

# **AVALIAÇÃO DA ESTABILIZAÇÃO DE RSU EM ATERRO ATRAVÉS DA EVOLUÇÃO DA DEGRADABILIDADE DA SUA FACÇÃO ORGÂNICA**

Mário A. T. RUSSO <sup>(1)</sup>; José M. P. VIEIRA <sup>(2)</sup>

## **RESUMO**

A disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários continua a ser uma das formas mais utilizadas de gestão de resíduos no mundo. As mais recentes orientações estratégicas da União Europeia estabelecem metas ambiciosas para a redução da disposição em aterro da fracção orgânica biodegradável dos resíduos sólidos. No entanto, a nível mundial, a prática tem sido a de adoptar o aterro sanitário como solução técnica corrente para o destino final de todos os resíduos sólidos urbanos, daqui resultando a conveniência de continuar a atribuir-se importância ao estudo do seu comportamento físico-químico e biológico. Mantendo resíduos orgânicos no seu seio, o aterro constitui um bioreactor cujo funcionamento depende de condições intrínsecas que condiciona a sua estabilização. No presente trabalho, fez-se uma avaliação da degradação da matéria orgânica em aterros sanitários, através da determinação de parâmetros como o teor de matéria orgânica total, a celulose bruta e os ácidos húmicos, em amostras em profundidade, com idades compreendidas entre 1 e 10 anos. Pretendeu-se, assim, estabelecer-se uma previsão do término da degradação e, por conseguinte, da geração de emissões potencialmente perigosas no aterro, contribuindo-se, desta forma, para uma correcta programação da monitorização operacional e de pós-clausura deste tipo de estruturas sanitárias.

---

<sup>1</sup> Doutor em Eng. Civil, Prof. Coordenador da E. S. T. G. do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Portugal;

<sup>2</sup> Doutor em Eng. Civil, Prof. Catedrático da Escola de Engenharia da Universidade do Minho - Braga, Portugal

**Palavras chave:** aterro sanitário, matéria orgânica, celulose bruta, ácidos húmicos, degradação biológica.

## **1 INTRODUÇÃO**

O aterro sanitário (AS) é uma infra-estrutura sanitária cujo papel continua a ser primordial no contexto de qualquer política de gestão de resíduos, pese embora a gradativa diminuição da admissão da fracção orgânica biodegradável nos próximos 10 anos, decorrente de normativas da União Europeia, em que esta fracção se reduzirá a 35% do quantitativo produzido em 1995. Ainda assim, os resíduos sólidos orgânicos remanescentes em aterro são suficientes para que este continue a ser considerado um bioreactor que produz lixiviados e biogás por um período de tempo variável, dependente da metodologia de operação e das características dos resíduos depositados, bem como da meteorologia e da hidrogeologia do local. Importa pois, saber a quantidade, a qualidade e o tempo de produção de biogás, de modo a prever-se a estabilização do AS, que equivale ao seu estado estacionário e de maior segurança.

Os aspectos referidos são razões que justificam o estudo da degradabilidade dos resíduos no AS com o tempo. No presente trabalho apresentam-se os resultados de um estudo sobre a evolução da matéria orgânica total, da celulose bruta e dos ácidos húmicos ao longo de um perfil em profundidade, a partir da análise de amostras em 5 furos realizados no aterro sanitário de Matosinhos, correspondentes a resíduos com idades de 1 a 10 anos (Russo, 2005).

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Apresenta-se na Figura 1 uma planta esquemática do aterro de Matosinhos referente a 1994, destacando-se o local onde foi efectuada a amostragem em profundidade, os 3 alvéolos novos, a célula velha (onde se encontram depositados os resíduos da antiga lixeira), as infra-estruturas administrativas e a estação de tratamento de lixiviados (ETL).

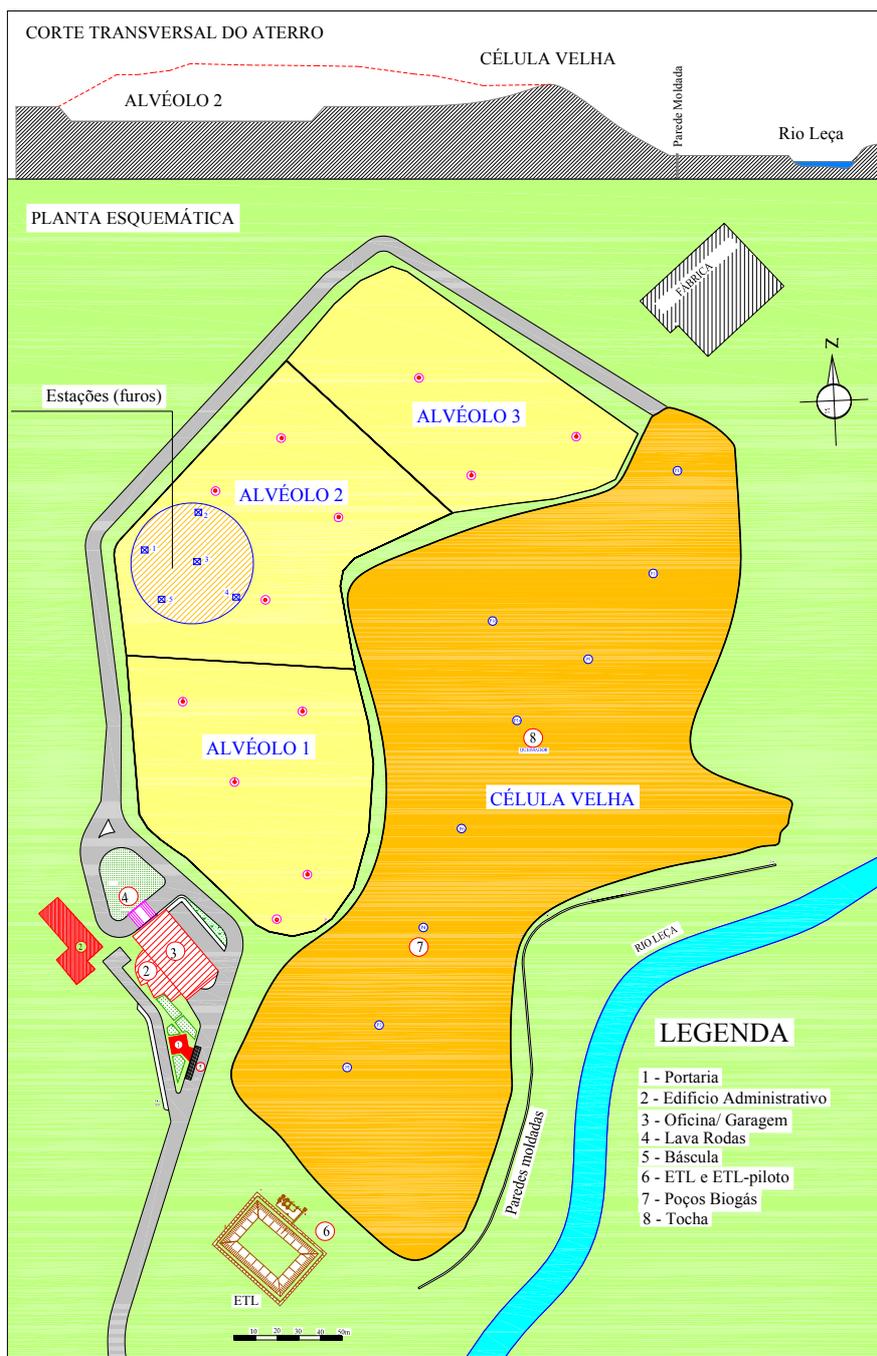


Figura 1 – Planta do aterro de Matosinhos, com a localização dos alvéolos e dos furos de amostragem

Na amostragem da fase sólida adoptou-se a metodologia descrita na Figura 2, onde o conteúdo de resíduos de cada metro de furo constituiu o material de cada amostra recolhida. Os levantamentos topográficos realizados duas vezes por ano permitiram estabelecer a idade dos resíduos, que se apresenta na escala direita da figura.

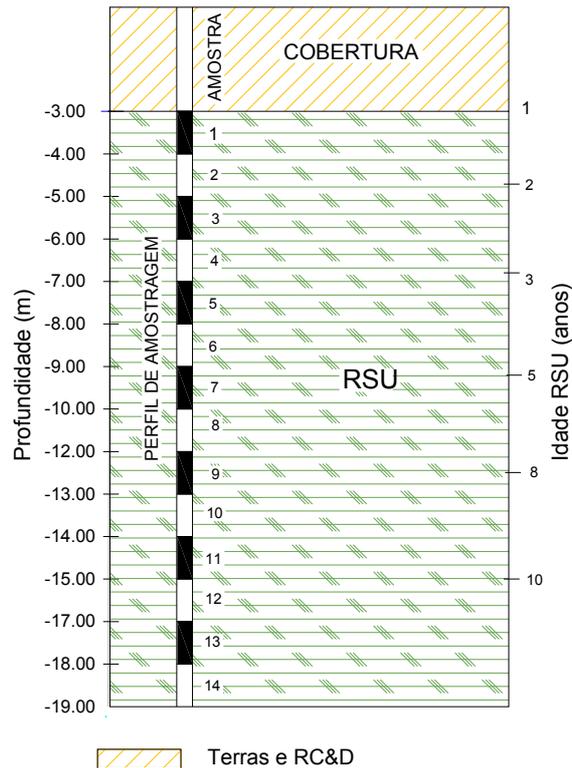


Figura 2 – Perfil de um furo de amostragem de resíduos em profundidade

As amostras dos resíduos obtidas a diversas profundidades foram realizadas em 2003, utilizando-se um penetrómetro dinâmico pesado RMU, o qual foi especialmente adaptado com ponteiras em aço inox adequadas às características dos resíduos. Foi seleccionada uma área do alvéolo 2 onde se marcaram 5 estações para realização de furos para extracção das amostras. Em cada estação realizaram-se 2 a 3 furos distanciados uns dos outros de cerca de 4 a 5 metros e as amostras foram homogeneizadas de acordo com as respectivas profundidades. Foram obtidas amostras a partir da profundidade de 3 metros, uma vez que o topo da célula já estava coberta com terras e a sua espessura era constituída essencialmente por inertes da construção civil e material terroso de escavações de obras. A cada metro de profundidade foi extraída uma amostra, tendo-se atingido a profundidade máxima de 17 metros.

O interior do amostrador comportava um tubo de PVC rígido de Ø 50mm com 1.00 m de comprimento que permitia a recolha de aproximadamente 1964 cm<sup>3</sup> de resíduos. A progressão era realizada de metro a metro.

Apresentam-se nas fotos da Figura 3 aspectos dos trabalhos de campo, na campanha de Inverno e uma amostra após ser removida da sonda e após recepção em laboratório para a sua preparação. As amostras eram divididas em duas sub-amostras de igual massa.



Figura 3 - Procedimentos de amostragem em campanha de Inverno e amostra no laboratório

## 2.1 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

### 2.1.1 Matéria orgânica total

A determinação da matéria orgânica total foi feita pelo método da perda por combustão, utilizado por Pereira Neto (1987), descrito por Russo, M. (1998). Esta determinação baseia-se num método analítico gravimétrico. A quantificação da

matéria orgânica total existente numa amostra é efectuada pela diferença de massas entre a amostra inicial e o resíduo resultante da queima desta, depois de desidratada em estufa entre 60 e 65°C ou em micro-ondas, a uma temperatura de  $550 \pm 5^\circ\text{C}$  para se processar a combustão completa da amostra. Neste processo, a matéria orgânica da amostra é oxidada pelo oxigénio do ar, dando origem a dióxido de carbono e vapor de água. Como ambos os produtos são gasosos, a perda de massa traduz a quantidade de matéria orgânica existente na amostra que foi oxidada.

O método usual para determinação da matéria orgânica total é o descrito por Tinsley, (1950), da digestão da matéria orgânica pelo permanganato de potássio. Este método não será muito eficiente na avaliação do carbono total. Segundo Brito, M. (1994) existem diferenças significativas entre os teores de matéria orgânica determinados por calcinação e o método de Tinsley, dado que este último apenas doseia a matéria orgânica facilmente oxidável, pelo que em processos de digestão em aterros é mais aconselhada a sua determinação por calcinação. Também para Gomes (2003) o método da calcinação apresenta maior rigor na avaliação do teor em matéria orgânica e da evolução dos sólidos voláteis em função do tempo.

### **2.1.2 Celulose bruta**

Pesa-se 0.5 g de matéria seca num Erlenmeyer de pirex de 150 ml de boca esmerilada. Junta-se 50 ml de mistura ácida (90 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado completando a 1 litro com  $\text{CH}_3\text{COOH}$  a 80 %). Adapta-se o condensador e deixa-se ferver durante 25 minutos, agitando frequentemente. Desmonta-se o condensador e filtra-se a quente sob sucção através de um cadinho de Goosh (G3), previamente tarado. A sucção é obtida usando uma trompa de água. O resíduo que permanece no filtro é lavado primeiramente com 5 ml de mistura ácida quente e depois com água destilada quente até que o filtrado apresente reacção neutra. Lava-se depois com álcool a  $95^\circ$ , por diversas vezes e finalmente com éter. O cadinho é seco na estufa a  $100 - 105^\circ\text{C}$  durante 12 horas. Transfere-se para o excicador e pesa-se logo que esteja arrefecido. Volta de novo à estufa por duas horas após o que se deixa arrefecer no excicador e se pesa novamente. Uma vez obtido peso constante dá-se por terminado o processo. A massa da celulose será dada pela diferença de massas

(cadinho + celulose bruta) – cadinho, sendo a percentagem de celulose bruta dada pelo quociente da massa de celulose bruta pela massa da amostra.

### **2.1.3 Ácidos Húmicos**

A metodologia para determinação de ácidos húmicos em solos, foi adaptada da de Chaminade (referida em Russo, 1998) utilizando-se uma amostra de 200 mg seca e triturada, com 50 ml de solução de pirofosfato de sódio 0.1 mol/L com pH ajustado a 9, com o objectivo de evitar a oxidação dos ácidos húmicos. O período de extracção foi de 12 horas com agitação manual ocasional. Filtrou-se a mistura e ao filtrado foram adicionados 5 ml de ácido sulfúrico concentrado, deixando em repouso durante 30 minutos para a precipitação dos ácidos húmicos. Nova filtração foi feita, lavando o resíduo com solução de ácido sulfúrico 10% (v/v) até completa eliminação do pirofosfato de sódio, que foi verificada por "spot-test", utilizando-se uma gota de nitrato de prata 10% (p/v) em algumas gotas do filtrado, considerando-se que a lavagem foi suficiente quando o  $\text{AgNO}_3$  não turvava. No mesmo filtro, tratou-se o resíduo com 20 mL de permanganato de potássio 0.02 mol/L acidificado com 20 mL de ácido sulfúrico a 20% (v/v). Estas soluções foram retiradas dos banhos de areia em que eram mantidos (30 minutos a 100°C, no mínimo) e misturadas em balão de 100 mL antes de verter no filtro. Foram adicionados, após o resfriamento, 20 mL de solução-padrão de oxalato de sódio 0,05 mol/L, passando da cor violeta a incolor, titulando-se, em seguida, o excesso de oxalato com a solução de permanganato de potássio 0.02M, até à coloração rósea permanente. O número de miliequivalentes de permanganato de potássio, consumido na titulação, equivale ao número de miliequivalentes de ácidos húmicos, contidos na amostra inicial.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 MATÉRIA ORGÂNICA TOTAL**

Apresenta-se na Figura 4 o gráfico da evolução da MOT com a profundidade, para a fracção "in natura" dos resíduos.

A matéria orgânica total (MOT) contida nos resíduos é utilizada pelos microrganismos no seu metabolismo concorrendo para a sua diminuição com o aumento da velocidade de degradação, em função do tempo. A MOT determinada pelo balanço de massas após a realização do ensaio pelo método francês do CEMAGREF adaptado por Russo (2005), mostra que no local da amostragem em profundidade, o valor total deste parâmetro é de cerca de 24%, incluindo a que está presente na fracção fina.

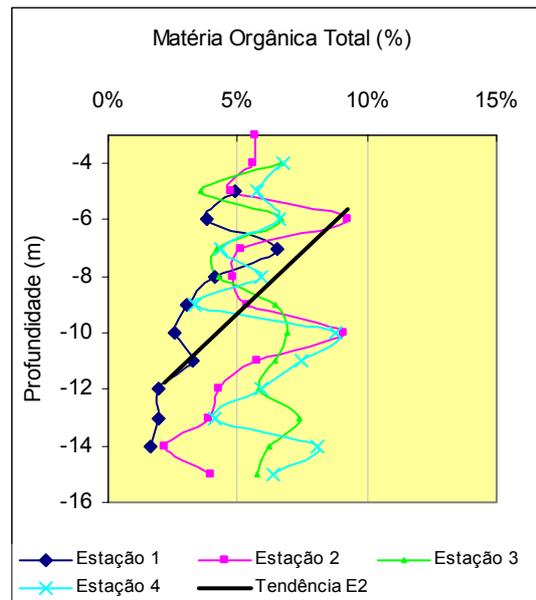


Figura 4 – Evolução da matéria orgânica total com a profundidade

Os valores obtidos nas análises efectuadas mostram valores menores que correspondem à fracção mais rapidamente biodegradável. Constata-se que ao longo do tempo a MOT sofre uma ligeira diminuição, da ordem de 30%, em cerca de 10 anos de decomposição. A redução máxima da matéria orgânica em 10 anos está compreendida no intervalo de 30 a 80%, como se pode observar pela Figura 5. Dos resultados precedentes fica evidenciado o carácter lento da degradação, que pode ser explicada, em parte, por carência de água, constatada nos estudos efectuados no local.

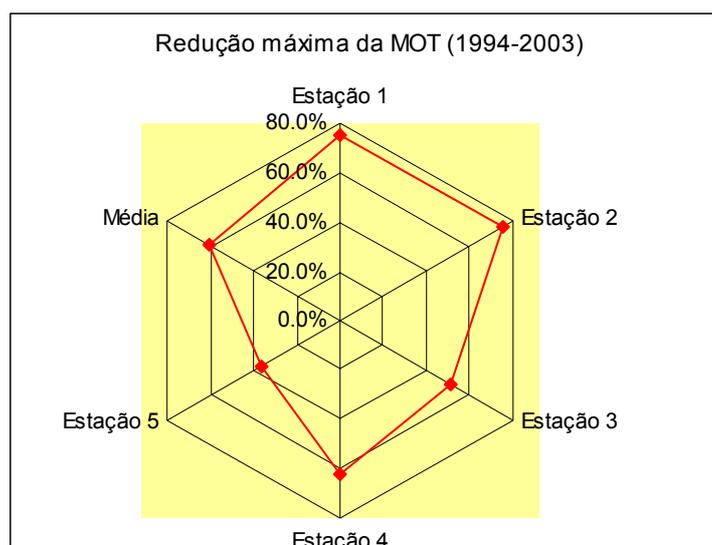


Figura 5 – Redução máxima da MOT com a idade dos resíduos

### 3.2 CELULOSE BRUTA

A celulose, as hemiceluloses e as lenhinas constituem os mais abundantes constituintes poliméricos das plantas, podendo variar, respectivamente de 30 a 60%, de 30 a 40% e de 10 a 20%, segundo Cowling *et al.* (1976) e Lee (1992). Apresenta-se no Quadro 1 a evolução da celulose bruta ao longo do perfil em profundidade nas estações 1 a 4 e nos gráficos da Figura 6 o comportamento em profundidade relativamente à redução máxima verificada em 4 estações de amostragem.

Quadro 1 – Evolução da celulose bruta ao longo da profundidade

Celulose Bruta					
profundidade (m)	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4	Média
-3		20.32%			20.3%
-4	22.40%	17.95%	22.09%	15.29%	19.4%
-5	23.00%	18.88%	18.62%	19.14%	19.9%
-6	18.16%	21.14%	16.63%	19.38%	18.8%
-7	18.24%	13.36%	16.57%	14.46%	15.7%
-8	11.13%	13.60%	15.43%	11.76%	13.0%
-9	11.01%	14.32%	15.35%	18.93%	14.9%
-10	10.93%	12.97%	14.91%	13.84%	13.2%
-11	15.59%	16.32%	14.51%	18.13%	16.1%
-12	8.73%	11.10%	10.30%	13.89%	11.0%
-13	14.38%	10.86%	8.33%	10.35%	11.0%
-14	11.78%	5.43%	9.47%	7.45%	8.5%
-15	10.70%	4.86%	9.87%	14.26%	9.9%
Máximo	23.00%	21.14%	22.09%	19.38%	20.32%
Mínimo	8.73%	4.86%	8.33%	7.45%	8.53%
Média	14.67%	13.93%	14.34%	14.74%	14.75%
Desvio P	4.81%	5.10%	4.13%	3.73%	4.03%

O tipo de madeira que se encontra no aterro é muito variável, inclui pranchas de aglomerados e de contraplacados de madeira, peças de carpintaria, troncos e ramos de árvores, que podem conferir taxas de degradação diferentes, consoante a profundidade em que se encontram. Com efeito, a celulose apresenta uma biodegradabilidade de 50 a 90%, a hemicelulose em torno de 70% e a lenhina praticamente não apresenta biodegradabilidade.

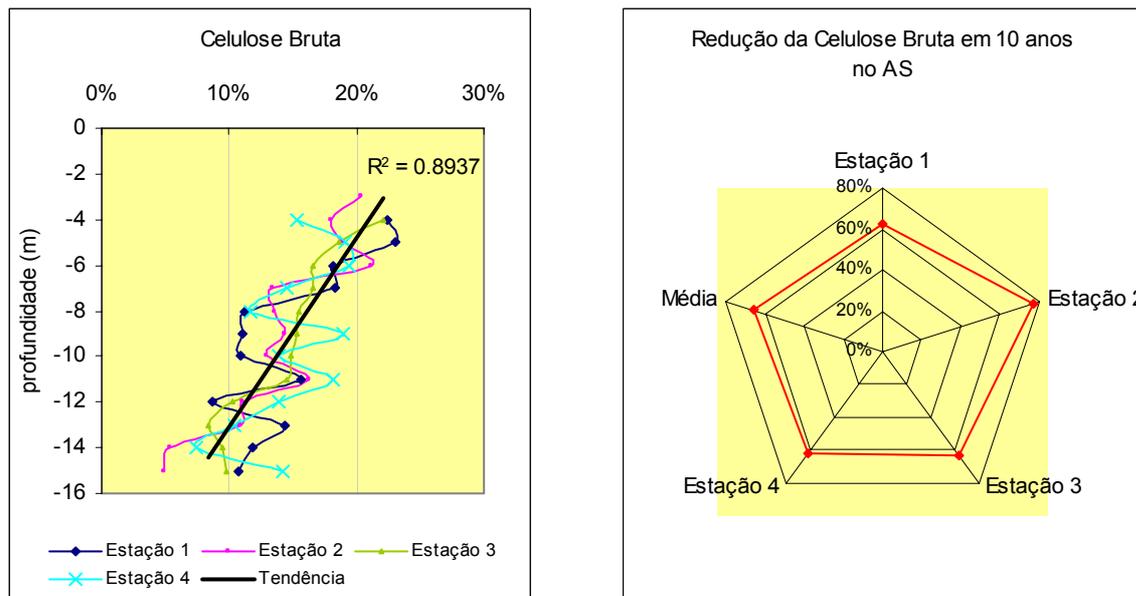


Figura 6 – Evolução da celulose bruta ao longo do perfil e redução em 10 anos

Da Figura 6, pode observar-se que o comportamento dos resíduos amostrados foi bastante homogéneo em 3 estações e um pouco variável na estação 4, mas sempre com uma tendência de decréscimo. Com efeito, de um modo geral o decaimento foi elevado, sugerindo utilização desta fonte de carbono por parte dos microrganismos, normalmente só utilizada quando outras formas de carbono mais biodisponíveis começam a faltar. Nas estações 1, 2, 3 e 4 o decréscimo máximo foi respectivamente de 62, 77, 62 e 62%.

A taxa de decomposição da celulose é influenciada por diversos factores ambientais (Alexander, 1977), designadamente: disponibilidade de azoto, oxigénio, humidade, *pH*, presença de outros hidratos de carbono e de lenhina.

### 3.3 ÁCIDOS HÚMICOS

Apresentam-se no Quadro 2 os resultados da evolução do teor em ácidos húmicos obtidos nas 5 Estações ao longo do seu perfil em profundidade, e nos gráficos da Figura 7 a sua distribuição relativa e a redução máxima verificada em todas as estações em 10 anos.

Quadro 2 – Evolução dos ácidos húmicos nas amostras de resíduos

Profundidade (m)	Ácidos húmicos (meq/g)					Média
	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4	Estação 5	
-3		1.62			1.62	1.62
-4	1.61	1.27	1.68	1.88	1.61	1.61
-5	2.22	1.73	1.77	1.76	1.91	1.88
-6	2.12	1.04	1.61		1.59	1.59
-7	2.09	1.53	1.73	1.61	1.74	1.74
-8	1.28	1.64	1.64	1.74	1.55	1.57
-9	2.04	1.73	1.69	1.67	1.78	1.78
-10	3.81	1.39	1.75	1.96	2.23	2.23
-11	2.83	1.72	1.32	1.51	1.88	1.85
-12	1.34	1.67	1.26	1.52	1.32	1.42
-13	1.72	1.50	1.49	1.46	1.29	1.49
-14	1.41	1.38	1.11	1.82	1.56	1.46
-15		1.45	1.00		1.74	1.40

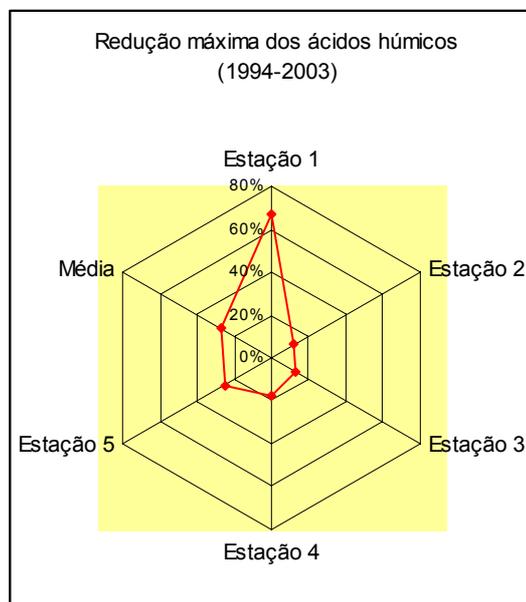
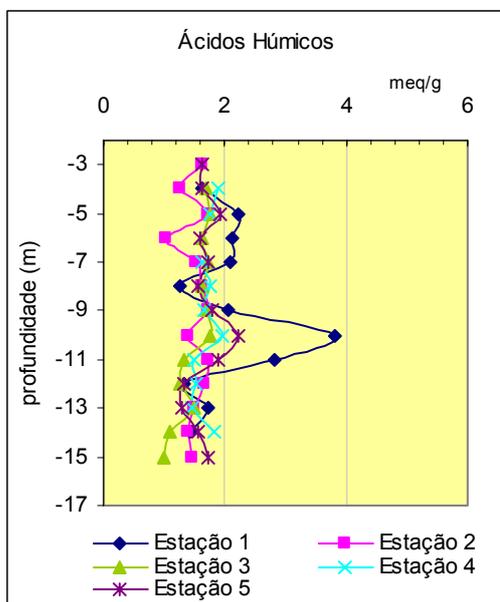


Figura 7 – Evolução dos ácidos húmicos em função da profundidade

Quando há humificação da matéria orgânica em decomposição, há consequente aumento do teor de ácidos húmicos. A tendência mostrada pelos ensaios

relativamente aos ácidos húmicos foi de diminuição dos seus valores em praticamente todos os perfis efectuados. Os valores podem sugerir a lenta degradação/transformação, como também o facto das amostras serem constituídas por materiais com teores de ácidos húmicos baixos ou quase inexistentes. Os resultados das amostras evidenciam sobretudo a heterogeneidade dos materiais num aterro, justificando, em parte, comportamentos com velocidades e tendências de degradação esperadas. No caso, o aumento do teor da humificação e outros em sentido oposto só são justificados por constituírem resíduos com baixos teores iniciais de ácidos húmicos. Com efeito, retiraram-se amostras em que os componentes inertes variavam muito, designadamente as areias, entre 20 e 62%, as pedras e cacos cerâmicos de 17 a 47%, a madeira entre 3 e 38% e a matéria orgânica de 7.4% a 12.3%, podendo residir aqui uma das explicações deste comportamento em termos analíticos.

Estes parâmetros são frequentemente correlacionados na literatura a ponto de constituir um índice de transformação de um parâmetro noutro, com excepção de Tchobanoglous, G. *et al*, (1993), que apresenta uma equação empírica para definir a fracção biodegradável, diferente da correlação com os sólidos voláteis. Com efeito, para resíduos de um aterro sanitário, onde a característica dominante é a heterogeneidade do material, é difícil verificar-se uma relação linear entre SV e COT que permita identificar esse índice. No caso do AS de Matosinhos, das análises realizadas, é possível constatar-se uma correlação positiva entre o COT e a celulose bruta, como se ilustra na Figura 8.

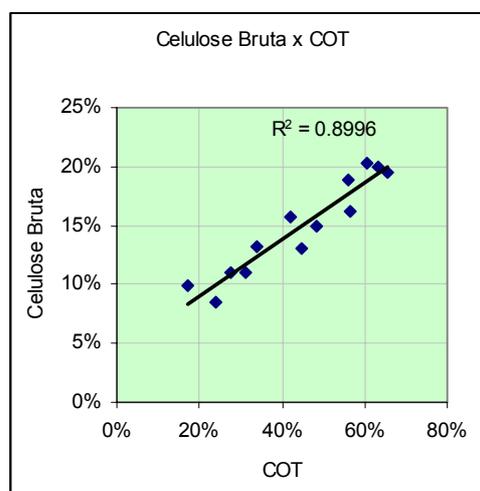


Figura 8 – Correlações entre Celulose Bruta e COT

## 4 CONCLUSÕES

Os parâmetros MOT, CB e ácidos húmicos avaliados revelaram correlação positiva que evidenciam comportamento similar com o tempo, permitindo identificar a degradabilidade dos resíduos com o tempo, através da redução dos teores dos referidos parâmetros.

Com efeito, a taxa de redução, em 10 anos, da matéria orgânica total e dos ácidos húmicos foi de 30%, sendo a da celulose bruta da ordem de 60%, o que revela a lenta degradação processada no AS. Os resultados obtidos permitem estimar o tempo de degradação e estabilização da matéria orgânica presente nos resíduos depositados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alexander, M. (1977): "Introduction to soil Microbiology", J. Wiley and sons, NY, 467 pp.
2. Brito, M. (1994): Organics composts as soil amendments to agricultural land; Quantitative studies on their effects on crop production. A thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the Department of Horticulture, University of Reading.
3. Gomes, M.M. (2003): "Avaliação da qualidade dos produtos provenientes da compostagem da fracção orgânica de RSU's através de testes biológicos". Engenharia Agronómica, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
4. Lee, J. M. (1992): "Biochemical Engineering" Englewood Cliffs, NY: Prentice Hall.
5. Pereira Neto, J. T. (1987): "On the Treatment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting - a Low Technology Approach". PhD Thesis, The University of Leeds, UK. pp 376.
6. Russo, M. A. T. (1998): "Avaliação de Parâmetros que influenciam a compostagem de RSU e a sua importância na qualidade do composto: Aplicação a casos práticos". Tese apresentada em concurso para Prof. Coordenador. Instituto Politécnico de Viana do Castelo.
7. Russo, M. A. T. (2005): "Avaliação dos Processos de Transformação de Resíduos Sólidos Urbanos em Aterro Sanitário". Tese de doutoramento. Universidade do Minho.
8. Tchobanoglous, G., Theisen H., and Vigil, S. (1993): "Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles Management Issues", NY: McGraw-Hill, Inc.
9. Tinsley, J. (1950). "The determination of organic carbon in soils by dichromate mixture". Proceedings IV International Congress of Soil Science, s.1., 161-164 pp.