

**AVALIAÇÃO TÉCNICA DE ÁREA PARA
IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO DA CIDADE
DE MANICORÉ (AM)**

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

Marco Antonio Oliveira
Superintendente Regional

André Luís M. Real dos Santos
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

José Luiz Marmos
Supervisor de Gestão Territorial

Equipe Técnica Responsável pelo Laudo
Geóloga Larissa Neves Lago
Sondador Gerson Tavares de Lima

1 ANTECEDENTES

Os resíduos sólidos coletados pela Prefeitura Municipal de Manicoré atualmente estão sendo depositados, a pelo menos 12 anos, na lixeira municipal localizada na Estrada Vicinal do Mirity/Inajá (Figuras 1 e 2). Essa lixeira se encontra a uma distância de aproximadamente 4 km do centro da cidade de Manicoré, e seja nos aspectos técnicos, legais ou operacionais, encontra-se numa situação inadequada. Nesse sentido, a atual administração municipal, levando em conta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/10 e Decreto Federal 7404/10), se conscientizou da necessidade da construção de um aterro sanitário, que atenda às normas técnicas e à legislação vigente, de modo a minimizar os riscos ambientais.

Em busca de uma solução que culmine com o encerramento definitivo das atividades da citada lixeira, os gestores de Manicoré selecionaram 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. Tal área está situada a aproximadamente 8 km do centro da cidade de Manicoré e seu acesso é feito por via terrestre (Figura 1).

Com vistas à elaboração de projeto e posterior implantação do aterro, a Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Manicoré - SEMMA solicitou apoio à CPRM – Serviço Geológico do Brasil para avaliar a aptidão técnica dessa área pré-selecionada em dar suporte a tal tipo de empreendimento no que diz respeito aos atributos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos. Com esse objetivo, o a geóloga Larissa Neves Lago, e o sondador Gerson Tavares de Lima foram destacados para a realização dos estudos, cujas atividades de campo (coleta de dados in situ) se desenvolveram no período de 21 a 28 de agosto de 2014.

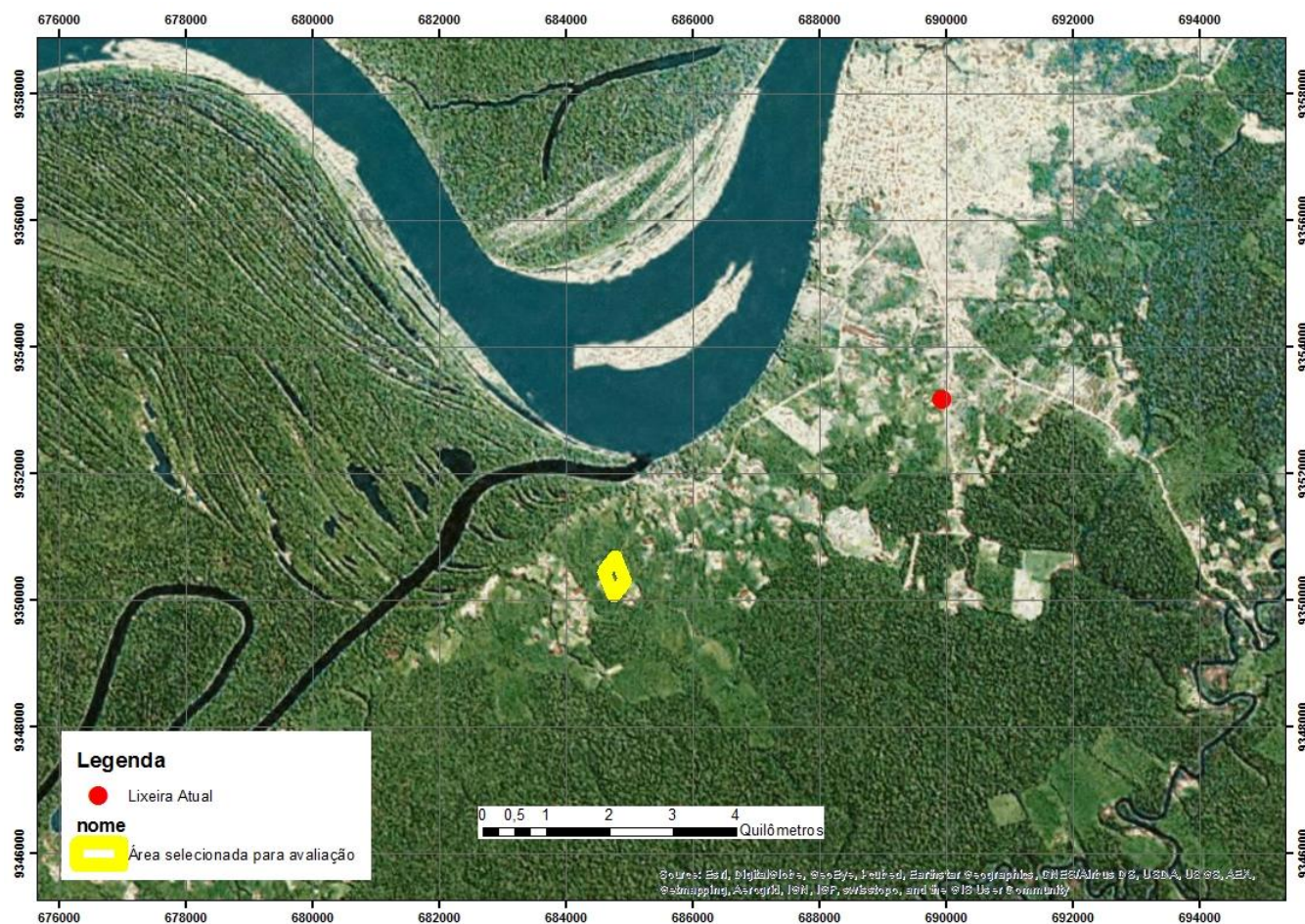


Figura 1: Imagem de satélite de alta resolução (Google Earth) da cidade de Manicoré com a localização da lixeira atual e com a localização da área selecionada para avaliação.



Figura 2: Fotos da lixeira atual da cidade de Manicoré, destacando o lixo a céu aberto.

2. CÁLCULO DA ÁREA NECESSÁRIA PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO

Para este cálculo, devido à falta de informações precisas sobre a quantidade de resíduos sólidos coletados diariamente na cidade de Manicoré, optou-se por utilizar o valor médio estimado para o Estado do Amazonas, obtido dos estudos de Andrade (1999), que é de 0,8 kg/habitante/dia. O parâmetro em questão é 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 Manicoré (20.349 habitantes, de acordo com o censo do IBGE 2010) e a taxa média de crescimento anual dessa população (calculada em 3,3% quando se comparam os dados dos últimos 10 anos – censos IBGE de 2000 e de 2010). Portanto, utilizando-se a informação contida no estudo de Andrade (1999), a quantidade média de resíduos sólidos produzidos atualmente na zona urbana de Manicoré (população de 23.170 habitantes em 2014) é de aproximadamente 18.536 kg por dia.

Assim, com base nos números disponíveis, adotados e informados, e mantendo-se a situação observada, é possível estimar em **132.882** toneladas a quantidade total de resíduos sólidos que seria coletada em Manicoré ao longo dos próximos 15 anos (Tabela 1).

Ano	População Estimada*	Total de lixo por dia**	Total de lixo por ano**
2015	23.935	19,15	6.989
2016	24.724	19,78	7.219
2017	25.540	20,43	7.458
2018	26.383	21,11	7.704
2019	27.254	21,80	7.958
2020	28.153	22,52	8.221
2021	29.082	23,27	8.492
2022	30.042	24,03	8.772
2023	31.033	24,83	9.062
2024	32.057	25,65	9.361
2025	33.115	26,49	9.670
2026	34.208	27,37	9.989
2027	35.337	28,27	10.318
2028	36.503	29,20	10.659
2029	37.708	30,17	11.011
Total de lixo recolhido em 15 anos			132.882

*Zona urbana de Manicoré; **em toneladas

Tabela 1 – Estimativa do total de resíduos sólidos coletados pelo serviço público de limpeza, na cidade de Manicoré, ao longo dos próximos 15 anos.

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:

$$132.882 \text{ ton} / 0,75 \text{ ton/m}^3 = 177.176 \text{ m}^3$$

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:

$$177.176 \text{ m}^3 / 2 = 88.588 \text{ m}^3$$

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

$$177.176 \text{ m}^3 + 88.588 \text{ m}^3 = 265.764 \text{ m}^3$$

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 expresso no quadro abaixo:

Prof. das valas (m)	Área necessária (m^2)	Área necessária (ha)
1,0	265.764	26,6
2,0	132.882	13,3
3,0	88.588	8,9
4,0	66.441	6,6

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 Manicoré, tomando como exemplo um aterro com valas de 3,0 metros de profundidade média, plenamente factível no local avaliado conforme se verá adiante, para uma vida útil de 15 anos o terreno deverá apresentar aproximadamente a seguinte área:

$$8,9 \text{ ha} + 8,9 \times 0,2 = \mathbf{10,7 \text{ hectares}}$$

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 Manicoré, conforme planejado pelos atuais gestores municipais, 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 a instalação e operação do aterro. 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

A área indicada para avaliação técnica, pertencente ao município de Manicoré, tem 12 hectares e situa-se em terra-firme, cerca de 2 km ao sul da foz do rio Manicoré no rio Madeira. Está localizada a aproximadamente 8 km do centro urbano, sendo limitada a noroeste pelo ramal do igarapé Grande-Central, que é a sua principal via de acesso (Figura 3).

Trata-se de um terreno plano, com cota altimétrica em torno de 45 – 55 metros, assentado, segundo o mapa geológico da região, sobre depósitos arenosos marginais derivados de sedimentação lacustre da Formação Içá. Na área foi observado, durante as sondagens, que o horizonte superior do solo (até 3-4 metros de profundidade) é argilo-arenoso a argilo-siltoso e, abaixo desta profundidade, é predominantemente argiloso com presença de seixos de laterita. A cobertura vegetal no local é representada principalmente por mata secundária (“capoeira”).

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, por meio de trilhas e picadas abertas nas áreas de mata secundária. Esse reconhecimento permitiu que se observasse melhor a topografia local, além da constatação de que não há nenhum curso d’água a menos de 200m dos limites da área.

Essas informações foram plotadas no mapa-base, com auxílio de aparelho GPS, e serviram para orientar a locação das sondagens na área indicada, ou seja, como não há cursos d’água nas proximidades, nenhuma porção da área integral de 12 ha foi descartada para avaliação (Figura 4).

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).

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 a argilo-arenoso, o que dificulta a infiltração dos contaminantes, e o nível freático 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 a época de maior precipitação pluviométrica na região.

É importante destacar que, de acordo com o documento PCA 3-2/2011 – Plano Básico de Gerenciamento do Risco Aviário - PBGRA, publicado pelo Comando da

Aeronáutica, não está autorizada a implantação de aterros sanitários em um raio de 9 km a partir do centro geométrico da pista de pouso de aeroportos e aeródromos. Inclusive, neste documento, Manicoré está citado como um município onde a área destinada ao futuro aterro sanitário não está de acordo com a norma, pois o aeródromo municipal está localizado a uma distância de 8,7 km de tal área, que é exatamente a mesma avaliada neste estudo.

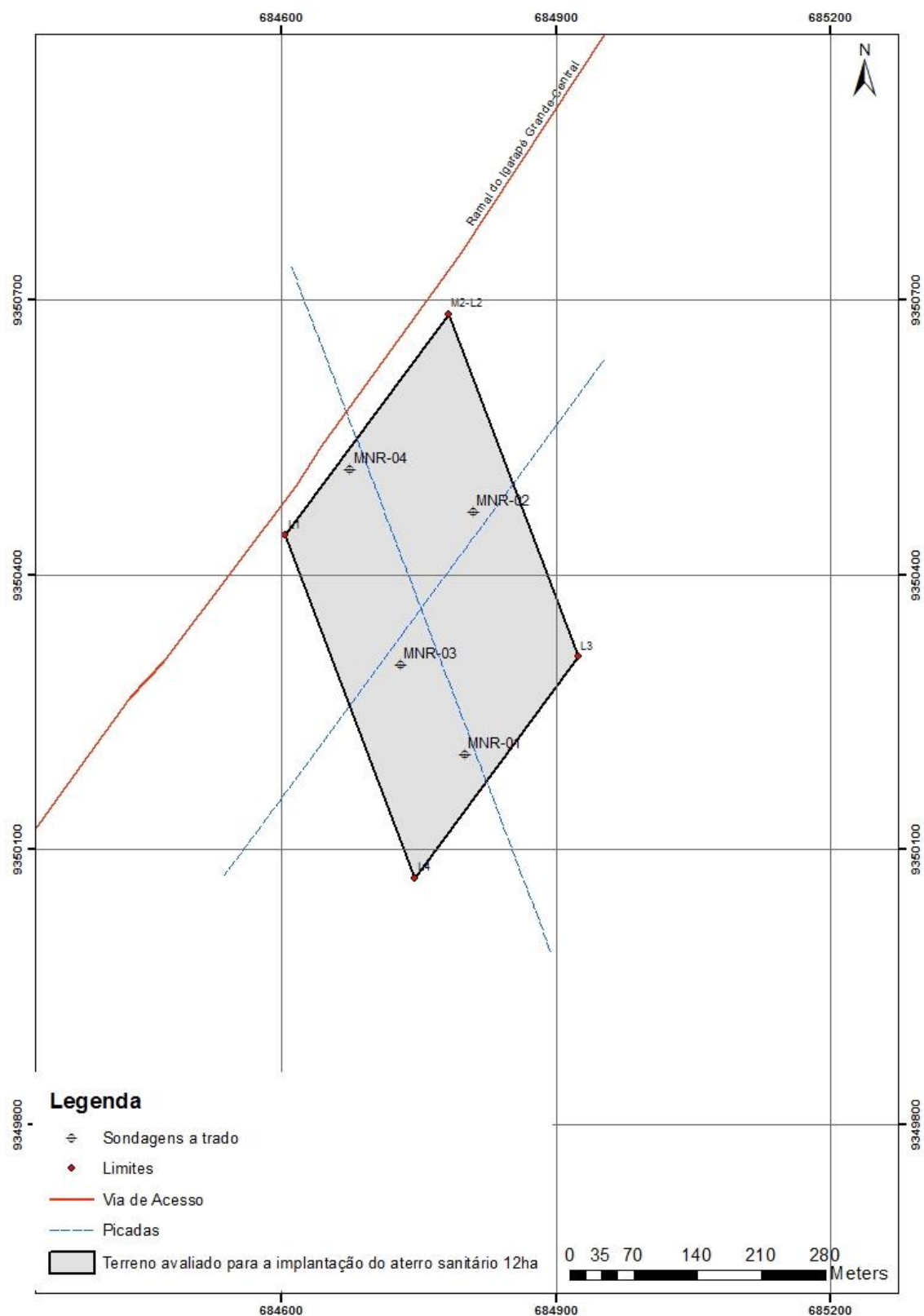


Figura 3: Mapa de detalhe da região de estudo com a situação da área selecionada (12 ha) para avaliação técnica com a localização dos furos de trado realizados.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Foram feitas quatro perfurações a trado na área de 12 ha, cujas profundidades variaram de 7,5 a 8,0 metros (Figura 3 e Tabela 2), sendo que em todas as sondagens foi atingido o nível das águas subterrâneas (NA).

O desenvolvimento das perfurações foi acompanhado pela geóloga responsável, com descrição detalhada do perfil de solo atravessado e seleção de diversas amostras para ensaios físicos (análises 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.

Furo	Coorden. Geográficas UTM (Zona 21S)	Cota Aproxim. (m)	Profund. Final (m)	Nível Freático (m)	Cobertura Vegetal
MNR-01	684801 W 9350203 N	45	7,5	7,0	Mata Secundária
MNR-02	684802 W 9350490 N	46	7,5	7,3	Mata Secundária
MNR-03	684731 W 9350302 N	46	7,5	7,3	Mata Secundária
MNR-04	684676 W 9350515 N	50	8,0	7,75	Mata Secundária

Tabela 2: Características das sondagens a trado executadas na área selecionada.

As observações “ao pé das sondagens” e os resultados dos ensaios promovidos pela Embrapa definiram os seguintes perfis de solo/subsolo:

FURO MNR-01 (Figura 4):

- 0,00 a 0,50m: solo orgânico argiloso de cor marrom;
- 0,50 a 1,50m: solo argilo arenoso (cerca de 70% de argila e 20% de areia) marrom clara;
- 1,50 a 4,00m: solo argilo siltoso (aproximadamente 70% de argila e 20% de silte) marrom-clara, cinza e vermelha;
- 4,00 a 6,00m: silte pouco arenoso (cerca de 70% de silte e 20% de areia) de cores cinza e vermelha, com seixos de laterita;
- 6,00 a 7,50m: silte arenoso (50% de silte e 40% de areia) de cores cinza e vermelha.

* O nível d'água foi encontrado a 7,3 metros de profundidade.

FURO MNR-02 (Figura 5):

- 0,00 a 0,50m: solo orgânico argiloso de cor marrom;
- 0,50 a 2,50m: solo argilo arenoso marrom-clara;
- 2,50 a 3,00m: solo argiloso cinza e marrom;
- 3,00 a 6,50m: argila pouco arenosa (aproximadamente 70% de argila e 15% de areia) cinza e vermelha, com seixos de laterita;
- 6,50 a 7,50m: argila arenosa cinza e amarela.

* O nível d'água foi encontrado a 7,3 metros de profundidade.

FURO MNR -03 (Figura 6):

- 0,00 a 0,50m: solo orgânico argiloso de cor marrom;
- 0,50 a 2,00m: solo argilo arenoso (cerca de 70% de argila e 20% de areia) marrom-clara;
- 2,00 a 4,00m: solo argilo arenoso cinza amarelada e vermelha;
- 4,00 a 6,00m: argila arenosa (60% de argila e 20% de areia) cinza e vermelha, com seixos de laterita;
- 6,00 a 7,50m: argila muito arenosa (50% de argila e 40% de areia) cinza e vermelha.

* O nível d'água foi encontrado a 7,0 metros de profundidade.

FURO MNR -04 (Figura 7):

- 0,00 a 0,50m: solo orgânico argiloso de cor marrom;
- 0,50 a 2,50m: solo argilo siltoso marrom-clara;
- 2,50 a 4,00m: solo argilo siltoso cinza-amarelada e vermelha;
- 4,00 a 6,00m: argila arenosa (55% de argila e 25% de areia) cinza e vermelha, com seixos de laterita;
- 6,00 a 8,00m: areia muito pouco argilosa (90% de areia e 7% de argila) vermelha e amarela;

* O nível d'água foi encontrado a 7,75 metros de profundidade.



Figura 4: Aspectos da perfuração e do material atravessado em dois intervalos do furo MNR-01.



Figura 5: Aspectos da perfuração e do material atravessado em dois intervalos do furo MNR-02.



Figura 6: Aspectos da perfuração e do material atravessado pelo furo MNR-03.



Figura 7: Aspectos da perfuração e do material atravessado pelo furo MNR-04.

Assim, pelas descrições acima, e conforme observado nas Figuras 8, se comprova que a área avaliada apresenta até os 3 a 4m de profundidade um perfil de solo argilo-arenoso a argilo-siltoso (conteúdo de argila de aproximadamente 70% e o de areia ou silte de 20%), adequado para dar suporte a um aterro sanitário. Imediatamente abaixo desse horizonte superior, até 6,0 – 6,5m de profundidade, o material apresenta caráter argilo-arenoso (60 – 70% de argila e 15 – 25% de areia) a silte-arenoso (70% de silte e 20% de areia) com presença de seixos de laterita, seguido por uma camada onde predomina a textura de argila muito arenosa com gradação lateral para silte muito arenoso e areia. Outra constatação importante das sondagens é que o nível das águas subterrâneas (NA) é relativamente profundo na área, tendo sido detectado a uma profundidade sempre abaixo de 7,0 metros.

A área avaliada de 12 hectares é delimitada pelos seguintes vértices (Figura 3):

Vértice	Latitude	Longitude
L1	5°52'26,58"S	61°19'57,16"W
L2	5°52'18,71"S	61°19'51,39"W
L3	5°52'30,87"S	61°19'46,74"W
L4	5°52'38,75"S	61°19'52,51"W

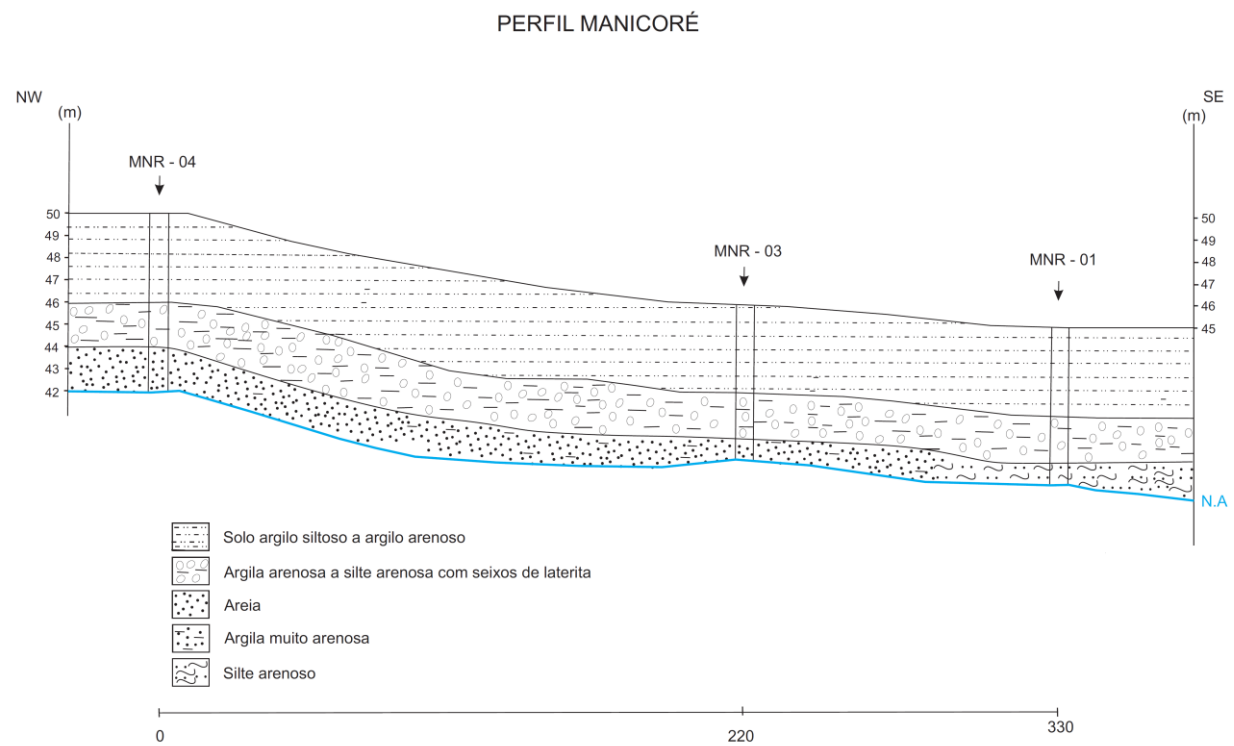


Figura 8: Perfil NW-SE do solo/subsolo na área avaliada para implantação do aterro sanitário Manicoré com base nos furos MNR-01, MNR-03 e MNR-04.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pelo exposto acima, e conforme apresentado nas figuras 3 e 8, os estudos realizados definiram que a área pré-selecionada pela SEMMA possui **boa aptidão técnica** para servir como local de implantação do aterro sanitário de Manicoré, que, se operar de maneira racional, deverá ter vida útil de mais de 15 anos.

Essa consideração decorre do fato de as investigações de campo e das perfurações executadas revelarem dois **fatores técnicos bastante positivos** no que diz respeito à aptidão dessa área em dar suporte ao aterro sanitário:

- o primeiro fator é a constatação de que o terreno apresenta o nível das águas subterrâneas (NA) abaixo de 7 metros de profundidade. Mesmo considerando que, no final do período chuvoso na região (maio-junho), o NA poderá estar até um metro mais elevado, ainda assim estará num nível totalmente compatível com a implantação de aterro sanitário no local;

- o segundo fator positivo, que pesa muito na avaliação técnica, é o caráter predominantemente argiloso do horizonte mais superficial do solo (3,0 a 4,0m de espessura) em toda a área investigada, o que significa um substrato de permeabilidade baixa que terá capacidade selante adequada na base do aterro, pois não favorece a infiltração e dispersão dos contaminantes aí gerados (chorume, metais pesados, etc).

Com relação à profundidade das valas do possível aterro instalado nesse local, toma-se como parâmetro a espessura do horizonte de solo mais argiloso e, assim, recomenda-se que essas valas tenham no máximo, a depender da porção do terreno que será utilizada, 4,0 metros de profundidade, o que manterá uma camada de baixa permeabilidade abaixo da base do aterro e uma distancia segura do nível d'água.

Contudo, como citado anteriormente, a distância da área selecionada até o aeroporto de Manicoré não obedece à recomendação contida no documento PCA 3-2/2011 do Comando da Aeronáutica. Por isso, antes de se elaborar o projeto básico de implantação do aterro sanitário no local indicado, os gestores municipais devem entrar em contato com o Comando da Aeronáutica para solucionar o problema em questão.

Mesmo com os aspectos positivos mencionados, enfatiza-se que, 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 coletados em Manicoré, 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 Manicoré deverá ser construído e operado conforme as normas de engenharia preconizadas para um aterro sanitário e não como uma lixeira.

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

**LAUDO 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: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Endereço: Manicoré

Data de Entrada: 08/09/2014

Data de Saída: 25/09/2014

Número do Prot.	Identificação das amostras	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	0.05-0.002 mm	>0.002 mm	
		(g/kg)					
2181	1,00-2,00 m-MNR-01	41,22	137,49	178,70	126,80	694,50	Muito Argiloso
2182	2,00-3,00 m-MNR-01	24,38	111,75	136,13	171,87	692,00	Muito Argiloso
2183	3,00-4,00 m-MNR-01	37,70	77,74	115,44	157,07	727,50	Muito Argiloso
2184	5,00-6,00 m-MNR-01	93,50	79,74	173,24	709,26	117,50	Franco Siltosa
2185	6,00-7,00 m-MNR-01	267,36	150,69	418,05	471,96	110,00	Franca
2186	3,00-4,00 m-MNR-02	24,51	115,36	139,87	129,13	731,00	Muito Argiloso
2187	4,00-5,00 m-MNR-02	86,87	96,16	183,03	113,47	703,50	Muito Argiloso
2188	5,00-6,00 m-MNR-02	101,60	104,86	206,46	498,04	295,50	Franco Argilosa
2189	1,00-2,00 m-MNR-03	35,71	154,05	189,76	123,24	687,00	Muito Argiloso
2190	4,00-5,00 m-MNR-03	93,21	123,66	216,87	205,63	577,50	Argila
2191	6,00-7,00 m-MNR-03	254,77	175,52	430,29	96,22	473,50	Argila
2192	4,00-5,00 m-MNR-04	71,93	202,52	274,45	158,55	567,00	Argila
2193	6,00-7,00 m-MNR-04	763,81	126,92	890,72	31,78	77,50	Areia

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).


Dra Maria do Rosário Lobato Rodrigues
Responsável - LASP

