

Carolina Cavion, Júlia Tonet, Luísa de Souza Miola, Cláudio Antônio Perottoni, Janete Eunice Zorzi

[ccavion@ucs.br](mailto:ccavion@ucs.br), [jtonet1@ucs.br](mailto:jtonet1@ucs.br), [lsmiola1@ucs.br](mailto:lsmiola1@ucs.br), [caperott@ucs.br](mailto:caperott@ucs.br), [jezorzi@ucs.br](mailto:jezorzi@ucs.br)

ÁREA DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS, UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

## Introdução

No contexto de produção de cerâmicas, o propósito da secagem é remover a água de um corpo cerâmico depois de conformado. A secagem deve ser realizada a uma taxa adequada, a um custo aceitável e de modo a não danificar o corpo cerâmico. Embora a determinação das melhores condições de secagem seja crítica para a produção de cerâmicas, a determinação experimental dos parâmetros de secagem, particularmente do teor crítico de umidade, costuma ser muito subjetiva. Neste trabalho propomos uma expressão matemática empírica, baseada no modelo logístico generalizado, que é capaz de descrever a curva de secagem completa. A umidade crítica é, portanto, inequivocamente obtida como o ponto intersecção de duas linhas retas derivadas da modelagem matemática da curva de secagem completa. A heurística proposta neste trabalho, encontrou uma aplicação particular no procedimento automatizado para a aquisição de dados e análises de curvas de secagem de massas cerâmicas.

## Metodologia

Uma amostra de argila vermelha úmida, previamente deixada em descanso por 48 horas, foi cortada em formato de barra com 120 mm x 20 mm x 10 mm. Dois alfinetes foram inseridos na argila, a uma distância de 100 mm para servirem de referência do encolhimento durante a secagem da amostra. A amostra foi colocada sobre um papel manteiga e um suporte de vidro e este conjunto foi colocado em uma balança analítica (Shimadzu, modelo AUW220D), que registrou a perda de massa durante a secagem. Os alfinetes e o suporte foram previamente pesados, e suas massas foram subtraídas da massa total.

Uma câmera digital (Canon EOS Rebel T2i) foi usada para registrar fotos sucessivas da amostra e do peso registrado na balança (automaticamente), tiradas a intervalos de 15 min. (Fig.1).

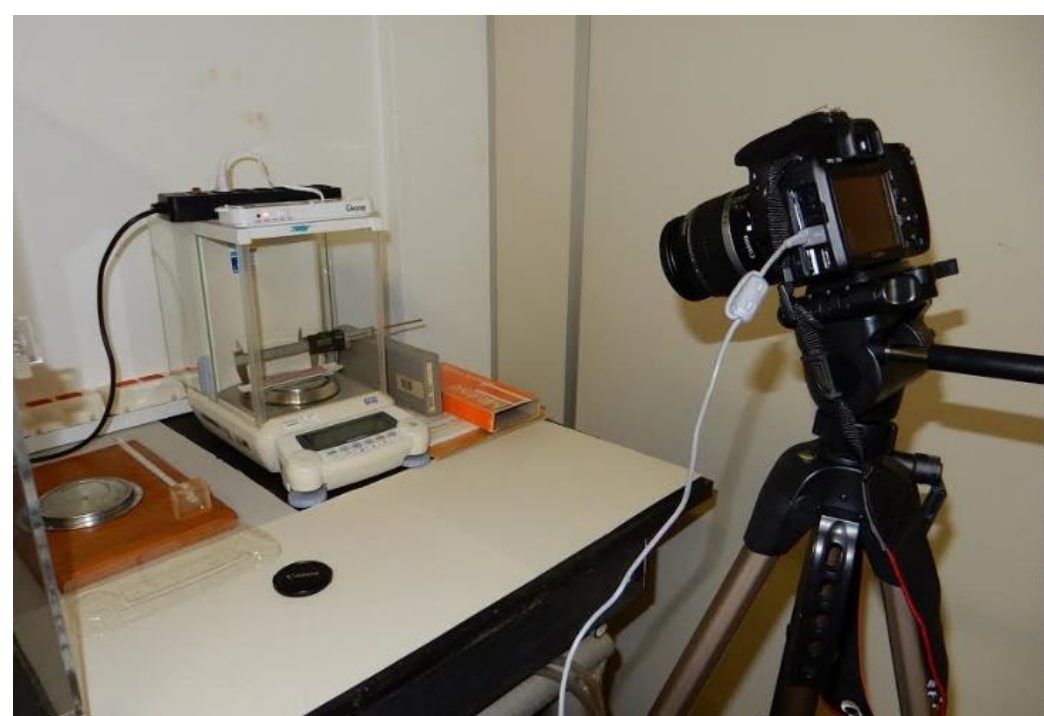


Figura 1 : Montagem do experimento.

Um software de análise de imagem (Plot Digitizer) foi utilizado para medir o tamanho da amostra no conjunto de fotos obtidas durante as 44 horas de experimento realizado. Outros dois alfinetes foram colocados em um pedaço de isopor para servirem de referência, permitindo assim, uma medição precisa da distância entre os dois pontos inseridos na amostra de argila. Isso permitiu medir a contração da amostra com uma boa precisão e sem contato físico.

O teor de umidade ( $M$ ) na argila foi calculado de acordo com a equação [1], onde  $m$  é a massa da argila e  $m_{dry}$  é a massa da argila depois de seca a 110°C.

$$[1] \quad M = 100 \times \frac{m - m_{dry}}{m_{dry}}$$

A disponibilidade de uma única equação empírica capaz de descrever toda a curva de secagem permite a determinação da umidade crítica livre de ambiguidades. A equação abaixo permite a definição inequívoca de duas linhas retas, representando os dois estágios do processo de secagem, usando todo o conjunto de dados.

$$[2] \quad DS = \frac{c_0 c_3^2}{(1 + c_3)^{1+c_3}} [1 + c_3(1 + c_1 c_2 - \ln c_3) - c_1 c_3 M]$$

A umidade crítica é obtida como a intersecção das duas linhas retas e pode ser escrita em parâmetros de ajuste  $c_i$  como a equação abaixo:

$$[3] \quad M_{cr} = \frac{1 + c_3 [1 + c_1 c_2 - (1 + 1/c_3)^{(1+c_3)} - \ln c_3]}{c_1 c_3}$$

## Resultados e discussão

Um exemplo de análise de dados é mostrado na Fig. 2, que representa a curva de Bigot (contração de secagem vs teor de umidade) para a amostra de argila utilizada neste trabalho. A curva de secagem é bem descrita pela função logística generalizada, equação [4], da qual são obtidas as duas linhas retas representando os estágios da secagem.

$$[4] \quad DS = c_0 \left[ 1 + e^{c_1(M-c_2)} \right]^{-c_3}$$

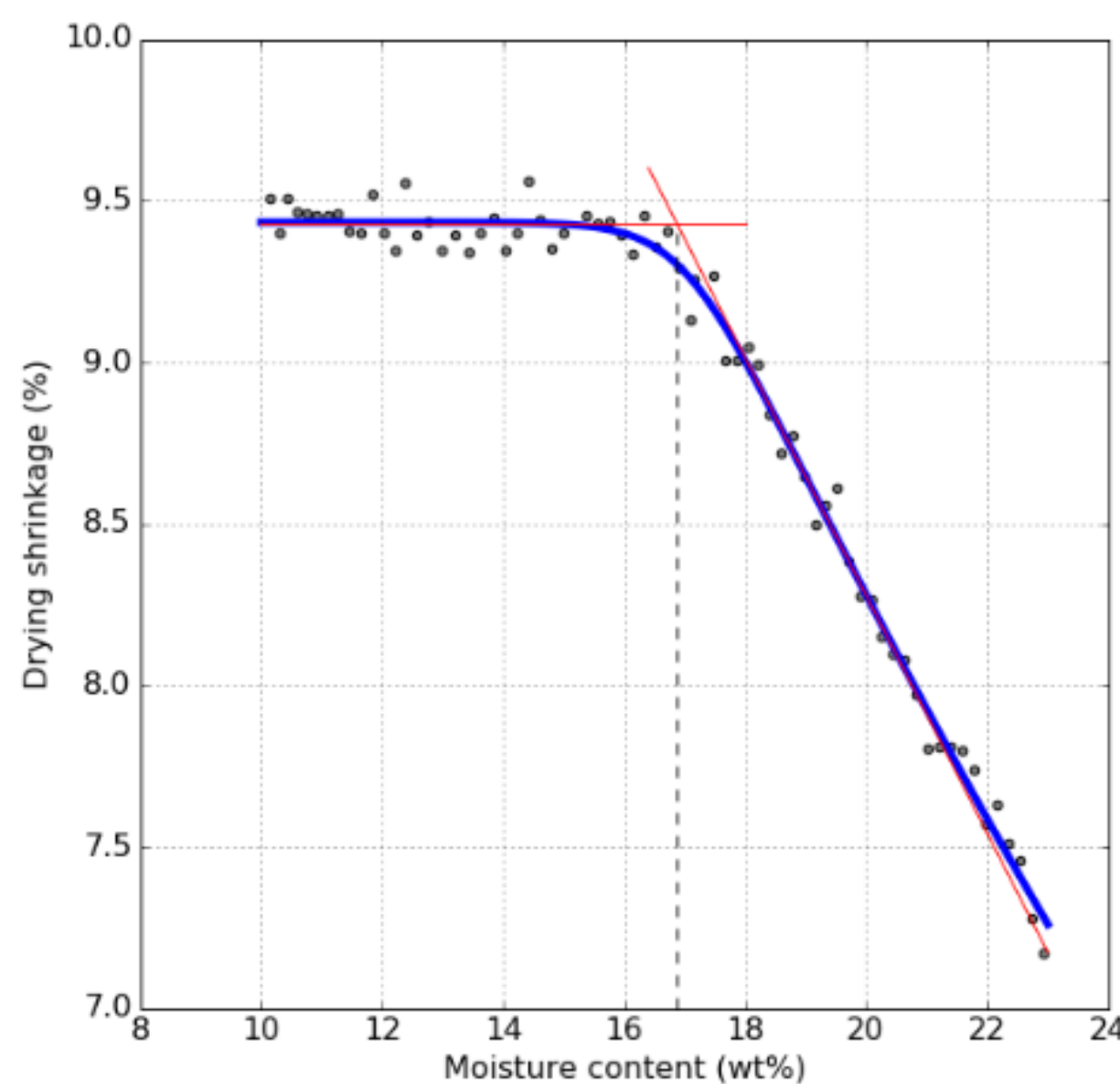


Figura 2: Exemplo de análise da curva de Bigot. Os pontos são os dados experimentais.

## Considerações finais

Uma expressão baseada na função logística foi proposta para descrever o comportamento de secagem de corpos de argila. O modelo matemático permite uma determinação objetiva do teor de umidade crítico. Além de reduzir a subjetividade da análise de curvas de secagem, uma equação matemática capaz de descrever a curva de secagem inteira também facilita a automação da análise de dados. De fato, a proposta heurística deste trabalho pode encontrar uma aplicação particular em procedimentos automatizados para uma aquisição e análise de curvas de secagem de massas cerâmicas.

A análise de dados foi implementada em linguagem Python, em Jupyter notebook, e uma parte da análise está resumida na Fig. 3.

### Analysis of drying curves

```
In [1]: from openpyxl import load_workbook
from openpyxl.utils import get_column_letter, column_index_from_string

# Load in the workbook
wb = load_workbook("bigot.xlsx") #bigot.xlsx is the filename of the worksheet given as example

max_row = 179 #max row number in data worksheet

#Select data near the critical moisture content for curve fitting
inf=169 #min row number in data worksheet for curve fitting
sup=179 #max row number in data worksheet for curve fitting

# Sample mass and length after drying in a oven to constant mass:
mass_dry=28.5626 #dry mass in grams
length_dry=87.64 #dry Length in mm
```

```
[3]: length_partial=np.array(length[inf:sup])
mass_partial=np.array(mass[inf:sup])

fig = plt.figure(figsize=(10,5))
ax = fig.add_subplot(121)
ax.set_xlabel('Length (mm)')
ax.set_ylabel('Mass (g)')
ax.grid(True,which='both')
ax.scatter(length,mass,s=20,c='gray', marker='o',label='all data')
leg=ax.legend()
plt.legend(bbox_to_anchor=(0.4, 0.95), loc=0, borderaxespad=0.)

ax = fig.add_subplot(122)
ax.set_xlabel('Length (mm)')
ax.set_ylabel('Mass (g)')
ax.grid(True,which='both')
ax.scatter(length_partial,mass_partial,s=20,c='gray', marker='o',label='data for fitting')
leg=ax.legend()
plt.legend(bbox_to_anchor=(0.5, 0.95), loc=0, borderaxespad=0.)
plt.tight_layout()
plt.show()
```

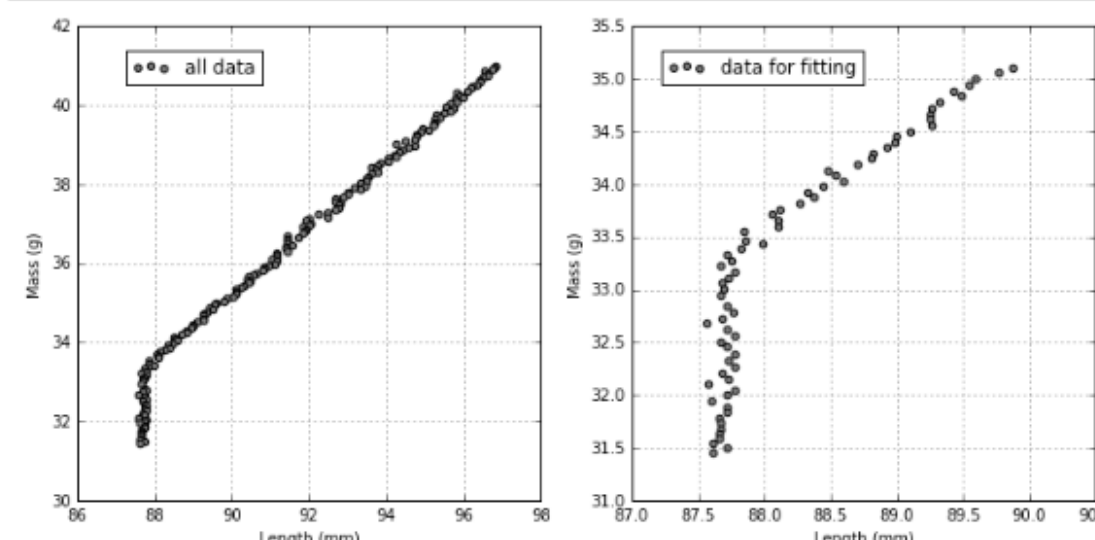


Figura 3: Disponível em: file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/Rar\$EX03.218/notebook\_results.html

## Agradecimentos