

CIMENTO PARA POÇO DE PETRÓLEO DESENVOLVIDO A PARTIR DE CIMENTO COMUM: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E MINERALÓGICA

D. N. S. Oliveira¹; G. de A. Neves¹; U. T. Bezerra²; A. C. Chaves¹; A. M. G. D. Mendonça¹; M. S. de Lima¹

¹Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB
Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó. CEP: 58429-900 - Campina Grande - PB
(daninascimento.eng@gmail.com)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo caracterizar um novo tipo de cimento, produzido a partir da mistura de cimentos Portland comuns, que poderá ser usado como opção na cimentação de poços petrolíferos. Para viabilizar este trabalho foi utilizado o método de programação linear para composição do novo cimento, em seguida, foram realizados os ensaios de caracterização através de análise granulométrica por difração a laser, análise química por EDX, análise termogravimétrica, difração de raios-X, tempo de pega, resistência à compressão. Os resultados permitiram concluir que o novo cimento formulado apresentou baixo teor de C_3A , tempo de pega superior ao CPP, estabilidade térmica até 500 °C, baixa cinética de hidratação e teores dos principais componentes coerentes com as especificações da ABNT.

Palavras-chave: CPP; cimento Portland comum; cimentação.

INTRODUÇÃO

O cimento empregado em poços de petróleo é uma variação do cimento Portland, com baixo teor de celita (C_3A) e com grãos maiores que os outros cimentos Portland comuns.

Os CPP (Cimentos Portland para Poços de Petróleo) são classificados pela API (American Petroleum Institute, 1997)¹ em nove classes (de A a J) de acordo com a profundidade do poço de petróleo, temperatura e pressão de trabalho. Porém, entre elas, as mais usadas são as de classe G e H por incorporarem, de um modo geral, as boas propriedades das demais classes, sem elevar em demasia o custo das operações.^{2,3,4,5,6}

No Brasil são empregados dois tipos de cimento Portland destinado à cimentação de poços de petróleo: Cimento Portland Classe G e Cimento Portland Classe Especial, ambos definidos e regulamentados pela Norma NBR 9831/93 da ABNT⁷.

A norma conceitua os dois cimentos como sendo um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, constituído, em sua maior parte, por silicatos de cálcio hidráulicos, cuja única adição permitida é a de gesso durante sua moagem, com a finalidade de retardar o tempo de pega. Esses cimentos apresentam características específicas para uso em poços de petróleo até a profundidade de 2 440 m.

Os CPP se diferem dos cimentos de uso geral pelo controle adotado no processo de fabricação e pelos teores dos quatro componentes básicos do cimento Portland, que são a alita (C_3S), a belita (C_2S), a celita (C_3A) e a ferrita (C_4AF).⁸ Esses cimentos devem fornecer uma melhor uniformidade, propriedades físicas e químicas mais controladas, maior compatibilidade com aditivos e melhor estabilidade no armazenamento, a fim de conservar propriedades como a capacidade de suportar altas temperaturas e pressão, e resistência a ambientes corrosivos.

Contudo, devido ao fato de ser um cimento de aplicação bastante específica e requerer um processo produtivo bem controlado, os cimentos destinados a cimentação de poços petrolíferos, de modo geral, são produtos caros e difíceis de ser encontrados no mercado. Assim, este trabalho tem como objetivo caracterizar física, química e mineralogicamente, um novo tipo de cimento produzido a partir de frações peneiradas de um cimento Portland comum, que poderá ser usado como opção na cimentação de poços petrolíferos quando o CPP não estiver disponível por problemas logísticos. O que não é incomum no dia a dia destas operações.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi empregado o cimento Portland do tipo CP III 40 RS (cimento Portland de alto forno – Resistente a Sulfatos) da marca Brasil da empresa CIMEC. O novo cimento obtido foi denominado CPP Misturado, sendo elaborado a partir de frações granulométricas do CP III.

A metodologia empregada para obtenção do novo cimento consistiu no peneiramento do CP III através das peneiras ABNT nº 200 e ABNT nº 200. As frações peneiradas foram submetidas a análise quantitativa de fases, através do refinamento de Rietveld pelo programa Topas. E com auxílio da programação linear, método Simplex (utilizando a ferramenta SOLVER disponível no EXCEL), foi determinado a mistura ideal para obtenção do novo cimento.

A caracterização se deu por meio de ensaios químico-mineralógicos (análise química por EDX, difração de raios-X e análise quantitativa de fases) e físicos (análise granulométrica por difração a laser, análise térmica gravimétrica, tempo de pega e resistência à compressão).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através de programação linear, método Simplex, foi determinado que o novo cimento deveria conter 47,4% do cimento CP III que ficou retido na peneira ABNT nº 200 e 52,6% do cimento CP III que passou pela peneira ABNT nº 325, para atender aos requisitos da NBR 9831/93⁷.

Análise química por fluorescência de raios X

A Tabela 1 apresenta a composição química do cimento CPP Misturado.

Tabela 1- Composição química do cimento CPP Misturado.

Composição química	
CaO	46,6
SiO ₂	23,5
Al ₂ O ₃	12,9
SO ₃	7,6
MgO	6,6
Fe ₂ O ₃	1,1
K ₂ O	0,6
TiO ₂	0,6
Na ₂ O	-
Outros	0,6

Analisando os resultados da Tabela 1, verificou-se que no CPP misturado apresenta elevado teor de SO_3 (sulfato de cálcio) que é adicionado ao clínquer durante a moagem, com o objetivo principal de retardar o tempo de pega,⁹ além de ter uma influência significativa na resistência à compressão, em virtude de alterar o volume de vazios.¹⁰ Contudo, o teor permitido para o cimento destinado a poço de petróleo é de 3%,⁷ sendo o valor encontrado superior ao estabelecido pela norma da ABNT, portanto, poderá provavelmente influenciar na resistência aos sulfatos. Porém, neste novo cimento há ainda uma elevada quantidade de alumina (Al_2O_3) proveniente da adição da escória de alto forno, característico do cimento CP III que deu origem ao CPP misturado. Neste caso, a alumina pode agir positivamente no combate ao excesso de SO_3 aumentando a resistência aos sulfatos. Entretanto, esses resultados isolados não são suficientes para indicar as características do cimento, em virtude das propriedades do cimento Portland está relacionadas ao teor de seus compostos, sendo, portanto difícil de obter alguma conclusão precisa a partir das análises de cimentos expressas em óxidos.⁹

Difração de raios X

A Figura 1 apresenta os difratogramas das frações do cimento Portland CP III que deram origem ao cimento CPP misturado bem como o resultado do produto final. A determinação dos picos do CPP Misturado foi designada segundo o NISTIR 5755/96.¹¹

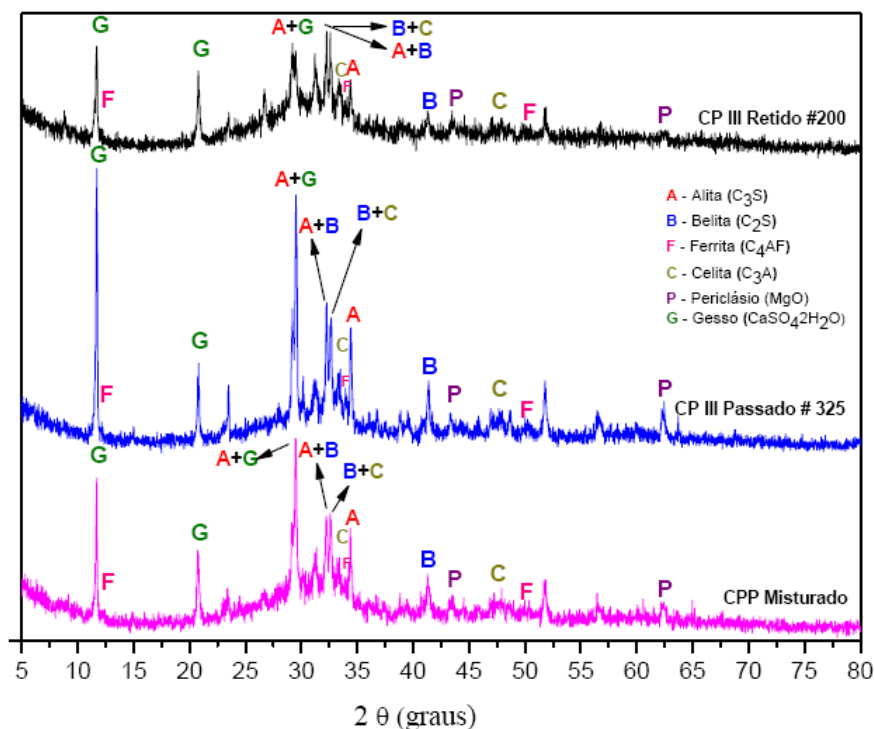


Figura 1 - Difração de raios X do cimento CP III (retido na peneira ABNT nº200 e passado na peneira ABNT nº325) e do CPP Misturado.

Analisando a Figura 1, verificou-se a presença das principais fases mineralógicas dos cimentos: C_3S (silicato tricálcico/alita), C_2S (silicato de dicálcio/belita), C_4AF (ferro aluminato tetracálcico/ferrita) e C_3A (aluminato tricálcico/celita); bem como a presença do dióxido de silício/quartzo (SiO_2) e do gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Pôde-se observar também que a mistura das porções de CP III retido na peneira ABNT nº 200 (47,4%) e que passou pela peneira ABNT nº 325 (52,6%) deram origem a um cimento com características diferenciadas, demonstrado através das intensidades dos picos dos difratogramas da Figura 3. A intensidade dos picos representa em parte a quantidade ou o grau de cristalinidade das fases presentes no material, estas fases, por sua vez, estão diretamente relacionadas às propriedades do cimento.

Quantificação das fases do CPP

A Tabela 2 apresenta o resultado da análise quantitativa das principais fases do cimento CPP misturado fornecido pelo SOLVER.

Tabela 2- Quantificação das fases do CPP pelo SOLVER.		
Fases	Quantidade [%]	
	CPP classe G	CPP Misturado

	(MRS)*	
C ₃ S	48 – 58	57,13
C ₂ S	-	12,20
C ₃ A	< 8	3,92
C ₄ AF	-	26,74
C ₄ AF+2.C ₃ A	-	34,59

* Exigência da norma NBR 9831/93.⁷

Analisando os resultados da Tabela 2, verificou-se que a composição do novo cimento está de acordo com as especificações da norma da ABNT NBR 9831/93,⁷ para cimento CPP Especial (Classe G) com moderada resistência a sulfato (MRS), sendo que as principais percentagens dos compostos foram obedecidas.

Análise granulométrica

A Tabela 3 e a Figura 2 apresentam os resultados da análise granulométrica do cimento CPP Misturado.

Tabela 3 - Análise granulométrica do CPP Misturado.

Amostra	Diâmetro médio [μm]	Diâmetro 10% [μm]	Diâmetro 50% [μm]	Diâmetro 90% [μm]
CPP Mist.	49,18	3,35	28,46	121,20

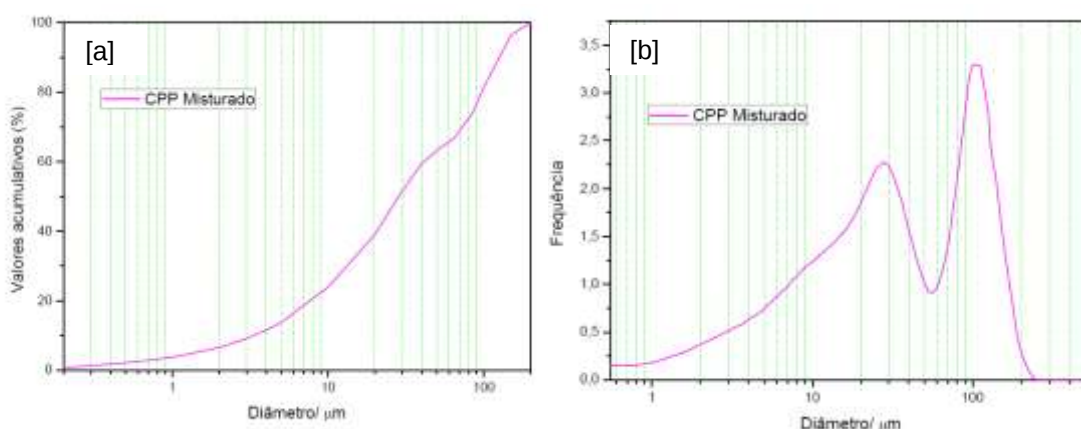


Figura 1 - Análise granulométrica: a) distribuição granulométrica acumulada do cimento Portland Misturado; b) histograma de frequência da percentagem em volume passante do CPP Misturado.

Analisando a Tabela 3 e a Figura 2, verificou-se que o cimento CPP Misturado apresenta comportamento bimodal, com D_{10%} de 3,35 μm, D_{50%} de 28,46 μm, D_{90%} de 121,2 μm e diâmetro médio de 49,18 μm.

Porém, como o cimento composto foi obtido a partir da mistura de 47,4% de CP III que ficou na peneira ABNT nº 200 e 52,6% de CP III que passou na peneira ABNT nº 325, a parcela mais grossa fez com que os diâmetros do cimento composto fossem maiores que os diâmetros do cimento CP III ($D_{10\%}$ de 2,38 μm , $D_{50\%}$ de 20,71 μm , $D_{90\%}$ de 49,37 μm e diâmetro médio de 23,58 μm). Esse fato, no entanto, torna-se favorável, pois facilita que o tempo de pega do cimento seja retardado.

Análise térmica

A Figura 3 apresenta a curva termogravimétrica do CPP Misturado.

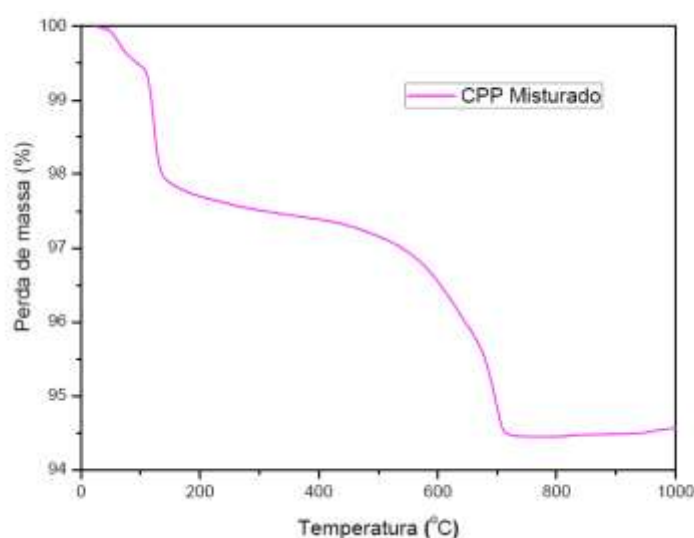


Figura 3 - Análise termogravimétrica do CPP Misturado.

Analisando a Figura 3, verificou-se que o cimento Portland CPP, obtido a partir da mistura, possui inflexões até aproximadamente 150°C referente, provavelmente, a perda de água; e no intervalo de 500°C a 730°C, referente a perda de massa.

Com isso, de forma geral, pode-se observar que a estabilidade térmica do cimento Portland CPP misturado foi satisfatória quando comparada aos dados encontrados na literatura em relação ao cimento Portland Especial, a qual indica estabilidade térmica deste material até 300°C,^{3,4,8,12,13} ou seja, um cimento Portland proveniente da mistura de outros cimentos Portland não tem sua estabilidade térmica comprometida e é capaz de suportar as temperaturas

mais severas encontradas nos poços de petróleo da região Nordeste do Brasil, que é de 180°C.⁸

Tempo de pega

O tempo disponível para as operações de manuseio das pastas cimentícias utilizadas em poços petrolíferos é de essencial importância, pois é interessante que as pastas se mantenham fluidas por um intervalo prolongado de tempo. Com a finalidade de aumentar a área a ser cimentada por etapa de cimentação reduzindo, conseqüentemente, a quantidade de etapas necessária para a cimentação total do poço.

A Tabela 4 mostra o tempo de início e fim de pega do novo cimento.

Tabela 4 - Tempo de pega do CPP Misturado.	
Tempo de pega [min]	
Início	Fim
561	646

Analizando a Tabela 4, observou-se que o início de pega do CPP misturado foi de 561 min e o fim aos 646 min. Apresentando resultado bem superior ao tempo ideal de espessamento (tempo em que a pasta deve se manter bombeável para ser usada em poços petrolíferos) determinado pela NBR 9831/93,⁷ que é de 90 min a 120 min. Porém, vale salientar que o ensaio de tempo de espessamento, feito de acordo com as condições de pressão e temperatura dos poços, é diferente do ensaio de tempo de pega, ou seja, neste caso, a comparação é realizada apenas para se ter uma ideia de como a pasta preparada com o novo cimento pode se comportar.

Resistência mecânica

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão do cimento CPP misturado com 1 dia e 14 dias de cura.

Tabela 5 - Resistência à compressão do cimento CPP Misturado.	
Resistência à compressão [MPa]	
1 dia	14 dias

1,55	13,05
------	-------

Analisando a Tabela 5, verificou-se que o CPP misturado apresentou resistência inferior ao esperado nos primeiros tempos de cura, o que pode ser melhorado com tempos maiores. Comportamento característico do cimento CP III que deu origem ao CPP Misturado (aumento da resistência em idades mais avançadas).

CONCLUSÕES

A partir dos estudos de caracterização do novo cimento desenvolvido para poços de petróleo, foi possível concluir que, de forma geral, o mesmo apresentou características satisfatórias, boa estabilidade térmica, e dentro das especificações das Normas da ABNT, com exceção da resistência mecânica que foram inferiores aos esperados.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- (1) American Petroleum Institute. Recommended practice for testing well cements. API RB 10B, Dallas, 1997.
- (2) NELSON, E. B. Well cementing. Houston: Schlumberger Educational Services, 1990.
- (3) HEWLETT, P. C. Lea's chemistry of cement and concrete. Burlington: Elsevier, 2004.
- (4) MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.
- (5) NASCIMENTO, J. H. O. Adição de poliuretana não iônica a cimento Portland Especial para cimentação de poços de petróleo. Dissertação de mestrado, UFRN, Natal, RN, Brasil, 2006.

- (6) SILVA, L. B.; NASCIMENTO, J. H. O.; MARTINELLI, A. E.; MELO, D. M. A.; LIMA, F. M. Caracterizações físico-química e mecânica de compósitos de cimento Portland G/poliuretanas para cimentação de poços de petróleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17, 2006, Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, Brasil, 2006.
- (7) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9831: Cimento Portland destinado à cimentação de poços petrolíferos. Rio de Janeiro, 1993.
- (8) BEZERRA, U. T. Compósitos Portland-biopolímero para cimentação de poços de petróleo. Tese de Doutorado, UFRN, Natal, RN, Brasil, 2006.
- (9) MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 2008.
- (10) LIMA, E. P. e HELENE, P. R. L. Influência do volume de pasta na zona de transição pasta/agregado com relação às propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto. São Paulo, 2001. 17 p. (Boletim Técnico, 270).
- (11) NISTIR 5755. Guide for X-ray powder diffraction analysis of Portland cement and clinker. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 1996.
- (12) TAYLOR, H. F. W. Cement chemistry. 2 ed. New York: Thomas Telford, 2003.
- (13) NÓBREGA, A. K. C. Formulação de pastas cimentícias com adição de suspensões de quitosana para cimentação de poços de petróleo. Tese de Doutorado, UFRN, Natal, RN, Brasil, 2009.

CEMENT FOR OIL WELL DEVELOPED FROM ORDINARY CEMENT: CHARACTERIZE PHYSICAL, CHEMICAL AND MINERALOGICAL

ABSTRACT

This work aims to characterize a new type of cement produced from the mixture of ordinary Portland cement, which can be used as an option in the cementing of oil wells. To enable this work we used the method of lineal programming for the new cement composition, then conducted tests to characterize through particle size analysis by laser diffraction, chemical analysis by EDX, TGA, X-ray diffraction, time grip, resistance to compression. The overall result showed that the new cement had made low-C3A, takes more time to the CPP, thermal stability up to 500 ° C, the kinetics of hydration and low levels of major components consistent with the specifications of ABNT.

Keywords: CPP; ordinary Portland cement; cementation