

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA		Nº: ET-3000.00-1210-010-PPQ-009						
	PROGRAMA:		POÇOS					Folha 1 de 11	
	ÁREA:		POÇOS/ABANDONO					-	
POCOS/CTPS/QC	TÍTULO:		BENTONITA EM GRÂNULOS (PELLETS) PARA OPERAÇÕES DE ABANDONO EM POÇO					PÚBLICA	
								POCOS/CTPS/QC	
ÍNDICE DE REVISÕES									
REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS								
0	Edição original.								
	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	07/08/2019								
PROJETO	CTPS								
EXECUÇÃO	CTPS/DT								
VERIFICAÇÃO	TAR/CPT/ECP								
APROVAÇÃO	CTPS								
AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA PETROBRAS, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.									
FORMULÁRIO PERTENCENTE À PETROBRAS									

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº	REV. 0
	HOMOLOGAÇÃO DE TECNOLOGIAS		Folha 2 de 11
	TÍTULO:	BENTONITA EM GRÂNULOS (PELLETS) PARA OPERAÇÕES DE ABANDONO EM POÇO	
		NP - 1	
		POCOS/CTPS/QC	

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
2	ESCOPO	3
3	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	4
4	REQUISITOS FUNCIONAIS PARA BENTONITA EM GRÂNULOS.....	4
5	REQUISITOS COMPLEMENTARES	5
6	DOCUMENTAÇÃO.....	10
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	11

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº	REV. 0
	HOMOLOGAÇÃO DE TECNOLOGIAS		Folha 3 de 11
	TÍTULO:	BENTONITA EM GRÂNULOS (PELLETS) PARA OPERAÇÕES DE ABANDONO EM POÇO	
		NP - 1	
		POCOS/CTPS/QC	

1 INTRODUÇÃO

Este documento apresenta a especificação técnica a ser utilizada em processos de seleção de fornecedores de Bentonita em Grânulos para o abandono temporário ou permanente de poços de petróleo e como material para combate a perda em operações de abandono.

Bentonita é um termo geológico para materiais do solo com alto teor de um mineral expansível (inchável a água), geralmente montmorilonita. A parte restante da bentonita pode variar substancialmente na mineralogia, especialmente entre diferentes pedreiras, dependendo basicamente das condições geoquímicas durante a formação da mesma. Minerais acessórios típicos presentes nas bentonitas são quartzo, feldspatos, gipsita, calcita, pirita e vários óxidos/hidróxidos de ferro, bem como outros minerais argiláceos. Também compostos amorfos e orgânicos podem estar presentes em quantidades significativas.

No exterior, a bentonita vem sendo utilizada como material alternativo ao cimento para a composição de elemento de barreira em conjuntos solidários de barreira (CSB) de poços em abandono permanente e temporário de poços de petróleo. Os critérios para compor um CSB em poço de petróleo estão estabelecidos no Sistema de Gerenciamento da Integridade de Poços (SGIP). Em 2016 foi publicada a Resolução ANP nº 46/2016 que institui o Regime de Segurança Operacional para Integridade de Poços de Petróleo e Gás Natural e aprova o Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Integridade de Poços (SGIP). Este regulamento define os requisitos essenciais e os mínimos padrões de segurança operacional e de preservação do meio ambiente a serem atendidos pelas empresas detentoras do direito de exploração e produção com contrato com a ANP, em poços de petróleo e gás natural no Brasil.

Todo material utilizado como elemento de CSB permanente deve ter as seguintes propriedades [1]:

- a) impermeável;
- b) Íntegro a longo prazo;
- c) Não retrair;
- d) Dúctil – (não quebradiço) – capaz de absorver carregamentos/impactos mecânicos;
- e) Resistente a diferentes substâncias químicas (H₂S, CO₂ e hidrocarbonetos);
- f) Aderente ao revestimento ou formação.

O uso de bentonita em grânulos na constituição de CSB prescreve a adição de água. Desta forma, o elemento de CSB fica constituído basicamente por bentonita e água, tendo sua qualidade final dependente de ambos e de sua interação ao longo do tempo, que é uma função da pressão e principalmente temperatura do ambiente externo.

2 ESCOPO

O objetivo desta especificação é fornecer os requisitos gerais mínimos para a homologação da tecnologia da Bentonita em Grânulos para operações de abandono de poço em ambiente terrestre (*onshore*). Diferentemente do ambiente offshore, não há previsão de bombeio e deslocamento da bentonita em grânulos em linhas superficiais, dutos ou mangueiras: sua adição

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº	REV. 0
	HOMOLOGAÇÃO DE TECNOLOGIAS		Folha 4 de 11
	TÍTULO:	BENTONITA EM GRÂNULOS (PELLETS) PARA OPERAÇÕES DE ABANDONO EM POÇO	
		NP - 1	
		POCOS/CTPS/QC	

é diretamente pela cabeça do poço, podendo ser feita inclusive manualmente. Essa tecnologia busca as seguintes aplicações:

- ✓ Ser uma alternativa ao cimento como material para compor elemento de CSB em abandono temporário e permanente, em poços de petróleo e injetores;
- ✓ Permitir o tamponamento do reservatório por dificuldade de posicionamento de outro elemento de barreira;
- ✓ Isolar intervalos com potencial de fluxo abaixo do packer para retirada de completação inferior com perda controlada.

3 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- 3.1. **ABNT NBR ISO/IEC 17025** – Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração.
- 3.2. **ABNT NBR 7500** – Identificação para o Transporte Terrestre, Manuseio, Movimentação e Armazenamento de Produtos.
- 3.3. **ABNT NBR 14725** – Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ.

4 REQUISITOS FUNCIONAIS PARA BENTONITA EM GRÂNULOS

- 4.1 Bentonita em Grânulos (*pellets*) é um material sólido de origem mineral, oferecido na forma granular, que apresenta grande expansão volumétrica quando em contato com a água, ao mesmo tempo formando um corpo volumétrico compacto de aparência sólida, de maneira a garantir as propriedades funcionais de resistência mecânica e estanqueidade necessárias à composição de um CSB.
- 4.2 Deve ser possível a estabilidade no curto (abandono temporário) e longo (abandono permanente) prazos dos tampões de bentonita hidratada, com manutenção de suas propriedades de resistência mecânica, aderência e estanqueidade hidráulica, nas seguintes condições:

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº	REV. 0
	HOMOLOGAÇÃO DE TECNOLOGIAS		Folha 5 de 11
	TÍTULO:	BENTONITA EM GRÂNULOS (PELLETS) PARA OPERAÇÕES DE ABANDONO EM POÇO	
		NP - 1	
		POCOS/CTPS/QC	

- 4.2.1 Temperaturas de fundo entre 45 e 80 °C;
- 4.2.2 Pressões de fundo de até 8.000 psi;
- 4.2.3 pH de fundo entre 4 e 10;
- 4.2.4 Poços injetores e produtores;
- 4.2.5 Formações produtoras/injetoras: arenitos e carbonatos.

- 4.3 Comprovada capacidade de expansão (inchamento).
- 4.4 Comprovada capacidade de estanqueidade a fluidos (água, petróleo e gás).

5 REQUISITOS COMPLEMENTARES

5.1 Deve ser apresentada a Ficha de informações de segurança do produto, com as propriedades físico-químicas do mesmo e cuidados de segurança no manuseio e utilização.

5.2 Testes de laboratório e Resultados de Campo

5.2.1 A companhia fornecedora deve realizar testes de laboratório (conforme tabela abaixo), com propriedades correlatas ao poço de aplicação da bentonita em grânulos, de modo a comprovar as seguintes características:

5.2.1.1 **NOTA:** Os testes de laboratório devem ser validados por terceira parte – laboratório credenciado. Preferencialmente, os resultados de campo devem ser validados pela companhia operadora.

5.2.1.2 **NOTA:** Alguns testes de laboratório adicionais podem ser solicitados, a depender de particularidades do reservatório e dos fluidos presentes no poço quando da intervenção para abandono com a Bentonita em Grânulos.

TABELA DE TESTES PARA CARACTERIZAÇÃO DA BENTONITA EM GRÂNULOS

PARÂMETRO	Método Analítico* e NORMA (preferencialmente ABNT, ISO ou API)
Umidade (%)	Forno a 105°C por 24hs ou equivalente
Dimensões _{TARUGO} /Ø _{GRÂNULO}	
Formato e dimensão (grânulo ou tarugo)	
Densidade aparente	Archimedes ou equivalente

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº	REV. 0
	HOMOLOGAÇÃO DE TECNOLOGIAS		Folha 6 de 11
	TÍTULO: BENTONITA EM GRÂNULOS (PELLETS) PARA OPERAÇÕES DE ABANDONO EM POÇO		NP - 1
			POCOS/CTPS/QC

grânulo (g/cm ³)	≥ 1,6 g/cm ³
Densidade bulk seca (g/cm ³)	≥ 2,0 g/cm ³
Capacidade de expansão	Especificado a seguir, item 5.2.2
Capacidade de Estanqueidade à Água de Formação	Especificado a seguir, item 5.2.3
Capacidade de Estanqueidade ao Petróleo	Especificado a seguir, item 5.2.4
Permeabilidade ao nitrogênio (N ₂)	Especificado a seguir, item 5.2.5

* O método ou princípio analítico descrito é apenas uma referência

5.2.2 Capacidade de Expansão

5.2.2.1 Aparelhagem

- Proveta graduada de 1 L;
- Banho termostático;
- Termômetro.

5.2.2.2 Material

- Bentonita peletizada;
- Água industrial.

5.2.2.3 Procedimento

O teste deve ser feito em duas temperaturas: 22°C e 70°C (erro de ± 2°C), na seguinte sequência:

- Verter 500 mL de água na proveta de 1L;
- Verter 250 mL de bentonita sobre a água;
- Após a deposição da bentonita, medir o volume ocupado pela bentonita no tempo inicial, que será denominado como **Volume Inicial (Vi)**;
- Determinar o **Volume ocupado pela bentonita** em função do tempo, da seguinte forma:
 - Determinar o Volume a cada hora até 4 horas;
- Calcular o percentual de expansão a cada temperatura, da seguinte forma:
 - $Expansão \% (T) = (V_f - V_i) / V_i \times 100$

Onde: T = Temperatura;

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº	REV. 0
	HOMOLOGAÇÃO DE TECNOLOGIAS		Folha 7 de 11
	TÍTULO:	NP - 1	
	BENTONITA EM GRÂNULOS (PELLETS) PARA OPERAÇÕES DE ABANDONO EM POÇO		POCOS/CTPS/QC

Vf = Volume final (estabilizado) ocupado pela bentonita;

Vi = Volume inicial ocupado pela bentonita.

5.2.2.4 Requerimento

Expansão mínima:

- À Temperatura de 20°C: 30%;
- À temperatura de 70°C: 30%;

5.2.3 Capacidade de Estanqueidade de Fluidos: Água de Formação

5.2.3.1 Aparelhagem

- Cilindro metálico bi-partido com diâmetro de 1 polegada (2,54 cm) e comprimento de 2 polegadas (5,08 cm) com tampas rosqueadas no topo e base;
- Banho termostático;
- Termômetro;
- Béquer

5.2.3.2 Material

- Bentonita peletizada
- Água industrial
- Água de formação com a seguinte composição:
 - Bicarbonato: 556 mg/L
 - Borato: 1 mg/L
 - Cálcio: 394 mg/L
 - Cloreto: 1994 mg/L
 - Iodeto: 18 mg/L
 - Magnésio: 29 mg/L
 - Nitrato: 2 mg/L
 - pH: 7
 - Salinidade: 3300 mg/L

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº	REV. 0
	HOMOLOGAÇÃO DE TECNOLOGIAS		Folha 8 de 11
	TÍTULO: BENTONITA EM GRÂNULOS (PELLETS) PARA OPERAÇÕES DE ABANDONO EM POÇO		NP - 1
			POCOS/CTPS/QC

5.2.3.3 Procedimento

- Verter no cilindro bi-partido, com a tampa inferior rosqueada, água e posteriormente bentonita, de modo a se ter Bentonita / Água na razão volumétrica de 2 / 3.

Obs.: o volume da bentonita deve ser determinado a partir da massa específica da mesma.

- Rosquear a tampa superior e levar o molde a um banho termostático a 80°C por 24 horas;
- Retirar a tampa inferior do cilindro;
- Colocar o cilindro em um béquer de 2 L contendo cerca de 250 mL de água da formação, conforme mostra a *Figura 1*. O béquer deve ser colocado em um banho termostático a 80°C;



Figura 1- Cilindro bi-partido contendo bentonita pelletizada e água – Ensaio de Capacidade de Estanqueidade de Água de Formação.

- Após 24 horas de exposição da base do molde de bentonita à água de formação, retirar o béquer do banho termostático, aguardar o tempo necessário para o resfriamento do molde para então abri-lo;
- Avaliar visualmente o estado do corpo de prova de bentonita para verificar se há sinais de desintegração da amostra.

5.2.3.4 Requerimento

O corpo de prova deve se apresentar íntegro após a exposição à água de formação.

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº	REV. 0
	HOMOLOGAÇÃO DE TECNOLOGIAS		Folha 9 de 11
	TÍTULO:	BENTONITA EM GRÂNULOS (PELLETS) PARA OPERAÇÕES DE ABANDONO EM POÇO	
		NP - 1	
		POCOS/CTPS/QC	

5.2.4 Capacidade de Estanqueidade de Fluidos: Petróleo

5.2.4.1 Aparelhagem

- Cilindro como base fechada, com tela, de 9 cm de diâmetro interno e cerca de 30 cm de altura;
- Banho termostático;
- Termômetro;

5.2.4.2 Material

- Bentonita peletizada;
- Água industrial;
- Areia 50#;
- Areia 16#;
- Petróleo com viscosidade conhecida (de 20 a 7000 cP):

5.2.4.3 Procedimento

- Misturar 50% de areia 16# e 50% de areia 50#, em volume, para quantidade suficiente para preencher 10 cm do cilindro de acrílico;
- Adicionar 600 mL de água e em seguida verter 700g de bentonita no cilindro sobre a areia;
- Completar o volume do cilindro com água até o topo;
- Curar o cilindro em banho atmosférico por 24 horas a 80°C;
- Retirar o cilindro do banho atmosférico e posicioná-lo em um béquer de 4 L contendo cerca de 700 mL de óleo;
- Posicionar o conjunto béquer / cilindro no banho atmosférico a 50°C.
- Medir a extensão de penetração de óleo na coluna areia/bentonita.
- Realizar uma medição a cada 24 horas por um período mínimo de 7 dias, até a estabilidade (duas medidas iguais).

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº	REV. 0
	HOMOLOGAÇÃO DE TECNOLOGIAS		Folha 10 de 11
	TÍTULO:	BENTONITA EM GRÂNULOS (PELLETS) PARA OPERAÇÕES DE ABANDONO EM POÇO	
		NP - 1	
		POCOS/CTPS/QC	

5.2.4.4 Requerimento

- Penetração de óleo: não deve atingir o leito de bentonita. A penetração deve estar restrita no leito de areia, caso ocorra.

5.2.5 Permeabilidade (K) ao Nitrogênio

Nota: como a bentonita hidratada não apresenta consistência, a bentonita em pellets pode ser moldada em um cilindro de teflon. No topo e base podem ser inseridas telas coladas no cilindro de teflon a fim de evitar a extrusão da bentonita durante o ensaio de permeabilidade.

5.2.5.1 Preparo da Amostra

Bentonita / Água, na razão volumétrica de 2 / 3.

Obs.: o volume da bentonita deve ser determinado a partir da massa específica da mesma.

5.2.5.2 Requerimento

- Especificação desejada é $K < 0,01$ mD.

5.3 Requerimentos de inspeção e aceitação

5.3.1 Quando ocorrer alteração nas especificações de um produto já homologado, o mesmo deverá ser novamente validado pelos critérios da nova ET.

5.3.2 A inspeção e a aceitação, incluindo os testes que se fizerem necessários a este processo, deverão ser documentados e apresentados à Petrobras, devendo ser conduzidos pelo fornecedor de forma a demonstrar que todos os componentes do sistema atendem a esta especificação técnica.

5.3.3 Após aceitação, a Petrobras atestará a homologação da tecnologia, ficando o produto ou sistema liberado para ser fornecido através de licitação.

6 DOCUMENTAÇÃO

6.1 Os testes recomendados no item 5.2 desta ET deverão ser validados por laboratórios acreditados por órgãos ou organizações reconhecidas, tais como Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), *American Association for Laboratory Accreditation* (A2LA) ou *International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC), ou em laboratório que tenha implementada ISO 9000 ou ISO 17025.

6.2 Enviar lista com trabalhos realizados com a bentonita em grânulos e resultado de cada trabalho.

6.3 Toda a documentação comprovando os testes de laboratório nas condições solicitadas nesta ET deverá ser fornecida em meio eletrônico, em formato PDF.

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº	REV. 0
	HOMOLOGAÇÃO DE TECNOLOGIAS		Folha 11 de 11
	TÍTULO:	BENTONITA EM GRÂNULOS (PELLETS) PARA OPERAÇÕES DE ABANDONO EM POÇO	
		NP - 1	
		POCOS/CTPS/QC	

- 6.4** A descrição e o resultado de todos os testes devem ser rigorosamente reportados. Os relatórios dos testes deverão conter o timbre dos laboratórios onde foram realizados ou validados, em anexo ao relatório do fornecedor.
- 6.5** A homologação dos produtos deverá compreender pelo menos, sem estar limitada aos testes necessários para satisfazer os itens 4 e 5 desta ET. Todos os testes adicionais realizados devem ser reportados.
- 6.6** Os relatórios dos testes, a documentação relativa à inspeção e rastreabilidade do produto são considerados parte integrante do processo de homologação.
- 6.7** Todos os testes adicionais devem seguir, no que couber e complementarmente, normas e padrões internacionais, ou seus equivalentes nacionais, de homologação e qualificação. Todas as normas e padrões utilizados como referência devem ser reportados.
- 6.8** A Petrobras se reserva o direito de realizar aquisições limitadas para testes de campo conforme a sua conveniência, a fim de assegurar a eficiência e a segurança das operações que envolvem a utilização do produto homologado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NORSOK Standard D-010, Well integrity in drilling and well operations, 2004.
- [2] IOGCC (Intersate Oil and Gas Compact Commission) – Bentonite Plugging Subcommittee – Report to the Environmental and Safety Committee: Evaluation of Compressed Sodium Bentonite for Use in Plugging and Abandoning Oil & Gas Wells, Final Close- Out Report. Prepared by Mark. A. Carl, Agosto, 2004.
- [3] TOWLER B.F., FIROUZI M., HOLL H., GANDHI R., THOMAS A., Field Trials of Plugging Oil and Gas Wells with Hydrated Bentonite, SPE 182199, 2016.
- [4] LAINE, H., KARTTUNEN, P., Long-Term Stability of Bentonite, A Literature Review, 2010, Saanio & Riekkola Oy.
- [5] Pusch, R., Karnland, O., Preliminary Report on Longevity of Montmorillonite Clay Under Repository-Related Conditions, SKB Technical Report 90-44, 1990.
- [6] PUSCH R., KASBOHM J., THAO H. T. M., Chemical stability of montmorillonite buffer clay under repository conditions – A synthesis of relevant experimental data. Applied Clay Science 47 (2010) 113-119.