

## III-056 - SECAGEM DE LODO BIOLÓGICO APÓS DESIDRATAÇÃO POR SECADOR ROTATIVO, ESTUFA COM TEMPERATURA E UMIDADE CONTROLADA E SECAGEM NATURAL NO LITORAL NORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

### **Alexandre da Costa<sup>(1)</sup>**

Graduado em Engenharia de Materiais pela Universidade do Vale do Paraíba – Univap, 2005, Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental – UNESP, Técnico em Sistema de Saneamento Químico na Sabesp.

### **Benedito Zacarias da Siva**

Graduado em Licenciatura Química pela Universidade Metropolitana de Santos - 2011, Pós Graduado em Educação Ambiental, UNICID – 2012, Técnico em Sistema de Saneamento Químico na Sabesp.

### **Antônio Dirceu Pigatto Azevedo**

Graduado em Tecnologia em Saneamento Básico pela Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, 1978 , Pós Graduado em Engenharia de Saneamento Básico, Especialização em Gestão de Direito Ambiental, IBPEX – Curitiba - Gerente de Divisão do Controle Sanitário na Sabesp.

### **Rui César Rodrigues Bueno**

Graduado em Química Industrial pela Escola Superior de Química Osvaldo Cruz (1989) – São Paulo. Especialização em Saúde Pública pela FMRP – USP (1992) – Ribeirão Preto. Mestre em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da USP (2000) – São Paulo, MBA em Administração pela FUNDACE – USP – Ribeirão Preto, 2009. Departamento de Gestão e Desenvolvimento da Operação, RNO.

### **José Bosco Fernandes de Castro**

Graduado em Engenharia Elétrica/Eletrônica pela Universidade de Taubaté – 1990 São Paulo. Especialização em: Engenharia Sanitária – Universidade de Taubaté USP (1996) – Taubaté, Desenvolvimento em Gestão de Pessoas - FIA / USP (2002), Desenvolvimento Humano ( PIC – Processo de Intensificação Cognitivo ). Integral / Fundação Getulio Vargas (2002). Superintendente da Unidade de Negócio do Litoral Norte - RN

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Cachetal, 50 – Jardim Casa branca – Caraguatatuba - SP – Brasil – Tel: +55 (12) 3882.3035 – e-mail: alexandrecoستا@sabesp.com.br

## **RESUMO**

O processo de desidratação do lodo consiste na redução do seu teor de umidade, com a remoção da água e, portanto uma diminuição da carga volumétrica a ser tratada. Para a desidratação do lodo existem processos mecânicos e naturais que devem ser utilizados de acordo com as características do lodo. Uma possibilidade de secagem de lodo é a secagem em estufa, que envolve a aplicação de calor para a evaporação da água, reduzindo a umidade a níveis mais baixos que os processos convencionais de desidratação, melhorando o seu valor calorífico. Tal procedimento possibilita, também, a redução de custo de transporte e a melhoria da capacidade de armazenamento. Em Caraguatatuba, na ETE Martin de Sá, foram realizados experimentos com Secador rotativo, secagem natural e secagem em estufa com temperaturas de 20, 24, 28 e 32°C, sendo que a secagem em estufa a temperatura de 32°C apresentou melhores resultados, ou seja, redução da umidade inicial de 79,3% para umidade final de 11,9%.

**PALAVRAS-CHAVES:** Secador rotativo, lodo biológico, desidratação.

## **INTRODUÇÃO**

A microrregião de Caraguatatuba (área conhecida também por Litoral Norte), é uma das microrregiões do estado de São Paulo pertencente à mesorregião Vale do Paraíba Paulista, conforme figura 1.

Está localizada na porção mais ao norte do litoral paulista, fazendo fronteira com o estado do Rio de Janeiro. Sua população foi estimada em 2011 pelo IBGE em 286.163 habitantes e está dividida em quatro municípios.



**Figura 1: Litoral Norte do Estado de São Paulo – macro-região Estado de São Paulo**

A ETE Martin de Sá, da qual o lodo gerado é material deste estudo, é uma estação de tratamento de esgoto que opera pelo sistema de lodo ativado por batelada. A ETE foi projetada para receber 110 L/s de efluente, mas como é característico das estações localizadas nos municípios litorâneos há uma variação da população nos meses de temporada, portanto há também variação de vazão nas ETE's durante este período.

Segundo David (2002), os lodos resultantes do processo de tratamento são constituídos basicamente de materiais orgânicos (sólidos voláteis) e minerais (sólidos fixos), além de água.

A fração orgânica serve de alimento para os microrganismos, sendo responsáveis pelo seu desenvolvimento e reprodução. Esses microrganismos, principalmente bactérias e protozoários, constituem a biomassa, formando flocos que se associam à matéria orgânica não viva originando o lodo.

O processo de desidratação do lodo consiste na redução do seu teor de umidade, com a remoção da água e, portanto uma diminuição da carga volumétrica a ser tratada. Para a desidratação do lodo existem processos mecânicos e naturais que devem ser utilizados de acordo com as características do lodo. Uma possibilidade de secagem de lodo é a secagem em estufa (COMPARINI 2001), que envolve a aplicação de calor para a evaporação da água, reduzindo a umidade a níveis mais baixos que os processos convencionais de desidratação, melhorando o seu valor calorífico. Tal procedimento possibilita, também, a redução de custo de transporte e a melhoria da capacidade de armazenamento (Gonçalves *et al*, 2001).

O presente trabalho tem objetivo de mensurar a taxa de umidade do lodo após desidratação gerado na Estação de Tratamento de Esgoto Martin de Sá, localizada no município de Caraguatatuba/SP utilizando o processo de secagem natural, estufa e secador rotativo em temperaturas e umidades controladas e secagem natural.

## **MATERIAIS**

- Secador térmico rotativo com aeração forçada;
- Estufa de secagem com temperatura controlada de 0 a 40°C;
- Balança de umidade;
- Termômetro digital calibrado, para acompanhar o horário das coletas, a temperatura e o teor de umidade do ar;

## **METODOLOGIA**

Os testes foram realizados em secador térmico rotativo, estufa de secagem variando as temperaturas em 20°C, 24°C, 28°C e 32°C e secagem natural com umidade e temperatura ambiente.

## **SECADOR TÉRMICO ROTATIVO**

O Secador rotativo piloto, conforme figura 2, foi projetado para simular a secagem em estufa com aeração forçada e revolvimento do lodo com objetivo da secagem mais rápida e homogênea.



**Figura 2: Secador Rotativo**

Procedimento de secagem e análise:

- ✓ Adicionar 60 kg de lodo desidratado ao secador;
- ✓ Programar o ciclo de funcionamento para 75 minutos revolvendo o lodo e 75 minutos parado;
- ✓ Retirar amostra para teste de umidade até umidade constante;
- ✓ Medir a temperatura e umidade no dia de coleta de amostras e registrar em planilha;

## ESTUFA

Os testes de secagem em estufa, figura 3, com temperatura controlada (20°C, 24°C, 28°C e 32°C), insuflamento de ar e revolvimento manual do lodo tem objetivo da secagem mais rápida e homogênea.



**Figura 3: Estufa de Secagem**

Procedimento de secagem e análise:

- ✓ Regular a temperatura da estufa de secagem a temperatura desejada;
- ✓ Adicionar 3,5 kg de lodo em cada bandeja e identificar como amostra 1 e amostra 2, colocar na estufa;
- ✓ Revolver o lodo das bandejas diariamente e manualmente com auxílio de um rastelo;
- ✓ Retirar amostra para teste de umidade até umidade constante;
- ✓ Medir a temperatura e umidade no dia de coleta de amostras e registrar em planilha;

## SECAGEM NATURAL - BRANCO DA AMOSTRA

A secagem natural do lodo biológico, figura 4, utilizando a temperatura ambiente como única fonte de calor além de avaliar a redução da umidade, também pode ser utilizada como um branco de amostras para comparativo com os processos de secador rotativo e estufa de secagem.



Figura 4: Secagem natural

Procedimento de secagem e análise:

- ✓ Adicionar 3,5 kg de lodo na bandeja;
- ✓ Retirar amostra para teste de umidade pelo mesmo período do secador rotativo e/ou estufa de secagem;
- ✓ Medir a temperatura e umidade do ar no dia de coleta de amostras e registrar em planilha;

## RESULTADOS

### BRANCO DA AMOSTRA E TEMPERATURA CONTROLADA EM ESTUFA - 20°C

Os testes de umidade foram realizados de 10/10/2016 a 26/10/2016, ou seja, por um período de 11 dias de acordo com tabela 1.

Tabela 1: Resultado final de temperatura do ar, temperatura da amostra, condições climáticas, umidade do ar, umidade da estufa e teor de umidade do lodo das amostras realizadas.

data	Amostra	Horário	Temperatura do ar (°C)	Temperatura da amostra (°C)	Condições climáticas	Umidade ar (%)	Umidade da estufa (%)	Teor de umidade Lodo (%)
26/10/2016	Branco da amostra	06:50	22,9	24	chuva	69%	-	81,76%
	Amostra estufa 1	08:10	23,2	20	-	-	55%	19,88%
	Amostra estufa 2	08:30	23,2	20	-	-	55%	19,73%

## ANALISE DOS RESULTADOS

- O processo de secagem na estufa a 20°C mostrou-se efetivo em relação ao branco da amostra, sendo que em 15 dias a umidade das amostras baixou de 81,76% para 19,88% (amostra 1) e 19,73% (amostra 2) conforme figura 5.

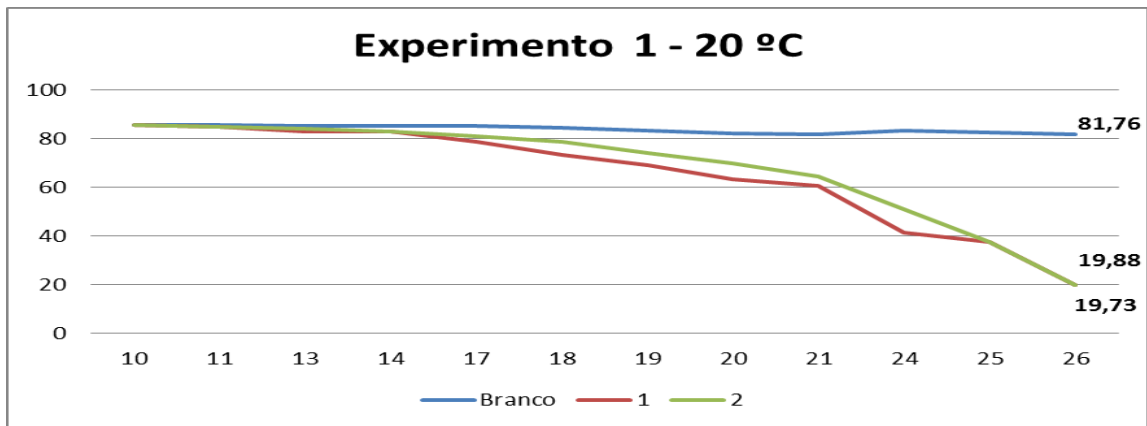


Figura 5: Gráfico comparativo de Umidade do Lodo

A figura 6 pode explicar esta tendência de estabilidade do branco, pois as temperaturas amenas (21,1 a 26°C) e a alta umidade (62% a 88%) não reduziram a umidade do lodo.

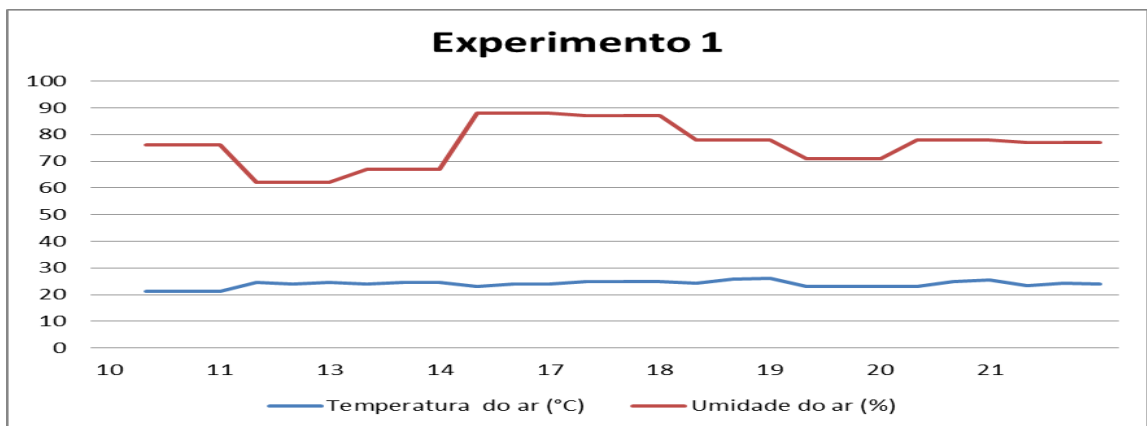


Figura 6: Comparativo de Temperatura e Umidade do ar no período avaliado.

### BRANCO DA AMOSTRA, SECADOR ROTATIVO E TEMPERATURA CONTROLADA EM ESTUFA - 24°C

Os testes de umidade foram realizados de 31/10/2016 a 11/11/2016, ou seja, por um período de 11 dias de acordo com tabela 2.

Tabela 2: Resultado final de temperatura do ar, temperatura da amostra, condições climáticas, umidade do ar, umidade da estufa e teor de umidade do lodo das amostras realizadas.

data	Amostra	Horário	Temperatura do ar (°C)	Temperatura da amostra (°C)	Condições climáticas	Umidade ar (%)	Umidade da estufa (%)	Teor de umidade Lodo (%)
11/11/2016	Branco da amostra	06:20	24,0	24,0	sol	77	-	84,8
	Secador Rotativo	07:00	24,0	24,0	-	-	-	37,6
	Amostra estufa 1	07:40	22,1	24,0	-	-	36	16,4
	Amostra estufa 2	08:30	22,1	24,0	-	-	36	19,1

## ANALISE DOS RESULTADOS

- O processo de secagem pelo **secador rotativo** mostrou-se eficiente se comparado com o **branco (amostra controle)**, sendo que em 11 dias a umidade da caiu de 86,66% para 37,6%, e o branco da amostra manteve-se estável, 86,66 % para 84,8%, conforme figura 7.
- O processo de secagem na **estufa a 24°C** mostrou-se efetivo em relação ao **branco da amostra**, sendo que em 11 dias a umidade das amostras baixou de 86,66% para 16,4% (amostra 1) e 19,1% (amostra 2) conforme figura 6.
- **Branco da amostra:** a secagem natural manteve-se praticamente estável, iniciando a umidade a 86,66% e finalizando a 84,8%.

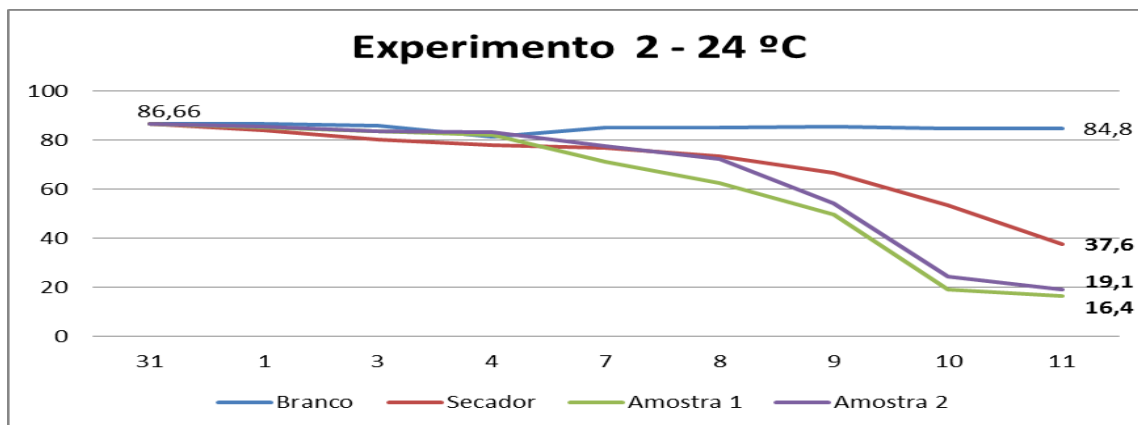


Figura 7: Gráfico comparativo de Umidade do Lodo

A figura 8 pode explicar esta tendência de estabilidade do branco, pois as temperaturas amenas (19,2 a 25°C) e a alta umidade do litoral (52% a 86%) não reduziram a umidade do lodo no período avaliado.

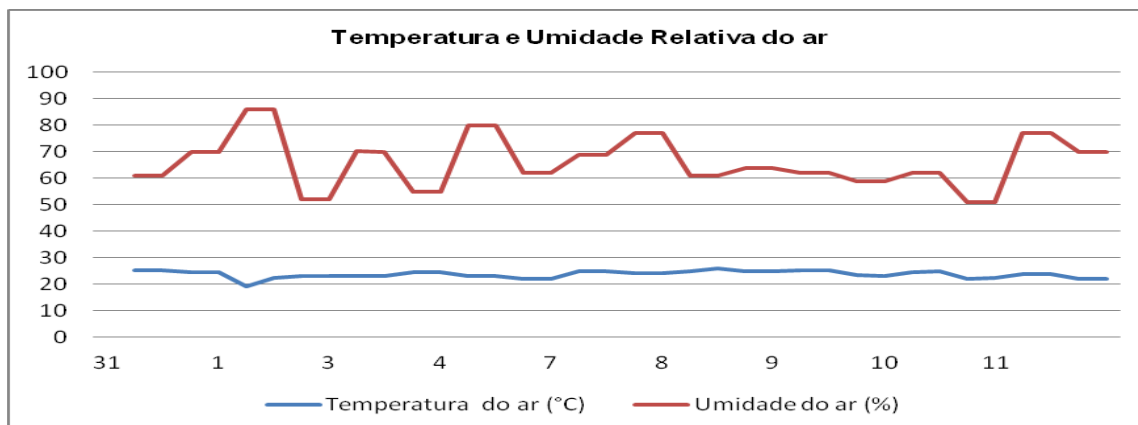


Figura 8: Comparativo de Temperatura e Umidade do ar no período avaliado.

## BRANCO DA AMOSTRA E TEMPERATURA CONTROLADA EM ESTUFA – 28°C

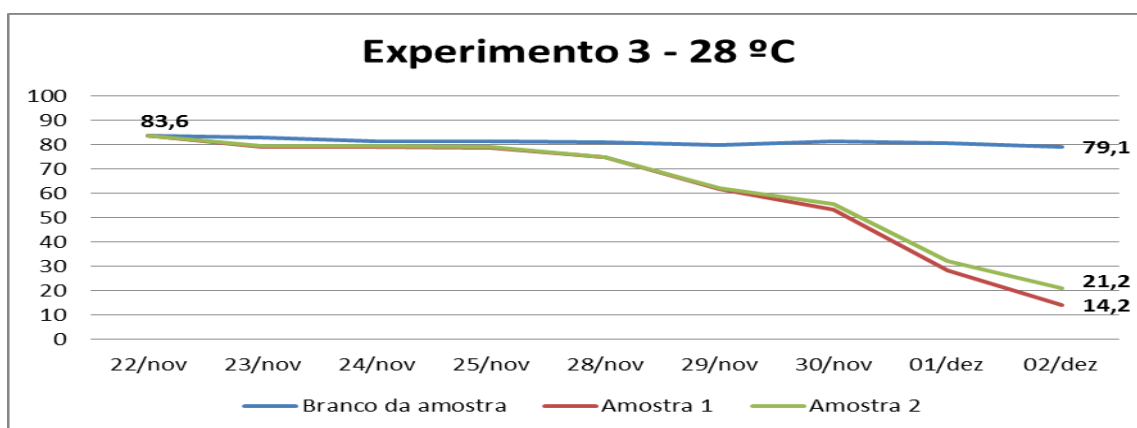
Os testes de umidade foram realizados de 22/11/2016 a 02/12/2016, ou seja, por um período de 10 dias de acordo com tabela 3.

**Tabela 3: Resultado final de temperatura do ar, temperatura da amostra, condições climáticas, umidade do ar, umidade da estufa e teor de umidade do lodo das amostras realizadas.**

data	Amostra	Horário	Temperatura do ar (°C)	Temperatura da amostra (°C)	Condições climáticas	Umidade ar (%)	Umidade da estufa (%)	Teor de umidade Lodo (%)
02/12/2016	Branco da amostra	06:35	25	25	sol	62	-	79,1
	Amostra estufa 1	07:15	25,2	28	-	-	46	14,2
	Amostra estufa 2	08:10	25,2	28	-	-	46	21,2

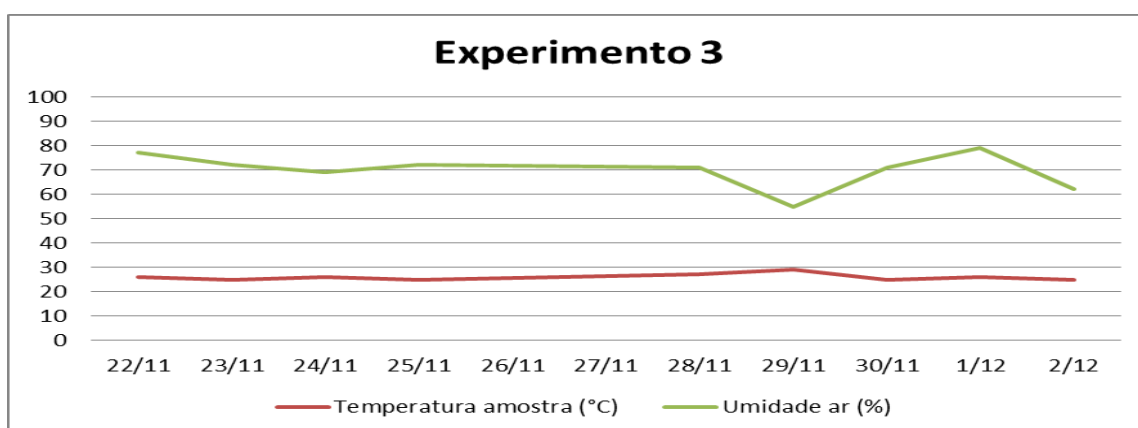
### ANALISE DOS RESULTADOS

- O processo de secagem na **estufa a 28°C** mostrou-se efetivo em relação ao **branco da amostra**, sendo que em 10 dias a umidade das amostras baixou de 83,6% para 14,2% (amostra 1) e 21,2% (amostra 2) conforme figura 9.
- **Branco da amostra:** a secagem natural manteve-se praticamente estável, iniciando a umidade a 83,6% e finalizando a 79,1%.



**Figura 9: Gráfico comparativo de Umidade do Lodo**

A figura 10 pode explicar esta tendência de estabilidade do branco, pois as temperaturas médias (25 a 29°C) e a alta umidade do litoral (55% a 79%) não reduziram a umidade do lodo no período avaliado.



**Figura 10: Comparativo de Temperatura e Umidade do ar no período avaliado.**

## BRANCO DA AMOSTRA E TEMPERATURA CONTROLADA EM ESTUFA – 32°C

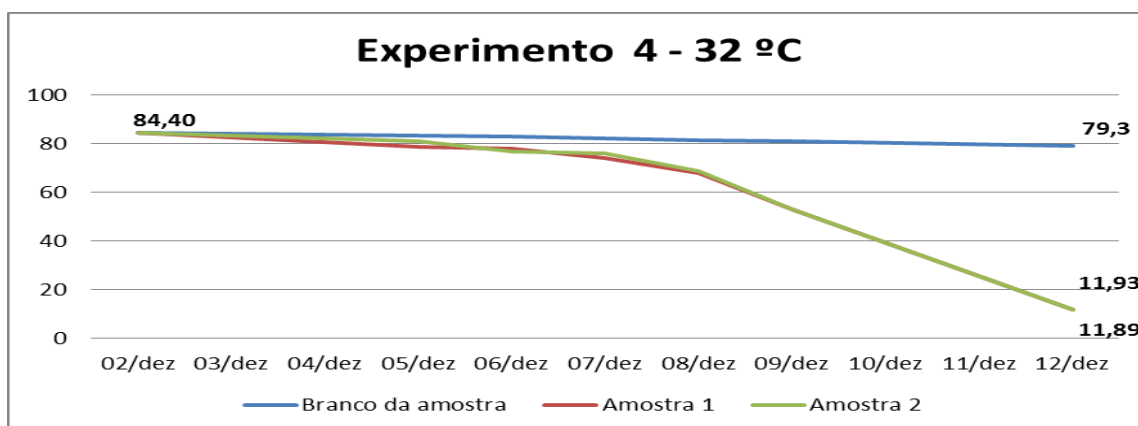
Os testes de umidade foram realizados de 02/12/2016 a 12/12/2016, ou seja, por um período de 10 dias de acordo com tabela 4.

**Tabela 4: Resultado final de temperatura do ar, temperatura da amostra, condições climáticas, umidade do ar, umidade da estufa e teor de umidade do lodo das amostras realizadas.**

data	Amostra	Horário	Temperatura do ar (°C)	Temperatura da amostra (°C)	Condições climáticas	Umidade ar (%)	Umidade da estufa (%)	Teor de umidade Lodo (%)
12/12/2016	Branco da amostra	07:20	25	25	sol	56	-	79,29
	Amostra estufa 1	07:50	24	32	-	-	39	11,89
	Amostra estufa 2	08:20	24	32	-	-	39	11,93

### ANALISE DOS RESULTADOS

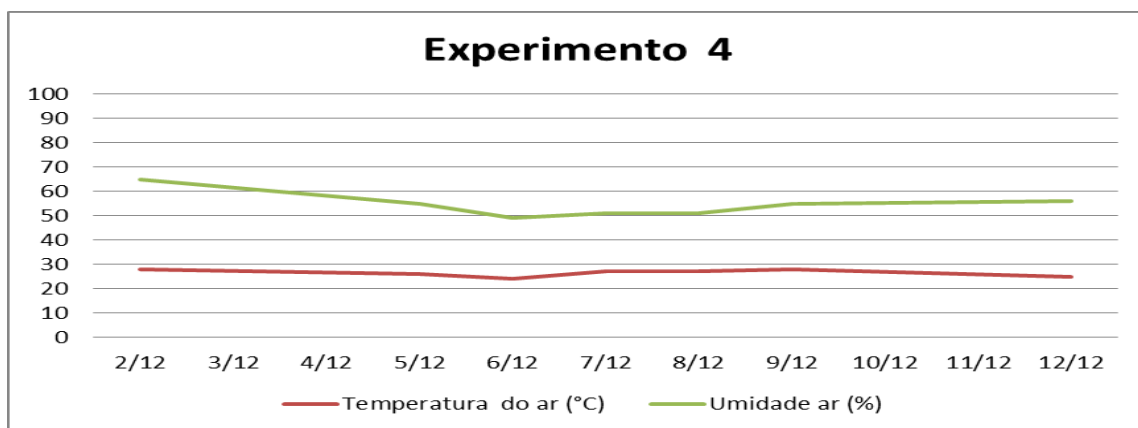
- O processo de secagem na **estufa a 32°C** mostrou-se efetivo em relação ao **branco da amostra**, sendo que em 10 dias a umidade das amostras baixou de 84,4% para 11,89% (amostra 1) e 11,93% (amostra 2) conforme figura 11.
- **Branco da amostra:** a secagem natural manteve-se praticamente estável, iniciando a umidade a 84,4% e finalizando a 79,3%.



**Figura 11: Gráfico comparativo de Umidade do Lodo**

A figura 12 pode explicar esta tendência de estabilidade do branco, pois as temperaturas médias (24 a 28°C) e a alta umidade do litoral (49% a 65%) não reduziram a umidade do lodo no período avaliado.





**Figura 12: Comparativo de Temperatura e Umidade do ar no período avaliado.**

## CONCLUSÃO

A utilização de secagem através de estufas com filme plástico apresenta baixo custo de implantação e manutenção e sua utilização é satisfatória no Litoral Norte do Estado de São Paulo, conforme os resultados reportados na estufa de secagem. A secagem natural é uma alternativa, utilizando-se complementarmente a luz solar e aproveitando-se as altas temperaturas do verão.

A estufa de secagem a 32°C apresentou melhores resultados, ou seja, redução da umidade inicial de 79,3% para umidade final de 11,9%.

O estudo mostrou também que as temperaturas amenas e a alta umidade do Litoral Norte não influenciaram a secagem do lodo de ETE, sendo possível também a secagem pelo processo de Secador Rotativo, desde que haja insuflamento de ar forçada e parâmetros controlados de temperatura e umidade.

Testes complementares devem ser feitos para determinar a potência do insuflador e/ou exaustor a ser instalado e a forma de operação deste equipamento e se é necessário o controle de temperatura do ar utilizado no interior da estufa de secagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COMPARINI, J.B – Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos destacados em valas em biossólidos submetidos à secagem em estufa agrícola. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 2001.
2. DAVID, A.C – Secagem térmica de lodos de esgoto. Determinação da Umidade de Equilíbrio. Dissertação de mestrado-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.
3. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2011>, acesso em 28/11/2016.
4. Ricardo Franci Gonçalves, Maurício Luduvica, Márcia Regina Pereira Lima, Dalton Luis da Cunha Ramaldes, Andréia Cristina Ferreira, Claudia Rodrigues Teles e Cleverson Vitorio Andreoli, 2001 – PROSAB - Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final – Capítulo 3 – Desidratação de lodos de esgoto - p 57-86.