



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO  
Universidade Técnica de Lisboa

## **Avaliação da Estabilidade Biológica de Combustível Derivado de Resíduo**

**Carla Alexandra Loureiro Bandeira**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em

**Engenharia do Ambiente**

### **Júri**

Presidente: Professor Doutor Júlio Maggiolly Novais (DEQB)  
Orientador: Professora Doutora Susete Martins Dias (DEQB)  
Co-Orientador: Mestre Rita Barros Silva (DEQB)  
Vogais: Professora Doutora Helena Maria Pinheiro (DEQB)

**Novembro de 2010**

## **Agradecimentos**

Ao CEBQ do IST que me acolheu e proporcionou a realização deste trabalho.

À professora Susete Martins Dias pela orientação, incentivo e oportunidade de aprendizagem. O seu largo conhecimento desta área levou a que as suas sugestões fossem bastante úteis para o desenvolvimento de um trabalho correcto e direccionado.

À Engenheira Rita Silva pelo apoio, disponibilidade e paciência que teve durante a realização de todo o trabalho. A sua ajuda foi bastante importante quer na investigação, quer na sustentação teórica e os seus conselhos ajudaram em momentos chave deste trabalho.

Ao sistema de gestão de RSU que gentilmente forneceu a fracção de RSU já pré-processada utilizada neste estudo como potencial matéria base para a produção de CDR.

A todo o pessoal do ENVERG (Grupo de Investigação em Engenharia do Ambiente e dos Ecoprocessos) pelo apoio que disponibilizaram, em especial ao Engenheiro Rui Fragoso.

Aos meus pais, irmã e restante família, ao Hélio, à Joana, Diana e Rita, que tiveram sempre prontos a ajudar nas fases difíceis, transmitindo confiança e optimismo.

A todos aqueles que directa ou indirectamente contribuíram para que a realização deste trabalho fosse possível.

## Resumo

Os Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR) são utilizados como combustíveis de substituição devido ao seu baixo custo e ao teor de carbono não fóssil e renovável (biogénico), como o do papel, cartão ou têxteis. O processamento mecânico de resíduos sólidos urbanos permite isolar uma fracção rica em carbono biogénico e com elevado poder calorífico, vista como uma potencial matéria-prima para a produção de CDR. Neste caso, a estabilidade do CDR poderá ser comprometida pela presença de matéria orgânica putrescível impregnada nos materiais. Neste estudo, pretende-se otimizar o método respirométrico estático para a determinação analítica da estabilidade biológica de um CDR através da análise do efeito da humidade, da água biodisponível, da temperatura e do oxigénio na cinética de degradação aeróbia. A cinética de transformação biológica aeróbia do CDR foi estabelecida em função do log da respectiva humidade e com base nas cinéticas de consumo de  $O_2$  nas primeiras 48h em cada condição teste. A alteração da temperatura de incubação de  $17^\circ\text{C}$  para  $25^\circ\text{C}$  conduziu a um aumento das cinéticas de  $7 \text{ g } O_2/(\text{g CDR.h})$  para  $22 \text{ g } O_2/(\text{g CDR.h})$ . Resultados preliminares da influência do teor de água biodisponível por adição de superabsorvente indicam que a biodegradação aeróbia segue um padrão diaúxico com uma cinética inicial até 50% superior às obtidas anteriormente nas mesmas condições e na ausência de superabsorvente. Estes resultados indicam que o armazenamento de um CDR em climas moderados (como o Mediterrâneo) deve assegurar teores de humidade próximos dos 20% e em função do tempo de armazenamento pretendido.

**Palavras-chave:** combustíveis de substituição; cinética de degradação aeróbia; CBO; estabilidade biológica; hidrólise.

## **Abstract**

Refuse Derived Fuels (RDF) are used as alternative fuels due to its low cost and non fossil and renewable carbon content (biogenic) from paper, cardboard or non recyclable textiles. Mechanical processing of mixed municipal solid waste isolates a fraction rich in biogenic carbon and with high calorific value which is seen as a potential raw material for the production of RDF. In this case, biological stability of RDF can be compromised by the presence of putrescible organics that impregnate other materials. This study aims at the optimization of a static respirometric method for the analytical determination of biological stability of RDF by studying the effect of moisture, water bioavailability, temperature and oxygen on the kinetics of aerobic degradation. The kinetics of aerobic biological transformation of RDF was established as a function of the log of its moisture content and based on first 48 hours. Changes on the incubation temperature from 17 °C to 25 °C led to an increase in the kinetics from 7 g O<sub>2</sub> / (g RDF.h) to 22 g O<sub>2</sub> / (g RDF.h). Preliminary results from the influence of water bioavailability, controlled by the addition of superabsorbent, indicate that aerobic biodegradation follows a diauxic growth pattern with an initial kinetics up to 50% higher than those obtained previously under the same conditions and in the absence of superabsorbent. These results indicate that storage of RDF in moderate climates (like Mediterranean) should ensure moisture contents around 20% and depending on the desired storage time.

**Keywords:** waste fuels; aerobic degradation kinetics; BOD; biological stability; hydrolysis.

# Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo .....	ii
Abstract.....	iii
Lista de abreviaturas .....	viii
<b>I. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1. Gestão de Resíduos Sólidos.....	1
2. Combustíveis Derivados de Resíduos .....	2
2.1. Características dos CDR.....	2
2.2. Tecnologias de Produção de CDR .....	4
2.3. Utilização de CDR .....	6
2.4. Enquadramento Normativo e Legislativo .....	6
3. Caracterização Biológica de Resíduos .....	7
3.1. Carbono.....	8
3.2. Oxigénio .....	8
3.3. Teor em Água.....	9
3.3.1. A disponibilidade da água para a actividade biológica.....	9
3.3.2. Os superabsorventes .....	10
3.4. Fauna Própria.....	11
3.5. Temperatura.....	12
<b>II. CONTEXTO E OBJECTIVO DO TRABALHO.....</b>	<b>13</b>
<b>III. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
1. Materiais .....	14
1.1. CDR.....	14
1.2. Material de Diluição .....	15
2. Métodos .....	15
2.1. Avaliação preliminar da degradabilidade do CDR – Taxa de hidrólise .....	15
2.2. Avaliação da estabilidade biológica - Teste de CBO .....	16
2.3. Métodos para redução de massa .....	18
2.4. Métodos para redução de granulometria .....	18
2.5. Métodos para a medição e acerto de humidade.....	19
<b>IV. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....</b>	<b>20</b>
1. Estudo preliminar da degradabilidade do CDR por análise da taxa de hidrólise.....	20
2. Efeito da humidade e da temperatura na actividade biológica do CDR .....	21
2.1. Resultados de CBO.....	21
2.2. Cinética de degradação do CDR.....	24
3. Influência da disponibilidade de água na cinética de degradação.....	25
4. Efeito do volume de oxigénio no frasco utilizado nos testes.....	28
<b>V. CONCLUSÕES .....</b>	<b>29</b>

<b>VI. TRABALHO FUTURO.....</b>	<b>31</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>32</b>
<b>ANEXO I – Conversão dos valores de CBO.....</b>	<b>35</b>
<b>ANEXO II - Metodologias para Avaliação da Estabilidade Biológica à Escala Piloto e Laboratorial .....</b>	<b>35</b>
1. Teste Self-Heating.....	35
2. Métodos baseados na produção de CO <sub>2</sub> .....	35
3. Métodos baseados na absorção de O <sub>2</sub> .....	36
3.1. Métodos estáticos.....	36
3.1.1. Teste CBO <sub>5</sub> .....	36
3.1.2. Índice de absorção de O <sub>2</sub> .....	37
3.1.3. Índice de Respiração Estático (SRI).....	38
3.2. Métodos dinâmicos - Índice de Respiração Dinâmico (DRI).....	38
<b>ANEXO III – Resultados dos ensaios de CBO em amostras da FEPC de RSU indiferenciado.....</b>	<b>41</b>
1. Ensaios a 25°C .....	41
2. Ensaios a 17°C (1º Ensaio) .....	44
3. Ensaios a 17°C (2º Ensaio) .....	47
4. Ensaios a 25°C com superabsorvente (1g).....	50
5. Ensaios a 25°C com superabsorvente (0,25g).....	52

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Síntese dos principais processos de tratamento de RS não perigosos.....	1
Tabela 2 – Comparação das principais características do CDR relativamente a outros combustíveis sólidos.....	3
Tabela 3 – Objectivos das diferentes etapas do Tratamento Mecânico e Biológico aplicado a RSU. ...	5
Tabela 4 – Objectivos das diferentes etapas do Tratamento de Bioestabilização de RSU.....	5
Tabela 5 – Composição física da FEPC obtida pelo tratamento mecânico de RSU. Taxas de hidrólise média em condições ambiente ( $k_H$ ) (Miller e Clesceri, 2000). ....	15
Tabela 6 – Condições experimentais utilizadas para a avaliação da estabilidade biológica de CDR. A diluição da amostra foi obtida adicionando partículas de PET. A massa total de amostra de 23 g manteve-se constante, foram usadas partículas com um diâmetro mínimo de 10 mm com $\rho_{FEPC}= 200 \text{ kg/m}^3$ e $\rho_{PET}= 350 \text{ kg/m}^3$ ). O superabsorvente utilizado foi Stockosorb®400 F.....	17

## Índice de Tabelas de Anexos

Tabela A 1 – Ensaio de CBO em amostras da FECP de RSU com humidades de 11%, 16%, 22%, 80%, 86% e 87%. ....	41
Tabela A 2 - Ensaio de CBO em amostras da FECP de RSU com humidades de 10%, 15%, 22%, 66%, 72% e 87%. ....	44
Tabela A 3 - Ensaio de CBO em amostras da FECP de RSU com humidades de 10%, 15%, 66%, 72% e 87%. ....	47
Tabela A 4 - Ensaio de CBO em amostras da FECP de RSU com humidade de 46% (amostra controlo e amostra com superabsorvente).....	50
Tabela A 5 - Ensaio de CBO em amostras da FECP de RSU com humidade de 50% (amostra controlo e amostra com superabsorvente).....	52

## Índice de Figuras

Figura 1 – Hierarquia da gestão de resíduos prevista na legislação europeia.....	2
Figura 2 – Factores de emissão dos combustíveis convencionais, biomassa e CDR. ....	4
Figura 3 - Operações que ocorrem durante a degradação anaeróbia e respectivos microrganismos intervenientes. ....	7
Figura 4 – Estados da adsorção de água em materiais sólidos porosos e influência da actividade da água no comportamento do crescimento dos diferentes organismos. ....	9
Figura 5 – Efeito da absorção de água em superabsorventes com diferentes granulometrias.....	11
Figura 6 – Relação entre a temperatura e a taxa de crescimento dos diferentes tipos de microorganismos. ....	12
Figura 7 – Esquema de tratamento do RSU para obtenção da FEPC em estudo. ....	14
Figura 8 – Constituintes do sistema de medição de CBO utilizado. ....	16
Figura 9 – Pormenor fotográfico dos ensaios de CBO efectuados em ambiente climatizado.....	18
Figura 10- Análise teórica da contribuição dos principais componentes do CDR para cinética de hidrólise aeróbia. ....	20
Figura 11 – Valores de CBO obtidos para humidades de 11% e 16% (a)), 22% e 80% (c) e 86% e 87% (e) e análise gráfica dos valores para obtenção das cinéticas para humidade de 11% e 16% (b)), 22% (d) e 86% e 87% (f)). ....	21
Figura 12 - Valores de CBO obtidos para humidades de 10% e 15% (a)), 22% e 66% (b)) e 72% e 87% (d) e análise gráfica dos valores para obtenção das cinéticas para humidade de 66% (c) e 72% e 87% (e)). ....	22
Figura 13 - Valores de CBO obtidos para humidades de 10% e 15% (a)), 66% (b)) e 72% e 87% (d) e análise gráfica dos valores para obtenção das cinéticas para humidade de 66% (c) e 72% e 87% (e)). .....	23
Figura 14 - Influência da humidade e da temperatura na cinética de degradação aeróbia do CDR produzido a partir da FEPC de RSU. As barras de erro correspondem ao desvio padrão. ....	24
Figura 15 - Valores de CBO obtidos para humidade de 46% e análise gráfica dos valores para obtenção das cinéticas para a amostra controlo (a) e para a amostra com superabsorvente (b)). ....	25
Figura 16 - Valores de CBO obtidos para humidade de 50% para a amostra controlo (a) e para a amostra com superabsorvente (b) e análise gráfica dos valores para obtenção das cinéticas para a amostra controlo (c) e para a amostra com superabsorvente (d)). ....	26
Figura 17 - Influência da adição de superabsorvente (SA) na cinética de degradação aeróbia do CDR (Humidade= 46%; PSA= Stockosorb®400 F). ....	27
Figura 18 - Influência da disponibilidade de oxigénio nos ensaios de determinação do CBO em amostras de CDR. ....	28

## Índice de Figuras de Anexos

Figura A 1 - Comportamento do crescimento microbiano ao longo do tempo num teste de CBO.....	37
Figura A 2 - Comportamento do crescimento microbiano ao longo do tempo num respirómetro dinâmico. ....	39
Figura A 3 - Representação esquemática dos diferentes componentes do sistema de medição do índice de respiração dinâmico à escala piloto.....	39



## Lista de abreviaturas

CBO	Carência Bioquímica em Oxigênio
CDR	Combustível Derivado de Resíduo
CEN	Comité Europeu de Normalização
DL	Decreto-Lei
FEPC	Fracção com Elevado Poder Calorífico
PCI	Poder Calorífico Inferior
PET	Politereftalato de etileno
PSA	Polímeros Superabsorventes
RS	Resíduos Sólidos
RSU	Resíduo Sólido Urbano
TMB	Tratamento Mecânico e Biológico

# I. INTRODUÇÃO

## 1. Gestão de Resíduos Sólidos

A Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (RS) consiste na selecção e aplicação de tecnologias de acordo com a especificidade dos resíduos, de modo a alcançar os objectivos e metas previstos (Tchobanoglous et al., 1993). Actualmente, uma das prioridades é a redução dos custos ambientais e económicos do tratamento de resíduos e a minimização da quantidade rejeitada sem qualquer valorização para diminuir o impacte ambiental associado à sua deposição em aterro.

As soluções mais comuns para a gestão de RS estão resumidas na Tabela 1. Os vários destinos possíveis dependem da tipologia do RS e natureza dos respectivos componentes. Há a salientar o facto das operações de reciclagem e valorização por transformação biológica apresentarem elevada sensibilidade ao grau de contaminação da fracção de RS alvo, traduzido pelo valor final de mercado e dificuldades acrescidas no manuseamento e processamento.

Tabela 1 – Síntese dos principais processos de tratamento de RS não perigosos.  
Adaptado de Tchobanoglous (1993).

Designação	Descrição	Resíduo Tratado
Aterro	. Deposição controlada de resíduos. . Permite, eventualmente, a produção de energia (biogás).	Todo o resíduo
Incineração	. Queima controlada de resíduos. . Permite a redução de volume dos resíduos, eliminação de patogéneos e produção de energia.	Todo o resíduo
Reciclagem	. Separação de fracções limpas para processamento industrial e produção de novos produtos.	Papel e cartão, Plástico, Vidro, Metais
Compostagem	. Degradação aeróbia de matéria orgânica putrescível. . Permite a redução de volume dos resíduos e a produção de material fertilizante.	Fracção orgânica putrescível: Resíduos alimentares, Resíduos de jardim
Digestão Anaeróbia	. Degradação anaeróbia de matéria orgânica putrescível. . Permite a produção de energia sob a forma de biogás. O digerido é posteriormente compostado dando origem a material fertilizante.	Fracção orgânica putrescível: Resíduos alimentares, Resíduos de jardim
Produção de CDR	. Separação e homogeneização da fracção com elevado poder calorífico (FEPC) para posterior utilização como combustível. . Permite a produção de energia e recuperação de material.	Fracção combustível não reciclável: Papel e cartão, Plásticos, Têxteis, Têxteis sanitários

As actuais políticas de gestão de resíduos contemplam uma hierarquia que condiciona a escolha de tecnologias (Figura 1) procurando a prevenção e a maior valorização possível dos resíduos, minimizando a sua deposição em aterro (Martins Dias et al., 2006).



Figura 1 – Hierarquia da gestão de resíduos prevista na legislação europeia.

Fonte: Directiva 2006/12/CE.

De modo a dar cumprimento a esta hierarquia foram implementadas soluções integradas como o Tratamento Mecânico e Biológico (TMB) de RS que permite a separação em diferentes fracções e o encaminhamento para destinos finais diversos. O TMB surge, geralmente, em locais de menor densidade populacional, onde a incineração não é viável economicamente por questões de escala (Martins Dias et al., 2006).

## 2. Combustíveis Derivados de Resíduos

Designam-se por Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR) os combustíveis sólidos preparados a partir de resíduos não perigosos cuja utilização visa a recuperação de energia em unidades de incineração e co-incineração (NP 4486).

### 2.1. Características dos CDR

As características físico-químicas e biológicas de um CDR são função da composição, a qual varia consoante:

- A origem (urbana, industrial ou construção);
- O sistema de recolha (indiferenciado ou separação na fonte);
- Tratamento aplicado (maior ou menor eliminação de contaminantes).

A Tabela 2 resume as principais características do CDR enquanto combustível em comparação com o carvão (que representa os combustíveis fósseis tradicionais) e com dois tipos de biomassa que são utilizados como combustíveis renováveis.

Tabela 2 – Comparação das principais características do CDR relativamente a outros combustíveis sólidos.

<b>Parâmetro<sup>a)</sup></b>	<b>Carvão (Antracite)<sup>b)</sup></b>	<b>Aparas Pinheiro<sup>b)</sup></b>	<b>Casca de Eucalipto<sup>b)</sup></b>	<b>CDR<sup>c)</sup></b>
PCI <sup>d)</sup> (MJ/kg)	33.17	16.99	14.90	18.06
Humidade (% m/m)	1.90	9.30	12.00	18.00
Cinzas (% m/m)	2.80	0.30	4.20	15.00
Cloro (% m/m)	0.08	0.01	0.23	0.91
Enxofre (% m/m)	0.79	0.02	0.04	0.14

<sup>a)</sup> Os valores são apresentados na base tal qual produzidos (húmida, com cinzas)

<sup>b)</sup> Fonte: Phyllis (2010)

<sup>c)</sup> Características médias de um CDR, analisado no laboratório do IST

<sup>d)</sup> Poder Calorífico Inferior

O CDR apresenta um PCI médio da mesma ordem de grandeza que a biomassa convencional, ficando, no entanto, bastante aquém do carvão. Em termos de humidade, cinzas e cloro, o CDR tem teores bastante mais elevados que o carvão ou a biomassa de pinheiro ou eucalipto. No que diz respeito ao teor em enxofre, o CDR apresenta valores baixos quando comparado com o carvão.

Adicionalmente, algum do carbono presente no CDR tem origem em materiais renováveis e não fósseis, pelo que a sua queima permite a obtenção de benefícios na produção de electricidade renovável e comércio de licenças de emissão de CO<sub>2</sub>. A Figura 2 apresenta os factores de emissão do CDR em comparação com os combustíveis fósseis. A substituição de lenhite por CDR com conteúdo energético similar permite minimizar as emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 20g/MJ em termos absolutos e, contabilizando só o CO<sub>2</sub> não renovável a redução é de 60g/MJ. A biomassa é em termos absolutos a que mais CO<sub>2</sub> emite, ou seja, 110g/MJ.

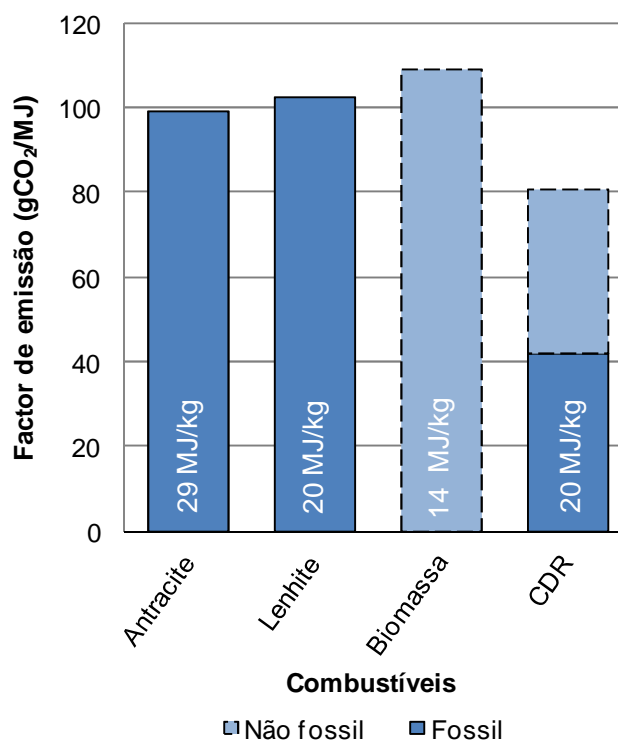


Figura 2 – Factores de emissão dos combustíveis convencionais, biomassa e CDR.

Fonte: Silva (2008).

## 2.2. Tecnologias de Produção de CDR

Os CDR podem ser obtidos a partir de resíduos sólidos não perigosos, nomeadamente resíduos industriais banais, resíduos de construção e demolição, resíduos de veículos em fim de vida ou resíduos sólidos urbanos (RSU). A grande diferença nas tecnologias de produção deve-se à presença ou não de matéria orgânica putrescível.

Em geral, nos resíduos industriais, de construção e provenientes de veículos em fim de vida só são seleccionadas as fracções não putrescíveis. Neste caso, a produção de CDR consiste normalmente em sequências de operações unitárias de tratamento mecânico como a redução de granulometria, a remoção de inertes e de alguns contaminantes de modo a separar os componentes indesejados e condicionar o material para a produção de CDR.

Na produção de CDR a partir da fracção com elevado poder calorífico (FEPC) do RSU distinguem-se dois métodos: o TMB e a bioestabilização. A principal diferença consiste no facto de no TMB a fracção orgânica putrescível não integrar o CDR, enquanto no segundo caso, os orgânicos fazem parte do combustível produzido.

No TMB ocorre a separação mecânica dos diferentes componentes do RSU indiferenciado com vista à separação da fracção orgânica, pois geralmente as unidades já existentes visam o tratamento desta última. Durante o tratamento mecânico é obtida uma fracção de rejeitado com elevado poder

calorífico que vai ser utilizada para a produção do CDR (Gendebien et al., 2003). Seguem-se etapas muito semelhantes às já descritas para a produção de CDR a partir de fluxos de resíduos industriais. Na Tabela 3 identificam-se as principais operações unitárias que se podem encontrar num TMB e respectivo objectivo.

Na Bioestabilização pretende-se apenas a produção de CDR, pelo que os resíduos são estabilizados para perda de água e inactivação biológica. Adicionalmente são retirados os inertes e os metais (Gendebien et al., 2003). A Tabela 4 mostra as operações unitárias típicas na bioestabilização e respectivo objectivo.

Tabela 3 – Objectivos das diferentes etapas do Tratamento Mecânico e Biológico aplicado a RSU.  
Adaptado de Gendebien et al. (2003).

<b>Etapas</b>	<b>Objectivo</b>	<b>Comentários</b>
Separação Mecânica	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Separar a fracção orgânica;</li> <li>. Separar possíveis recicláveis não contaminados (cartão, plástico, metais);</li> <li>. No caso da produção de CDR há a separação de contaminantes (PVC, resíduos electrónicos).</li> </ul>	As tecnologias mais comuns são a crivagem em tambor rotativo, a triagem manual, a separação por infra-vermelhos, etc.
Redução de granulometria	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Aumentar homogeneidade;</li> <li>. Facilitar armazenamento e transporte.</li> </ul>	Geralmente utilizado no caso da produção de CDR.
Tratamento Biológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Compostagem ou digestão anaeróbia da fracção orgânica para produção de composto e/ou energia.</li> </ul>	

Tabela 4 – Objectivos das diferentes etapas do Tratamento de Bioestabilização de RSU.  
Adaptado de Gendebien et al. (2003).

<b>Etapas</b>	<b>Objectivo</b>	<b>Comentários</b>
Secagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Reduz o teor de humidade para aumentar o poder calorífico e reduzir actividade biológica.</li> </ul>	Pode ser mecânica (secadores) ou biológica (compostagem acelerada).
Separação Mecânica	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Separar possíveis recicláveis (metais);</li> <li>. Separação de contaminantes (PVC, resíduos electrónicos).</li> </ul>	Utilizam-se magnetes para a remoção de metais ferrosos, correntes de Eddy ou Foucault para os metais não ferrosos, infra-vermelhos para a remoção de contaminantes, etc.
Redução de granulometria	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Aumentar homogeneidade;</li> <li>. Facilitar armazenamento e transporte.</li> </ul>	Geralmente utilizado no caso da produção de CDR.

### **2.3. Utilização de CDR**

A utilização do CDR pode ser feita em unidades dedicadas de incineração de RSU e centrais de co-incineração. Nas unidades dedicadas, o CDR é queimado para a redução do volume de resíduos e produção de energia. Nas centrais de co-incineração o CDR é utilizado como combustível de substituição para a produção de cimento com aproveitamento do conteúdo energético e material e/ou recuperação de energia para a produção de electricidade e vapor em unidades de co-geração. Estas instalações podem beneficiar do CDR como um combustível de origem renovável, com uma fracção significativa em carbono biogénico (cerca de 50 a 60%) (Martins Dias et al., 2006).

Relativamente à utilização em regime de co-incineração em centrais de biomassa ou outras, as principais motivações são o baixo custo do CDR enquanto combustível alternativo com conteúdo renovável, a sua robustez de abastecimento e localização de produção, a qual ocorre normalmente junto às zonas de utilização.

### **2.4. Enquadramento Normativo e Legislativo**

Os CDR são classificados como resíduos com o código LER<sup>1</sup> 19 12 10 – Resíduos combustíveis (combustíveis derivados de resíduos).

O enquadramento normativo é feito pela Norma Portuguesa 4486 (2008) que enquadra a produção e classificação de CDR em Portugal bem como a gestão de qualidade ao longo do processo de produção. Esta Norma articula todas as especificações técnicas produzidas pelo CEN/TC 343 “*Solid Recovered Fuels*” para enquadramento ao nível Europeu tendo em conta a legislação portuguesa.

O Decreto-Lei (DL) 178/2006, de 5 de Setembro, enquadra a produção de CDR, que consiste numa operação de gestão de resíduos, a qual deve ser feita de acordo com a norma técnica para o efeito. Complementarmente define os termos necessários à agilização dos procedimentos de licenciamento da produção e utilização de CDR.

O DL 85/2005, de 28 de Abril, que transpõe para o direito nacional a Directiva Incineração, fixa limites de emissão para as operações de incineração e co-incineração de todos os tipos de resíduos, incluindo, à data, os CDR, requerendo a monitorização em contínuo de diversos parâmetros, e no caso de dioxinas, furanos e metais pesados, apenas duas vezes por ano.

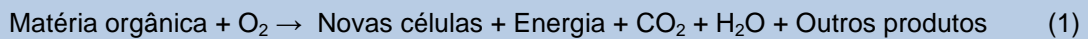
---

<sup>1</sup> Lista Europeia de Resíduos

### 3. Caracterização Biológica de Resíduos

A estabilidade biológica diminui a produção de odores, a degradação da matéria orgânica e o crescimento de patógenos (Iannotti et al., 1993; Adani et al., 2006). A actividade biológica em RS pode ocorrer em ambiente aeróbio ou anaeróbio dando origem a sub-produtos diferentes que podem pôr em causa não só a qualidade do CDR como a segurança durante o armazenamento. Cite-se por exemplo, o risco de incêndio associado à acumulação de biogás gerado durante a decomposição anaeróbia de matéria orgânica putrescível.

A decomposição aeróbia de resíduos pode ser definida como a bio-oxidação da matéria orgânica pelos organismos (1).



A Figura 3 esquematiza os mecanismos que ocorrem durante a degradação anaeróbia e os respectivos microrganismos intervenientes em cada operação.

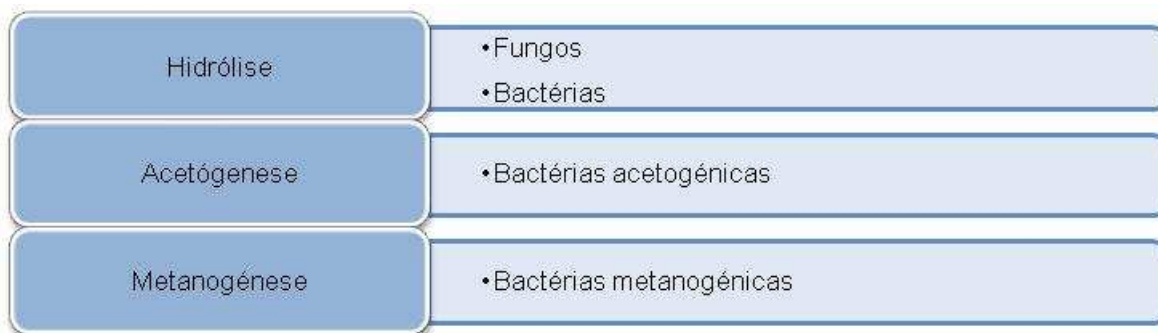


Figura 3 - Operações que ocorrem durante a degradação anaeróbia e respectivos microrganismos intervenientes.

Fonte: Miller e Clesceri (2000).

Para que haja estabilidade biológica dos resíduos é necessário controlar parâmetros como o carbono (substrato utilizado pelos organismos), o teor de oxigénio (respiração aeróbia), o teor em água, a fauna própria e a temperatura (Miller e Clesceri, 2000).

Na decomposição aeróbia, a hidrólise é também um passo limitante que pode ser considerado como uma reacção de 1ª ordem e cuja constante cinética para compostos específicos se pode encontrar tabelada (Anexo I).



### **3.1. Carbono**

Os resíduos e os CDR têm na sua constituição, nutrientes como o N, P e S, e quantidades apreciáveis de carbono (40 a 50% m/m), distinguindo-se dois tipos de carbono, de acordo com a sua biodisponibilidade.

O carbono degradável, de origem biogénica que pode ser encontrado em diferentes componentes do RS como:

- Açúcares, amidos, etc. - surgem no CDR sobretudo por via dos resíduos de cozinha impregnados na FEPC que é utilizada como matéria-prima.
- Celulose, Hemicelulose, Lenhina, etc. – sobretudo presentes nas fracções de papel e cartão.
- Óleos e gorduras – à semelhança dos organismos solúveis surgem nos resíduos de cozinha que impregnam a FEPC.

No CDR, é importante a conservação da fracção biogénica pois é esta fracção que lhe confere características renováveis e não fósseis.

Adicionalmente, pode encontrar-se carbono sob forma de cadeias complexas, dificilmente biodegradáveis como por exemplo nos plásticos e outros materiais com origem em matérias-primas fósseis.

### **3.2. Oxigénio**

Na decomposição aeróbia de resíduos, o fornecimento de oxigénio aos organismos determina a cinética de degradação. No entanto, matrizes sólidas como o CDR não oferecem as condições óptimas para o fornecimento de oxigénio, pois este deve estar dissolvido na fase aquosa. O oxigénio não é muito solúvel na fase aquosa, assim, a sua biodisponibilidade vai depender da capacidade de adsorção de água pelos resíduos (Miller e Clesceri, 2000).

Por outro lado, a degradação vai depender da relação entre a taxa de transferência de oxigénio da fase gasosa para a fase líquida e a taxa de consumo por parte dos organismos (Miller e Clesceri, 2000).

### 3.3. Teor em Água

#### 3.3.1.A disponibilidade da água para a actividade biológica

A humidade é uma propriedade bastante utilizada para caracterizar o CDR, sobretudo para efeitos de queima. No entanto, este parâmetro não é directamente relacionável com a água disponível para a actividade biológica.

A adsorção da água nos materiais vai condicionar a sua biodisponibilidade, e pode ser representada por uma curva isotérmica de adsorção do tipo II (apresentada na Figura 4).

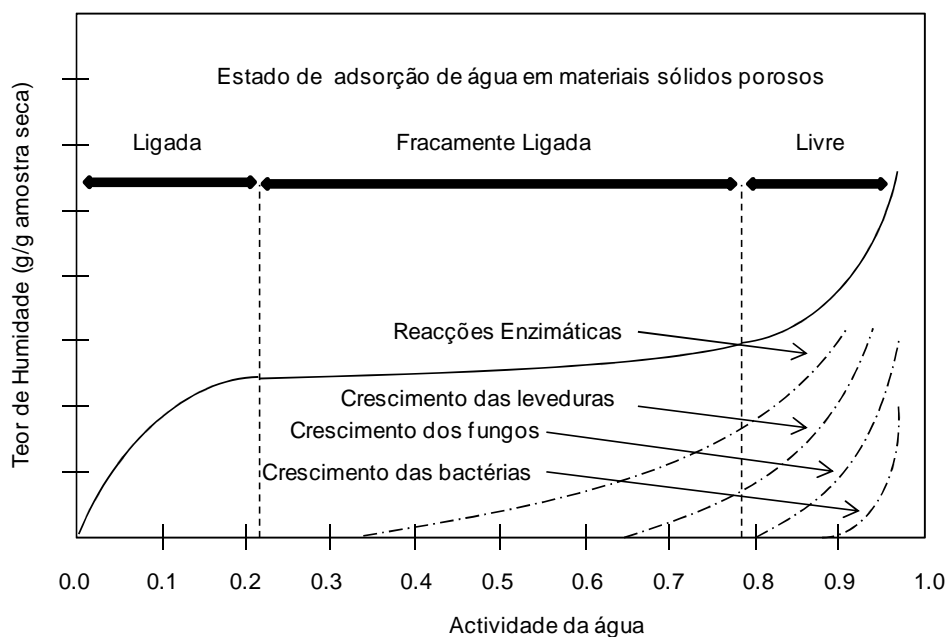


Figura 4 – Estados da adsorção de água em materiais sólidos porosos e influência da actividade da água no comportamento do crescimento dos diferentes organismos.

Adaptado de Miller e Clesceri (2000).

Distinguem-se então três estados de adsorção da água nos resíduos:

- Ligada – neste estado a água não está disponível para os organismos, pois a energia requerida para extrair essa água do resíduo é demasiado elevada.
- Fracamente ligada – neste estado a disponibilidade da água depende dos organismos, do substrato e das condições químicas.
- Livre – a água está disponível para os organismos.

O teor de água (humidade) não se correlaciona directamente com estes estados de adsorção da água dificultando o conhecimento da sua disponibilidade. No entanto, é possível relacionar o teor de água com a actividade da água ( $a_w$ ) e posteriormente com os estados de adsorção.

A actividade da água é uma propriedade termodinâmica que quantifica a disponibilidade atmosférica da água, podendo condicionar a sua disponibilidade para os organismos. A actividade da água está directamente relacionada com a humidade relativa de equilíbrio do resíduo, i.e., a humidade de equilíbrio entre o resíduo sólido e o ambiente envolvente. Corresponde à razão entre a pressão de vapor da água de equilíbrio e a pressão de vapor da água pura. Existem no mercado equipamentos inclusive do tipo portátil que permitem medir facilmente a actividade da água em sólidos com potencial para utilização no controle indirecto da actividade/estabilidade de um CDR.

### **3.3.2.Os superabsorventes**

Os polímeros superabsorventes (PSA) são polímeros de acrilamida por adição de um agente reticulante que absorvem e retêm grandes quantidades de água ou líquidos fisiológicos. São constituídos por redes tridimensionais de cadeias de polímeros flexíveis que possuem grupos iónicos funcionais que permitem a ligação às moléculas de água por fenómenos de osmose, capilaridade e repulsão de grupos carregados.

Os PSA expandem-se até ao seu volume de equilíbrio mas não se dissolvem. Retêm 100 a 1000 gramas de água por grama de polímero seco (como ilustra a Figura 5), estando a maior ou menor capacidade de retenção condicionada por diversos factores estruturais como por exemplo, a concentração de sais no meio envolvente, a qual pode afectar a osmose (Ghebru e Stein, 2007). Em geral, apresentam estabilidade mecânica, podendo resistir a repetidos ciclos de absorção-desabsorção.

Os PSA são utilizados em diversas áreas como a agricultura para aumento da capacidade de retenção de água no solo, melhoria da penetração de água no solo e redução da evaporação. Os PSA são ainda amplamente utilizados nas fraldas descartáveis e outros produtos de higiene devido à sua capacidade de absorção (Evonik Industries, 2010).



Figura 5 – Efeito da absorção de água em superabsorventes com diferentes granulometrias.  
Fonte: Tramfloc, Inc.

Neste trabalho avalia-se a possibilidade da sua utilização para controlar a biodisponibilidade da água para a actividade biológica.

### 3.4. Fauna Própria

Considera-se como fauna própria o conjunto dos microorganismos que pode ser encontrado no resíduo.

Quando a produção de CDR tem como matéria-prima resíduos industriais, de construção e demolição ou veículos em fim de vida, geralmente a fauna própria é insuficiente para promover a degradação do resíduo. No entanto, a FEPC proveniente do tratamento mecânico de RSU encontra-se contaminada com matéria orgânica putrescível, a qual propicia a existência de microorganismos como as bactérias, os fungos, as leveduras e os actinomicetes (Tchobanoglous et al., 1993).

O teor de água disponível nos resíduos afecta a taxa de colonização para os primeiros organismos consumidores, sendo estes organismos as bactérias e fungos que hidrolisam as moléculas contidas no resíduo, produzindo substrato para os organismos que vão colonizar posteriormente.

Habitualmente, antes do início da actividade biológica há um período de tempo de adaptação dos organismos, denominado *lag phase*, que pode ser variável consoante as condições de humidade, de temperatura ou mesmo da constituição do substrato. Após a *lag phase*, a taxa máxima de crescimento e o consumo máximo de substrato podem atingir os valores máximos, dependendo isso da concentração de organismos que vão degradar o substrato (Miller e Clesceri, 2000).

### 3.5. Temperatura

A temperatura influencia a actividade biológica dos organismos, pois existem valores óptimos de temperatura para os quais determinados organismos se desenvolvem.

Os microorganismos agrupam-se em diferentes temperaturas e distinguem-se quatro tipos:

- psicrófilos
- mesófilos
- termófilos
- hipertermófilos

A Figura 6 ilustra as gamas de temperatura em que os diferentes microorganismos se desenvolvem.

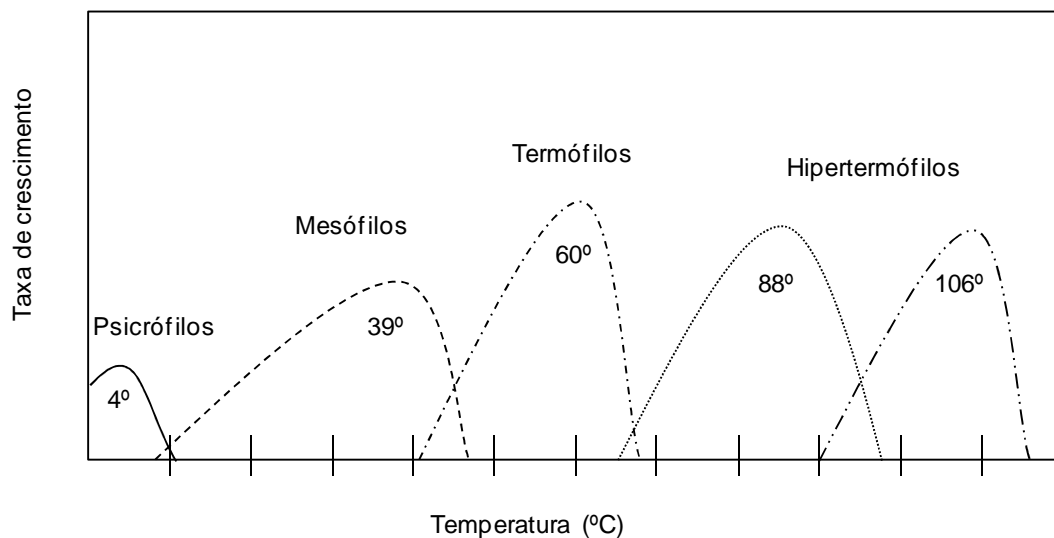


Figura 6 – Relação entre a temperatura e a taxa de crescimento dos diferentes tipos de microorganismos.  
Fonte: Madigan et al. (2000).

O aumento da temperatura devido ao metabolismo respiratório dos organismos provém do facto das reacções aeróbias serem exotérmicas (Adani et al., 2006; Tchobanoglous et al., 1993). Durante a degradação do substrato, o calor produzido determina a variação de temperatura (Adani et al., 2006).

A estabilidade biológica é atingida com maior facilidade para temperaturas mesofílicas (35°C) ou moderadamente termofílicas (40-45°C), desde que as concentrações de oxigénio e humidade sejam mantidas num intervalo óptimo (Adani et al., 2002).

## II. CONTEXTO E OBJECTIVO DO TRABALHO

O CDR produzido a partir da FEPC do RSU (gerada num TMB), está contaminado com matéria orgânica putrescível o que, associado às condições climatéricas mais amenas, como as verificadas em climas mediterrânicos pode potenciar a sua degradação. Assim, durante o armazenamento, o CDR pode sofrer transformações físicas, químicas e biológicas indesejáveis, devido a reacções aeróbias e/ou anaeróbias, levando à libertação de odores, de lixiviados e de gases inflamáveis.

A estabilidade biológica de resíduos tem sido largamente estudada no contexto dos processos de compostagem (Iannotti et al., 1993; Adani et al, 2001; Gomez et al, 2006) visando a determinação das condições que conduzem à maximização da degradação do substrato.

A estabilidade biológica do CDR tem sido estudada em paralelo centrando-se apenas no processo de produção via bioestabilização (Adani et al, 2002). A monitorização da estabilidade biológica de um CDR ou de fracções que o possam vir a constituir não têm sido alvo de estudo apesar de pertinente sempre que se encontra contaminado com matéria orgânica putrescível. Uma das questões mais relevantes associadas à comercialização do CDR é o tempo durante o qual pode estar armazenado, sobretudo se for considerada a opção de utilização em regime de co-incineração.

Esta tese pretende contribuir para a avaliação do potencial de degradação da fracção com elevado poder calorífico utilizando um método respirométrico estático estudando a influência de factores como a humidade e disponibilidade da água, associados à temperatura. Os resultados obtidos serão comparados com a determinação teórica da taxa de hidrólise aeróbia do mesmo CDR. A metodologia desenvolvida para a monitorização da bioestabilidade do CDR ou fracção poderá vir a ser utilizada para prever com segurança o tempo máximo de armazenamento.

### III. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 1. Materiais

##### 1.1. CDR

O material em estudo é constituído por uma fracção com elevado poder calorífico proveniente da recolha indiferenciada de RSU, recolhida numa estação de TMB perto de Lisboa.

As amostras analisadas consistem na fracção não putrescível com tamanho variável entre 80 mm e 120 mm que é gerada durante o tratamento mecânico de RSU indiferenciado (Figura 7). De modo a simular a produção de CDR esta fracção foi submetida à remoção de vidros e metais e destroçada a 30 mm. As amostras foram recolhidas e disponibilizadas pela estação de tratamento.

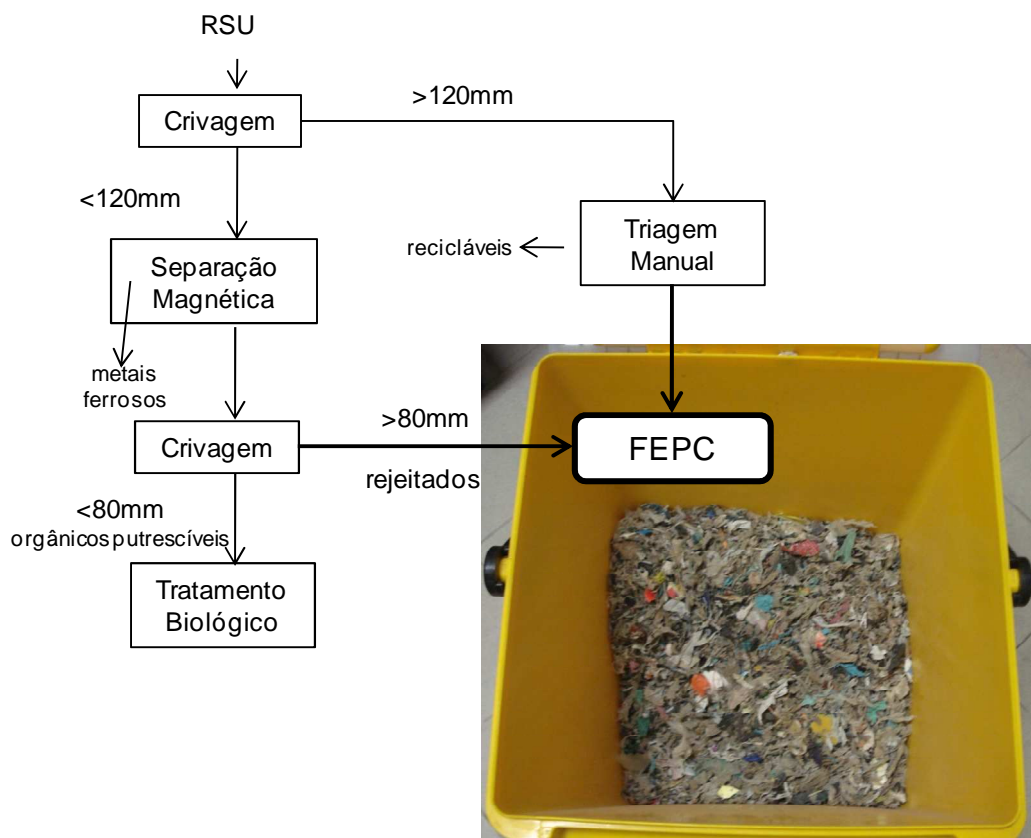


Figura 7 – Esquema de tratamento do RSU para obtenção da FEPC em estudo.

A Tabela 5 resume a composição física da FEPC, geralmente disponibilizada pela unidade de TMB e sistematiza também valores recolhidos na literatura (Miller e Clesceri, 2000) para a taxa de hidrólise típica dos materiais que compõem as diferentes fracções.

Tabela 5 – Composição física da FEPC obtida pelo tratamento mecânico de RSU. Taxas de hidrólise média em condições ambiente ( $k_H$ ) (Miller e Clesceri, 2000).

Componentes	Composição (% m/m)	Taxa de hidrólise [ $k_H$ ( $d^{-1}$ )]
Resíduos alimentares	16,6	0,1 <sup>a)</sup> – 0,0001 <sup>b)</sup>
Papel	20,6	0,01
Cartão	8,6	0,01
Resíduos de jardim	4,3	0,01
Têxteis higiénicos	8,1	0,01 <sup>c)</sup> – 0,0001 <sup>d)</sup>
Têxteis	7,3	0,0001
Metais	2,3	0,00001
Plásticos	18,2	0,000001
Outros	14,2	0,000001

a) Arroz cozinhado

b) Carne e peixe cozinhados, casca de ovo, pão, óleos e gorduras, banana, cereja, pêsego, brócolos, cenouras

c) Papel higiénico

d) Fraldas descartáveis

## 1.2. Material de Diluição

O material de diluição é composto por plástico PET (politereftalato de etileno) proveniente de garrafas/garrações de água após trituração à mesma granulometria da amostra, 10 mm.

O material de diluição foi escolhido para funcionar como material estruturante, ou seja, permitir a existência de espaços entre as partículas de resíduo e promover as trocas gasosas. O material estruturante vai ajudar na difusão do oxigénio através da matriz, visto que o método escolhido para a determinação da actividade biológica é estático e tem esse factor como limitante.

## 2. Métodos

### 2.1. Avaliação preliminar da degradabilidade do CDR – Taxa de hidrólise

A avaliação da degradabilidade da FEPC foi feita através do estudo da contribuição teórica dos principais componentes da FEPC para a sua taxa de hidrólise através da média ponderada da cinética de hidrólise aeróbia de cada componente, tendo em conta que a reacção de hidrólise é um passo determinante durante a decomposição aeróbia dos resíduos. Cada componente apresenta uma



taxa de degradação aeróbia de primeira ordem (2) e portanto proporcional ao teor do componente na FEPC (Miller e Clesceri, 2000):

$$\frac{dS}{dt} = (\pm)k_H S \quad (2)$$

onde  $k_H$  é a taxa de hidrólise aeróbia ( $d^{-1}$ ) e  $S$  é a quantidade de substrato que é convertido (kg). Os valores de  $k_H$  foram recolhidos da literatura (Miller e Clesceri, 2000), e utilizou-se nos cálculos apenas a ordem de grandeza dos valores originais para cada componente (Tabela 5) presentes na FEPC.

## 2.2. Avaliação da estabilidade biológica - Teste de CBO

Existem diferentes métodos para a avaliação da estabilidade biológica de resíduos que se encontram descritos com maior detalhe no Anexo I.

No presente trabalho, a cinética de decomposição aeróbia do CDR foi avaliada através do teste de Carência Bioquímica de Oxigênio (CBO), um teste respirométrico estático onde o consumo de oxigênio é determinado por diferencial de pressão dentro de um frasco fechado. Quando o  $O_2$  é consumido, e após assegurar que todo o  $CO_2$  formado é absorvido por uma solução adequada, através de um registador de dados é recolhida informação acerca da diminuição na pressão dentro do frasco.

Os ensaios foram realizados durante 5 a 10 dias através do Sistema de Controlo WTW<sup>®</sup> OxiTop em frascos de 1 L e 2,5 L. A Figura 8 ilustra os componentes do sistema medidor de CBO. A absorção de  $CO_2$  foi feita em cal sodada, com grânulos de 1 mm a 2,5 mm.

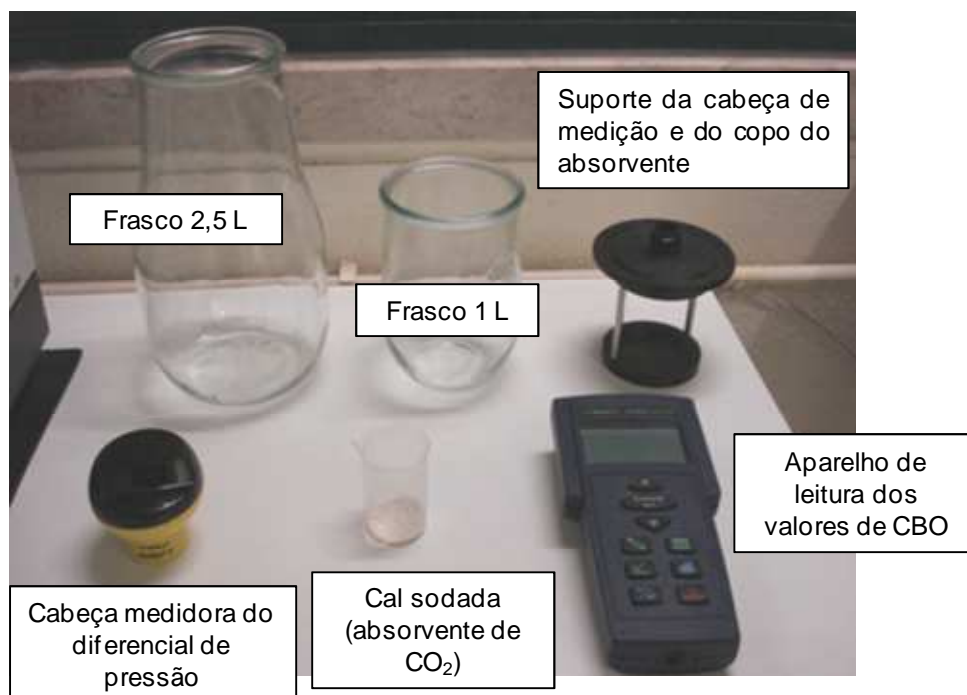


Figura 8 – Constituintes do sistema de medição de CBO utilizado.

As quantidades de amostra colocadas dentro do frasco variaram entre as 2,3 g (diluição 1:10), as 4,6 g (diluição 1:5) e as 23 g para os diferentes testes. As quantidades foram escolhidas com base no limite máximo de detecção do equipamento (4000 mg O<sub>2</sub>/l.h).

Nos ensaios com PSA utilizaram-se 23g de amostra e 0,25g e 1g de PSA, Stockosorb<sup>®</sup> 400 F.

Os ensaios respirométricos foram realizados nas condições expressas na Tabela 6, sendo que a Humidade\* foi calculada apenas tendo em conta a massa da FEPC, não se contabilizando a massa de PET. A temperatura dos ensaios foi assegurada pela utilização de câmaras climatizadoras (Figura 9).

Tabela 6 – Condições experimentais utilizadas para a avaliação da estabilidade biológica de CDR. A diluição da amostra foi obtida adicionando partículas de PET. A massa total de amostra de 23 g manteve-se constante, foram usadas partículas com um diâmetro mínimo de 10 mm com ρFEPC= 200 kg/m<sup>3</sup> e ρPET= 350 kg/m<sup>3</sup>). O superabsorvente utilizado foi Stockosorb<sup>®</sup> 400 F.

T (°C)	FEPC		PET	SAP	Humidade * 2) (%)
	Massa <sup>1)</sup> (g)	Humidade inicial (%)	Massa seca (g)	Massa seca (g)	
17	4,6	22	19,4	-	66,4
	4,6	22	19,4	-	71,8
	ND	ND	ND	-	ND
	2,3	22	21,2	-	86,8
25	2,3	22	21,2	-	11,4
	2,3	22	21,2	-	16,4
	2,3	22	21,2	-	22,2
	2,3	22	21,2	-	80,1
	2,3	22	21,2	-	86,8
25	21,3	8	-	0,4	49,1
	21,3	8	-	-	49,6
25	17,9	28	-	0,2	45,5
	17,9	28	-	-	45,8

ND: não determinado

<sup>1)</sup> Massa de FEPC “tal e qual como recebida”

$$^2) \text{ Humidade}^*(\%) = \left( \frac{\text{Água na FEPC}(g) + \text{Água adicionada}(g)}{\text{Água na FEPC}(g) + \text{Água adicionada}(g) + \text{FEPC}(g)} \right) \times 100$$



Figura 9 – Pormenor fotográfico dos ensaios de CBO efectuados em ambiente climatizado.

### **2.3. Métodos para redução de massa**

O processo de redução de massa da amostra adoptado é o Método Manual dos Incrementos (CEN/TS 15443).

O Método Manual dos Incrementos consiste na formação de uma pilha de resíduos homogénea, que é posteriormente espalhada/achatada, sem compactação do material, até se compor um rectângulo. Esse rectângulo é dividido em 24 incrementos, dos quais são seleccionados alternadamente 12 incrementos. O procedimento encontra-se descrito em maior pormenor por Mendonça (2008).

### **2.4. Métodos para redução de granulometria**

A redução de granulometria foi realizada com o objectivo de aumentar a homogeneidade do CDR e aumentar a razão área/volume, permitindo que as trocas gasosas se realizassem mais facilmente durante os ensaios respirométricos.

Para a redução de granulometria da amostra e do material de diluição utilizou-se um moinho de lâminas, da marca Retsch e modelo SM 2000, equipado com um crivo de 10mm com uma malha do tipo quadrado. As amostras de CDR a 10mm e do material de diluição foram guardadas em baldes fechados e em local seco para que não houvesse alteração das suas características.

## **2.5. Métodos para a medição e acerto de humidade**

A quantificação de humidade, passa pela secagem da amostra a  $105\pm 2$  °C numa estufa à pressão atmosférica, até atingir peso constante. A humidade é calculada pela perda de massa da amostra (CEN/TS 15414-3:2006).

O método de referência para CDR (CEN/TS 15414-3:2006) exige 300g de amostra espalhada na proporção de  $1\text{g}/\text{cm}^2$ , sendo que o equipamento existente não permite essa distribuição. No entanto, as massas de amostra utilizadas foram bastante semelhantes (os valores variaram de acordo com a redução de massa efectuada) e tentou-se uniformizar a sua distribuição na maior área possível.

Para a alteração das percentagens de humidade foi necessário secar a amostra (para obter valores mais baixos) utilizando-se para isso uma temperatura de secagem de 40 °C de modo a evitar a morte da fauna própria dos resíduos. Analogamente foi necessário adicionar água à amostra (para obter percentagens de humidade mais elevadas), tendo-se utilizado um dispersor.

## IV. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 1. Estudo preliminar da degradabilidade do CDR por análise da taxa de hidrólise

Com base na composição física do CDR em estudo, foi feita uma análise preliminar da sua degradabilidade calculando para isso a contribuição teórica (Miller e Clesceri, 2000) de cada componente de CDR para taxa de hidrólise (Figura 10).

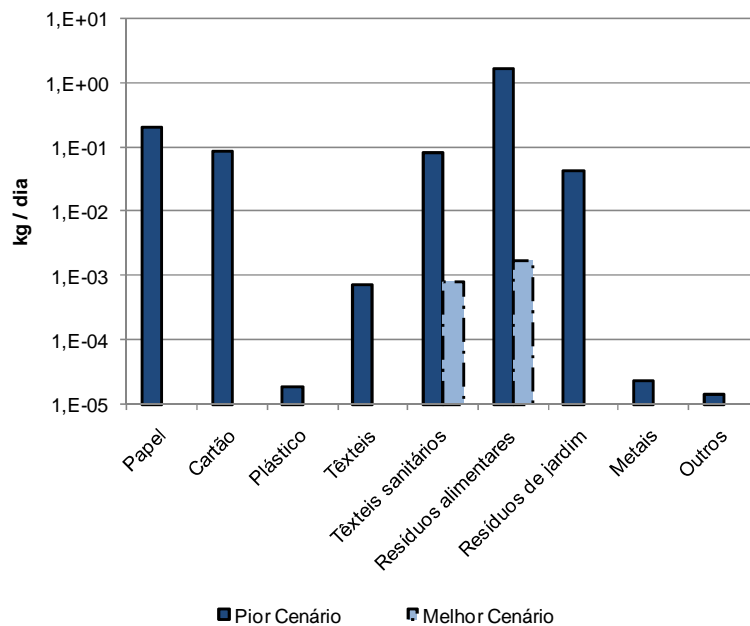


Figura 10- Análise teórica da contribuição dos principais componentes do CDR para cinética de hidrólise aeróbia.

Dada a ampla gama de materiais que podem compor os resíduos alimentares e, a diferença encontrada entre os valores da taxa de hidrólise ( $k_H$ ) tanto para os resíduos alimentares como para os têxteis sanitários, produziram-se dois possíveis cenários que foram investigados. No pior cenário, nos resíduos alimentares foram considerados os materiais com os valores de  $k_H$  mais elevados, como o arroz e nos têxteis sanitários foi considerado principalmente o papel higiênico. No melhor cenário, materiais com valores de  $k_H$  mais baixos, como as fraldas foram consideradas como o principal componente dos têxteis sanitários e, relativamente aos resíduos alimentares foi considerada uma mistura de materiais com baixa taxa de degradação, como peixe cozido ou carne, ovos, etc.

A análise da Figura 10 revela que dois dos componentes que mais contribuem para a degradação do CDR são o papel e o cartão. Apesar de possuírem valores de  $k_H$  inferiores aos das frações mais putrescíveis, como os resíduos alimentares ou de jardim, a sua quantidade no CDR é suficiente para desempenharem um papel importante na cinética de hidrólise. O somatório dos valores de cinética de hidrólise de cada componente corresponde à cinética de degradação total do resíduo.

## 2. Efeito da humidade e da temperatura na actividade biológica do CDR

### 2.1. Resultados de CBO

De modo a estudar a influência da humidade na cinética de degradação do CDR, os consumos de O<sub>2</sub> obtidos durante cada ensaio (Anexo II) foram analisados graficamente. Inicialmente foi identificada a *lag phase*, que se revelou de 12 a 24 horas para a temperatura de 25 °C (Figura 11). Em cada caso particular foi determinada a cinética através da melhor relação linear observada na zona de elevado consumo de O<sub>2</sub>. Na Figura 11 pode-se ainda observar os resultados para os ensaios a 25 °C com humidades entre 11% e 87%.

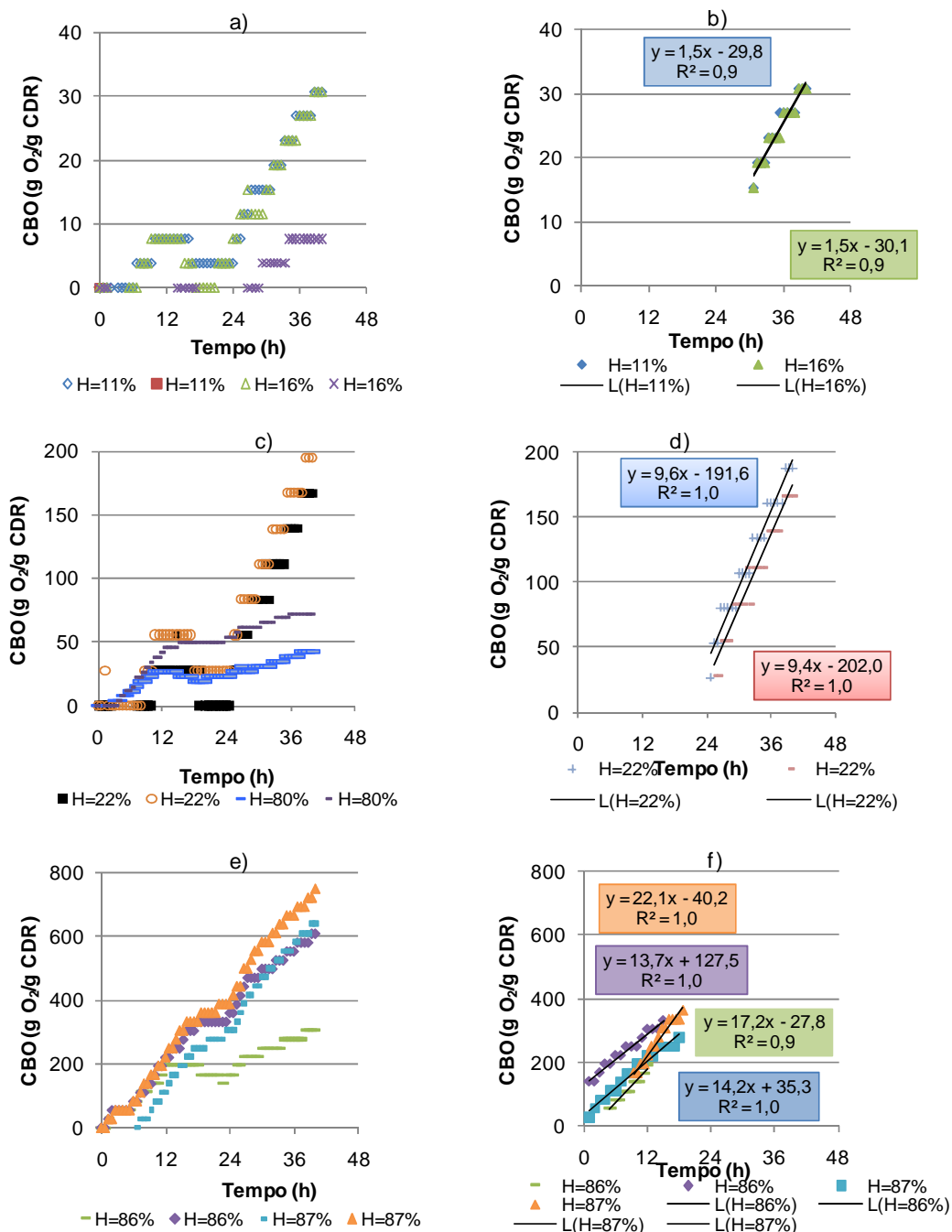


Figura 11 – Valores de CBO obtidos para humidades de 11% e 16% (a)), 22% e 80% (c)) e 86% e 87% (e)) e análise gráfica dos valores para obtenção das cinéticas para humidade de 11% e 16% (b)), 22% (d)) e 86% e 87% (f)).

Para a temperatura de 17 °C foram feitos dois conjuntos de ensaios cuja análise da *lag phase* e das relações lineares para obtenção dos valores da cinética se apresentam nas Figuras 12 e 13.

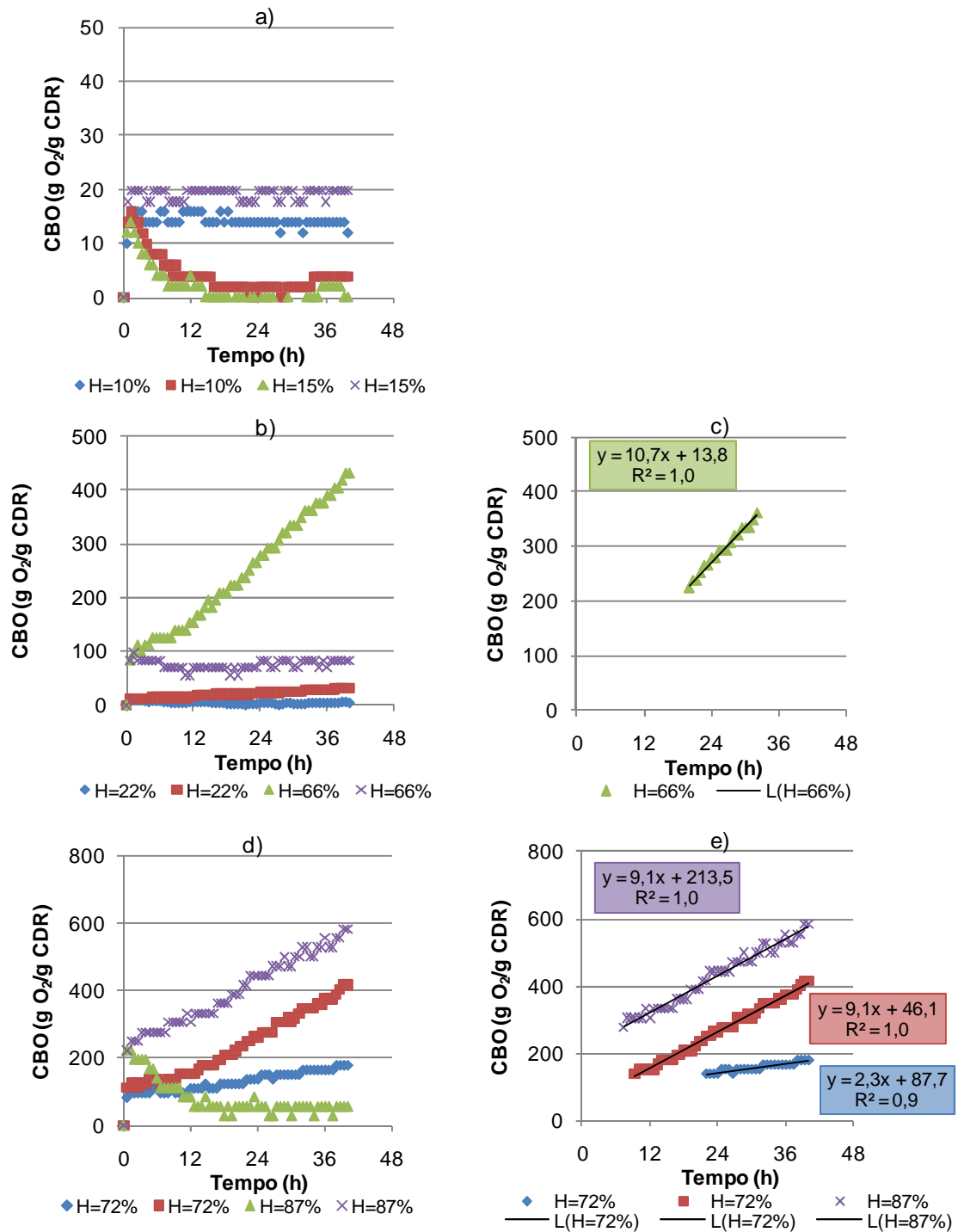


Figura 12 - Valores de CBO obtidos para humidades de 10% e 15% (a)), 22% e 66% (b)) e 72% e 87% (d)) e análise gráfica dos valores para obtenção das cinéticas para humidade de 66% (c)) e 72% e 87% (e)).

A 17°C nem sempre se verificou actividade biológica. Aquando da sua existência constatou-se que a *lag phase* é de aproximadamente 12 horas. Devido à heterogeneidade de resultados os ensaios a 17°C foram repetidos (Figura 13).

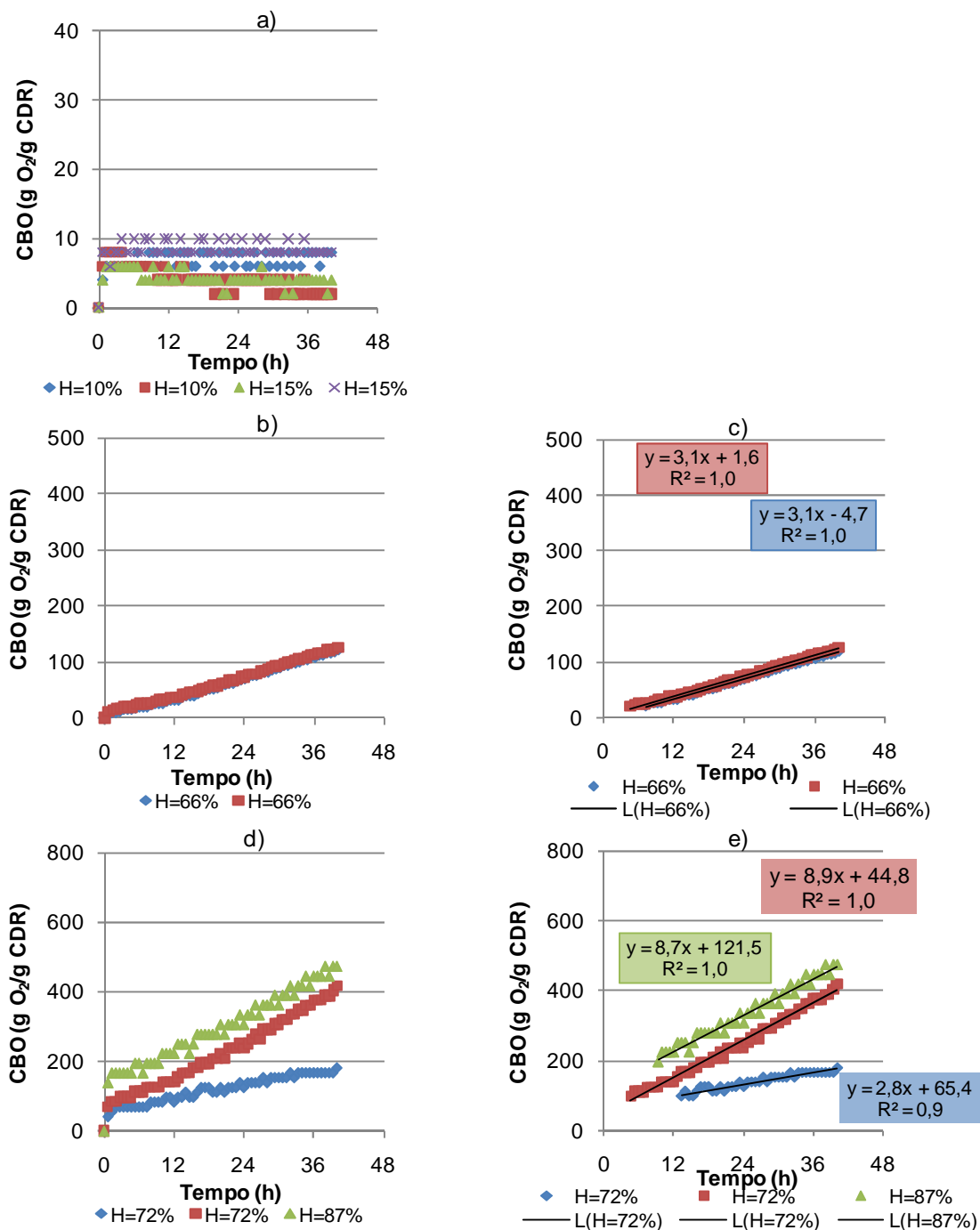


Figura 13 - Valores de CBO obtidos para humidades de 10% e 15% (a), 66% (b) e 72% e 87% (d) e análise gráfica dos valores para obtenção das cinéticas para humidade de 66% (c) e 72% e 87% (e).

No segundo ensaio de CBO a 17°C verificou-se que a humidades mais baixas não há actividade biológica suficiente para a determinação de cinéticas de degradação. Os resultados apresentam-se mais homogêneos e a *lag phase* varia entre 6 e 12 horas.



## 2.2. Cinética de degradação do CDR

A Figura 14 mostra os resultados experimentais do estudo da influência da temperatura e da humidade na cinética de degradação do CDR produzido a partir da fracção indiferenciada do RSU (com um teor de humidade inicial de 22%).

Conforme foi dito em 2.1 (capítulo IV) esta cinética foi determinada pela análise gráfica dos resultados de CBO nas primeiras 48 horas de ensaio a 25 °C (Figura 11) e a 17 °C (Figura 12 e 13) e foram escolhidos os intervalos de pontos onde a actividade biológica foi mais intensa.

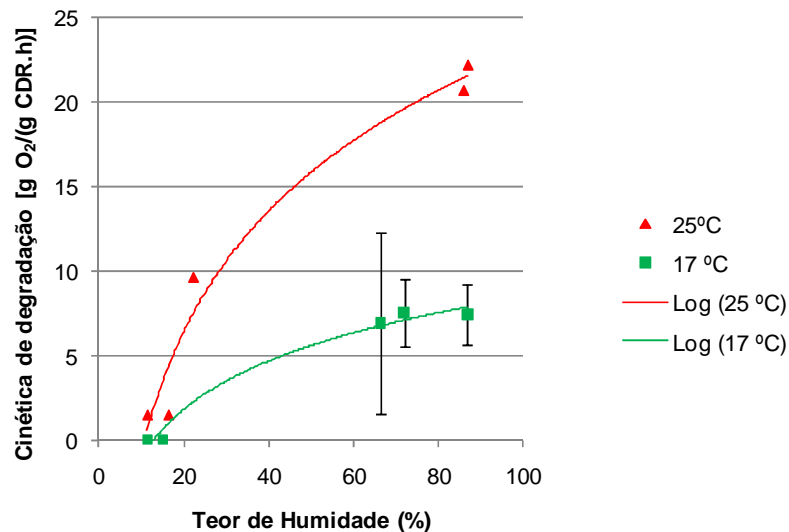


Figura 14 - Influência da humidade e da temperatura na cinética de degradação aeróbia do CDR produzido a partir da FEPC de RSU. As barras de erro correspondem ao desvio padrão.

A humidade adicionada ao CDR parece conduzir a um aumento logarítmico da taxa de degradação, comportamento este esperado. No entanto, a Figura 14 mostra que as humidades óptimas em que ocorre degradação variam entre os 65% (ensaio a 17°C) e os 90% (ensaio a 25°C), sendo superiores aos valores encontrados na literatura para RSU, de 30% a 65% a temperaturas mesofílicas da ordem dos 35 °C (Adani et al, 2001).

Este facto pode ser devido à capacidade de retenção de água do CDR, que é (provavelmente) maior do que no RSU (o material estudado na literatura), dada a sua composição física rica em materiais com capacidade de retenção como os têxteis, o cartão etc.

A Figura 14 permite ainda observar que a temperatura pode influenciar a cinética de degradação. Existe um aumento significativo da actividade biológica para as temperaturas de 25°C (quase três vezes maior na humidade de 80%) quando comparado com os resultados a 17°C. Este resultado é esperado uma vez que a literatura afirma que as temperaturas mesófilas são mais eficazes para fins de degradação quando os parâmetros de processo (humidade e oxigénio) são mantidos num intervalo óptimo (Adani et al, 2002). Por outro lado, a temperaturas inferiores a degradação só é

possível em amostras com teor de humidade superior a 60%, enquanto a 25°C a actividade biológica existe, mesmo com baixo teor de água.

### 3. Influência da disponibilidade de água na cinética de degradação

Para estudar a disponibilidade da água foram efectuados ensaios com PSA como agente de fixação da água livre.

Na Figura 15 apresentam-se as cinéticas de consumo de O<sub>2</sub> obtidas nos ensaios a 25 °C à humidade de 46% para a amostra controlo e para a mesma amostra com 1g de PSA (dados no Anexo II).

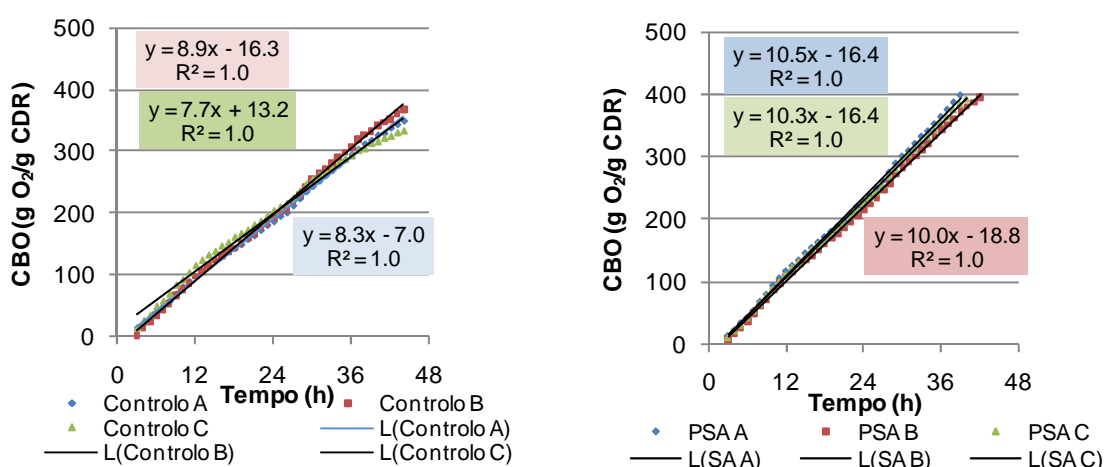


Figura 15 - Valores de CBO obtidos para humidade de 46% e análise gráfica dos valores para obtenção das cinéticas para a amostra controlo (a) e para a amostra com superabsorvente (b)).

Inicialmente foi identificada a *lag phase* de 2 horas e, em cada caso particular foi determinada a cinética através da melhor relação linear nas zonas de crescimento (que se revelou como sendo a quase totalidade dos dados).

A Figura 16 apresenta os resultados para os ensaios a 25 °C com humidade de 50% para a amostra controlo e para a amostra com menor quantidade de superabsorvente (0,25g).

A *lag phase* foi identificada na primeira hora e, portanto o processo de adaptação foi mais rápido que no caso anterior, no entanto a amostra de partida não provinha do mesmo lote utilizado nos restantes ensaios.

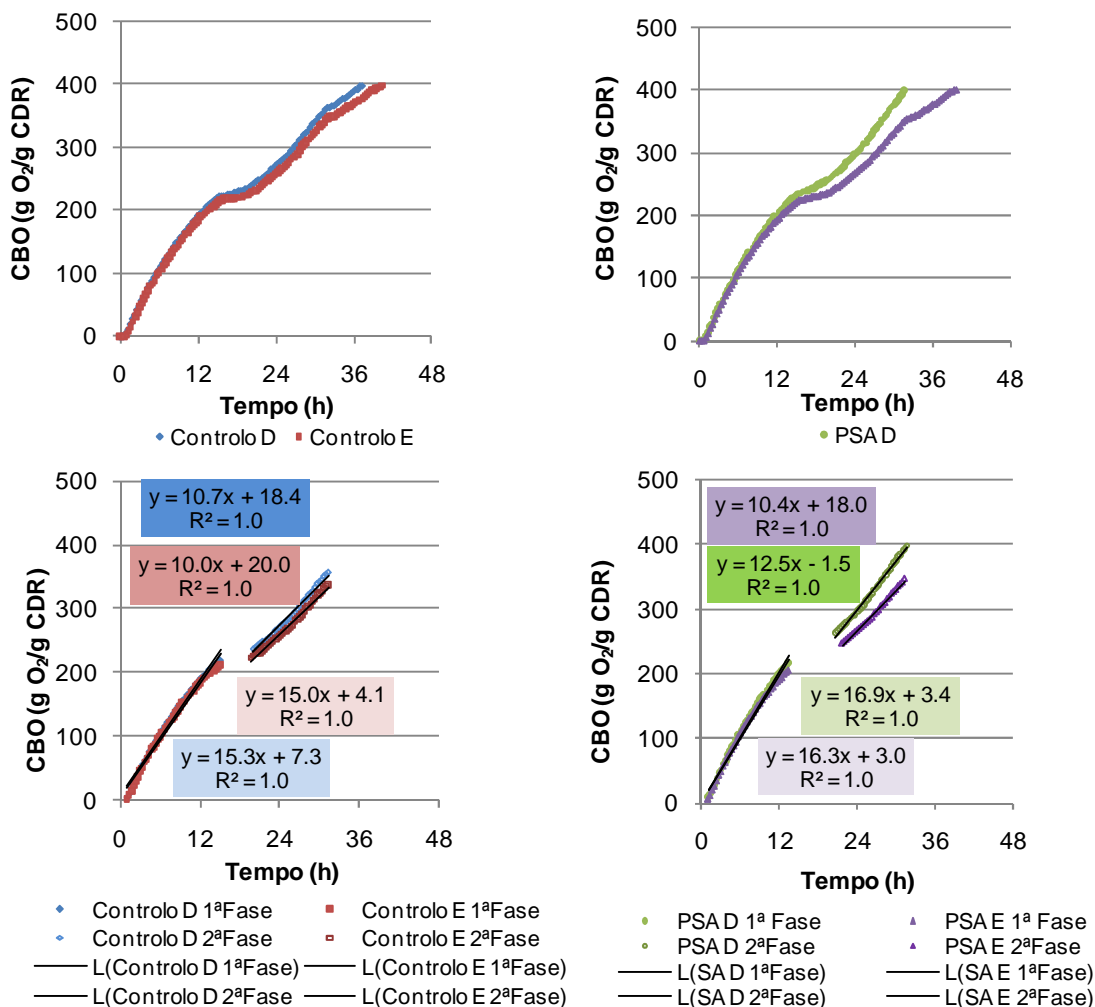


Figura 16 - Valores de CBO obtidos para humidade de 50% para a amostra controlo (a) e para a amostra com superabsorvente (b) e análise gráfica dos valores para obtenção das cinéticas para a amostra controlo (c) e para a amostra com superabsorvente (d)).

Verificou-se ainda a existência de crescimento diaúxico (na presença de dois substratos) para a amostra controlo e para a amostra com superabsorvente. Conforme mostra a Figura 16 a) houve um crescimento acentuado do consumo de O<sub>2</sub> até às 15 horas, sendo que nesta fase é consumida uma fonte de carbono que se identifica como sendo a principal (provavelmente proveniente dos orgânicos putrescíveis) a qual permite um crescimento mais rápido. Entre as 15 horas e as 20 horas, esta fonte de carbono esgota-se, sendo o consumo de O<sub>2</sub> constante. Das 20 horas até às 40 horas há um crescimento acentuado do consumo de O<sub>2</sub> (mas não tão acentuado como no início do processo), sendo que nesta fase se considera que é consumida uma fonte de carbono secundária (contida no papel e cartão, por exemplo).

Numa análise semelhante para a Figura 16 b) verifica-se um crescimento acentuado até às 13 horas, (fonte de carbono principal). Entre as 13 horas e as 21 horas, a fonte de carbono esgota-se e das 21 horas até às 40 horas há, de novo, um crescimento acentuado do consumo de O<sub>2</sub>.

A Figura 17 resume os resultados experimentais da adição de PSA, Stockosorb® 400F na cinética de degradação do CDR produzido a partir da fracção indiferenciada de RSU. Estes resultados foram obtidos seguindo a actividade biológica nas primeiras 48 horas.

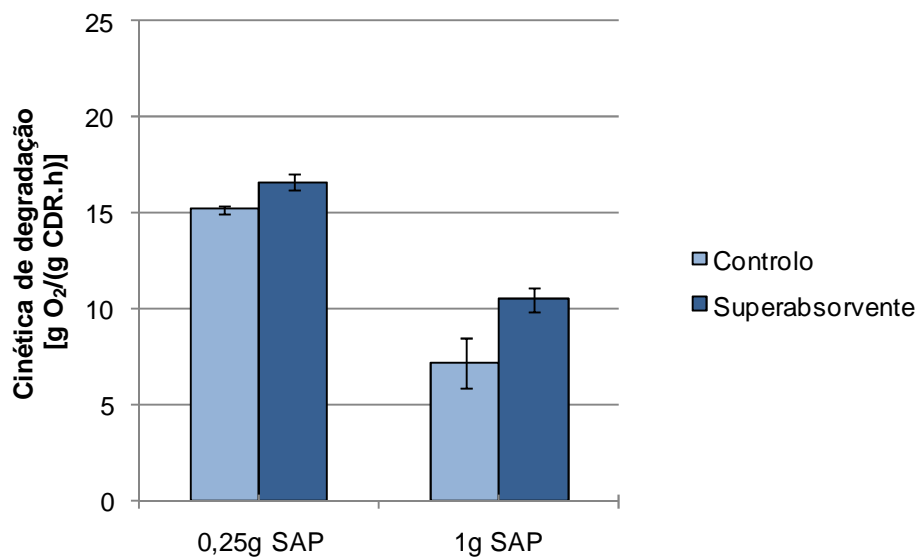


Figura 17 - Influência da adição de superabsorvente (SA) na cinética de degradação aeróbia do CDR (Humidade= 46%; PSA= Stockosorb®400 F).

Verifica-se que a adição de PSA aumenta a taxa de degradação do CDR entre 10% e 46%. A principal razão para este fenómeno poderá ser a maior biodisponibilidade de água no superabsorvente. Nestes polímeros, as moléculas de água são retidas e disponíveis em partículas com um grande volume superficial, oferecendo boas condições para a actividade biológica. Nos resíduos, a água é menos biodisponível, uma vez que a água é geralmente uma solução contendo não só o substrato, mas também substâncias que podem actuar como toxinas. Além disso, as perdas de água são maiores em resíduos, pois estes tendem a um equilíbrio com a humidade atmosférica, enquanto no superabsorvente a água ainda é retida.

#### 4. Efeito do volume de oxigénio no frasco utilizado nos testes

A Figura 18 mostra os valores de CBO das amostras de CDR utilizando frascos de 1L e 2,5L.

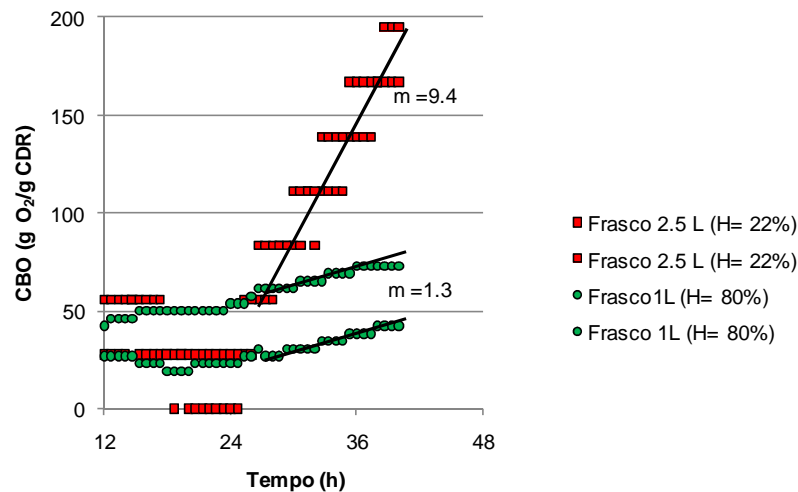


Figura 18 - Influência da disponibilidade de oxigénio nos ensaios de determinação do CBO em amostras de CDR.

Os resultados mostram que, após uma *lag phase* de 24 horas a actividade biológica das amostras de CDR é maior quando há mais oxigénio disponível (9,4 g O<sub>2</sub>/(g CDR.h)), embora a amostra tenha um menor teor de humidade. Os testes nos frascos de 1L foram realizados após um aumento da humidade até 80% e segundo a Figura 14, seria expectável uma cinética de degradação de cerca de 22 g O<sub>2</sub>/(g RDF.h). No entanto, a actividade biológica detectada foi quase nula (1,3 g O<sub>2</sub>/(g RDF.h)) o que revela que o oxigénio disponível não foi suficiente para o ensaio experimental.

## V. CONCLUSÕES

O trabalho teve como objectivo estudar os principais factores que podem influenciar a estabilidade biológica do CDR produzido a partir da FEPC dos RSU. Inicialmente, foi avaliada a degradabilidade do CDR estudando a contribuição teórica dos principais componentes do CDR para a cinética de hidrólise aeróbia. O trabalho envolveu o estudo experimental do efeito do teor de humidade do CDR e a da disponibilidade de água relativamente à cinética de degradação aeróbia, recorrendo ao teste do CBO, um teste respirométrico estático. As influências da temperatura e do oxigénio também foram analisados.

A análise da cinética de hidrólise (teórica) indica que é esperada actividade biológica no CDR proveniente da fracção indiferenciada de RSU. As fracções de papel e cartão têm uma contribuição significativa para a degradabilidade total, uma vez que existem numa quantidade considerável. Por outro lado, fracções como têxteis sanitários, resíduos alimentares e resíduos de jardim têm constantes de hidrólise mais elevadas e podem actuar como inóculo para a degradação biológica. Portanto, o controlo da qualidade do CDR deve envolver um conhecimento mais profundo sobre o tipo de resíduos alimentares e de têxteis sanitários que compõem a FEPC e que são utilizados para a produção de CDR.

Os resultados experimentais revelam que o teor de humidade tem um papel importante na degradação do CDR, sendo os valores óptimos atingidos entre os 65% e os 90%, de acordo com as condições de temperatura (17°C e 25°C, respectivamente). A taxa de degradação pode ser até três vezes maior a 25°C do que a 17°C, para os teores óptimos de humidade. Estes resultados indicam que o armazenamento em climas moderados (como o clima Mediterrâneo) deve assegurar que o teor de humidade fica abaixo dos 20%, o qual conduz a uma taxa de degradação baixa.

A taxa de degradação (e conseqüente bioestabilização) do CDR aumenta quando é usado superabsorvente. A biodisponibilidade da água ponderada é maior quando estes polímeros estruturados são usados pois provavelmente actuam como suportes para a actividade biológica. Para além disso, a água é directamente retida pelo superabsorvente evitando a dissolução de potenciais toxinas.

Uma das restrições encontradas durante a realização deste trabalho foi a limitação do oxigénio no teste respirométrico estático (teste do CBO). Essa limitação afecta os valores quantitativos da cinética de degradação obtidos pela leitura do aparelho, podendo os resultados ser enganosos. Adicionalmente, este método apenas permite o estudo da estabilidade biológica nas primeiras 48 horas, pois é nesse período de tempo que a cinética de degradação aeróbia é máxima.

Numa apreciação pessoal do trabalho que foi feito, concluo que este trabalho teve grande importância para os primeiros passos no estudo da estabilidade biológica do CDR produzido a partir de RSU. Inicialmente foi difícil abordar o tema pela falta de informação nesta área e isso também dificultou a análise de resultados pois não existia uma base sólida que ajudasse à interpretação dos resultados obtidos para o CDR. Não obstante este trabalho contribuiu com uma primeira visão sobre este assunto.

Face às limitações detectadas na metodologia utilizada e pela análise da literatura diria que existem outras metodologias que podem conduzir a resultados mais fiáveis, como por exemplo o sistema de DRI. Não obstante as vantagens que apresenta e que estão referidas no Anexo I, no presente trabalho este sistema não foi utilizado por duas razões principais. Em primeiro lugar destaca-se o facto de apenas poder ser utilizado à escala piloto pelo que seria necessário ter grandes quantidades de amostra no laboratório. Por outro lado, este método é mais complexo do ponto de vista de medição, necessitando várias sondas para medição em contínuo dos parâmetros desejados. A sua implementação tem, portanto, um custo que não se revelou viável para estudos preliminares como este que foi efectuado.

## **VI. TRABALHO FUTURO**

O trabalho futuro poderá incluir a utilização de métodos respirométricos dinâmicos que garantam um fornecimento contínuo de oxigénio, sendo feita a difusão do oxigénio em quantidades maiores e representativas na amostra, superando as limitações relativas à transferência de massa. Um dos objectivos poderá ser a construção de um reactor semelhante ao utilizado no sistema de Índice de Respiração Dinâmico, que permita maiores quantidades de amostra, para obtenção de resultados mais fiáveis.

Pode ser útil um aprofundamento no conhecimento das possíveis vantagens do uso de superabsorventes na estabilização do CDR.



## BIBLIOGRAFIA

Adani, F., Lozzi, P., Genevini, P. (2001). *Determination of Biological Stability by Oxygen Uptake on Municipal Solid Waste and Derived Products*. Compost Science & Utilization, Vol 9, No 2, 163-178. (Citado em Gómez et al., 2006)

Adani, F., Baido, D., Calcaterra, E., Genevini, P. (2002). *The influence of biomass temperature on biostabilization-biodrying of municipal solid waste*. Bioresource Technology 83, 173-179. (Citado em Gómez et al., 2006)

Adani F., Ubbiali C., Tambone F., Scaglia B., Centemero M. and Genevini P. (2003). *Static and dynamic respirometric indexes - Italian research and studies*. Biological treatment of biodegradable waste – Technical Aspects – Brussels, 8-10 April, 126-144.

Adani, F., Ubbiali, C., Genevini, P. (2006). The determination of biological stability of composts using the Dynamic Respiration Index: The results of experience after two years. Journal of Environment Quality 33: 1866-1876.

ADAS Consulting Ltd. (2003) *Assessment of Options and Requirements for Stability and Maturity Testing of Compost, Technical Report*. ADAS Consulting Ltd., Banbury, Oxon, UK. (Citado em Gómez et al., 2006)

CEN/TS 15414-3:2006 *Solid recovered fuel – Determination of moisture content using the oven dry method – Part 3: Moisture in general analysis sample*.

CEN/TS 15443:2006 *Solid recovered fuel – Methods for laboratory sample preparation*.

Decreto-Lei nº 85/2005, de 28 de Abril, Diário da República 1ª Série Parte A Nº 82

Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro, Diário da República 1ª Série, Nº 171

Delzer, G. e McKenzie, S. (2003). *Five-Day Biochemical Oxygen Demand*. USGS TWRI Book 9-47 (Third Edition).

Directiva 2006/12/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril

Evonik Industries, 2010. <http://corporate.evonik.com/en/Pages/default.aspx> (acedido a última vez em 30.09.2010)

Gea, T., Barrena, R., Artola, A., Sanchez, A., (2004). *Monitoring the Biological Activity of the Composting Process: Oxygen Uptake Rate (OUR), Respirometric Index (RI), and Respirometric Quocient (RQ)*. *Biotechnology Bioengineering*, 88, 520-527. (Citado em Gómez et al., 2004)

Gendebien, A., Leavens, A., Blackmore, K., Godley, A., Lewin, K., Withing, K.J., Davis, R. (2003). *Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives. Final Report B4-3040/2000/306517/MAR/E3*. – WRc ref: CO5087-4. European Commission – Directorate General Environmental, Bruxelas.

Ghebru, M. e Steyn J., (2007). *Water and nutrient by Aquasoil and Stockosorb polymers*. University of Pretoria, Department of Plant and Soil Science, Pretoria 0002, South Africa.

Gómez, R., Lima, F., Ferrer, A. (2006). *The use of respiration indices in the composting process: a review*. *Waste Management and Research* 24, 37-47

Gómez, R., Lima, F., Bolasell, M., Gea, T., Ferrer, A. (2005). *Respirometric assays at fixed and process temperatures to monitor composting process*. *Bioresource Technology* 96, 1153-1159.

Iannotti, D., Pang, T., Toth, B., Elwell, D., Keener, H., Hoitink, H. (1993). *A quantitative respirometric method for monitoring compost stability*. *Compost & Science Utilization*, Vol 1, No 3, 52-65. (Citado em Gómez et al., 2006)

Iannotti, D., Grebus, M., Toth, B., Madden, L., Hoitink, H. (1994). *Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste*. *Journal of Environment Quality*, 23, 1177-1183. (Citado em Gómez et al., 2006)

Lasaridi, K. e Stentiford, E. (1998). *A simple respirometric technique for assessing compost stability*. *Water Resource* 32, 3717-3723.

Koenig, A. e Bari, Q. (2000). *Application of self-heating test for indirect estimation of respirometric activity of compost: theory and practice*. *Compost Science & Utilization* 8, (2), 99-107. (Citado em Adani et al., 2006)

Mandigan, M., Martinko, J., Parker, J. (2000). *Brock Biology of Microorganisms*. Prentice Hall. Ninth Edition.

Martins Dias, S., Barros Silva, R., Barreiro, F., Costa, M. (2006). *Avaliação do Potencial de Produção e Utilização de CDR em Portugal Continental – Estudos Base*. Instituto Superior Técnico – Centro de Engenharia Biológica e Química.

Mendonça, A. (2008). *Influência da Incorporação de Lamas de ETAR nas Características dos Combustíveis Derivados de Resíduos*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico.

Miller, P. e Clesceri, N. (2000). *Waste Sites as Biological Reactors. Characterization and Modelling*. Lewis Publishers.

NP 4486 ( 2008). Norma Portuguesa – Combustíveis Derivados de Resíduos, Enquadramento para a produção, classificação e gestão de qualidade. Instituto Português de Qualidade.

Paletski, W. e Young, J. (1995). *Stability measurement of biosolids compost by aerobic respirometry*. *Compost Science & Utilization* 3 (2), 16-24. (Citado em Gómez et al., 2006)

Phyllis, database for biomass and waste, <http://www.ecn.nl/phyllis> Energy research Centre of the Netherlands. (acedido a última vez em 30.09.2010)

Portaria n.º 209/2004 de 3 de Março. Lista Europeia de Resíduos

Scaglia, B., Tambone, F., Genevini, P., Adani, F. (2000). *Respiration Index determination: a dynamic and static approach*. *Compost Science & Utilization*, Vol 8, No2, 90-98. (Citado em Gómez et al., 2006)

Silva, M. (2008). *Municipal Solid Waste Sampling Towards Evaluation of Combustible Fraction Characteristics*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico.

Tchobanoglous, G., Theissen, H., Vigil, S. (1993). *Integrated Solid Waste Management – Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill International Editions

Tramifloc, Ink. <http://www.tramifloc.com/> (acedido a última vez em 30.09.2010)

## ANEXO I – Conversão dos valores de CBO

Nos ensaios foram utilizadas 23 g de massa total (FEPC ou FEPC e PET) que corresponde a um volume de enchimento de 115 mL ( $\rho_{FEPC}= 200 \text{ kg/m}^3$  e  $\rho_{PET}= 350 \text{ kg/m}^3$ ), tendo um limite de detecção de 0 – 1440 mg/L nos frascos de 1 L e de 0 – 3850 mg/L nos frascos de 2,5 L.

Os valores de CBO são expressos em mg O<sub>2</sub>/L de amostra, sendo depois convertidos para g O<sub>2</sub>/g FEPC utilizando:

$$CBO (gO_2/g FEPC) = \frac{CBO (mg O_2/L FEPC) \times [V_{frascos}(ml) - V_{enchimento}(ml)]}{m_{FEPC}(g)}$$

## ANEXO II - Metodologias para Avaliação da Estabilidade Biológica à Escala Piloto e Laboratorial

### 1. Teste Self-Heating

Este método mede o aumento da temperatura devido ao calor libertado pela actividade química e biológica do composto (Gómez et al., 2005). Não se relaciona directamente com a respiração, uma vez que há reacções químicas e biológicas que são exotérmicas e não estão directamente relacionadas com a respiração celular (Gómez et al., 2005). Neste teste são utilizadas grandes quantidades de amostra, sendo os resultados do processo mais representativos (Koenig e Bari, 2000).

### 2. Métodos baseados na produção de CO<sub>2</sub>

Nestes métodos a produção de CO<sub>2</sub> é directamente relacionada com a respiração aeróbia. São métodos assentes em técnicas calorimétricas e em técnicas de cromatografia gasosa (Gómez et al., 2005). Se os testes forem realizados sob condições aeróbias controladas, todo o CO<sub>2</sub> será produzido sob respiração aeróbia (ADAS 2003).

O principal inconveniente destes métodos está relacionado com a incapacidade destes de distinguirem o CO<sub>2</sub> produzido aerobiamente do CO<sub>2</sub> produzido anaerobiamente (Gómez et al., 2005). O grau de oxidação da matéria orgânica afecta a absorção de O<sub>2</sub> por mole de CO<sub>2</sub> produzido (Adani et al., 2001). A monitorização da evolução do CO<sub>2</sub> apresenta inconvenientes como a solubilidade do CO<sub>2</sub> em soluções aquosas e a também com o facto de a solubilidade ser dependente do pH (Gómez et al., 2005).

### **3. Métodos baseados na absorção de O<sub>2</sub>**

Estes métodos são os mais favoráveis para a determinação da actividade biológica (Iannotti et al. 1994, Adani et al. 2001, Gea et al. 2004, Gómez et al., 2005).

Os métodos baseados na taxa de absorção de O<sub>2</sub> podem ser classificados como métodos estáticos e como métodos dinâmicos (Adani et al., 2001). Os métodos estáticos não implicam o fornecimento contínuo de O<sub>2</sub> durante os ensaios experimentais. Este métodos podem ser aplicados tanto a amostras sólidas como líquidas e permitem estimar o consumo de oxigénio (Adani et al., 2001, Iannotti et al. 1993, Lasaridi e Stentiford, 1998). Os métodos dinâmicos implicam o fornecimento contínuo de O<sub>2</sub> na tentativa de minimizar as limitações de difusão do O<sub>2</sub> (Paletski e Young 1995).

A taxa de absorção do O<sub>2</sub> pode ser medida quantitativamente usando um respirómetro manométrico (mede as alterações na concentração de O<sub>2</sub> com a cromatografia gasosa) ou electrolítico (mede as alterações na concentração de O<sub>2</sub> com eléctrodos) (Gómez et al., 2005).

#### **3.1. Métodos estáticos**

Estes métodos medem a estabilidade biológica com base no consumo de O<sub>2</sub> pela amostra. O volume de oxigénio é estático pelo que, muitas vezes, estes métodos são incapazes de assegurar a quantidade suficiente de oxigénio para a degradação da matéria orgânica, sendo a necessidade do oxigénio a única diferença entre os materiais frescos e os materiais estabilizados. (Adani et al., 2001)

Estes métodos têm como inconveniente a dificuldade de promover a difusão de oxigénio através da matriz sólida, ou seja, através da camada de biomassa e da parede da célula bacteriana, sendo limitante para as reacções biológicas. (Palestky e Young, 1995)

##### **3.1.1. Teste CBO<sub>5</sub>**

A carência bioquímica de oxigénio (CBO) é um processo químico para a determinação da quantidade de oxigénio dissolvido necessária para os organismos biológicos aeróbios degradarem matéria orgânica presente na amostra a analisar, a uma determinada temperatura durante um período de tempo específico. Não é um teste quantitativo preciso, tendo um sistema de operações simples e intuitivo (Delzer e Mckenzie, 2003).

Os valores do teste de CBO<sub>5</sub> são geralmente expressos em miligramas de oxigénio consumido por litro de amostra durante 5 dias de incubação a 20°C. A concentração de oxigénio é limitada ao volume inicial de ar no frasco e diminui ao longo do tempo, sendo o consumo de oxigénio (taxa de absorção) quantificado pela queda de pressão no frasco (Delzer e Mckenzie, 2003).

A Figura A 1 mostra o comportamento do crescimento microbiano ao longo do tempo num teste de CBO.

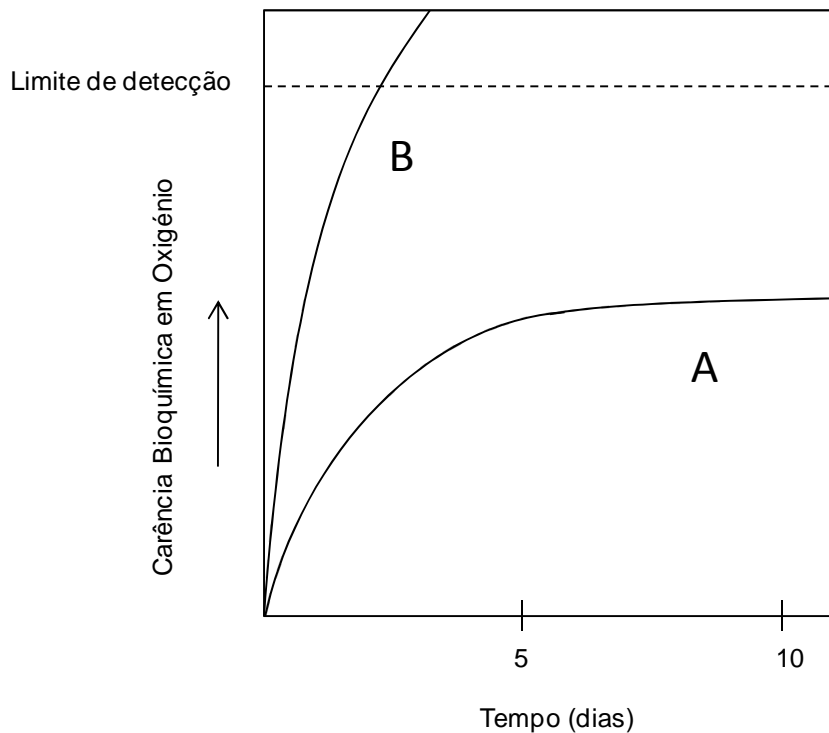


Figura A 1 - Comportamento do crescimento microbiano ao longo do tempo num teste de CBO.  
Adaptado de Delzer e Mckenzie (2003).

Na curva A até aos 5 dias, o crescimento microbiano aumenta pois existem condições óptimas de substrato e oxigénio. Após os 5 dias e até aos 10 dias de ensaio, o crescimento microbiano estabiliza devido à falta de substrato e oxigénio, nunca excedendo o limite de detecção.

Na curva B, antes dos 5 dias o limite de detecção é excedido pois a quantidade de amostra ou a quantidade de oxigénio (volume do frasco) limitam o crescimento microbiano.

### 3.1.2. Índice de absorção de $O_2$

As diferenças na concentração de  $O_2$  são medidas através duma cabeça colocada num frasco fechado que contém a amostra cujo volume e massa são conhecidos e em que a temperatura e pressão baroclínica são conhecidas. As variações na concentração de  $O_2$  são monitorizadas por um eléctrodo de  $O_2$  (Iannotti et al. 1993).

### **3.1.3. Índice de Respiração Estático (SRI)**

Este índice é determinado medindo a diferença na concentração de  $O_2$  num reactor adiabático (igual ao reactor utilizado no DRI). Não há fornecimento de ar e o eléctrodo de  $O_2$  é colocado no espaço aéreo no topo do material sólido. A taxa de absorção de  $O_2$  é calculada pelo decréscimo da concentração de  $O_2$  (Adani et al., 2001).

Os resultados deste índice que normalmente são atribuídos a problemas de difusão de oxigénio são utilizados na avaliação da actividade biológica de uma amostra de composto (Adani et al., 2002; Scaglia et al., 2000).

### **3.2. Métodos dinâmicos - Índice de Respiração Dinâmico (DRI)**

Este índice é determinado medindo a diferença na concentração de  $O_2$  entre a entrada e a saída de um fluxo de ar que passa ao longo de um reactor adiabático (Adani et al. 2001). Este é um sistema complexo, onde existe a necessidade de um operador com formação. A principal vantagem deste índice é que o teste é realizado sob condições análogas à escala real (Adani et al., 2001).

O DRI apresenta como vantagens a presença de um fluxo de ar contínuo durante a medição o que não limita a transferência de oxigénio através da camada da biomassa e dentro da célula bacteriana, permite testes com grandes quantidades de massa de resíduos (pode permitir resultados mais fiáveis devido à heterogeneidade do resíduo) (Adani et al., 2006). O facto de ser utilizada uma condição dinâmica, simultaneamente com uma concentração ideal e padronizada de  $O_2$  no espaço aéreo da biomassa livre permite a medição do fluxo de ar necessário para degradar os resíduos em condições óptimas (Adani et al., 2006). Todos estes factores permitem um desenvolvimento das células de biomassa enquanto existe substrato, diminuído posteriormente o seu crescimento (Figura A 2).

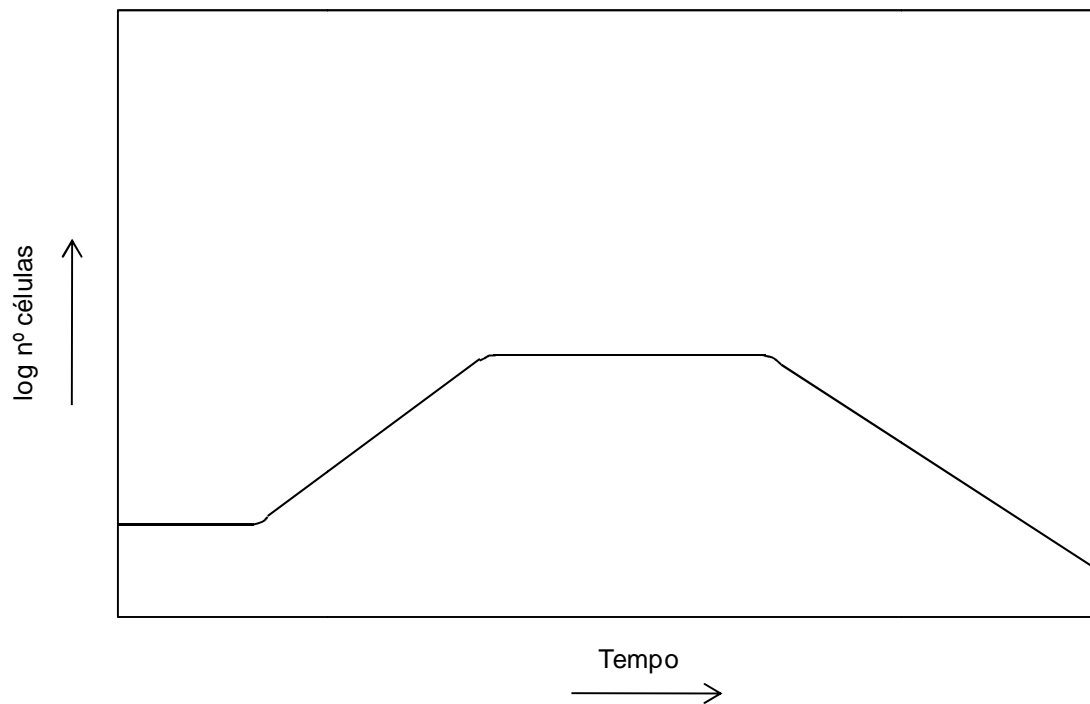


Figura A 2 - Comportamento do crescimento microbiano ao longo do tempo num respirómetro dinâmico. Adaptado de Adani et al. (2003).

A Figura A 3 representa o esquema composto pelos diferentes componentes do sistema de medição do índice de respiração dinâmico à escala piloto.

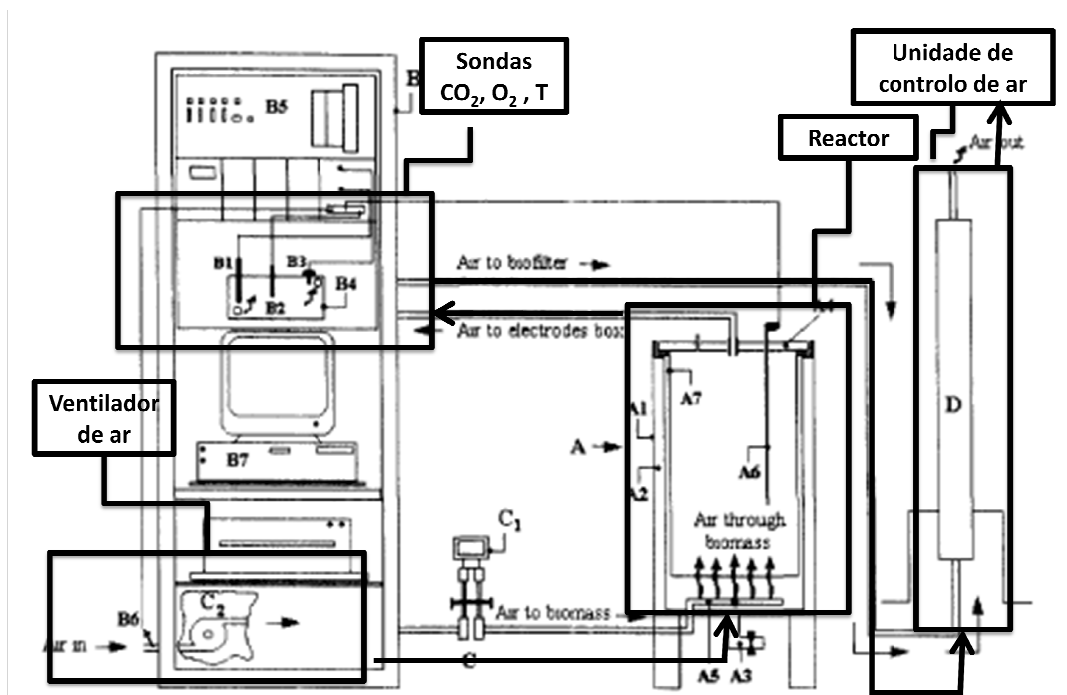


Figura A 3 - Representação esquemática dos diferentes componentes do sistema de medição do índice de respiração dinâmico à escala piloto.

Adaptado de Adani et al. (2001)



Sistematizando a Figura A 3, o respirómetro dinâmico é constituído por:

- Um sofisticado reactor isolado de controlou com adição contínua de ar (controlos a velocidade e o caudal).
- Eléctrodos de CO<sub>2</sub>, de O<sub>2</sub> e de temperatura.
- Uma unidade de controlou de ar exaustiva.

## ANEXO III – Resultados dos ensaios de CBO em amostras da FEPC de RSU indiferenciado

### 1. Ensaios a 25°C

A Tabela A 1 mostra os valores dos ensaios de CBO, corrigidos de volume (mg O<sub>2</sub>/l) para massa (g O<sub>2</sub>/g) de CDR, em amostras da FEPC de RSU com humidades de 11%, 16%, 22%, 80%, 86% e 87%, a 25°C.

Tabela A 1 – Ensaios de CBO em amostras da FEPC de RSU com humidades de 11%, 16%, 22%, 80%, 86% e 87%.

Humidade (%)	87	87	86	86	22	22	80	80	16	16	11	11
Réplica	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
Sample number:	091001-01	091001-02	091001-03	091001-04	091001-05	091001-06	091001-08	091001-07	091001-09	091001-10	091001-11	091001-12
I.D.number:	12	11	10	9	8	7	5	6	4	3	2	1
Type:	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d
Start date:	40087	40087	40087	40087	40087	40087	40087	40087	40087	40087	40087	40087
Final date:	40097	40097	40097	40097	40097	40097	40097	40097	40097	40097	40097	40097
GLP:	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on
Bottle volume in ml:	2500	2500	2500	2500	2500	2500	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Desired no. of values:	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
Dilution 1+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Height in m:	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Current date:	40462	40462	40462	40462	40462	40462	40462	40462	40462	40462	40462	40462
Measurement finished:	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
Measuring range in ml:	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763
Starting time:	0.74375	0.75555556	0.75625	0.75694444	0.75694444	0.75694444	0.7770833	0.775	0.77708333	0.77708333	0.77777778	0.78055556
Number of heads:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AutoTemp:	off	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	off
Filling volume in ml:	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
Actual no. of values:	347	346	346	346	346	346	345	345	345	345	345	346
Temperature in °C:	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Barom.pressure in hPa:	954	954	954	954	954	954	954	954	954	954	954	954
Head	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Serial no.	010090201	010090206	010090207	010090197	010090209	010090342	010081059	010090192	010090205	010090188	010090210	010090195
Massa amostra (g)	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
Volume O <sub>2</sub> (ml)	2385	2385	2385	2385	2385	2385	885	885	885	885	885	885
Tempo (horas)	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.7	-139.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.8	0.0	0.0	0.0	-3.8
1.3	27.8	27.8	27.8	0.0	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-7.7	0.0
2.0	27.8	55.6	55.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.8	-3.8	0.0	-7.7	0.0
2.7	-55.6	55.6	55.6	55.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.8	-3.8	-3.8	-7.7
3.3	-27.8	55.6	55.6	55.6	-27.8	0.0	3.8	0.0	-3.8	-3.8	0.0	-11.5
4.0	-27.8	55.6	55.6	55.6	-27.8	0.0	3.8	3.8	-3.8	-3.8	0.0	-11.5
4.7	-27.8	55.6	55.6	55.6	-27.8	0.0	7.7	7.7	-3.8	-7.7	0.0	-11.5
5.3	-27.8	55.6	55.6	55.6	-27.8	0.0	7.7	11.5	0.0	-3.8	0.0	-11.5
6.0	-27.8	83.4	83.4	83.4	-27.8	0.0	11.5	11.5	0.0	-3.8	0.0	-11.5
6.7	0.0	83.4	83.4	83.4	-27.8	0.0	11.5	15.3	0.0	-3.8	3.8	-11.5
7.3	27.8	111.0	111.0	111.0	0.0	0.0	15.3	23.1	3.8	-3.8	3.8	-11.5
8.0	27.8	139.0	111.0	111.0	0.0	0.0	19.2	23.1	3.8	-3.8	3.8	-11.5
8.7	27.8	139.0	111.0	139.0	0.0	27.8	19.2	26.9	3.8	-3.8	3.8	-11.5
9.3	55.6	167.0	139.0	139.0	0.0	27.8	23.1	30.6	7.7	-3.8	3.8	-11.5
10.0	83.4	167.0	139.0	167.0	0.0	27.8	23.1	34.5	7.7	-3.8	7.7	-11.5
10.7	83.4	194.9	139.0	194.9	27.8	55.6	26.9	38.4	7.7	-3.8	7.7	-11.5
11.3	111.0	194.9	167.0	194.9	27.8	55.6	26.9	38.4	7.7	-3.8	7.7	-11.5
12.0	111.0	221.9	194.9	221.9	27.8	55.6	26.9	42.2	7.7	-3.8	7.7	-11.5
12.7	139.0	249.9	194.9	221.9	27.8	55.6	26.9	46.1	7.7	-3.8	7.7	-11.5
13.3	167.0	249.9	194.9	249.9	27.8	55.6	26.9	46.1	7.7	-3.8	7.7	-7.7
14.0	167.0	277.9	194.9	249.9	27.8	55.6	26.9	46.1	7.7	0.0	7.7	-7.7
14.7	194.9	305.9	194.9	249.9	55.6	55.6	26.9	46.1	7.7	0.0	7.7	-7.7
15.3	194.9	305.9	194.9	277.9	27.8	55.6	23.1	50.0	3.8	0.0	7.7	-7.7
16.0	221.9	333.9	194.9	305.9	27.8	55.6	23.1	50.0	3.8	0.0	7.7	-7.7
16.7	221.9	333.9	194.9	305.9	27.8	55.6	23.1	50.0	3.8	0.0	3.8	-7.7
17.3	249.9	333.9	194.9	305.9	27.8	55.6	23.1	50.0	0.0	0.0	3.8	-11.5
18.0	249.9	333.9	194.9	333.9	27.8	27.8	19.2	50.0	0.0	-3.8	3.8	-11.5
18.7	249.9	361.9	167.0	333.9	0.0	27.8	19.2	50.0	0.0	-3.8	3.8	-11.5
19.3	249.9	361.9	167.0	333.9	27.8	27.8	19.2	50.0	0.0	-3.8	3.8	-11.5
20.0	277.9	361.9	167.0	333.9	0.0	27.8	19.2	50.0	0.0	-3.8	3.8	-15.3
20.7	277.9	361.9	167.0	333.9	0.0	27.8	23.1	50.0	0.0	-7.7	3.8	-15.3
21.3	277.9	361.9	167.0	333.9	0.0	27.8	23.1	50.0	3.8	-7.7	3.8	-15.3
22.0	277.9	388.9	167.0	333.9	0.0	27.8	23.1	50.0	3.8	-7.7	3.8	-19.2
22.7	277.9	388.9	139.0	333.9	0.0	27.8	23.1	50.0	3.8	-7.7	3.8	-19.2
23.3	305.9	388.9	167.0	333.9	0.0	27.8	23.1	50.0	3.8	-7.7	3.8	-19.2
24.0	305.9	388.9	167.0	361.9	0.0	27.8	23.1	53.7	7.7	-7.7	3.8	-19.2
24.7	305.9	416.9	167.0	361.9	0.0	27.8	23.1	53.7	7.7	-7.7	7.7	-19.2

25.3	333.9	444.9	194.9	388.9	27.8	55.6	26.9	53.7	11.5	-7.7	7.7	-19.2
26.0	361.9	444.9	194.9	416.9	27.8	55.6	26.9	57.6	11.5	-3.8	11.5	-15.3
26.7	388.9	500.9	221.9	444.9	55.6	83.4	30.6	61.4	15.3	0.0	11.5	-15.3
27.3	416.9	500.9	221.9	472.9	55.6	83.4	26.9	61.4	11.5	0.0	15.3	-11.5
28.0	416.9	527.8	221.9	472.9	55.6	83.4	26.9	61.4	11.5	0.0	15.3	-11.5
28.7	444.9	555.8	221.9	472.9	83.4	83.4	26.9	61.4	11.5	0.0	15.3	-11.5
29.3	444.9	555.8	221.9	472.9	83.4	83.4	30.6	61.4	11.5	3.8	15.3	-11.5
30.0	472.9	583.8	249.9	500.9	83.4	111.0	30.6	61.4	15.3	3.8	15.3	-11.5
30.7	472.9	583.8	249.9	500.9	83.4	111.0	30.6	65.3	15.3	3.8	15.3	-11.5
31.3	500.9	583.8	249.9	500.9	111.0	111.0	30.6	65.3	19.2	3.8	19.2	-11.5
32.0	500.9	611.8	249.9	500.9	83.4	111.0	30.6	65.3	19.2	3.8	19.2	-7.7
32.7	527.8	611.8	249.9	527.8	111.0	139.0	34.5	65.3	19.2	3.8	19.2	-7.7
33.3	527.8	639.8	249.9	527.8	111.0	139.0	34.5	69.2	23.1	3.8	23.1	-7.7
34.0	555.8	639.8	277.9	527.8	111.0	139.0	34.5	69.2	23.1	7.7	23.1	-7.7
34.7	555.8	666.8	277.9	555.8	111.0	139.0	34.5	69.2	23.1	7.7	23.1	-7.7
35.3	555.8	666.8	277.9	555.8	139.0	167.0	38.4	69.2	23.1	7.7	26.9	-7.7
36.0	583.8	666.8	277.9	555.8	139.0	167.0	38.4	72.9	26.9	7.7	26.9	-7.7
36.7	583.8	694.8	277.9	583.8	139.0	167.0	38.4	72.9	26.9	7.7	26.9	-7.7
37.3	611.8	694.8	277.9	583.8	139.0	167.0	38.4	72.9	26.9	7.7	26.9	-7.7
38.0	611.8	694.8	305.9	583.8	167.0	167.0	42.2	72.9	26.9	7.7	26.9	-7.7
38.7	611.8	722.8	305.9	583.8	167.0	194.9	42.2	72.9	30.6	7.7	30.6	-7.7
39.3	639.8	722.8	305.9	611.8	167.0	194.9	42.2	72.9	30.6	7.7	30.6	-7.7
40.0	639.8	750.8	305.9	611.8	167.0	194.9	42.2	72.9	30.6	7.7	30.6	-7.7

## 2. Ensaios a 17°C (1º Ensaio)

A Tabela A 2 mostra os valores dos ensaios de CBO, corrigidos de volume (mg O<sub>2</sub>/l) para massa (g O<sub>2</sub>/g) de CDR, em amostras da FEPC de RSU com humidades de 10%, 15%, 22%, 66%, 72% e 87%, a 17°C.

Tabela A 2 - Ensaios de CBO em amostras da FEPC de RSU com humidades de 10%, 15%, 22%, 66%, 72% e 87%.

Humidade (%)	10	10	15	15	22	22	66	66	72	72	87	87
Réplica	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Sample number:	091013 -01	091013 -02	091013 -03	091013 -04	091013 -05	091013 -06	091013 -07	091013 -08	091013 -09	091013 -10	091013 -11	091013 -12
I.D.number:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Type:	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d
Start date:	40099	40099	40099	40099	40099	40099	40099	40099	40099	40099	40099	40099
Final date:	40109	40109	40109	40109	40109	40109	40109	40109	40109	40109	40109	40109
GLP:	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on
Bottle volume in ml:	1000	1000	1000	1000	1000	1000	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Desired no. of values:	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
Dilution 1+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Height in m:	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Current date:	40469	40469	40469	40469	40469	40469	40469	40469	40469	40469	40469	40469
Measurement finished:	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
Measuring range in ml:	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763
Starting time:	0.78888889	0.78888889	0.78888889	0.78958333	0.78958333	0.79027778	0.79097222	0.79097222	0.79097222	0.79166667	0.79166667	0.79236111
Number of heads:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AutoTemp:	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off
Filling volume in ml:	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
Actual no. of values:	167	167	167	167	167	167	167	166	166	166	166	166
Temperature in °C:	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Barom.pressure in hPa:	954	954	954	954	954	954	954	954	954	954	954	954
Head	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Serial no.	01009 0207	01009 0192	01009 210	01009 0197	01009 0201	01008 1059	01009 0195	01009 0205	01009 0209	01009 0206	01009 0342	01009 0188
Massa amostra (g)	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	2.3	2.3
Volume O <sub>2</sub> (ml)	885	885	885	885	885	885	2385	2385	2385	2385	2385	2385
Tempo (horas)	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.7	9.9	13.8	11.9	17.7	11.9	11.9	83.5	83.5	83.5	111.5	222.9
	1.3	13.8	15.8	13.8	19.7	9.9	11.9	97.5	97.5	97.5	125.0	249.9
	2.0	13.8	13.8	11.9	19.7	9.9	11.9	111.5	83.5	97.5	125.0	194.9
	2.7	15.8	13.8	9.9	19.7	9.9	11.9	97.5	83.5	97.5	111.5	194.9

3.3	15.8	11.9	7.9	19.7	7.9	11.9	111.5	83.5	97.5	125.0	194.9	277.9
4.0	13.8	9.9	7.9	17.7	5.9	11.9	111.5	83.5	97.5	125.0	194.9	277.9
4.7	13.8	7.9	5.9	17.7	7.9	13.8	125.0	83.5	97.5	139.0	167.0	277.9
5.3	13.8	7.9	5.9	19.7	7.9	13.8	125.0	83.5	111.5	139.0	167.0	277.9
6.0	13.8	7.9	3.9	19.7	7.9	13.8	125.0	83.5	111.5	139.0	139.0	277.9
6.7	15.8	7.9	3.9	19.7	5.9	13.8	125.0	69.5	97.5	125.0	111.0	277.9
7.3	15.8	5.9	3.9	19.7	5.9	13.8	125.0	69.5	97.5	125.0	111.0	277.9
8.0	13.8	5.9	2.0	17.7	3.9	13.8	125.0	69.5	97.5	139.0	111.0	305.9
8.7	13.8	3.9	2.0	17.7	3.9	13.8	139.0	69.5	111.5	139.0	111.0	305.9
9.3	13.8	5.9	2.0	17.7	3.9	13.8	139.0	69.5	97.5	139.0	111.0	305.9
10.0	13.8	3.9	2.0	17.7	3.9	13.8	139.0	69.5	97.5	153.0	111.0	305.9
10.7	15.8	3.9	2.0	17.7	3.9	13.8	139.0	55.5	97.5	153.0	83.5	305.9
11.3	15.8	3.9	2.0	19.7	5.9	15.8	153.0	55.5	97.5	153.0	83.5	333.9
12.0	15.8	3.9	3.9	19.7	5.9	15.8	153.0	69.5	111.5	153.0	83.5	305.9
12.7	15.8	3.9	2.0	19.7	5.9	17.7	167.0	69.5	111.5	153.0	55.6	333.9
13.3	15.8	3.9	2.0	19.7	5.9	17.7	167.0	69.5	111.5	167.0	55.6	333.9
14.0	15.8	3.9	2.0	19.7	5.9	17.7	180.9	69.5	111.5	180.9	55.6	333.9
14.7	13.8	3.9	0.0	19.7	5.9	17.7	194.9	69.5	125.0	180.9	83.5	333.9
15.3	13.8	3.9	0.0	19.7	3.9	17.7	180.9	69.5	111.5	180.9	55.6	333.9
16.0	13.8	2.0	0.0	19.7	3.9	19.7	194.9	69.5	111.5	180.9	55.6	333.9
16.7	13.8	2.0	0.0	19.7	3.9	19.7	208.4	69.5	111.5	194.9	55.6	361.9
17.3	15.8	2.0	0.0	19.7	3.9	19.7	208.4	69.5	125.0	194.9	55.6	361.9
18.0	13.8	2.0	0.0	19.7	2.0	19.7	208.4	69.5	125.0	208.4	27.8	361.9
18.7	15.8	2.0	0.0	19.7	2.0	19.7	222.4	55.5	125.0	208.4	55.6	361.9
19.3	13.8	2.0	-2.0	19.7	2.0	19.7	222.4	69.5	125.0	208.4	27.8	389.9
20.0	13.8	2.0	0.0	19.7	2.0	19.7	222.4	55.5	125.0	222.4	55.6	389.9
20.7	13.8	2.0	0.0	17.7	2.0	19.7	236.4	69.5	125.0	236.4	55.6	389.9
21.3	13.8	2.0	0.0	17.7	0.0	19.7	236.4	69.5	125.0	236.4	55.6	416.9
22.0	13.8	2.0	-2.0	17.7	2.0	19.7	250.4	69.5	139.0	250.4	55.6	416.9
22.7	13.8	0.0	0.0	17.7	2.0	21.7	264.4	69.5	139.0	250.4	55.6	444.9
23.3	13.8	0.0	0.0	17.7	2.0	21.7	264.4	69.5	139.0	264.4	83.5	444.9
24.0	13.8	2.0	-2.0	19.7	3.9	23.6	277.9	83.5	139.0	264.4	55.6	444.9
24.7	13.8	2.0	0.0	19.7	3.9	23.6	277.9	83.5	153.0	277.9	55.6	444.9
25.3	13.8	2.0	0.0	19.7	3.9	25.6	291.9	83.5	153.0	277.9	55.6	444.9
26.0	13.8	2.0	0.0	19.7	3.9	23.6	291.9	69.5	153.0	277.9	27.8	444.9
26.7	13.8	2.0	0.0	19.7	2.0	23.6	291.9	69.5	139.0	277.9	27.8	472.9
27.3	13.8	2.0	-2.0	17.7	0.0	23.6	305.9	83.5	153.0	305.9	55.6	472.9
28.0	11.9	0.0	-2.0	17.7	2.0	25.6	319.9	83.5	153.0	305.9	55.6	472.9

28.7	13.8	0.0	-2.0	19.7	3.9	25.6	319.9	83.5	153.0	305.9	55.6	500.9
29.3	13.8	2.0	0.0	19.7	3.9	25.6	333.9	83.5	153.0	319.9	55.6	472.9
30.0	13.8	2.0	-2.0	19.7	2.0	25.6	333.9	69.5	153.0	305.9	27.8	472.9
30.7	13.8	2.0	-2.0	17.7	2.0	25.6	333.9	69.5	153.0	319.9	55.6	500.9
31.3	13.8	2.0	-2.0	17.7	2.0	25.6	347.9	83.5	153.0	333.9	55.6	500.9
32.0	11.9	2.0	-2.0	17.7	2.0	27.6	361.4	83.5	167.0	347.9	55.6	528.8
32.7	13.8	2.0	0.0	19.7	3.9	27.6	361.4	83.5	167.0	347.9	55.6	528.8
33.3	13.8	2.0	0.0	19.7	3.9	27.6	361.4	83.5	167.0	347.9	55.6	500.9
34.0	13.8	3.9	0.0	19.7	3.9	27.6	375.4	83.5	167.0	347.9	27.8	500.9
34.7	13.8	3.9	0.0	19.7	3.9	27.6	375.4	69.5	167.0	361.4	55.6	528.8
35.3	13.8	3.9	2.0	19.7	3.9	27.6	375.4	83.5	167.0	361.4	55.6	528.8
36.0	13.8	3.9	2.0	17.7	3.9	27.6	389.4	69.5	167.0	375.4	55.6	555.8
36.7	13.8	3.9	2.0	19.7	3.9	27.6	389.4	83.5	167.0	375.4	55.6	528.8
37.3	13.8	3.9	2.0	19.7	3.9	29.6	403.4	83.5	167.0	375.4	27.8	528.8
38.0	13.8	3.9	2.0	19.7	3.9	31.6	403.4	83.5	180.9	389.4	55.6	555.8
38.7	13.8	3.9	2.0	19.7	5.9	31.6	417.4	83.5	180.9	403.4	55.6	555.8
39.3	13.8	3.9	0.0	19.7	5.9	31.6	430.9	83.5	180.9	417.4	55.6	583.8
40.0	11.9	3.9	0.0	19.7	3.9	31.6	430.9	83.5	180.9	417.4	55.6	583.8

### 3. Ensaios a 17°C (2º Ensaio)

A Tabela A 3 mostra os valores dos ensaios de CBO, corrigidos de volume (mg O<sub>2</sub>/l) para massa (g O<sub>2</sub>/g) de CDR, em amostras da FEPC de RSU com humidades de 10%, 15%, 66%, 72% e 87%, a 17°C.

Tabela A 3 - Ensaios de CBO em amostras da FEPC de RSU com humidades de 10%, 15%, 66%, 72% e 87%.

Humidade (%)	10	10	15	15	66	66	72	72	87	
Réplica	1	2	1	2	1	2	1	2	1	
Sample number:	091022 -03	091022 -04	091022 -05	091022 -06	091022 -07	091022 -08	091022 -09	091022 -10	091022 -11	
I.D.number:	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Type:	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	BOD 10 d	
Start date:	40108	40108	40108	40108	40108	40108	40108	40108	40108	
Final date:	40118	40118	40118	40118	40118	40118	40118	40118	40118	
GLP:	on	on	on	on	on	on	on	on	on	
Bottle volume in ml:	1000	1000	1000	1000	1000	1000	2500	2500	2500	
Desired no. of values:	360	360	360	360	360	360	360	360	360	
Dilution 1+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Height in m:	500	500	500	500	500	500	500	500	500	
Current date:	40477	40477	40477	40477	40477	40477	40477	40477	40477	
Measurement finished:	no	no	no	no	no	no	no	no	no	
Measuring range in ml:	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763	3763	
Starting time:	0.666666667	0.666666667	0.667361111	0.667361111	0.667361111	0.668055556	0.66875	0.669444444	0.669444444	
Number of heads:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
AutoTemp:	off	off	off	off	off	off	off	off	off	
Filling volume in ml:	115	115	115	115	115	115	115	115	115	
Actual no. of values:	139	139	139	139	139	139	139	139	139	
Temperature in °C:	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
Barom.pressure in hPa:	954	954	954	954	954	954	954	954	954	
Head	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Serial no.	01009 0207	01009 0210	01009 0209	01009 0342	01009 0205	01009 0188	01009 0195	01009 0197	01008 1059	
massa amostra (g)	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	2.3	
Volume O <sub>2</sub> (ml)	885	885	885	885	885	885	2385	2385	2385	
Tempo (horas)	g O <sub>2</sub> / g CDR	g O <sub>2</sub> / g CDR	g O <sub>2</sub> / g CDR	g O <sub>2</sub> / g CDR	g O <sub>2</sub> / g CDR	g O <sub>2</sub> / g CDR	g O <sub>2</sub> / g CDR	g O <sub>2</sub> / g CDR	g O <sub>2</sub> / g CDR	
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	0.7	3.9	5.9	3.9	7.9	9.9	11.9	41.7	69.5	139.0
	1.3	5.9	7.9	5.9	7.9	9.9	13.8	55.5	83.5	167.0
	2.0	5.9	7.9	5.9	5.9	9.9	15.8	69.5	83.5	167.0
	2.7	5.9	5.9	5.9	7.9	11.9	17.7	69.5	97.5	167.0
	3.3	5.9	7.9	5.9	7.9	15.8	19.7	69.5	97.5	167.0



4.0	5.9	7.9	5.9	9.9	15.8	19.7	69.5	97.5	167.0
4.7	5.9	5.9	5.9	7.9	15.8	19.7	69.5	97.5	167.0
5.3	5.9	5.9	5.9	7.9	17.7	23.6	69.5	111.5	194.9
6.0	5.9	5.9	5.9	9.9	19.7	25.6	69.5	111.5	194.9
6.7	7.9	5.9	5.9	7.9	19.7	23.6	69.5	111.5	167.0
7.3	5.9	5.9	3.9	7.9	19.7	25.6	69.5	125.0	194.9
8.0	5.9	5.9	3.9	9.9	23.6	27.6	83.5	125.0	194.9
8.7	7.9	5.9	3.9	9.9	25.6	29.6	83.5	125.0	194.9
9.3	7.9	5.9	5.9	7.9	25.6	31.6	83.5	125.0	194.9
10.0	7.9	3.9	3.9	7.9	25.6	31.6	83.5	139.0	222.9
10.7	5.9	3.9	3.9	7.9	29.6	33.5	97.5	139.0	222.9
11.3	7.9	5.9	3.9	9.9	31.6	37.5	97.5	139.0	222.9
12.0	7.9	3.9	5.9	9.9	31.6	37.5	83.5	139.0	222.9
12.7	7.9	3.9	3.9	7.9	31.6	37.5	97.5	153.0	249.9
13.3	5.9	3.9	3.9	7.9	37.5	41.4	97.5	167.0	249.9
14.0	7.9	5.9	5.9	9.9	39.5	43.4	111.5	167.0	249.9
14.7	7.9	5.9	5.9	7.9	39.5	45.4	97.5	167.0	222.9
15.3	7.9	3.9	3.9	7.9	39.5	45.4	97.5	180.9	249.9
16.0	5.9	3.9	3.9	7.9	43.4	47.4	111.5	180.9	277.9
16.7	5.9	3.9	3.9	7.9	47.4	51.2	125.0	194.9	277.9
17.3	7.9	3.9	3.9	9.9	49.3	53.2	125.0	194.9	277.9
18.0	7.9	3.9	3.9	9.9	51.2	55.2	125.0	194.9	277.9
18.7	7.9	3.9	3.9	7.9	51.2	57.2	111.5	208.4	277.9
19.3	7.9	3.9	3.9	7.9	53.2	57.2	111.5	208.4	277.9
20.0	5.9	2.0	3.9	7.9	57.2	61.1	125.0	222.4	305.9
20.7	7.9	3.9	3.9	9.9	59.2	63.1	111.5	208.4	277.9
21.3	5.9	2.0	2.0	7.9	61.1	67.1	125.0	236.4	305.9
22.0	7.9	3.9	2.0	7.9	61.1	67.1	125.0	236.4	305.9
22.7	7.9	3.9	3.9	9.9	65.1	69.0	125.0	236.4	305.9
23.3	5.9	2.0	3.9	7.9	67.1	73.0	139.0	250.4	333.9
24.0	7.9	3.9	3.9	7.9	69.0	73.0	125.0	236.4	305.9
24.7	7.9	3.9	3.9	9.9	73.0	76.9	139.0	250.4	333.9
25.3	5.9	3.9	3.9	7.9	75.0	78.9	139.0	264.4	333.9
26.0	5.9	3.9	3.9	7.9	75.0	78.9	139.0	277.9	361.9
26.7	7.9	3.9	3.9	7.9	78.9	82.9	139.0	264.4	333.9
27.3	5.9	3.9	3.9	9.9	80.9	84.9	153.0	291.9	361.9
28.0	5.9	3.9	5.9	7.9	80.9	86.8	139.0	291.9	361.9
28.7	7.9	3.9	3.9	9.9	84.9	90.7	153.0	291.9	361.9

29.3	5.9	2.0	3.9	7.9	86.8	92.7	153.0	305.9	389.9
30.0	7.9	3.9	3.9	7.9	88.7	94.7	153.0	305.9	361.9
30.7	5.9	2.0	3.9	7.9	92.7	96.6	153.0	319.9	389.9
31.3	7.9	3.9	3.9	7.9	92.7	98.6	153.0	319.9	389.9
32.0	5.9	2.0	2.0	7.9	96.6	100.6	167.0	333.9	416.9
32.7	7.9	3.9	3.9	9.9	96.6	102.6	153.0	333.9	389.9
33.3	5.9	2.0	2.0	7.9	98.6	104.5	167.0	347.9	416.9
34.0	7.9	2.0	3.9	7.9	102.6	106.5	167.0	347.9	416.9
34.7	5.9	2.0	3.9	7.9	102.6	108.5	167.0	361.4	444.9
35.3	7.9	3.9	3.9	9.9	106.5	112.5	167.0	361.4	416.9
36.0	7.9	2.0	3.9	7.9	106.5	112.5	167.0	375.4	444.9
36.7	7.9	2.0	3.9	7.9	110.5	116.4	167.0	375.4	444.9
37.3	7.9	2.0	3.9	7.9	110.5	116.4	167.0	375.4	444.9
38.0	5.9	2.0	3.9	7.9	114.4	120.3	167.0	389.4	472.9
38.7	7.9	2.0	3.9	7.9	114.4	120.3	167.0	389.4	444.9
39.3	7.9	2.0	2.0	7.9	116.4	122.3	167.0	403.4	472.9
40.0	7.9	2.0	3.9	7.9	120.3	126.2	180.9	417.4	472.9

#### 4. Ensaios a 25°C com superabsorvente (1g)

A Tabela A 4 mostra os valores dos ensaios de CBO, corrigidos de volume (mg O<sub>2</sub>/l) para massa (g O<sub>2</sub>/g) de CDR, em amostras da FECP de RSU com humidade de 46% a 25°C - amostra controlo (sem superabsorvente) e amostra com 1g de superabsorvente.

Tabela A 4 - Ensaios de CBO em amostras da FECP de RSU com humidade de 46% (amostra controlo e amostra com superabsorvente).

Sample:	sem superabsorvente			com superabsorvente		
I.D.number:	C1	C2	C3	SA1	SA2	SA3
Type:	BOD 5 d	BOD 5 d	BOD 5 d	BOD 5 d	BOD 5 d	BOD 5 d
Start date:	07-04-2010	07-04-2010	07-04-2010	07-04-2010	07-04-2010	07-04-2010
Final date:	12-04-2010	12-04-2010	12-04-2010	12-04-2010	12-04-2010	12-04-2010
GLP:	on	on	on	on	on	on
Bottle volume in ml:	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Desired no. of values:	360	360	360	360	360	360
Current date:	09-04-2010	09-04-2010	09-04-2010	09-04-2010	09-04-2010	09-04-2010
Measurement finished:	no	no	no	no	no	no
Measuring range in ml:	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Starting time:	18:07	18:07	18:07	18:09	18:09	18:09
Number of heads:	1	1	1	1	1	1
AutoTemp:	on	on	on	on	on	on
Filling volume in ml:	115	115	115	115	115	115
Actual no. of values:	134	134	134	129	129	129
head	1	2	3	4	5	6
Tempo (horas)	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR
0	0	0	0	0	0	0
1	0	-6	-3	0	-3	0
2	6	-3	3	6	0	3
3	14	3	14	14	9	11
4	20	14	26	23	17	23
5	29	23	34	34	26	31
6	40	34	49	43	37	43
7	49	43	57	54	49	54
8	57	54	69	69	60	66
9	69	66	83	80	72	77
10	80	77	92	95	86	89
11	89	86	103	106	98	100
12	98	98	115	118	109	112
13	106	106	123	126	118	123
14	115	115	132	135	129	132
15	123	123	138	146	135	140
16	132	132	146	155	143	152
17	138	138	152	163	152	161
18	143	143	161	172	161	166
19	149	152	166	181	169	178
20	158	161	172	189	178	186
21	163	166	181	198	186	195
22	172	175	186	209	195	206
23	181	184	195	221	206	215
24	186	192	204	229	215	227
25	195	201	209	238	224	235
26	201	206	215	249	235	244
27	212	218	224	261	247	255
28	224	229	235	275	258	269
29	235	241	247	290	272	281
30	244	255	255	301	284	295
31	252	264	261	310	292	304

32	261	272	267	321	301	313
33	269	281	272	333	313	324
34	278	290	281	341	321	333
35	287	298	287	353	333	344
36	295	307	292	364	344	356
37	304	318	301	376	353	364
38	313	327	304	387	361	376
39	318	333	313	399	373	384
40	327	341	315		381	393

## 5. Ensaios a 25°C com superabsorvente (0,25g)

A Tabela A 5 mostra os valores dos ensaios de CBO, corrigidos de volume (mg O<sub>2</sub>/l) para massa (g O<sub>2</sub>/g) de CDR, em amostras da FECP de RSU com humidade de 50% a 25°C - amostra controlo (sem superabsorvente) e amostra com 0.25g de superabsorvente.

Tabela A 5 - Ensaios de CBO em amostras da FECP de RSU com humidade de 50% (amostra controlo e amostra com superabsorvente).

Humidade (%)	Sem Superabsorvente		Com Superabsorvente	
Sample number:	090602-01	090602-02	090602-03	090602-04
I.D.number:	1	2	3	4
Type:	BOD 5 d	BOD 5 d	BOD 5 d	BOD 5 d
Start date:	39966	39966	39966	39966
Final date:	39971	39971	39971	39971
GLP:	on	on	on	on
Bottle volume in ml:	2500	2500	2500	2500
Desired no. of values:	360	360	360	360
Current date:	40337	40337	40337	40337
Measurement finished:	yes	yes	yes	yes
Measuring range in ml:	4000	4000	4000	4000
Starting time:	0.790972222	0.790972222	0.790972222	0.791666667
Number of heads:	1	1	1	1
AutoTemp:	on	on	on	on
Filling volume in ml:	115	115	115	115
Actual no. of values:	360	360	360	360
Head	1	1	1	1
Serial no.	01009 0206	01009 0201	01009 0188	01009 0205
Tempo (horas)	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR	g O <sub>2</sub> /g CDR
0.0	0	0	0	0
0.3	0	-3	0	0
0.7	0	0	3	0
1.0	6	3	9	6
1.3	11	9	14	11
1.7	20	14	23	20
2.0	29	23	29	26
2.3	34	31	37	34
2.7	43	37	46	43
3.0	49	46	52	49
3.3	57	52	60	57
3.7	63	60	66	63
4.0	69	66	75	72
4.3	77	72	80	77
4.7	83	80	86	83
5.0	89	83	92	89
5.3	95	89	98	95
5.7	100	98	106	103
6.0	106	100	112	109
6.3	112	106	118	115
6.7	118	112	123	120
7.0	123	118	129	126
7.3	126	123	135	132
7.7	132	126	140	135
8.0	138	132	143	140
8.3	143	138	149	146
8.7	149	140	155	152
9.0	152	146	161	155
9.3	158	152	166	161
9.7	161	155	169	166
10.0	166	161	175	169

10.3	169	163	181	172
10.7	175	169	184	178
11.0	178	172	189	181
11.3	184	178	192	186
11.7	186	181	198	189
12.0	192	184	201	192
12.3	195	189	206	195
12.7	198	192	209	201
13.0	201	195	212	204
13.3	206	198	218	206
13.7	209	201	221	209
14.0	212	204	224	212
14.3	215	206	229	215
14.7	218	209	229	218
15.0	221	212	232	221
15.3	224	215	235	224
15.7	224	215	235	224
16.0	224	218	238	224
16.3	224	218	238	227
16.7	227	218	241	227
17.0	227	218	241	227
17.3	227	218	244	229
17.7	229	218	244	229
18.0	229	221	247	229
18.3	232	221	249	229
18.7	232	221	249	232
19.0	232	224	252	232
19.3	235	224	252	232
19.7	235	224	255	235
20.0	238	227	258	235
20.3	241	229	261	238
20.7	244	229	264	241
21.0	247	232	267	244
21.3	249	235	269	244
21.7	249	238	272	247
22.0	252	241	275	249
22.3	255	244	278	252
22.7	258	247	284	255
23.0	261	249	287	258
23.3	267	252	290	261
23.7	267	255	292	264
24.0	272	258	298	267
24.3	275	261	301	269
24.7	278	264	304	272
25.0	281	267	307	275
25.3	284	269	313	278
25.7	287	272	315	281
26.0	290	275	321	284
26.3	295	281	324	287
26.7	298	284	330	292
27.0	304	287	335	295
27.3	307	290	338	298
27.7	313	295	344	304
28.0	315	301	347	307
28.3	321	304	353	310
28.7	324	307	358	315
29.0	327	313	361	318
29.3	333	315	367	324
29.7	338	321	373	327

30.0	341	324	376	330
30.3	344	327	381	335
30.7	350	333	384	338
31.0	353	335	390	341
31.3	356	338	393	347
31.7	361	344	399	350
32.0	364	347		353
32.3	364	350		353
32.7	367	350		356
33.0	367	350		356
33.3	370	353		358
33.7	373	356		358
34.0	376	356		361
34.3	378	358		364
34.7	378	361		367
35.0	381	364		367
35.3	384	364		370
35.7	387	367		373
36.0	390	370		376
36.3	393	373		376
36.7	393	373		378
37.0	399	376		381
37.3	399	378		384
37.7		381		387
38.0		384		390
38.3		387		393
38.7		390		396
39.0		390		396
39.3		393		399
39.7		396		399
40.0		396		