

## II-096 – ANÁLISE DA SECAGEM DO LODO DE ESGOTO EXTRUDADO

**Luan de Souza Leite** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP). Mestrando em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

**Tsunao Matsumoto** <sup>(2)</sup>

Engenheiro Civil pela Fundação Valeparaibana de Ensino (1979), Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) em 1987 e 1995, respectivamente. Livre-Docente pela Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" (2008). Professor Adjunto da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho Campus de Ilha Solteira.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Alameda Bahia, 550 - Ilha Solteira- SP - CEP 15385-000 - Brasil – Tel: (18) 3743-1125. e-mail: eng.luanleite@gmail.com

### RESUMO

O objetivo principal da secagem do lodo é gerar um produto mais estável e com menor volume para facilitar seu manuseio e, principalmente reduzir os custos dos processos seguintes. Neste aspecto, há uma constante busca de conhecimento e novas tecnologias para conseguir um resultado cada vez mais conveniente. O presente trabalho buscou investigar a secagem de lodo em formato de *pellets*, por meio de um secador de baixa temperatura que promove a desidratação pela secagem térmica por lâmpadas de infravermelho e secagem convectiva simultaneamente. Com o objetivo de conhecer o comportamento da secagem, foram utilizadas quatro espessuras de *pellets* (5, 7, 10 e 15 mm) e assim, realizar uma análise da cinética e das variações de massa e umidade. Pelos resultados, todas as espessuras se estabilizaram em tempo variável em massa e umidade. O pico de taxa de secagem (TS) apresentado foi de 0,1187, 0,0665, 0,0416 e 0,0257 g água/ g matéria seca.min para 5, 7, 10 e 15 mm, respectivamente. Além desses parâmetros, foi realizada uma análise econômica dos diâmetros envolvidos e concluiu-se que 15 mm apresentou o melhor custo/benefício.

**PALAVRAS-CHAVE:** Secagem lodo, lagoa de estabilização, secador de baixa temperatura, *pellets*.

### INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Esgoto - ETE visam reproduzir, em menor tempo, a capacidade dos corpos d'água de decompor naturalmente a matéria orgânica. Nesse processo há a remoção da carga de poluente por meio de processos físicos, químicos ou biológicos. Porém como consequência, há a geração de subproduto denominado genericamente de lodo de esgoto.

Como o lodo pode apresentar características como instabilidade biológica, possibilidade de transmissão de patógenos e grandes volumes, é necessário que o mesmo passe por um tratamento antes do seu destino final. A secagem constitui uma etapa essencial desse processo, pois permite redução de volume que resulta na diminuição do custo dos procedimentos subsequentes.

Uma alternativa para a disposição final deste resíduo é seu uso como fertilizante na agricultura. Nesse contexto, a peletização do lodo de esgoto é uma alternativa para tornar mais fácil e mais uniforme sua aplicação no solo (Berton et al., 1997).

Nesse contexto, o presente trabalho visa estudar o comportamento da secagem do lodo em *pellets* com diferentes espessuras em um secador de baixa temperatura (< 100 °C), como método rápido e prático de secagem, visando à disposição final como adubo orgânico na agricultura.

## OBJETIVO

Analisar a eficiência da secagem de lodo proveniente de lagoas facultativa após o processo de extrusão (formação de *pellets*), utilizando a combinação de dois processos: convecção forçada e secagem térmica por lâmpadas de infravermelho.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O lodo estudado foi coletado da ETE de Ilha Solteira-SP, onde o tipo de tratamento empregado é o de lagoa facultativa primária. A ETE é composta por duas lagoas com 445 x 105 x 1,50 m (comprimento x largura x profundidade), com volume útil de 70.080 m<sup>3</sup> e vazão máxima de tratamento de 147,50 L/s. A coleta e o transporte de lodo foi realizado por um caminhão tipo “limpa fossa” e armazenado em dois reservatórios (Fortlev<sup>MR</sup>) de 2.000 L cada um, que se encontram instalados próximos ao Laboratório de Saneamento da FEIS/UNESP.

No laboratório, o lodo foi peneirado para remoção do material grosseiro e posto para secar na estufa agrícola, em bandejas cobertas com mantas geotêxtil (bidim<sup>MR</sup>). Após a amostra atingir cerca de 20 % de teor de sólidos, a mesma foi coletada para a finalidade desta pesquisa.

## APARATO EXPERIMENTAL

Foram utilizados dois secadores com as dimensões de: 0,93 x 0,31 x 0,65 m (comprimento x largura x altura) como mostrado na Figura 1 (a) e (b). Os secadores são idênticos e cada um possui 4 (quatro) lâmpadas de infravermelhos, de 220 V e 250 W (Ourolux<sup>MR</sup>), encaixadas no topo. Além de um ventilador (modelo F1825SM-CB Akasa<sup>MR</sup>) rente a base, com as seguintes características: vazão de ar de 87,9 m<sup>3</sup>/h, potência de 3,6 W e 18 cm diâmetro da hélice. A temperatura média no interior do secador com a secagem ocorrendo é de 50 °C.

Para os ensaios em questão, foram utilizadas 4 lâmpadas acesas (1000 W) e o ventilador.

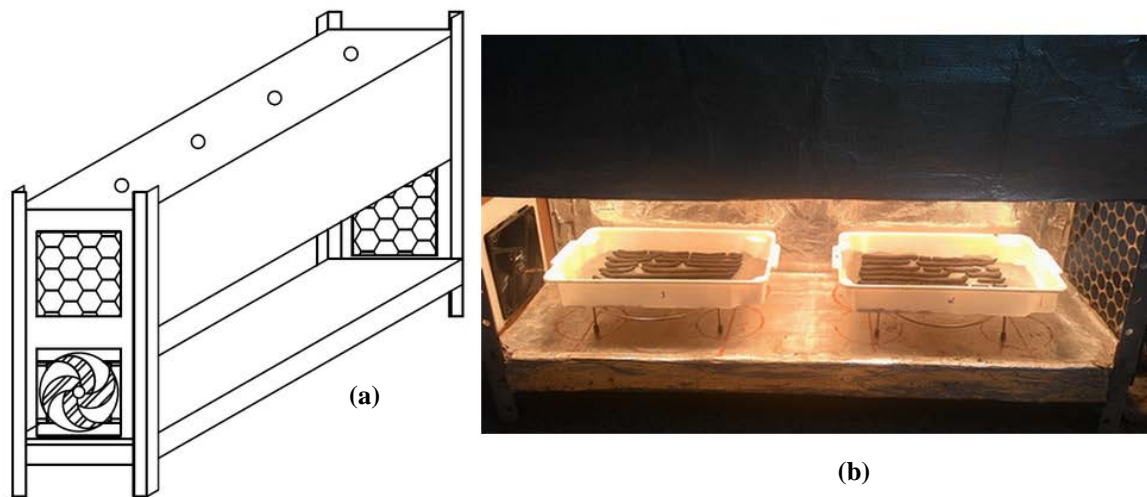


Figura 1: Estufa: aspectos construtivos (a) e em funcionamento (b)

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a secagem, foram utilizadas duas bandejas em cada secador com dimensões de 33 x 21 x 5 cm (comprimento x largura x altura) com fundo perfurado com furos de 0,9 cm de diâmetro, para possibilitar a circulação do ar e secagem convectiva. Elas foram colocadas em estruturas de suporte em locais pré-determinados para realização de todas as séries e, antes de receberem o lodo, o fundo foi forrado com manta geotêxtil (bidim<sup>MR</sup>).

Para todos os ensaios, foram determinadas as umidades iniciais e finais do lodo pelo método gravimétrico. Todas as amostras utilizadas possuíam umidades diferentes, porém dentro da faixa de 4,85 a 5,40 kg água/ kg de sólido seco. As bandejas foram pesadas de hora em hora e o tempo de exposição variou de acordo com a variação da massa no ensaio (até uma diferença menor que 0,1 g entre as pesagens). Foram realizadas repetições para cada diâmetro.

Os diâmetros de *pellets* usados foram de 5, 7, 10 e 15 mm (Figura 2b). Como método de extrusão, foi utilizado um equipamento de confeitaria (Figura 2a) composto por um saco e encaixe para os bicos nos diâmetros mencionados. Os *pellets* foram dispostos na bandeja com distância de cerca de um centímetro entre eles.

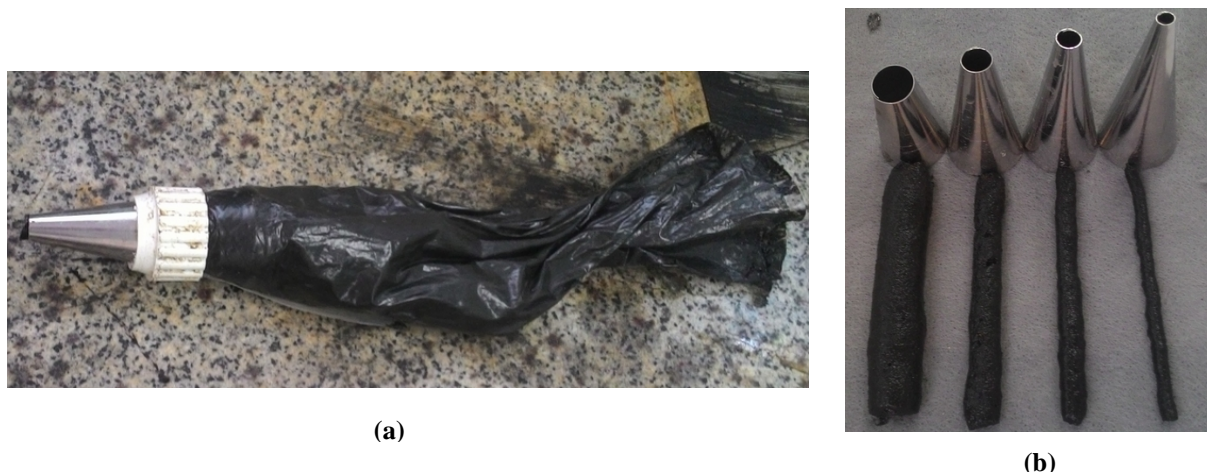


Figura 2: (a) equipamento utilizado para formar extrusão, (b) bicos com os diâmetros utilizados (5, 7, 10 e 15 mm).

## ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram apresentados em termos de RU e TS, sendo definidos a seguir.

RU (razão de umidade) é um adimensional de teor de água da amostra, calculado pela Equação 1

$$RU = X_t / X_o \quad \text{equação (1)}$$

Onde,  $X_t$  é a umidade em base seca em um tempo qualquer e  $X_o$  a umidade inicial em base seca.

TS (taxa de secagem) é definida como a quantidade de água evaporada durante o período estudado (g água/ g matéria seca.min), determinada pela Equação 2.

$$TS = (X_{t+\Delta t} - X_t) / \Delta t \quad \text{equação (2)}$$

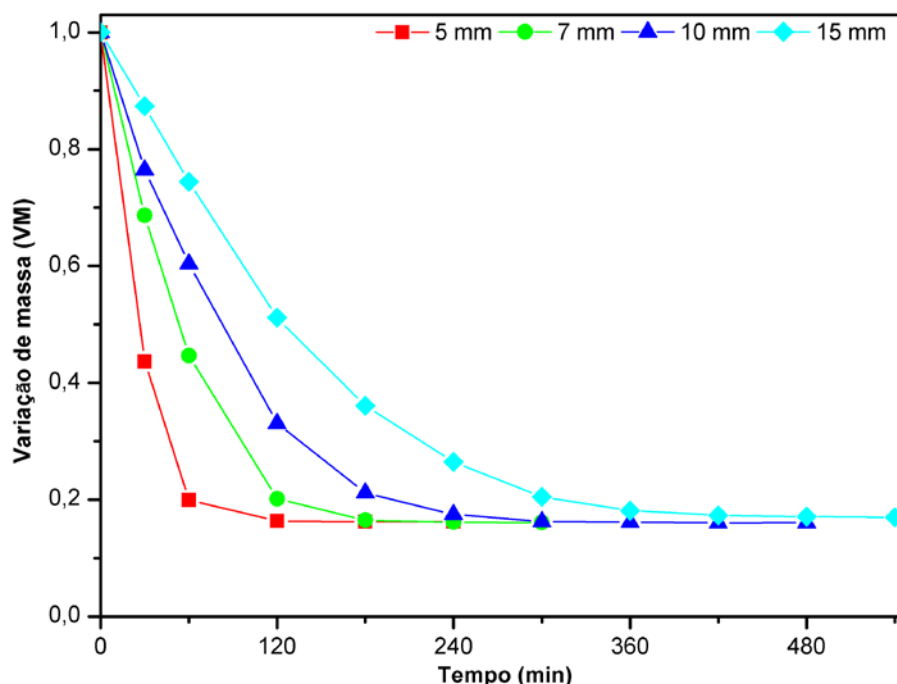
Onde,  $X_{t+\Delta t}$  é a umidade em base seca no tempo  $t + \Delta t$  e  $\Delta t$  o intervalo de tempo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela semelhança entre os resultados e comportamentos dos *pellets* de mesmo diâmetro, escolheu-se uma série de cada diâmetro para realizar as análises.

A Figura 3 apresenta a curva média da variação da massa (VM) - razão entre a massa em um determinado tempo, pela massa inicial - durante os ensaios. Pelos resultados, a massa final encontrada foi da ordem de 16 e 17% da inicial.

É possível notar que a secagem se estabilizou para todos os diâmetros e a quantidade de horas para que isso ocorresse foi de 2, 3, 5 e 7h para as espessuras de 5, 7, 10 e 15 mm, respectivamente.



**Figura 3: Comparativo da Variação de Massa (VM) no tempo entre os diâmetros estudados**

Com os dados de secagem apresentado pela Tabela 1, foi possível observar estatisticamente que independente do diâmetro utilizado e da umidade inicial da amostra, chegou-se praticamente ao mesmo valor de umidade final. Podendo concluir assim, que não há interferência das variáveis climáticas no resultados dos ensaios.

**Tabela 1: Resultado de Umidade dos Ensaios**

Diâmetro (mm)	U. inicial (%)		U. final (%)		Redução (%)	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
5	490,23	5,17	2,56	0,20	487,67	5,37
7	507,87	5,97	2,02	0,73	505,84	6,70
10	490,23	5,17	3,39	2,66	486,84	7,83
15	507,87	5,97	1,99	0,94	505,88	6,91

A Figura 4 mostra que taxa de secagem (TS) teve seu pico próximo no intervalo de 0-30 minutos de secagem para os diâmetros de 5, 7 e 10 mm e 30-60 minutos para 15 mm. Sendo que para 5, 7 e 10 mm, apresentou apenas trecho descendente e enquanto para 15 mm, apresentou um trecho levemente ascendente (elevação da temperatura do lodo) e em sequência, um tramo decrescente. O pico apresentado foi de 0,1187, 0,0665, 0,0416 e 0,0257 g água/ g matéria seca.min para 5, 7, 10 e 15 mm, respectivamente. Pode notar que as taxas de secagem foram inversamente proporcionais à espessura do *pellet* a ser seco, uma vez que a espessura de 5 mm apresenta os maiores valores e 15 mm os menores. A curva de 5 mm foi mais acentuada, enquanto a de 10 mm e 15 mm apresentou uma tendência descendente mais suave.

Assim como Celma et al. (2006), Yu et al. (2009), Tao et al. (2005b), Idlimam et al. (2016) e Deng et. al. (2015), a Taxa de secagem (TS) foi praticamente em um único período descendente e sem períodos constantes.

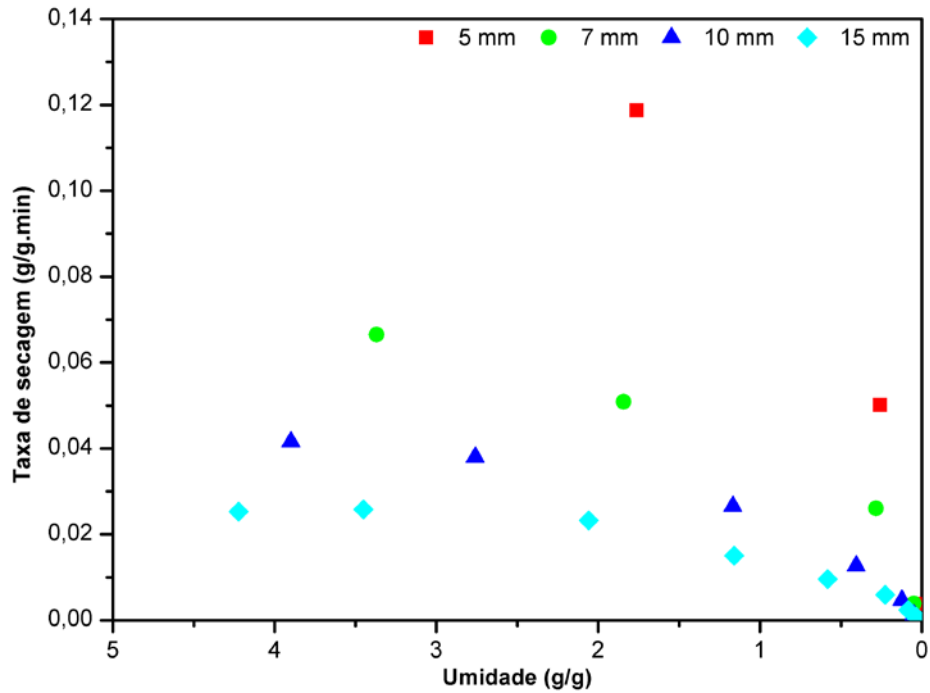


Figura 4: Taxa de secagem versus conteúdo de umidade do lodo

A Figura 5 apresenta a variação da Razão de Umidade (RU) em função do tempo para os quatro diâmetros de pellets estudados. Os tempos em que as curvas atingiram a variação zero, como esperado, foram os mesmos que atingiram a estabilidade de massa. Com esse resultado, foi possível verificar a eficiência na secagem de lodo sob a forma de *pellets*.

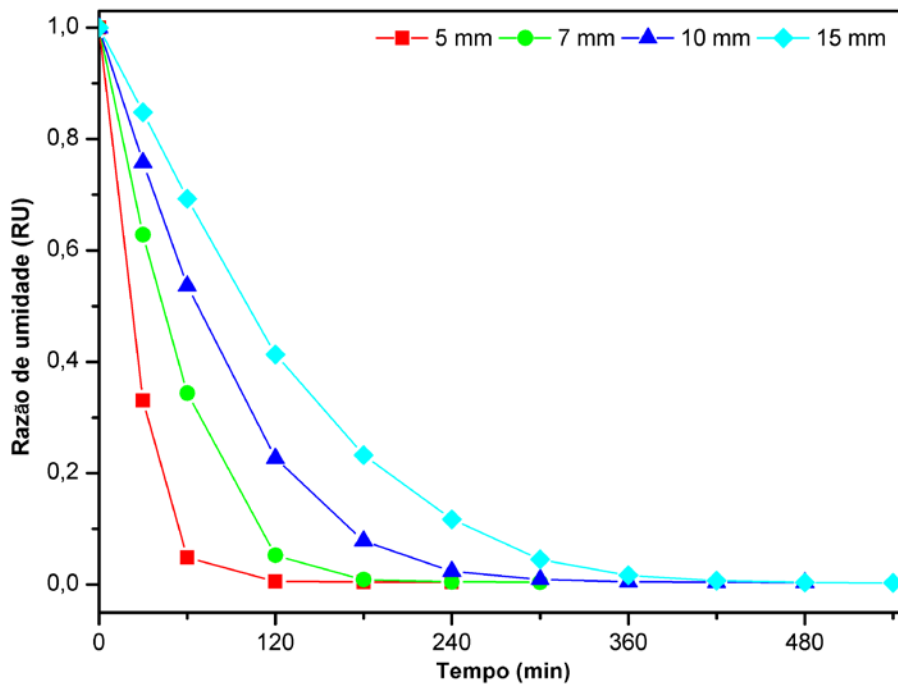


Figura 5: Comparativo da Variação de Umidade (VU) entre os diâmetros estudados

Foi realizada uma avaliação dos custos da secagem com os diferentes diâmetros utilizados nesse trabalho, como mostra Tabela 2. Nos custos foi considerado o preço do kWh vigente na cidade da pesquisa (Ilha Solteira-SP), sendo de 1 Kwh=R\$ 0,51134.

**Tabela 2: Análise das variáveis envolvidas na secagem**

Variáveis	Diâmetro (mm)			
	5	7	10	15
Tempo secagem (h)	2	3	5	7
Taxa (gST/min)	0,47	0,54	0,57	0,73
Área específica (cm <sup>-1</sup> )	8,0	5,7	4,0	2,7
Kwh	1,89	2,83	4,72	6,61
Preço (R\$)	0,97	1,45	2,42	3,38
R\$/kg de lodo seco	17,08	14,82	14,24	11,07

Na análise econômica apresentada, foi estimada como se toda a área útil da estufa fosse utilizada para secagem. Pelos resultados o melhor custo/benefício foi do diâmetro de 15 mm.

Sobre o elevado valor apresentado, é necessário salientar que o secador foi construído de forma empírica e, pode estar superdimensionado para o espaço útil de secagem. Portanto, recomenda-se para futuros trabalhos, um estudo de luminotécnica para que o processo se torne mais barato e atraente.

## CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos, é possível afirmar que a secagem do lodo sob a forma de *pellets*, em um secador de baixa temperatura, pode ser viável e promissora. Os tempos foram relativamente pequenos, mesmo trabalhando com grande umidade, sendo de 2, 3, 5 e 7h para as espessuras de 5, 7, 10 e 15 mm, respectivamente. Além, de alcançar uma massa final da ordem de 16 e 17% em relação a inicial.

Pela análise de custo/benefício, o diâmetro de 15 mm apresentou o melhor resultado, porém o resultado encontrado foi elevado. Em decorrência disso, recomenda-se para os futuros trabalhos um dimensionamento do secador de maneira adequada, uma vez que o da presente pesquisa foi construído de forma empírica. Além de pesquisas com maiores diâmetros (superior a 15 mm), para verificar o limite da curva custo/benefício.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTON, R. S.; VALADARES, J. M. A. S.; DE CAMARGO, O. A. e BATAGLIA, O. C.. Peletização do lodo de esgoto e adição de CaCO<sub>3</sub> na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu e Ni pelo milho em três latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online]. 1997, vol.21, n.4, pp.685-691.
- CELMA, A.R., ROJAS, S., LÓPEZ, F., MONTERO, I., MIRANDA, T. Thin-layer drying behaviour of sludge of olive oil extraction. *Journal. Food Engineering*, v.80, n.4, p. 1261-1271, nov, 2007.
- DENG, S., WANG, X., TAN, H., MIKULČIĆ, H.L., Z., CAO, R., WANG, Z., VUJANOVIĆ, M. Experimental and modeling study of the long cylindrical oily sludge drying process. *Applied Thermal Engineering*. v.91, p. 354-362, ago, 2015.
- IDLIMAM, A., LAMHARRAR, A., BOUGAYR, E.H., KOUHILA, M., LAKHAL, E.K. Solar convective drying in thin layers and modeling of municipal waste at three temperatures. *Applied. Thermal. Engineering*, v. 108, p. 41-47, jul, 2016.
- TAO, T., PENG, X.F., LEE, D.J. Structure of crack in thermally dried sludge cake. *Drying Technology*, v.23, n.7, p. 1555-1568, jul, 2005.
- YU, W., HU, N., LI, P., HU, Y., XU, Q., WANG, Q., YANG, J., YANG, G. Mathematical Modeling of Drying Characteristics of Sewage Sludge. In: Asia-Pacific Power and Energy Engineering. Conference, Wuhan, China, p. 1-4, maio, 2009.
- ZHOU, Y., JIN, Y. Mathematical modeling of thin-layer infrared drying of dewatered municipal sewage sludge (DWMSS). *Procedia Environmental. Science*. v.31, p.758-766, abr, 2016.