



### III-190 - AVALIAÇÃO DA PERDA DE MASSA E VOLUME EM LEIRAS DE COMPOSTO ORGÂNICO

**Sofia Regina Lopes**

Técnica Química – CEFET- MG, Geógrafa – PUC-Minas, Especialista em Tecnologia Ambiental – UFMG, Técnica em Laboratório da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte

**Cícero Antônio Antunes Catapreta<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, Mestre e Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG).

**Karla Garcia Tavares**

Bióloga da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Especialista em Meio Ambiente (UFMG). Coordenadora do Programa de Compostagem da SLU.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte – SLU/BH. Departamento de Tratamento e Disposição Final de Resíduos. Rodovia BR 040 – Km 531 – Jardim Filadélfia - Belo Horizonte – MG. Brasil - Tel: (31) 3277-9808 – e-mail: [catapret@pbh.gov.br](mailto:catapret@pbh.gov.br)

#### RESUMO

As questões relacionadas aos resíduos sólidos destacaram-se tomando uma dimensão global, diante das preocupações ambientais e os limites de sustentabilidade dos ecossistemas. Como soluções, surgem programas de reciclagens e reaproveitamento de resíduos sólidos dentro das políticas públicas, de forma equalizada, através da sensibilização e conscientização dos envolvidos. Nesse sentido, a compostagem de resíduos orgânicos pode ser considerada uma opção viável para as administrações municipais, pois envolve a reciclagem de parte dos resíduos gerados nos municípios, minimizando a quantidade a ser descartada em aterros sanitários. No entanto, existe uma carência de dados operacionais que norteiem a elaboração de projetos de sistemas de compostagem de forma que atendam à demanda dos municípios. Uma dessas carências, diz respeito à real perda de massa e volume ao longo do processo de compostagem e que pode influenciar diretamente o dimensionamento dos pátios de compostagem. Nesse sentido, esse trabalho, baseado no processo de compostagem adotado pela SLU, visou analisar e quantificar a perda em peso e volume em leiras de composto orgânico. Para realização desse estudo, foram montadas e monitoradas, durante um período de 120 dias aproximadamente, dez leiras de composto orgânico. Foram monitorados os parâmetros: temperatura, umidade, sólidos voláteis, pH e relação C/N. Os resultados indicaram uma redução média de 58 % do volume inicial do material compostado, decorrente provavelmente da decomposição e degradação biológica da matéria orgânica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos Urbanos, Lixo, Resíduo Orgânico, Reciclagem, Compostagem.

#### INTRODUÇÃO

O aumento da produção de resíduos é diretamente ligado ao crescimento populacional, ao desenvolvimento industrial e é intrinsecamente relacionado a vários fatores sociais e comportamentais (RESENDE, 1991). Ao associar o processo de urbanização com o consumo crescente de produtos menos duráveis ou descartáveis, observa-se a diversificação e um sensível aumento de seu volume.

A partir do conhecimento da produção e constituição destes resíduos, a determinação das características dos mesmos e o que potencialmente poderia ser produzido, fazem-se necessário o gerenciamento de forma integrada. Estudos de viabilidade, dentro do gerenciamento de resíduos sólidos, apontam para uma evidência quanto à redução do volume de resíduos depositados, priorizando a coleta seletiva da fração orgânica por meio da compostagem.

A compostagem é um processo biológico, o que evidencia a necessidade de controle de parâmetros intervenientes no processo, objetivando maximizar a degradação e total humificação do composto resultante (VILLANI, 1994). Nesse contexto, os procedimentos operacionais ganham destaque, pois a obtenção de um produto final de boa qualidade depende quase que exclusivamente dos métodos empregados.



Um dos parâmetros que podem exercer influência sobre os processos operacionais (e de projeto) de um sistema de compostagem, é a real perda de massa e volume que ocorre ao longo do processo. Tal parâmetro, se considerado de forma inadequada, pode levar ao sub ou superdimensionamento da mão-de-obra e equipamentos empregados na operação desses sistemas, assim como dos pátios de compostagem.

Entretanto, observa-se que são raros os índices de perda de massa e volume apresentados na literatura. E aqueles apresentados, geralmente se referem a índices observados em outros países, que não o Brasil.

Assim, considerando essa carência de dados e tendo como objetivo contribuir com a literatura, este trabalho teve como objetivo principal analisar e quantificar a perda em peso e volume em leiras de composto orgânico, produzido à base da coleta seletiva de resíduos orgânicos e podas de árvores, contribuindo para o estabelecimento de estratégias de gerenciamento de RSU e para o correto dimensionamento de pátios de compostagem.

## MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo foi desenvolvido junto ao Programa de Compostagem desenvolvido pela Superintendência de Limpeza Urbana – SLU, em Belo Horizonte, descrito a seguir, e abrangeu 10 leiras de composto orgânico montadas segundo critérios e matéria prima utilizados nesse Programa.

## COMPOSTAGEM EM BELO HORIZONTE

A compostagem é realizada na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos BR 040 – CTRRS BR 040, a qual é operada pela Superintendência de Limpeza Urbana – SLU. O processo de compostagem desenvolvido pela SLU iniciou-se em Julho de 1975, por meio da implantação de uma Usina de Reciclagem e Compostagem (Sistema Dano) composta de um pátio de descarga, esteira de triagem e dois bioestabilizadores operando em paralelo, além do pátio de compostagem que, apesar de não fazer parte da Usina propriamente dita, integrava o sistema de compostagem empregado. A capacidade nominal de processamento era de 150 t/d.

Nas esteiras era realizada a triagem dos resíduos sólidos urbanos, sendo separados plásticos, metais, vidros e papéis, os quais eram posteriormente comercializados. O restante do material era direcionado aos bioestabilizadores para, teoricamente, acelerarem o início do processo de compostagem. Após esta etapa, o material era peneirado e direcionado ao pátio de compostagem para finalização do processo de compostagem.

Em 1995 a SLU optou por desativar a Usina de Reciclagem e Compostagem e implantar um sistema de compostagem mais simples, tendo como princípio, segundo CERQUEIRA (1995), a forma de minimizar o custo operacional. Foi proposta então, a adoção de um sistema de manejo diferenciado para os diversos tipos de resíduos produzidos em Belo Horizonte, privilegiando o reaproveitamento e / ou reciclagem dos materiais (papéis, papelão, entulho e resíduos orgânicos, este, apresentando um percentual de 60%).

O modelo de compostagem adotado preconizava a coleta diferenciada de resíduos orgânicos em grandes geradores, agregando resíduos da poda de árvores que é realizada na cidade.

Atualmente a Unidade de Compostagem possui espaço suficiente para processar 20 t/d de resíduos e composto em maturação, sendo que sua capacidade operacional, entretanto, está limitada a 10 t/d em função da estrutura disponível (equipamentos e mão de obra). Todo o processo se dá no pátio de compostagem totalmente pavimentado, cuja área é de aproximadamente 10.000 m<sup>2</sup>, sendo que cerca de 1.000 m<sup>2</sup> são de área coberta. Nesse pátio, as leiras ficam dispostas em pilhas no formato prismático de dimensões predefinidas conforme descrito anteriormente (Figuras 1 e 2).



Figura 1 – Leira de composto orgânico



Figura 2 - Vista geral do pátio de compostagem

### MATÉRIA PRIMA EMPREGADA NA COMPOSTAGEM

Os resíduos compostados foram os resíduos orgânicos coletados seletivamente, os quais foram misturados a galhos de árvores triturados. A quantidade da mistura – resíduo orgânico e poda triturada – encaminhada para a compostagem é de aproximadamente de 4,2 t/d de orgânico e 2,8 t/d, considerando uma proporção de 60 % de orgânico e 40% de poda. A formação de uma leira se deu ao longo de uma semana, seguindo a logística de coleta da SLU.

### MONTAGEM E IDENTIFICAÇÃO DAS LEIRAS

Os resíduos orgânicos e a poda triturada foram misturados na proporção descrita no item anterior, no período de 7 dias, formando então as leiras a serem compostadas (10 leiras). O formato geométrico adotado foi o prismático, com seção reta triangular, com altura variando entre 1,5 e 1,8 metros e base entre 3,5 e 4,0 metros. A inclinação das faces laterais foi aproximadamente 60° em relação à vertical. O método de compostagem empregado neste trabalho foi o *Windrow*. (Tabela 1).

Tabela 1 - Identificação e data de montagem das leiras

Leira N°	Data montagem da Leira	Leira N°	Data montagem da Leira
32	06/08/07	37	10/09/07
33	13/08/07	38	17/09/07
34	20/08/07	39	24/09/07
35	27/08/07	40	01/10/07
36	03/09/07	41	08/10/07

### ACOMPANHAMENTO DA PERDA EM VOLUME E EM MASSA

#### PERDA EM MASSA E VOLUME

O acompanhamento da perda do volume foi realizado por meio de levantamento topográfico quinzenal do volume das leiras (Figuras 3 e 4). Para realização deste levantamento foi utilizado uma Estação Total, aparelho topográfico de alta precisão, devidamente aferido. Os dados foram então lançados em software topográfico e gráfico específico (POSIÇÃO e AUTOCAD) que, a partir dos dados coletados, construiu o modelo digital da leira e o cálculo da variação do volume de cada uma das leiras. Para a verificação da perda em massa foram feitas pesagens das leiras montadas no início (7 dias) e no final do processo (120 dias) durante a pesquisa.



**Figura 3 - Leitura topo da leira por meio de estação total**



**Figura 4 - Colocação do prisma sobre a leira para realização da leitura**

## DENSIDADE

Para a obtenção da densidade aparente do composto orgânico produzido, seguiram-se os seguintes passos: a) Obtenção das amostras de cada leira; b) Pesagem das amostras em recipiente plástico, de volume conhecido e; c) Obtenção da densidade, dividindo o peso pelo volume.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### DENSIDADE APARENTE DO COMPOSTO ORGÂNICO

Na Tabela 2 são apresentados os resultados das análises de densidade aparente realizadas para as amostras de composto orgânico.

**Tabela 2 – Densidade aparente observada para as leiras de compostagem estudadas (Kg/m<sup>3</sup>)**

Leiras	Densidades					Médias
	7 dias	30 dias	60 dias	90 dias	120 dias	
32	530,59	430,59	496,8	641,1	710,05	561,83
33	584,93	495,43	575,8	559,36	660,27	575,16
34	527,85	447,95	613,7	562,56	535,62	537,54
35	524,66	463,93	529,22	526,94	648,63	538,68
36	536,53	487,21	502,74	514,16	691,78	546,48
37	610,37	531,96	432,88	416,89	611,42	520,7
38	630,14	463,93	342,01	594,06	599,09	525,85
39	551,60	537,44	594,06	539,73	595,43	563,65
40	611,87	492,69	526,48	543,38	794,98	593,88
41	532,88	425,11	533,79	500,46	795,89	557,62

A densidade aparente do composto entende-se como sendo a relação ou divisão do peso pelo volume ocupado pelo material em seu estado natural, sem compactação e pode variar conforme a umidade do material, do tamanho e da forma como estão dispostos na leira.

Segundo KIEHL (1985), quanto mais decomposta estiver a matéria orgânica, maior será sua capacidade de retenção de água. Uma falha neste estudo centra-se pontualmente na questão da não cobertura das leiras com lonas plásticas, na época das chuvas, por empecilhos operacionais.

Segundo REMADE (2001), a madeira por ser um material higroscópico, oferece grandes problemas nas determinações de sua densidade, sendo esta variável com a umidade. Há certa dificuldade de comparar resultados obtidos com as disponíveis. Como no estudo realizado, utilizou-se poda triturada, que incluía folhagem, galhos e cavacos, provenientes de grandes árvores, essa propriedade higroscópica pode ter afetado o processo das leiras estudadas.

Isso porque essa capacidade higroscópica pode ter contribuído para o aumento de vazios no interior das amostras utilizadas para realização dos ensaios.



Conforme recomendado por KIEHL (1998), para minimizar esse efeito, foram dadas batidas nas laterais do recipiente utilizado para determinar a densidade, para que houvesse um acamamento uniforme do material.

De acordo com o rendimento final observado os resultados indicam um aumento da densidade do material da ordem de 1/3 a 1/2 do volume inicial, variando de 400 a 600 Kg/m<sup>3</sup>, dependendo do material de origem e do teor de umidade.

Destaca-se que as determinações de densidade sempre foram efetuadas com a umidade natural contida na amostra. A densidade não mostrou sinais efetivos de estabilidade, apesar de haver uma tendência de aumento.

## DENSIDADE IN SITU

Na Tabela 3 são apresentados os resultados das densidades *in situ*, determinada pela pesagem dos veículos bascula e pelo levantamento da variação do volume pela equipe de topografia. A aferição da densidade *in situ* foi realizada quinzenalmente.

Pôde-se observar, de acordo com a variação das leituras, a interferência do regime de chuvas e conseqüentemente alta umidade nos resultados. Pressupõe-se que, o excesso de umidade alterou o volume ocupado e o peso da amostra em campo. Fato comprovado nas leiras 36, 37, 38, no início do processo e nas leiras 40 e 41, que acumularam água de chuva, em grande parte no regime chuvoso, favorecendo a compactação, já no final do processo.

Outra possível alteração, durante o processo e nos resultados encontrados, refere-se a algumas leituras realizadas logo após o reviramento da leira. Isso porque a leira ainda não estava acomodada, com material mais solto, e com muitos espaços vazios. Houve o cuidado na conformação das leiras, após cada reviramento, seguiu-se sempre a mesma altura e dimensionamento.

Relacionando o resultado da densidade aparente com a densidade *in situ*, nota-se que as leiras 32, 33, 36, 38 apresentaram certa regularidade no teor de umidade (~ 62%). Consequentemente a densidade média realizada em campo ao ser comparada com a densidade dentro do balanço final, verificou-se que os resultados se aproximaram ou ficaram abaixo. As leiras que durante o processo de compostagem, dentro da fase ativa, absorveram grande quantidade de águas de chuvas, tiveram seu peso modificado (leiras 35, 40 e 41).

**Tabela 3 - Densidade in situ das leiras de compostagem estudadas**

Leira	Inicial			Final			Variação
	Massa Kg	Volume m <sup>3</sup>	Densidade Kg/m <sup>3</sup>	Massa Kg	Volume m <sup>3</sup>	Densidade Kg/m <sup>3</sup>	
32	20.990	36,47	575,54	7.940	15,79	502,85	12,6% *
33	19.060	31,73	600,69	6.910	18,53	372,91	37,9% *
34	20.060	43,2	464,35	8.540	13,98	610,87	131,6% **
35	21.790	43,7	498,63	11.920	16,13	739,00	148,2% **
36	21.720	25,97	836,35	8.820	15,46	570,50	31,8% *
37	24.100	20,85	1155,88	8.910	13,36	666,92	42,3% *
38	23.380	32,38	722,05	7.580	12,92	586,69	18,7% *
39	23.010	36,59	628,86	9.040	14,00	645,71	102,7% **
40	22.170	33,22	667,37	9.060	11,97	756,89	113,4% **
41	17.360	31,1	558,20	10.450	11,11	940,59	168,5% **
<b>Média</b>	<b>21.364</b>	<b>33,521</b>	<b>637,33</b>	<b>8.917</b>	<b>14,33</b>	<b>622,48</b>	-

\* valores diminuíram; \*\* valores aumentaram.

## ANÁLISE DA PERDA EM MASSA

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da variação da massa (em kg) das leiras de compostagem.



**Tabela 4 - Variação da massa (em kg) ao longo do período de monitoramento**

Leira	Data de formação das leiras	Peso Total Kg	Data do final do monitoramento	Peso total Kg	Redução %
32	13-ago	20.990	4-dez	7.940	62,17
33	20-ago	19.060	11-dez	6.910	63,75
34	27-ago	20.060	18-dez	8.540	57,43
35	3-set	21.790	26-dez	11.920	45,30
36	10-set	21.720	2-jan	8.820	59,39
37	17-set	24.100	8-jan	8.910	63,03
38	24-set	22.380	15-jan	7.580	66,13
39	1-out	23.010	22-jan	9.040	60,71
40	8-out	22.170	29-jan	9.060	59,13
41	15-out	17.360	6-fev	10.450	39,80
-	<b>Média</b>	<b>212.640</b>		<b>89.170</b>	<b>58,07</b>

Segundo EGREJA FILHO (1996), o processo de compostagem provoca uma redução no volume e na massa do material que iniciou o processo. Essas transformações ocorrem porque existe a perda de massa ocasionada por: mineralização da massa orgânica, perda da umidade por evaporação; perda de líquido na forma de chorume; perda do material durante o transporte da leira, o carregamento pelo vento de material durante os reviramentos, pela retirada de material inerte ao longo do processo de compostagem e perda do material usado como alimento por animais como: carcarás, cachorros, pombos, etc.

No presente estudo observou-se que no início do processo de compostagem, foram gastos cerca de 6 a 7 viagens (caminhão basculante) para pesagem do material utilizado na formação das leiras. Já ao final do processo, com o produto bioestabilizado e massa reduzida, gastaram-se em média 3 a 4 viagens, evidenciando a perda de massa ocorrida.

Observou-se que o período chuvoso interferiu no estudo e diretamente no processo, principalmente na pesagem final. O peso em massa de algumas leiras foi alterado, mas, foi interessante verificar a inferência da sazonalidade no presente estudo.

A perda média em massa ficou em torno de 58 %, durante o período de 120 dias, que compreende o tempo necessário para a formação do composto. Analisando os dados, verifica-se que as leiras 35 (com redução total de 45,3 %) e a leira 45 (com redução total de 39,8 %), absorveram grande quantidade de água de chuva no final do processo.

Já a leira 38 foi observada uma redução total de 66 %, sendo que esta apresentou resultado superior aos demais observados. Não foi observado nenhum fator que pudesse ter contribuído para tal. Entretanto, certificando sua umidade, constata-se que, este parâmetro manteve-se abaixo da média entre todas as leiras, ou seja, mais seca.

## **AVALIAÇÃO DA PERDA EM VOLUME**

Na Tabela 5 é apresentada a variação da massa, em volume, das leiras de composto orgânico estudadas ao longo do período de monitoramento.

As maiores reduções de volume foram observadas nas leiras 34, 35, 40, e 41. Como estas apresentavam um excesso de umidade, esse fato sugere a compactação do material compostado. Verificando todas as leituras realizadas, a leira 41 no dia 10/12/08, indicou a marca de 10,59 m<sup>3</sup>, valor muito abaixo do esperado.

Segundo KIEHL (1985), a produção de calor é proporcional ao volume e as perdas de temperaturas à área de exposição da pilha. Durante o monitoramento as leiras alcançaram leituras de até 80 °C, requerendo mais reviramentos, proporcionando a eficiência do processo.

**Tabela 5 – Resultados da redução de volume (%) - Resumo**

<b>Leira</b>	<b>Volume inicial (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume final (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Redução (%)</b>
32	36,47	15,79	56,70
33	31,73	18,53	41,60
34	43,20	13,98	67,64
35	43,70	16,30	63,09
36	25,97	15,46	40,47
37	20,85	13,36	35,92
38	32,38	12,92	60,10
39	36,59	14,00	61,74
40	33,22	11,97	63,97
41	31,10	11,11	64,28
<b>Média</b>	<b>33,52</b>	<b>14,34</b>	<b>55,55</b>

## CONCLUSÕES

Os resultados observados permitiram avaliar a perda em massa e volume das leiras de compostagem ao longo do período de monitoramento. Os resultados sugerem que a perda em massa e em volume foram afetados pelo período chuvoso, sendo observado no final do processo um excesso de umidade, alterando o peso e, conseqüentemente, a sua densidade.

Recomenda-se que seja verificado o efeito da sazonalidade, de forma a perceber as diferenças e corrigir possíveis interferências. A importância desta avaliação está no dimensionamento de pátios a partir de uma redução real e não deduzida.

Diante dos resultados da perda em massa, são viáveis novos estudos, com pesagens mês a mês, de forma a obter mais dados para serem analisados. Para avaliar a redução em volume, sugere-se iniciar a pesquisa com massas iguais, e com leitura semanal, eliminando possíveis interferências.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CERQUEIRA, B. N; PEREIRA NETO, J. T. Implantação de sistemas descentralizados de compostagem em Belo Horizonte. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995, Salvador, BA. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 1995.
2. KIEHL, E. J. Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto. Piracicaba, 1998
3. RESENDE, A. A. P. Estudo e avaliação de um processo de reciclagem e compostagem dos resíduos sólidos urbanos. Belo Horizonte. 1991; 151p.;
4. VILLANI, F. T. Estudo e avaliação de métodos químicos para determinar o grau de maturação dos compostos orgânicos do lixo urbano domiciliar. Viçosa, UFV, 1994, 130 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Agroquímica. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.
5. REMADE. A retratibilidade da madeira. In: Revista da madeira, n. 59, ano 11, 2001
6. EGREJA FILHO, F. B. Relatório de atividades de consultoria junto à Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte/ Codepro Projeto: BRA/93-015. Reestruturação do Laboratório de Análises. Belo Horizonte, 1996.