

### 3 Amostragem e Caracterização

As amostras de resíduos sólidos urbanos foram retiradas do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho (AMJG), que está localizado no Estado do Rio de Janeiro, no Município de Duque de Caxias, às margens da Baía de Guanabara (Figura 3.1). As coordenadas geográficas do AMJG são: latitude 22°45'03'' S e longitude 43°16'06'' W.



Figura 3.1– Localização do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho. Fonte: Hipólito (2010).

Em 1976, com o Convênio firmado entre a extinta FUNDREM (Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro), a COMBURB e a Prefeitura Municipal de Nilópolis, criou-se o AMJG (Hipólito, 2010). Estima-se que entre setembro de 1978 a junho de 1999 foram depositados cerca de 34.500.000 toneladas de resíduo, numa área de 1,3 milhões de m<sup>2</sup>. Sendo que em 1995, o AMJG passou a ser operado de forma sanitária (Silveira, 2004).

Para a amostragem do resíduo, foi desenvolvido um procedimento tanto para a coleta como para a caracterização. Esse procedimento foi baseado nos diversos trabalhos publicados sobre a avaliação e estudo de resíduos, como foi apresentado no Capítulo 2.

Os materiais utilizados para a análise das propriedades físicas foram os coletados de furos realizados para a colocação de poços de drenagem de biogás no AMJG.

As propriedades físicas que foram determinadas *in situ* foram temperatura e pH. As análises das propriedades físico-químicas foram realizadas em três laboratórios. No Laboratório da Usina de Triagem da COMLURB foi determinada a composição gravimétrica. No Laboratório de apoio de Campo na área do AMJG foram determinadas: o teor de umidade dos resíduos; a determinação do teor de matéria orgânica e o teor de sólidos voláteis. No Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio (LGMA/PUC-Rio), as propriedades determinadas foram: pH, distribuição granulométrica, determinação do teor de lignina e ensaio de potencial bioquímico de metano.

### 3.1

#### **Coleta das amostras de resíduos sólidos urbanos *in situ***

Foram coletadas amostras de RSU do AMJG a cada 5 m, em furos de sondagens executados em diferentes cotas do Aterro. Essa distância de amostragem em cada furo foi escolhida porque os resíduos depositados neste aterro foram alteados em células com 5 metros de altura.

Para a coleta de materiais em grandes profundidades, a escavação promovida pelo uso de uma retroescavadeira é um procedimento inviável. Outro procedimento inadequado pela dificuldade de manipulação neste tipo de material é a retirada de material por sondagem a trado. Assim, foi utilizada uma perfuratriz, modelo AF-130 da IMT (*Industria Meccanica Trivelle International S.p.A.*) (Figura 3.2), que auxiliou a extração dos materiais em grandes profundidades.



Figura 3.2 - Perfuratriz

A forma com a qual o equipamento funciona é similar à utilizada em amostragem por sondagem rotativa. Na amostragem convencional de solos, normalmente o amostrador é biselado e, a partir de golpes, este vai sendo cravado. No caso da perfuratriz, o mesmo possui dentes que estão localizados na parte inferior e conforme é rotacionado em torno do seu próprio eixo, uma desagregação/ruptura do material é promovida e, com isto, permite que o amostrador alcance maiores profundidades, conforme mostra a Figura 3.3 e Figura 3.4.



Figura 3.3 - Exterior do amostrador



Figura 3.4 - Interior do amostrador

Embora a perfuratriz seja um equipamento robusto, o procedimento de amostragem de RSU em profundidades é muito difícil e limitado pela operação do maquinário. Assim, a penetração máxima alcançada foi de 30 metros.

Antes do início do processo de perfuração, mas com a perfuratriz já posicionada no local de execução do poço de drenagem, foi avaliado o melhor local para a deposição do material coletado, pois entre duas profundidades de coleta, o material removido é depositado nas laterais da perfuratriz (à direita e à esquerda) e, concomitantemente, uma outra máquina, retro-escavadeira, estará em operação para a limpeza da área. Neste local de deposição foi estendida uma lona de PVC de aproximadamente 5 metros de comprimento onde os resíduos coletados a cada 5 metros foram dispostos.

Ao atingir a profundidade de 5 metros, o material foi retirado pelo amostrador da perfuratriz e imediatamente transferido para uma lona de PVC (2x2 metros) ou um tambor do tipo de lixo da COMLURB (tal procedimento dependerá do operador da máquina). Posteriormente, uma transferência desta primeira deposição foi realizada para o local de deposição do material, como pode ser visualizado nas Figura 3.5 e Figura 3.6, de forma a evitar a mistura e contaminação entre o material coletado e o de cobertura do aterro. O pH e a temperatura dos resíduos retirados de cada profundidade foram determinados imediatamente após a sua coleta. Após a retirada do material de cada ponto, este

foi homogeneizado e deles retiradas manualmente amostras para as análises em laboratório.



Figura 3.5 - Extração de amostras



Figura 3.6 - Coleta de amostras

Para cada profundidade de cada poço foram obtidos dois tamanhos de amostras, a saber: uma em quantidade maior para a avaliação da composição gravimétrica e outra, de menor volume com aproximadamente 5 kg, que foi armazenada em sacos plásticos em freezer até o procedimento das análises laboratoriais (Figura 3.7).

Não foi possível determinar uma das propriedades geotécnicas, a massa específica *in situ* pois é necessário não apenas a quantificação da massa de resíduo em uma determinada porção amostrada, mas também do volume ocupado por esta massa. Esta última unidade não foi obtida, pois durante a cravação o material é desagregado e compactado dentro da cesta (“*junk basket*”), descaracterizando o volume real *in loco*.



Figura 3.7 – Amostras

### 3.2 Furo de Sondagens

Ao final da campanha de amostragem foram realizados cinco furos de sondagens, totalizando vinte e uma amostras. Na maioria dos furos a profundidade máxima atingida pela perfuratriz foi de 20 metros, isto decorrente das dificuldades técnicas em operar este tipo de material. Segue abaixo a listagem dos furos e suas respectivas profundidades coletadas, segundo a ordem cronológica de extração:

#### 1. Furo 128C:

A coleta foi realizada no dia 6 de novembro de 2012. As profundidades alcançadas foram de 5 m, 10 m, e 15 m. A perfuração foi iniciada às 13:40 horas, sendo que o tempo decorrido para atingir os primeiros 5 metros foi de 28 minutos. A segunda profundidade foi alcançada após 56 minutos. Às 15:20, 1 h e 37 minutos do início das atividades, chegou-se aos 15 metros, sendo nesta

profundidade retirada a última amostra, visto que passados 20 minutos, a perfuratriz conseguiu atingir o máximo de 16 metros. As condições climáticas registradas na estação do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) na estação OMM 83743, com localização geográfica -22,89° latitude, -43,18° longitude e altitude de 11,10 m, foram: precipitação de 0 mm; temperatura máxima e mínima, respectivamente de 29,6 e 22,7 °C; e umidade relativa média de 76,25 %.

## 2. Furo 131:

Coleta realizada no dia 26 de março de 2013, com profundidades alcançadas de 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, e 30 m. As condições climáticas foram de chuvisco a chuva, com registro de: precipitação de 19,4 mm; temperatura máxima e mínima, respectivamente de 26,5 e 22,5 °C; e umidade relativa média de 85,5 %. Às 8:00 horas deu-se o início da perfuração, transcorrido o tempo de 10 minutos foi atingido os 5 metros de profundidade. Com 25 minutos foi alcançado 10 metros de profundidade. Aos 48 minutos a amostra de 15 metros foi retirada. Às 9:10 horas avançou até os 20 metros. Às 9:30 horas o material de 25 metros foi obtido e por fim as 10:15 horas o resíduo de 30 metros de profundidade removido. Esta foi à maior profundidade alcançada, tentando um maior avanço, mas sem sucesso;

## 3. Furo 134B:

Coleta realizada no dia 4 de abril de 2013, com profundidades alcançadas de 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, e 30 m. As condições climáticas registradas foram: precipitação de 0 mm; temperatura máxima e mínima, respectivamente de 31,8 e 25 °C; e umidade relativa média de 79 %. Às 7:40 horas deu-se o início da perfuração, as 8:10 horas foi atingido os 5 metros de profundidade. Alcançados os 10 metros de profundidade às 8:30 hrs. No tempo transcorrido de 1 h e 20 minutos a amostra de 15 metros foi retirada. Às 9:30 horas avançou até os 20 metros. As 9:38 horas a maquina parou com problemas na broca, voltando a operar as 11:13 horas. Contudo, após 14 minutos foi necessário a drenagem do poço, para tal trocou-se a “broca” para promover a retirada do chorume, como visto na Figura 3.8. Passado 25 minutos, novamente foi feita a troca das brocas e reiniciou o processo de perfuração. Contudo, 12:15 horas foi

encerrado a processo de perfuração, visto a dificuldade do avanço com a profundidade;

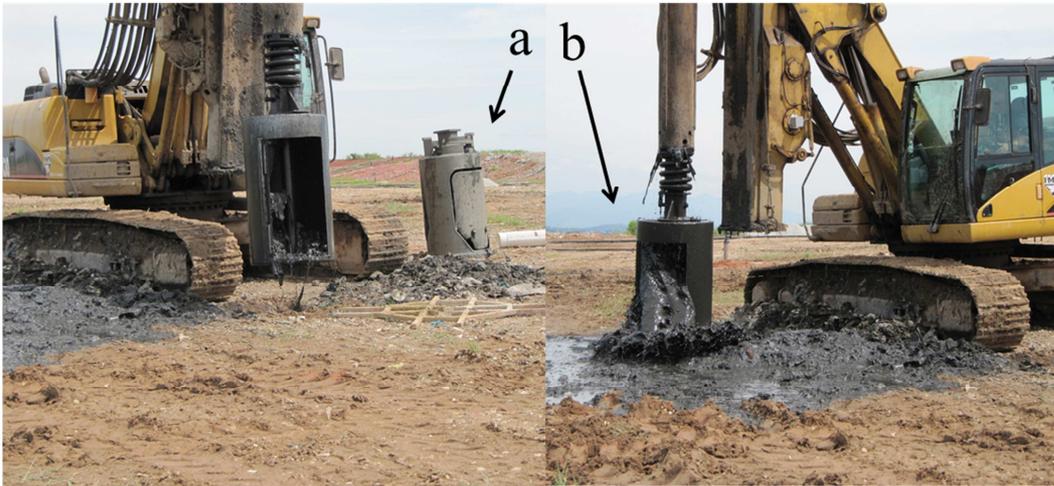


Figura 3.8 – Drenagem de chorume no poço de perfuração

#### 4. Furo 302:

A coleta realizada no dia 5 de abril de 2013, teve as seguintes profundidades alcançadas de 5 m, 10 m, 15 m, e 20 m. O início do furo ocorreu apenas às 11 horas, atingindo a profundidade de 5 metros após 28 minutos. Aos 45 minutos foi retirado o material de 10 metros, onde neste momento a coleta se deu sob chuva (intensa). Às 11:52 horas avançou até os 15 metros (com “garôa”). Às 12:30 horas o material de 20 metros, onde novamente foi coletado com chuva (intensa). Às 12:34 horas a máquina parou, voltando as atividades após 8 minutos. Passado mais 8 minutos ocorreu outra parada para troca da broca, visto o nível elevado do chorume. A retirada do fluido se estendeu por 35 minutos. Novamente, foi modificada a broca, para que fosse continuada a perfuração. Contudo, houve um alcance apenas de mais 2 metros transcorrido o tempo de 1 hora. Assim, o furo foi finalizado as 15:00 horas. As condições climáticas foram de chuvisco a chuva, com registro de: precipitação de 8,4 mm; temperatura máxima e mínima, respectivamente de 29,8 e 23,5 °C; e umidade relativa média de 77 %;

#### 5. Furo 161:

No dia 11 de abril de 2013 foi realizada uma coleta onde as profundidades alcançadas foram de 5 m, 10 m, 15 m, e 20 m. O furo teve início às 10:55

horas. No decorrer de 25 minutos foi obtido o material de 5 metros. Após 46 minutos alcançou-se a profundidade de 10 metros. Às 12:00 horas chegou-se as 15 metros. Finalizou-se o furo com a profundidade de 20 metros às 12:40 horas. As condições climáticas registradas foram: precipitação de 0 mm; temperatura máxima e mínima, respectivamente de 32,4 e 24,5 °C; e umidade relativa média de 68 %.

A localização geográfica destes furos, no aterro de Gramacho, pode ser vista na Figura 3.9.



Figura 3.9 – Localização geográfica dos furos de sondagem

### 3.3 Determinação das propriedades físicas dos RSU em campo

#### 3.3.1 Temperatura

Imediatamente após a retirada do material de cada profundidade de cada furo, um termômetro tipo espeto digital, da marca Incoterm, era introduzido na massa de resíduos (Figura 3.10) com objetivo de aferir a temperatura do material, por medição direta.

Somente no primeiro furo de sondagem, 128C, essa determinação foi feita utilizando-se um termômetro de mercúrio de vidro, que foi trocado tendo em vista

o elevado tempo requerido para a equalização da temperatura, da ordem de 5 minutos.



Figura 3.10 - Propriedade física *in situ* – Temperatura

### 3.3.2 Potencial hidrogeniônico (pH) *in situ*

Imediatamente após a retirada do material de cada profundidade de cada furo, o material úmido retirado dos poços foi colocado em contato com fitas indicadoras de pH (fitas indicadoras universais de pH de 0 – 14, da marca Merck) para determinação deste parâmetro (Figura 3.11).



Figura 3.11 - Propriedades físicas *in situ* – Temperatura e pH

### **3.4 Armazenamento e transporte de amostras para análise em laboratório**

Após homogeneização do material retirado de cada profundidade de cada um dos furos citados, 3 a 4 réplicas foram amostradas, acondicionadas em sacos plásticos pretos em amostras de aproximadamente 5 kg, retirando-se o excesso de ar, com o uso de uma bomba de vácuo, e reservadas, em freezer, até o procedimento das análises. A maior parte dessas análises foi feita no LGMA/PUC-Rio. Outra amostra de maior volume de cada um dos pontos coletados foi acondicionada em tonéis de plástico rígido de 60 litros (como apresentado na Figura 3.7), que foram fechados e encaminhados para análise da composição gravimétrica no Laboratório da Usina de Triagem da COMLURB, em Jacarepaguá.

### **3.5 Determinação das propriedades físicas dos RSU em laboratório**

Para a determinação das propriedades físicas dos RSU foi montado um Laboratório de apoio de Campo na área do AMJG, onde foram instalados um congelador horizontal com capacidade de 519 L, temperatura de -18 °C, da marca Consul; duas estufas de secagem, um forno mufla com temperatura até 1200 °C e duas balanças, uma sendo o modelo AL 500C, com capacidade máxima de 500 g e sensibilidade de 0,001 g, e outra de modelo MA 30K, com capacidade máxima de 30 kg e sensibilidade de 0,1 g, ambas da marca Marte Científica.

#### **3.5.1 Teor de Umidade**

A determinação do teor de umidade das amostras reservadas foi realizada conforme o procedimento adotado pela norma brasileira NBR 6457/86, no Laboratório Experimental no Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho, Duque de Caxias. Amostras de aproximadamente 5 kg foram homogeneizadas e alíquotas desse material separadas e pesadas em bandejas metálicas (Figura 3.12). Em seguida foram postas tanto em estufa a temperatura entre 60 a 65 °C e,

posteriormente, a 105 a 110 °C até a constância de massa (Figura 3.13). O teor de umidade (na base seca) nas duas condições foi calculado pela expressão:

$$w = \frac{M_i - M_f}{M_f} \times 100 \quad \text{Equação 3-1}$$

onde  $w$  é o teor de umidade [%];  $M_i$  é a massa da cápsula com resíduo no estado inicial, ou seja, úmido [g]; e  $M_f$  é a massa da cápsula com resíduo após a secagem, ou seja, seco [g].



Figura 3.12 - Determinação do teor de umidade



Figura 3.13 – Secagem do material em estufa

### 3.5.2 Composição Gravimétrica

Para esta análise foi utilizada a amostra de maior volume coletada dos poços de perfuração, representativa das características e propriedades de todo o material. As amostras, armazenadas em tonéis plásticos, foram encaminhada para a Usina de Triagem da COMLURB, em Jacarepaguá, onde o ensaio foi executado. O procedimento utilizado para a caracterização da composição gravimétrica dos resíduos foi o de seleção, classificação, separação e determinação da massa dos componentes da massa de resíduo. Dessa forma, foi possível obter relação entre a massa de cada componente presente na amostra e a massa total. O objetivo deste procedimento consiste em separar os materiais de acordo com sua categoria (metais, plásticos, cerâmicos entre outros) e definir a massa de cada uma destas.

A metodologia empregada pela COMLURB consistiu na determinação da massa total de material, que era despejada sobre uma malha metálica com abertura de 2,5 cm (Figura 3.14) de onde foi retirada uma porção para a determinação da umidade. Em seguida, iniciou-se o processo de seleção dos materiais de mesma categoria, que foram dispostos em recipientes classificados. Ao final da separação, cada recipiente foi pesado separadamente para determinar a massa de cada categoria (Figura 3.15). Ao final da separação, o material de dimensões inferiores a 2,5 cm, que havia atravessado a malha, ficou depositado sobre uma superfície plana (Figura 3.16). Essa fração foi quantificada, nomeada de agregado fino e enviada para a determinação da distribuição granulométrica no Laboratório de apoio de Campo/AMJG e no LGMA/PUC-Rio.



Figura 3.14 – Separação gravimétrica



Figura 3.15 – Pesagem do material plástico



Figura 3.16 – Agregado Fino

### 3.5.3 Distribuição Granulométrica

A fração de agregado fino, resultante da separação realizada na COMLURB, foi armazenada em sacos plásticos, transferida para o Laboratório de apoio de Campo/AMJG, e seca em estufa a 60 °C até constância de massa. Em seguida, o material foi transportado para LGMA/PUC-Rio para as análises de distribuição granulométrica, que seguiram as prescrições da norma NBR 7181/84.

Esse procedimento foi empregado para todas as amostras coletadas no AMJG.

O material seco foi peneirado para a retirada de pedaços de vidro, pedras, plásticos e afins e, em seguida, submetido ao destorroamento. Como o agregado fino compreende todo resíduo com dimensão inferior a 2,5 cm, esse material fino não foi submetido, anteriormente, por um processo de classificação e separação de

categorias, sendo necessária uma catação prévia antes do destorroamento, pois esse procedimento pode ocasionar a quebrar suas estruturas.

Após o destorroamento, todo o resíduo seco ao ar foi submetido ao peneiramento na peneira de abertura de malha 0,42 mm (#40), dividindo a amostra em duas porções: a retida na #40 e a passante na #40. A fração que ficou retida na #40, de dimensões superiores a 0,42 mm foi utilizada para o peneiramento grosso e a parte passante na #40 para a sedimentação e o peneiramento fino. O jogo de peneiras utilizado na fase do peneiramento grosso possui as aberturas com as seguintes numerações: 7/8, 3/4, 3/8, 5/16, 1/4, 4, 8, 10, 20 e 40, a abertura diminui conforme a numeração aumenta.

O material retido na peneira #40 foi lavado, nesta mesma peneira, com água corrente para que todo o material fino agregado fosse removido, garantindo que o peneiramento grosso estaria sendo feito apenas com o material de dimensões desejadas. Então, o material retido e lavado foi posto em estufa a temperatura de 105 a 110 °C por 24 horas. Após secagem, o material foi submetido ao peneiramento grosso propriamente dito, seguindo o procedimento da norma.

A Figura 3.17 ilustra os materiais retidos em peneiras de diferentes aberturas de malha.

Para os ensaios de sedimentação, 50 a 70 gramas de cada amostra passante na peneira #40 foram misturadas a solução de hexametáfosfato de sódio, conforme recomendações da norma para solos. A concentração de hexametáfosfato foi utilizada conforme estabelecido, sem, contudo, avaliar se tal concentração promove com eficácia a dispersão do material. Ao transferir a mistura solo mais hexametáfosfato para uma proveta de 1000 ml, antes de completar-se o volume, foi necessário esperar que a espuma formada durante o anterior processo se dissolvesse, para não interferir no processo de leitura do densímetro (Figura 3.18 a).

Para o peneiramento fino, utilizou-se o material do ensaio de sedimentação, conforme descrito na norma.



Figura 3.17 – Destorroamento e peneiramento da fração grossa. (a) é o processo de destorroamento; (b) é o material retido na peneira #5/16; (c) é o material retido na peneira #4; (d) é o material retido na peneira #40.

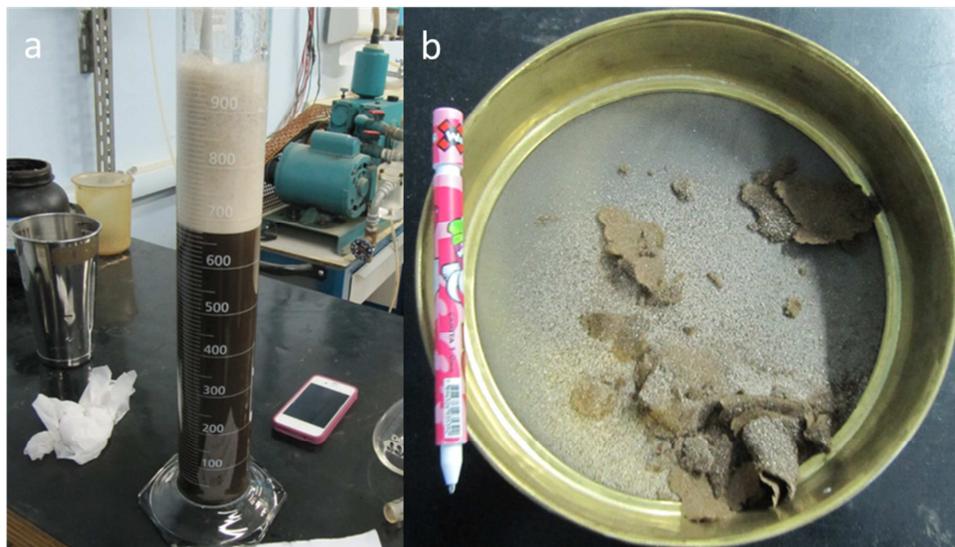


Figura 3.18 – Sedimentação e peneiramento fino. (a) é o material para a execução das leituras de sedimentação; (b) é o material retido na peneira #60, após o processo de sedimentação.

### 3.5.4 Densidade Relativa dos Grãos

Nesta determinação foram utilizados de 50 a 70 g do material passante na peneira #40. Empregou-se o método estabelecido pela norma NBR 6508/84 (Figura 3.19).



Figura 3.19 – Pesagem do material nos picnômetros e aplicação do vácuo

### 3.5.5 Separação do RSU para o ensaio de produção de gás em laboratório

No preparo do ensaio foram selecionadas amostras que haviam sido mantidas congeladas (3.4). Para cada ponto foram tomadas duas réplicas para análise. Após o descongelamento, o material foi separado em uma capela de exaustão, para que o processo fosse conduzido sob condições de segurança. Foi notado que em diferentes materiais quanto maior a umidade mais intenso era o odor.

O material foi separado em duas classes: fração inerte e fração “orgânica”, estas classes foram definidas conforme classificação de Libânio (2002), com algumas alterações, como a consideração de resíduos hospitalares e a inclusão da coluna de separação como esta apresentada na Tabela 3-1.

A fração orgânica sofreu o processo de peneiramento, em peneira de abertura de malha 9,52 mm. A fração do material retido nesta peneira foi submetida à trituração mecânica, com o auxílio de um triturador de alimentos (Philips RI7620). Materiais mais duros ou de difícil trituração, como madeiras, galhos e fibras de coco tiveram que ser triturados manualmente com tesouras de poda para jardim. Durante a realização da trituração mecânica, alguns cuidados na manipulação do material tiveram que ser levados em consideração, pois foi observado que ao submeter materiais de difícil trituração no equipamento citado, um ligeiro aquecimento pelo processo de rotação foi promovido, o que ocasionou em uma perda de umidade do material. Assim, esse método foi utilizado com moderação, em pequenos intervalos de tempo de trituração. Os pedaços foram

reduzidos até que pudessem passar pela peneira, com o objetivo de aumentar a sua superfície de contato e, com isto, acelerar sua degradação.

Após a trituração e peneiramento, o passante pela peneira foi homogeneizado e colocado em sacos plásticos contendo aproximadamente 100 g de material. Em seguida foram submetidos ao vácuo e armazenados em freezer. Os últimos procedimentos foram realizados no intuito de manter suas propriedades, afim de impedir tanto a perda de umidade quanto a degradação do material pelas bactérias que estão presentes no mesmo, onde ao permanecerem em temperaturas baixas o metabolismo destes microorganismos diminui e, conseqüentemente, a degradação do material também.

Tabela 3-1 - Segregação da composição gravimétrica do RSU

Definição	Grupo	Categoria	Exemplos	Separação
Identificável	Grupo III Inertes ou pouco biodegradável	Vidro	Embalagens, espelho, superfícies vítreas	Fração Inerte
		Metal ferroso	Arames, peças, lâminas	
		Metal não ferroso	Embalagens de alumínio, fios de cobre	
		Plástico fino	Sacos plásticos	
		Plástico duro	Garrafas, PET, tampas e embalagens plásticas	
		Entulho	Entulhos de construção civil, pedras	
		Outros	Material de higiene pessoal (fraldas, absorventes), palhas de aço, parafinas, drogas farmacêuticas, látex (borrachas, preservativos), peças de couro e derivados de petróleo (isopor, espuma)	
	Grupos II Lentamente biodegradáveis	Papel	Papel de escritório, jornais, revistas, embalagens de alimentos, papel higiênico	Fração Orgânica
		Papelão	Embalagens de papelão	
		Tetra Pak	Embalagens de sucos e leite	
		Tecidos	Roupas, trapos	
Madeira		Peças de madeira, mobílias		
Grupo I Rapidamente biodegradáveis		Matéria orgânica putrescível	Restos de alimentos, tecido animal morto	
	Podas	Folhas, galhos, restos da capina		
Não identificável (> 2,5 cm)	Material particulado de difícil identificação		Material orgânico e inertes úmidos e miúdos, grãos de solo, todos intimamente misturados	

### 3.5.6 Teor de Matéria Orgânica

O procedimento foi baseado na norma NBR 13600/1996. Considera-se que a quantidade de matéria orgânica total existente na amostra é a diferença entre a massa da amostra inicial seca em temperatura entre 105 e 110 °C e a massa da amostra após queima em mufla em temperatura entre 440 e 445 °C.

O material orgânico armazenado em freezer, conforme item (3.5.5), é descongelado e colocado em cápsulas de alumínio (previamente pesadas e identificadas), em seguida há a secagem inicial em estufa sob temperatura de 105 a 110 °C. Ao obter a constância de massa, a amostra foi transferida para cadinhos de porcelana, previamente pesados e identificados (Figura 3.20). Em seguida foram introduzidos na mufla a temperatura entre 440 a 445 °C por um período de 5 horas. O teor de matéria orgânica foi definido pela diferença de massa no início e no final do ensaio:

$$MO = \left(1 - \frac{B}{A}\right) \times 100$$

Equação 3-2

onde *MO* é o teor de matéria orgânica [%]; *A* é a massa da amostra seca em estufa [g]; e *B* é a massa da amostra queimada em mufla a 440 °C [g].



Figura 3.20 – Teor de M.O.

### 3.5.7 Teor de Sólidos Voláteis

O teor de sólidos voláteis (SV) é usado no controle de plantas de tratamento biológico, isto porque fornece uma aproximação grosseira da quantidade de matéria orgânica presente na fração sólida do resíduo sólido urbano.

O procedimento para a determinação desse parâmetro foi baseado na metodologia de WHO (*Standard Methods* 2540G). Para o aproveitamento do material, a massa remanescente da determinação do teor de MO foi reintroduzida em mufla a temperatura de 500 a 550 °C, por 4 horas, para a re-queima e o cálculo do teor de SV realizado, levando em consideração o valor de massa seca em temperatura de 105 a 110 °C.

O valor de sólidos voláteis (SV) é calculado da seguinte forma:

$$SV = \left( \frac{P_1 - P_f}{P_1} \right) \times 100 \quad \text{Equação 3-3}$$

onde  $P_1$  é a massa inicial da amostra seca em estufa a 105 °C [g]; e  $P_f$  é a massa final da amostra queimada em mufla a 550 °C [g].

A Figura 3.21 mostra a fração de material orgânico após o processo de queima a 550 °C.



Figura 3.21 – Teor de SV

### 3.5.8 Teor de Lignina

A lignina é representativa da fração da matéria orgânica de biodegradação mais difícil e lenta. O procedimento foi baseado na metodologia de Chandler *et al.*

1980, citado por Laquidara *et al.* (1986). Uma massa de aproximadamente 3 g de massa orgânica, preparada conforme descrito no item separação do RSU, foi inicialmente colocada em um cadinho de porcelana que, em seguida foi levado para a estufa a temperatura de 105 a 110 °C, até constância de massa. Posteriormente, para a reação de hidrólise foi adicionado 3 mL de ácido sulfúrico a 72 %, de maneira a manter o material completamente coberto pela solução por 3 horas. Após este período, foi adicionada água destilada até o volume máximo do cadinho para encerrar a reação. Ao final, o conteúdo do cadinho foi separado por meio de filtração à vácuo em filtro de fibra de vidro (marca Schleicher & Schuell, modelo GF 30-AH com diâmetro de  $110 \pm 1$  mm). A Figura 3.22 apresenta o sistema para a filtração do material após acidificação.

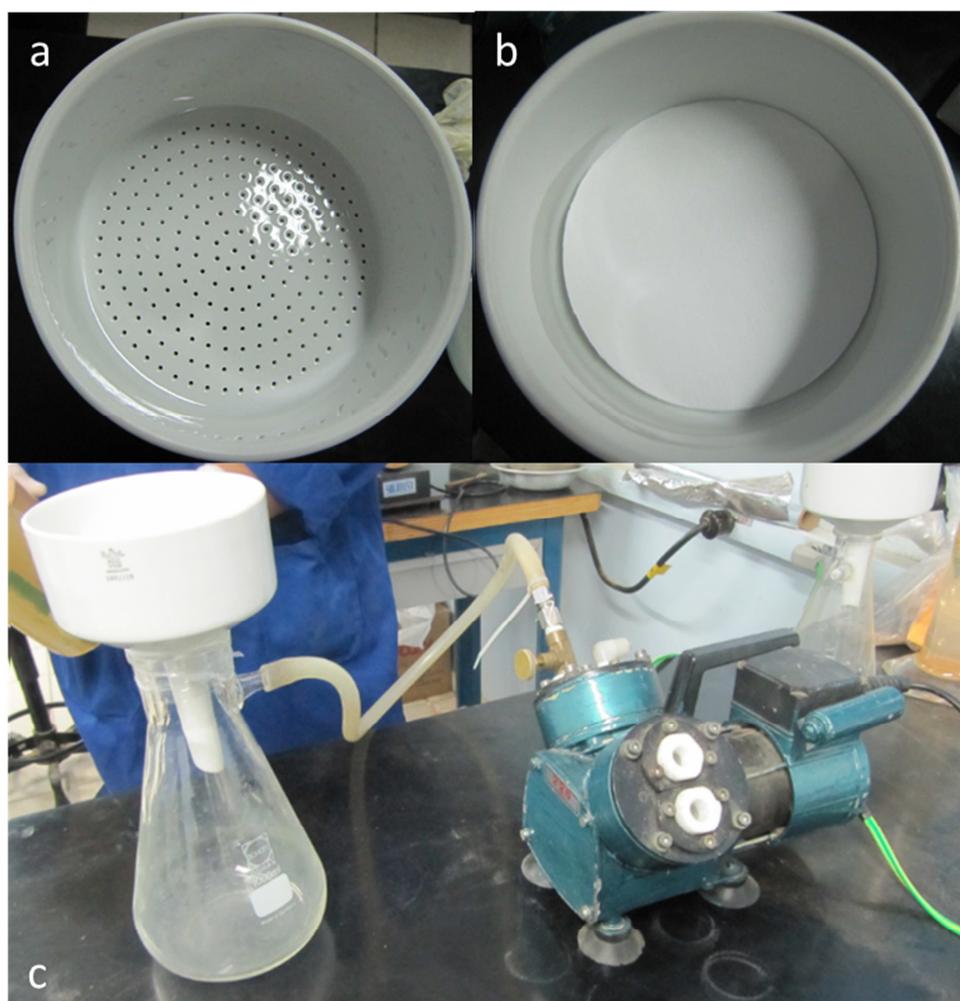


Figura 3.22 – Sistema para determinação do teor de lignina. (a) é o filtro de porcelada; (b) é o filtro de fibra de vidro; e (c) é o sistema de filtração à vácuo.

A lignina solúvel, equivalente a fase líquida ou seja a porção passante no filtro, não foi quantificada. Somente a fração correspondente à lignina insolúvel foi determinada. Para isso, após o procedimento de filtração o material retido foi lavado, passando aproximadamente 900 mL de água destilada pelo filtro. Depois de lavado o material retido no filtro foi raspado e transferido para um cadinho de porcelana (Figura 3.23). O conjunto foi primeiramente submetido à secagem em estufa a 105 °C, para, em seguida, ser colocado na mufla em temperatura de 550 °C, por 4 horas, até constância de massa.

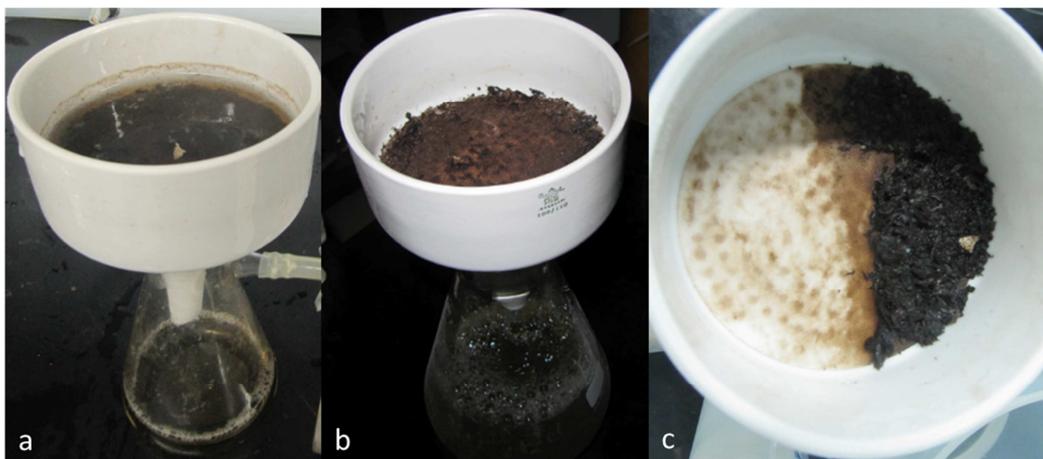


Figura 3.23 – Processo de filtração e lavagem. (a) é o material após acidificação em processo de filtração; (b) é o material após acidificação e filtrado; (c) é o material após acidificação, lavagem e nova filtração.

A Figura 3.24 mostra a massa orgânica em diferentes etapas do processo de determinação o teor de lignina.

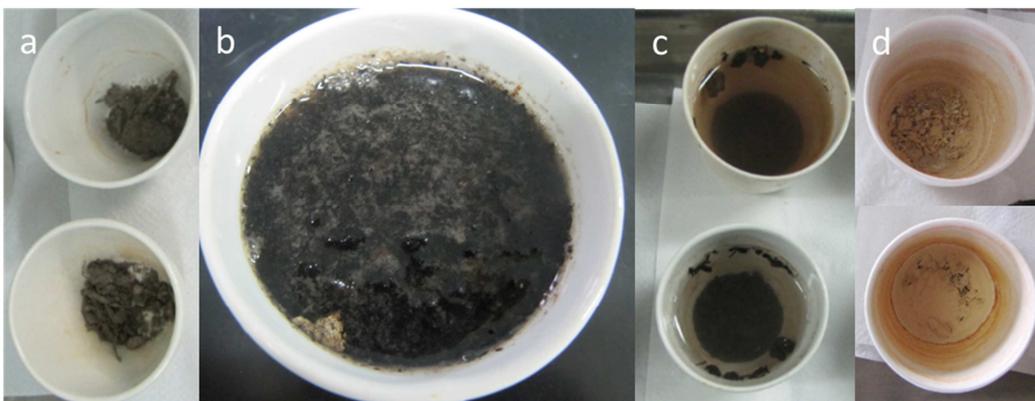


Figura 3.24 – Processo de acidificação e filtração para determinação do teor de lignina. (a) é a amostra de resíduo seco a 110 °C; (b) é a amostra com ácido sulfúrico; (c) é a amostra após filtração; e (d) é a amostra após calcinação a 550 °C.

O valor de lignina insolúvel corresponde ao material volatilizado durante a queima, sendo calculado da seguinte forma:

$$LG = \left( \frac{P_x - P_z}{P_1} \right) \times 100 \quad \text{Equação 3-4}$$

onde  $P_1$  é a massa inicial da amostra seca em estufa antes da adição da solução ácida [g];  $P_x$  é a massa da amostra hidrolisada com ácido sulfúrico e seca em estufa a 110 °C [g]; e  $P_z$  é a massa final da amostra hidrolisada com ácido sulfúrico e queimada em mufla a 550 °C [g].

### 3.5.9 Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado por potenciometria, segundo as recomendações da EMBRAPA-CNPS. O processo consiste em homogeneizar uma amostra de resíduo com água destilada na proporção de 1:2,5 em massa (uma parte de resíduo para duas partes e meia de água destilada, relação massa/volume), com auxílio de um bastão de vidro. A aferição do pH é realizada após o repouso da mistura em temperatura ambiente por 1 hora. A determinação do valor do pH foi feita por medição direta pela introdução de uma sonda para pH com o potenciômetro, modelo PH-206, da Marca Lutron Electronic Enterprise, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0, respectivamente.

Para esta determinação foi utilizado o material orgânico previamente separado conforme descrição do item (3.5.5).