



**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 José Luiz Marmos**  
**Sondador Valdemilton Gusmão**

## 1 ANTECEDENTES

Os resíduos sólidos coletados na zona urbana de Manacapuru vêm sendo depositados há mais de 20 anos, sem maiores cuidados ambientais, na lixeira municipal localizada no km 01 da rodovia estadual AM-352, a seis quilômetros do centro da cidade. O local é quase uma lixeira a céu-aberto, já que os resíduos são despejados ali e recebem apenas uma cobertura intermitente de material argiloso, o que facilita a proliferação de vetores de inúmeras doenças (**Figuras 1, 2 e 3**).

O terreno ocupado pela lixeira, com controle de acesso na entrada, tem superfície aproximada de oito hectares e é limitado ao norte/noroeste por uma drenagem afluyente do lago/rio Manacapuru (**Figura 3**). O recolhimento e disposição final do lixo nesse local estão sob a responsabilidade de uma empresa privada contratada pela Prefeitura (FJP – Limpeza Urbana e Serviços), sendo que a coleta é diária. Numa visita ao local, durante a realização deste estudo, foi observada a presença de chorume escorrendo em direção ao ramal que ladeia a lixeira e uma quantidade impressionante de urubus (**Figura 2**).

Portanto, seja nos aspectos técnicos, legais ou operacionais, a lixeira de Manacapuru encontra-se numa situação inadequada, causando transtornos ao meio ambiente em seu entorno, principalmente pelo alto risco de contaminação dos recursos hídricos. 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 e preservar a saúde da população vizinha.

Em busca de solução que culmine com o encerramento das atividades da lixeira atual, os gestores de Manacapuru 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 no ramal da comunidade Terra Prometida, que se inicia no km 09 da rodovia estadual AM-352 (Manacapuru – Novo Airão) (**Figura 1**).

Com vistas à elaboração de projeto e posterior implantação do aterro, a Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos - SEMOSP, por meio do Ofício 362/2017, solicitou apoio à 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 José Luiz Marmos 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 07 a 11 de maio de 2018.



**Figura 1:** Imagem de satélite de alta resolução da cidade de Manacapuru e entorno norte com a localização da lixeira atual e da área avaliada neste estudo.



**Figura 2:** Aspectos da atual lixeira municipal de Manacapuru, com destaque para a impressionante quantidade de urubus e, na última foto, o chorume acumulado na lateral do ramal de acesso à área.



**Figura 3:** Imagem de detalhe da zona urbana de Manacapuru e da localização da lixeira municipal, ladeada ao norte por uma drenagem afluyente do lago Manacapuru.

## 2. CÁLCULO DA ÁREA NECESSÁRIA PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO

Segundo planilhas dos anos de 2017 e 2018 fornecidas pela SEMOSP – Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos, a quantidade média coletada de resíduos sólidos na cidade de Manacapuru e depositada na atual lixeira pode ser calculada em  $212 \text{ m}^3/\text{dia}$ . Considerando a densidade média do lixo urbano solto como de  $230\text{kg}/\text{m}^3$  (<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/167/157>), pode-se estimar que são coletadas em torno de 49 toneladas diárias de resíduos sólidos na zona urbana de Manacapuru. 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 Manacapuru (60.174 habitantes, de acordo com o censo do IBGE 2010) e a taxa média de crescimento anual dessa população (calculada em 2,4% quando se comparam os dados dos últimos 10 anos – censos IBGE de 2000 e de 2010). Portanto, de acordo com a informação obtida *in loco*, a quantidade média de resíduos sólidos produzidos atualmente na zona urbana de Manacapuru (população estimada de 72.745 habitantes em 2018) pode ser calculada em cerca de  $0,674 \text{ kg}/\text{habitante}/\text{dia}$ , valor utilizado nas projeções a seguir.

Assim, com base nos números disponíveis, adotados e informados, e mantendo-se a situação observada, é possível estimar em **318.385** toneladas a quantidade total de resíduos sólidos que seria coletada em Manacapuru ao longo dos próximos 15 anos (Tabela 1).

Ano	População Estimada	Total de lixo por dia *	Total de lixo por ano *
2018	72.745	49,00	17.885
2019	74.490	50,17	18.314
2020	76.278	51,38	18.753
2021	78.109	52,61	19.204
2022	79.984	53,88	19.665
2023	81.904	55,17	20.137
2024	83.869	56,49	20.620
2025	85.882	57,85	21.115
2026	87.943	59,24	21.621
2027	90.054	60,66	22.140
2028	92.215	62,11	22.672
2029	94.428	63,60	23.216
2030	96.695	65,13	23.773
2031	99.015	66,69	24.344
2032	101.392	68,30	24.928
<b>Total de lixo recolhido em 15 anos</b>			<b>318.385</b>

em toneladas

Tabela 1 – Estimativa do total de resíduos sólidos a serem coletados na cidade de Manacapuru 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:

$$318.385 \text{ ton} / 0,75 \text{ ton/m}^3 = 424.514 \text{ m}^3$$

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:

$$424.514 \text{ m}^3 / 2 = 212.257 \text{ m}^3$$

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

$$424.514 \text{ m}^3 + 212.257 \text{ m}^3 = 636.771 \text{ m}^3$$

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 <sup>2</sup> )	Área necessária (ha)
1,0	636.771	63,7
2,0	318.385	31,8
3,0	212.257	21,2
4,0	159.193	15,9

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 Manacapuru, tomando como exemplo um aterro com valas de 2,0 metros de profundidade média, para uma vida útil de 15 anos o terreno deverá apresentar aproximadamente a seguinte área:

$$31,8 \text{ ha} + 31,8 \times 0,2 = \mathbf{38,2 \text{ ha}}$$

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 Manacapuru, 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 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**

A área selecionada para avaliação técnica, de propriedade reivindicada pelo Sr. Delmar Costa Souza, cuja moradia encontra-se a 400m do limite norte da mesma, fica localizada ao longo do ramal da comunidade Terra Prometida, o qual se inicia no km 09 da rodovia estadual pavimentada AM-352. Esse ramal, apesar da falta de pavimentação, tem boa trafegabilidade e permitiu o acesso ao local de estudo com facilidade. A área tem aproximadamente 59 hectares e situa-se a 12km em linha reta do centro urbano de Manacapuru, sendo que o percurso rodoviário para atingi-la perfaz 16km. A comunidade Terra Prometida, situada ao sul/sudoeste do local, é constituída por uma dezena de moradias distribuídas de maneira esparsa e irregular por uma superfície aproximada de 40 hectares, com a mais próxima a 150m da área (**Figuras 1, 4, 5 e 6**).

O local fica no divisor de águas do igarapé Miriti, a norte/nordeste, com o lago Manacapuru, ao sul. O primeiro, com mais de 20km de extensão, flui para sudeste e deságua no rio Solimões logo a jusante da zona urbana, sendo barrado por este rio por longo trecho de seu curso, o que propicia a formação de um lago linear que serve de área de lazer para a população local e visitantes (lago do Miriti). Já o lago Manacapuru representa o trecho final do rio homônimo, sendo a forma lacustre também originada pelo barramento que sofre do rio Solimões (**Figura 4**). A porção centro-norte da área é cortada pelo trecho superior de pequeno tributário do igarapé Miriti, o qual flui para norte-nordeste; fora da área, esse tributário apresenta uma ramificação que corre entre o limite norte do terreno e a moradia do Sr. Delmar até encontrar o braço principal da citada drenagem. Também fora da área, mas próximo ao seu limite sul, observa-se a cabeceira de um pequeno afluente do lago Manacapuru, que flui para sul/sudeste (**Figuras 4, 5 e 6**).

Trata-se de terreno com topografia plana, com altitude em torno de 65-70 metros, com suave caimento para norte-nordeste nas porções mais próximas ao curso do afluente do igarapé Miriti que o corta. Está assentado sobre solos derivados, de acordo com o mapa geológico da região, dos sedimentos predominantemente arenosos cretáceos da Formação Alter do Chão. A cobertura vegetal da área é representada por floresta nativa.

Como já mencionado, existe um curso d'água de pequeno porte no setor norte da área avaliada e um braço desta mesma drenagem nas vizinhanças do extremo nordeste (**Figuras 5 e 6**). 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 do ramal de acesso e de picadas abertas na área florestada, o que permitiu a identificação das drenagens citadas, não visíveis nas imagens de satélites devido suas reduzidas dimensões, e da topografia local.

Essas informações foram plotadas no mapa-base, com auxílio de aparelho GPS, e serviram para definir a área útil a ser sondada. Devido ao pequeno porte das drenagens presentes no interior e nos limites da área, com apenas 3 a 4m de largura, e às dificuldades de se encontrar na região de interesse um terreno com características topográficas ideais, optou-se pela criação de “buffers” (zonas de proteção) de 150m no entorno dessas drenagens, o que, como citado acima, deverá ser referendado pelo IPAAM.

Desse modo, foi descartada para avaliação a parte do terreno inserida no interior dessa zona de proteção (cerca de 35%) e, assim, os estudos de detalhe se concentraram numa área aproximada de 38 hectares, dominada por floresta nativa, conforme se observa nas **figuras 5 e 6**.

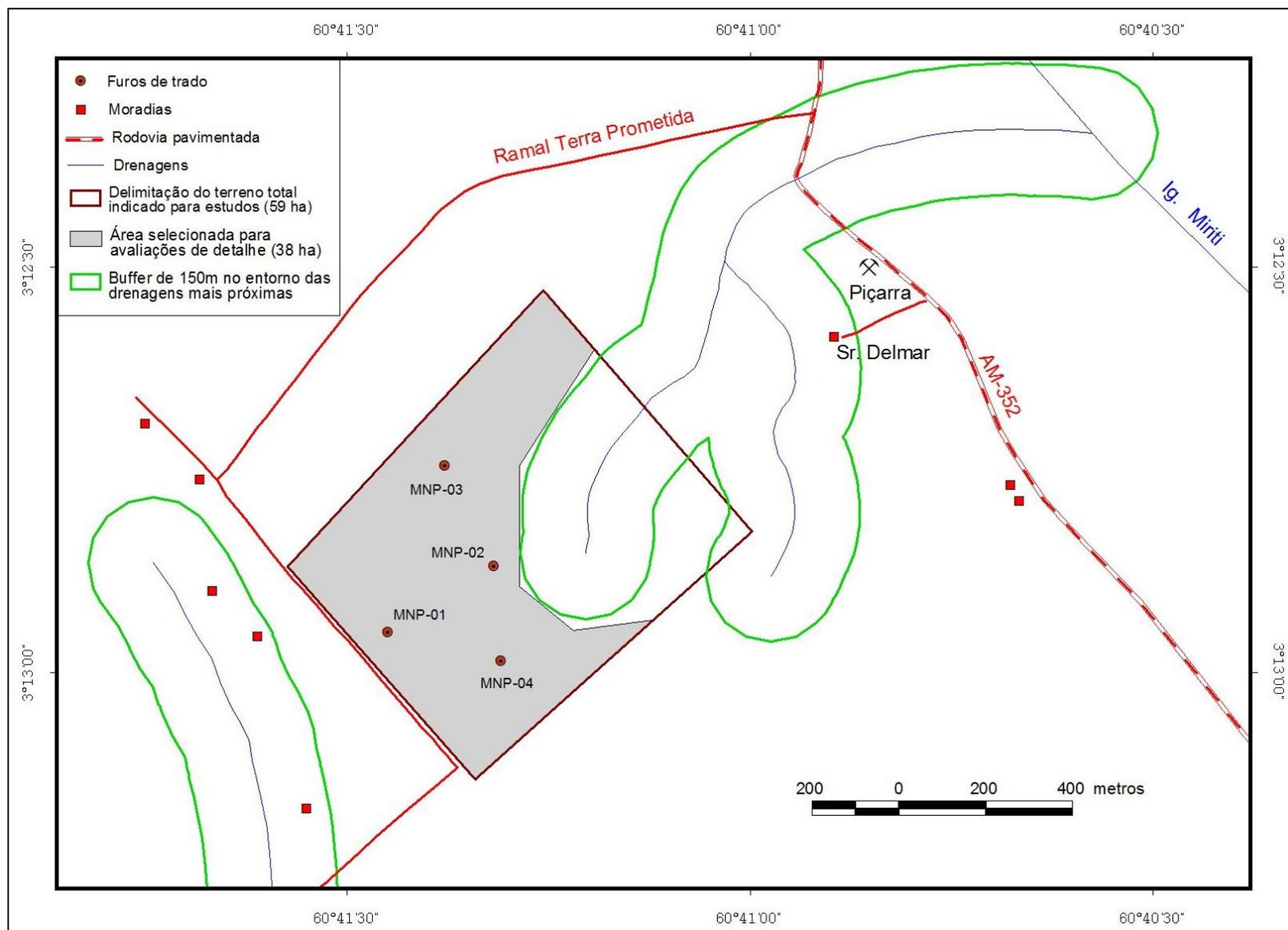
Na sequência, com vistas a atender à legislação pertinente (normas técnicas da ABNT) e à obtenção de subsídios para elaboração de um laudo técnico mais conciso, foi programada uma campanha de perfurações na área selecionada de 38 ha, com auxílio de trado manual. Neste caso, os principais objetivos das 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 o período de maior precipitação pluviométrica na região, justamente a época dos trabalhos de campo.



**Figura 4:** Situação da área avaliada em relação às drenagens mais próximas a ela.



**Figura 5:** Mapa de detalhe da região de estudo com a situação da área total indicada (59 ha) e da área selecionada para avaliações de detalhe (38 ha) com vistas à implantação do aterro sanitário de Manacapuru, com a localização dos furos de trado realizados e das drenagens existentes no interior e no entorno.



**Figura 6:** Imagem de satélite de alta resolução (Google Earth) com a situação da área total avaliada (em branco, 59 ha) e da área resultante do detalhamento (em transparência, 38 ha), com a localização dos furos de trado realizados e das drenagens. Os pontos V1 a V8 são os vértices da área de 38 ha, cujas coordenadas são informadas no próximo item.

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

Foram feitas quatro perfurações a trado na área selecionada de 38 ha, cujas profundidades variaram de 7,5 a 10,0m, sendo que nenhuma delas atingiu o nível das águas subterrâneas (NA) (**Figuras 5 e 6 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.

Furo	Coordenadas UTM (Zona 20S)	Cota Aprox. (m)	Profund. Final (m)	Cobertura Vegetal
MNP-01	9644261 N 756621 E	65	8,0	Floresta Nativa
MNP-02	9644410 N 756866 E	67	7,5	Floresta Nativa
MNP-03	9644638 N 756754 E	68	10,0	Floresta Nativa
MNP-04	9644195 N 756883 E	66	8,0	Floresta Nativa

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

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

**FURO MNP-01 (Figura 7):**

- 0,00 a 0,40m: solo orgânico argilo-arenoso, marrom-escuro, com raízes;
- 0,40 a 1,30m: solo alaranjado-escuro, argilo-arenoso (50% de argila, 40% de areia fina-grossa e 10% de silte), com muitos seixos milimétricos a centimétricos de laterita (“piçarra”);
- 1,30 a 1,70m: horizonte laterítico argiloso, avermelhado/roxo, rígido, quase impenetrável ao trado;
- 1,70 a 3,20m: solo alaranjado-escuro, argilo-arenoso (59-62% de argila, 27-29% de areia fina-grossa e 11-12% de silte), com muitos seixos milimétricos a centimétricos de laterita (“piçarra”);
- 3,20 a 4,50m: horizonte mosqueado, areno-argiloso (43-45% de areia fina-grossa, 42% de argila e 15% de silte), arroxeadado/avermelhado/amarelado/róseo, com seixos centimétricos de laterita. Abaixo de 4,10m o horizonte torna-se mais amarelado, mais arenoso e contém menos seixos;
- 4,50 a 5,70m: arenito médio-grosso, friável, amarelado-claro/creme/avermelhado, com esparsos grânulos e seixos de laterita;
- 5,70 a 8,00m: arenito fino-grosso, argiloso, avermelhado com manchas amareladas. Presença de alguns níveis centimétricos de argila arenosa avermelhada.

**FURO MNP-02 (Figura 8):**

- 0,00 a 0,40m: solo orgânico argilo-arenoso, marrom-escuro, com raízes;
- 0,40 a 1,60m: solo alaranjado-escuro a amarelado, argilo-arenoso (49% de argila, 38% de areia fina-grossa e 13% de silte), com muitos seixos milimétricos a centimétricos de laterita (“piçarra”);
- 1,60 a 1,95m: horizonte laterítico argiloso, avermelhado/roxo, rígido, quase impenetrável ao trado;
- 1,95 a 3,10m: solo argilo-arenoso (53-56% de argila, 32-37% de areia fina-grossa e 10-12% de silte), alaranjado/ocre, com muitos seixos milimétricos a centimétricos de laterita (“piçarra”);
- 3,10 a 4,30m: horizonte mosqueado, argilo-arenoso a areno-argiloso (41-50% de argila, 42-51% de areia fina-média-grossa e 7-8% de silte), amarelado/alaranjado/róseo/avermelhado, com esparsos grânulos e seixos milimétricos de laterita;
- 4,30 a 6,20m: arenito fino-médio, argiloso, friável, róseo com manchas amareladas. Abaixo de 5,30m a cor é mais avermelhada;
- 6,20 a 7,50m: arenito fino-grosso, pouco argiloso, friável, avermelhado-escuro.

### **FURO MNP-03 (Figura 9):**

- 0,00 a 0,20m: solo orgânico argiloso, marrom-escuro, com restos de raízes;
- 0,20 a 0,80m: solo argiloso, alaranjado-escuro, plástico, com pouca areia fina;
- 0,80 a 1,40m: solo argilo-arenoso, alaranjado-escuro, com muitos seixos milimétricos a centimétricos de laterita (“piçarra”);
- 1,40 a 1,60m: horizonte laterítico arroxeadado, rígido, quase impenetrável ao trado;
- 1,60 a 4,20m: solo argilo-arenoso (45-57% de argila, 34-47% de areia fina-média-grossa e 8-10% de silte), amarelado, com muitos seixos milimétricos a centimétricos de laterita (“piçarra”);
- 4,20 a 4,80m: horizonte mosqueado, argilo-arenoso (47-51% de argila, 42-45% de areia fina-grossa e 7-8% de silte), amarelado/alaranjado/róseo/avermelhado, com esparsos grânulos e seixos milimétricos de laterita;
- 4,80 a 6,30m: arenito fino-grosso, argiloso, friável, róseo com manchas e vênulas amareladas e roxas;
- 6,30 a 9,70m: arenito médio-grosso, pouco argiloso, friável, vermelho-escuro com manchas amareladas. Conforme se aprofunda, o material fica mais escuro, tendendo a roxo. Abaixo de 8,40m ocorrem algumas vênulas e manchas de caulim;
- 9,70 a 10,00m: arenito fino-médio, caulínico, friável, esbranquiçado a amarelado-claro.

### **FURO MNP-04 (Figura 10):**

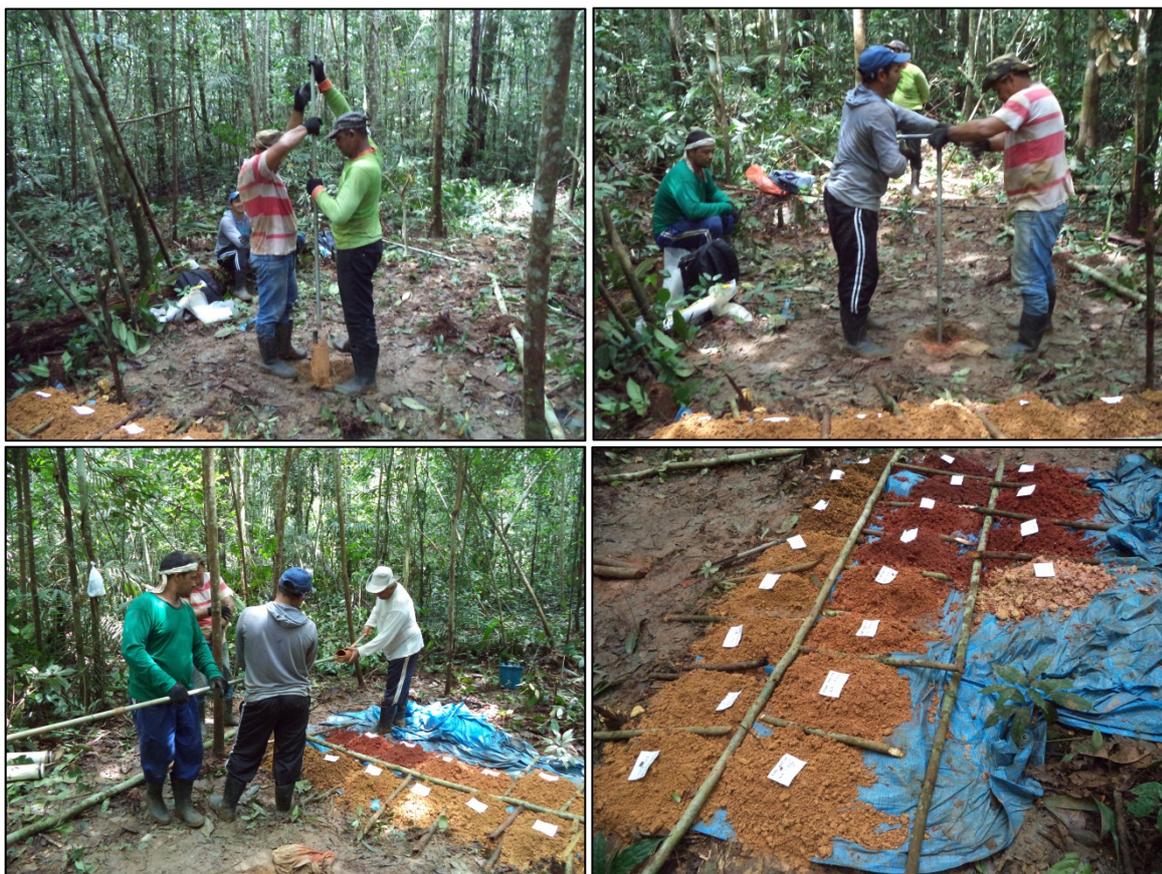
- 0,00 a 0,20m: solo orgânico argiloso, marrom-escuro, com restos de raízes;
- 0,20 a 1,80m: solo areno-argiloso (53% de areia fina-grossa, 41% de argila e 6% de silte), plástico, alaranjado/ocre, com esparsos seixos milimétricos de laterita abaixo de 1,30m;
- 1,80 a 3,80m: solo argilo-arenoso a areno-argiloso (43-51% de areia fina-grossa, 42-49% de argila e 7% de silte), solto, amarelado/alaranjado-claro, com esparsos nódulos milimétricos de laterita em formação (plintitas);
- 3,80 a 4,50m: horizonte mosqueado areno-argiloso (55% de areia fina-grossa, 38% de argila e 7% de silte), solto, róseo/amarelado-claro/roxo;
- 4,50 a 5,20m: arenito fino-grosso, argiloso, friável, róseo com vênulas amareladas, com esparsos nódulos de plintita;
- 5,20 a 6,40m: arenito fino-médio, friável, argiloso, avermelhado com manchas amarelas;
- 6,40 a 8,00m: arenito fino-médio, caulínico (64% de areia, 32% de argila e 4% de silte), friável, róseo-claro com manchas e vênulas esbranquiçadas.



**Figura 7:** Perfuração do furo MNP-01, fragmentos da camada laterítica encontrada entre 1,3m e 1,7m de profundidade e vista de todo solo/subsolo atravessado pela sondagem.



**Figura 8:** Aspectos da perfuração e dos solos atravessados em dois intervalos do furo MNP-02.



**Figura 9:** Aspectos da perfuração e de todo o perfil de solo/subsolo atravessado pelo furo MNP-03.



**Figura 10:** Aspectos da perfuração e dos solos atravessados em dois intervalos do furo MNP-04.

Assim, com relação à textura dos solos investigados, conforme se observa na descrição dos furos, no laudo de análises granulométricas (anexo) e na **Figura 12**, a área de 38 ha selecionada assenta-se sobre um perfil de solo/subsolo composto basicamente por três horizontes, do topo para a base:

- solo predominantemente argilo-arenoso (45-62% de argila e 27-47% de areia, com silte sempre < 12%), alaranjado-escuro a amarelado, com espessura de 3,1 a 4,2m, contendo muitos grânulos e seixos de laterita, conhecido como “piçarra”. Ao meio deste intervalo, com espessura variável de 20 a 40cm, ocorre uma camada laterítica, arroxeadada, rígida (“pedra-jacaré”), de difícil penetração. Esse primeiro horizonte de solo pode ser bem observado numa piçarreira desativada (local de extração de piçarra para revestimento de estradas vicinais) que está situada às margens da rodovia AM-352, próximo à moradia do Sr. Delmar (**Figuras 5, 6 e 11**). O perfil superior do furo MNP-04, até 3,80m, constitui uma pequena variação a esse quadro, já que nele se intercalam camadas argilo-arenosas e areno-argilosas (43-53% de areia, 42-49% de argila e 6-7% de silte), não se observa a camada laterítica e a quantidade de grânulos e seixos é reduzida (**Figura 12**);

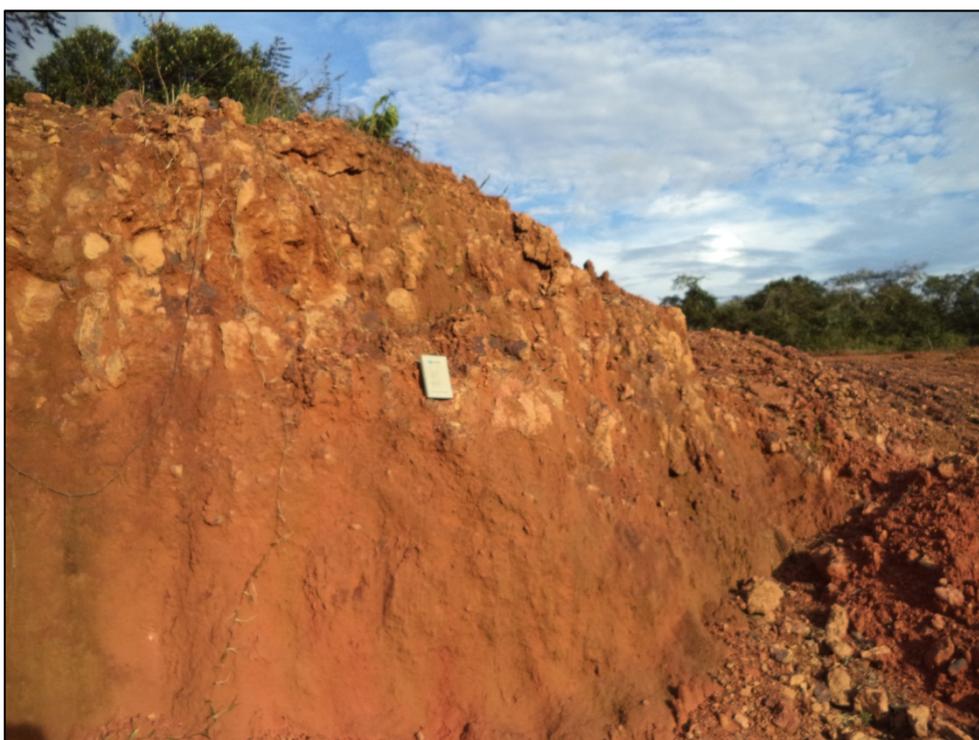
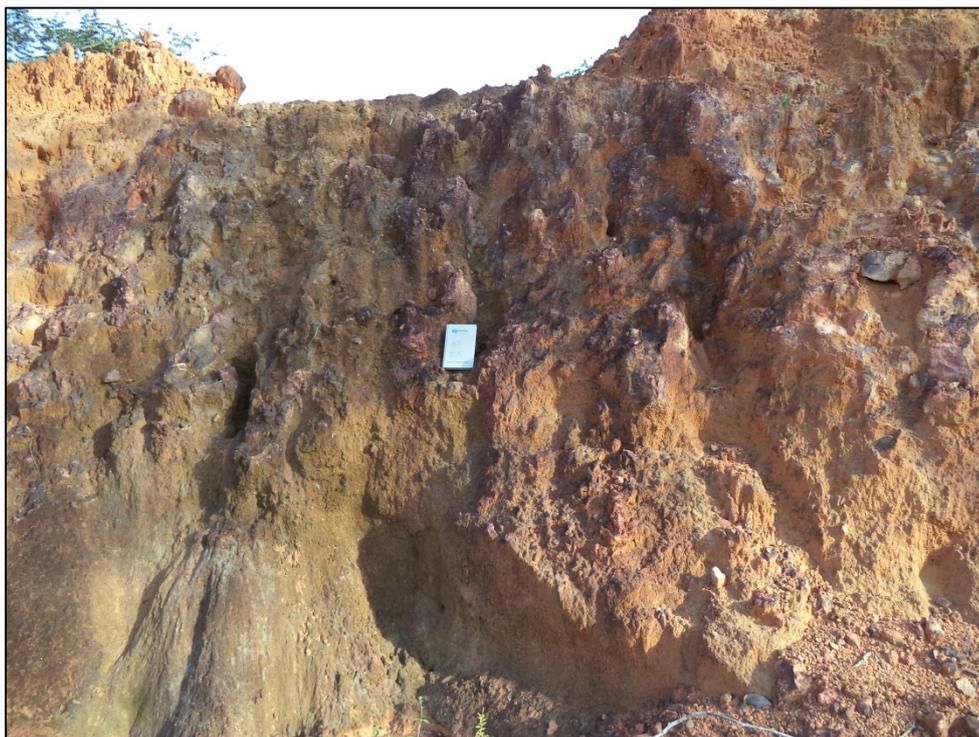
- horizonte de solo mosqueado (amarelado/róseo/avermelhado/arroxeadado), areno-argiloso a argilo-arenoso (42-55% de areia, 38-51% de argila e silte sempre < 15%), com esparsos grânulos e seixos de laterita, que se estende até 4,8m de profundidade e mostra passagem gradual para o horizonte inferior (**Figura 12**);

- arenito fino-médio-grosso, argiloso, friável, correspondente à rocha muito alterada (“saproilito”), com colorações variando de creme a avermelhada e que se estende até o final dos intervalos perfurados (**Figura 12**).

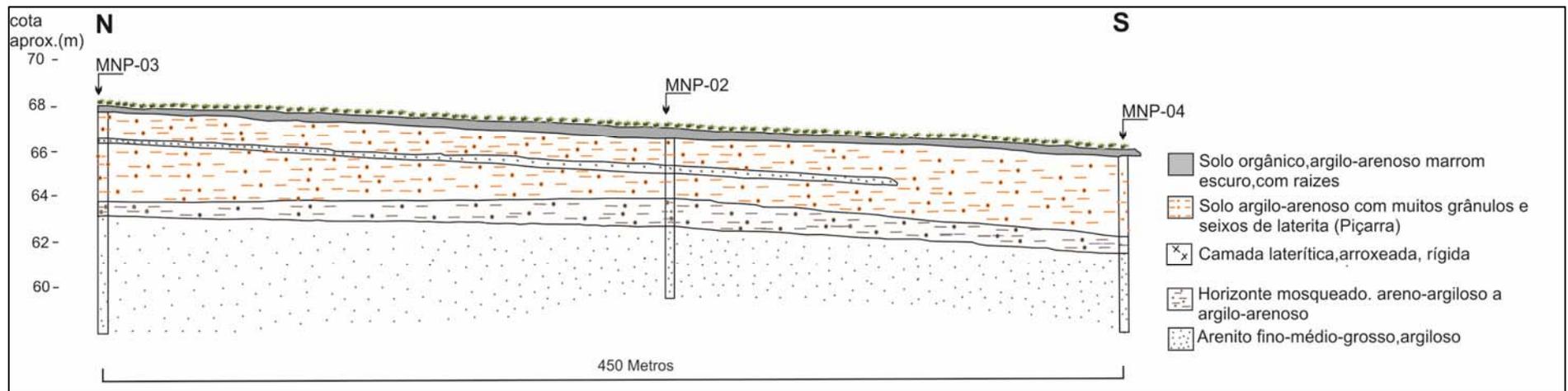
Como já mencionado, o NA do terreno, cuja profundidade é muito importante na avaliação em questão, não foi encontrado em nenhuma das perfurações. Porém, pode-se estimar que o mesmo, com base na diferença de cota entre o fundo do vale do igarapé existente no interior da área avaliada e os locais dos furos executados, medida no aparelho GPS, está em torno de 12 a 15m de profundidade.

A área avaliada em detalhe em Manacapuru, com 38 hectares de superfície, é delimitada pelos seguintes vértices (**Figura 6**):

<b>Vértice</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
V1	-3.208817°	-60.687618°
V2	-3.210021°	-60.686554°
V3	-3.212420°	-60.688100°
V4	-3.214910°	-60.688100°
V5	-3.215810°	-60.687000°
V6	-3.215597°	-60.685341°
V7	-3.218854°	-60.689025°
V8	-3.214493°	-60.692889°



**Figura 11:** Barrancos expostos em piçarreira desativada às margens da rodovia AM-352, cerca de 500m a leste da área avaliada, onde se pode observar em detalhe o perfil do primeiro horizonte de solo (“piçarra”) atravessado pelas perfurações a trado, com espessura de 3 a 4m.



**Figura 12:** Perfil N-S do solo/subsolo na área avaliada para implantação do aterro sanitário de Manacapuru com base nos furos MNP-02, 03 e 04.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pelo exposto nos itens anteriores, e conforme apresentado nas figuras 5, 6 e 12, os estudos realizados definiram uma área com 38 hectares que possui **aptidão técnica regular a boa** para servir como local de implantação do aterro sanitário de Manacapuru, que, se operar de maneira correta, deverá ter vida útil de mais de 15 anos.

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

- o primeiro fator é a textura argilo-arenosa do horizonte mais superficial do solo, com predomínio da fração granulométrica mais fina (argila + silte) sobre a fração arenosa em quase toda a área investigada. Esse horizonte, com 3,0 a 4,0m de espessura, deverá constituir um substrato pouco permeável que funcionará como selante ou filtro da base do aterro, dificultando a infiltração e dispersão dos contaminantes aí gerados (chorume, metais pesados, etc);

- o segundo fator positivo é o fato de o terreno apresentar o nível das águas subterrâneas (NA) profundo, abaixo de 12 metros. Mesmo considerando que, no final do período chuvoso na região (junho), o NA poderá estar até um a dois metros mais elevado, ainda assim estará num nível totalmente compatível com a implantação de aterro sanitário no local, pois sempre haverá uma camada de solo insaturado de pelo menos 1,5m de espessura entre a base do aterro e o NA conforme recomendado pelas normas técnicas;

- o fator negativo é a grande quantidade de grânulos e seixos (“piçarra”) existente nesse horizonte mais superficial do solo, o que certamente contribui para o aumento da permeabilidade do mesmo, característica que poderá facilitar a infiltração dos contaminantes até os níveis inferiores do solo e ao lençol freático local.

Portanto, levando-se em conta as sérias dificuldades naturais e fundiárias que os gestores de Manacapuru 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 Manacapuru 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 superior do solo na área, recomenda-se que as valas do aterro tenham no máximo 2,5m 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<sup>a</sup>. 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: CPRM  
Endereço: Manacapuru

Data de Entrada: 16/05/2018  
Data de Saída: 24/05/2018

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)					
431	MNP - 01 0,5 - 1,0	285,52	119,80	405,32	93,69	501,00	argila
432	MNP - 01 2,0 - 2,5	200,23	70,10	270,33	113,17	616,50	muito argiloso
433	MNP - 01 2,5 - 3,0	217,87	71,15	289,02	124,98	586,00	argila
434	MNP - 01 3,5 - 4,0	315,01	114,69	429,70	153,30	417,00	argila
435	MNP - 01 4,0 - 4,5	378,17	63,34	441,51	139,49	419,00	argila
436	MNP - 02 1,0 - 1,5	284,98	98,62	383,60	128,90	487,50	argila
437	MNP - 02 2,0 - 2,5	246,68	75,63	322,31	121,19	556,50	argila
438	MNP - 02 2,5 - 3,0	301,28	72,82	374,10	95,40	530,50	argila
439	MNP - 02 3,0 - 3,5	459,13	53,59	512,72	74,28	413,00	argila arenosa
440	MNP - 02 3,5 - 4,0	349,56	72,80	422,35	75,15	502,50	argila
441	MNP - 02 4,0 - 4,5	380,88	80,62	461,50	65,00	473,50	argila

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: CPRM  
Endereço: Manacapuru

Data de Entrada: 16/05/2018  
Data de Saída: 25/05/2018

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	
442	MNP - 03 1,5 - 2,0	255,35	85,85	341,21	91,29	567,50	argila
443	MNP - 03 2,0 - 3,0	288,68	62,71	351,38	104,12	544,50	argila
444	MNP - 03 3,0 - 3,5	412,28	54,78	467,06	80,44	452,50	argila arenosa
445	MNP - 03 3,5 - 4,0	364,01	71,18	435,19	85,31	479,50	argila
446	MNP - 03 4,0 - 4,5	361,17	84,21	445,38	83,62	471,00	argila
447	MNP - 03 4,5 - 5,0	325,51	91,59	417,10	73,40	509,50	argila
448	MNP - 04 0,5 - 1,5	361,09	167,08	528,17	56,83	415,00	argila arenosa
449	MNP - 04 2,0 - 3,0	338,74	95,67	434,40	75,60	490,00	argila
450	MNP - 04 3,5 - 3,5	414,12	91,23	505,35	69,65	425,00	argila arenosa
451	MNP - 04 4,0 - 4,5	439,51	111,57	551,08	66,43	382,50	argila arenosa
452	MNP - 04 6,5 - 7,5	369,97	273,97	643,93	37,57	318,50	franco argilo 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