

## Análise experimental da expansão de pellets de bentonita sob diferentes condições de temperatura

### Experimental analyses of bentonites pellets expansion under different temperature conditions

#### RESUMO

Fernando Thomaz Barbosa  
[fernandobarbosa@alunos.utfpr.edu.br](mailto:fernandobarbosa@alunos.utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Alan Lugarini  
[alansouza@utfpr.edu.br](mailto:alansouza@utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Admilson Teixeira Franco  
[admilson@utfpr.edu.br](mailto:admilson@utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

A fase de plugueamento e abandono, a última do ciclo de vida de um poço de petróleo, tem recebido bastante atenção nos últimos tempos visto que inúmeros poços em todo o mundo têm atingido esse estágio. Esse processo é tradicionalmente realizado com o uso do cimento Portland e na busca de materiais alternativos passou-se a estudar a bentonita, uma argila que é um material selante graças às suas propriedades expansivas. Os experimentos apresentados nesse trabalho almejam buscar relações que quantifiquem a expansão da bentonita em função do tempo que se encontra imersa na água sob o efeito de temperaturas diferentes, analisando como essa variável referente ao sistema afeta no mecanismo de inchamento da argila já que em poços a temperatura é elevada. Os resultados obtidos indicam que o aumento da temperatura ocasiona uma maior expansão da bentonita. O método utilizado se mostrou eficiente para a análise e pode caracterizar bem o comportamento da expansão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Indústria petrolífera. Argila. Mecânica do solo.

#### ABSTRACT

The Plugging and Abandonment phase, the last one of an Oil Well's life-cycle, has received great attention in current times since there is an increasing number of wells - all over the world - which are reaching this stage. This process is traditionally made using Portland cement and in the research of alternative materials has started the studies over bentonite, a clay which is a sealant material thanks to its expansive properties. The experiments hereby presented aims to define relationships which quantify the bentonites expansion as a function of time when submerge in water under the effect of different temperatures, analyzing how this parameter from the system affects the swelling mechanism of the clay. The results achieved indicates that higher temperatures cause a greater expansion of bentonite. The used method has proved itself efficient in the analysis and was able to well characterize the expansion behavior.

**KEYWORDS:** Oil industry. Clay. Soil mechanics.

**Recebido:** 02 set. 2020.

**Aprovado:** 17 set. 2020.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Esse trabalho integra um projeto desenvolvido pelo CERNN – Centro de Pesquisas em Reologia e Fluidos Não Newtonianos desenvolvido em parceria com a Petrobras (CENPES). O autor desse artigo integrou a equipe de pesquisa em março de 2020 e esse é seu primeiro trabalho desenvolvido em Iniciação Científica.

A fase de plugueamento e abandono, a última da vida de um poço de petróleo, tem recebido bastante atenção nos últimos tempos visto que inúmeros poços em todo o mundo têm atingido esse estágio, como apontado por Barclay (2001). Buscando alternativas ao cimento Portland, material convencionalmente utilizado nessa aplicação, passou-se a estudar materiais capazes de vedar o poço.

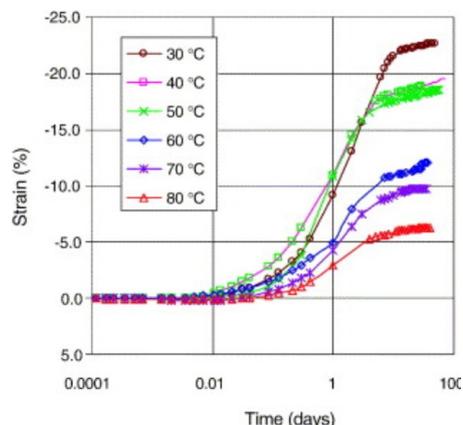
Uma das alternativas que tem disso profundamente estudada é a bentonita, uma argila expansível. Essa propriedade de expandir quando em contato com a água já foi massivamente explorada com sua aplicação como material selante para depósitos de lixo nucleares, situação muito comum na Europa. Sua expansão forma um gel que permite uma excelente vedação e torna a estrutura formada resistente a choques gerados por movimentos tectônicos.

Outra vantagem refere-se ao custo total, visto que não se faz necessário o uso de equipamento especializado, como ocorre com a utilização de cimento, que é geralmente de terceiros. Também deve ser considerado o preço do material que é por si só bastante competitivo.

Sendo assim, esse trabalho busca analisar experimentalmente o comportamento do inchamento da bentonita em condições de diferentes altas temperaturas, já que a sua aplicação em poços ocorre com temperatura de água elevada.

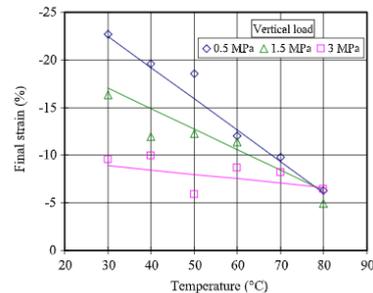
Os estudos realizados apontam que a temperatura tem seu efeito principal na expansão máxima da argila. Os ensaios são realizados geralmente em edômetros, ou seja, a amostra de argila encontra-se constantemente sobre uma pressão. Experimentalmente Romero (2005) obteve os resultados da figura 1 e 2 para ensaios em edômetro com variação de carga e temperatura.

Figura 1 – Resultados de expansão em função do tempo para diferentes temperaturas



Fonte: Romero (2005)

Figura 2 – Resultados de expansão máxima em função da temperatura para diferentes cargas aplicadas



Fonte: Romero (2005)

Romero (2005) conclui que a expansão máxima e sua velocidade reduz com o aumento da temperatura. Esse fenômeno é explicado pelo autor através do predomínio de fenômenos de transferência de água entre micro e macro estruturas sobre expansão térmica de agregados.

## MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo desse trabalho é analisar experimentalmente o comportamento da expansão da bentonita como uma função do tempo. Tendo em vista que a pesquisa desenvolvida pelo CERNN estuda o processo de formação do plugue, o foco é encontrar uma relação para os instantes iniciais do processo. Dessa forma os experimentos conduzidos foram realizados com uma única medição realizada aos 60 minutos de experimento.

A razão de inchamento  $\epsilon_s = \frac{\Delta H}{H_0}$  obtida experimentalmente em função do tempo foi ajustada por Komine (1996) da seguinte forma:

$$\epsilon_s(t) = \frac{t}{a+bt} \quad (1)$$

Pode-se inferir, portanto, “b” como:

$$\epsilon_{smax} = \lim_{t \rightarrow \infty} \epsilon_s(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{\frac{a}{t} + b} \right) = \frac{1}{b} \quad (2)$$

Dessa forma, “b” define a assíntota da função. “a” por sua vez se refere a velocidade inicial da expansão, ou seja, a inclinação da inicial da curva.

Na abordagem desse trabalho, que considera a expansão até 60 minutos, pode-se assumir uma interpretação diferente e considerar que a expansão da bentonita em função do tempo pode ser descrita pela seguinte reta:

$$\epsilon_s(t) = \frac{t}{a} \quad (3)$$

Nesse caso, “a” pode ser obtido através da expansão máxima em 60 minutos:

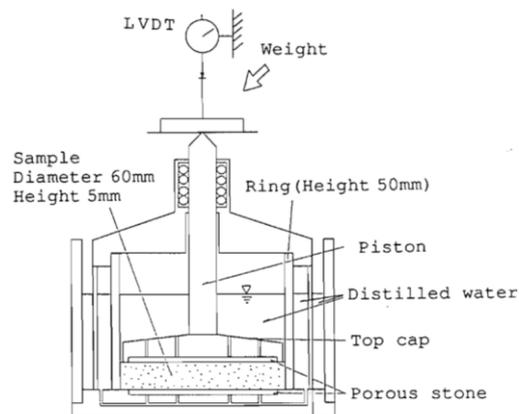
$$a = \frac{60}{\epsilon_s(60)} \quad (4)$$

Dessa forma, os experimentos irão definir diferentes valores da variável “a” associado a cada temperatura.

Como a argila, quando em contato com a água, expande em todas as direções, o que dificulta as medições desse fenômeno visto que há deformação da forma.

Buscando sanar essa dificuldade, optou-se por restringir a expansão da argila, de forma que ocorresse predominantemente no sentido axial, considerando que um pellet de bentonita pode ter sua forma simplificada a um cilindro. Essa ideia é presente nos ensaios realizados em edômetro, como o representado na figura 3, aonde utiliza-se amostras cilíndricas de solo que são hidratadas e expandem somente axialmente.

Figura 3 - Esquema apresentado para testes de "Swelling strain"



Fonte: Komine (1996)

Nessa aplicação, tendo em vista que busca-se mensurar a expansão de apenas um pellet, cujas dimensões são menores do padrão utilizados em edômetros, além do custo envolvido, optou-se por construir um dispositivo que realizasse a mesma função de conter a expansão radial porém que se adaptasse ao diâmetro do pellet e, ainda assim, permitir sua hidratação. O dispositivo construído pode ser observado na figura 4. Consiste em um cilindro de tela metálica sem uma das bases que permite a passagem de água e impede a expansão radial por ter um diâmetro muito próximo ao do pellet. O uso de papel filtro fez-se necessário após ter ocorrido a extrusão de argila pelos orifícios da tela em testes realizados. O filtro não impede a expansão e possibilita que o pellet receba água. A construção pode ser observada na figura 4.

Figura 4 Construção do recipiente com tela metálica e filtro de papel



Fonte: autor (2020)

O pellet utilizado deve se aproximar ao máximo de um cilindro. Dessa forma, suas bases, cujo formato é geralmente irregular, foram lixadas, a fim de remover imperfeições e ampliar a precisão do procedimento. O resultado obtido é o da figura 5:

Figura 5. Pellet em formato cilíndrico



Fonte: autor (2020)

O pellet é então inserido no fundo do recipiente metálico e o conjunto é por sua vez inserido em um recipiente contendo água. Esse procedimento é realizado utilizando pinças de manuseio de tubos de ensaio para não comprometer a integridade do recipiente.

Ao entrar em contato com a água o pellet começa a absorvê-la e inchar. Em outros experimentos realizados pelo autor, pode-se mensurar o crescimento da bentonita em intervalos de tempos superiores a 14 horas. Nessa abordagem o tempo de experimento será de 60 minutos. Como no experimento anterior, quando os pellets foram inseridos individualmente no recipiente e na estufa, houve um desvio padrão significativo dos resultados, buscou-se dessa vez reduzi-lo. Será, dessa forma, realizado um ensaio para cada temperatura, porém com três recipientes na estufa e com três pellets que incharam simultaneamente. As temperaturas analisadas são as mesmas do experimento anterior (20°C, 40°C e 60°C). O recipiente na estufa utilizada pode ser observado na figura 6.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os experimentos conduzidos têm seus resultados apresentados abaixo. Para cada temperatura foram realizados três ensaios e os valores de média de crescimento representam a média da relação  $\frac{\Delta H}{H_0}$ .

### a) Experimento realizado a 20°C

A temperatura de 20°C procura-se um resultado similar aos dos demais experimentos já conduzidos pelo autor tendo em vista que essa temperatura se aproxima a temperatura ambiente. No dia do experimento a temperatura de laboratório se encontrava abaixo de 20°C o que permitiu que a estufa fosse estabilizada a essa temperatura com os recipientes contendo água, evitando o aquecimento da água e choques térmicos, além de se aproximar da situação presente em poços de petróleo. Os resultados obtidos foram os seguintes:

Tabela 1 – Resultados a 20°C

Média de crescimento	Parâmetro "a"
0,472166	127,074

Fonte: autor (2020)

### b) Experimento realizado a 40°C

Para os experimentos realizados a 40°C tomou-se também o cuidado de pré-aquecer a estufa e o recipiente com água antes de inserir a amostra de argila. Os resultados obtidos são os seguintes:

Tabela 2 – Resultados a 40°C

Média de crescimento	Parâmetro "a"
0,6383	93,99973

Fonte: autor (2020)

### c) Experimento realizado a 60°C

Novamente tomou-se o cuidado de pré-aquecer a estufa por 20 minutos para garantir a estabilização da temperatura da água. Os resultados obtidos estão contidos na seguinte tabela:

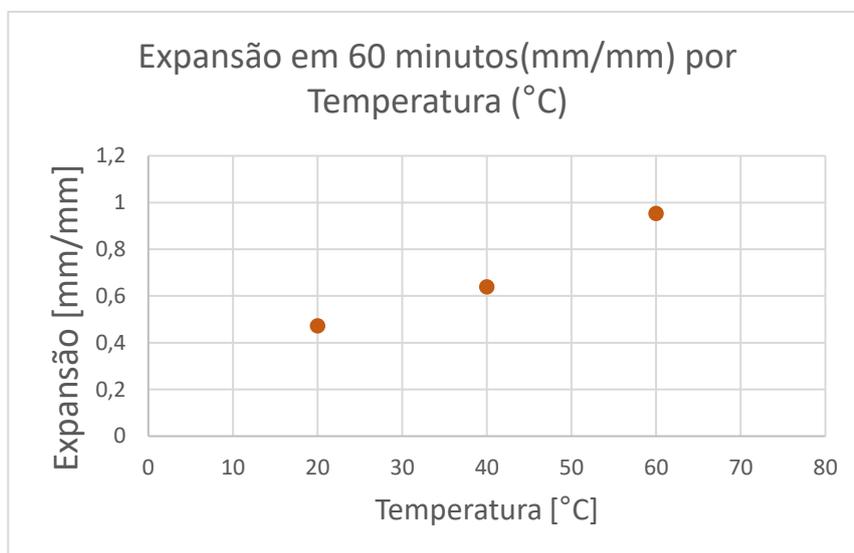
Tabela 3 – Resultados a 60°C

Média de crescimento	Parâmetro "a"
0,952938	62,96318

Fonte: autor (2020)

Pode-se observar que o valor de "a" é quão menor quanto maior a temperatura, o que indica que altas temperaturas geram expansões livres maiores em intervalo de uma hora na bentonita. O gráfico 1 a seguir indica a relação entre a expansão e a temperatura.

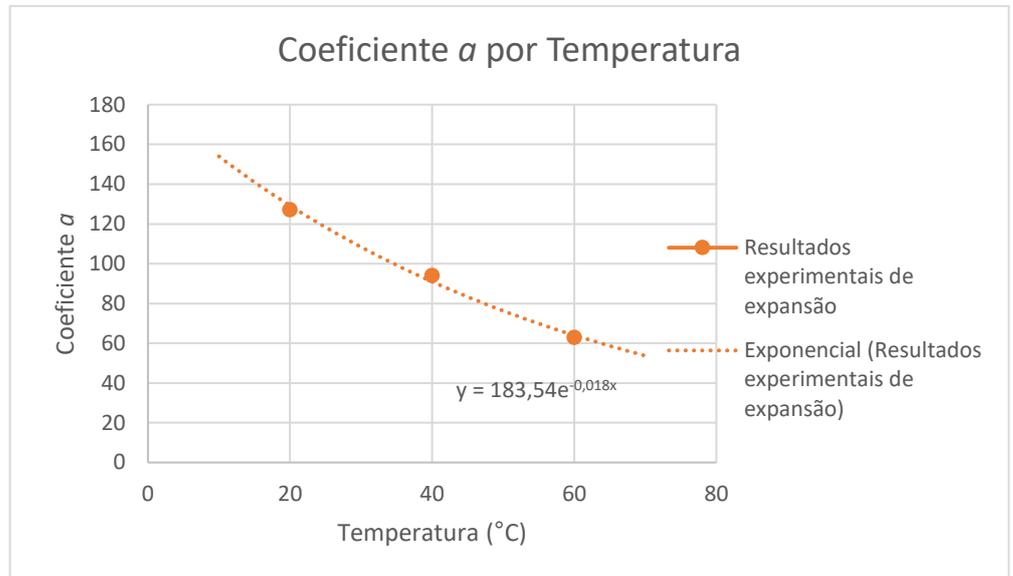
Gráfico 1 – Expansão em função da temperatura



Fonte: autor (2020)

De forma análoga, pode-se observar no gráfico 2 abaixo o comportamento do coeficiente a em função da temperatura.

Gráfico 2 – Coeficiente  $a$  em função da temperatura



Fonte: autor (2020)

É possível aproximar o comportamento de  $a$  para a curva  $a = 183,54e^{-0,018T}$ . Dessa forma é possível descrever a expansão como uma função do tempo em minutos e da temperatura do ambiente em °C.

$$\epsilon_s(t, T) = \frac{t}{183,54e^{-0,018T}} \quad (5)$$

## CONCLUSÕES

O comportamento da bentonita nos experimentos conduzidos foi diferente do esperado e presente nos demais trabalhos que estudaram o fenômeno. Os experimentos aqui apresentados demonstraram que para temperaturas mais elevadas maior o crescimento da argila em um intervalo de uma hora, já as demais pesquisas apontam que para maiores temperaturas menor a expansão.

Devemos considerar que o foco dos demais trabalhos é a análise da expansão total da amostra, não aquela tomada em um intervalo de 60 minutos. Também deve-se considerar que a expansão apresentada por Romero (2005) e presente na figura 1 refere-se a um experimento realizado em edômetro. O autor indica que a influência da carga aplicada é superior à da temperatura, como também é demonstrado pela figura 1.

Pode-se concluir experimentalmente que a expansão livre da bentonita em condições de altas temperaturas favorece a sua expansão até o instante de 60 minutos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao CNPq, entidade fornecedora da bolsa PIBITI ao autor, sem a qual a realização desse presente trabalho estaria comprometida. Agradeço ao CERNN e aos seus membros pela oportunidade de integrar um grupo composto por pesquisadores excepcionais.

## REFERÊNCIAS

BARCLAY, IAN, et al. The beginning of the End: a Review of Abandonment and Decommissioning Practices. **Oilfield Review**, 13.4, p. 28-41, 2001-2002.

Disponível em:

[https://www.academia.edu/27415471/The\\_Beginning\\_of\\_the\\_End\\_A\\_Review\\_of\\_Abandonment\\_and\\_Decommissioning\\_Practices](https://www.academia.edu/27415471/The_Beginning_of_the_End_A_Review_of_Abandonment_and_Decommissioning_Practices). Acesso em: 13 out. 2020.

KOMINE, H.; OGATA, N. Prediction for swelling characteristics of compacted bentonite. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 33, e.1, p. 11-22, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/t96-021>. Acesso em: 28 ago. 2020.

ROMERO, E.; VILLAR, M.V.; LLORET, A. Thermo-hydro-mechanical behaviour of two heavily overconsolidated. **Engineering Geology**, v. 81, e. 3, p. 225-268, 14 de novembro de 2005. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.06.011>. Acesso em: 28 ago. 2020.