

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICOS E DE DEGRADABILIDADE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DO SALVADOR

Átila Caldas Santos¹
Érica Moura Barreto²
Miriam de Fátima Carvalho³
Sandro Lemos Machado⁴

RESUMO: *Este trabalho apresenta de forma sucinta os métodos utilizados pelo Laboratório de Geotecnia Ambiental da UFBA (Geoamb) para determinação de parâmetros físicos (teor de umidade, composição gravimétrica, análise granulométrica e peso específico das partículas sólidas) e de degradabilidade (sólidos totais voláteis e teor de lignina) dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) da cidade do Salvador que são coletados e dispostos adequadamente em células no Aterro Sanitário Metropolitano Centro (ASMC). Realizou-se amostragens em diferentes épocas, sendo as amostras denominadas de Resíduos Novos (RN) precedidas do mês e ano de coleta. Os resultados obtidos mostraram uma variação no teor de umidade dos diversos resíduos, apresentando variações em sua composição gravimétrica por conta do efeito da degradação sofrida pelos diferentes constituintes, o que também interfere diretamente nos resultados de STV obtidos e nos outros parâmetros estudados. Para os resíduos estudados, obteve-se curvas granulométricas que estão dentro da faixa granulométrica fornecida pela literatura. A determinação do peso específico das partículas sólidas é feita com base em conceitos clássicos da mecânica dos solos. Faz-se comparações com parâmetros publicados na literatura técnica especializada, com vistas para uma análise dos procedimentos empregados pelo Geoamb.*

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos; Caracterização de resíduos; Biodegradabilidade.

1- INTRODUÇÃO

Atualmente a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) tem aumentado consideravelmente, como resultado das atividades humanas e intenso crescimento populacional. A disposição final adequada é um problema enfrentado pela grande maioria dos países. Exige-se cada vez mais desenvolver soluções alternativas e aperfeiçoar técnicas de manejo dos resíduos sólidos de forma a obter práticas mais sustentáveis, ambientalmente corretas e que não configurem ameaças à saúde pública.

Os RSU são constituídos de diversos componentes, como metal, madeira, vidro, papel, plásticos, resíduos orgânicos, dentre outros. A composição numa cidade varia em função das condições econômicas e nível de educação, hábitos e costumes da população. Atualmente, com programas de coleta seletiva e coleta informal por catadores autônomos, muitos materiais recicláveis (garrafas pet, latinhas de alumínio e papelão) não estão sendo encaminhados ao descarte final. Isso se tem tornado uma prática comum na cidade de Salvador.

O conhecimento das propriedades físicas (composição, umidade, tamanho de partículas,

¹ Estudante de Iniciação científica - UFBA; e-mail: atilaeng@hotmail.com; Autor

² Estudante de Iniciação científica - UFBA; e-mail: kekabarreto@gmail.com; Co-Autora

³ Prof. Dr Universidade Católica do Salvador; e-mail: miriam@ucsal.br; Orientadora

⁴ Prof. Dr Universidade Federal da Bahia; e-mail: smachado@ufba.br; Co-orientador

peso específico) e mecânicas (compressibilidade e resistência) dos resíduos é de grande importância para entendimento do comportamento geomecânico dos aterros sanitários, locais onde estes resíduos são depositados aplicando técnicas de engenharia. Ao longo do tempo, os materiais orgânicos depositados nos aterros sofrem degradação gerando efluente líquidos e gases, que se não receberem tratamento adequado podem provocar alterações no meio ambiente. Este artigo apresenta um estudo sobre a determinação de parâmetros físicos (teor de umidade, composição gravimétrica, análise granulométrica e peso específico das partículas sólidas) e de degradabilidade (sólidos totais voláteis e teor de lignina) dos RSU que chegam ao ASMC.

2- MATERIAIS E MÉTODOS.

Um total de dez amostras de Resíduos Novos (RN) foi estudado. Estas amostras foram coletadas em diferentes épocas na frente de lançamento do aterro, sendo oriundas da Estação de Transbordo de Canabrava que recebe a maior parte dos RSU de Salvador. A coleta foi realizada com auxílio de uma escavadeira, coletando-se cerca de 200 litros de resíduos em duas carretas, os quais foram dispostos sobre uma manta plástica onde se procedeu com o processo de homogeneização e quarteamento do material. Retirou-se cerca de 60 kg e acondicionou-se em tambores metálicos, levando-os, imediatamente, para o laboratório de campo, coletando-se também cerca de 15kg de resíduos para determinação da umidade global. Em regime de mutirão, os diversos componentes foram separados em 9 categorias: papel/papelão, plástico/isopor, borracha, metal, madeira/osso, vidro, pedra/cerâmica, têxtil e fração pastosa. Entende-se por fração pastosa os materiais orgânicos (frutas, restos de alimentos) facilmente degradáveis e moderadamente degradáveis e materiais que não são identificados e/ou não são possíveis de serem separados em outras categorias. Em seguida os materiais foram pesados e colocados em estufa a 70°C, onde permanecem até constância de massa, e após secos, encaminhados ao Geoamb para realização dos ensaios.

O teor de umidade foi determinado para cada componente bem como para o conjunto (umidade do lixo como um todo), tratado aqui como umidade global, devido às características particulares dos diferentes componentes presentes no resíduo. Vale ressaltar que o teor de umidade global é calculado sob duas formas distintas, uma obtida de amostras de RSU in natura retirados na frente de lançamento e a outra calculada a partir das massas de água e de resíduo proveniente da composição gravimétrica (valores de umidade de cada componente do lixo). A umidade pode ser expressa em base seca ($w_{BS}=M_w/M_s$), quando definida como a relação de massa de água e a massa seca do resíduo ou pode ser expressa em base úmida ($w_{BU}=M_w/M_h$), quando definida em relação a massa de água e a massa úmida do resíduo. Não há consenso entre os pesquisadores em se utilizar uma ou outra forma de determinação e, em muitos trabalhos técnicos não é indicada a base de cálculo, dificultando ou até inviabilizando a comparação de dados. Conhecendo-se o teor de umidade em uma determinada base, pode-se facilmente transformá-la em outra base através da formulação ($w_{BU}=w_{BS}/(1+w_{BS})$).

Após a secagem de todos os constituintes pode-se determinar a curva granulométrica do resíduo, por meio da passagem do material por uma série de peneiras pré-selecionadas (com aberturas de malhas de 101; 88,9; 76,2; 44,4; 31,7; 25,0; 11,2; 6,3; 4,75; 2,0; 1,4; 1,0; 0,71; 0,355; 0,25; 0,18; 0,125; 0,090 e 0,075mm) e medida direta, com a trena, dos componentes com dimensões maiores que 101mm. Assim, obtiveram-se a percentagem das partículas que passavam em cada peneira, possibilitando o traçado da curva representativa dos diâmetros dos componentes.

Posteriormente ao ensaio de peneiramento da fração pastosa, a mesma é quarteada até obter cerca de 1000g e devidamente triturada, a fim de reduzir o tamanho das partículas, aumentando a superfície específica. Inicialmente triturou-se a amostra em um moinho, passando-se em seguida na peneira de abertura 0,071mm. O material retido foi disperso em um liquidificador com água para facilitar o processo de redução do tamanho das partículas e em seguida secado em estufa a 70°C. O material seco foi destorroado e em seguida misturado com o material que passou na peneira 0,071mm, compondo-se a amostra a ser utilizada nos ensaios de STV, teor de lignina e peso específico das partículas sólidas.

Pequenas quantidades da fração pastosa triturada (cerca de 30g) foram colocadas em cadinhos de porcelana e levada à estufa a 70°C por uma hora e depois calcinada em mufla a 600°C por duas horas. O valor dos sólidos totais voláteis (STV) é determinado pela diferença entre a massa da amostra após secagem na estufa (material inerte + não inerte) e na mufla (material inerte).

O procedimento de determinação do teor de lignina é fundamentado no procedimento proposto por Hatfield et al (1994), em que as percentagens de ocorrência de celulose e hemicelulose presentes na amostra podem ser convertidas em açúcares quando submetidas a dois estágios de hidrólises ácidas. Um estágio é a lavagem da amostra com solução 2:1 de tolueno + etanol a 95% para remoção dos lipídios e com ácido sulfúrico (H₂SO₄) a 72% caracterizando a hidrólise primária. A hidrólise secundária se dá pela diluição de 28 vezes da amostra. Após a realização das hidrólises ácidas, o remanescente consiste em materiais orgânicos (sem hemicelulose ou celulose) e inorgânicos. Assim, o material resultante das lixiviações é submetido a um ensaio de STV e os voláteis calculados pelo calcinamento são considerados lignina.

O peso específico das partículas sólidas do resíduo é realizado segundo a norma NBR 6508 – Determinação da massa específica dos grãos que passam na peneira 4,8mm, utilizando-se uma amostra representativa do resíduo (amostra resultante da umidade global ou amostra resultante do trituração da fração pastosa). O procedimento de ensaio utilizado para a fração pastosa e para a amostra global é o mesmo, diferindo apenas na composição da amostra. A amostra utilizada para determinação da umidade global foi quarteada de forma a obter uma quantidade representativa. Em seguida, a amostra quarteada passou pelo processo de trituração manual para se obter frações bem menores de cada constituinte, que serão mais facilmente transferidas para o picnômetro, além de facilitar a retirada do ar que preenche os vazios. Após a trituração, faz-se a secagem da amostra em estufa a 70°C e quantificação da massa seca a ser utilizada no ensaio. A massa seca foi transferida para o picnômetro e adicionou-se água destilada até a metade do recipiente. O conjunto foi pré-aquecido e levado à bomba de vácuo para retirada do ar do sistema, aplicando uma pressão negativa na ordem de 70mmHg. Após uma primeira retirada de ar, completou-se com água destilada até o nível adequado no “gargalo do picnômetro” retirando novamente o ar do conjunto. Mediu-se a temperatura após estabilização e determinou-se a massa do conjunto ($M_1 = Pic + sólidos + água$). Através da curva de calibração do recipiente determinou-se, para a mesma temperatura de ocorrência do ensaio, a massa do picnômetro com água ($M_2 = Pic + água$). Com os dados determinou-se a massa específica do resíduo para uma temperatura de 20°C, por meio da equação 1.

$$\rho_s = \frac{M_s}{M_s + M_2 - M_1} \cdot \frac{\rho_w(T^\circ C)}{\rho_w(20^\circ C)} \quad (1)$$

3- RESULTADOS E ANÁLISES

Na Tabela 1 são apresentados os teores de umidade, em base seca, de cada componente para as diferentes amostragens e também os valores médios obtidos por componente, desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 1 - Teor de umidade em base seca de cada componente dos resíduos novos coletados.

Teor de umidade – Base seca (%)									
Amostras	Madeira	Pedra/cerâmica	Têxteis	Borracha	Plástico	Vidro	Metal	Papel/papelão	Fração pastosa
RN01/04	44,4	13,0	121,6	62,5	67,5	2,5	17,7	94,3	162,20
RN09/04	73,8	17,8	100,6	13,8	59,6	0,2	9,7	143,00	112,00
RN03/05	41,5	9,4	119,3	11,8	72,6	1,00	21,1	78,80	127,30
RN09/05	61,63	10,66	123,62	2,50	45,22	0,15	8,48	163,53	133,71
RN03/06	60,05	11,99	98,75	16,86	97,38	0,55	33,05	126,64	144,53
RN10/06	114,31	12,34	181,80	19,18	39,85	1,97	34,57	127,15	96,96
RN03/07	54,06	14,38	113,28	25,00	121,24	2,20	26,35	144,36	163,49
RN09/07	133,25	19,98	122,04	45,13	*271,06	4,63	31,12	175,18	146,00
RN03/08	120,97	9,76	61,29	12,50	49,07	0,00	18,22	135,38	179,72
Média	78,22	13,26	115,81	23,25	69,06	1,47	22,25	132,04	140,66
Des.Padrão	35,11	3,6	31,63	18,86	27,9	1,52	9,68	30,51	26,25
Coef. Var.	0,45	0,27	0,27	0,81	0,40	1,03	0,43	0,23	0,19

*Valor excluído no cálculo da média do teor de umidade devido à problemas de temperatura da estufa.

De acordo com a Tabela 1, observa-se que o teor de umidade de cada componente varia consideravelmente. Os componentes que possuem menor capacidade de absorção de água, tais como vidro, pedra/cerâmica, metal e borracha, foram os que apresentaram os menores valores de teor de umidade, ficando os maiores valores, por conta dos têxteis, papel/papelão e a fração pastosa que apresentam médias maiores que 100% em consequência de suas maiores capacidades de absorção de água. Vale ressaltar que nas duas últimas amostragens RN09/07 e RN03/08, setembro de 2007 e março de 2008, respectivamente, a madeira apresentou um teor de umidade bastante elevado quando comparado com as amostragens anteriores, provavelmente devido à ocorrência de compensado e casca de coco nessas amostragens. O teor de umidade médio encontrado para a fração pastosa é de 141%, apresentando variações de 97 a 179%, muito provavelmente devido à presença da maior ou menor quantidade de componentes que apresentam em sua composição grande quantidade de água, tais como verduras, frutas e restos de alimentos. Na literatura, Knochenmus et al. 1998 e Landva & Clarck 1990 apontam teores de umidade inferiores a 10% para os plásticos, enquanto que para amostragens realizadas, o valor médio está em torno de 69%, conforme Tabela 1, o que mostra um valor muito superior aos encontrados na literatura. Acredita-se que os altos valores encontrados podem estar relacionados à presença de outros materiais aderidos à sua superfície e difíceis de serem removidos durante a separação dos componentes.

Os teores de umidade global (base seca e úmida) obtidos para os resíduos novos estudados são apresentados na Tabela 02, sob duas formas distintas, uma obtida de amostras provenientes dos 15 kg de RSU in natura retirados da frente de lançamento e a outra calculada a partir das massas de água e de resíduo proveniente da composição gravimétrica (valores de umidade de cada componente do lixo). O resíduo estudado apresentou resultados de umidade dentro da faixa de grandeza apresentados na literatura nacional (CARVALHO 1999; JUCÁ et al 1997) e internacional (GABR & VALERO 1995; LANDVA & CLARK 1990; COUMOULOS *et al.* 1995). Os resultados apresentados na Tabela 02 mostram considerável variação nos teores de umidade para algumas amostragens realizadas, sendo, contudo, pequena a diferença observada nos valores médios obtidos nas duas formas de quantificação, o que indica ser pequena a perda de água por evaporação durante a etapa de segregação dos componentes.

Na Tabela 3 apresenta-se a composição média, desvio padrão e coeficiente de variação dos diversos componentes em base seca e úmida para os resíduos novos obtidos nas amostragens realizadas.

Tabela 02 - Teores de umidade global para o resíduo novo estudado

Amostras	Umidade Global (%) – Base seca		Umidade Global (%) – Base úmida	
	Amostras de RSU sem separação dos componentes	Via secagem individual de cada componente	Amostras de RSU sem separação dos componentes	Via secagem individual de cada componente
RN01/04	83,11	101,09	45,39	50,27
RN09/04	75,03	84,11	42,87	45,69
RN03/05	70,80	83,03	41,45	45,36
RN09/05	122,42	83,82	55,04	45,60
RN03/06	113,68	103,89	53,20	50,96
RN10/06	81,92	73,57	45,03	42,39
RN03/07	119,21	124,94	54,38	54,38
RN09/07	120,08	126,49	54,56	55,85
RN 03/08	90,29	110,82	47,45	52,57
Média Novo	97,39	99,08	48,82	49,23
Desvio Padrão	21,16	19,20	5,47	4,83
Coef. variação	0,22	0,19	0,11	0,10

Tabela 3 - Composição média, em base seca, obtida para o resíduo novo coletado na frente de lançamento do Aterro Sanitário Metropolitano Centro.

Componente	Porcentagem média - Base seca			Porcentagem média – Base úmida		
	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação	Média	Desvio padrão	Coef. variação
Madeira	5,28	2,94	0,56	3,98	2,68	0,67
Pedra / cerâmica	10,93	6,55	0,60	5,77	3,81	0,66
Têxteis	3,61	1,83	0,51	4,21	2,56	0,61
Borracha	0,35	0,38	1,08	0,22	0,23	1,06
Plástico	21,12	4,79	0,23	19,62	4,15	0,21
Vidro	4,02	1,58	0,39	1,89	0,66	0,35
Metal	3,15	1,67	0,53	1,57	0,74	0,47
Papel / papelão	16,69	5,63	0,34	19,51	4,65	0,24
Fração pastosa	34,91	5,13	0,15	43,21	6,09	0,14

Da Tabela 3 pode-se inferir que os componentes que apresentaram maior coeficiente de

variação foram a borracha, pedra/cerâmica, madeira e o metal, sendo que para a borracha este valor ficou acima da unidade e para os outros componentes próximo de 0,5.

Para efeito de ilustração, na Figura 1 apresenta-se uma comparação da composição física média, em base seca dos resíduos novos com resíduos dispostos no aterro com diferentes idades, 6 meses, 1 ano e 4 anos de aterramento. Os resíduos com 6 meses, 1 ano e 4 anos foram coletados e estudados em outras oportunidades pela equipe do Geoamb, sendo a coleta a trado para os resíduos de 6 meses e 1 ano de aterramento e coleta em cava para o de 4 anos. De acordo com a Figura 1 pode-se observar que o percentual médio da fração pastosa para o RN é significativamente menor quando comparado com aqueles obtidos de resíduos já dispostos no ASMC. Para os resíduos aterrados, à medida que o tempo passa, materiais como papéis/ papelão, madeira e solo de cobertura vão sendo incorporados na fração pastosa em virtude da dificuldade de separação e decomposição dos componentes, aumentando de forma considerável a porcentagem da fração pastosa do resíduo após algum tempo de aterrado. No RN tem-se uma separação bem apropriada de cada uma destas frações, além disso, o resíduo não entra em contato com solo de cobertura. Esses fatores afetam de forma notável a contabilização da pasta e matéria orgânica presente na pasta e também da fração papel. A contabilização total da matéria orgânica dos resíduos de diferentes idades (incluindo a matéria orgânica de componentes como madeira, papel, etc.) será apresentada e discutida posteriormente na análise da Tabela 5.

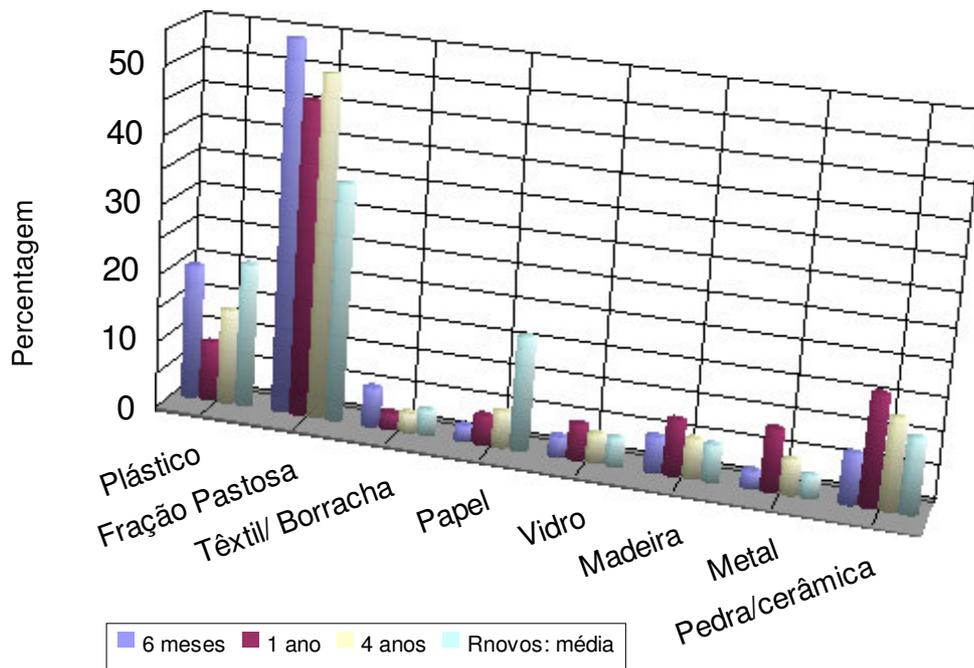


Figura 1 - Comparação da composição física média, em base seca, dos resíduos novos com resíduos de 6 meses, 1 ano e 4 anos de aterramento.

A Figura 2 ilustra as curvas granulométricas obtidas para os diferentes RN para as amostragens realizadas, bem como a faixa de ocorrência indicada por Jessberger (1994).

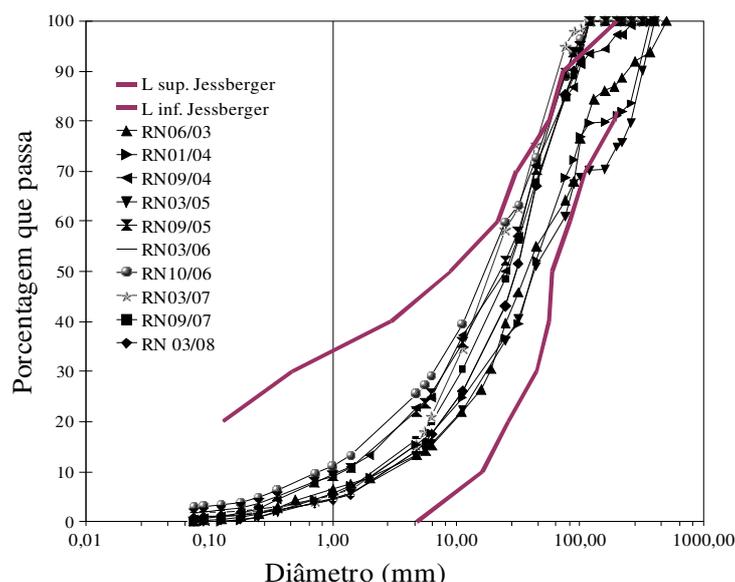


Figura 2 - Comparação entre curvas granulométricas obtidas para resíduo novo em dez campanhas de amostragem distintas.

Como pode ser visualizado na Figura 2, as amostras estudadas apresentaram curvas granulométricas dentro da faixa indicada por Jesseberger (1994).

Na Tabela 4 estão apresentados alguns resultados de ensaios de pesos específicos das partículas sólidas realizados para a amostra de resíduo global e para a fração pastosa.

Tabela 4 - Pesos específicos obtidos para os resíduos novos e com 4 anos de aterrados no Aterro Sanitário Metropolitano Centro.

Parâmetros	Resíduos Novos									4 anos	4 anos 07/06
	01/04	09/04	03/05	09/05	03/06	10/06	03/07	09/07	03/08		
Peso específico do RSU (kN/m ³)	-	-	16,67	18,56	17,29	19,27	-	17,06	-	22,22	20,34
Peso específico da fração pastosa (kN/m ³)	-	-	-	18,08	17,66	16,73	19,61	19,51	16,35	-	22,13

Observa-se na Tabela 4 que o peso específico quantificado para o resíduo novo é menor que aquele obtido para o resíduo com 4 anos de aterramento, provavelmente porque o resíduo aterrado apresentou materiais como solo de cobertura das células em sua composição.

A Tabela 5 apresenta os resultados de STV, teor de matéria orgânica e lignina obtidos para a fração pastosa dos resíduos novos estudados até o momento. Para efeito de comparação nesta tabela também estão apresentados os resultados obtidos para resíduos com 1 ano e 4 anos de aterramento.

Tabela 5 - Teores de STV, matéria orgânica e lignina para os resíduos estudados.

Resíduos	Fração Pastosa (%)	STV (%)	MO da fração Pastosa (BS)	Lignina (%)
RN 01/04	35,7	65,54	23,4	-
RN 09/04	36,41	47,43	17,27	-
RN 03/05	28,04	63,37	17,77	14,3
RN 09/05	37,99	56,70	21,54	27,70
RN 03/06	42,3	56,85	24,05	18,90
RN 10/06	36,39	43,15	15,70	12,90
RN 03/07	40,45	50,86	20,57	20,73
RN 09/07	33,66	55,84	18,80	20,09
RN 03/08	36,37	64,49	23,45	em ensaio
1 ano	46,2	28,70	13,3	-
4 anos	50,2	19,76	9,92	-
4 anos 07/06	31,23	23,2	7,25	10,5

A Tabela 5 permite inferir que para os RN o STV variou entre 43-65% e para os resíduos com 4 anos de aterramento, ficou em torno de 20%. No mesmo período de 4 anos, a matéria orgânica da fração pastosa apresenta um decaimento de cerca 50% do material biodegradável. O teor de lignina encontrado para o resíduo variou entre 13 a 27%. Segundo Barlaz (1997) para resíduo doméstico tem-se valores de cerca 10,5%, 43,8%, 32,6%, 23,9%, 2,3% para resíduos de alimentos, folhas, galhos, jornal e papel ofício, respectivamente.

4- CONCLUSÃO

Este artigo apresenta alguns dados de laboratório obtidos como parte integrante de um programa de pesquisa conduzido no ASMC, Salvador - Ba. Foram apresentados e discutidos dados de caracterização de amostras de resíduos novos, coletadas na frente de lançamento do ASMC. O resíduo apresenta altos teores de umidade (BS), em geral acima de 100%. Os componentes do RN que apresentaram maiores valores de umidade foram fração pastosa (141%), papel/ papelão (123%) e têxtil (123%). A composição média obtida das 10 amostras estudadas indica que a fração pastosa, os plásticos e papel/ papelão são os constituintes com maiores porcentagens de ocorrência.

Os resíduos novos apresentam valores STV médios em torno de 60% e teor de lignina médio cerca de 19%, após 4 anos de aterrado o STV médio cai para 20% e a lignina para 10%, isso mostra que em quatro anos de aterrado o resíduo sofreu considerável processo de degradação.

As informações obtidas consistem em uma importante contribuição para o tema, na medida em que não se possui grande quantidade de dados disponíveis em literatura, principalmente quando se refere ao RSU de Salvador.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm - Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro, 1984.

BARLAZ, M.A., Eleazer, W.E., Odle, W.S., Qian, X., Wang, Y-S, 1997. **Biodegradative analysis of municipal solid waste in laboratory-scale landfills**. EPA-600/SR-97/071, U.S. Env. Protection Agency.

CARVALHO, M.F., 1999. Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos. **Tese**, USP-SC, Brasil.

COUMOULOS, D. G.; KORYALOS, T. P.; METAXAS, I. L. & GIOKA, D. A. (1995). **Geotechnical Investigation at the Main Landfill of Athens**. Proceedings Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, October 1995, p.885 - 895.

GABR, M.A., VALERO, S.N., 1995. **Geotechnical Properties of Municipal Solid Waste**. Geotechnical Testing Journal, GTJODJ 18(2), 241-251.

HATFIELD, R.D; JUNG, H.J; RALPH, J; BUTON, D. R. (1994). **A comparison of the insoluble residues produced by the klason lignin and acid detergent lignin produces**. In: J. Set Food Agric, v. 65, p 51 – 58.

JESSBERGER, H. L. (1994). **Geotechnical Aspects of Landfill Design and Construction**. Part 1: Principles and Requirements. Proc. Instn Civ. Engrs Geotechnical. Eng., v.107, Apr.99 – 104.

JUCÁ, J. F. T.; CABRAL, J. J. P. S; MONTEIRO, V. E. D; SANTOS, S. M. & PERRIER Jr, G. S. (1997). **Geotechnics of a Municipal Solid waste Landfill in Recife, Brazil**. Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics, Almeida (ed), Balkema, Rotterdam, SBN9054108851, p.429 – 436.

KNOCHENMUS, G.; WOJNAROWICZ, M. & VAN IMPE (1998). **Stability of Municipal Solid Wastes**. In: Proc. of the Third International Congress on Environmental Geotechnics, Lisboa, Portugal, Sêco e Pinto (ed.), Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 006x, p. 977-1000.

LANDVA, A. O. & CLARK, J. I. (1990). Geotechnics of Waste Fill. Geotechnics of Waste Fills - Theory and Practice, ASTM STP 1070, Arvid Landva, G. David Knowles, editors, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990, p.86-103.