



Secretaria de Geologia,  
Mineração e Transformação Mineral

Ministério de  
Minas e Energia

**Dezembro/2018**

**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 Santa Isabel do Rio Negro está localizado no Amazonas, na Mesorregião do Norte Amazonas e Microrregião do Rio Negro (**Figura 1**). Sua área total é de 62.846,237 km<sup>2</sup> e sua população estimada em 2016 era de 23.092 habitantes (IBGE, 2016). Suas regiões limítrofes fazem divisa com os municípios de São Gabriel da Cachoeira, Barcelos, Marañ e Japurá.

O centro urbano do município localiza-se sobre a Formação Içá, sedimentada durante o quaternário, e que domina boa parte do estado do Amazonas. Esse tipo de terreno caracteriza-se por ter extensas planícies, sem uma diferença de cota muito grande em toda sua extensão. Outras regiões do município contêm formações geológicas distintas, com diferenças de cotas acentuadas, como atesta o Pico da Neblina, na divisa com São Gabriel da Cachoeira, com 2.994 metros.

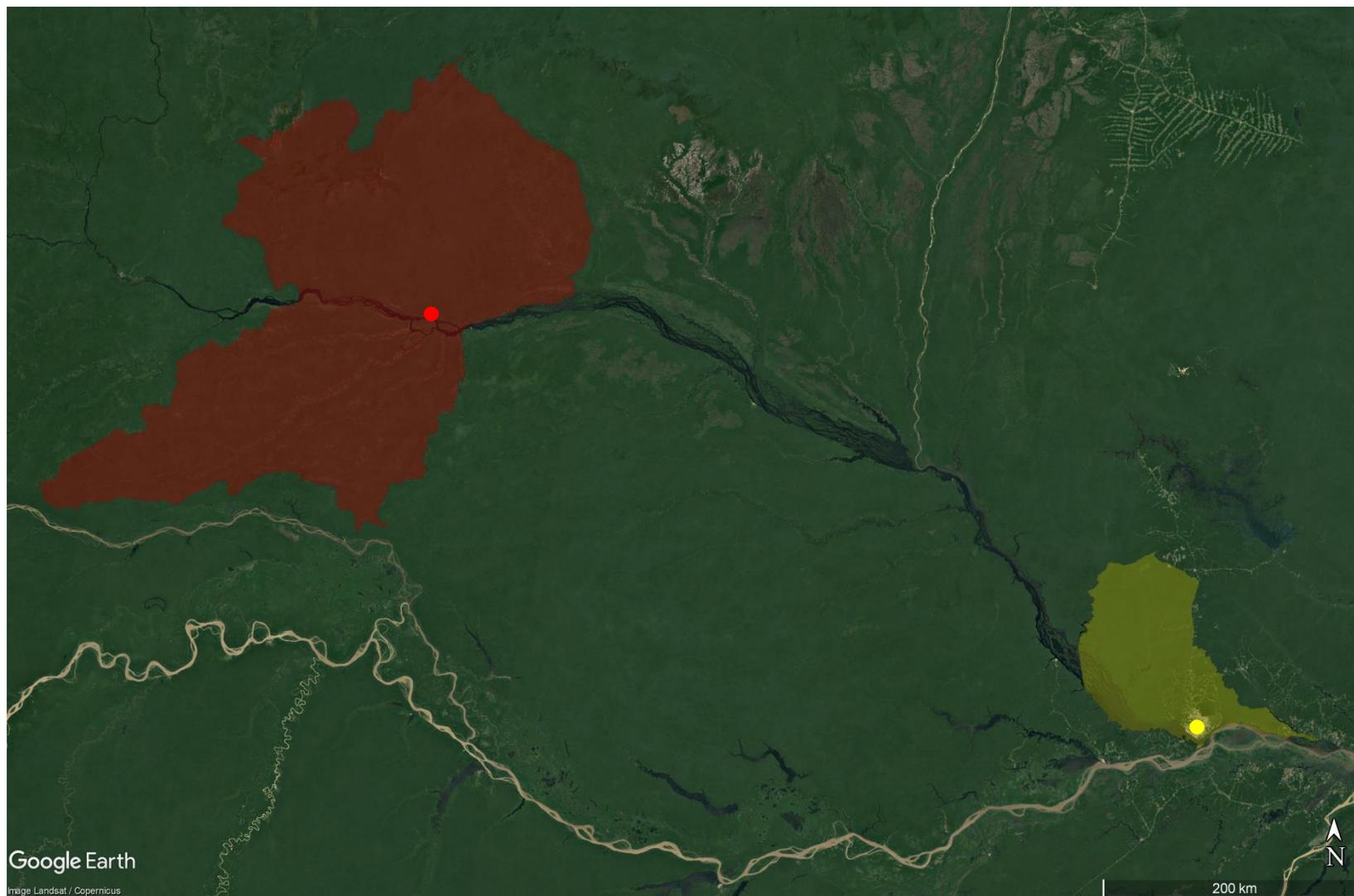
O clima da região é equatorial úmido, com temperaturas médias anuais de 28°C. A temperatura máxima média é de 32°C e a mínima média é de 22°C. O índice pluviométrico anual é de aproximadamente 2.500 milímetros, concentrados em sua maioria nos meses mais chuvosos, que vão de março a julho. Setembro é 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

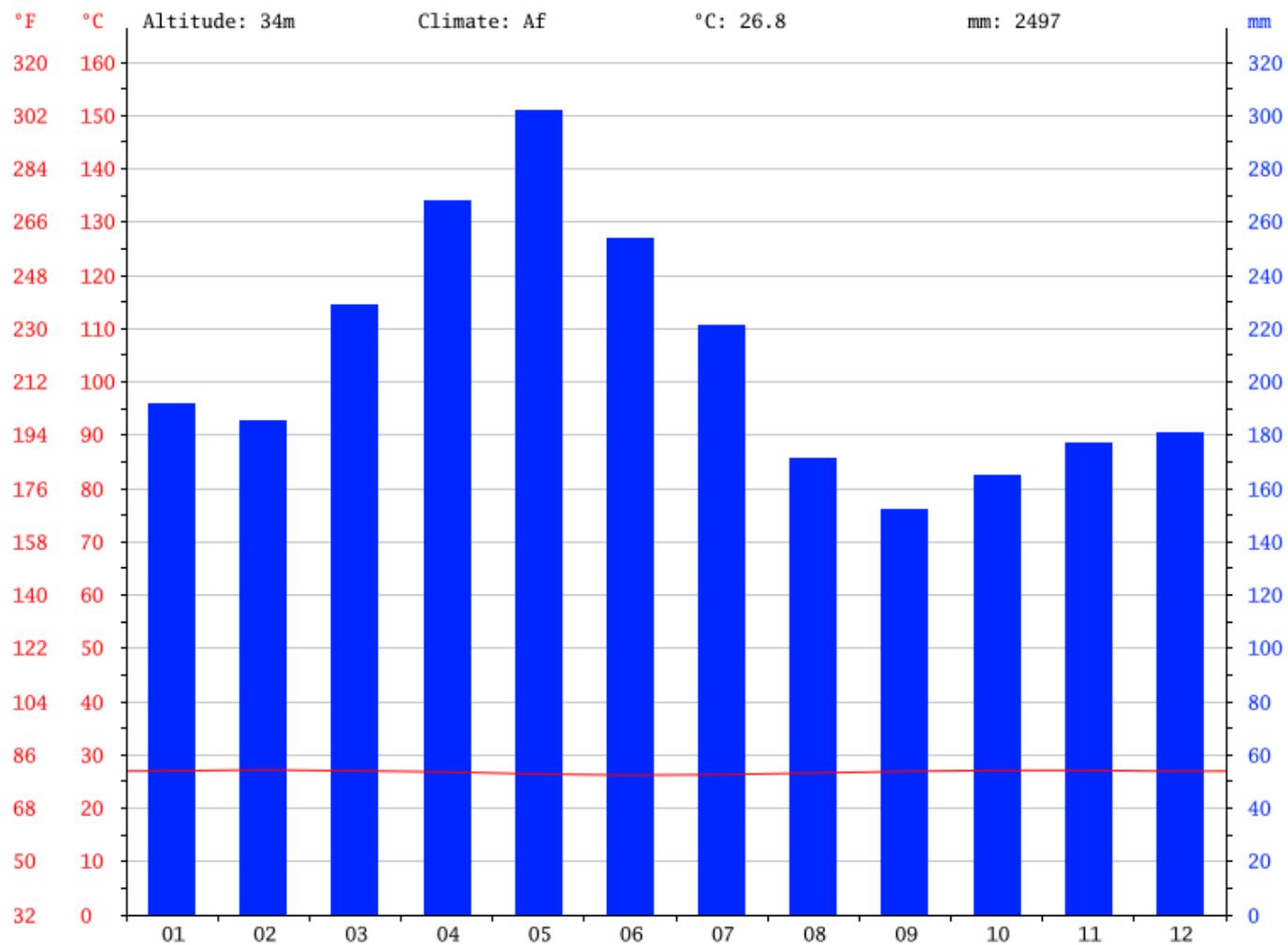
Paludosa Ribeirinha Periodicamente Inundada (mata de várzea), e Floresta Perenifólia Paludosa Ribeirinha Permanentemente Inundada (mata de Igapó).

Em busca de solução que culmine com o encerramento das atividades da lixeira atual, os gestores de Santa Isabel do Rio Negro 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, em uma estrada que liga a cidade a casas e uma área de extração de laterita no interior afastadas do Rio Negro, entre dois igarapés e ao lado de uma casa de farinha (**Figura 3**).

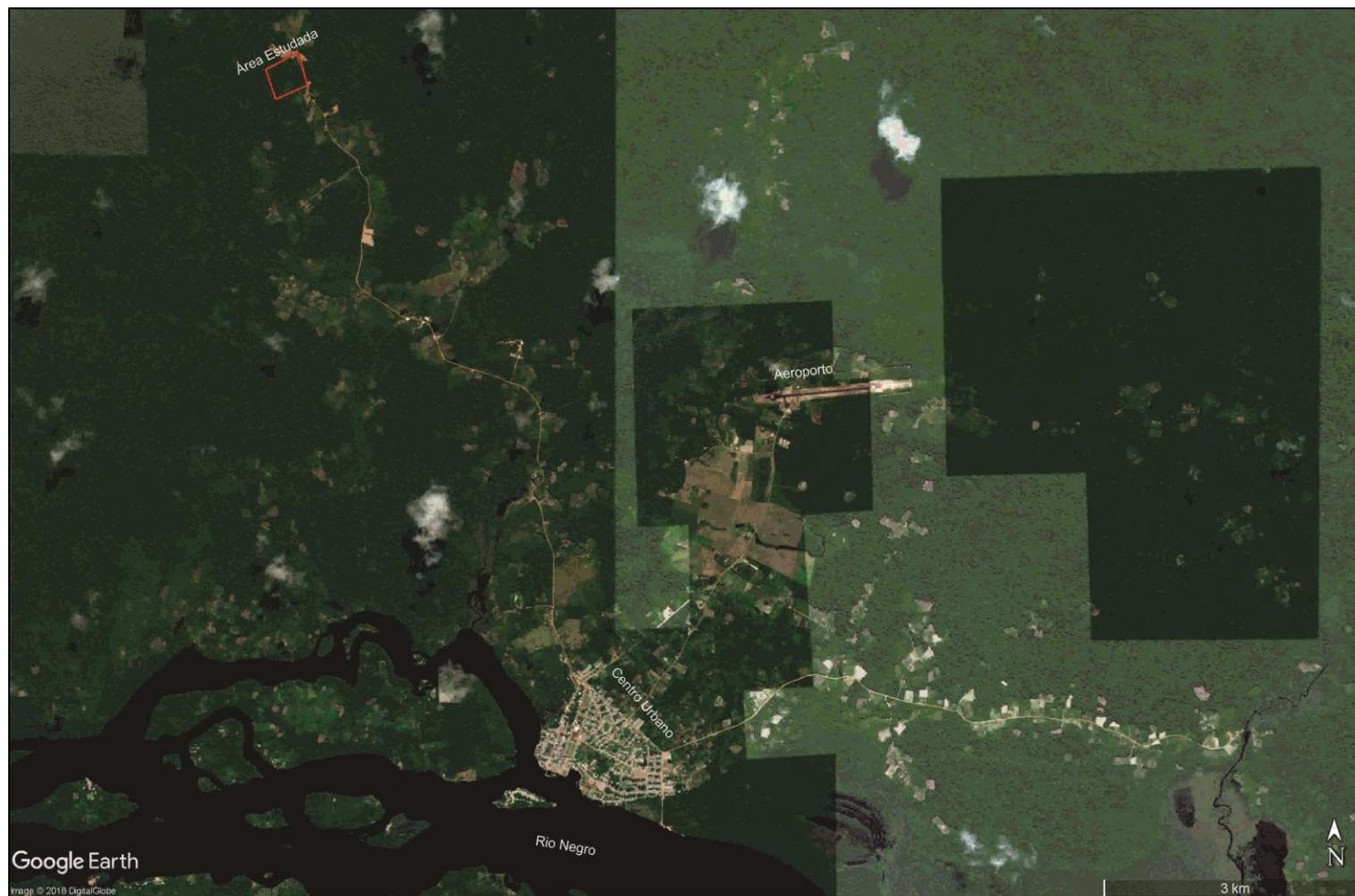
Com vistas à elaboração de projeto e posterior implantação do aterro, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente, vinculada à Prefeitura de Santa Isabel do Rio Negro, por meio do Ofício 052 de 26/06/2018, solicitou apoio à CPRM para avaliar a aptidão técnica da área selecionada em dar suporte a tal tipo de empreendimento no que diz respeito aos atributos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos. Com esse objetivo, o geólogo 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 20 a 25 de agosto de 2018.



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



**Figura 2:** Climograma de Santa Isabel do Rio Negro segundo o site Climate-Data.org.



**Figura 3:** Imagem de satélite de alta resolução da cidade de Santa Isabel do Rio Negro e entorno norte com a localização da área avaliada neste estudo (retângulo vermelho).

## **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 Santa Isabel do Rio Negro e depositada na atual lixeira pode ser calculada em 35,22 m<sup>3</sup>/dia. Considerando a densidade média do lixo urbano solto como de 230kg/m<sup>3</sup> (<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/167/157>), pode-se estimar que são coletadas em torno de 8,1 toneladas diárias de resíduos sólidos na zona urbana de Santa Isabel do Rio Negro. 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 Santa Isabel do Rio Negro (6.856 habitantes, de acordo com o censo do IBGE 2010) e a taxa média de crescimento anual dessa população (calculada em 5% 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 Santa Isabel do Rio Negro (população estimada de 10.130 habitantes em 2018) pode ser calculada em cerca de 0,8 kg/habitante/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 **63.829** toneladas a quantidade total de resíduos sólidos que seria coletada em Santa Isabel do Rio Negro ao longo dos próximos 15 anos (Tabela 1).

| <b>Ano</b>                                | <b>População Estimada</b> | <b>Total de lixo por dia*</b> | <b>Total de lixo por ano*</b> |
|---|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 2018                                      | 10.130                    | 8,10                          | 2.958                         |
| 2019                                      | 10.636                    | 8,51                          | 3.106                         |
| 2020                                      | 11.168                    | 8,93                          | 3.261                         |
| 2021                                      | 11.727                    | 9,38                          | 3.424                         |
| 2022                                      | 12.313                    | 9,85                          | 3.595                         |
| 2023                                      | 12.929                    | 10,34                         | 3.775                         |
| 2024                                      | 13.575                    | 10,86                         | 3.964                         |
| 2025                                      | 14.254                    | 11,40                         | 4.162                         |
| 2026                                      | 14.967                    | 11,97                         | 4.370                         |
| 2027                                      | 15.715                    | 12,57                         | 4.589                         |
| 2028                                      | 16.500                    | 13,20                         | 4.818                         |
| 2029                                      | 17.326                    | 13,86                         | 5.059                         |
| 2030                                      | 18.192                    | 14,55                         | 5.312                         |
| 2031                                      | 19.102                    | 15,28                         | 5.578                         |
| 2032                                      | 20.057                    | 16,05                         | 5.857                         |
| <b>Total de lixo recolhido em 15 anos</b> |                           |                               | <b>63.829</b>                 |

\* em toneladas

**Tabela 1** – Estimativa do total de resíduos sólidos a serem coletados na cidade de Santa Isabel do Rio Negro 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 ton/m<sup>3</sup>. Assim, o volume total de lixo aterrado em 15 anos será:

$$63.829 \text{ ton} / 0,75 \text{ ton/m}^3 = 85.105 \text{ m}^3$$

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:

$$85.105 \text{ m}^3 / 2 = 42.553 \text{ m}^3$$

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

$$85.105 \text{ m}^3 + 42.553 \text{ m}^3 = 127.658 \text{ m}^3$$

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<br>(m) | Área necessária<br>(m <sup>2</sup> ) | Área necessária<br>(ha) |
|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 1,0                    | 127.658                              | 12,68                   |
| 2,0                    | 63.829                               | 6,38                    |
| 3,0                    | 42.552                               | 4,26                    |

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 Santa Isabel do Rio Negro, 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:

$$6,38 \text{ ha} + 6,38 \times 0,2 = \mathbf{7,66 \text{ ha}}$$

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 Santa Isabel do Rio Negro, 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 fica localizada ao longo de uma estrada que se inicia na Avenida Don Pedro Massa e termina em uma zona de extração de laterita, a aproximadamente 9 quilômetros do perímetro urbano de Santa Isabel do Rio Negro. Não existe pavimentação na estrada e sua trafegabilidade é bastante afetada por chuvas, tornando-se bastante difícil em períodos de pluviosidade intensa. A área tem aproximadamente 15,1 hectares e situa-se a 7,5km do centro da cidade em linha reta. A zona de extração de laterita localiza-se no vértice nordeste da área (**Figuras 3, 4, e 5**).

O local fica situado entre dois cursos menores, um ao leste e outro a oeste, que também passa ao sul. O curso leste corre para sul para encontrar o curso oeste mais a frente. Os dois igarapés desembocam em outro curso maior bem ao sul. Esse curso d'água corre para sul e desemboca no Rio Negro. Outros afluentes menores de primeira e segunda ordem ocorrem na região próxima à cidade, e, próximo à área estudada, predominam os de segunda ordem (**Figuras 3, 4 e 5**).

Trata-se de terreno com topografia levemente inclinada, com altitude em torno de 68-78 metros, com suave caimento para sudeste nas porções mais próximas ao curso do afluente de segunda ordem do Rio Negro. Está assentado sobre a formação Içá, de acordo com o mapa geológico da região, composta por arenitos, siltitos e argilitos

do Cenozoico. A cobertura vegetal da área é representada por floresta nativa.

Como já mencionado, existem dois cursos d'água de pequeno porte no setor oeste/sul e no setor leste da área avaliada (**Figuras 4 e 5**), que desaguam em outro igarapé mais ao sul (visto ao longo da estrada). 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 da estrada de acesso e de picadas abertas na área florestal, o que permitiu a identificação das drenagens citadas e da topografia local. Além disso, um ponto foi marcado bem no limite máximo da cota do Rio Negro, para posteriores comparações com os níveis d'água encontrados na área de estudo.

Com a confirmação da localização dos buffers das drenagens atingindo a área em 3 segmentos diferentes, os trabalhos tiveram que se concentrar na parte mais central e ao norte da área de estudo. Não foi possível realizar um furo ao norte da área marcada devido à laterita aflorante. Os furos foram concentrados na área hábil de 5,3 ha. Devido às dificuldades de acesso, não foi possível executar uma

malha regular de pontos, efetuando-se, assim, da forma a cobrir a maior distância possível.

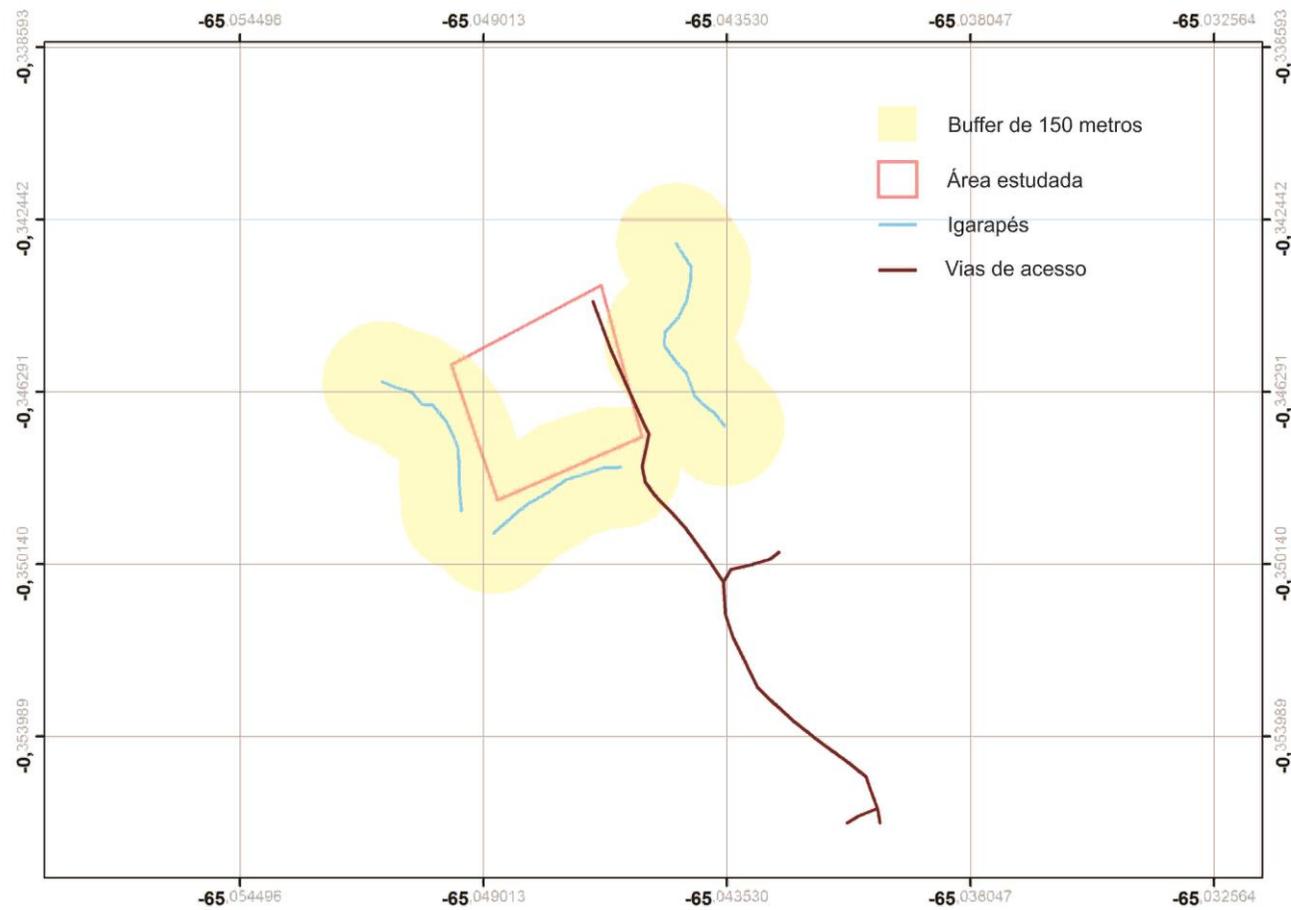
Os “buffers” foram calculados em campo, a partir de caminhamento via GPS e, após os trabalhos, foram inseridos neste relatório. Vale ressaltar que são zonas de proteção, devendo ser referendados pelo IPAAM. Desse modo, foi descartada para avaliação a parte do terreno inserida no interior dessa zona.

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:

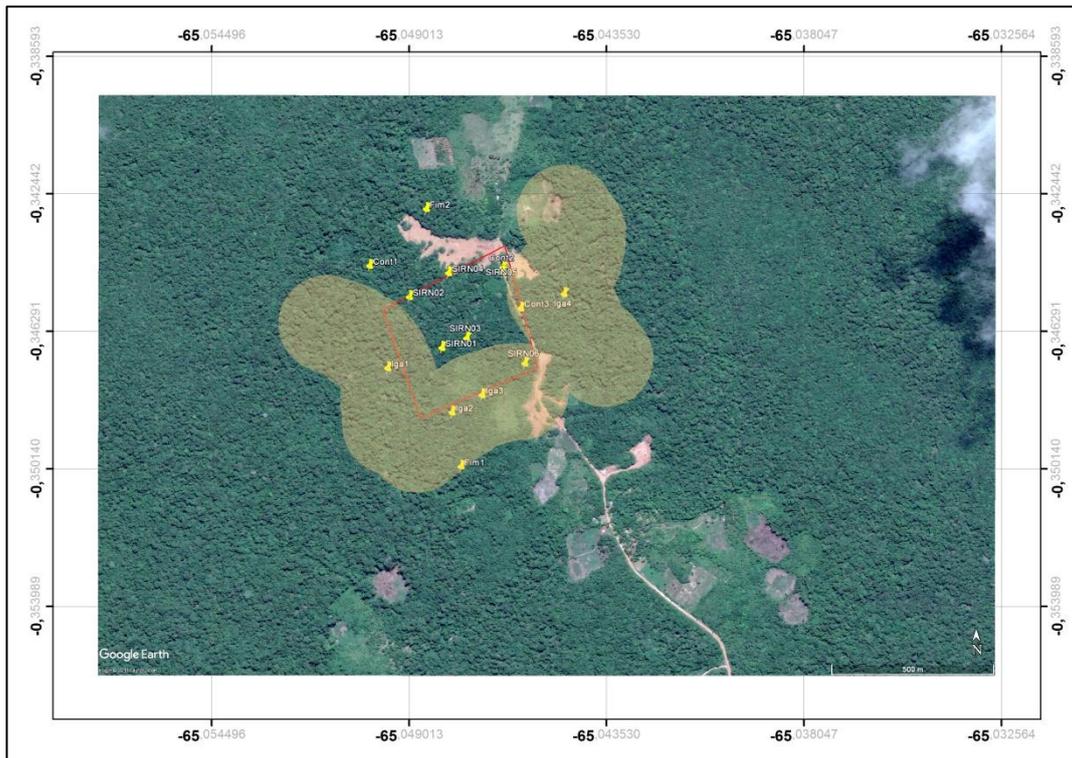
- avaliação visual e coleta de amostras do solo e subsolo para ensaios granulométricos;
- definição da profundidade do nível local da água subterrânea (NA ou nível freático).

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.



**Figura 4:** Mapa de detalhe da região de estudo com a situação da área total selecionada pela prefeitura (15,1 ha) com vistas à implantação do aterro sanitário de Santa Isabel do Rio Negro, com a localização dos furos de trado realizados e das drenagens existentes no interior e no entorno.



**Figura 5:** Imagem de satélite de alta resolução (Google Earth) com a situação da área total avaliada (retângulo vermelho), com a localização dos furos de trado realizados (pontos amarelos). A área amarela semitransparente caracteriza uma área de 150 metros de distância das drenagens ao redor; deve-se evitar essa área segundo legislação ambiental.

#### 4. ANTECEDENTES

Os resíduos sólidos coletados na zona urbana de Santa Isabel do Rio Negro vêm sendo depositados há alguns anos, sem maiores cuidados ambientais, na lixeira municipal localizada a um quilômetro ao noroeste do centro da cidade. O local é uma lixeira a céu-aberto, já que os resíduos são despejados ali e sequer recebem uma fina cobertura intermitente de material argiloso, o que facilita a proliferação de vetores de inúmeras doenças (**Figura 6**).

O terreno ocupado pela lixeira, sem controle de acesso na entrada, tem superfície aproximada de três hectares e encontra-se 250m ao leste de uma drenagem afluente do Rio Negro (**Figura 7**).

Numa visita ao local, durante a realização deste estudo, foi observada a presença de chorume escorrendo em uma vala nas laterais do ramal de acesso a lixeira e uma quantidade grande de mamoeiros nascendo em meio ao lixo (**Figura 6**). Outro terreno mais ao norte, onde se encontra um lago, também recebeu lixo por um período de tempo, poluindo completamente o corpo d'água (**Figura 6**).

Portanto, seja nos aspectos técnicos, legais ou operacionais, a lixeira de Santa Isabel do Rio Negro 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.



**Figura 6:** a) Local da lixeira atual (acima); b) curso d'água onde foram despejados resíduos (abaixo).



**Figura 7:** Os círculos vermelhos indicam as duas áreas que servem de lixão atualmente na cidade de Santa Isabel do Rio Negro. Ao norte, o curso d'água da figura 6b; mais ao sul, próximo ao centro urbano, o terreno da figura 6a.

#### **4. RESULTADOS OBTIDOS**

Foram feitas seis perfurações a trado na área selecionada de 15,1 ha, cujas profundidades variaram de 1,5 a 7,15m, atingindo o nível d'água em três deles, em cotas que variam de 0,6 a 5,1 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.

| <b>Furo</b> | <b>Coordenadas<br/>UTM<br/>(Zona 20S)</b> | <b>Cota<br/>Aprox.<br/>(m)</b> | <b>Profund.<br/>Final<br/>(m)</b> | <b>Cobertura<br/>Vegetal</b> |
|-------------|---|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| SIRN-01     | 9961628 N<br>272047 E                     | 73                             | 1,5                               | Floresta Nativa              |
| SIRN-02     | 9961785 N<br>271947 E                     | 78                             | 6,5                               | Floresta Nativa              |
| SIRN-03     | 9961658 N<br>272124 E                     | 70                             | 5,5                               | Floresta Nativa              |
| SIRN-04     | 9961859 N<br>272068 E                     | 74                             | 1,5                               | Floresta Nativa              |
| SIRN-05     | 9961861 N<br>272235 E                     | 76                             | 3,0                               | Floresta Nativa              |
| SIRN-06     | 9961581 N<br>272304 E                     | 67                             | 7,15                              | Floresta Nativa              |

**Tabela 2:** Características das sondagens executadas na área selecionada para Santa Isabel do Rio Negro.

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

### **FURO SURN-01 (Figuras 8 e 14):**

- 0,00 a 0,10m: solo orgânico argilo-arenoso, marrom-escuro, com raízes;
- 0,10 a 0,50m: o solo começa a amarelar gradativamente, até se tornar completamente amarelo. Permanece bem coeso e homogêneo por toda essa extensão. Torna-se areno argiloso, com alguns nódulos de laterita que não dominam a matriz;
- 0,50 a 1,00m: os nódulos de laterita dominam esta zona. Permanece areno argiloso. Os nódulos aumentam de tamanho com a profundidade. A penetração a partir daqui é muito difícil e o uso da cavadeira se torna constante;
- 1,00 a 1,50m: o solo muda de cor para laranja, não mudando, porém, sua composição granulométrica. A laterita forma nódulos muito grandes nesse setor, por vezes até camadas. O furo foi interrompido em 1,5 metros por não haver possibilidade de continuar.

### **FURO SURN-02 (Figuras 9 e 15):**

- 0,00 a 0,10m: solo orgânico argiloso, marrom-escuro, com raízes;
- 0,10 a 1,00m: solo argiloso amarelo, com boa coesão. O padrão permanece homogêneo até o final desse intervalo;

- 1,00 a 1,50m: solo amarelo amarronzado silto argiloso, com pouca areia e rico em nódulos de laterita. Este intervalo se parece muito com as primeiras camadas do furo SIRN-01;
- 1,50 a 3,00m: solo areno argiloso laranja avermelhado com muitos nódulos de laterita. A matriz é bem coesa. A penetração com o trado é difícil;
- 3,00 a 3,50m: solo areno argiloso marrom avermelhado com muitos nódulos de laterita. A diferença entre esse intervalo e o anterior é apenas a cor;
- 3,50 a 4,35m: solo argilo arenoso marrom avermelhado dominado por nódulos de laterita. A diferença entre esse intervalo e o anterior é a granulometria;
- 4,35 a 4,60m: solo areno argiloso marrom, com muitos nódulos de laterita. Aqui, o solo volta a ter mais areia e os nódulos deixam de se apresentar oxidados, adquirindo uma coloração preta;
- 4,60 a 5,70m: solo argilo arenoso laranja, com teor menor de nódulos pretos de laterita em relação aos intervalos anteriores. À medida que se aprofunda, o solo fica mais molhado, evidenciando uma aproximação do lençol freático, o que se confirma em 5,1 metros. A penetração se torna mais fácil e os nódulos pretos ficam arredondados;

-5,70 a 6,50m: solo areno argiloso vermelho sem laterita. A partir daqui, o nível acima começa a desmoronar no furo. Com a profundidade, esse material se torna amarelo e branco.

### **FURO SIRN-03 (Figuras 10 e 16):**

- 0,00 a 0,05m: solo orgânico argilo-arenoso, marrom-escuro, com raízes;
- 0,05 a 2,00m: solo argilo arenoso amarelo alaranjado sem nódulos de laterita. Com a profundidade, no final desse intervalo, alguns nódulos esporádicos podem ser observados;
- 2,00 a 4,15m: solo argilo arenoso laranja avermelhado com nódulos de laterita oxidados. Os teores de silte e areia aumentam com a profundidade. Os nódulos são rosados e friáveis e não travam a perfuração. A partir da metade desse intervalo, os nódulos se tornam menos friáveis e dificultam a perfuração, apesar de não dominarem a matriz. Em 3,0 metros, os nódulos aumentam de tamanho e partes brancas esparsas aparecem. Em 3,5 metros o material fica ainda mais claro e os nódulos diminuem de tamanho e quantidade;
- 4,15 a 4,75m: solo areno argiloso branco avermelhado com nódulos de laterita oxidados. A quantidade de nódulos volta a aumentar, mas seu tamanho não. Muito

material branco ainda é retirado, aparentando ser caulim;

- 4,75 a 5,50m: solo silto areno argiloso branco rosado com nódulos de laterita. O lençol freático aparece no início desse intervalo. A partir daqui, o solo fica rico em argila branca muito coesa. Em 5,0 metros, a cavadeira foi acionada, pois a penetração ficou muito difícil. Uma camada de laterita foi possivelmente encontrada em 5,1 metros, mas a argila da matriz permanece branca.

#### **FURO SIRN-04 (Figuras 11 e 17):**

- 0,00 a 0,05m: solo orgânico argilo-arenoso, marrom-escuro, com raízes;
- 0,05 a 0,50m: solo argilo arenoso amarelo sem nódulos de laterita. A coesão é boa e a penetração é fácil;
- 0,50 a 1,10m: solo argilo arenoso amarelo com muitos nódulos de laterita. À medida que se aprofunda no solo, os nódulos aparecem e dominam a matriz, ficando também maiores;
- 1,10 a 1,50m: solo argilo arenoso rosa dominado por nódulos de laterita. Com a profundidade, o solo se torna rosado graças ao teor de ferro que contém. Os nódulos (placas) grandes continuam a travar a perfuração, até que não se torna mais possível.

### **FURO SURN-05 (Figuras 12 e 18)**

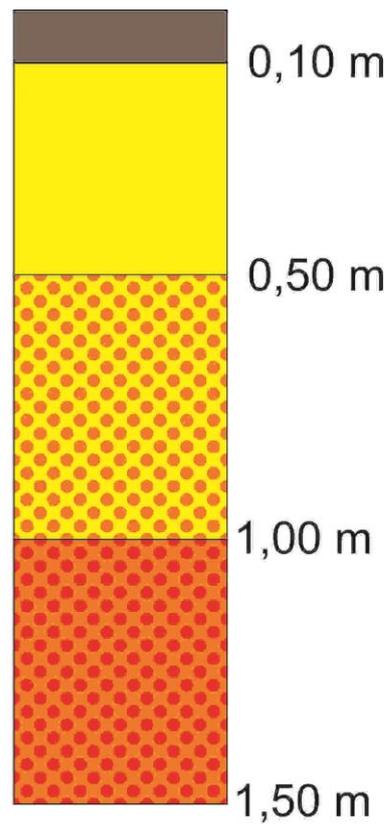
- 0,00 a 0,05m: solo orgânico argilo-arenoso, marrom-escuro, com raízes;
- 0,05 a 1,20m: solo argilo arenoso amarelo sem nódulos de laterita;
- 1,20 a 1,50m: solo areno argiloso vermelho rosado com nódulos pretos (não oxidados) de laterita. A mudança do solo anterior para este é gradacional, aparecendo primeiro manchas oxidadas em solo amarelo;
- 1,50 a 2,30m: solo areno argiloso marrom amarelado com nódulos de laterita preta. Os nódulos permanecem pequenos. Aqui neste intervalo, a boca do trado foi modificada devido à dificuldade de penetração;
- 2,30 a 2,60m: solo areno argiloso vermelho com nódulos de laterita preta. Aqui começam a aparecer seixos na parede do furo, o que dificulta ainda mais a perfuração;
- 2,60 a 3,00m: solo areno argiloso marrom com nódulos pretos. Os nódulos não colorem o solo. A penetração se torna impossível.

### **FURO SURN-06 (Figuras 13 e 19)**

- 0,00 a 0,15m: solo orgânico areno argiloso, marrom-escuro, com raízes;

- 0,15 a 0,60m: solo arenoso amarelo, sem nódulos de laterita. À medida que se aprofunda, o solo grada para uma areia branca;
- 0,60 a 1,80m: solo arenoso branco rosado, sem nódulos. O lençol freático é atingido no início desse intervalo. A partir de 1,0 metros, o solo se torna mais branco e contém grandes seixos de quartzo (mineral transparente). Em 1,5 metros, o teor de silte aumenta, fazendo o material sair no formato da boca do trado;
- 1,80 a 3,50m: solo silto arenoso branco com lentes e manchas rosas. O padrão da matriz permanece parecido com o anterior. Boa coesão;
- 3,50 a 4,50m: solo silto arenoso branco com nódulos e manchas laranjas. As manchas e veios rosas continuam, mas em menor quantidade. O teor de areia aumenta com a profundidade. Em 4,0 metros, o solo se torna mais laranja e mais arenoso, com muitos seixos de quartzo;
- 4,50 a 5,50m: solo arenoso branco rosado. O solo volta a ter as características do intervalo entre 0,60 e 1,80 metros. A partir de 5,0 metros, o teor de silte volta a aumentar;
- 5,50 a 6,00m: solo areno siltoso branco com nódulos e manchas vermelhos. A matriz aparenta ser mais siltosa e contém seixos de quartzo friáveis. O teor de areia vem das manchas vermelhas;

- 6,00 a 6,70m: solo areno siltoso branco com nódulos e manchas amarelos. A matriz muda de cor, tornando-se creme, e aparentemente contém um teor maior de silte. As manchas amarelas que conferem um teor de areia maior à amostra. Os seixos de quartzo diminuem de quantidade;
- 6,70 a 7,15m: solo silto arenoso vermelho com nódulos e manchas vermelhos. Laterita aparentemente encontrada em um estado muito friável. Teor de areia parece aumentar com a profundidade. O furo foi interrompido por causa do desmoronamento do intervalo entre 5,0 a 6,0 metros.



-  Solos orgânicos
-  Solos areno argilosos amarelos com poucos nódulos
-  Solos areno argilosos amarelos com muitos nódulos
-  Solos areno argilosos laranjas com muitos nódulos

**Figura 8:** Coluna esquemática do furo SURN-01.



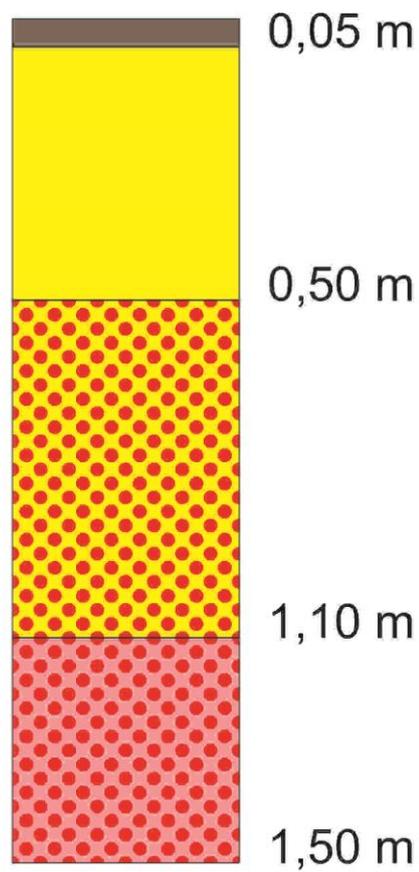
-  Solos orgânicos
-  Solos argilosos amarelos
-  Solos silto argilosos amarelo amarronzados, com muitos nódulos
-  Solos areno argilosos laranja avermelhados, com muitos nódulos
-  Solos areno argilosos marrom avermelhados, com muitos nódulos
-  Solos areno argilosos marrons, com muitos nódulos
-  Solos argilo arenosos marrom avermelhados, com muitos nódulos
-  Solos areno argilosos marrons, com muitos nódulos
-  Solos argilo arenosos laranjas, com muitos nódulos
-  Solos areno argilosos vermelhos
-  Nível da água

**Figura 9:** Coluna esquemática do furo SURN-02.



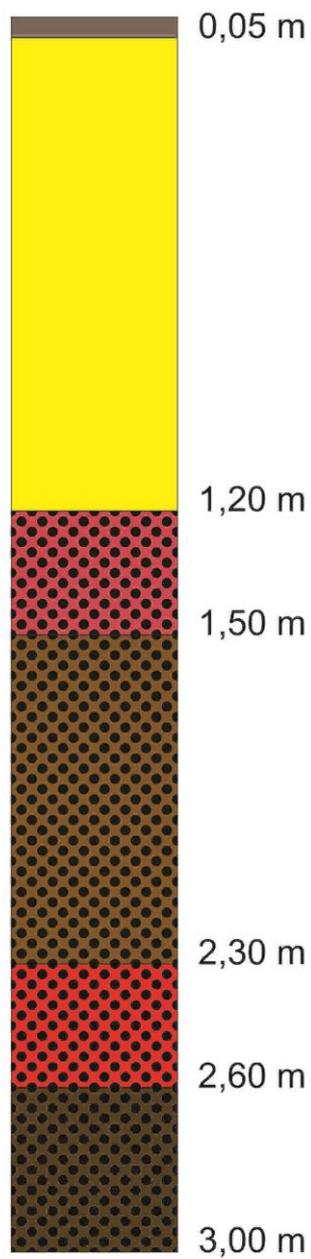
-  Solos orgânicos
-  Solos argilo arenosos amarelos alaranjados
-  Solos argilo arenosos laranja avermelhados com nódulos
-  Solos areno argilosos branco avermelhados com nódulos
-  Solos silto areno argilosos branco rosados com nódulos
-  Nivel da água

**Figura 10:** Coluna esquemática do furo SIRN-03.



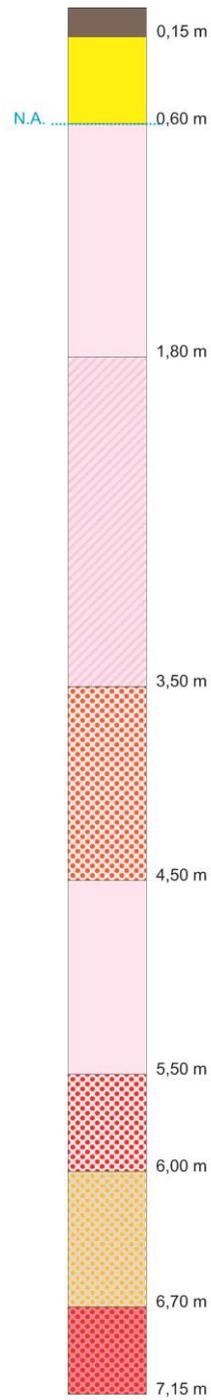
-  Solos orgânicos
-  Solos argilo arenosos amarelos
-  Solos argilo arenosos amarelos com nódulos
-  Solos argilo arenosos rosas com nódulos

**Figura 11:** Coluna esquemática do furo SIRN-04.



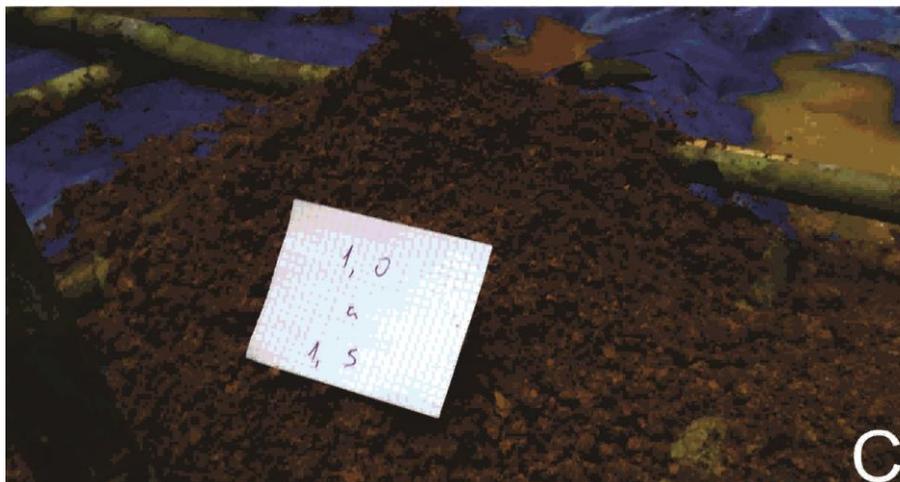
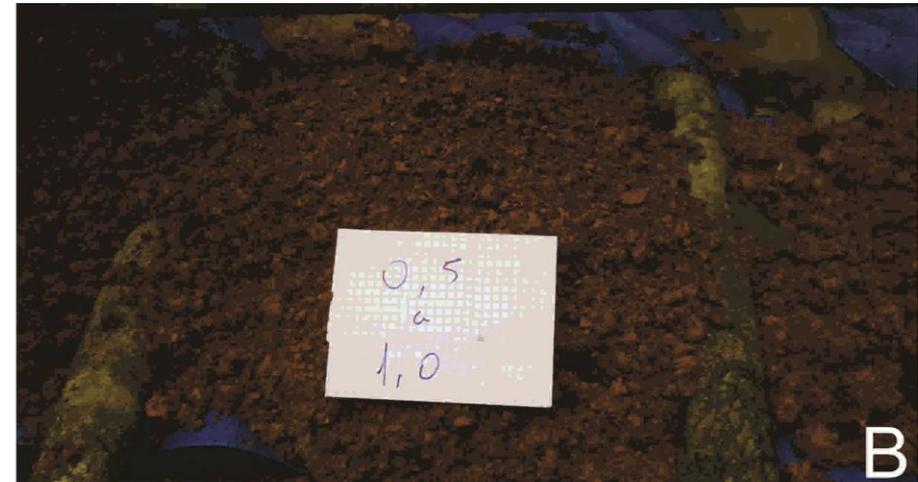
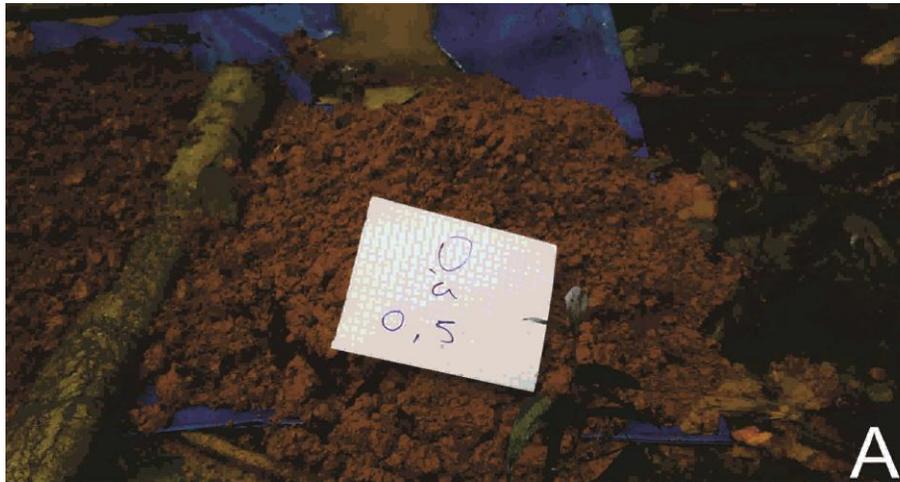
-  Solos orgânicos
-  Solos argilo arenosos amarelos
-  Solos areno argilosos vermelho rosados com nódulos
-  Solos areno argilosos marrom amarelados com nódulos
-  Solos areno argilosos vermelhos com nódulos
-  Solos areno argilosos marrons com nódulos

**Figura 12:** Coluna esquemática do furo SURN-05.



- Solos orgânicos
- Solos arenosos amarelos
- Solos arenosos branco rosados
- Solos silto arenosos brancos com lentes rosas
- Solos silto arenosos brancos com nódulos laranjas
- Solos areno siltosos brancos com nódulos vermelhos
- Solos areno siltosos brancos com nódulos amarelos
- Solos silto arenosos vermelhos com nódulos vermelhos
- Nivel da água

**Figura 13:** Coluna esquemática do furo SURN-06.



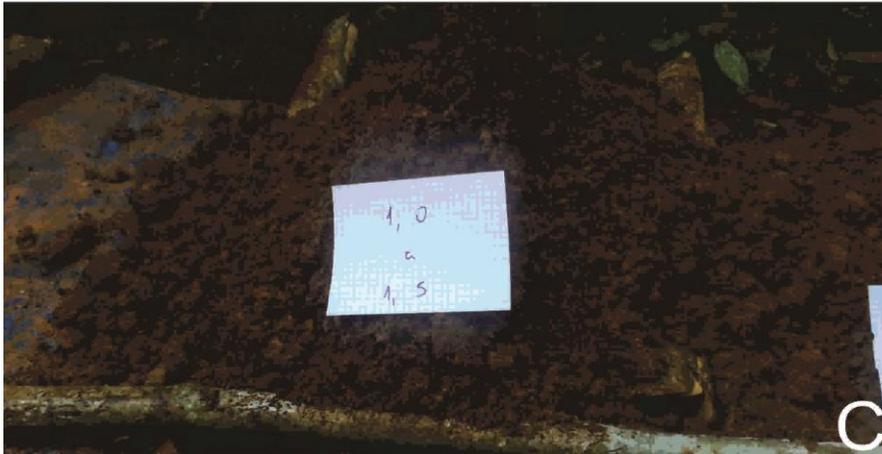
**Figura 14:** A) Material amarelo tirado do intervalo de 0,0 e 0,5 metros. B) Nódulos de laterita oxidados são encontrados no intervalo entre 0,5 a 1,0 metros. C) O solo se torna mais laranja no intervalo entre 1,0 e 1,5 metros. D) Todo o material do furo é disposto sobre a lona para descrição, fotografia e coleta.



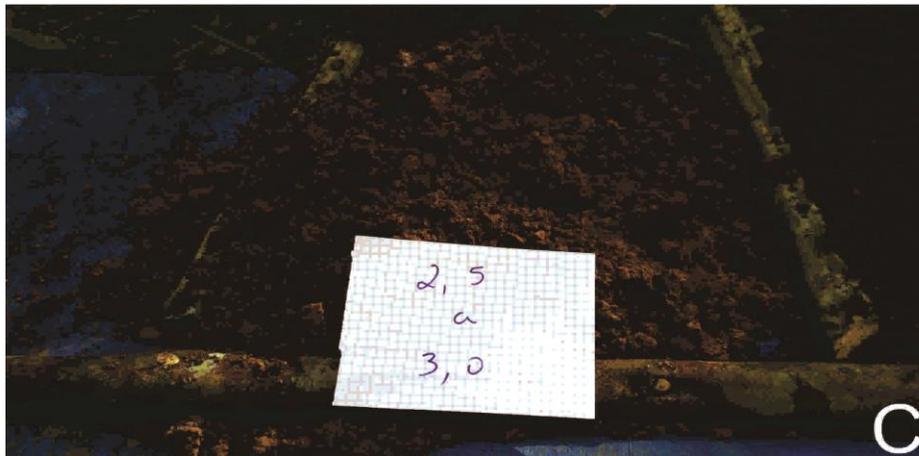
**Figura 15:** A) Material amarelo retirado no intervalo entre 0,5 e 1,0 metros. B) Material laranja com nódulos de laterita oxidados no intervalo entre 5,0 e 5,5 metros. C) Material vermelho retirado no intervalo final do furo. D) Disposição das amostras sobre a lona para posterior coleta.



**Figura 16:** A) Material amarelo retirado do intervalo entre 0,5 e 1,0 metros. B) Material laranja avermelhado com nódulos retirado do intervalo entre 3,5 e 4,0 metros. C) Material branco avermelhado com nódulos retirado do intervalo entre 4,0 e 4,5 metros. D) Material branco rosado com nódulos retirado do intervalo entre 5,0 e 5,5 metros.



**Figura 17:** A) Material amarelo retirado do intervalo entre 0,0 e 0,5 metros. B) Material amarelo com nódulos vermelhos retirado do intervalo entre 0,5 e 1,0 metros. C) Material rosa com nódulos vermelhos retirado do intervalo entre 1,00 a 1,50 metros. D) Disposição do material na lona para análise.



**Figura 18:** A) Material amarelo retirado do intervalo entre 0,0 e 0,5 metros. B) O mesmo material amarelo, gradando de cor. C) Material vermelho, misturado com material marrom, ambos com nódulos pretos, do intervalo entre 2,5 a 3,0 metros. D) Disposição das amostras do trado na lona para coleta e análise.



**Figura 19:** A) Material amarelo retirado do intervalo entre 0,0 e 0,5 metros. B) Material branco rosado retirado do intervalo entre 1,5 e 2,0 metros. C) A coesão do material é excelente, sendo recuperadas amostras em vários formatos. Além de ter seixos de quartzo na matriz. D) Material vermelho retirado do intervalo entre 6,5 a 7,0 metros, no final do furo.

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 cinco horizontes, do topo para a base:

- horizonte orgânico, argilo arenoso, marrom escuro, com acumulação de raízes e folhas; este horizonte não foi apreciado em estudo devido a sua pequena espessura e ao fato de que será extraído para a construção do empreendimento;
- solo argilo arenoso (53-67% de argila e 24-37% de areia, com silte entre 9-10%), amarelo amarronzado no início e amarelo no final, com espessuras de 0,40 a 1,95 metros, extremamente homogêneos. Não ocorre nenhuma variação local e são bastante coesos, com permeabilidade limitada. Gradam lentamente para o tipo de solo abaixo;
- solo areno argiloso amarelo, laranja ou vermelho (42-61% de areia e 13-46% de argila, com silte entre 16-26%), com manchas e nódulos de laterita pequenos no início e grandes no final, ora oxidados (vermelhos), ora não oxidados (pretos). É importante ressaltar que esse horizonte não é encontrado em toda a área, sendo que na região do ponto SIRN-06 (próxima ao igarapé) o mesmo não está presente. Este solo é menos compacto que a camada de solo inicial. A difícil penetrabilidade do trado deve-se à alta quantidade de nódulos, por vezes se encontrando camadas inteiras de laterita. O nível d'água foi encontrado no interior

desse intervalo, ou no início do próximo, dependendo do ponto. Gradualmente, este horizonte vai se tornando vermelho até se transformar no próximo horizonte. Sua espessura só foi medida completamente no furo SIRN-02 (4,70 metros), que atingiu a camada posterior, sendo que nas sondagens anteriores a perfuração foi interrompida;

- solo areno argiloso vermelho sem nódulos (64% de areia e 27% de argila, com 9% de silte), encontrado apenas no final do furo SIRN-02. Se o solo for uniforme, esse horizonte pode ser encontrado abaixo da laterita em todo o terreno;

- solo silto arenoso ou areno siltoso branco rosado, por vezes amarelado (42-72% de areia e 11-52% de silte, com 2-16% de argila), encontrado apenas no furo SIRN-06. Nódulos de laterita não são encontrados nesse horizonte, mas muitos nódulos de quartzo podem travar o trado. A coesão é muito boa. Esse horizonte se encontra abaixo do lençol freático.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pelo exposto nos itens anteriores, os estudos realizados definiram uma área com aproximadamente 5,3 hectares (dentro do terreno proposto) que possui **aptidão técnica regular a boa** para servir como local de implantação do aterro sanitário de Santa Isabel do Rio Negro. Não foi possível estudar nenhum terreno adjacente, devido à presença de igarapés vizinhos ou afloramentos de laterita. Visto que são precisos mais 2,36 hectares de terrenos para completar os 7,66 hectares necessários, recomendamos aumentar a área utilizável para o norte, podendo assim ficar longe dos cursos d'água. Se operar de maneira correta, deverá ter vida útil de 15 anos.

Os resultados das investigações de campo e das perfurações executadas revelaram **um fator técnico positivo e dois negativos** no que diz respeito à aptidão dessa área em dar suporte ao aterro sanitário:

- o fator positivo é a textura areno argilosa do solo (com boa coesão), sem predomínio absoluto de nenhuma fração granulométrica em quase toda a área investigada. Esse solo 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). Nenhum furo em área hábil encontrou algum horizonte que fosse predominantemente argiloso ou arenoso;

- o primeiro fator negativo é o fato de o terreno apresentar o nível das águas subterrâneas (NA) raso, em torno de 4,75 a 5,0 metros de profundidade. Vale ressaltar que a área foi visitada no período menos chuvoso (Agosto, segundo o [climatedata.org](http://climatedata.org)). Dados coletados no site do porto de Manaus sugerem que, nesta data, uma das cotas mais altas para o Rio Negro durante o ano de 2018 foi atingida, perdendo apenas para os meses de Junho e Julho. Mesmo assim, no ponto SIRN-03, onde este NA está mais raso, obedecendo às normas escritas neste relatório, haverá uma camada de solo insaturado de pelo menos 2,75m de espessura entre a base do aterro e o NA conforme recomendado pelas normas técnicas;

- o segundo fator negativo é a presença de laterita, que dificultou a penetração do trado manual e dificultará a escavação para a implantação do aterro. Graças a essa dificuldade, só foi possível atravessar a laterita no ponto SIRN-02, atingindo um solo areno argiloso vermelho que, por inferência, deve estar presente abaixo da laterita nos outros pontos.

Portanto, levando-se em conta as sérias dificuldades naturais e fundiárias que os gestores de Santa Isabel do Rio Negro 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 Santa Isabel do Rio Negro 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 2,0m 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: Santa Isabel do Rio Negro

Data de Entrada: 29/08/2018

Data de Saída: 24/09/2018

| 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<br>(g/kg) | 0.05-0.002 mm | <0.002 mm |                                |
| 1073            | 0,5-10 SRN - 01            | 330,07       | 135,56       | 465,63                 | 177,88        | 356,50    | Franco Argiloso                |
| 1074            | 0,0-1,0 SERIN - 02         | 115,34       | 103,86       | 219,19                 | 118,31        | 662,50    | Muito Argiloso                 |
| 1075            | 1,5-2,5                    | 330,74       | 89,28        | 420,02                 | 165,49        | 414,50    | argila                         |
| 1076            | 3,5-4,0                    | 204,83       | 85,39        | 290,22                 | 184,78        | 525,00    | argila                         |
| 1077            | 4,0-4,5                    | 391,22       | 105,23       | 496,45                 | 179,56        | 324,00    | Franco Argilo Arenoso          |
| 1078            | 4,5-5,0                    | 329,61       | 44,01        | 373,62                 | 125,38        | 501,00    | Argila                         |
| 1079            | 5,5-5,5                    | 572,40       | 41,99        | 614,38                 | 91,62         | 294,00    | Franco Argilo Arenoso          |
| 1080            | 5,5-6,5                    | 445,16       | 128,48       | 573,64                 | 153,36        | 273,00    | Franco Argilo Arenoso          |
| 1081            | 0,5-1,5 SERIN - 03         | 98,50        | 135,35       | 233,85                 | 94,15         | 672,00    | Muito Argiloso                 |
| 1082            | 2,0-3,0                    | 96,72        | 87,68        | 184,40                 | 118,11        | 697,50    | Muito Argiloso                 |
| 1083            | 3,0-3,5                    | 91,04        | 90,17        | 181,21                 | 135,29        | 683,50    | Muito Argiloso                 |
| 1084            | 3,5-4,0                    | 105,90       | 85,69        | 191,59                 | 168,92        | 639,50    | Muito Argiloso                 |
| 1085            | 4,0-4,5                    | 359,23       | 119,22       | 478,45                 | 192,55        | 329,00    | Franco Argilo Arenoso          |
| 1086            | 4,5-5,0                    | 208,94       | 139,59       | 348,53                 | 246,97        | 404,50    | Franco Argiloso                |
| 1087            | 5,0-5,5                    | 177,31       | 195,31       | 372,62                 | 408,89        | 218,50    | Franca                         |
| 1088            | 0,0-1,5 SERIN - 04         | 247,26       | 120,99       | 368,25                 | 98,75         | 533,00    | Argila                         |
| 1089            | 1,0-2,0 SERIN - 05         | 319,68       | 110,97       | 430,65                 | 144,86        | 424,50    | Argila                         |
| 1090            | 2,0-2,5                    | 277,17       | 153,16       | 430,33                 | 203,68        | 366,00    | Franco argiloso                |
| 1091            | 2,5-2,7                    | 330,80       | 115,36       | 446,16                 | 137,35        | 416,50    | Argila                         |
| 1092            | 0,0-1,0 SER - 06           | 515,40       | 205,50       | 720,89                 | 116,11        | 163,00    | Franco arenoso                 |
| 1093            | 1,0-2,0                    | 455,41       | 159,29       | 614,70                 | 256,80        | 128,50    | Franco arenoso                 |
| 1094            | 2,0-3,0                    | 293,09       | 168,46       | 461,55                 | 514,46        | 24,00     | Franco Siltoso                 |
| 1095            | 3,0-4,0                    | 239,93       | 184,80       | 424,73                 | 527,78        | 47,50     | Franco Siltoso                 |

Maria do Rosário Lobato Rodrigues  
LASP/Embrapa Amazônia Ocidental

|      |                |        |        |        |        |        |               |
|------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| 1096 | <b>4,0-5,5</b> | 291,57 | 207,76 | 499,33 | 343,67 | 157,00 | <b>Franca</b> |
| 1097 | <b>5,0-6,0</b> | 300,05 | 153,96 | 454,01 | 333,49 | 212,50 | <b>Franca</b> |
| 1098 | <b>6,5-7,0</b> | 359,38 | 98,15  | 457,52 | 334,98 | 207,50 | <b>Franca</b> |
| 1099 | <b>6,5-7,0</b> | 266,32 | 204,57 | 470,89 | 478,61 | 50,50  | <b>Franca</b> |

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