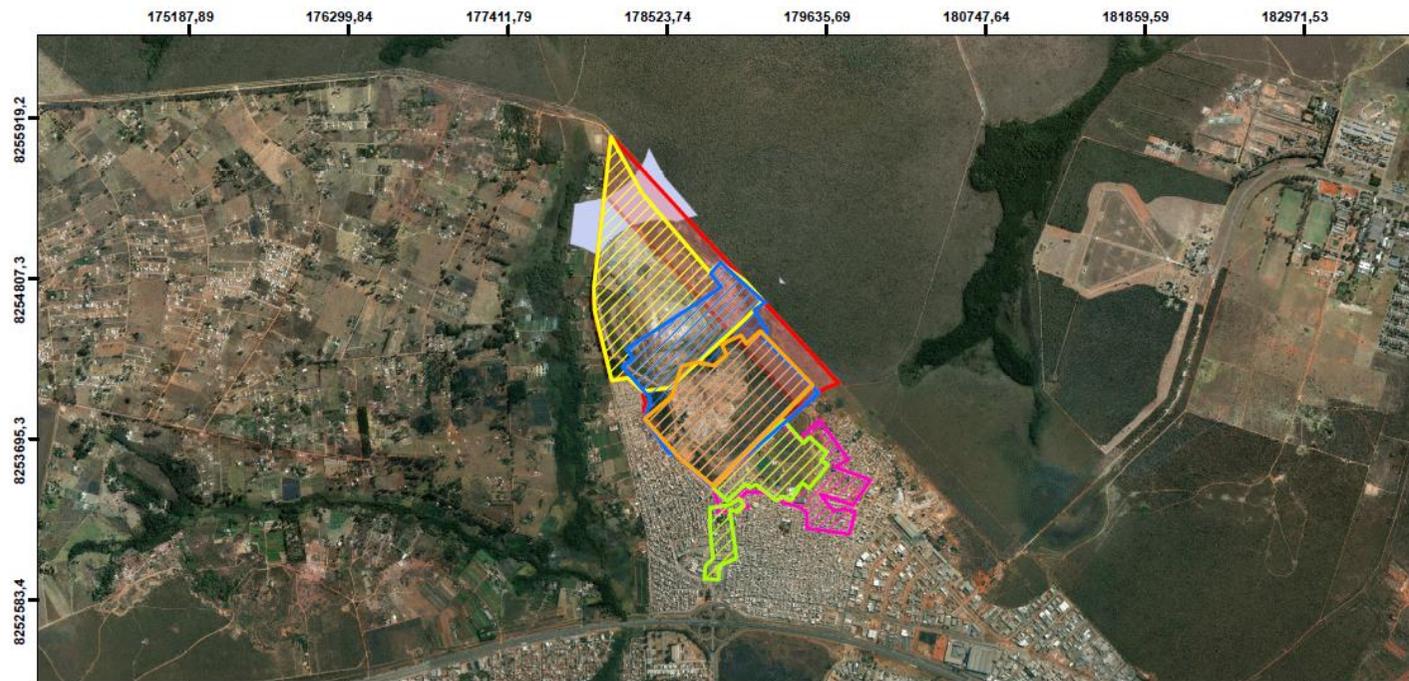
Áreas não atendidas	1978	1991	Limite Aterro JCB
1975	1986	1997	Área Embargada



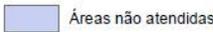
Universidade de Brasília	<p>Mapa Áreas Não Atendidas com Buffer de 200 metros</p> <p>SIRGAS 2000 UTM Zone 23S Transverse Mercator</p>
Realizado por: Johanna Santos	
Fonte: SLU/ SEDUH/ Trabalhos Desenvolvidos no Aterro JCB	
Data: 30/06/2019	

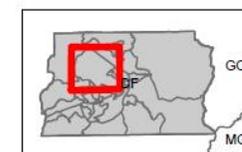


Figura 5.13- Áreas prioritárias para ensaios futuros, a partir de buffers de 200 metros



Legenda

	Áreas não atendidas		1978		1991		Limite Aterro JCB
	1975		1986		1997		Área Embargada



Universidade de Brasília	<p>Mapa Áreas Não Atendidas com Buffer de 500 metros</p>  
Realizado por: Johanna Santos	
Fonte: SLU/ SEDUH/ Trabalhos Desenvolvidos no Aterro JCB	
Data: 30/06/2019	
	

Figura 5.14- Áreas prioritárias para ensaios futuros, a partir de buffers de 500 metros

Tabela 5.16- Aplicação da metodologia para o Aterro JCB- quantidade de ensaios por área para os *buffers* considerados

		Quantidades/m ²	Raio do <i>Buffer</i>			
			200 m	500 m	>750 m	
Geotecnia	Físicas e Hidráulicas	Classificação do solo	1	12	1	0
		Permeabilidade	2	24	1	0
		Granulometria	1	12	1	0
		Massa específica dos grãos	1	12	1	0
		Limites de Atterberg	2	24	1	0
		Porosidade	1	12	1	0
		Curva Característica	2	24	1	0
		Teor de umidade	4	48	1	0
		Resistência ao cisalhamento	2	24	1	0
	Grau de Saturação	2	24	1	0	
	Químicas e Biológicas	pH	2	24	1	0
		Concentração de metais	2	24	1	0
		Concentração de nutrientes	2	24	1	0
		Matéria orgânica	2	24	1	0
		CTC	1	12	1	0
		Concentração de Contaminantes	2	24	1	0
		Eh	2	24	1	0
Resíduos	Físicas e Hidráulicas	Gravimetria	1	12	1	0
		Umidade	4	48	1	0
		Densidade	1	12	1	0
		Monitoramento de Recalques	1	12	1	0
		Compressibilidade	1	12	1	0
		Condutividade elétrica	1	12	1	0
		Resistência ao cisalhamento	1	12	1	0
		Poder calorífico	1	12	1	0
	Químicas e Biológicas	pH	2	24	1	0
		Concentração de metais	1	12	1	0
		Lixiviação	1	12	1	0
		Gases	1	12	1	0
		Matéria orgânica	1	12	1	0
Controle de temperatura	2	24	1	0		
Geofísica	Eletrorresistividade	1	12	1	0	
	Radar de Penetração	1	12	1	0	
	Eletromagnético	1	12	1	0	
	Sísmica	1	12	1	0	

6. CONCLUSÕES

Foi realizada a leitura de 76 trabalhos encontrados para se tomar conhecimento do que tem sido feito no âmbito da caracterização de aterros de resíduos no Brasil. A partir disso, foi possível classificar os trabalhos em função dos principais eixos de estudo. Foi aplicado um filtro visando selecionar os trabalhos relacionados à caracterização geotécnica, de resíduos e geofísica. E assim, gerou-se uma análise estatística dos métodos e ensaios mais empregados nos trabalhos encontrados para delimitar a campanha de ensaios padrão que deve ser realizada em um aterro de resíduos.

Dentro do estudo de caso, foram selecionados, dos trabalhos estudados, aqueles que foram desenvolvidos no Aterro JCB. A partir disso foram gerados mapas consistentes sobre os estudos geotécnicos e geofísicos já realizados no Aterro JCB. Como as análises de resíduos foram feitas, em sua maioria, com resíduos sólidos ainda não aterrados, não foram definidas coordenadas para os pontos de coleta. Nos poucos casos em que havia pontos, esses foram inseridos no mapa de análises geotécnicas, visto que os estudos foram realizados em conjunto para os dois eixos- geotecnia e resíduos.

Foram consideradas áreas de influência de 200 m e 500 m de raio, a partir dos pontos já amostrados, em que a caracterização seria representativa. A primeira delas sendo mais conservadora que a segunda. Essas áreas foram descontadas da Com base nessas duas análises, foi possível definir as áreas ainda não caracterizadas, que seriam pontos prioritários para amostragens futuras. Para o primeiro caso, de 200 m de raio, a área que ainda precisa ser caracterizada é igual a 1498700 m² e para o segundo caso, de 500 m de raio, a área é de 269900 m².

A campanha de ensaios foi definida a partir de critérios de recorrência e de relevância. De forma que, os ensaios desenvolvidos por mais de 25% dos trabalhos estudados, foram considerados como essenciais. Da mesma maneira, alguns outros ensaios, classificados como relevantes a partir de conhecimentos prévios da área, foram incorporados à campanha final de ensaios. Foi realizada também, a aplicação da campanha para o Aterro JCB, sendo definidos como necessários para a completa caracterização do local, mais 644 ensaios para o caso dos raios de influência de 200 m e mais 35 para 500 m de raio, o detalhamento desses ensaios foi exposto na Tabela 6.1. A metodologia mostrou-se, portanto aplicável para casos como o do presente estudo de caso.

Tabela 6.1- Aplicação da metodologia para o Aterro JCB- quantidade de ensaios por área para os buffers considerados

		Quantidades/m ²	Raio do <i>Buffer</i>				
			200 m	500 m	>750 m		
Geotecnia	Físicas e Hidráulicas	Classificação do solo	1	12	1	0	
		Permeabilidade	2	24	1	0	
		Granulometria	1	12	1	0	
		Massa específica dos grãos	1	12	1	0	
		Limites de Atterberg	2	24	1	0	
		Porosidade	1	12	1	0	
		Curva Característica	2	24	1	0	
		Teor de umidade	4	48	1	0	
		Resistência ao cisalhamento	2	24	1	0	
	Grau de Saturação	2	24	1	0		
	Químicas e Biológicas	pH	2	24	1	0	
		Concentração de metais	2	24	1	0	
		Concentração de nutrientes	2	24	1	0	
		Matéria orgânica	2	24	1	0	
		CTC	1	12	1	0	
		Concentração de Contaminantes	2	24	1	0	
		Eh	2	24	1	0	
	Resíduos	Físicas e Hidráulicas	Gravimetria	1	12	1	0
			Umidade	4	48	1	0
Densidade			1	12	1	0	
Monitoramento de Recalques			1	12	1	0	
Compressibilidade			1	12	1	0	
Condutividade elétrica			1	12	1	0	
Resistência ao cisalhamento			1	12	1	0	
Poder calorífico			1	12	1	0	
Químicas e Biológicas		pH	2	24	1	0	
		Concentração de metais	1	12	1	0	
		Lixiviação	1	12	1	0	
		Gases	1	12	1	0	
		Matéria orgânica	1	12	1	0	
Controle de temperatura	2	24	1	0			
Geofísica	Eletrorresistividade	1	12	1	0		
	Radar de Penetração	1	12	1	0		
	Eletromagnético	1	12	1	0		
	Sísmica	1	12	1	0		

Os resultados do trabalho foram condizentes com os objetivos propostos, de forma que foi possível cumprir com todos os requisitos sugeridos. Foi realizada a revisão bibliográfica; o recorte de acordo com as áreas de interesse da pesquisa; a análise dos trabalhos desenvolvidos para o Aterro JCB; o mapeamento dos ensaios já realizados para o estudo de caso; e a proposta da metodologia de caracterização geotécnica, de resíduos e geofísica, bem como a sua aplicação para o Aterro JCB.

Espera-se que a adoção da metodologia desenvolvida gere resultados pertinentes na resolução de problemas ambientais associados a lixões e aterros controlados. Como sugestão de estudos futuros, salienta-se o desenvolvimento dos ensaios propostos para o Aterro JCB. Entende-se que o presente trabalho servirá como insumo para a continuidade dos objetivos do Projeto RAEESA. Sugere-se também, que seja empregada a campanha de ensaios proposta em outras áreas de contaminação por resíduos. Além disso, propõem-se que seja realizado um estudo dos trabalhos de análises de águas, lixiviado e gases já realizados nas proximidades do Aterro JCB, a fim de definir e compilar o que já se sabe sobre a região nesse quesito, assim como observar mudanças na contaminação dos corpos hídricos ao longo dos anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT/NBR n° 10.004. (2004). Resíduos sólidos – Classificação (p. 77).
- ABNT/NBR n° 13292. (2019). Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante - Metodo de ensaio.
- ABNT/NBR n° 8849. (1985). Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos - Procedimento.
- ABNT NBR n° 6457. (2016). Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.
- ABNT NBR n° 10005. (2017). Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.
- ABNT NBR n° 10007. (2017). Amostragem de resíduos sólidos.
- ABNT NBR n° 12770. (2019). Solo coesivo - Determinação da resistência à compressão não confinada - Método de ensaio.
- ABNT NBR n° 13600. (2019). Solo - Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C - Método de ensaio.
- ABNT NBR n° 14545. (2015). Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável.
- ABNT NBR n° 14610. (2015). Indicador de temperatura com sensor - Calibração por comparação.
- ABNT NBR n° 16097. (2016). Solo — Determinação do teor de umidade — Métodos expeditos de ensaio.
- ABNT NBR n° 16562. (2017). Biogás e biometano - Determinação de compostos orgânicos voláteis por cromatografia em fase gasosa e amostragem com tubo de dessorção térmica.
- ABNT NBR n° 6458. (2016). Determinação da massa específica.
- ABNT NBR n° 6459. (2016). Determinação do limite de liquidez.
- ABNT NBR n° 6484. (2001). Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio.
- ABNT NBR n° 7180. (2016). Determinação do limite de plasticidade.
- ABNT NBR n° 7181. (2018). Análise granulométrica – procedimento.
- ABNT NBR n° 7182. (2016). Ensaio de compactação.
- ABNT NBR n° 9252. (2016). Solo - Determinação do grau de acidez.

- ABRELPE. (2017). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 74p.
- Abreu, F. de. (2001). *Estudo e avaliação da contaminação das fontes do Parque Nacional de Brasília*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 123p.
- Agência Brasília. (2018). Vida e Morte do Lixão. Disponível em: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/especial/vida-e-morte-do-lixao/>
- Água & Terra Consultoria e Planejamento. (2006). Estudos Geotécnicos Preliminares e Caracterização dos Limites da Área do Antigo Aterro na Região da Vila Estrutural - DF, 70p.
- Alcantara, A. (2010). *Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos e Caracterização Química do Solo da Área de Disposição Final do Município de Cáceres-MT*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Cáceres, MT, 89p.
- Alcântara, P. (2007). *Avaliação da Influência da Composição de Resíduos Sólidos Urbanos no Comportamento de Aterros Simulados*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil, Recife, PE, 366p.
- Alcântara, P., e Jucá, J. (2010). "Recalque em Aterros: Influenciada Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos, do Clima e da Biodegradação." *Geotecnia*, 118, 15-42.
- Amorim, V. P., e Aguiar, M. I. de O. (1978). As características físicas e químicas do lixo no DF. X Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Manaus, Brasil.
- Barbosa, Laila de Queiroz; Bernardes, Ricardo Silveira; Brito, A. J. de. (2015). "Propostas de Remediação de Área Degradada por Resíduos Sólidos Urbanos – Estudo de Caso Aterro Jokey Club Brasília, DF." XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1–10, Brasília, Brasil.
- Barbosa R.; Neto T.; Cruz C.; Otero O.; Bacaicoa L.; Santos C. (2001). "Características do Lixão de Canabrava, em Salvador – BA, e seus Impactos Ambientais." 21 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 4. ABES, 1–11.
- BELACAP. (2005). Plano de Encerramento Aterro Controlado do Jóquei- Volume I.
- Benvenuto, C., e Cipriano, M. (2010). Modelo reológico de comportamento de resíduos e aterros sanitários, segundo critérios de projeto e operação atuais no Brasil. *Revista Limpeza Pública*, 74, 42-47.
- Bernardes, R. S., e Pastore, Eraldo Luporini, Pereira, J. H. F. (1999). Caracterização Geofísica e Geoquímica da Área de Disposição de Resíduos Urbanos “ Aterro do Jóquei Clube ” em Brasília - DF. 20 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 3. ABES, 1969–1980, Rio de Janeiro, Brasil.

- Bertazzoli R.; Pelegrini R. (2002). "Descoloração e Degradação de Poluentes Orgânicos em Soluções Aquosas Através do Processo Fotoeletroquímico." *Química Nova*, 25(3), 477–482.
- Boaventura, G. R., Bispo, R. S., Brito, V. E. B., e Araújo, R. N. G. (1995). "Geoquímica De Solo E Água No Aterro Sanitário (Lixão) Do Distrito Federal." V Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Congresso de Geoquímica dos países de Língua Portuguesa, 13–16, Niterói, Brasil.
- Boscov, M. E. G. (2008). *Geotecnia ambiental*. (Oficina de Textos, Ed.) (1 ed).
- Braga, A. C. de O. (2006). Métodos de Eletrorresistividade e Polarização Induzida aplicados no Estudo da Captação e Contaminação de Água Subterrânea: Uma abordagem metodológica e prática. 120p.
- Braga, A. C. de O. (2016). *Geofísica aplicada: métodos geoeletricos em hidrogeologia*. (Oficina de Textos, Ed.).
- Brasil. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS., Altera a lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm
- Camapum de Carvalho, J., Gitirana Junior, G. F. N., Machado, S. L., Mascarenha, M. M. A., da Silva Filho, F. C. (2015). Solos não saturados no contexto geotécnico, Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo, Brasil, 805p.
- Cardim, R. D. (2008). *Estudo da Resistência de Resíduos Sólidos Urbanos por meio de Ensaios de Cisalhamento Direto de Grandes Dimensões*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 91p.
- Carneiro, G. (2002). Estudo de Contaminação do Lençol Freático sob a Área do Aterro de Lixo do Jockey Club-DF e suas Adjacências. *Virology*, 294(2), 383–393.
- Castanheira, D. (2016). *Enquadramento dos Corpos Hídricos Subterrâneos do Distrito Federal: Parâmetros Hidrogeoquímicos e Ambientais*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília, DF, 92.p
- Catapreta, C. (2008). *Comportamento de um Aterro Sanitário Experimental : Avaliação da Influência do Projeto , Construção e Operação*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, MG, 316p.
- Cavalcanti, M. M. (2013). *Aplicação de Métodos Geoeletricos no Limites do Aterro Controlado do Jokey Clube de Brasília*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília, DF, 111p.
- Cavalcanti, M. M., Borges, W. R., Stollberg, R., Rocha, M. P., Soares, L., Seimetz, E. X., ... Olivera, R. De. (2014). "Levantamento Geofísico (Eletrorresistividade) nos limites do Aterro Controlado do Jokey Club, Vila Estrutural, Brasília- DF." *Geociências*, 33(2), 298–313.

- Cavalcanti, S. S., Sato, H. K., e Lima, O. A. L. (2002). Geofísica Elétrica na Caracterização da Hidrologia Subterrânea na Região do Aterro Metropolitano Centro, Salvador, Bahia. *Revista Brasileira de Geofísica*, 19(2), 155-168.
- CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (2001). *Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo.
- Congresso Nacional. Lei nº 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007. Política Nacional de Saneamento. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm
- Cruvinel, V., Monteiro, L., Nolasco, E., Zaneti, I., e Dominguez, A. (2017). "Water, Environment and Health : The impact of the open dump in Brasília- DF, Brazil." XVI World Water Congress, 1–12, Cancun, México.
- CSANEO- Engenharia e Consultoria Ambiental Ltda. (2011). *Remediação do Lixão de Altamira - PA Projeto Básico*, 80p.
- da Silveira, L. (2014). *Aspectos Geotécnicos e Ambientais para a Disposição Adequada de Lodo de Esgoto*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 191p.
- de Souza, L. A. P., Gandolfo, O. C. B., e ITP. (2013). "Métodos Geofísicos em Geotecnia e Geologia Ambiental." *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 9–27.
- Denardin, G. (2013). *Estudo dos Recalques do Aterro Sanitário da Central de Resíduos do Recreio – Minas do Leão / RS*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS, 92p.
- Diniz, M. dos S. (2019). *Modelagem Regional do Fluxo de Contaminantes Inorgânicos sob as Condições não Saturada e Transiente Aplicada ao Aterro Controlado do Jockey Club de Brasília/ DF*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF.
- Elis, V. R., e Zuquette, L. V. (2002). Caracterização Geofísica de Áreas Utilizadas para Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(2), 119-134.
- Embrapa. (2017). *Manual de Métodos de Análise de Solo (3ª)*.
- Fachin, S. J. da S., Huber, F., Shiraiwa, S., Borges, W. R., e Migliorini, R. B. (2006). Aplicação de Métodos Geofísicos para Identificar Áreas Contaminadas por Resíduos de um Curtume. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24(1), 129-138.
- Farias , Wisley Moreira Boaventura, G. R., Cardoso, F. B. de F., Martins, É. de S., e Guimarães, E. M. (1999). "Caracterização Química e Mineralógica do Solo do Aterro Sanitário do Jockey Club (DF) e a Influência da Matéria Orgânica e pH no Comportamento dos Elementos." *Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental*, p. 391-397.
- Fávaro, B. (2014). *Avaliação Ambiental de Propriedades Químicas do Solo em Lixão*

- Desativado do Município de Rolândia-PR*. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, PR, 87 p.
- Filho, A. M. (2018). *Hibridização de Gás Confinado em Depósitos de Resíduo Sólido Urbano com Heliotérmica para Geração de Energia – o Caso do Lixão da Estrutural no DF*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília, DF.
- Franco, H. de A. (1996). *Geofísica e Química Aquática Aplicadas ao Estudo da Contaminação de Recursos Hídricos Subterrâneos no Aterro Controlado do Jockey Club, Brasília- DF*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília, DF, 96 p.
- G1 GLOBO. (2018). Lixão da estrutural: um retrato do maior depósito de lixo da América Latina. Disponível em: <https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/lixao-da-estrutural-um-retrato-do-maior-deposito-de-lixo-da-america-latina.ghtml>
- Giacomazzo, A. P. (2017). Estudo do Potencial de Contaminação do Aterro Controlado do Jockey Club (DF). Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 107 p.
- Golçalves, F., de Souza, C., Tahira, F., Fernandes, F., e Teixeira, R. S. (2016). "Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário." *Revista DAE*, 5–14. <http://doi.org/10.4322/dae.2016.018>
- Governo do Distrito Federal. (2005). Destinação final do lixo no DF. Relatório Conceitual.
- Greentec. (2012a). Plano de Manejo ARIE da Cabeceira do Valo.
- Greentec. (2012b). Plano de Manejo ARIE da Vila Estrutural.
- Greentec. (2012c). Plano de Uso do Parque Urbano da Estrutural.
- Gutiérrez-Gutiérrez, S. C., Coulon, F., Jiang, Y., e Wagland, S. (2015). Rare earth elements and critical metal content of extracted landfilled material and potential recovery opportunities. *Waste Management*, 42, 128–136. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.024>
- Hernández-Nazario, L., Benítez-Fonseca, M., e Bermúdez-Torres, J. M. (2018). "Caracterización físico-química de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos del vertedero controlado en el Centro Urbano Abel Santamaría de Santiago de Cuba." *Tecnología Química*, 38(2), 369–379.
- Imprensa Pública. (2018). Lixão da estrutural: gdf tem uma semana para realocar 1,1 mil catadores em galpões. Disponível em: <http://imprensapublica.com.br/lixao-da-estrutural-gdf-tem-uma-semana-para-realocar-11-mil-catadores-em-galpoes/>
- ISWA. (2016). Roteiro para Encerramento de Lixões. 2016, 33. Disponível em: http://www.abrelpe.org.br/Panorama/iswa_web3.pdf

- Jesus, L. S. D. E. (2012). *Estudo da permeabilidade dos solos de fundação do aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru / SP*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru, SP, 158 p.
- Jornal de Brasília. (2018). Após 60 anos, lixão da estrutural é fechado definitivamente. Disponível em: <http://www.jornaldebrasil.com.br/cidades/apos-60-anos-lixao-da-estrutural-e-fechado-definitivamente/>
- Kaartinen, T., Sormunen, K., e Rintala, J. (2013). Case study on sampling, processing and characterization of landfilled municipal solid waste in the view of landfill mining. *Journal of Cleaner Production*, 55, 56–66. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.036>
- Koide, S. e Bernardes, R. S. (1998). Contaminação do Lençol Freático sob a Área do Aterro do Jockey Club, Distrito Federal, *X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, 1–9.
- Lago, A. L., Elis, V. R., e Giacheti, H. L. (2006). Aplicação Integrada de Métodos Geofísicos em uma Área de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos em Bauru-SP. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24(3), 357–374.
- Lakshmikanthan, P., Sughosh, P., e Sivakumar Babu, G. L. (2018). Studies on Characterization of Mechanically Biologically Treated Waste from Bangalore City. *Indian Geotechnical Journal*. <http://doi.org/10.1007/s40098-018-0296-4>
- Lima, A. N. (2015). *Análise do Monitoramento da Contaminação Ambiental do Solo do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos Encerrado de Seropédica*. Dissertação de Mestrado, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica, Rio de Janeiro, RJ, 166 p.
- Lima, C. A. de N. (2004). Avaliação da Influência da Ocupação do Entorno do Parque Nacional de Brasília na Qualidade e na Disponibilidade da Água Bruta do Sistema de Abastecimento Público Torto/ Santa Maria. Dissertação de Mestrado, Universidade Católica de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Gestão Ambiental, Brasília, DF, 141 p.
- LM Tratamento de Resíduos. (1998). Projeto do Aterro Sanitário do Jockey Club. Produto 2- Diagnóstico Ambiental.
- Massad, F. (2016). *Mecânica dos solos experimental*. (Oficina de Textos, Ed.).
- Melo, E., Meneghetti, L., Astolfi, R. M., e Cavelhão, G. (2010). "Monitoramento da Atenuação Natural do Solo de Cobertura em um Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos em Passo Fundo, RS." *Revista de Ciências Ambientais, Canoas*, 4 (2), 5–16.
- Metrópoles. (2018). Mesmo desativado lixão da estrutural gerou despesas de R\$ 9 milhões. Disponível em: <https://www.metropoles.com/distrito-federal/mesmo-desativado-lixao-da-estrutural-gerou-despesa-de-r-9-milhoes>
- Moreira, C. A. (2009). Geofísica Aplicada no monitoramento de área de disposição de resíduos sólidos domiciliares, 159. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, SP, 159 p.

- Moreira, D., Mauro, M., Souza, J., Matos, A. T. De, Reis, C., e Reis, E. (2010). "Determinação das Características de Resíduo Sólido Urbano Aterrado." *Engenharia Ambiental- Espírito Santo do Pinhal*, 7(1), 99-108.
- Moura, H. P., e Malagutti Filho, W. (2003). Métodos de Eletroresistividade e de Polarização Induzida aplicados na Área de Disposição de Resíduos Urbanos: Aterro Controlado de Rio Claro – SP. *UNESP, Geociências*, 22(Especial), 129–139.
- NERS/RG. (2003). *Remediação do lixão dos carreiros*. Disponível em: <https://www.vetorial.net/~artur/>
- Neto, A. T. (2005). "Lixo : uma palavra , vários olhares, 16." Simpósio Nacional sobre Geografia, Percepção e Cognição do Meio Ambiente, 2-16, Londrina, Brasil.
- Nisiyama, F. L. (2016). *Aspectos Geotécnicos e Ambientais Relacionados à Implantação do Aterro Sanitário Oeste*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 111 p.
- Nisiyama, F. L. (2019). *Ferramenta Computacional para Avaliação do Risco à Saúde Humana em Áreas Contaminadas- Caso de Estudo: Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília/ DF*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF.
- Orrego, J. F. M. (2013). Vila Estrutural uma Abordagem sobre Ocupação e a Produção do Espaço, 157. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília, DF, 157p. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/13910>
- Pastore, Eraldo Luporini, Souza, N. M. de, Pereira, J. H., Franco, H., Santos, P. C. V. dos, e Silva, A. R. L. da. (1998). Métodos de Investigação e Modelo Geológico-Geotécnico do Aterro de Lixo do Jóquei- Brasília- DF.
- Pastore (1997). Estudos Geológico-Geotécnicos para o Planejamento e Projeto de Disposição de Resíduos Urbanos do Aterro de Lixo do Jóquei. Relatórios parciais 2, 3 e 4.
- Porras, Á., Cortes, N., e Duarte, M. (2013). "Determinación de Propiedades Físico-Químicas de los Materiales Agregados en Muestra de Escombros en la Ciudad de Bogotá D. C." *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 12(22), 45-57
- Profírio, P. R., Moro, P. C., e Ramos, A. S. (2016). Áreas Contaminadas e com Potencial de Contaminação no Município de Paulínia. Especialização em Gestão Ambiental, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP, 247p.
- Quaghebeur, M., Laenen, B., Geysen, D., Nielsen, P., Pontikes, Y., Van Gerven, T., e Spooren, J. (2013). Characterization of landfilled materials: Screening of the enhanced landfill mining potential. *Journal of Cleaner Production*, 55, 72–83. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.06.012>
- Ramaiah, B. J., Ramana, G. V, e Datta, M. (2017). Mechanical characterization of municipal solid waste from two waste dumps at Delhi , India. *Waste Management*.

<http://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.055>

- Ramires, J. Z. dos S., e Vitor, J. D. S. (2010). O Impacto Ambiental Oriundo do Descarte Irregular de Resíduos: a Contaminação do Solo e das Águas Subterrâneas no Município de São Paulo. *XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços*, 1-17, São Luís, Brasil.
- Salgado, G. S. M. (2016). Análise da Situação Atual do Lixão da Estrutural Assessoria Legislativa/Câmara Legislativa do DF, 2016 (Textos para Discussão nº 9). Disponível em: - <http://biblioteca.cl.df.gov.br/dspace/handle/123456789/1806>.
- Samuel-Rosa, A., Dalmolin, R. S. D., e Pedron, F. de A. (2016). Caracterização do solo de cobertura de aterros encerrados com ferramentas (geo)estatísticas. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 16(2), 121–126. <http://doi.org/10.1590/s1413-41522011000200004>
- Santana, O. A., e Imaña-Encinas, J. M. (2009). Composição química do solo e da água subterrânea em áreas adjacentes a aterros sanitários. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, 4(3), 318–328. <http://doi.org/10.5039/agraria.v4i3a15>
- Santana, O. A. (2007). *Influência de Depósitos de Lixo na Fitossociologia das Espécies Arbóreas de Cerrado*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Brasília, DF, 113p.
- Santana, O. A., e Imaña-Encinas, J. M. (2004). Modelo Espacial de Contaminação do Solo e do Lençol Freático do Aterro do Jockey Club para o Parque Nacional de Brasília, Brasília- DF. *5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental (Conhecimento do Meio Físico)* ISBN, 85-984506.
- Santos, P. C. V. dos. (1996). *Estudo da Contaminação de Água Subterrânea por Percolado de Aterro de Resíduos Sólidos- Caso Jockey Club- DF*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 137p.
- Santos, P. C. V. dos. (2004). Estudo da Degradação e dos Recalques em Células Experimentais de Resíduos Sólidos no Aterro do Jockey Club/ DF. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 227p.
- Santos, P. C. V. dos, Neto, P. M. S., e Koide, S. (1998). Características do Chorume do Aterro do Jockey Club/DF. Artigo, 1703-1706.
- Schettini, L. (2016). Avaliação de aspectos geológicos e geotécnicos na implantação do Aterro Sanitário de São Carlos – SP , com o auxílio da geofísica . Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre, 187.
- SEDUH - Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação. (n.d.). GeoPortal DF SEDUH. Disponível em: <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/>
- Senado Federal Brasília/DF. Constituição da República Federativa do Brasil (1988).

- Shiraiwa, S., Lisovsky, S. P., Elis, V. R., Porsani, J. L., e Borges, W. R. (2003). "Estudos Geofísicos Integrados no Lixão de Cuiabá, MT, Brasil- Resultados Preliminares." *Revista Brasileira de Geofísica*, 20(3), 181-186.
- SNIS. (2008). Programa de Modernização do Setor Saneamento Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos. MCIDADES, Brasília, DF, 264p.
- SNIS. (2016). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA, 188p.
- Stollberg, B. R., e Weiß, H. (2011). Municipal waste disposal Lixão do Jóquei, Brasília, Distrito Federal do Brasil: Site investigation , groundwater monitoring , and hydrochemical analysis. Status Report. Helmholtz Centre for Environmental Research- UFZ. Project IWAS - ÁguaDF, sub-project 3 "Hydrological cycle"
- Tapahuasco, W. F. C. (2009). Análise do Comportamento de Maciços Sanitários e Proposta de Novas Equações de Previsão de Recalques Considerando a Parcela de Biodegradação. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 161p.
- Techniplan. (1996). Solid Waste Management in the Federal District Area. Basic Sanitation Program for Federal District. Project nº BR-0241. Rome, Italy.
- Teixeira, G. P., Ritter, E., Lacerda, G. B. M., Ferreira, J. A., e França, R. de A. (2007). "Considerações sobre a Remediação E Monitoramento Geotécnico e Ambiental do Lixão de Salvaterra – Juiz de Fora / MG." 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 1, 1–8, Belo Horizonte, Brasil.
- Velozo, R. (2006). "Caracterização geológico-geotécnica do lixão desativado de São Carlos-SP, com auxílio da geofísica." Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, SP, 177p. <http://doi.org/10.11606/D.18.2006.tde-27092006-155342>
- Wolfsberger, T., Höllen, D., Sarc, R., Aldrian, A., Budischowsky, A., Zöschner, A., Pomberger, R., Lorber, K. E. (2014). "Landfill mining – Case study - Characterization and treatment of excavated waste from Austrian sanitary landfill sites and estimation of the resource potential." *ISWA World Congress 2014*, São Paulo, Brasil.
- Yargicoglu, E. N., Sadasivam, B. Y., Reddy, K. R., e Spokas, K. (2015). Physical and chemical characterization of waste wood derived biochars. *Waste Management*, 36, 256–268. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.029>
- Zhou, C., Fang, W., Xu, W., Cao, A., e Wang, R. (2014). Characteristics and the recovery potential of plastic wastes obtained from landfill mining. *Journal of Cleaner Production*. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.083>