



**SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL - CPRM**



**ESTUDO PARA SELEÇÃO DE
ÁREAS APROPRIADAS PARA
A INSTALAÇÃO DE ATERROS
SANITÁRIOS NOS MUNICÍPIOS
DE UNIÃO, LAGOA ALEGRE,
SANTA CRUZ DOS MILAGRES,
SÃO MIGUEL DO TAPUIO E
SOCORRO DO PIAUÍ**

EMENDA PARLAMENTAR

19350002/2021

MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ

DOS MILAGRES – PI



Realização

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial (DHT)
Departamento de Gestão Territorial (DEGET)
Divisão de Gestão Territorial (DIGATE)

2022

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Adolfo Sachsida

Secretário Executivo

Hailton Madureira de Almeida

Secretária de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Líliá Mascarenhas Sant'agostino

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente interino

Cassiano de Souza Alves

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais interino

Paulo Afonso Romano

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL

Chefe do Departamento de Gestão Territorial

Diogo Rodrigues A. da Silva

Chefe da Divisão de Geologia Aplicada

Tiago Antonelli

Chefe da Divisão de Gestão Territorial

Maria Adelaide Mansini Maia

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

**ESTUDO PARA SELEÇÃO DE ÁREAS APROPRIADAS
PARA A INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS
NOS MUNICÍPIOS DE UNIÃO, LAGOA ALEGRE,
SANTA CRUZ DOS MILAGRES, SÃO MIGUEL DO
TAPUIO E SOCORRO DO PIAUÍ**

(EMENDA PARLAMENTAR Nº 19350002/2021)

MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DOS MILAGRES – PI

AUTOR

Homero Reis de Melo Junior



TERESINA- PI
2022

CRÉDITOS TÉCNICOS

Departamento de Gestão Territorial

Diogo Rodrigues A. da Silva

Divisão de Gestão Territorial

Maria Adelaide Mansini Maia

Superintendente Regional de Belém

Jânio Souza Nascimento

Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial de Manaus

Homero Reis de Melo Junior

Chefe da Residência Teresina

Gilberto Antonio Neves Pereira da Silva

Assistente de Hidrologia e Gestão Territorial Teresina

Jean Ricardo da Silva Nascimento

Autoria

Homero Reis de Melo Junior

Colaboração

Anélio Ibiapino da Rocha

Lenilson José Souza de Queiroz

Cipriano Gomes de Oliveira

Revisão Técnica

Maria Adelaide Mansini Maia

Marcelly Ferreira Machado

José Luiz Marmos

Apoio

Irinéia Barbosa da Silva e Beatriz Siqueira - estagiária (Revisão Textual)

Priscila Ururahy (Normalização Bibliográfica)

Washington José Ferreira dos Santos (Projeto Gráfico)

Lucas Victor de Alcantara Estevão (Editoração da capa)

DIEDIG (Diagramação)

Fotos: Estudos in loco para caracterização das áreas selecionadas para implantação de aterros sanitários.
Créditos: Homero Reis de Melo Junior.

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

www.cprm.gov.br

seus@cprm.gov.br

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M528e

Melo Junior, Homero Reis de.

Estudo para seleção de áreas apropriadas para a instalação de aterros sanitários nos municípios de União, Lagoa Alegre, Santa Cruz dos Milagres, São Miguel do Tapuio e Socorro do Piauí : emenda parlamentar n. 19350002/2021, município de Santa Cruz dos Milagres, PI / Homero Reis de Melo Junior. - Teresina : CPRM, 2022.

1 recurso eletrônico : PDF

ISBN 978-65-5664-335-9

1. Aterro sanitário. 2. Solo - Uso. I. Título.

CDD 628.44564

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhayme CRB-7 / 5662

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

APRESENTAÇÃO

Em 2010, foi criada a Política Nacional de Resíduos Sólidos, (PNRS) (Lei nº 12.305, atualizada pela Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020), para decidir sobre o correto gerenciamento dos resíduos sólidos, sendo uma obrigação dos municípios os destinarem adequadamente. Essa política previa acabar com os locais de descarte irregular em quatro anos, o que não aconteceu.

Atualmente, há cerca de 3 mil unidades de lixão no país, concentradas principalmente nas Regiões Norte e Nordeste, onde apenas 11% dos municípios possuem aterros sanitários, valor bem abaixo da Região Sudeste, com cerca de 50%, e da Região Sul, com 90%.

O Serviço Geológico do Brasil CPRM, em apoio à PNRS, vem atuando, ao longo das duas últimas décadas, no atendimento às demandas das prefeituras municipais para a seleção de áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários, em consonância com a Norma NBR 13.896, estabelecida, em 1997, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O presente relatório faz parte de uma série de estudos que visam a seleção apropriada de áreas para a instalação de aterros sanitários municipais no estado do Piauí (União, Lagoa Alegre, Santa Cruz dos Milagres, São Miguel do Tapuí e Socorro do Piauí), por intermédio dos recursos disponibilizados pela **Emenda Parlamentar 19350002/2021**.

Cassiano de Souza Alves
Diretor-Presidente interino

Alice Silva de Castilho
Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

SUMÁRIO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
2. ESTUDOS REALIZADOS.....	3
3. RESULTADOS OBTIDOS.....	5
3.1. Definição dos critérios de seleção de áreas para implantação de um aterro sanitário.....	5
3.2. Definição do centro produtor de lixo.	5
3.3. Estimativa da população municipal em 20 anos.	5
3.4. Estimativa da produção de resíduos domiciliares (RDO) em 20 anos	6
3.5. Cálculo da área mínima necessária do aterro	6
3.6. Avaliação prévia da profundidade do nível estático dos poços cadastrados no SIAGAS.....	8
3.7. Indicação de áreas elegíveis por modelagem matemática	8
3.8. Caracterização das áreas elegíveis	10
3.8.1. Área 1.....	10
3.8.2. Área 2.....	11
3.8.3. Área 3.....	12
3.8.4. Área 4.....	14
3.8.5. Área 5	15
3.9. Análise comparativa e classificação das áreas diante dos critérios estabelecidos.....	17
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	21
5. REFERÊNCIAS.....	22
APÊNDICE A - Estabelecimento do conjunto de critérios para seleção de áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários e definição de prioridades para o atendimento aos critérios de seleção.	
APÊNDICE B - Resultados laboratoriais	

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A preocupação com a geração e a destinação de resíduos sólidos tem sido discutida há algumas décadas em âmbito global, principalmente, devido à expansão da consciência coletiva em relação ao meio ambiente. Assim, a complexidade das atuais demandas ambientais, sociais e econômicas induz a um novo posicionamento nacional nos três níveis de governo, na sociedade civil e na iniciativa privada (IBAMA, 2019).

A aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº 12305 de 2 de agosto de 2010, após 21 anos de discussões no Congresso Nacional, marcou o início de uma forte articulação institucional envolvendo os três entes federados - União, estados e municípios, o setor produtivo e a sociedade em geral - na busca de soluções para os problemas na gestão dos resíduos sólidos que comprometem a qualidade de vida dos brasileiros. A aprovação da PNRS qualificou e deu novos rumos à discussão sobre o tema (IBAMA, 2019).

No Brasil, tradicionalmente, ocorre a competência do município sobre a gestão dos resíduos sólidos produzidos em seu território, incluindo os provenientes dos serviços de saúde, com exceção daqueles de natureza industrial.

O município tem competência para estabelecer o uso do solo em seu território, emitindo as licenças para construção e o alvará de localização para o funcionamento de qualquer atividade, instrumentos indispensáveis para a localização, construção, instalação, ampliação e operação de empreendimentos em seu território, e estabelecer parâmetros ambientais para tais concessões. A lei federal que criou o licenciamento ambiental (Lei nº 6938/1981), quando menciona que a licença ambiental é exigível sem prejuízo de outras licenças possíveis, já prevê a possibilidade de que os municípios exijam licenças municipais (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Os procedimentos e os métodos para disposição final dos resíduos sólidos têm evoluído com o progresso do conhecimento sobre os efeitos e as consequências da disposição direta sobre os solos, o comportamento geomecânico dos maciços de resíduos e as soluções técnicas de engenharia para construção e operação dos aterros (OLIVEIRA; MONTICELI, 2018).

A forma mais adequada, técnica e ambiental, de disposição dos resíduos sólidos domiciliares e de limpeza urbana são os aterros sanitários, definidos como a “técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à segurança minimizando os impactos ambientais, método que utiliza os princípios da engenharia, como impermeabilização do solo, cercamento, sistema de drenagem de gases, águas pluviais e lixiviado, além da ausência de catadores, garantindo o confinamento dos resíduos e rejeitos na menor área possível e reduzindo-os ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário”, conforme descrito pela Norma NBR 8419 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

O principal objetivo do estudo realizado no município de Socorro do Piauí (PI) foi a seleção de área adequada para a implantação do aterro sanitário municipal, de acordo com a Norma NBR 13.896/1997 da ABNT e as legislações federal e estadual vigentes (Figura 1.1).

O presente relatório faz parte de uma série de estudos que visam à seleção de áreas apropriadas para a instalação de aterros sanitários municipais em cinco municípios do estado do Piauí: União, Lagoa Alegre, São Miguel do Tapuío, Santa Cruz dos Milagres e Socorro do Piauí, por intermédio dos recursos financeiros disponibilizados pela Emenda Parlamentar Federal no. 19350002/2021.

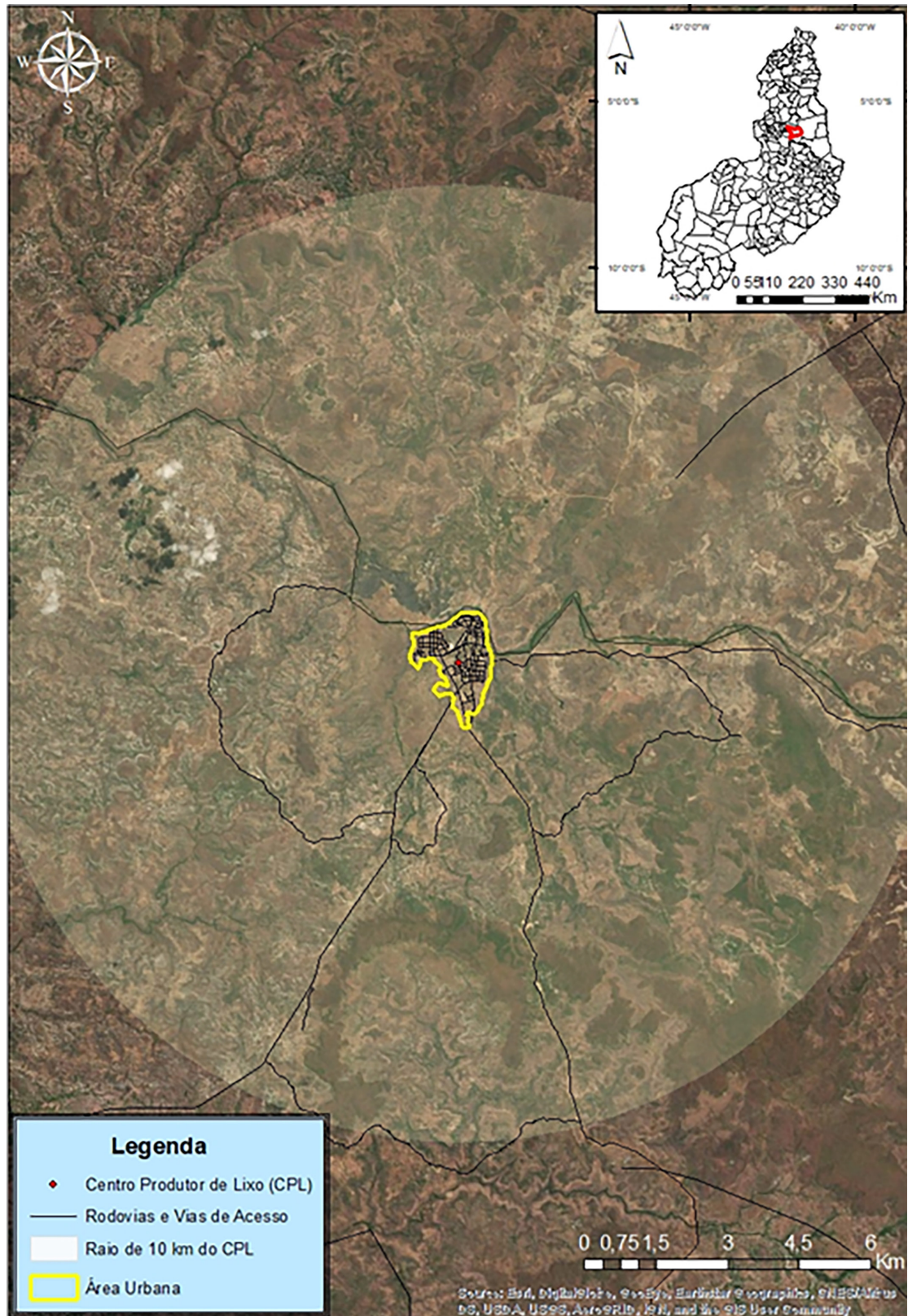


Figura 1.1 - Mapa de localização do município de Santa Cruz dos Milagres - PI. Localização do centro produtor de lixo (CPL) e raio de 5 km de abrangência para a coleta de resíduos domiciliares (RDO).

Fonte: elaborado pelos autores.

2. ESTUDOS REALIZADOS

Os procedimentos metodológicos utilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) para selecionar áreas adequadas à instalação de aterros sanitários municipais em todo o território nacional têm por base a Norma NBR 13.896 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), a qual institui critérios técnicos, ambientais, econômico-financeiros e político-sociais, para implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos. As atividades compreendem trabalhos em escritório, campo e laboratório, cujo fluxo de desenvolvimento está resumido no Quadro 2.1. A descrição detalhada dos materiais e métodos adotados para esse tipo de estudo encontra-se disponível no “Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial”, que aborda o tema: “Seleção Adequada de Áreas para Instalação de Aterros Sanitários Municipais”, do SGB - CPRM (MELO JUNIOR *et al.*, 2022).

Quadro 2.1 - Fluxo de trabalho adotado pelo SGB - CPRM para a seleção adequada de áreas para aterros sanitários municipais baseada na Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997).

ETAPA 1	
ESTUDOS INDIRETOS (ESCRITÓRIO – PRÉ-CAMPO)	Definição dos critérios de seleção de áreas para implantação de um aterro sanitário.
	Definição do centro produtor de lixo.
	Estimativa da população municipal em 20 anos.
	Estimativa da produção de resíduos domiciliares (RDO) em 20 anos.
	Cálculo da área mínima necessária do aterro.
	Indicação de áreas por modelagem matemática.
	Avaliação prévia da profundidade do nível estático dos poços cadastrados no SIAGAS.
ETAPA 2	
ESTUDOS DIRETOS (COLETA DE PARÂMETROS EM CAMPO)	Avaliação <i>in loco</i> da profundidade do nível estático (poços do tipo cacimba e tubulares).
	Teste de infiltração pelo método “ <i>open end hole</i> ” .
	Avaliação da condutividade hidráulica vertical (K_v).
ETAPA 3	
ANÁLISES LABORATORIAIS	Análise granulométrica do solo.
	Análise mineralógica do solo – DRX.
ETAPA 4	
CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS (ESCRITÓRIO – PÓS-CAMPO)	Análise comparativa e classificação das áreas considerando os critérios estabelecidos.

Fonte: elaborada pelos autores.

Os estudos diretos compreenderam a coleta de parâmetros em campo, visando à determinação da profundidade do lençol freático diretamente em poços dos tipos cacimba e tubulares, definição dos tipos de solos predominantes e execução de testes de infiltração para determinar a condutividade hidráulica da zona vadosa (não saturada). Nessa etapa, também foram coletadas amostras de solos inconsolidados para análises laboratoriais, retirados nas sondagens a trado, para determinação da granulometria e da mineralogia dos constituintes dos solos da área avaliada.

Para os testes de infiltração, foi utilizado o método *open end hole* (FIORI, 2010). Os ensaios foram realizados com auxílio de um trado motorizado para execução das sondagens em profundidades de 0,5 m, 1,0 m e 1,5 m. Para revestir os furos foram utilizados tubos de plástico PVC com 75 mm de diâmetro

e os respectivos comprimentos para preencher cada um dos três furos. Em seguida, eles foram saturados com água e medido, em cada um, o rebaixamento, ao longo do tempo, com cronômetro digital para, posteriormente, aplicar os dados coletados em campo na Equação 2.1, para identificar a condutividade hidráulica da zona não saturada.

$$Kv = 2,303 * \left(\frac{R}{4\Delta t}\right) * \text{Log} \frac{h_1}{h_0} \quad \text{Equação 2.1}$$

Sendo: R o raio do tubo de PVC, Δt o intervalo de tempo avaliado, h_1 a altura final da coluna d'água e h_0 a altura inicial da coluna d'água .

Os valores da condutividade hidráulica vertical K_v foram obtidos nas três profundidades investigadas (0,5 m, 1,0 m e 1,5 m), cujos resultados foram classificados de acordo com Fetter (1988).

A análise granulométrica foi realizada por meio do método de peneiramento, desenvolvido com a utilização de peneiras metálicas com malhas específicas. No método, elas são encaixadas umas nas outras formando uma coluna , o que permite a retenção gradual do material com dimensões de interesse. A ordem das peneiras é estabelecida de acordo com a abertura das malhas, de forma decrescente, do topo para base, e, na porção basal, é instalada uma bandeja para reter o material que atravessou toda a coluna (DIAS, 2004). A escolha da série de peneiras para análise granulométrica estabelece os intervalos de interesse. Normalmente, as malhas são definidas em 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,250 mm, 0,125 mm e 0,063 mm, com a finalidade de identificar as frações granulométricas mais grossas, das quais destacam-se o cascalho e a areia. A determinação dos teores de silte e de argila é realizada pelo método da sedimentação/pipetagem.

Após o empilhamento, as peneiras são agitadas por um “agitador de peneiras”, que confere movimentos mecânicos de alta frequência, proporcionando o deslocamento lateral e descendente do material constituinte dos solos, a fim de acumular as frações granulométricas estabelecidas pela malha de cada uma (DIAS, 2004).

A classificação granulométrica foi realizada de acordo com a proposta feita por Wentworth (1922), adotando a Norma NBR 7181 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016); enquanto os intervalos de granulometria utilizados para classificar os solos seguem a metodologia estabelecida pela Norma NBR 6.502 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995).

Para determinar a composição dos minerais constituintes da zona vadosa dos solos nas áreas investigadas, foi utilizado o método de difração de raios X, por intermédio de um difratômetro de raios X, no Laboratório de Análises Mineraias, (LAMIN), da Superintendência Regional de Manaus. O modelo utilizado foi o *X'PERT PRO MPD* (PW 3040/60), da Panalytical, com goniômetro PW3050/60 (Theta/Theta) e com tubo de raios X cerâmico de anodo de Cu ($K\alpha_1$ 1,5406 Å), modelo PW3373/00, foco fino longo, 2200W, 60kv. O detector utilizado é do tipo RTMS, *X'Celerator*.

Após a execução das etapas de escritório (métodos indiretos) e de campo (métodos diretos), associadas aos dados das análises de laboratório, foi possível aplicar a metodologia para a seleção da área com maior viabilidade para a implantação do aterro sanitário municipal. Para ilustrar a classificação das áreas avaliadas de forma didática, Krebs, Adamy (1999) as separou em três classes: **favoráveis, medianamente favoráveis e desfavoráveis** para a implantação de aterros sanitários.

Utilizou-se do geoprocessamento para integração dos dados e extração de informações para a aplicação dos critérios e seleção das áreas favoráveis. A indicação dessas áreas foi obtida por modelagem matemática (*Model Builder* + Análise Hierárquica do Processo - AHP).

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO.

Os critérios de seleção de áreas para implantação de um aterro sanitário são rigorosos, sendo necessário estabelecer uma cuidadosa priorização dos mesmos. O local selecionado para a implantação deve ser aquele que atenda ao maior número de parâmetros estabelecidos pela Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997), a qual institui critérios técnicos, ambientais, econômico-financeiros e político-sociais, enfatizando os de maior prioridade. A seleção deve ser precedida de análise individual da área selecionada com relação a cada um dos diversos elementos apresentados, fornecendo uma justificativa que permita considerar cada critério como “totalmente atendido”, “parcialmente atendido” ou “não atendido”.

O conjunto de critérios adotados para a seleção de áreas adequadas para instalação de aterros sanitários e as prioridades para o seu atendimento encontram-se apresentados no Apêndice A. Quando os atributos naturais do terreno selecionado não forem suficientes para atender integralmente a determinado critério, tais deficiências deverão ser sanadas por meio da implantação de soluções de engenharia.

3.2. DEFINIÇÃO DO CENTRO PRODUTOR DE LIXO.

O centro produtor de lixo de Santa Cruz dos Milagres compreende, principalmente, a sua zona urbana, considerando-se, sobretudo, que essa região concentra cerca de 56% da população, além disso nessa zona ocorre coleta regular de resíduos domiciliares (RDO) (ESTADOS E CIDADES, 2022).

Neste estudo, considera-se que a produção de lixo ocorra de forma homogênea na zona urbana de Santa Cruz dos Milagres uma vez que suas dimensões correspondem a um polígono irregular, conforme a Figura 3.1. De acordo com as características fisiográficas e sociais de cada município, como a disponibilidade de áreas livres no entorno da zona urbana e a falta de infraestrutura a distâncias maiores, o raio de 10 km geralmente é definido como a distância máxima viável economicamente do centro produtor para a área do aterro sanitário. Entretanto, no presente estudo, a distância máxima de 5 km foi considerada ideal, devido, principalmente, às dimensões reduzidas de Santa Cruz dos Milagres.

3.3. ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO MUNICIPAL EM 20 ANOS.

Para determinar a área necessária para o aterro sanitário municipal de Santa Cruz dos Milagres, foi estimado o crescimento demográfico exponencial de sua população urbana durante um período de 20 anos, com base nos dados censitários de 2000 a 2021 (Tabela 3.1), assim como a produção de resíduos ao longo de sua vida útil (Tabela 3.2). De 2021 até 2041, o coeficiente de crescimento populacional calculado para Santa Cruz dos Milagres foi de 1,28%/ano, considerando-se os dados do IBGE (2022).

Tabela 3.1 - População urbana estimada e verificada para o município de Santa Cruz dos Milagres nos anos de 2000, 2010 e 2021.

CENSO/ESTIMATIVA (ANO)	POPULAÇÃO URBANA ESTIMADA/VERIFICADA (Nº DE HABITANTES)
2000	1737
2010	2125
2021	2266

Fonte: IBGE (2022).

3.4. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS DOMICILIARES (RDO) EM 20 ANOS

O volume de resíduos sólidos domiciliares produzido e aterrado, considerando-se que a densidade do lixo compactado e armazenado varia em torno de 0,75 ton/m³ (IPT, 2018), ao aplicar essa relação ao volume total identificado de 27.102,96 toneladas (Tabela 3.2), deve atingir a grandeza de 36.137,28 m³.

Tabela 3.2 - População urbana estimada e produção de resíduos sólidos domiciliares (RDO) estimada para os anos de 2021 a 2041 na zona urbana do município de Santa Cruz dos Milagres.

ANO	POPULAÇÃO URBANA ESTIMADA	PRODUÇÃO PER CAPITA/DIA	PRODUÇÃO DE LIXO (KG/DIA)	PRODUÇÃO DE LIXO (TON/DIA)	PRODUÇÃO DE LIXO (KG/ANO)	PRODUÇÃO DE LIXO (TON/ANO)
2021	2.266	1,37	3.104,42	3,10	1.133.113	1.133,11
2022	2.295	1,37	3.144,16	3,14	1.147.617	1.147,62
2023	2.324	1,37	3.184,40	3,18	1.162.307	1.162,31
2024	2.354	1,37	3.225,16	3,23	1.177.184	1.177,18
2025	2.384	1,37	3.266,44	3,27	1.192.252	1.192,25
2026	2.415	1,37	3.308,25	3,31	1.207.513	1.207,51
2027	2.446	1,37	3.350,60	3,35	1.222.969	1.222,97
2028	2.477	1,37	3.393,49	3,39	1.238.623	1.238,62
2029	2.509	1,37	3.436,92	3,44	1.254.478	1.254,48
2030	2.541	1,37	3.480,92	3,48	1.270.535	1.270,53
2031	2.573	1,37	3.525,47	3,53	1.286.798	1.286,80
2032	2.606	1,37	3.570,60	3,57	1.303.269	1.303,27
2033	2.640	1,37	3.616,30	3,62	1.319.951	1.319,95
2034	2.673	1,37	3.662,59	3,66	1.336.846	1.336,85
2035	2.708	1,37	3.709,47	3,71	1.353.958	1.353,96
2036	2.742	1,37	3.756,95	3,76	1.371.288	1.371,29
2037	2.777	1,37	3.805,04	3,81	1.388.841	1.388,84
2038	2.813	1,37	3.853,75	3,85	1.406.618	1.406,62
2039	2.849	1,37	3.903,08	3,90	1.424.623	1.424,62
2040	2.885	1,37	3.953,03	3,95	1.442.858	1.442,86
2041	2.922	1,37	4.003,63	4,00	1.461.326	1.461,33
SOMA			74.255	74,25	27.102.964	27.102,96

Fonte: elaborada pelos autores.

3.5. CÁLCULO DA ÁREA MÍNIMA NECESSÁRIA DO ATERRO

Para determinar a área necessária do aterro sanitário, deve-se considerar também o volume do material de cobertura (argila) sobre as camadas de resíduos, ponderando-se uma relação de 1:0,2 entre resíduos e cobertura (IPT, 2018). Assim, o volume acumulado do material de cobertura ao final de 20 anos, no município de Santa Cruz dos Milagres, deverá atingir 7.227,46 m³ (correspondente a 36.137,28 x 0,2). Logo, o volume total de material aterrado deve ser da ordem de 43.364,74 m³.

Atualmente, são utilizadas duas formas principais para desenvolver e gerenciar aterros sanitários. A primeira, mais aplicada para grandes volumes de material, corresponde ao empilhamento dos resíduos com projeção de taludes com altura máxima de 20 metros e relação 1:3; a segunda consiste, simplesmente, na construção de trincheiras ou valas para deposição dos resíduos. Em ambos os casos, é indispensável a instalação da manta sintética impermeabilizante na base das camadas de resíduos.

Considerando-se o primeiro caso, para determinar a área necessária para a construção do Aterro Municipal de Santa Cruz dos Milagres, de acordo com Monteiro *et al.* (2001), em metros quadrados, basta multiplicar a quantidade de lixo produzida e coletada diariamente, em toneladas/dia, pelo fator 560. Esse fator está baseado nos seguintes parâmetros, usualmente utilizados em projetos de aterros:

Vida útil = 20 anos;

Altura do aterro = 20 m;

Taludes = 1:3;

Ocupação = 80% do terreno com a área operacional.

Dessa forma, estima-se que no período de 20 anos a população urbana de Santa Cruz dos Milagres atinja a marca de 2.922 habitantes e que cada morador produza uma quantidade de lixo, de acordo com a estimativa regional, de 1,37 kg/dia, conforme apresentado na Tabela 3.1. Para calcular a área necessária para o referido aterro, ao longo de 20 anos de vida útil, foi considerada, no fator produção diária de lixo (ton/dia), a mediana desse valor, que é 3,53 ton/dia, em função da produção inicial de resíduos, na ordem de 3,10 ton/dia, que foi rapidamente ultrapassada; entretanto, a produção final de resíduos, em torno de 4,0 ton/dia, será o limite produzido no município e deverá levar 20 anos para ser atingido. Assim, para fins de cálculo da área total do aterro considera-se a mediana para o parâmetro mencionado.

Portanto, a área necessária para o aterro é de 1.974,26 m² ou 0,2 hectares, conforme apresentado na Equação 3.1.

Área do aterro = mediana da produção diária de lixo (ton/dia) x fator de construção dos

$$\text{taludes (560)} \quad (\text{Equação 3.1})$$

$$\text{Área} = 3,53 \times 560 = 1.974,26 \text{ m}^2 = 0,2 \text{ hectares.}$$

Como a região das celas de disposição deve corresponder a 80% do aterro, em caso da disposição por projeção de taludes, a área total necessária para a instalação do Aterro Sanitário Municipal de Santa Cruz dos Milagres corresponderá a 0,24 hectares.

Caso o processo de disposição dos resíduos seja executado pelo método de trincheiras ou valas, que consiste na escavação de pequenos canais, com posterior preenchimento dos mesmos com resíduos e com material de cobertura até a superfície do terreno, considera-se que os resíduos sejam enterrados em uma espécie de paralelepípedo, cujas valas sejam preenchidas por etapas e possuam dimensões de 5 m x 5 m x 5 m. O Guia de Procedimentos Técnicos para Seleção e Caracterização de Áreas Adequadas para Instalação de Aterros Sanitários (MELO JUNIOR *et al.*, 2022) detalha as formas e dimensões das trincheiras. Para se determinar a área total necessária para o acondicionamento de resíduos adicionado ao material de cobertura, é necessário dividir o volume total produzido pela altura das trincheiras ou valas.

Nesse caso, o cálculo da área das trincheiras obedece à Equação 3.2.

$$A = \frac{VRDO}{H_t} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Onde são considerados os seguintes parâmetros:

V_{RDO} = volume de resíduos gerados ao final da vida útil do aterro;

H_t = altura das trincheiras.

Considerando-se que a área de disposição dos RDOs corresponde, no máximo, a 80% da área do aterro e que as demais áreas de servidão, como o cinturão de vegetação, estradas internas, galpões, instalações de escritório e balança, dentre outros, correspondam aos 20% restantes das instalações, a Tabela 3.3 apresenta as dimensões necessárias para o Aterro Sanitário Municipal de Santa Cruz dos Milagres, caso a disposição dos RDOs seja realizada dessa forma.

Dessa forma, a área total necessária para a instalação do Aterro Sanitário Municipal de Santa Cruz dos Milagres corresponde a 1,04 hectares, considerando-se a área de cada trincheira de 25 m².

Tabela 3.4 - Área total das trincheiras e área total do aterro estimado de acordo com as profundidades e volumes das trincheiras.

PROFUNDIDADE DAS TRINCHEIRAS (M)	VOLUME DAS TRINCHEIRAS (M ³)	ÁREA DAS TRINCHEIRAS (M ²)	ÁREA DAS TRINCHEIRAS (HA)	ÁREA TOTAL DO ATERRO (M ²)	ÁREA TOTAL DO ATERRO (HA)
2	50	21682,37	2,17	26018,85	2,60
3	75	14454,91	1,45	17345,90	1,73
4	100	10841,19	1,08	13009,42	1,30
5	125	8672,95	0,87	10407,54	1,04

Fonte: elaborada pelos autores.

3.6. AVALIAÇÃO PRÉVIA DA PROFUNDIDADE DO NÍVEL ESTÁTICO DOS POÇOS CADASTRADOS NO SIAGAS

Para verificar a profundidade do lençol freático, que corresponde ao nível estático (NE) nas cinco áreas investigadas, de maneira indireta, foi consultado o banco de dados do Sistema de Informação de Águas Subterâneas (SIAGAS), do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), constatando-se a existência de 72 poços cadastrados, nos limites de Santa Cruz dos Milagres, com dados de nível estático disponíveis. A profundidade do nível estático verificada varia de 3,0 m a 75,0 m de profundidade, com valores médios de 17,61 m e mediana de 12,0 m.

3.7. INDICAÇÃO DE ÁREAS ELEGÍVEIS POR MODELAGEM MATEMÁTICA

A partir da aplicação dos critérios de seleção (Apêndice A), baseados na análise espacial (*Model Builder* + Análise Hierárquica do Processo - AHP) das áreas favoráveis à implantação de aterros sanitários, foram selecionadas cinco áreas em um raio próximo a 10 km de distância, a partir do centro produtor de lixo (CPL), localizado no centro urbano de Santa Cruz dos Milagres, cujas dimensões e localização são apresentadas na Tabela 3.4, assim como na Figura 3.1.

Os dados utilizados, obtidos e gerados para a execução deste estudo encontram-se apresentados no Apêndice B.

Tabela 3.4 - Dimensões das áreas investigadas nos levantamentos de campo realizados no raio aproximado de 5 km do CPL da cidade de Santa Cruz dos Milagres.

ÁREAS INVESTIGADAS	DIMENSÕES (m ²)	DIMENSÕES (Ha)	DISTÂNCIA APROXIMADA DO CPL (KM)
Área 1	24.716	2,47	6,12
Área 2	30.975	3,10	7,22
Área 3	20.155	2,02	10,80
Área 4	22.050	2,21	12,55
Área 5	38.400	3,84	9,44

Fonte: elaborado pelos autores.

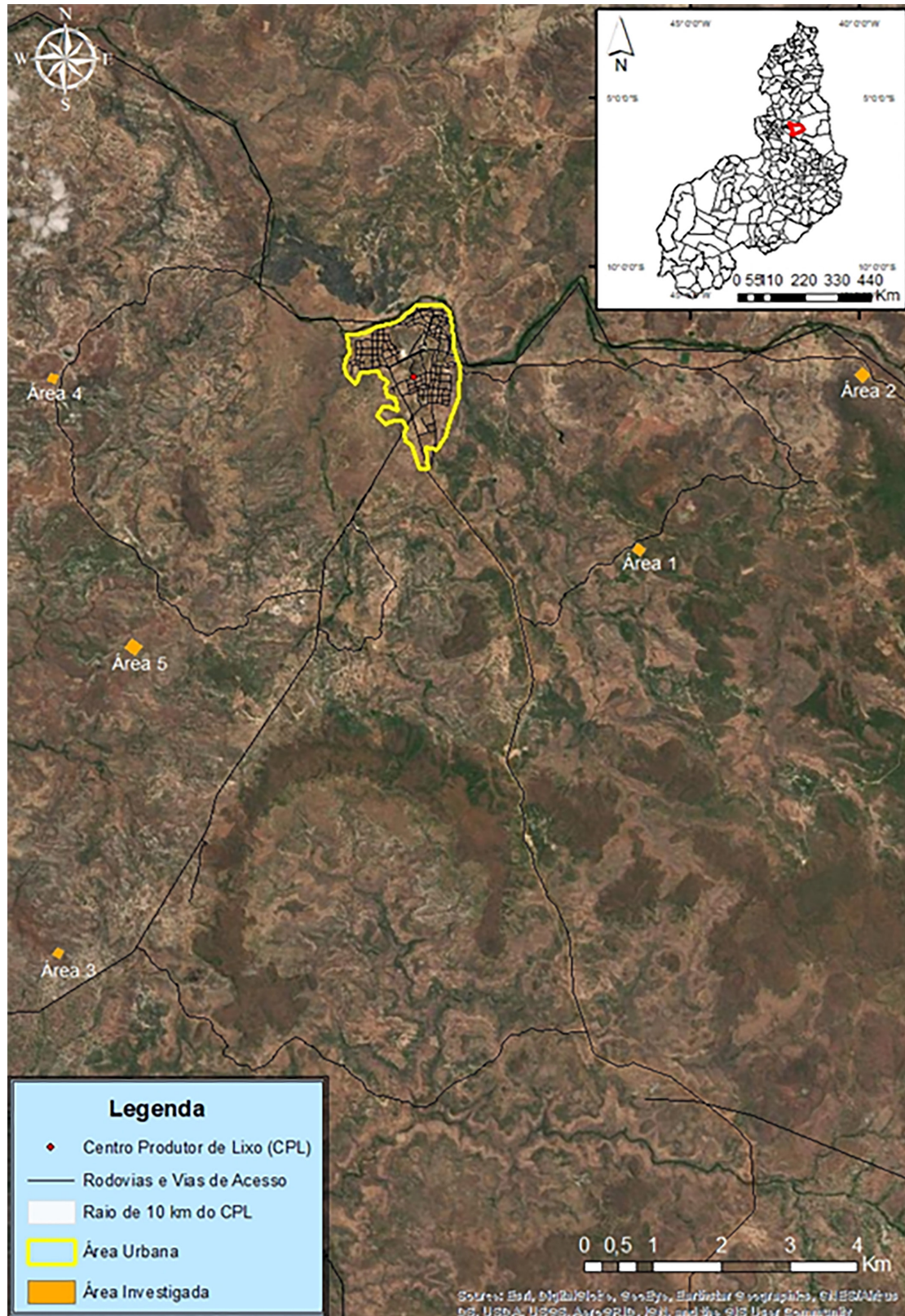


Figura 3.1 - Mapa de localização das áreas avaliadas para implantação do Aterro Sanitário Municipal de Santa Cruz dos Milagres - PI. Fonte: elaborado pelos autores.

3.8. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS ELEGÍVEIS

3.8.1. Área 1

A Área 1 está localizada a sudeste da zona urbana de Santa Cruz dos Milagres, a cerca de 6,12 km do centro produtor de lixo, possui dimensão aproximada de 2,47 hectares e seu principal acesso é pela Rodovia PI-225 e por estradas vicinais no sentido leste. Na área, foi realizado o furo de trado FT-01 para realizar testes de infiltração, conforme pode ser observado nas Figuras 3.2 e 3.3.

Os dados de rebaixamento do nível da água nas sondagens realizadas são apresentados na Tabela 3.5.

A Tabela 3.6 apresenta os valores da condutividade hidráulica vertical (K_v) nas três profundidades avaliadas, assim como as médias e as medianas agrupadas.



Figura 3.2 - Execução do FT-01.
Fonte: elaborada pelos autores.



Figura 3.3 - Execução do teste de infiltração nos furos de 0,5 m, 1,0 m e 1,5 m revestidos com tubos de PVC com 75 mm de diâmetro. Fonte: elaborada pelos autores.

Tabela 3.5 - Dados de rebaixamento do nível de água em cada sondagem executada no FT-01.

FT - 01					
TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 0,5 M (REBAIXAMENTO EM CM)	TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 1,0 M (REBAIXAMENTO EM CM)	TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 1,5 M (REBAIXAMENTO EM CM)
1	5,10	1	0,30	1	0,30
2	8,50	2	1,30	2	0,30
3	12,00	3	1,30	3	0,30
4	13,50	4	1,60	4	0,50
5	17,00	5	1,70	5	0,60
6	19,00	6	2,00	6	0,70
7	20,00	7	2,00	7	1,50
8	22,00	8	2,30	8	1,60
9	24,00	9	2,40	9	1,90
10	25,00	10	2,80	10	2,00
15	30,50	15	3,30	15	2,50
20	35,00	20	4,10	20	2,60

Fonte: elaborada pelos autores.

Tabela 3.6 - Valores da condutividade hidráulica vertical K_v obtidos nas três profundidades investigadas no FT - 01.

	Sondagem 0,5 m	Sondagem 1,0 m	Sondagem 1,5 m	FT-01	
				Mediana	Média
K_v (cm/seg)	0,00015050	0,00020433	0,00016874	0,00016874	0,00017452
K_v (m/seg)	0,00000151	0,00000204	1,6874E-06	0,00000169	0,00000175
K_v (m/dia)	0,130035685	0,176541591	0,145791453	0,14579145	0,15078958

Fonte: elaborada pelos autores.

Os valores de K_v medianos ($1,69 \times 10^{-4}$ cm/seg ou 0,15 m/dia) identificados para os testes da Área 1 caracterizam, no geral, para esse parâmetro, valores médios de $1,75 \times 10^{-6}$ m/seg, enquadrando-se como silte arenoso e areia fina siltosa. Nas análises granulométricas realizadas foram identificadas frações correspondentes à areia (~55%), com predominância de areia muito fina, havendo bastante argila e silte (45%), conforme pode ser verificado no Apêndice B (Quadro B.1).

Foi identificada, no FT-01, a predominância de solos arenosos onde se destacam, fato corroborado pelas análises de difração de raios X, em que o principal mineral identificado foi o quartzo acompanhado por outros minerais em menor quantidade e não identificados, conforme apresentado no difratograma do Apêndice B (Quadro B.2). A profundidade do nível estático não foi identificada na Área 1, pois não há nenhum poço cadastrado no banco de dados do SIAGAS, assim como nas proximidades não foi verificada a existência de nenhum poço. Entretanto, considerando a cota topográfica aproximada de 182 m de altura, o nível estático deve estar à profundidade maior que 10 m.

3.8.2. Área 2

A segunda área avaliada está localizada a leste da zona urbana do município, localizada a aproximadamente 7,22 km do centro produtor de lixo, possui dimensão aproximada de 3,10 hectares, com acesso por estrada vicinal paralela ao Rio São Nicolau. A cerca de 2.500 metros da Área 2, há um poço tubular cadastrado no banco de dados SIAGAS sob o número 2200020040, cuja profundidade do nível estático registrada é de 9,0 m.

Na área, foi realizado o furo de trado FT-02 (Figura 3.4) para executar o teste de infiltração pelo método *open end hole* (FIORI, 2010). Os dados de rebaixamento do nível da água, nas sondagens do FT-02 são apresentados na Tabela 3.7.



Figura 3.4 - Execução do FT-02. Foto: acervo dos autores.

Tabela 3.7 - Dados de rebaixamento do nível da água em cada sondagem executada no FT-02.

FT-02					
TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 0,5 M (REBAIXAMENTO EM CM)	TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 1,0 M (REBAIXAMENTO EM CM)	TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 1,3 M (REBAIXAMENTO EM CM)
1	0,30	1	0,50	1	2,20
2	0,30	2	0,50	2	4,40
3	0,30	3	0,50	3	5,70
4	0,30	4	0,60	4	6,70
5	0,30	5	0,60	5	7,90
6	0,30	6	0,60	6	9,20
7	0,30	7	0,60	7	11,20
8	0,30	8	0,70	8	13,00
9	0,30	9	0,70	9	14,00
10	0,40	10	0,70	10	15,50
15	0,40	15	0,90	15	20,00
20	0,40	20	1,00	20	24,50

Fonte: elaborada pelos autores.

A Tabela 3.8 apresenta os valores da condutividade hidráulica vertical (K_v) nas três profundidades avaliadas, assim como as médias e medianas agrupadas.

Tabela 3.8 - Valores da condutividade hidráulica vertical K_v obtidos nas três profundidades investigadas no FT - 02.

	FT-02				
	Sondagem 0,5 m	Sondagem 1,0 m	Sondagem 1,5 m	Mediana	Média
K_v (cm/seg)	0,00002248	0,00000542	0,000188332	0,00002248	0,00007208
K_v (m/seg)	0,00000022	0,00000005	1,88332E-06	0,00000022	0,00000072
K_v (m/dia)	0,01942204	0,00467959	0,162718879	0,01942204	0,06227350

Fonte: elaborada pelos autores.

Os valores de K_v medianos ($2,25 \times 10^{-4}$ cm/s ou 0,19 m/dia) identificados para os testes do FT-02 da Área 2 caracterizam, no geral, para esse parâmetro, valores médios de $7,2 \times 10^{-7}$ m/seg enquadrando-se como silte arenoso, areia fina e areia siltica.

Nas análises granulométricas realizadas foram identificados solos correspondentes à areia, perfazendo 69,00% do total analisado, com pequena predominância da fração muito fina, com conteúdo de argila e silte de 30% (Apêndice B – Quadro B.1).

A análise mineralógica por difração de raios X confirmou a predominância de solos arenosos no FT-02, pois, conforme apresentado no difratograma, há predominância de quartzo com rutilo ocorrendo em grandes quantidades (Apêndice B – Quadro B.2).

3.8.3. Área 3

A Área 3 está localizada a sudoeste da zona urbana de Santa Cruz dos Milagres, com dimensão aproximada de 2,02 hectares, a cerca de 10,80 km do centro produtor de lixo (CPL). O poço cadastrado no SIAGAS mais próximo está localizado na localidade de Curralinho sob o nº 2200020180, cuja profundidade do nível estático é de 11,0 m. Foi executada a sondagem FT-03 para a realização dos testes de infiltração (Figura 3.5).



Figura 3.5 - Execução do teste de infiltração no FT-03.
Foto: acervo dos autores.

A Tabela 3.9 apresenta os dados de rebaixamento do nível da água durante a execução dos testes de infiltração nas sondagens realizadas no FT-03, enquanto a Tabela 3.10 ilustra os valores da condutividade hidráulica vertical (K_v) obtidos nas três profundidades avaliadas, assim como as médias e medianas agrupadas.

Tabela 3.9 - Dados de rebaixamento do nível da água em cada sondagem executada no FT - 03.

FT-03					
TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 0,5 M (REBAIXAMENTO EM CM)	TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 1,0 M (REBAIXAMENTO EM CM)	TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 1,5 M (REBAIXAMENTO EM CM)
1	0,30	1	0,50	1	0,20
2	0,50	2	0,70	2	0,20
3	0,70	3	0,70	3	0,50
4	0,90	4	0,70	4	0,60
5	1,40	5	0,70	5	0,70
6	1,70	6	1,00	6	0,80
7	2,00	7	1,00	7	0,90
8	2,30	8	1,00	8	1,00
9	2,40	9	1,10	9	1,30
10	2,80	10	1,40	10	1,40
15	3,90	15	1,80	15	2,20
20	5,00	20	2,40	20	2,40

Fonte: elaborada pelos autores.

Tabela 3.10: Valores da condutividade hidráulica vertical K_v obtidos nas três profundidades investigadas no FT-04.

	Sondagem 0,5 m	Sondagem 1,0 m	Sondagem 1,5 m	FT-04	
				Mediana	Média
K_v (cm/seg)	0,00021984	0,00012257	0,00019417	0,00019417	0,00017886
K_v (m/seg)	0,00000220	0,00000123	1,9417E-06	0,00000194	0,00000179
K_v (m/dia)	0,18993944	0,10590065	0,16776142	0,16776142	0,15453384

Fonte: elaborada pelos autores.

Os valores de K_v medianos ($1,94 \times 10^{-4}$ cm/seg ou 0,17 m/dia), identificados para os testes do FT-03 da Área 3, caracterizam, no geral, para esse parâmetro, valores médios de $1,79 \times 10^{-6}$ m/seg, enquadrando-se como silte arenoso, areia fina e areia siltica.

Nas análises granulométricas realizadas, foram identificados solos constituídos por areia, correspondendo a 85% do total analisado, com predominância da fração muito fina, com conteúdo de argila e silte, correspondendo a 14% (Apêndice B – Quadro B.1).

O difratograma ilustra o quartzo como mineral predominante nas amostras coletadas no FT-03, com minerais não identificados em menor quantidade (Apêndice B – Quadro B.2).

3.8.4. Área 4

A área 4 está localizada a oeste de Santa Cruz dos Milagres, com acesso por meio da Rodovia PI-225, sentido São Félix do Piauí, além de estrada vicinal no sentido noroeste. Está distante cerca de 12,55 km do CPL e possui de 2,21 hectares de dimensão, onde foi executado o FT-04 para coleta de amostras de solo e execução do teste de infiltração (Figura 3.6). A profundidade do nível estático não foi identificada na Área 4, pois não há nenhum poço cadastrado no banco de dados do SIAGAS; nas proximidades não foi verificada a existência de poço. Entretanto, considerando a cota topográfica aproximada de 170 m de altura, o nível estático deve estar em profundidade maior que 10 m.

A Tabela 3.11 apresenta os dados de rebaixamento do nível da água durante a execução dos testes de infiltração, nas sondagens de 0,5 m, 1,0 m e 1,5 m de profundidade, realizados no FT-04.



Figura 3.6 - Execução do teste de infiltração na Área 4. Foto: acervo dos autores.

Tabela 3.11: Dados de rebaixamento do nível da água em cada sondagem executada no FT-04.

FT - 04					
TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 0,5 M (REBAIXAMENTO EM CM)	TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 1,0 M (REBAIXAMENTO EM CM)	TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 1,5 M (REBAIXAMENTO EM CM)
1	16,00	1	0,70	1	0,30
2	25,00	2	1,00	2	0,40
3	32,00	3	1,20	3	0,90
4	33,00	4	1,30	4	0,90
5	36,00	5	1,50	5	0,90
6	35,50	6	1,50	6	0,90
7	40,50	7	1,50	7	0,90
8	41,50	8	1,60	8	0,90
9	43,00	9	1,70	9	0,90
10	44,00	10	1,70	10	0,90
15	49,00	15	2,00	15	1,00
20	50,00	20	2,40	20	1,20

Fonte: elaborada pelos autores.

Na Tabela 3.12, são apresentados os valores da condutividade hidráulica vertical (K_v) obtidos nas três profundidades avaliadas, assim como os valores médios e medianos identificados para esse parâmetro.

Tabela 3.12: Valores da condutividade hidráulica vertical K_v obtidos nas três profundidades investigadas no FT-04.

	FT-04				
	Sondagem 0,5 m	Sondagem 1,0 m	Sondagem 1,5 m	Mediana	Média
K_v (cm/seg)	0,00008903	0,00009628	0,00010832	0,00009628	0,00009788
K_v (m/seg)	0,00000089	0,00000096	1,0832E-06	0,00000096	0,00000098
K_v (m/dia)	0,07692567	0,08318468	0,09359173	0,08318468	0,08456736

Fonte: elaborada pelos autores.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 3.12, a condutividade hidráulica vertical mediana identificada foi de $9,63 \times 10^{-5}$ cm/seg ou 0,08 m/dia, que representa um valor médio de $9,8 \times 10^{-7}$ m/seg. Os valores identificados no FT-05 correspondem a silte arenoso, areia fina ou areia siltica.

Nas análises granulométricas, foram identificados 72% de teor de areia nas mostras do FT-04, com predominância da granulometria muito fina (42%), acompanhado de silte (23%) (Apêndice B – Quadro B.1).

O difratograma ilustra o quartzo como mineral predominante nas amostras coletadas no FT-04, seguido de microclínio, albite e muscovita, corroborando os resultados identificados nas análises granulométricas (Apêndice B – Quadro B.2).

3.8.5. Área 5

A quinta área avaliada no município de Santa Cruz dos Milagres possui dimensões aproximadas de 3,84 hectares e está localizada a sudoeste de sua sede urbana, a cerca de 9,44 km do centro produtor de lixo, via saída pela Rodovia PI-225, no sentido para a comunidade do Monte Alegre. Na Área 5 foi executado o FT-05 e o teste de infiltração (Figura 3.7). Na região, está cadastrado no banco de dados SIAGAS o poço 2200020000, cujo o nível estático registrado é de 10,0 m e encontra-se a 2.200 m distante da Área 5.

Os dados de rebaixamento do nível da água nas sondagens são apresentados na Tabela 3.13.



Figura 3.7 - Execução do teste de infiltração no FT-05. Foto: acervo dos autores.

Tabela 3.13: Dados de rebaixamento do nível da água em cada sondagem executada no FT-05.

FT - 05					
TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 0,5 M (REBAIXAMENTO EM CM)	TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 1,0 M (REBAIXAMENTO EM CM)	TEMPO (MINUTOS)	SONDAGEM 1,5 M (REBAIXAMENTO EM CM)
1	1,70	1	2,00	1	9,90
2	3,80	2	3,00	2	17,50
3	5,50	3	3,00	3	22,50
4	7,00	4	3,70	4	27,00
5	8,40	5	3,70	5	32,00
6	9,80	6	4,50	6	35,50
7	12,00	7	4,50	7	40,00
8	14,00	8	4,60	8	42,00
9	15,00	9	5,00	9	46,00
10	18,00	10	5,60	10	49,00
15	23,30	15	7,50	15	62,00
20	28,90	20	8,50	20	70,50

Fonte: elaborada pelos autores.

A Tabela 3.14 apresenta os valores da condutividade hidráulica vertical (K_v) obtidos nas três profundidades avaliadas, assim como os valores médios e medianos identificados para esse parâmetro.

Tabela 3.14: Valores da condutividade hidráulica vertical K_v obtidos nas três profundidades investigadas no FT - 05.

	FT-05				
	Sondagem 0,5 m	Sondagem 1,0 m	Sondagem 1,5 m	Mediana	Média
K_v (cm/seg)	0,00022138	0,00011306	0,00015339	0,00015339	0,00016261
K_v (m/seg)	0,00000221	0,00000113	1,5339E-06	0,00000153	0,00000163
K_v (m/dia)	0,19127636	0,0976846	0,13253164	0,13253164	0,14049754

Fonte: elaborada pelos autores.

De acordo com a Tabela 3.14, a condutividade hidráulica vertical mediana identificada foi de $1,53 \times 10^{-4}$ cm/seg ou 0,13 m/dia, que representa um valor médio de $1,63 \times 10^{-6}$ m/seg. Esses valores de Kv correspondem a silte arenoso, areia fina ou areia siltica no FT-05, mantendo-se correlacionável ao identificado nos demais testes de infiltração executados.

Nas análises granulométricas, foram identificados 91% de teor de areia nas amostras do FT-05, com predominância absoluta da granulometria muito fina (79%), com baixos teores de cerca de 8% de argila e silte. (Apêndice B – Quadro B.1).

Os principais minerais identificados nas amostras coletadas no FT-05 correspondem ao quartzo como mineral predominante seguido de outros minerais não identificados, em menor quantidade (Apêndice B – Quadro B.2).

3.9. ANÁLISE COMPARATIVA E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS DIANTE DOS CRITÉRIOS ESTABELECIDOS.

Após a análise detalhada das cinco áreas previamente definidas por intermédio de geoprocessamento e pelos levantamentos de campo, foi possível caracterizar os critérios técnicos, econômico-financeiros e político-sociais definidos pela NBR 13.896 (ABNT, 1997) e, dessa forma, ponderar a (s) área (s) mais adequada (s) para instalação do aterro sanitário municipal. Para ilustrar a classificação das áreas avaliadas de forma didática, Krebs, Adamy e Reis (1999) as separou em três classes: **favoráveis, medianamente favoráveis e desfavoráveis** para a implantação e aterros sanitários (Figura 3.8).

Definidas as prioridades e os tipos de atendimento para cada parâmetro avaliado pela norma NBR 13.896 nas cinco áreas avaliadas, de acordo com Monteiro *et al.* (2001), seus níveis de atendimento são apresentados na Tabela 3.15. Em seguida, foram inferidos para as áreas selecionadas os respectivos percentuais de atendimento, conforme apresentado na Tabela 3.16, para finalmente ser obtida a classificação da Tabela 3.17, em valores absolutos.

Vale destacar que, de acordo com os critérios estabelecidos por Krebs et al. (1999), todas as áreas foram consideradas favoráveis, sendo que, dentre os 17 parâmetros avaliados pela Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997) nas cinco áreas investigadas, as áreas 1, 2, 4 e 5 foram as que mais atenderam aos critérios, perfazendo um total de 15 itens; sendo classificada, em seguida, a Área 3, com um total de 14 itens atendidos integralmente.

No que se refere à permeabilidade natural do solo, correspondente à condutividade hidráulica vertical (K_v) da zona não saturada, a Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997) estabelece que os solos locais devem apresentar valores de Kv na ordem de 5×10^{-5} cm/s. Entretanto, à exceção da Área 4, as demais áreas investigadas foram identificados valores limites para esse parâmetro, na ordem de 10^{-4} cm/s, de acordo com o que preconiza a referida norma. Por esse motivo, considerou-se que esse parâmetro foi parcialmente atendido nas áreas 1, 2, 3 e 5. Outro parâmetro que atende parcialmente aos critérios estabelecidos pela Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997) é a existência de material de cobertura nas proximidades das áreas avaliadas, em função da predominância de solos arenosos, devido à geologia local.

Em relação ao centro de coleta (CPL), as distâncias verificadas nas áreas 3 e 4 encontram-se um pouco acima de 10,0 km, variando entre 10,80 km e 12,55 km, respectivamente. Por este motivo, considerou-se esse parâmetro parcialmente atendido nas referidas áreas; entretanto, está distante de ser um fator impeditivo para a atividade no local.

A pontuação final obtida a partir da soma de todos os parâmetros avaliados individualmente foi o critério utilizado para identificar a área mais adequada para instalação do referido empreendimento. Dessa forma, dentre as áreas aptas, a Área 4 atingiu o valor final de 80,0 pontos, acompanhada pelas áreas 1, 2 e 5, que atingiram 79,0 pontos finais. A Área 3 foi a que obteve menor classificação, atingindo 78,5 pontos. A proximidade na pontuação obtida para as cinco áreas avaliadas é um indicativo da homogeneidade dos parâmetros técnicos, econômico financeiros e político sociais na região; por este motivo, todas as áreas estão aptas para a instalação do aterro sanitário. Por ser a área que obteve a pontuação mais elevada, além de possuir a condutividade hidráulica da zona não saturada na ordem de 10^{-5} cm/seg, a Área 4 foi identificada como a mais adequada para instalação do Aterro Sanitário Municipal de Santa Cruz dos Milagres.

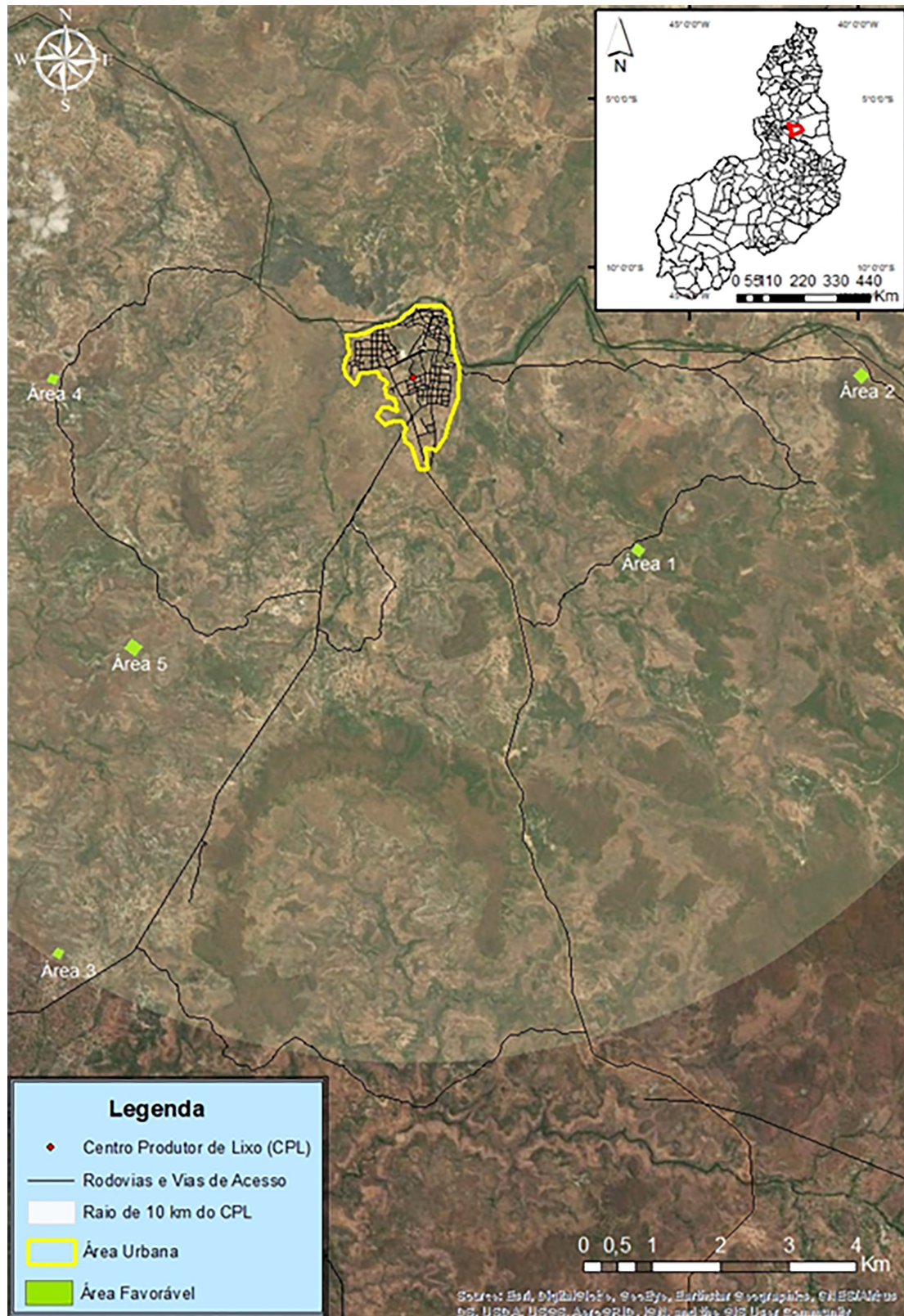


Figura 3.8 - Mapa de favorabilidade das áreas para instalação do Aterro Sanitário Municipal de Santa Cruz dos Milagres - PI. Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 3.15: Critérios de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários, conforme a NBR 13.896 (ABNT, 1997), com os índices de atendimento de cada área pré-selecionada.

CRITÉRIOS	PRIORIDADE	ATENDIMENTO				
		ÁREA 1 %	ÁREA 2 %	ÁREA 3 %	ÁREA 4 %	ÁREA 5 %
Proximidade a cursos d'água	10	T	T	T	T	T
Proximidade a núcleos residenciais	10	T	T	T	T	T
Proximidade a aeroportos	10	T	T	T	T	T
Distância do lençol freático	10	T	T	T	T	T
Distância de núcleos de baixa renda	6	T	T	T	T	T
Vias de acesso com baixa ocupação	6	T	T	T	T	T
Problemas com a comunidade local	6	T	T	T	T	T
Aquisição do terreno	4	T	T	T	T	T
Investimento em infraestrutura	4	T	T	T	T	T
Vida útil mínima	3	T	T	T	T	T
Uso do solo	3	T	T	T	T	T
Permeabilidade natural do solo	3	P	P	P	T	P
Extensão da bacia de drenagem	3	T	T	T	T	T
Acesso a veículos pesados	3	T	T	T	T	T
Material de cobertura	3	P	P	P	P	P
Manutenção do sistema de drenagem	2	T	T	T	T	T
Distância ao centro de coleta	1	T	T	P	P	T

Legenda: T – atende integralmente; P – atende parcialmente; N – não atende. Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2001.

Tabela 3.16: Porcentagem de atendimento das áreas pré-selecionadas para implantação do Aterro Sanitário Municipal de Santa Cruz dos Milagres, com a Norma NBR. 13.896 (ABNT, 1997).

CRITÉRIOS	PRIORIDADE	ATENDIMENTO				
		ÁREA 1 %	ÁREA 2 %	ÁREA 3 %	ÁREA 4 %	ÁREA 5 %
Proximidade a cursos d'água	10	100	100	100	100	100
Proximidade a núcleos residenciais	10	100	100	100	100	100
Proximidade a aeroportos	10	100	100	100	100	100
Distância do lençol freático	10	100	100	100	100	100
Distância de núcleos de baixa renda	6	100	100	100	100	100
Vias de acesso com baixa ocupação	6	100	100	100	100	100
Problemas com a comunidade local	6	100	100	100	100	100
Aquisição do terreno	4	100	100	100	100	100
Investimento em infraestrutura	4	100	100	100	100	100
Vida útil mínima	3	100	100	100	100	100
Uso do solo	3	100	100	100	100	100
Permeabilidade natural do solo	3	50	50	50	100	50
Extensão da bacia de drenagem	3	100	100	100	100	100
Acesso a veículos pesados	3	100	100	100	100	100
Material de cobertura	3	50	50	50	50	50
Manutenção do sistema de drenagem	2	100	100	100	100	100
Distância ao centro de coleta	1	100	100	50	50	100

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2001.

Tabela 3.17: Pontuação final das áreas pré-selecionadas para implantação do Aterro Sanitário Municipal de Santa Cruz dos Milagres, de acordo com a Norma NBR 13.896 da ABNT (1997).

CRITÉRIOS	PRIORIDADE	ATENDIMENTO				
		ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 4	ÁREA 5
Proximidade a cursos d'água	10	10	10	10	10	10
Proximidade a núcleo residenciais	10	10	10	10	10	10
Proximidade a aeroportos	10	5	5	5	5	5
Distância do lençol freático	10	10	10	10	10	10
Distância de núcleos de baixa renda	6	6	6	6	6	6
Vias de acesso com baixa ocupação	6	6	6	6	6	6
Problemas com a comunidade local	6	6	6	6	6	6
Aquisição do terreno	4	4	4	4	4	4
Investimento em infraestrutura	4	4	4	4	4	4
Vida útil mínima	3	3	3	3	3	3
Uso do solo	3	3	3	3	3	3
Permeabilidade natural do solo	3	1,5	1,5	1,5	3	1,5
Extensão da bacia de drenagem	3	3	3	3	3	3
Acesso a veículos pesados	3	3	3	3	3	3
Material de cobertura	3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Manutenção do sistema de drenagem	2	2	2	2	2	2
Distância ao centro de coleta	1	1	1	0,5	0,5	1
Pontuação Final das Áreas		79,00	79,00	78,50	80,00	79,00

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2001.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os estudos realizados no município de Santa Cruz dos Milagres (PI), com o objetivo de identificar as áreas mais apropriadas para a instalação do aterro sanitário municipal, foi possível ponderar as seguintes conclusões, além de apreciar algumas recomendações, como:

- ✓ Para dimensionar a área do Aterro Sanitário Municipal de Santa Cruz dos Milagres, foram consideradas duas possibilidades; a primeira aprecia a disposição dos resíduos sólidos em celas e empilhamento com projeção de taludes e, a segunda, sugere a construção de trincheiras para disposição dos resíduos. Na primeira situação a área necessária para sua instalação é de apenas 0,24 hectares, enquanto que, na segunda opção, recomenda-se a construção de trincheiras com dimensões de 5 m x 5 m x 4 m, correspondendo ao volume de 100 m³ por trincheira. Para essas dimensões, seria necessária uma área total de 1,30 hectares;
- ✓ Recomenda-se que seja utilizado o sistema de valas ou trincheiras para a disposição final dos resíduos sólidos domiciliares de Santa Cruz dos Milagres, considerando, principalmente, a população urbana estimada para 2021, de apenas 2.226 habitantes (56% da população total), cujo coeficiente de crescimento populacional calculado foi de 1,28%; além de se considerar a facilidade de operação para instalar e gerenciar esse tipo de sistema de disposição;
- ✓ O tipo de sedimento dominante nas áreas avaliadas de Santa Cruz dos Milagres corresponde à areia, equivalente a 74% das amostras analisadas, com predomínio da fração muito fina (47%);
- ✓ As análises de difração de raios X representadas nos difratogramas confirmam os resultados obtidos nas análises granulométricas, em que o quartzo é o mineral predominante, acompanhado de caulinita seguido por microclínio, albita e muscovita e demais minerais não identificados ocorrendo em menor escala;
- ✓ Os valores de permeabilidade ou condutividade hidráulica vertical (K_v) dos solos que constituem a zona não saturada das áreas avaliadas foram identificados na ordem de 10⁻⁴ cm/s ou 10⁻¹ m/dia, característicos de solos arenosos, conforme descrito por Fetter (1988) e corroborado pelas análises granulométricas e pelas difrações de raios X, com exceção da Área 4, cujo índice identificado foi de 9,63 x 10⁻⁵ cm/s;
- ✓ Dentre as cinco áreas avaliadas no município de Santa Cruz dos Milagres, as áreas 1, 2, 4 e 5 atenderam integralmente a 15 dos 17 critérios avaliados pela Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997), enquanto a Área 3, por sua vez, atendeu a 14 critérios integralmente;
- ✓ Dessa forma, recomenda-se que o Aterro Sanitário Municipal de Santa Cruz dos Milagres seja instalado na Área 4, considerando, principalmente, a condutividade hidráulica da zona não saturada, além de ter atendido à maioria dos critérios estabelecidos pela Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997);
- ✓ Não é recomendada a constituição de consórcio intermunicipal para instalação de aterro sanitário que atenda ao município de Santa Cruz dos Milagres, pois o mesmo possui fronteira mais próxima com as sedes dos municípios de São Félix do Piauí (25 km distante) e Prata do Piauí (64 km distante). Logo, a distância entre as sedes municipais inviabiliza economicamente a celebração de um aterro consorciado;
- ✓ Devido às dimensões e tamanho da população do município de Santa Cruz dos Milagres, aliados ao volume de resíduos sólidos domiciliares (RDO) produzidos até o final da vida útil e à facilidade operacional, recomenda-se que o Aterro Sanitário Municipal de Santa Cruz dos Milagres utilize o sistema de valas ou trincheiras para a disposição final dos resíduos, cujas dimensões e volume já foram apontados. As bases das trincheiras deverão ser impermeabilizadas com mantas constituídas por polietileno de alta densidade (PEAD), considerando a condutividade hidráulica vertical (K_v) dos solos constituintes da zona não saturada;
- ✓ Em etapa anterior à elaboração do projeto executivo do Aterro Sanitário Municipal de Santa Cruz dos Milagres, recomenda-se a realização de um estudo hidrogeológico local, a fim de determinar o sentido do fluxo subterrâneo no aquífero livre, para orientar na instalação de poços de monitoramento;
- ✓ O projeto executivo do aterro deve realizar um estudo de direção dos ventos, a fim de evitar que qualquer tipo de poeira ou poluição do ar atinja estradas, vilas ou localidades próximas ao empreendimento.

5. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181**: Solo: Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- DIAS, J. A. **Análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos** (Uma Introdução à Oceanografia Geológica). Faro: Universidade do Algarve, 2004.
- FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**. 2nd ed. New York: Macmillan, 1988. 592 p.
- FIORI, J. P. O. **Avaliação de métodos de campo para a determinação de condutividade hidráulica em meios saturados e não saturados**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- KREBS, A. S. J.; ADAMY, A.; REIS, M. R. **Alternativas locais para a disposição de resíduos sólidos urbanos na área de Porto Velho**. Porto Velho: CPRM, 1999.
- MELO JUNIOR, H. R.; MARMOS, J. L.; CONCEIÇÃO, R. A. C.; MAIA, M. A. M.; MACHADO, M. F. **Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial**: seleção e caracterização de áreas adequadas para instalação de aterros sanitários. Brasília: SGB-CPRM, 2022. v. 6 Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/23007>. Acesso em: 30 nov. 2022.
- MONTEIRO, J. H. P.; FIGUEIREDO, C. E. M.; MAGALHÃES, A. F.; MELO, M. A. F. de; BRITO, J. C. X. de; ALMEIDA, T. P. F. de; MANSUR, G. L. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro. IBAM, 2001.
- OLIVEIRA, A. M. dos S.; MONTICELLI, J. J. (ed.). **Geologia de engenharia e ambiental**: aplicações. São Paulo: ABGE, 2018. v. 3.
- WENTWORTH, C. K. A scale of grade and glass terms for clastic sediments. **The Journal of Geology**, Chicago, v. 30 n. 5, p. 377-392, 1922.

APÊNDICE A

ESTABELECIMENTO DO CONJUNTO DE CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE ÁREAS
ADEQUADAS PARA A INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS E DEFINIÇÃO DE
PRIORIDADES PARA O ATENDIMENTO AOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

1. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

1.1 Técnicos

A seleção de uma área para servir de aterro sanitário à disposição final de resíduos sólidos domiciliares deve atender, no mínimo, aos critérios técnicos impostos pela norma NBR 13.896 da ABNT (1997) e pelas legislações federal, estadual e municipal (quando houver).

Todas as condicionantes e restrições relativas às normas da ABNT, assim como os aspectos técnicos da legislação atualmente em vigor, estão consideradas nos critérios listados na Tabela A.1.

Tabela A.1: Critérios técnicos estabelecidos pela Norma NBR 13.896/1997 da ABNT para seleção de área para implantação de aterro sanitário.

ITEM	CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
1	Uso do solo	As áreas têm que se localizar em regiões onde o uso do solo seja rural (agrícola) ou industrial e fora de qualquer Unidade de Conservação Ambiental.
2	Proximidade a cursos d'água relevantes	As áreas não podem situar-se a menos de 200 metros de corpos d'água relevantes, tais como, rios, lagos, lagoas e oceano, nem estar a menos de 50 metros de qualquer corpo d'água, inclusive valas que pertençam ao sistema de drenagem municipal ou estadual.
3	Proximidade a núcleos residenciais urbanos	As áreas não devem situar-se a menos de 1.000 m de núcleos residenciais urbanos que abriguem 200 ou mais habitantes.
4	Proximidade a aeroportos	As áreas não podem situar-se próximas a aeroportos ou aeródromos e devem respeitar a legislação em vigor.
5	Distância do lençol freático	As distâncias mínimas recomendadas pelas normas federais e estaduais são: <ul style="list-style-type: none"> ● Para aterros com impermeabilização inferior por meio de manta plástica sintética, a distância do lençol freático até a manta não poderá ser inferior a 1,5 metros. ● Para aterros com impermeabilização inferior por meio de camada de argila, a distância do lençol freático até a camada impermeabilizante não poderá ser inferior a 2,5 metros, que deverá ter um coeficiente de permeabilidade menor que 10^{-6} cm/s.
6	Vida útil mínima	É desejável que as novas áreas de aterro sanitário tenham, no mínimo, cinco anos de vida útil.
7	Permeabilidade do solo natural	É desejável que o solo do terreno selecionado tenha uma certa impermeabilidade natural, com vistas a reduzir as possibilidades de contaminação do aquífero. As áreas selecionadas devem ter características argilosas e jamais deverão ser arenosas.
8	Extensão da bacia de drenagem	A bacia de drenagem das águas pluviais deve ser pequena, de modo a evitar o ingresso de grandes volumes pluviométricos na área do aterro.
9	Facilidade de acesso a veículos pesados	O acesso ao terreno deve ter pavimentação de boa qualidade, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas, de forma a minimizar o desgaste dos veículos coletores e permitir o livre acesso ao local de vazamento mesmo na época de chuvas muito intensas.
10	Disponibilidade de material de cobertura	Preferencialmente, o terreno deve possuir ou situar-se próximo a jazidas de material de cobertura, de modo a assegurar a permanente proteção do lixo a baixo custo.

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2004.

1.2 Econômico-financeiros

A Tabela A.2 apresenta os critérios econômico-financeiros apresentados pela Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997) utilizada para a seleção das áreas para implantação de aterros sanitários no Brasil.

Tabela A.2: Critérios econômico-financeiros estabelecidos pela Norma NBR 13.896 da (ABNT, 1997) para seleção de área para implantação de aterro sanitário.

ITEM	CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
1	Distância ao centro geométrico de coleta	É desejável que o percurso de ida (ou de volta) que os veículos de coleta fazem até o aterro, por meio de ruas e estradas existentes, seja o menor possível, com vistas a reduzir o seu desgaste e o custo de transporte do lixo.
2	Custo de aquisição do terreno	Se o terreno não for de propriedade da prefeitura, deverá estar, preferencialmente, em área rural, uma vez que o seu custo de aquisição será menor do que os situados em áreas industriais.
3	Custo de investimento em construção e infraestrutura	É importante que a área escolhida disponha de infraestrutura completa, reduzindo os gastos de investimento em abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, drenagem de águas pluviais, distribuição de energia elétrica e telefonia.
4	Custos com a manutenção do sistema de drenagem	A área escolhida deve ter um relevo suave, de modo a minimizar a erosão do solo e reduzir os gastos com a limpeza e a manutenção dos componentes do sistema de drenagem.

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2004.

1.3 Político-sociais

Por último, a legislação vigente estabelece os critérios político-sociais para a seleção das áreas de implantação de aterros sanitários, conforme a Tabela A.3.

Tabela A.3: Critérios político-sociais estabelecidos pela Norma NBR 13.896/1997 da ABNT para seleção de área para implantação de aterro sanitário.

ITEM	CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
1	Distância de núcleos urbanos de baixa renda	Aterros são locais que atraem pessoas desempregadas, de baixa renda ou sem outra qualificação profissional, que buscam a catação do lixo como forma de sobrevivência e passam a viver desse tipo de trabalho em condições insalubres, gerando, para a prefeitura, uma série de responsabilidades sociais e políticas. Por isso, caso a nova área se localize próxima a núcleos urbanos de baixa renda, deverão ser criados mecanismos alternativos de geração de emprego e/ou renda que minimizem as pressões sobre a administração do aterro em busca da oportunidade de catação. Entre tais mecanismos, destacam-se iniciativas de incentivo à formação de cooperativas de catadores, que podem trabalhar em instalações de reciclagem dentro do próprio aterro ou mesmo nas ruas da cidade, de forma organizada, fiscalizada e incentivada pela prefeitura.
2	Acesso à área através de vias com baixa densidade de ocupação	O tráfego de veículos transportando lixo é um transtorno para os moradores das ruas por onde transitam, sendo desejável que o acesso à área do aterro seja locais de baixa densidade demográfica.
3	Inexistência de problemas com a comunidade local	É desejável que nas proximidades da área selecionada não tenha havido nenhum tipo de problema da prefeitura com a comunidade local, com organizações não governamentais (ONG's) e com a mídia, pois a indisposição com o poder público causará reações negativas à instalação do aterro.

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2004.

2. DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES PARA O ATENDIMENTO AOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

O local selecionado para implantar um aterro sanitário deve ser aquele que atenda ao maior número de critérios estabelecidos pela Norma NBR 13.896 (ABNT, 1997), dando ênfase aos de maior prioridade. Tal seleção deve ser precedida de uma análise individual de cada área selecionada no que concerne aos diversos critérios apresentados, fornecendo a justificativa que permita considerá-los como “totalmente atendido”, “parcialmente atendido” ou “não atendido”.

Quando os atributos naturais do terreno selecionado não forem suficientes para atender integralmente ao critério analisado, tais deficiências deverão ser sanadas por meio da implantação de soluções da engenharia, a fim de que o mesmo seja atendido.

2.1 Priorização dos critérios de seleção

Desta forma, é realizada uma hierarquização dos critérios estabelecidos, elegendo-se prioridades de 1 a 6 para os parâmetros analisados na seleção das novas áreas para implantação de aterro sanitário, conforme descrito na Tabela A.4.

2.2 Ponderação do atendimento aos critérios

Para escolher a melhor área, é necessário que se fixem pesos, tanto para as prioridades, quanto para o atendimento aos critérios selecionados, como mostrado na Tabela A.5.

2.3 Escolha da melhor área

Será considerada melhor área aquela que obtiver o maior número de pontos após a aplicação dos pesos às prioridades e ao atendimento dos critérios.

Tabela A.4: Hierarquização dos critérios de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários municipais, de acordo com a metodologia adotada.

CRITÉRIOS	PRIORIDADE
Atendimento ao SLAP* e à legislação ambiental em vigor	1
Atendimento aos condicionantes político-sociais	2
Atendimento aos principais condicionantes econômicos	3
Atendimento aos principais condicionantes técnicos	4
Atendimento aos demais condicionantes econômicos	5
Atendimento aos demais condicionantes técnicos	6

*SLAP = Sistema de Licenciamento de Atividade Poluidora.

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2004.

Tabela A.5: Pesos dos critérios e dos tipos de atendimentos estabelecidos para a análise das áreas investigadas.

PESOS DOS CRITÉRIOS E DO TIPO DE ATENDIMENTO	
PRIORIDADE DOS CRITÉRIOS	PESO
1	10
2	6
3	4
4	3
5	2
6	1
TIPO DE ATENDIMENTO	PESO
Total	100%
Parcial ou com obras	50%
Não atendido	0%

Fonte: modificado de MONTEIRO *et al.*, 2004.

APÊNDICE B

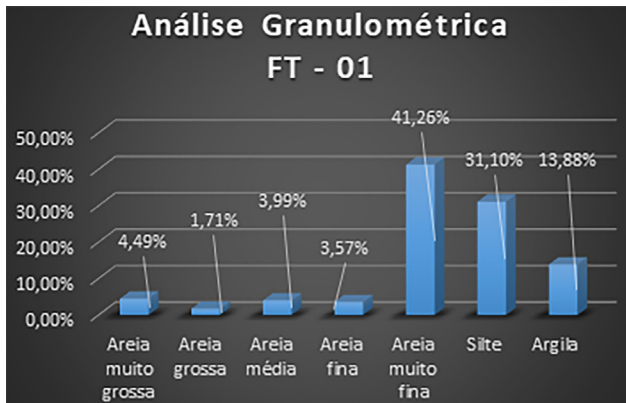
RESULTADOS LABORATORIAIS

1. ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

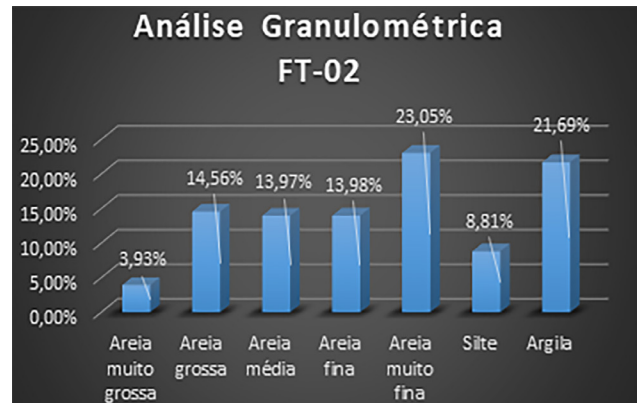
A seguir, são apresentados os resultados das análises granulométricas dos solos coletados nos furos de trados realizados para sondagem do material (Quadro B.1).

Quadro B.1: Gráfico ilustrando o resultado da análise granulométrica realizada nos solos coletados nos furos de trado.

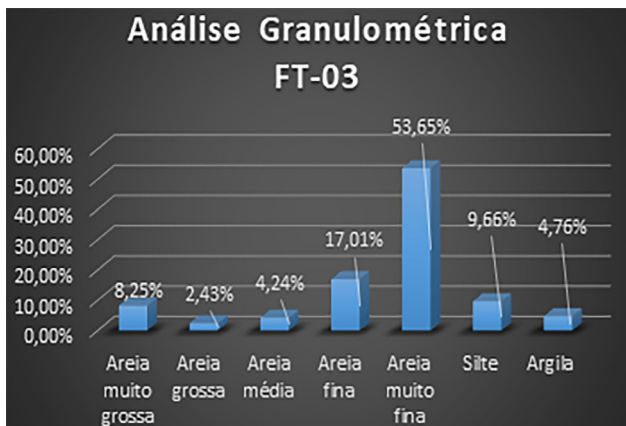
FT-01 - Área 1.



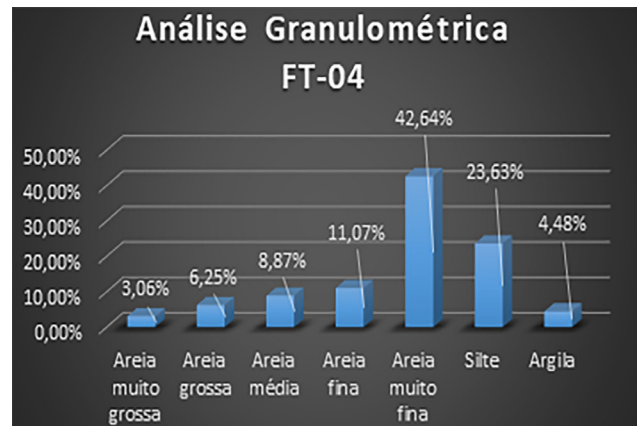
FT-02 - Área 2.



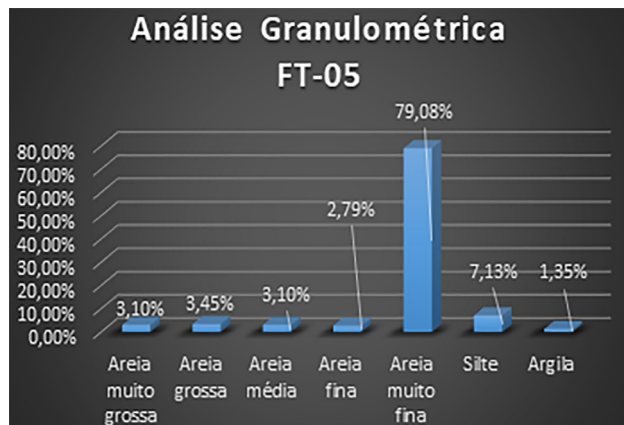
FT-03 - Área 3.



FT-04 - Área 4.



FT-05 - Área 5.



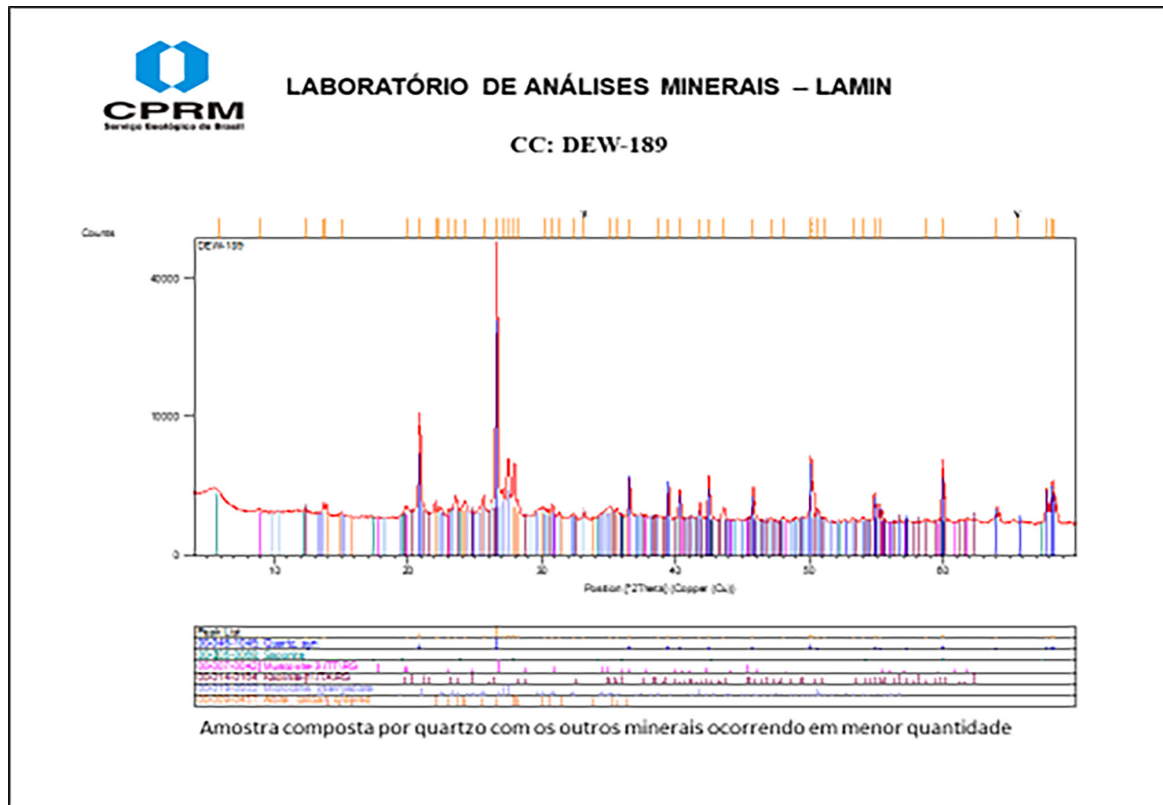
Fonte: elaborado pelos autores.

2. ANÁLISES MINERALÓGICAS

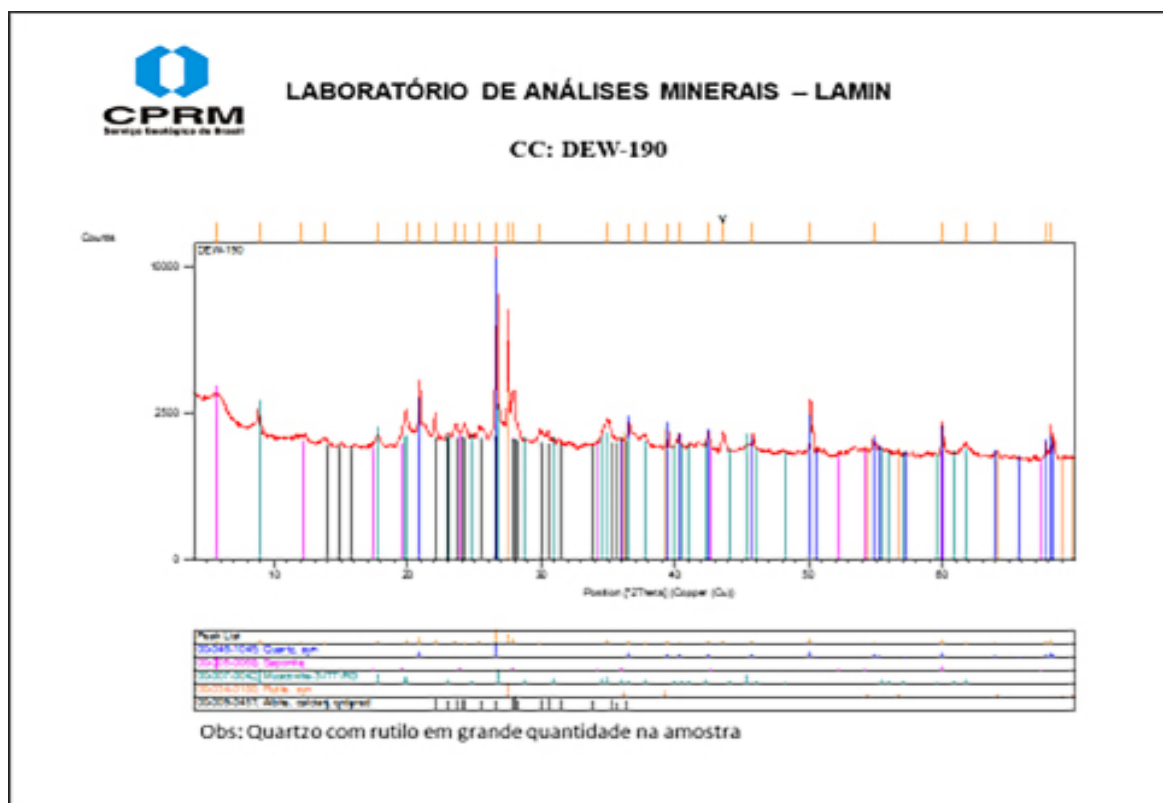
As análises mineralógicas do material coletado nos furos de sondagem são apresentadas no Quadro B.2.

Quadro B.2: Difratograma com os principais minerais identificados nos solos coletados nos furos de trado.

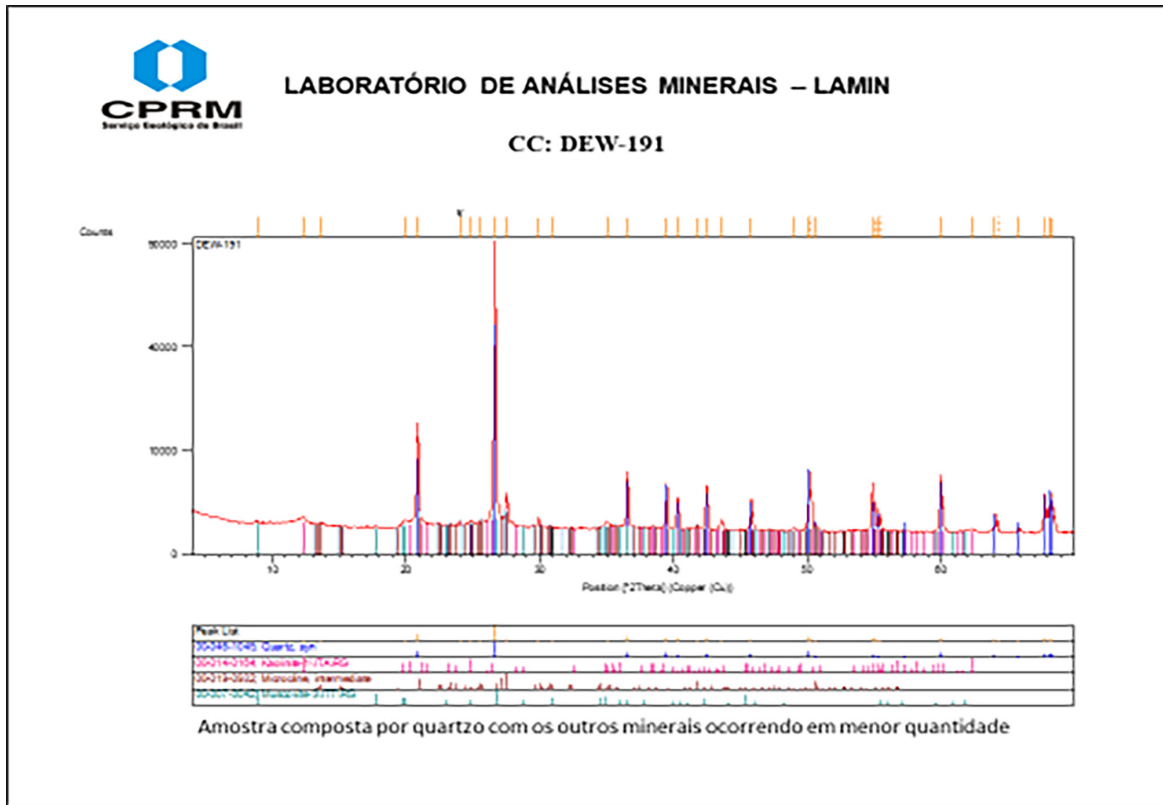
FT-01 - Área 1.



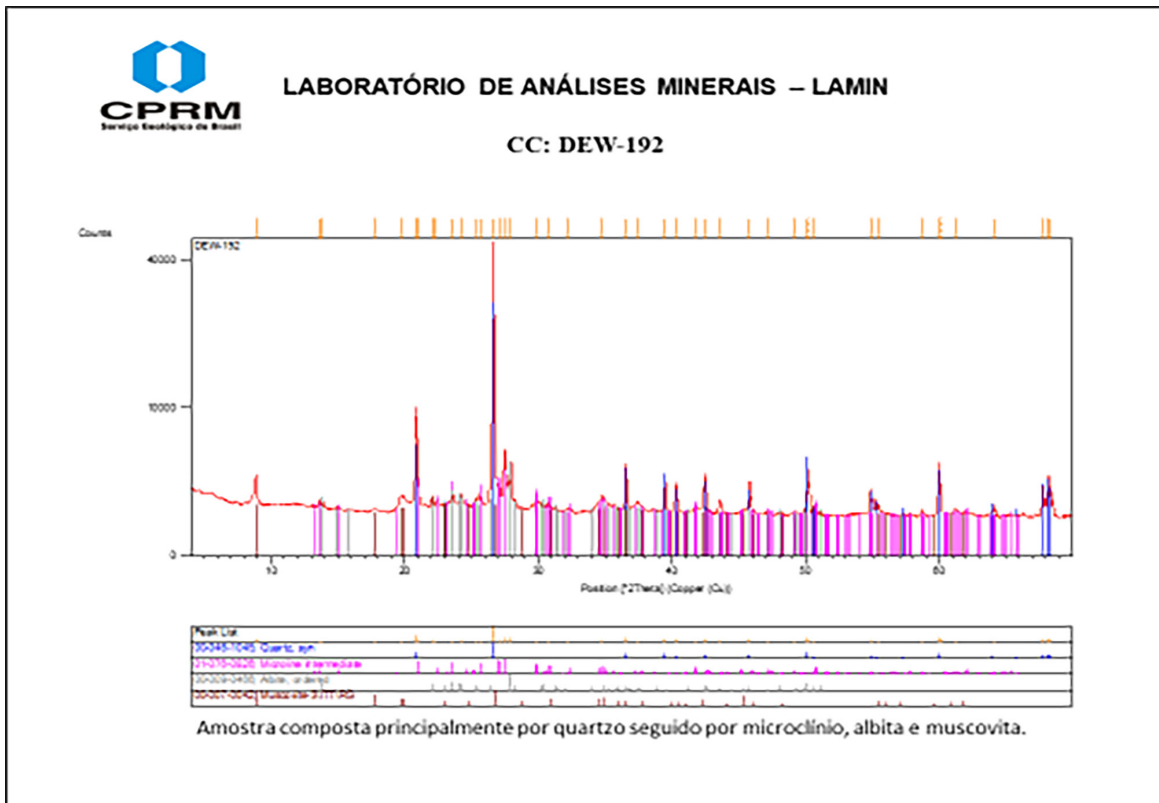
FT-02 - Área 2.



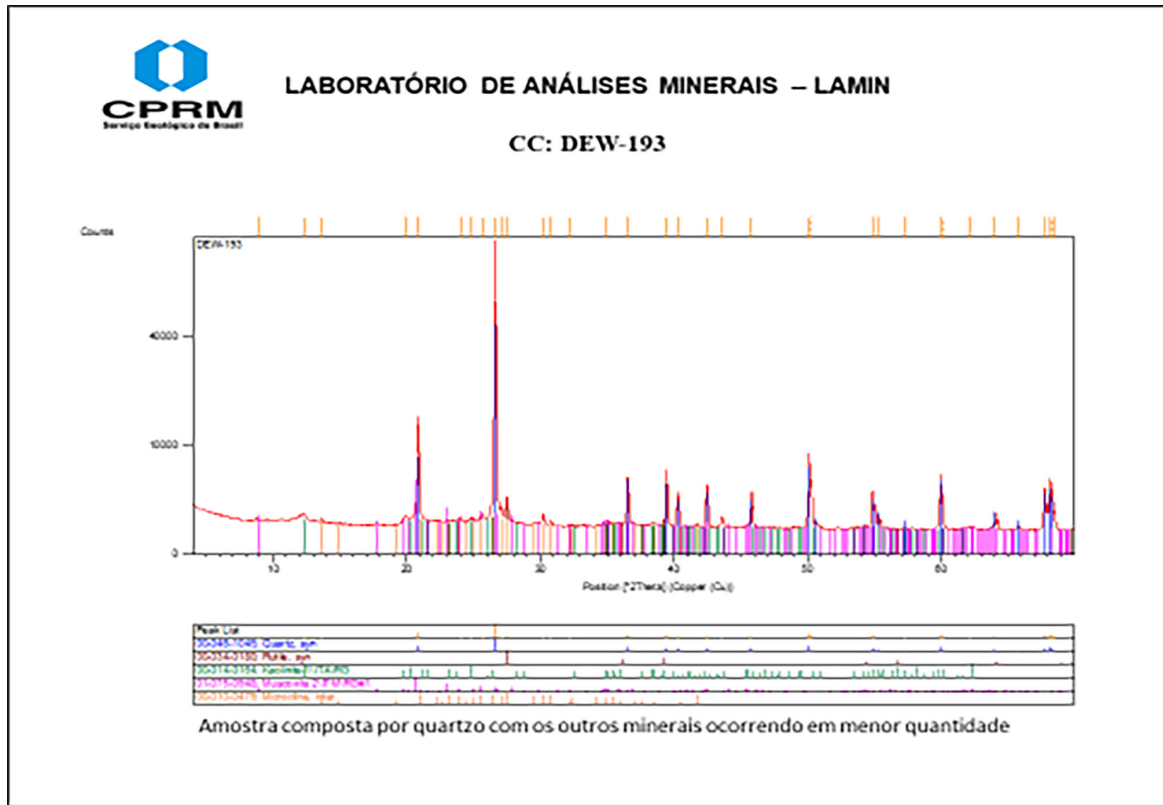
FT-03 - Área 3.



FT-04 - Área 4.



FT-05 - Área 5.



Fonte: Lamim - Manaus.

O SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM E OS OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS

Em setembro de 2015 líderes mundiais reuniram-se na sede da ONU, em Nova York, e formularam um conjunto de objetivos e metas universais com intuito de garantir o desenvolvimento sustentável nas dimensões econômica, social e ambiental. Esta ação resultou na *Agenda 2030*, a qual contém um conjunto de *17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS*.

A Agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Busca fortalecer a paz universal, e considera que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões é o maior desafio global, e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável.

Os 17 ODS incluem uma ambiciosa lista 169 metas para todos os países e todas as partes interessadas, atuando em parceria colaborativa, a serem cumpridas até 2030.



O **Serviço Geológico do Brasil – CPRM** atua em diversas áreas intrínsecas às Geociências, que podem ser agrupadas em quatro grandes linhas de atuação:

- Geologia
- Recursos Minerais;
- Hidrologia; e
- Gestão Territorial.

Todas as áreas de atuação do SGB-CPRM, sejam nas áreas das Geociências ou nos serviços compartilhados, ou ainda em seus programas internos, devem ter conexão com os ODS, evidenciando o comprometimento de nossa instituição com a sustentabilidade, com a humanidade e com o futuro do planeta.

A tabela a seguir relaciona as áreas de atuação do SGB-CPRM com os ODS.

Áreas de atuação do Serviço Geológico do Brasil – CPRM e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS

ÁREA DE ATUAÇÃO GEOCIÊNCIAS

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS



LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS



AValiação DOS RECURSOS MINERAIS DO BRASIL



LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS MARINHOS



LEVANTAMENTOS GEOQUÍMICOS



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS



SISTEMAS DE ALERTA HIDROLÓGICO



AGROGEOLOGIA



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



RISCO GEOLÓGICO



GEODIVERSIDADE



PATRIMÔNIO GEOLÓGICO E GEOPARQUES



ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO



GEOLOGIA MÉDICA



RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO



ÁREA DE ATUAÇÃO SERVIÇOS COMPARTILHADOS

GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO



TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO



LABORATÓRIO DE ANÁLISE MINERAIS



MUSEU DE CIÊNCIAS DA TERRA



PALEONTOLOGIA



PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS



REDE DE BIBLIOTECAS



REDE DE LITOTECAS



GOVERNANÇA



ÁREA DE ATUAÇÃO PROGRAMAS INTERNOS

SUSTENTABILIDADE



PRÓ-EQUIDADE



COMITÊ DE ÉTICA





Sede Brasília

Setor Bancário Norte - SBN
Quadra O2, Asa Norte
Bloco H - Edifício Central Brasília
Brasília - DF
CEP 70040-904
Tel.: (61) 2108-8400

Escritório Rio de Janeiro - ERJ

Av. Pasteur, 404 - Urca
Rio de Janeiro - RJ
CEP 22290-255
Tel.: (21) 2295-0032

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial

Tel.: (31) 3878-0337

Departamento de Gestão Territorial

Tel.: (51) 3406-7307

Divisão de Geologia Aplicada

Tel.: (11) 3775-5152

Divisão de Gestão Territorial

Tel.: (21) 2546-0419

Ouvidoria

Tel.: (21) 2295-4697
ouvidoria@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento ao Usuário (SEUS)

Tel.: (21) 2295-5997
seus@cprm.gov.br

www.sgb.gov.br

