



**AVALIAÇÃO TÉCNICA DE ÁREA DESTINADA À
IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO DA CIDADE
DE ANAMÃ (AM)**

Março/2020

**COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
Superintendência Regional de Manaus**

José Maria da Silva Maia
Superintendente Regional

Jussara Socorro Cury Maciel
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

José Luiz Marmos
Supervisor de Gestão Territorial

Equipe Técnica Responsável pelo Laudo
Geólogo Levi Souza Callegario
Sondador Valdemilton Gusmão

1 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E LOCALIZAÇÃO

O município de Anamá está localizado na Mesorregião Centro Amazonense, Microrregião de Coari (**Figura 1**). Sua área total é de 2.453,934 km² e sua população estimada em 2019 era de 13.614 habitantes. Suas regiões limítrofes fazem divisa com os municípios de Anori, Beruri, Manacapuru, Caapiranga e Codajás.

Em termos geológicos, seu centro urbano localiza-se sobre depósitos aluvionares holocênicos, mas boa parte do município se encontra assentado nos sedimentos da Formação Içá, de caráter areno-argiloso. Os depósitos aluvionares constituem amplas planícies fluviais, sem diferença de cota significativa em toda sua extensão, sujeitas a inundações periódicas, ou seja, locais inadequados para aterros sanitários. Já a Formação Içá pode apresentar características mais propícias para a implantação de aterros sanitários, como, por exemplo, sua maior compactação.

O clima da região é equatorial úmido, com temperaturas médias anuais de 27,6°C. A temperatura máxima média é de 32,5°C e a mínima média é de 22,3°C. O índice pluviométrico anual é de aproximadamente 2.251 milímetros, concentrados de novembro a maio. Julho é o mês mais seco (Climate-Data.org) (**Figura 2**).

A vegetação segue as mesmas características de quase toda a Amazônia, composta por Floresta Perenifolia Hileiana Amazônica, que corresponde à floresta de terra firme, Floresta Perenifolia

Paludosa Ribeirinha Periodicamente Inundada (mata de várzea), e Floresta Perenifólia Paludosa Ribeirinha Permanentemente Inundada (mata de igapó).

Em busca de solução que culmine com o encerramento das atividades da lixeira atual, situada nos limites da zona urbana, os gestores de Anamã tomaram iniciativa de escolher uma área para implantação do Aterro Sanitário Municipal, de modo a coletar, transportar e dar disposição final aos resíduos sólidos da cidade de maneira ambientalmente correta. Essa área está situada a noroeste da sede municipal, na beira de um dos braços do Lago de Anamã (**Figura 3**), e se encontra coberta por mata nativa, mas outrora parte dela foi utilizada como fazenda. Se comparada com as terras ao redor, a área a ser avaliada está em uma cota superior.

Com vistas à elaboração de projeto e posterior implantação do aterro, os gestores de Anamã solicitaram apoio ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM para avaliar a aptidão técnica da área selecionada em dar suporte a tal tipo de empreendimento no que diz respeito aos atributos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos. Com esse objetivo, o geólogo Levi Souza Callegario e o sondador Valdemilton Gusmão foram destacados para a realização dos estudos, cujas atividades de campo (coleta de dados in situ) se desenvolveram no período de 21 a 24 de janeiro de 2020.

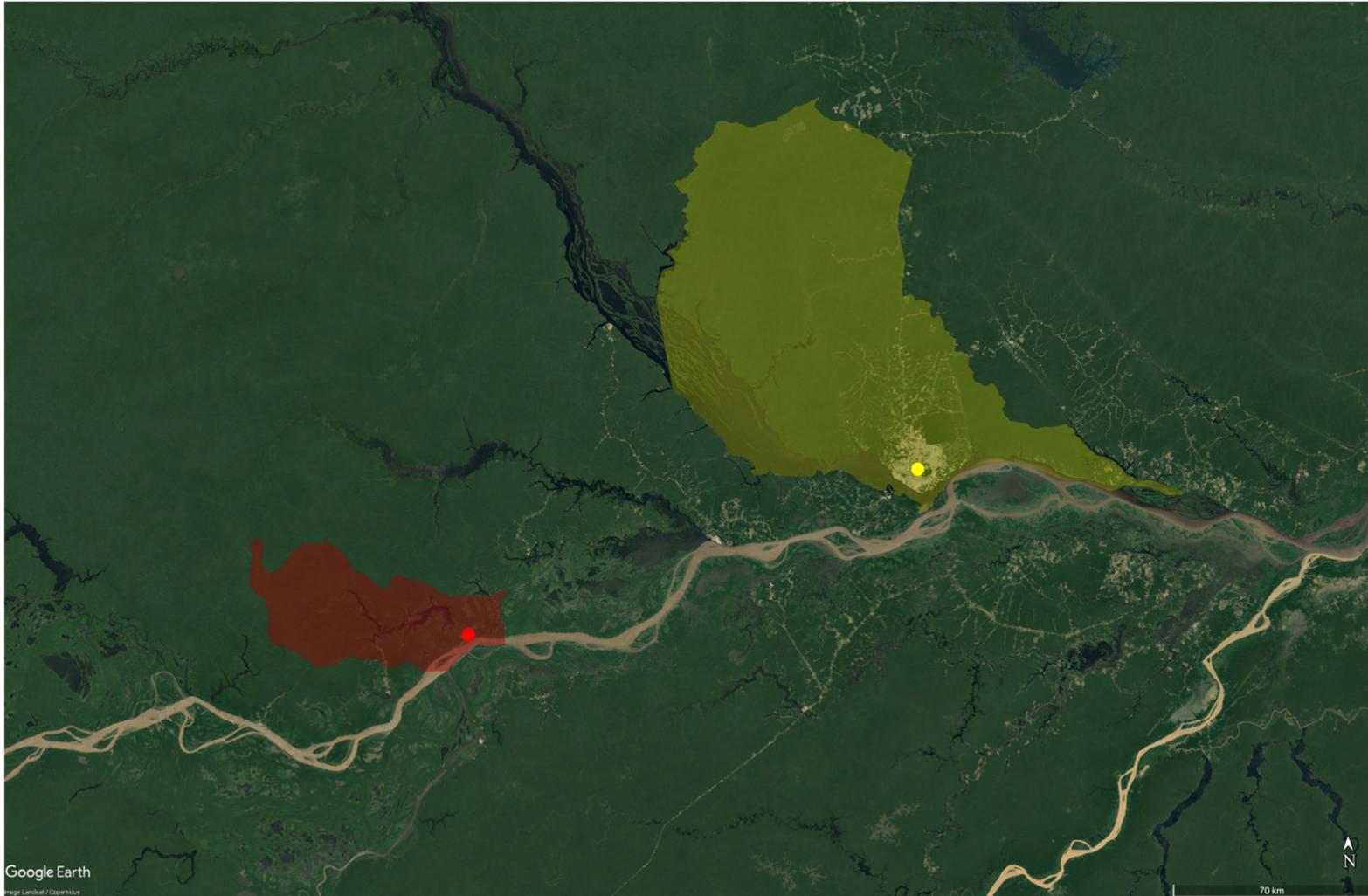


Figura 1: Imagem de satélite mostrando a área do município de Anamá (vermelho) e sua localização em relação à capital do estado, Manaus (amarelo). Os círculos de mesma cor indicam seus respectivos centros urbanos.

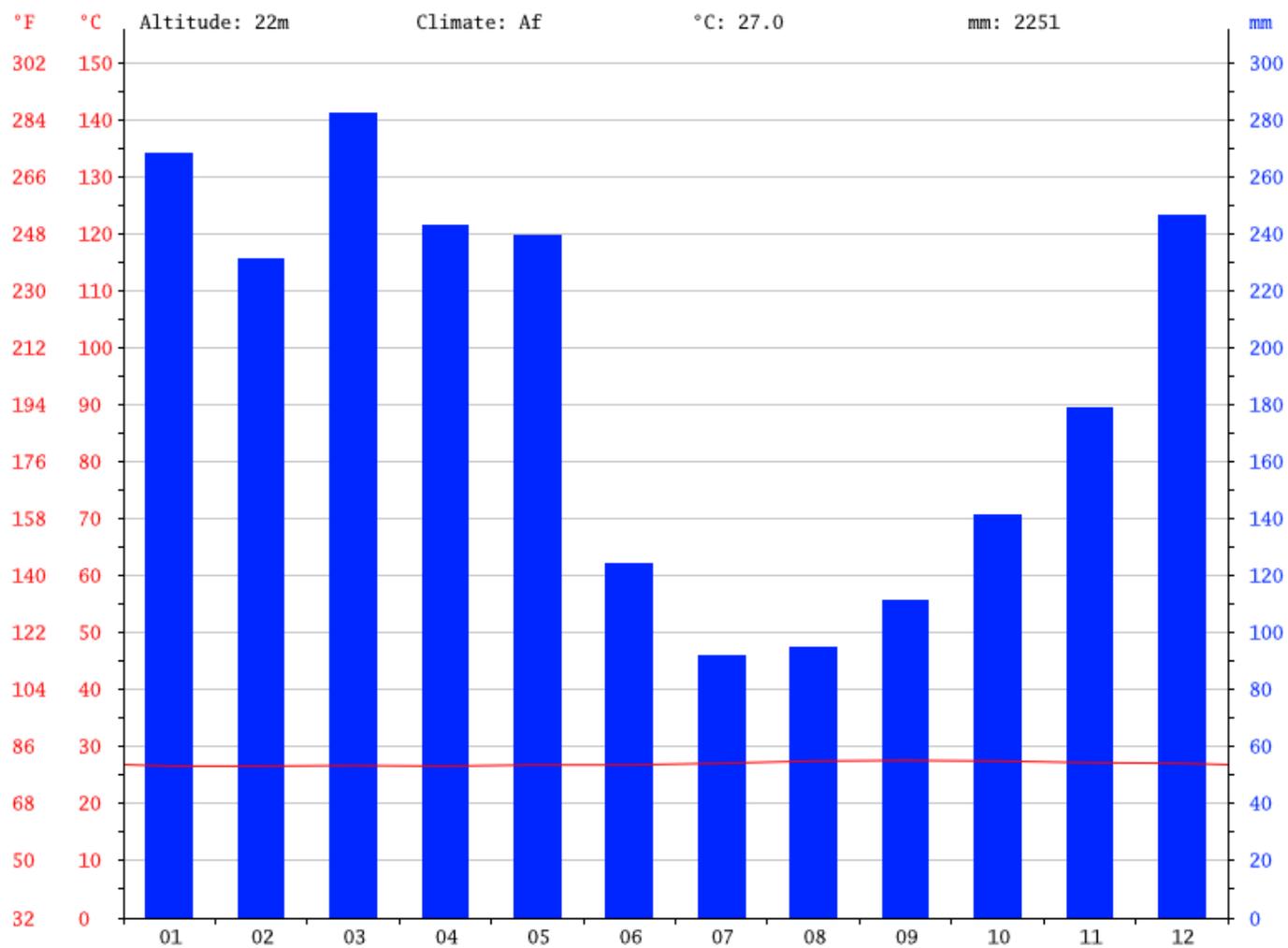


Figura 2: Climograma de Anamá segundo o site Climate-Data.org.



Figura 3: Imagem de satélite de alta resolução da cidade de Anamã e entorno oeste com a localização da área avaliada neste estudo (retângulo vermelho).

2. CÁLCULO DA ÁREA NECESSÁRIA PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO

Segundo informações dos gestores locais, a quantidade média coletada de resíduos sólidos diariamente em Anamã e depositada no atual aterro é estimada em 11 toneladas. Esse é um parâmetro essencial para o cálculo da área superficial necessária para instalação de aterro sanitário com uma vida útil mínima de 10 anos, conforme recomendado nas normas técnicas pertinentes (NBR 10157/87 e NBR 13896/97 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT) e nos manuais de gerenciamento de resíduos sólidos (IPT, 2000). Neste laudo, no entanto, levando-se em consideração a Política Nacional de Resíduos Sólidos, para efeitos de cálculo irá se considerar um aterro sanitário com vida útil mínima de 15 anos.

Outros dois parâmetros a serem levados em conta são a população urbana de Anamã (13.614 habitantes, de acordo com a estimativa do IBGE 2019) e a taxa média de crescimento anual dessa população (calculada em 3,7% quando se comparam os dados dos últimos 9 anos – censo IBGE de 2010 e estimativa de 2019). Portanto, de acordo com a informação obtida *in loco*, a quantidade média de resíduos sólidos produzidos atualmente na zona urbana de Anamã pode ser calculada em cerca de 0,80 kg/habitante/dia, valor utilizado nos cálculos.

Assim, com base nos números disponíveis, adotados e informados, e mantendo-se a situação observada, é possível estimar

em **77.877** toneladas a quantidade total de resíduos sólidos que seria coletada em Anamã ao longo dos próximos 15 anos (Tabela 1).

Tabela 1 – Estimativa do total de resíduos sólidos a serem coletados na cidade de Anamã ao longo dos próximos 15 anos.

Ano	População Estimada	Total de lixo por dia*	Total de lixo por ano*
2020	13.619	10,895	3.977
2021	14.123	11,298	4.124
2022	14.645	11,716	4.276
2023	15.187	12,150	4.435
2024	15.749	12,599	4.599
2025	16.332	13,066	4.769
2026	16.936	13,549	4.945
2027	17.563	14,050	5.128
2028	18.213	14,570	5.318
2029	18.887	15,110	5.515
2030	19.585	15,668	5.719
2031	20.310	16,248	5.931
2032	21.062	16,850	6.150
2033	21.841	17,473	6.378
2034	22.649	18,119	6.613
Total de lixo recolhido em 15 anos			77.877

* em toneladas

De acordo com IPT (2000), a densidade do lixo depois de compactado e aterrado está em torno de $0,75 \text{ ton/m}^3$. Assim, o volume total de lixo aterrado em 15 anos será:

$$77.877 \text{ ton} / 0,75 \text{ ton/m}^3 = 103.836 \text{ m}^3$$

Nos cálculos há que se levar em conta também o volume do material de cobertura (argila) das camadas de lixo. Considerando-se uma relação de 1:2 entre cobertura e lixo, o volume total do material de cobertura ao longo de 15 anos será:

$$103.836 \text{ m}^3 / 2 = 51.918 \text{ m}^3$$

Assim, o volume total de material aterrado, para uma vida útil de 15 anos, será:

$$103.836 \text{ m}^3 + 51.918 \text{ m}^3 = 155.754 \text{ m}^3$$

Caso o processo de aterramento do lixo seja executado pelo método *da trincheira ou vala*, que consiste na escavação de diversas valas e posterior preenchimento das mesmas com lixo e material de cobertura até ao nível da superfície do terreno, a área necessária para a vida útil pretendida dependerá da profundidade das valas, conforme exemplificado no quadro abaixo:

Prof. das valas (m)	Área necessária (m ²)	Área necessária (ha)
1,0	155.754	15,58
2,0	77.877	7,79
3,0	51.918	5,19

Além da área destinada às valas há que se acrescentar no cálculo o espaço para as áreas de servidão (cinturão de vegetação, estradas internas, galpões, instalações de escritório e balança, etc), que não receberão despejo de lixo. Estima-se que as áreas de servidão ocupem cerca de 20% do terreno total do aterro. Assim, para Anamã, tomando como exemplo um aterro com valas de 1,0 metros de profundidade média, para uma vida útil de 15 anos o terreno deverá apresentar aproximadamente a seguinte área:

$$15,58 \text{ ha} + 15,58 \times 0,2 = \mathbf{18,70 \text{ ha}}$$

Por outro lado, se no projeto do aterro, após o fechamento das valas, for feita a opção de se elevar pilhas dos resíduos alguns

metros acima da superfície do terreno (rampas), a área necessária para o empreendimento será bastante reduzida. De modo semelhante, se for implantado em Anamã, conforme planejado pelos atuais gestores, um programa intensivo de coleta seletiva, triagem, reciclagem e compostagem, o volume de resíduos descartados no aterro sanitário será significativamente reduzido, o que representará redução na área necessária para sua instalação e operação. Recomenda-se trabalhar para que a diferença entre o volume de resíduos produzidos e o volume de resíduos destinados ao aterro seja a máxima possível, não menos que 50%.

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA AVALIADA E ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

De modo a escapar das planícies fluviais, a Prefeitura de Anamã selecionou para avaliação técnica uma área, com 200 hectares, localizada em uma antiga fazenda, às margens de um braço do Lago Anamã, distante aproximadamente 15km (em linha reta) do centro urbano do município. O único acesso à área é fluvial, pelo citado lago, ressaltando-se que a navegabilidade no trecho fica comprometida nos períodos de seca, pois a conexão do lago com o rio Solimões fica muito rasa ou, em casos mais extremos, inexistente (**Figuras 3, 4 e 5**).

O terreno fica situado em um local de terra-firme, sem nenhum curso d'água localizado na distância de segurança (estipulada por normas da ABNT) nas zonas norte e oeste. O Lago Anamã se encontra ao sul da área, estando a uma distância menor que 200

metros no lado leste e maior que 200 metros no lado oeste (**Figuras 3, 4 e 5**). Levando em conta que 350 metros do lado leste foram descartados por causa da identificação de outros corpos d'água no interior da área em estudo, o Lago Anamã não cria empecilhos para a implantação do aterro se este se localizar mais a oeste.

Trata-se de terreno com topografia levemente inclinada, com altitude em torno de 25-35 metros, sendo as partes mais baixas próximas aos corpos d'água e as mais altas a norte e oeste. Está assentado, de acordo com o mapa geológico da região, sobre a Formação Içá, composta por arenitos, siltitos e argilitos do Cenozoico. A cobertura vegetal da área é representada por floresta nativa e regenerada, pois no passado parte da cobertura original fora desmatada para criação de gado.

Como já mencionado, existe uma parte rebaixada, ocupada por pequenos cursos d'água, no setor leste-sudeste da área avaliada (**Figuras 4 e 5**), além do Lago Anamã, ao sul. Segundo as normas NBR 10157/87 e 13896/97 da ABNT, que tratam dos critérios para projeto, construção e operação de aterro de resíduos perigosos e não perigosos, o empreendimento deve estar localizado a uma distância mínima de 200m de cursos d'água, *ressalvando, porém, que o órgão estadual de meio ambiente poderá alterar essa distância.*

Os trabalhos de campo se iniciaram com o reconhecimento preliminar do terreno e suas adjacências (plotagem dos vértices), por meio de picadas abertas na área florestal, o que permitiu a

identificação dos corpos d'água citados e avaliação da topografia local. Também houve reconhecimento dos vértices do terreno pelo Lago Anamã e seus afluentes, com o auxílio de uma embarcação.

A área restritiva legal (*buffer*) das drenagens, como mencionado anteriormente, acabou por descartar 350 metros no setor leste do terreno. Em certos casos, isso seria o suficiente para a paralisação dos trabalhos. Em Anamã, porém, a área de estudo é muito grande, o que possibilitou a programação das sondagens no restante do terreno.

O “buffer” foi medido em campo, a partir de caminhamentos via GPS e, após os trabalhos, delineado em ambiente SIG e inserido neste relatório. Vale ressaltar que são zonas de proteção, que devem ser referendadas pelo IPAAM. De todo modo, foi descartada para avaliação a parte do terreno inserida no interior dessa zona.

Na sequência, com vistas a atender à legislação pertinente (normas técnicas da ABNT) e à obtenção de subsídios para elaboração de um laudo técnico mais conciso, foi programada uma campanha de perfurações na área selecionada, com auxílio de trado manual. Neste caso, os principais objetivos das sondagens a trado foram:

- avaliação visual e coleta de amostras do solo e subsolo para ensaios granulométricos;
- definição da profundidade do nível local da água subterrânea (NA ou nível freático).

A chuva persistente atrasou o início dos trabalhos e, por isso, só foram feitos quatro furos de sondagem. Como existia uma dificuldade grande de acesso aos vértices da área, graças à cerrada mata nativa, não houve possibilidade de respeitar uma malha regular de sondagem. Porém, ainda assim, tentou-se caracterizar ao máximo o terreno no sentido norte-sul, onde este possui maior extensão.

Lembra-se que, do ponto de vista geológico-ambiental, para dar suporte a um aterro sanitário é fortemente recomendado que o terreno apresente subsolo argiloso, argilo-siltoso ou argilo-arenoso, o que dificulta a infiltração dos contaminantes. O nível freático também deve estar afastado da superfície. Segundo as normas supracitadas, entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada de espessura mínima de 1,5m de solo insaturado, sendo que o nível deve ser medido logo após o período de maior precipitação pluviométrica na região.

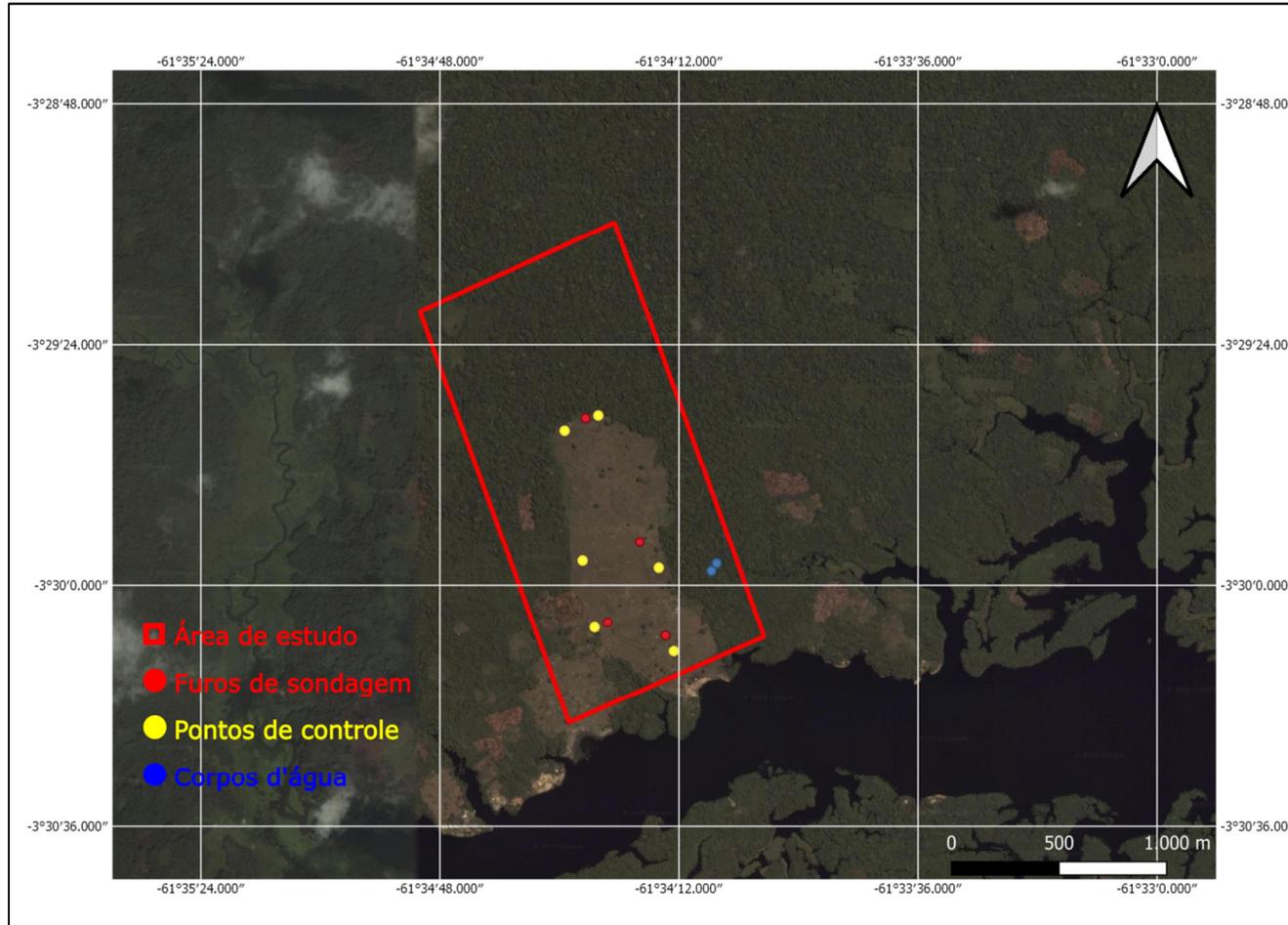


Figura 4: Imagem da região de estudo com a situação da área total selecionada (200 ha) com vistas à implantação do aterro sanitário de Anamã, com a localização dos furos de trado realizados. Também estão plotados pontos de controle no campo, sendo que os amarelos representam cruzamentos de picadas e cercas.

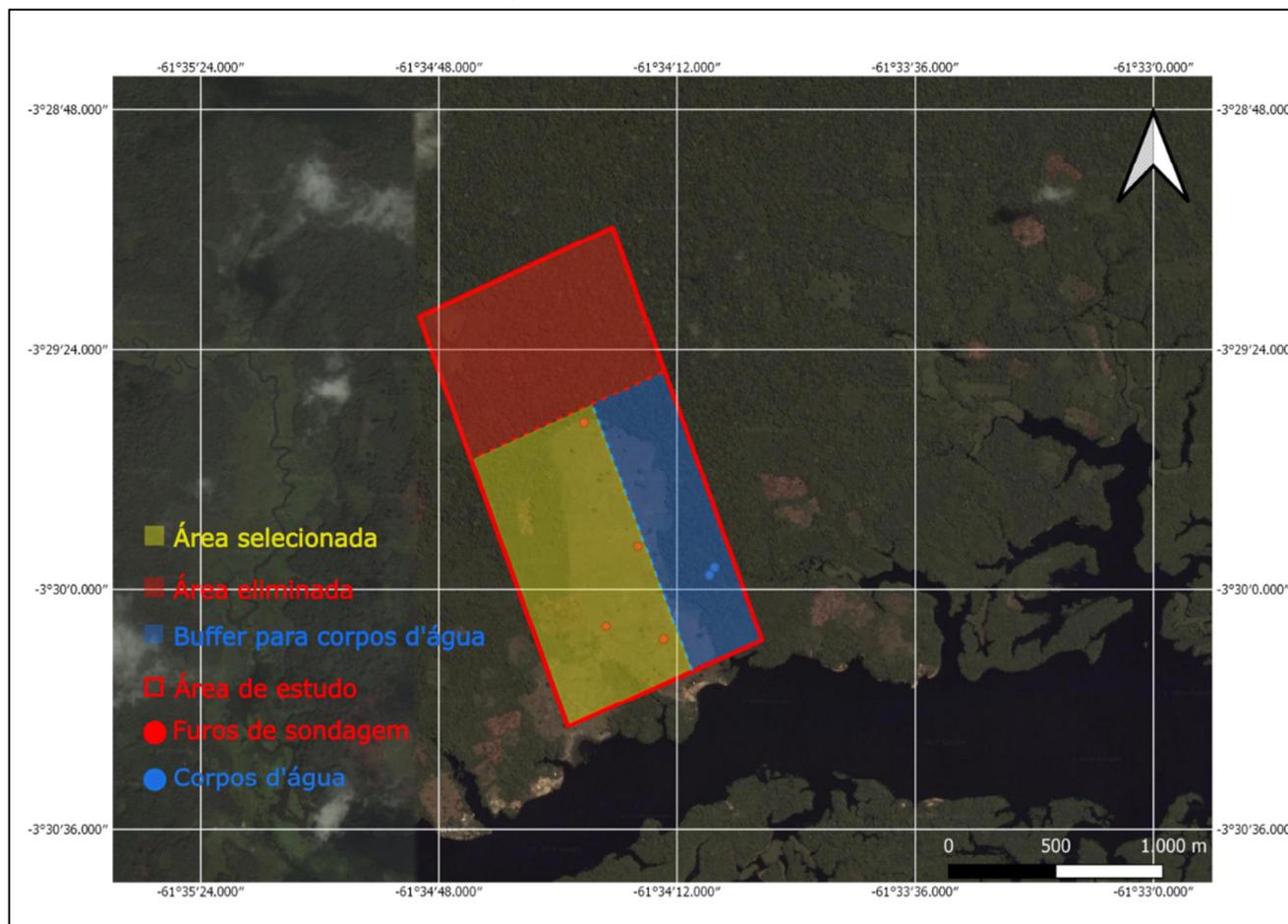


Figura 5: Imagem de satélite da região, com a divisão da área de estudo. O retângulo azul representa a distância de 200 metros que se deve manter o aterro sanitário afastado dos corpos d'água. O retângulo vermelho ilustra a porção descartada, pois o furo ANAM-02 (mais próximo) revelou um lençol freático mais raso, além das dificuldades de criação do acesso até esse local (vide item “resultados obtidos”). Ainda assim, restaram aproximadamente 87 hectares (retângulo amarelo), mais que suficientes para a implantação de aterro com longa vida útil, onde foram executadas as sondagens a trado.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Foram feitas quatro perfurações a trado na área selecionada de aproximadamente 87 ha, cujas profundidades variaram de 5,7 a 7,0m, atingindo-se o nível d'água em todos eles, entre 5,30 e 6,90 metros (**Figuras 4 e 5 e Tabela 2**).

O desenvolvimento das perfurações foi acompanhado pelo geólogo responsável, com descrição detalhada do perfil de solo atravessado e seleção de amostras para ensaios de granulometria no Laboratório de Análises de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental - Manaus, cujos resultados se encontram em boletim anexo a este laudo.

Tabela 2: Características das sondagens executadas na área selecionada para Anamã.

Furo	Coordenadas UTM (Zona 20S)	Cota Aprox. (m)	Profund. Final (m)	Nível d'água (m)	Cobertura Vegetal
ANAM-01	9613216 N 658663 E	27	7,0	6,90	Floresta Nativa
ANAM-02	9613788 N 658412 E	35	5,7	5,30	Floresta Nativa
ANAM-03	9612849 N 658513 E	28	7,0	6,50	Floresta Nativa
ANAM-04	9612789 N 658782 E	25	6,0	5,80	Floresta Nativa

As observações e os resultados dos ensaios promovidos pela Embrapa definiram os seguintes perfis de solo/subsolo:

FURO ANAM-01 (Figuras 8 e 12):

- 0,00 a 0,50m: solo orgânico, marrom-escuro, com raízes, gradando para solo argiloso marrom-claro;
- 0,50 a 1,00m: a gradação suave continua para um solo alaranjado, com textura argilo-siltosa, similar ao nível superior (48% de argila e 24% de silte);
- 1,00 a 2,25m: aparecem manchas brancas no solo. O material começa a sair em forma de lâminas. Teor de silte aumenta aos poucos, perfazendo 30% do solo, enquanto a fração argila diminui para 43%. Em profundidade, a quantidade de manchas brancas aumenta;
- 2,25 a 2,60m: o material branco começa a aparecer em camadas, e não mais em manchas. Os teores de areia/silte/argila já são mais equilibrados, mas ainda com predomínio da textura argilo-siltosa;
- 2,60 a 3,50m: aparecem manchas de laterita friáveis arenosas. Às vezes, ela aparece em camadas. Em profundidade, o teor de areia aumenta gradativamente, chegando a quase 50% no final do intervalo;
- 3,50 a 4,50m: o material se apresenta areno-siltoso (57% de areia, 26% de silte e 17% de argila). A cor muda para marrom-escuro. Nódulos de laterita maiores e mais resistentes começam a aparecer. Abaixo de 4m, as

partes brancas da amostra já vêm úmidas, mas as vermelhas continuam secas;

- 4,50 a 6,60m: solo vermelho areno-siltoso (64% de areia e 23% de silte), com poucas manchas brancas;
- 6,60 a 7,00m: areia siltosa, mosqueada, bem parecida com o material visto na orla do Lago Anamã. Nível d'água encontrado em 6,90m. Furo interrompido em 7,00m.

FURO ANAM-02 (Figuras 9 e 13):

- 0,00 a 0,50m: solo orgânico argiloso, preto, com raízes, gradando para solo cinza amarronzado;
- 0,50 a 1,00m: solo mosqueado acamadado, com predomínio de argilas brancas. Pintas de laterita friáveis aparecem na matriz argilo-siltosa (40% de argila e 34% de silte);
- 1,00 a 1,60m: o material vermelho diminui, deixando o solo bem branco. Muitas lascas no formato da boca do trado são recuperadas, evidenciando o alto teor de argila (50%), secundado pela fração silte (34%);
- 1,60 a 3,90m: solo areno-siltoso vermelho (62-69% de areia; 18-20% de silte), que grada para mais amarelado em profundidade, sendo que em 3,00m já está francamente amarelo. Aparece mica no material, deixando alguns pontos brilhantes;

- 3,90 a 4,90m: aparece o solo mosqueado novamente, com predomínio de cores vermelhas. A amostra também vem mais úmida e com maior teor de finos, porém ainda com predomínio da fração arenosa (39% de areia, 35% de silte e 26% de argila). Em profundidade, o teor de areia aumenta, a partir de 4,50m. Em 4,70m, o material amarelo volta a aparecer, mas sem modificar a matriz;
- 4,90 a 5,10m: o padrão é similar ao do início do furo, com mais material branco;
- 5,10 a 5,70m: areia siltosa amarela (65% de areia e 20% de silte). Nível d'água encontrado em 5,30m. Devido ao desmoronamento das paredes do furo, este foi interrompido em 5,70m.

FURO ANAM-03 (Figuras 10 e 14):

- 0,00 a 0,20m: solo orgânico, marrom-escuro, com raízes, argiloso;
- 0,20 a 1,80m: solo argilo-areno-siltoso marrom (43% de argila, 32% de areia e 25% de silte), que grada para laranja com a profundidade. Abaixo de 1,00m o padrão se torna mais avermelhado, mas sem mudança significativa na textura da matriz. Em 1,30m, a amostra sai no formato da boca do trado;
- 1,80 a 3,00m: o solo apresenta manchas brancas, que aumentam ligeiramente com a profundidade, e adquire caráter mais

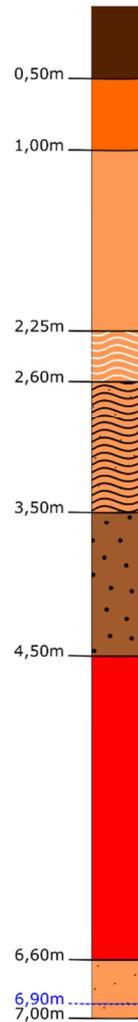
granular, areno-silto-argiloso (49% de areia, 26% de silte e 25% de argila);

- 3,00 a 4,50m: solo acamadado, com material vermelho predominante, e com permanência do caráter areno-silto-argiloso, com menos argila (46-49% de areia, 30-32% de silte e 19-24% de argila);
- 4,50 a 5,00m: material parecido com o do intervalo anterior, porém com maior conteúdo de areia (55%) e ainda com silte branco (30%);
- 5,00 a 7,00m: o material branco some numa gradação rápida, e o solo se torna marrom-avermelhado e ainda mais arenoso (62% de areia, 26% de silte e 12% de argila). Em 6,50m o nível d'água foi encontrado. Em 6,70m, as paredes do furo começam a desmoronar e ele foi interrompido a 7,00m.

FURO ANAM-04 (Figuras 11 e 15):

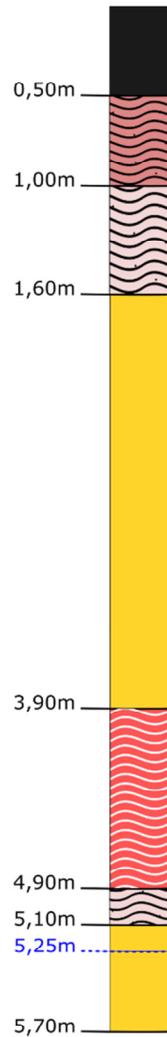
- 0,00 a 0,50m: solo orgânico marrom-claro, com raízes, gradando para um material laranja amarronzado, ambos argilosos;
- 0,50 a 1,00m: solo de textura argilo-siltosa (48% de argila e 37% de silte), marrom-avermelhado, com pintas brancas;
- 1,00 a 1,50m: o material branco já vem em camadas, mas não é predominante. Textura do solo ainda é argilo-siltosa;

- 1,50 a 4,00m: manchas roxas friáveis argilosas de laterita aparecem. Em 2,10m surge material arenoso amarelo, não predominante, que aumenta gradativamente com a profundidade, e as pintas de laterita ficam mais resistentes, Textura do solo varia de argilo-silto-arenosa no início do intervalo (40% de argila, 38% de silte e 22% de areia) a silto-areno-argilosa no final (34-38% de silte, 33-36% de areia e 30% de argila);
- 4,00 a 4,30m: o padrão acamadado agora tem areia argilosa branca predominante, junto com areia argilosa vermelha. A textura é areno-silto-argilosa (50% de areia, 28% de silte e 22% de argila);
- 4,30 a 6,00m: o solo fica ainda mais arenoso (60-64% de areia e 23-25% de silte), inicialmente vermelho, porém gradando para amarelo em profundidade. Nível d'água encontrado em 5,80m. Furo interrompido em 6,00m.



-  Solo orgânico, marrom escuro, argiloso
-  Solo marrom claro, alaranjado, argiloso, coeso
-  Solo laranja avermelhado, areno siltoso, com manchas brancas
-  Solo laranja avermelhado, areno siltoso, com camadas brancas
-  Solo laranja avermelhado, arenos siltoso, com pintas e camadas de laterita
-  Solo marrom escuro, areno siltoso, com nódulos de laterita competentes
-  Solo arenoso vermelho, sem coesão
-  Solo arenoso mosqueado, com um certo teor de finos

Figura 8: Coluna esquemática do furo ANAM-01.



-  Solo orgânico, preto, argiloso
-  Solo mosqueado acamadado argiloso, vermelho e branco
-  Solo mosqueado acamadado argiloso, com predomínio de material branco
-  Solo areno siltoso amarelo, sem coesão
-  Solo mosqueado acamadado areno siltoso, com predomínio de material vermelho

Figura 9: Coluna esquemática do furo ANAM-02



-  Solo orgânico, marrom escuro, argiloso
-  Solo marrom claro, alaranjado, argiloso, coeso
-  Solo laranja avermelhado, areno siltoso, com manchas brancas
-  Solo laranja avermelhado, areno siltoso, com camadas brancas
-  Solo laranja esbranquiçado, areno siltoso, com camadas vermelhas
-  Solo marrom avermelhado arenoso

Figura 10: Coluna esquemática do furo ANAM-03.



- Solo orgânico, marrom claro, argiloso
- Solo marrom avermelhado, argiloso, com pintas brancas
- Solo marrom avermelhado, argiloso, com camadas brancas
- Solo marrom avermelhado, argiloso, com camadas brancas e nódulos de laterita
- Solo branco avermelhado, areno-argiloso, acamadado
- Solo vermelho arenoso, gradando para amarelo

Figura 11: Coluna esquemática do furo ANAM-04.



Figura 12: Furo ANAM-01. A) Camada marrom-clara argilo-siltosa abaixo do horizonte orgânico. B) O material, ainda argilo-siltoso, sai no formato da boca do trado no intervalo 1,00 a 2,25m. C) Solo vermelho arenoso, sem coesão, do final do furo, já abaixo do lençol freático. D) A disposição das amostras no final da sondagem.



Figura 13: Furo ANAM-02. A) Padrão mosqueado acamadado, com predomínio de material branco argilo-siltoso. B) Material granular (areno-siltoso) vermelho e amarelo. C) Padrão acamadado mosqueado, com predomínio de material vermelho, areno-silto-argiloso do intervalo 4,00 a 4,50m. D) Areia siltosa amarela, já molhada, do fim do furo.

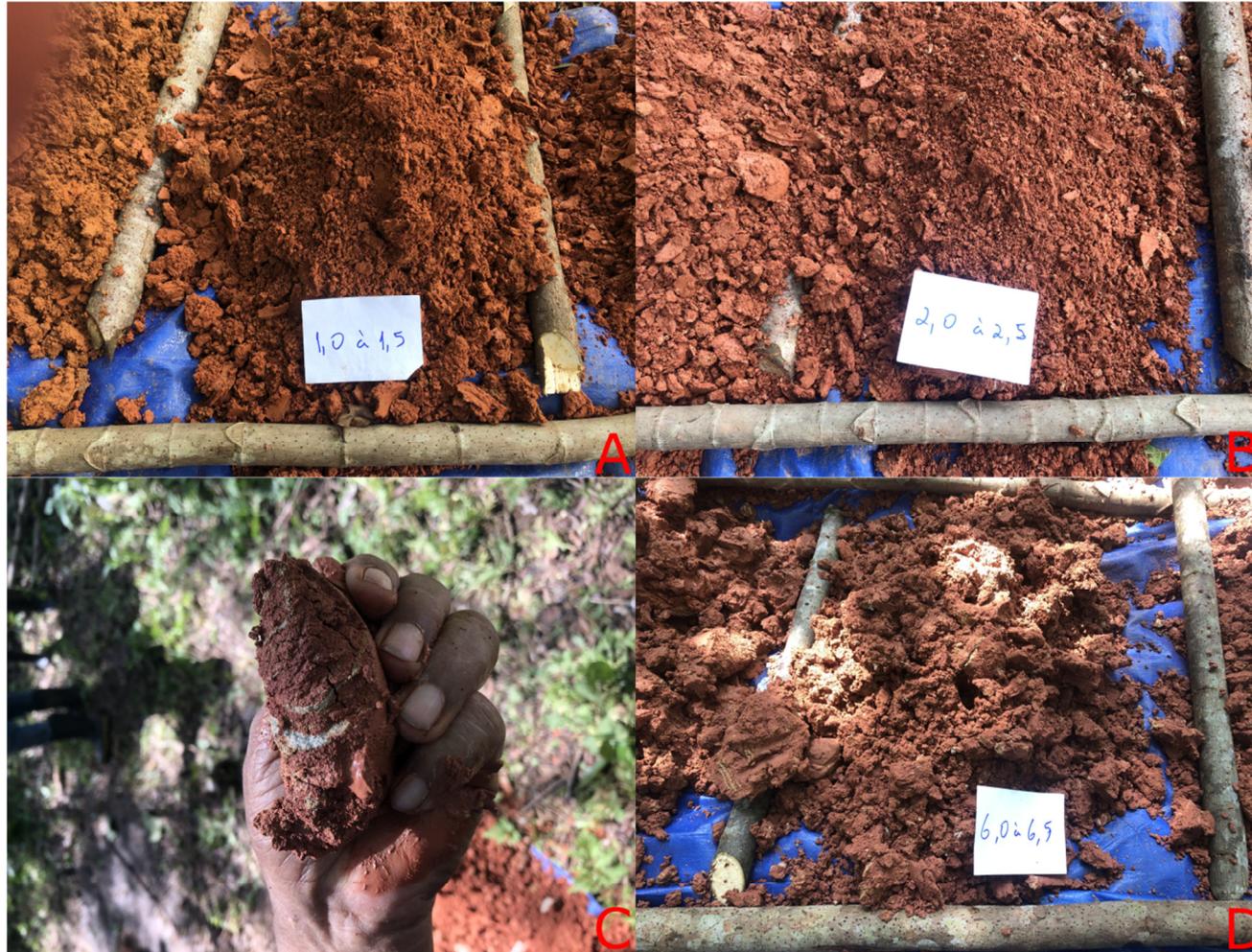


Figura 14: Furo ANAM-03. A) Solo laranja-avermelhado argilo-arenoso dos intervalos iniciais. B) Material semelhante ao da imagem anterior, com teor maior de areia e de manchas brancas. C) Solo de padrão acamadado, com material vermelho predominante. D) Areia marrom avermelhada, com poucos finos, retirada do intervalo precedente ao lençol freático.



Figura 15: Furo ANAM-04. A) Solo argilo-siltoso, marrom avermelhado, com pintas e camadas brancas. B) Solo silto-areno-argiloso, acamadado branco e vermelho, com pintas de laterita e manchas amarelas esporádicas. C) Areia vermelha retirada no intervalo precedente ao lençol freático. D) Areia vermelha retirada após a interseção do lençol freático.

Assim, com relação à textura dos solos investigados, conforme se observa na descrição dos furos e no laudo de análises granulométricas (anexo), a área selecionada assenta-se sobre um perfil de solo/subsolo composto basicamente por quatro horizontes, do topo para a base:

- horizonte orgânico, argiloso, marrom-escuro, com acumulação de raízes e folhas, com espessura entre 20 e 50cm. Este horizonte não foi avaliado em detalhe devido ao fato de que será suprimido para a construção do empreendimento;
- solo argilo-siltoso a argilo-areno-siltoso (40-50% de argila, 25-34% de silte e 15-32% de areia), marrom-alaranjado, ora avermelhado, com espessura variando de 1,20 a 2,00 metros. São solos bastante coesos e com permeabilidade limitada. Possuem certa variabilidade, podendo ser encontrados com algumas pintas de laterita. Grada para o horizonte abaixo;
- solo areno-silto-argiloso a silto-areno-argiloso, mosqueado (33-57% de areia e 26-38% de silte), ora acamadado. Sua espessura varia entre 2,00 e 3,20 metros. Esse solo apresenta as maiores variantes dentre todos os horizontes. Dependendo do local e profundidade pode ser mais arenoso ou mais siltoso. Também pode conter mais material vermelho ou branco, e diferentes teores de material amarelo. Pode apresentar estrutura acamadada ou apenas difusa (sem estrutura definida);

- solo areno-siltoso ($> 60\%$ de areia e $> 20\%$ de silte), vermelho, amarelo ou laranja. A espessura desse horizonte não pôde ser definida pois, em nenhuma sondagem, foi possível ultrapassá-lo. Isso ocorreu por sua pouca coesão, que, devido à predominância de areia solta, não permitia que as paredes do furo mantivessem sua integridade, desmoronando constantemente. Geralmente, esse material é encontrado abaixo do lençol freático da região, mas parte dele pode ser encontrado acima.

Vale ressaltar que o furo ANAM-02 não segue fielmente o padrão descrito acima. Na coluna deste furo, os perfis superiores, apesar de apresentarem textura semelhante à dos outros pontos, evidenciam muito mais material branco; e nos perfis inferiores observa-se um solo arenoso amarelo, com 2,30 metros de espessura, dividindo o horizonte mosqueado.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados obtidos, pode-se afirmar que a área selecionada de 87 hectares possui **aptidão técnica regular a boa** para dar suporte à implantação do aterro sanitário de Anamã. Como as contas feitas no item 2 deste relatório, para um aterro com vida útil de 15 anos, definem a necessidade de um terreno com área bem menor, cabe aos gestores municipais decidirem em qual setor será iniciada a obra. Se operar de maneira correta no local indicado, o aterro deverá ter vida útil bem além de 15 anos.

Os resultados das investigações de campo e das perfurações executadas revelaram **dois fatores técnicos altamente positivos e um negativo** no que diz respeito à aptidão dessa área em dar suporte ao aterro sanitário:

- o **primeiro fator positivo** é a textura argilo-siltosa a argilo-areno-siltosa dos primeiros horizontes de solo, com espessura variando de 1,8 a 2,5 metros (com boa coesão), que retarda a percolação dos efluentes. Esse solo irá constituir um substrato pouco permeável, que funcionará como selante ou filtro da base do aterro, dificultando sobremaneira a infiltração e dispersão dos contaminantes aí gerados (chorume, metais pesados, etc);

- o **segundo fator positivo** é o nível do lençol freático. Há de se considerar que a campanha não foi feita no período onde a cota de inundação do Rio Solimões e seus afluentes é máxima.

Entretanto, sabe-se que a variação do nível freático na região não é grande. Pode-se, então, trabalhar com uma margem de erro de dois metros, o que posicionaria o nível d'água em 3,30 metros, na parte mais rasa, no final do período chuvoso. Considerando que deve haver pelo menos 1,5 metros de solo insaturado entre o freático e a base do aterro, não haverá problemas caso não se façam valas com mais de 1,8 metros de profundidade;

- o **fator negativo** é a existência de solos areno-siltosos a partir de profundidades que variam de 1,8 a 2,5 metros. Em teoria, o material argilo-siltoso superficial, se preservado em sua base, funcionará como selante dos efluentes do aterro, impedindo que estes contaminantes cheguem ao freático. Como parte desse material mais arenoso se encontra acima do nível d'água, recomenda-se preservar ao máximo o horizonte superior, de maior competência, para os fins da obra. Caso os efluentes cheguem ao horizonte arenoso, poderá haver contaminação generalizada das águas subterrâneas.

Portanto, levando-se em conta as sérias dificuldades naturais e fundiárias que os gestores de Anamã têm para encontrar um local ideal para implantação do aterro sanitário municipal, a área avaliada poderia ser utilizada para esse fim, porém com uma importante ressalva técnica, relatada a seguir.

No projeto de concepção e implantação do futuro aterro, é indispensável e obrigatória a instalação de mantas

impermeabilizantes espessas e resistentes na base de toda a área a ser utilizada para despejo dos resíduos sólidos, de modo a garantir que os contaminantes fiquem isolados e não migrem para os aquíferos locais. Do mesmo modo, é fundamental a instalação de drenos verticais e horizontais para captação de gás e chorume, o qual deverá ser conduzido para tanques de tratamento. Em outras palavras, o depósito de resíduos sólidos de Anamã deverá ser construído e operado conforme as normas de engenharia preconizadas para um aterro sanitário e não como uma lixeira.

Por último, tendo-se em vista a configuração do perfil mais superior do solo na área, recomenda-se que as valas do aterro tenham no máximo 1,30m de profundidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1987. *Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação*. NBR 10157. Rio de Janeiro, 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1997. *Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação*. NBR 13896. Rio de Janeiro, 12p.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2000. *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. Coordenação: Maria Luiza Otero D’Almeida, André Vilhena. 2^a. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 370p.

ANEXO

LAUDOS DAS ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS REALIZADAS NA EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL

EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL
LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE SOLOS E PLANTAS - LASP
Resultados analíticos - Física do Solo

Remetente: Prefeitura Municipal de Anamá

Endereço: Não Informado

Data de Entrada: 11/02/2020

Data de Saída: 02/03/2020

Número do Prot.	Identificação das amostras (Profundidade em cm)	AREIA GROSSA	AREIA FINA	AREIA TOTAL	SILTE	ARGILA	Classificação textural do solo
		2.00-0.20 mm	0.20-0.05 mm	2.00-0.05 mm (g/kg)	0.05-0.002 mm	<0.002 mm	
35	ANAM-01 0,5-1,0	17,54	261,60	279,23	243,78	477,00	Argila
36	ANAM-01 1,0-2,0	12,33	248,66	261,00	302,01	437,00	Argila
37	ANAM-01 2,0-3,0	34,90	271,80	306,70	341,81	351,50	Franco Argiloso
38	ANAM-01 3,0-3,5	186,80	305,61	492,41	272,60	235,00	Franco Argilo Arenoso
39	ANAM-01 3,5-4,5	278,63	293,92	572,54	256,96	170,50	Franco Arenoso
40	ANAM-01 4,5-5,5	320,81	318,61	639,42	226,58	134,00	Franco Arenoso
41	ANAM-01 5,5-6,5	306,09	333,29	639,38	233,12	127,50	Franco Arenoso
42	ANAM-01 6,5-7,0	226,18	418,94	645,12	233,89	121,00	Franco Arenoso
43	ANAM-02 0,5-1,0	31,83	225,43	257,26	340,74	402,00	Argila
44	ANAM-02 1,0-1,5	28,05	136,94	164,99	335,52	499,50	Argila
45	ANAM-02 1,5-3,0	429,33	194,32	623,64	198,86	177,50	Franco Arenoso
46	ANAM-02 3,0-3,5	445,63	242,70	688,33	179,68	132,00	Franco Arenoso
47	ANAM-02 4,0-5,0	36,59	351,09	387,69	351,32	261,00	Franco
48	ANAM-02 5,0-5,5	368,82	285,54	654,36	200,65	145,00	Franco Arenoso

Observação: A Embrapa Amazônia Ocidental, na qualidade de prestadora dos serviços de análises, não se responsabiliza pela(s) coleta(s) da(s) amostra(s) ficando a(s) mesma(s) sob a responsabilidade do(s) cliente(s) / remetente(s).

Maria do Rosário Lobato Rodrigues
LASP/Embrapa Amazônia Ocidental


 EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL
 LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE SOLOS E PLANTAS - LASP
 Resultados analíticos - Física do Solo

Remetente: Prefeitura Municipal de Anamá

Data de Entrada: 11/02/2020

Endereço: Não Informado

Data de Saída: 04/03/2020

Número do Prot.	Identificação das amostras (Profundidade em cm)	AREIA GROSSA	AREIA FINA	AREIA TOTAL	SILTE	ARGILA	Classificação textural do solo
		2.00-0.20 mm	0.20-0.05 mm	2.00-0.05 mm (g/kg)	0.05-0.002 mm	<0.002 mm	
49	ANAM-03 0,5-1,5	6,80	318,05	324,85	243,65	431,50	Argila
50	ANAM-03 1,5-2,5	17,85	472,07	490,03	259,97	250,00	Franco Argilo Arenoso
51	ANAM-03 2,5-3,5	22,51	439,28	461,79	300,21	238,00	Franco
52	ANAM-03 3,5-4,5	14,43	478,42	492,85	317,15	190,00	Franco
53	ANAM-03 4,5-5,5	154,51	402,57	557,07	288,43	154,50	Franco Arenoso
54	ANAM-03 5,5-6,5	281,41	350,40	611,80	264,20	124,00	Franco Arenoso
55	ANAM-04 0,5-1,5	29,00	113,20	142,19	373,81	484,00	Argila
56	ANAM-04 1,5-2,5	26,91	193,38	220,29	375,71	404,00	Argila
57	ANAM-04 2,5-3,5	12,95	346,97	359,91	342,09	298,00	Franco Argiloso
58	ANAM-04 3,5-4,0	8,18	318,89	327,07	381,93	291,00	Franco Argiloso
59	ANAM-04 4,0-4,5	2,00	493,47	495,47	284,53	220,00	Franco Argilo Arenoso
60	ANAM-04 4,5-5,0	2,45	601,97	604,41	250,09	145,50	Franco Arenoso
61	ANAM-04 5,0-6,0	4,86	638,77	643,63	232,37	124,00	Franco Arenoso

Observação: A Embrapa Amazônia Ocidental, na qualidade de prestadora dos serviços de análises, não se responsabiliza pela(s) coleta(s) da(s) amostra(s) ficando a(s) mesma(s) sob a responsabilidade do(s) cliente(s) / remetente(s).



 Maria do Rosário Lobato Rodrigues
 LASP/Embrapa Amazônia Ocidental