

MELHORIA DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE VARIEDADES POUCO NOBRES DE BENTONITAS DE BOA VISTA. PARTE I: PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

V. C. Marques^{1, 2}, I. B. C. Dias¹, J. B. Alves¹, L. F. A. Campos¹, R. P. S. Dutra¹, H. S. Ferreira¹

¹Universidade Federal da Paraíba
Campus Universitário I, CT, Departamento de Engenharia de Materiais, LSR - João Pessoa, PB CEP: 58051-900

²veronicacavalcante87@hotmail.com

Resumo

As variedades nobres de bentonitas de Boa Vista tornaram-se escassas, originando fluidos que não atendem as especificações da Petrobras. A utilização de um blending com as amostras disponíveis tem sido utilizada industrialmente com sucesso. Assim, o presente trabalho tem por objetivo utilizar a metodologia de modelagem de misturas com planejamento em rede simplex centroide e posterior purificação, por hidrociclonagem, visando otimizar as propriedades reológicas de dispersões preparadas com as argilas pouco nobres de modo a obterem-se fluidos de perfuração que atendam as exigências normativas. Inicialmente, estudou-se o comportamento reológico das dispersões de cada uma das cinco argilas, aditivando-as nas proporções de 50, 75, 100, 125 e 150 meq de Na₂CO₃/100g de argila seca. Após análise dos resultados, as misturas foram formuladas utilizando-se planejamento experimental com as cinco argilas, mas com aditivação nas proporções de 100 e 125 meq de Na₂CO₃/100g de argila seca.

Palavras-chave: bentonita, delineamento, misturas.

INTRODUÇÃO

As propriedades reológicas importantes da bentonita estão relacionadas à viscosidade e tixotropia. Pode ser usada como agente controlador de viscosidade do fluido de modo a permitir uma maior eficiência no transporte dos detritos para a superfície e reduzir consideravelmente o atrito entre o fluido e as paredes dos tubos de perfuração ^(1,2). Enquanto as propriedades tixotrópicas permitem que a suspensão

assuma uma estrutura gelatinosa quando em repouso. Isso é importante nos fluidos de perfuração porque impede o retorno dos fragmentos de rochas ao fundo do poço em casos de paralisação do bombeamento ⁽¹⁾.

Os anos de exploração desordenada e mal planejada das argilas bentoníticas do município de Boa Vista acarretou na extinção das variedades mais nobres, a exemplo da argila denominada de Chocolate. No entanto, ocorre excesso de variedades menos nobres com presença de elementos contaminantes, o que originam fluidos que não atendem as especificações da Petrobras ⁽³⁾.

A utilização de um *blending* com as amostras disponíveis tem sido utilizada industrialmente com sucesso. Assim, o presente trabalho tem por objetivo utilizar a metodologia de modelagem de misturas com planejamento em rede simplex centróide, e posterior purificação, por hidrociclonagem, visando otimizar as propriedades reológicas de dispersões preparadas com as argilas bentoníticas pouco nobres de modo a obterem-se fluidos de perfuração que atendam as exigências normativas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Utilizou-se cinco amostras de bentonitas policatiônicas provenientes da Mina Juá II, Boa Vista, Paraíba, denominadas de Bofe, Chocolate, Verde-Lodo, Chocobofe e Sortida, gentilmente cedidas pela Bentonit União Nordeste (BUN). Utilizou-se também o aditivo primário carbonato de sódio (Na_2CO_3), cedido pela BUN.

As argilas estão codificadas, sendo: B=Bofe; C=Chocolate; V=Verde-Lodo; H=Chocobofe; S=Sortida.

Métodos

As argilas passaram por secagem em estufa a 60 °C. A cominuição foi realizada em moinho de discos e o peneiramento em peneira ABNT #200.

Preparação das dispersões

É comum encontrar na literatura um tempo de cura de 5 dias para as argilas tratadas com solução de Na_2CO_3 . No entanto, neste trabalho, a metodologia para

preparação dos fluidos seguiu a N-2605 da Petrobras ⁽⁴⁾, sendo os parâmetros estudados as viscosidades aparente (VA) e plástica (VP) e o volume de filtrado (VF).

Por esta metodologia o tempo de cura das dispersões é de apenas 24 horas, visto tratar-se de um processo industrial, o qual tem de ser viável em termos de tempo e custo.

Inicialmente, estudou-se o comportamento reológico das dispersões de cada uma das argilas, aditivando-as nas proporções de 50, 75, 100, 125 e 150 meq de Na_2CO_3 /100g de argila seca, sendo a concentração do carbonato de sódio de 0,2g/mL.

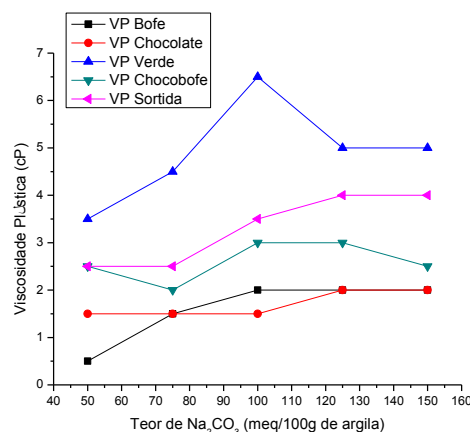
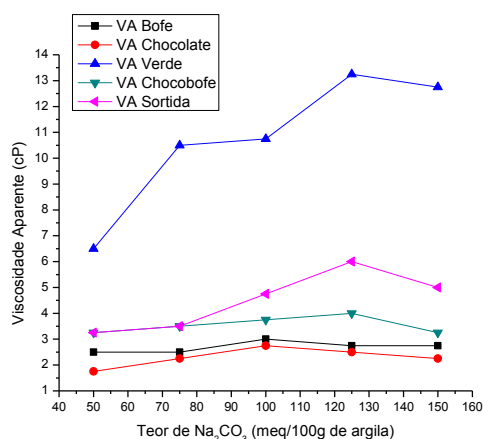
Delineamento de misturas

As proporções das misturas foram formuladas com as argilas acima citadas, empregando-se a metodologia de modelagem de misturas com planejamento em rede simplex centróide, aumentado com pontos interiores, totalizando trinta e seis pontos ou composições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudo preliminar - Propriedades reológicas

Nas Figuras 1 e 2 estão apresentados os resultados dos testes para VA, VP e VF do estudo preliminar. Através deste, observou-se que, de forma geral, a argila Verde-Lodo apresentou os melhores resultados para esses parâmetros. Ainda, é possível inferir que apenas as dispersões aditivadas com 100 e 125 meq de Na_2CO_3 /100g de argila seca proporcionam fluidos com valores de VA, VP e VF próximos dos exigidos pela Petrobras para fluidos hidroargilosos.



(a) (b)
Figura 1. Viscosidades aparente (a) e plástica (b) em função do teor de Na_2CO_3 .

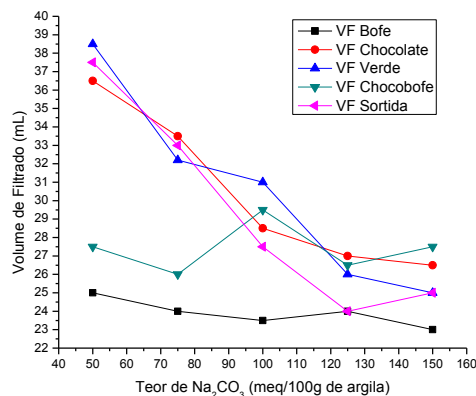


Figura 2. Volume de filtrado em função do teor de Na_2CO_3 .

Delineamento de misturas

Devido ao observado no estudo preliminar, as misturas foram formuladas com as cinco argilas, mas com aditivação apenas nas proporções de 100 e 125 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100\text{g}$ de argila seca.

Após a coleta das observações, procurou-se por uma relação adequada entre resposta e variáveis independentes, estimando-se os parâmetros desconhecidos ou coeficientes do modelo pelo método dos mínimos quadrados.

Os modelos foram ajustados para representar as respostas sobre uma superfície, através da qual observou-se que os valores obtidos para as propriedades não satisfazem os valores normatizados. Assim, estipulou-se que VA deveria obedecer a um mínimo de 8 cP, VP a um mínimo de 3 cP e VF deveria obedecer a um máximo de 26 mL. Disso, obteve-se 3 composições quando a aditivação é com 100 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100\text{ g}$ de argila seca e 5 composições quando a aditivação é 125 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100\text{ g}$ de argila seca.

Na Tabela 1 estão apresentados os modelos matemáticos correlacionando os valores das propriedades com as proporções das argilas Bofe, Chocolate, Verde-Lodo, Chocobofe e Sortida e que satisfizeram as restrições. Nas equações estão presentes apenas os termos significativos.

Tabela 1. Equações correlacionando os valores de VA, VP e VF com as proporções das argilas.

Composição

Modelos de Regressão

1 (100 meq/100g de argila seca)	$VA=+2,75 *B + 11,28 *V + 3,94 *H + 3,58 *B *V$
	$VP=+2,29 *B + 6,04 *V + 2,85 *H - 17,28 *B *V *H$
	$VF=+23,12 *B + 31,38 *V + 28,93 *H - 11,61 *B *H - 17,56 *V *H$
2 (100 meq/100g de argila seca)	$VA=+2,60 *C + 11,28 *V + 3,94 *H - 10,56 *C *V - 3,27 *C *H$
	$VP=+1,31 *C + 6,04 *V + 2,85 *H$
	$VF=+28,08 *C + 31,38 *V + 28,93 *H - 17,56 *V *H$
3 (100 meq/100g de argila seca)	$VA=+11,28 *V + 3,94 *H + 4,97 *S$
	$VP=+6,04 *V + 2,85 *H + 3,31 *S$
	$VF=+31,38 *V + 28,93 *H + 27,01 *S - 17,56 *V *H - 11,35 *H *S$
4 (125 meq/100g de argila seca)	$VA=+2,51 *B + 2,23 *C + 13,31 *V - 12,82 *C *V$
	$VP=+2,26 *B + 1,60 *C + 5,34 *V$
	$VF=+22,58 *B + 26,77 *C + 26,11 *V$
5 (125 meq/100g de argila seca)	$VA=+2,51 *B + 13,31 *V + 3,55 *H - 3,36 *V *H$
	$VP=+2,26 *B + 5,34 *V + 3,04 *H$
	$VF=+22,58 *B + 26,11 *V + 25,83 *H$
6 (125 meq/100g de argila seca)	$VA=+2,51 *B + 13,31 *V + 5,82 *S - 6,55 *V *S$
	$VP=+2,26 *B + 5,34 *V + 3,55 *S$
	$VF=+22,58 *B + 26,11 *V + 23,26 *S$
7 (125 meq/100g de argila seca)	$VA=+2,23 *C + 13,31 *V + 5,82 *S - 2,82 *C *V - 4,86 *C *S - 6,55 *V *S$
	$VP=+1,60 *C + 5,34 *V + 3,55 *S$
	$VF=+26,77 *C + 26,11 *V + 23,26 *S$
8 (125 meq/100g de argila seca)	$VA=+13,31 *V + 3,55 *H + 5,82 *S - 3,36 *V *H - 6,55 *V *S$
	$VP=+5,34 *V + 3,04 *H + 3,55 *S$
	$VF=+26,11 *V + 25,83 *H + 23,26 *S$

B=Bofe; C=Chocolate; V=Verde-Lodo; H=Chocobofe; S=Sortida

Os componentes da mistura apresentam um efeito sinérgico quando os coeficientes das interações são positivos, ou seja, contribuem para aumentar os valores das propriedades. Caso o coeficiente das interações dos componentes contribua para diminuir os valores das propriedades, diz-se que a interação é antagonista ⁽⁵⁾. Assim, é possível inferir que a interação entre as argilas Bofe, Verde-Lodo e Chocobofe interagem antagonisticamente contribuindo para diminuir VP na composição 1. Já as argilas Verde-Lodo e Chocobofe interagem diminuindo os valores de VF nas composições 1,2 e 3 e os valores de VA nas composições 5 e 8.

A interação entre as argilas Verde-Lodo e Sortida ocorre de forma a diminuir a VA nas composições 6, 7 e 8. Também diminui o valor de VA a interação entre as argilas Chocolate e Verde-Lodo nas composições 2, 4 e 7.

Nas Figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 são apresentadas as curvas de nível das superfícies de resposta para VA, VP e VF, e através das quais é possível visualizar a influência individual de cada argila sobre as propriedades analisadas. Assim, observa-se que os maiores valores de VA e VP foram encontrados para as composições localizadas próximo ao vértice da argila Verde-Lodo. Já para VF, os menores valores estão localizados próximos aos vértices das argilas Bofe e Sortida.

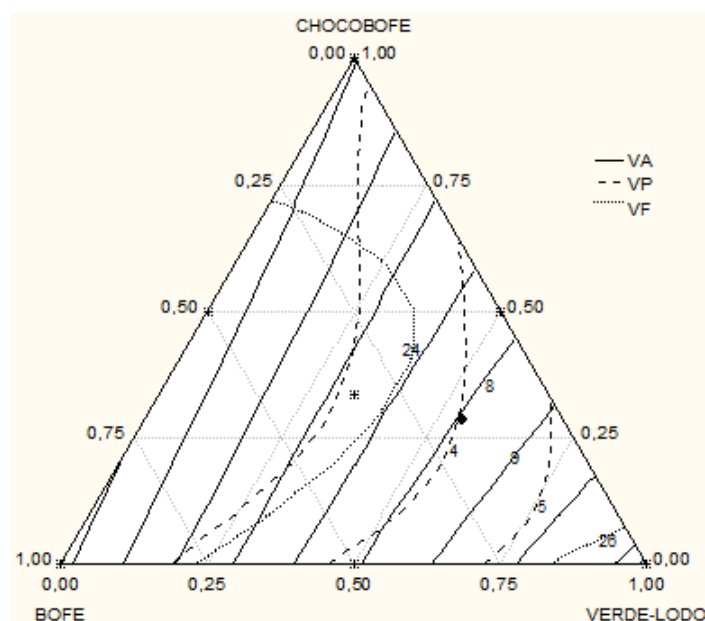


Figura 3. Intersecção das superfícies de respostas de VA, VP e VF quando o fluido de perfuração base água é composto pela mistura das argilas Bofe, Verde-Lodo e Chocobofe, aditivadas com 100 meq de Na_2CO_3 /100g argila, composição 1.

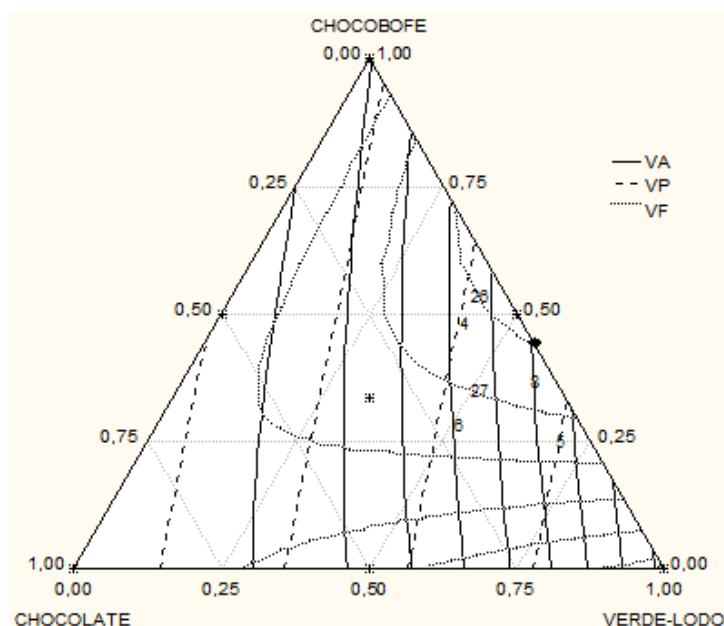


Figura 4. Intersecção das superfícies de respostas de VA, VP e VF quando o fluido de perfuração base água é composto pela mistura das argilas Chocolate, Verde-Lodo e Chocobofe, aditivadas com 100 meq de Na_2CO_3 /100g argila, composição 2.

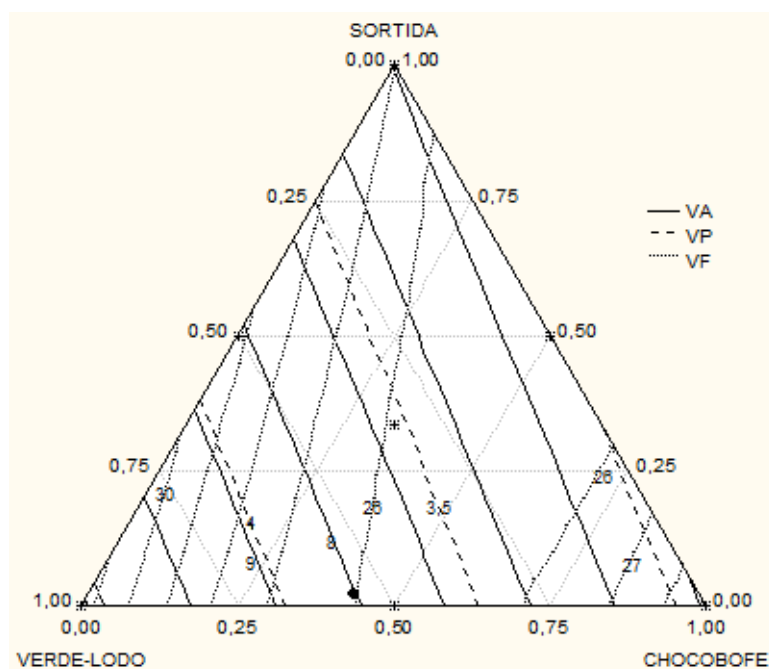


Figura 5. Intersecção das superfícies de respostas de VA, VP e VF quando o fluido de perfuração base água é composto pela mistura das argilas Verde-Lodo, Chocobofo e Sortida, aditivadas com 100 meq de Na_2CO_3 /100g argila, composição 3.

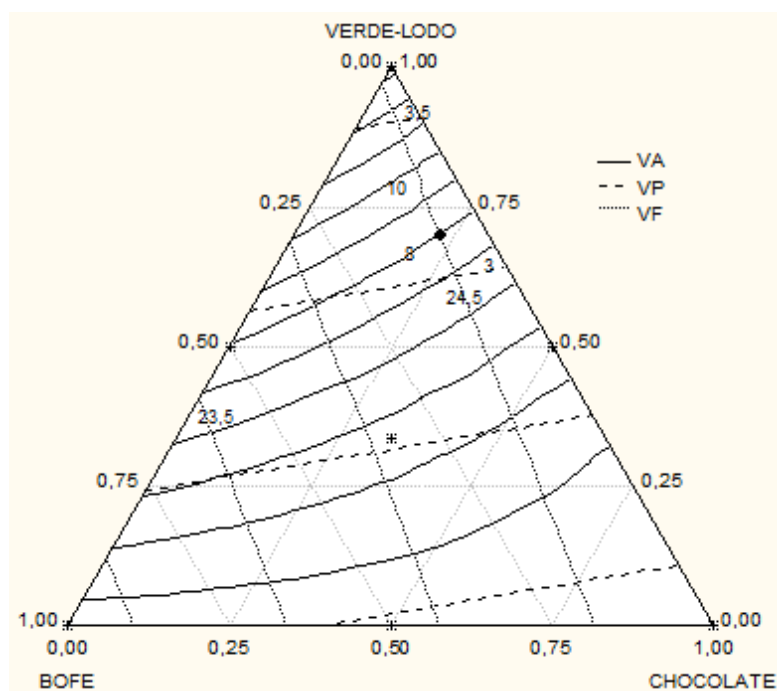


Figura 6. Intersecção das superfícies de respostas de VA, VP e VF quando o fluido de perfuração base água é composto pela mistura das argilas Bofe, Chocolate e Verde-Lodo, aditivadas com 125 meq de Na_2CO_3 /100g argila, composição 4.

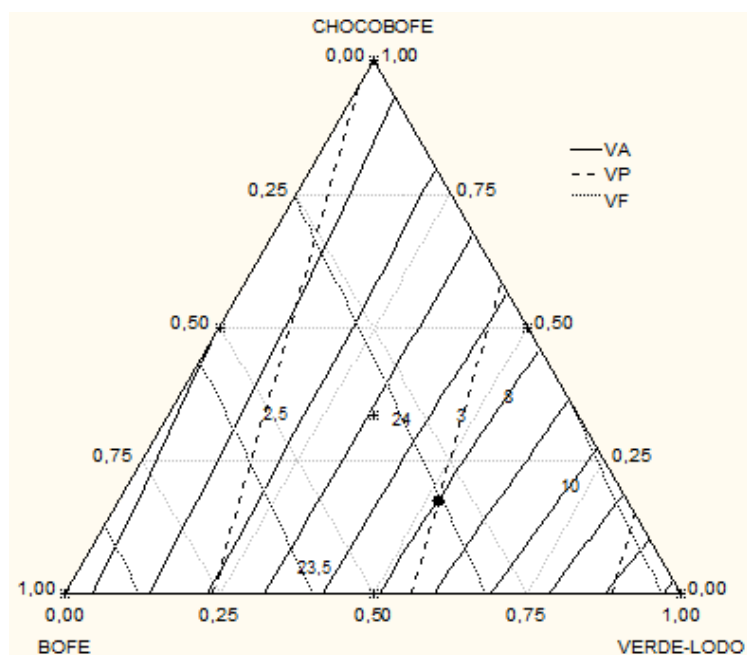


Figura 7. Intersecção das superfícies de respostas de VA, VP e VF quando o fluido de perfuração base água é composto pela mistura das argilas Bofo, Verde-Lodo e Chocobofo, aditivadas com 125 meq de Na_2CO_3 /100g argila, composição 5.

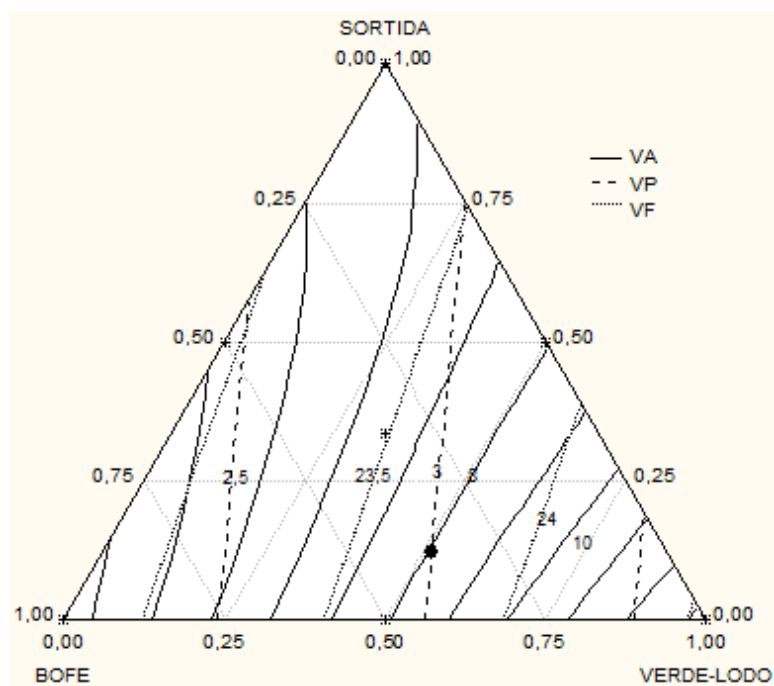


Figura 8. Intersecção das superfícies de respostas de VA, VP e VF quando o fluido de perfuração base água é composto pela mistura das argilas Bofo, Verde-Lodo e Sortida, aditivadas com 125 meq de Na_2CO_3 /100g argila, composição 6.

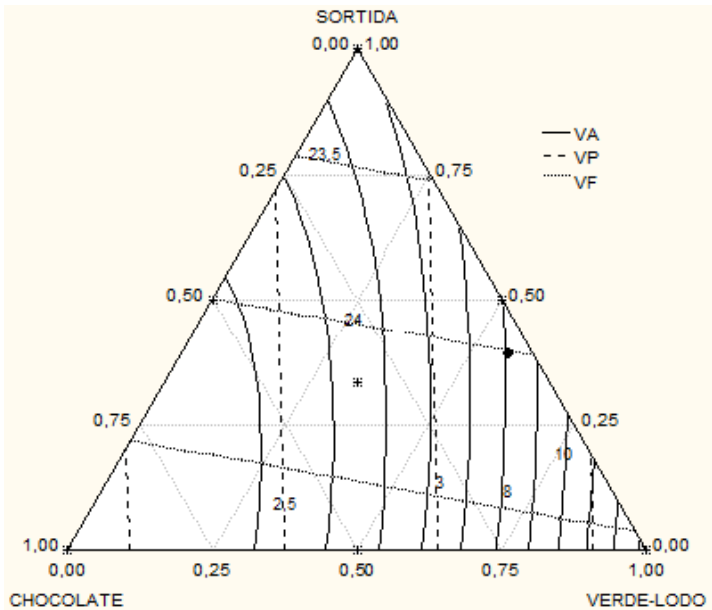


Figura 9. Intersecção das superfícies de respostas de VA, VP e VF quando o fluido de perfuração base água é composto pela mistura das argilas Chocolate, Verde-Lodo e Sortida, aditivadas com 125 meq de Na_2CO_3 /100g argila, composição 7.

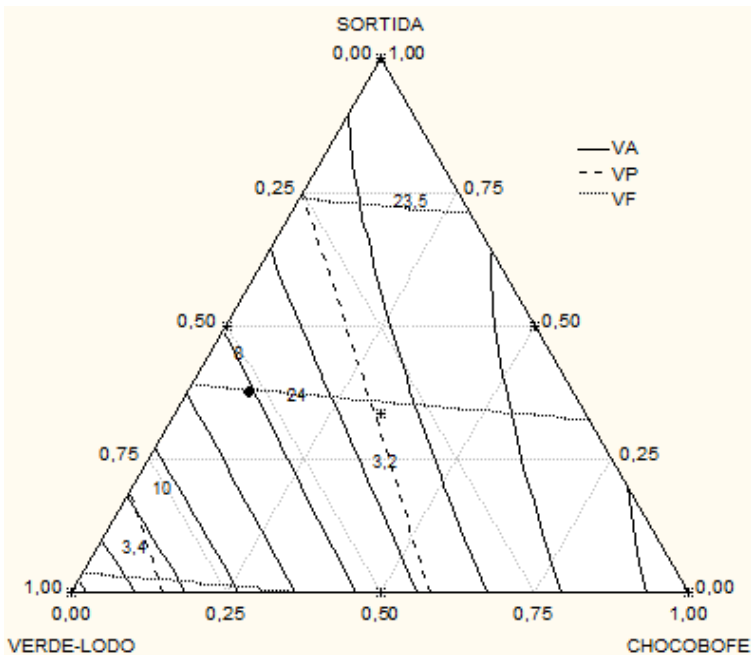


Figura 10. Intersecção das superfícies de respostas de VA, VP e VF quando o fluido de perfuração base água é composto pela mistura das argilas Verde-Lodo, Chocobofo e Sortida, aditivadas com 125 meq de Na_2CO_3 /100g argila, composição 8.

As Figuras de 3 a 10 mostram a intersecção das superfícies de resposta para cada propriedade, VA, VP e VF, e através das quais é possível observar que nenhuma região de composições satisfazem as especificações da Petrobras para uso em fluidos de perfuração de poços de petróleo. Assim, a restrição dessas propriedades teve como objetivo a obtenção de formulações que originassem fluidos

com propriedades reológicas mais próximas das especificações e que, portanto, têm mais chances de se adequarem as exigências normativas após a etapa de purificação por hidrociclonagem.

Essas formulações, as quais foram utilizadas para validação dos modelos matemáticos, estão apresentadas na Tabela 2 e marcadas por pontos nas Figuras de 3 a 10. Através desta tabela observa-se que apenas os valores de VA e VP obtidos experimentalmente encontram-se próximos dos valores previstos pelos modelos.

Tabela 2. Validação dos modelos matemáticos.

Composição	Argilas	Proporções (%)	Valores Observados			Valores Previstos		
			VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)	VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)
1	Bofe	18,02	8,5	3,5	28	8,0	4,0	25,9
	Verde	53,34						
	Chocobofe	28,8						
2	Verde	55,46	8,5	4	29	8,0	4,6	26,0
	Chocobofe	44,54						
3	Verde	56	9	4	28,5	8,0	4,6	26,0
	Chocobofe	42,87						
	Sortida	2,13						
4	Bofe	8,41	8	4	27	8,0	4,2	26,0
	Chocolate	22,5						
	Verde	69,98						
5	Bofe	30,31	8,5	4	27,2	8,0	4	25,0
	Verde	51,57						
	Chocobofe	17,97						
6	Bofe	35,77	8,5	5	27	8,0	4,0	24,5
	Verde	50,25						
	Sortida	13,68						
7	Chocolate	4,75	8,2	4,5	27,2	8,0	4,5	25
	Verde	55,73						
	Sortida	39,98						
8	Verde	52,29	8	3,5	28	8,0	4,4	25
	Chocobofe	9,67						
	Sortida	37,85						

Na Tabela 3 são apresentados os parâmetros estatísticos para os modelos matemáticos. Analisando os principais parâmetros, observa-se que os modelos são estatisticamente significativos ao nível estipulado, ou seja, o valor $p \leq$ nível de

significância, em um intervalo de confiança de 95%. O coeficiente de múltipla determinação, R^2 , mostra que os modelos para VA e VP não apresentam variabilidades consideráveis, uma vez que quanto mais perto da unidade estiver o valor de R^2 , melhor terá sido o ajuste dos modelos aos dados observados.

Para que uma regressão seja útil para realizar previsões, o valor da razão entre o F calculado e o F tabelado deve ser no mínimo quatro vezes o valor do F tabelado ⁽⁶⁾. Com um $F_{1,35} = 4,12$, essa condição é satisfeita para os modelos encontrados, exceto para VF de todas as composições e VP das composições 4, 5, 6, 7 e 8.

Tabela 3. Parâmetros estatísticos para os modelos matemáticos.

Composição	Variáveis	Modelo	Teste F_{calc}	Valor p	R^2	F_{calc}/F_{tab}
1,2,3	VA	Quadrático	115,4681	0,0000	0,9716	28,0262
	VP	Cúbico especial	86,1548	0,0000	0,9469	20,9114
	VF	Quadrático	14,7550	0,0000	0,7867	3,5813
4,5,6,7,8	VA	Quadrático	221,4837	0,0000	0,9850	53,7582
	VP	Quadrático	44,9427	0,0000	0,8822	10,9084
	VF	Quadrático	4,5665	0,0009	0,7527	1,1084

R^2 - coeficiente de múltipla determinação, F_{calc}/F_{tab} – Razão entre o teste F calculado e o teste F tabelado a 95% de confiança.

CONCLUSÕES

O baixo valor da razão entre o F calculado e o F tabelado demonstra que não se pode prever valores para VF através dos modelos matemáticos propostos ao nível de 95% de confiança.

A combinação das argilas três a três não fornece um fluido com propriedades reológicas de acordo com as especificações para fluidos hidroargilosos. Isto, provavelmente, deve-se a presença de elementos contaminantes como quartzo, mica e feldspato. Fato que será verificado na etapa de hidrociclonagem.

REFERÊNCIAS

[1] BALTAR, C. A. M.; LUZ, A. B.; OLIVEIRA, C. H.; ARANHA, I. B. Centro de Tecnologia Mineral. Caracterização, ativação e modificação superficial de bentonitas brasileiras. In: Insumos minerais para perfuração de poços de petróleo Rio de Janeiro, dezembro 2003, p. 15-38.

- [2] BARRETO SANTOS, M. Perfuração de poços de petróleo: Fluidos de perfuração. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, v.2, n. 1, 2012, p. 121-127.
- [3] AMORIM, L. V. Melhoria, Proteção e Recuperação da Reologia de Fluidos Hidroargilosos para Uso na Perfuração de Poços de Petróleo. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Centro de Ciência e Tecnologia. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- [4] PETROBRAS, Ensaio de Viscosificante para Fluido de Perfuração Base de Água na Exploração e Produção de Petróleo, Método, N-2605, 1998b.
- [5] Barros Neto, B.; Scarminio, I.S. & Bruns, R.E. Como Fazer Experimentos, 4ª Edição, Editora bookman, São Paulo, SP, 2010. p. 322, 323.
- [6] Box & Wetz, 1973. In: Barros Neto, B., Scarminio, J.S. & Bruns, R.E., Planejamento e Otimização de Experimentos, 2ª Edição, Editora UNICAMP, Campinas, SP, p. 152, 1996.

IMPROVEMENT OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF VARIETIES LITTLE NOBLE FROM BOA VISTA BENTONITE. PART I: EXPERIMENTAL DESIGN

Abstract

The nobles varieties from Boa Vista bentonite became scarce, giving rise to fluids that does not answer the Petrobras specifications. The use of a blending with the samples available has been used industrially with successful. So, this work has the objective of using the methodology of modeling blends with network simplex centroid design, and later purification by hydrocycloning, aiming to optimize the rheological properties of dispersions prepared with little noble clays to obtain drilling fluids that answer the normative requirements. Initially, studied the rheological behavior of dispersions of each one the five clays, additive them in the proportions of 50, 75, 100, 125 and 150 meq of Na_2CO_3 /100g of dry clay. After analysis of results, the mixtures were formulated using experimental design with the five clays, but with additivation in the proportions of 100 and 125 meq Na_2CO_3 /100g of dry clay.

Key-words: bentonite, design, mixture