

III-267 - MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO DA CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DE BORRA OLEOSA DE PETRÓLEO SUBMETIDO AO PROCESSO DE ESTABILIZAÇÃO E SOLIDIFICAÇÃO

Joelma Dias⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de Campina Grande. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutoranda em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande.

Andre Luiz Fiquene de Brito

Professor do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Paraíba. Químico pela UFPB. Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento pela UFPB/UEPB. Doutor em Engenharia Ambiental pela UFSC.

Ana Cristina Silva Muniz

Química pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento pela UFPB. Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e Professora da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Mário Gomes da Silva Júnior

Graduação em andamento em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Brasil.

Alana Carolyne Crispim

Engenheira Química pela Universidade Federal de Campina Grande e Mestre em Engenharia Química pela UFCG.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Química - Av. Aprígio Veloso, 882, bairro do Bodocongó, Campus Campina Grande - Campina Grande (PB), Brasil – CEP 58109-970. UFCG. Fone-(83) 2101 1394- email: Joelma_dias@ig.com.br

RESUMO

Durante os últimos anos, uma variedade de métodos de tratamento de borra oleosa tem sido desenvolvidos, Contudo, estes métodos têm suas limitações, muitas vezes gerando outro tipo de resíduo. O tratamento da Borra de petróleo através da tecnologia de Estabilização/Solidificação vem ganhando destaque por apresentar bons resultados quanto a fixação dos contaminantes e também por gerar um material que pode ser reaproveitado. Um dos ensaios utilizados para avaliar a integridade e durabilidade dos materiais E/S é o ensaio de capacidade de absorção de água, que tem a função de determinar a quantidade de água presente nos poros permeáveis de um material sólido. O objetivo deste trabalho foi modelar e otimizar a variável resposta capacidade de absorção de água, resultante do processo de estabilização por solidificação do resíduo borra oleosa de petróleo. O trabalho experimental teve início com a realização do planejamento experimental, onde foi adotado o planejamento central composto. Os fatores adotados foram: % porcentagem de borra oleosa (BOP) e tempo de cura (tc). Em seguida, foi realizada a confecção das matrizes cimentícias (MCs), seguindo os tratamentos indicados pelo planejamento experimental. Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de capacidade de absorção de água conforme ABNT (1987) – NBR 9778. Com as respostas da CAA foi realizada a análise estatística dos dados e a otimização do processo. Os resultados mostraram que o tempo de cura não influenciou na capacidade de absorção de água, o que não ocorreu com a porcentagem de BOP, que apresentou influência na resposta CAA. A otimização da variável resposta CAA mostrou que uma matriz cimentícia elaborada com 1,8934% de BOP e curada a 32,3492 dias resultará em uma CAA de 13,6198%. Sendo este considerado como o ponto ótimo do processo para capacidade de absorção de água, ou seja, o ponto onde é alcançado o menor valor para CAA. Também foi observado que a medida que aumenta a porcentagem do resíduo BOP há um gradativo aumento de absorção de água pela matriz cimentícia. Todos os tratamentos apresentaram valores dentro do estabelecido pelo Protocolo de Avaliação de Materiais Estabilizados e Solidificados, que é $\leq 40\%$. Ao final desta pesquisa pode-se concluir que a utilização de metodologia de superfície resposta, para encontrar uma aproximação adequada, entre a resposta de CAA e as variáveis independentes (%BOP e tempo de cura), pode ser utilizada com êxito para modelar o parâmetro CAA para o monitoramento do processo de estabilização por solidificação do resíduo borra oleosa de petróleo.

PALAVRAS-CHAVE: Borra de petróleo, Estabilização por Solidificação, Resíduo, Análise estatística.

INTRODUÇÃO

A produção de petróleo, no Brasil e no mundo, vem crescendo a cada ano, e a previsão é que nos próximos anos esse crescimento aumente ainda mais no Brasil, devido a exploração na camada pré-sal. Uma vez que a produção vem crescendo, isso implica em uma maior produção de resíduos, seja ele sólido, líquido ou gasoso. No que se refere aos resíduos sólidos produzidos pela indústria do petróleo, a borra oleosa é um resíduo constituído por vários contaminantes, muitos desses contaminantes classificados como cancerígenos.

As borras oleosas são geradas em distintos processos de separação de água óleo, em vazamentos acidentais, na limpeza dos variados equipamentos utilizados na separação, conversão e tratamento do petróleo e em tanques de armazenamento de petróleo cru e derivados (KRIIPSALU et al., 2008).

Numa refinaria os resíduos sólidos são formados em várias unidades e mesmo que em menor quantidade sua produção é inevitável. Alguns resíduos gerados podem ser reciclados, entretanto o resíduo borra oleosa de petróleo (BOP) não pode ser reciclado ou reaproveitado na refinaria, por ser composto apenas por areia, óleo e contaminantes. E por ser produzido em grande quantidade há uma busca por uma destinação adequada para este resíduo.

A remediação eficaz da borra oleosa se tornou um problema devido a sua natureza perigosa e também devido ao aumento da produção ao redor do mundo. Durante os últimos anos, uma variedade de métodos de tratamento de borra oleosa tem sido desenvolvida, como landfarming, incineração, estabilização/solidificação, extração por solvente, tratamento de ultra-som, pirólise, fotocatalise, tratamento químico e biodegradação (Xu et al., 2009; Liu et al., 2009; Yan et al., 2012). Contudo, estes métodos têm suas limitações, muitas vezes gerando outro tipo de resíduo, como exemplo tem-se a incineração que gera o resíduo gasoso.

O tratamento da BOP através da E/S vem ganhando destaque por apresentar bons resultados quanto a fixação dos contaminantes presentes na BOP e também por gerar um material que pode ser reaproveitado.

Segundo a EPA (2000) e Spence e Shi (2005) a tecnologia de Estabilização/Solidificação vem sendo empregado há aproximadamente 50 anos como uma alternativa de tratamento para resíduos industriais e tem sido utilizada na prática em larga escala nos EUA, para tratamento de resíduos contendo componentes orgânicos halogenados (voláteis e semi-voláteis), PCBs (Polychlorinated biphenyl) e metais pesados.

A estabilização é um método químico que realiza a imobilização química pela formação de compostos estáveis ou compostos insolúveis em água. Estabilização reduz ou elimina a possibilidade de vaporização ou lixiviação para o meio ambiente. Estabilizar é converter o resíduo para uma forma de um sólido, duro, massa não escoável ou um material sólido em partículas e inerte que resiste a solventes comuns e retém os materiais nela contidos, quando submetido a condições de lixiviação (RODRÍGUEZ et al., 2012).

Solidificação é usada para encapsular os resíduos, formando um material sólido, quando os líquidos livres, com exceção de mercúrio elementar está presente no resíduo.

O ensaio de capacidade de absorção de água tem a função de determinar a quantidade de água presente nos poros permeáveis de um material sólido, estando relacionada com a porosidade dos materiais e influencia a resistência do material (SPENCE e SHI, 2005). O aumento da absorção de água diminui a resistência. No Brasil, utiliza-se a norma da ABNT NBR 9778 para avaliar a capacidade de absorção de massa de materiais estabilizados por solidificação.

O objetivo deste trabalho foi modelar e otimizar a variável resposta capacidade de absorção de água, empregada como parâmetro, para o monitoramento do processo de estabilização por solidificação do resíduo borra oleosa de petróleo.

METODOLOGIA UTILIZADA

Na presente pesquisa foi adotado o planejamento fatorial 2^k , com adição de 3 repetições no ponto central (PtCt), onde o ponto central é a média aritmética dos níveis nos fatores, k representa o número de fatores e b representa o número de níveis.

Os fatores adotados foram: % porcentagem de borra oleosa (BOP) e tempo de cura (tc). Para o fator % BOP, foram usados os níveis 5 e 20%, codificados com (-1) e (+1), para níveis baixos e altos, respectivamente. Para o fator tc foram usados os níveis 7 e 28 dias, codificados nos níveis baixo (-1) e alto (+1), respectivamente.

Como o planejamento foi composto por 02 fatores e 03 pontos centrais foram realizados 7 experimentos. A variável resposta foi capacidade de absorção de água.

Visto que a variável resposta, com o planejamento fatorial com adição de 3 PtCt, apresentou curvatura, foi adotado o planejamento central composto, com adição de pontos axiais, sendo assim, os níveis foram ampliados para se obter combinações que levem a região ótima. Como o planejamento teve mais 04 (quatro) pontos axiais foram realizados 11 experimentos. Na Tabela 1 é apresentada a matriz de planejamento central composto (PCC).

Tabela 1 - Matriz de Planejamento - PCC.

Experimento	Nível do Fator %BOP	Nível do Fator tc	Fator %BOP	Fator tc	Variável Resposta
Exp ₁	-1	-1	5	7	Y1
Exp ₂	+1	-1	20	7	Y2
Exp ₃	-1	+1	5	28	Y3
Exp ₄	+1	+1	20	28	Y4
Exp ₅	-1,414	0	1,89	17,5	Y5
Exp ₆	1,414	0	23,11	17,5	Y6
Exp ₇	0	-1,414	12,5	2,65	Y7
Exp ₈	0	1,414	12,5	32,35	Y8
Exp ₉	0	0	12,5	17,5	Y9
Exp ₁₀	0	0	12,5	17,5	Y10
Exp ₁₁	0	0	12,5	17,5	Y11

FONTE: Adaptado do MINITAB® 16.0 (2009).

Em seguida foi realizada a confecção das matrizes cimentícias (MCs), com a incorporação da BOP e tempo de cura seguindo os tratamentos mostrados na Tabela 1. Na Figura 1 são mostradas as etapas de preparação das matrizes cimentícias. Após o tempo de cura estabelecido pelo planejamento, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de capacidade de absorção de água.

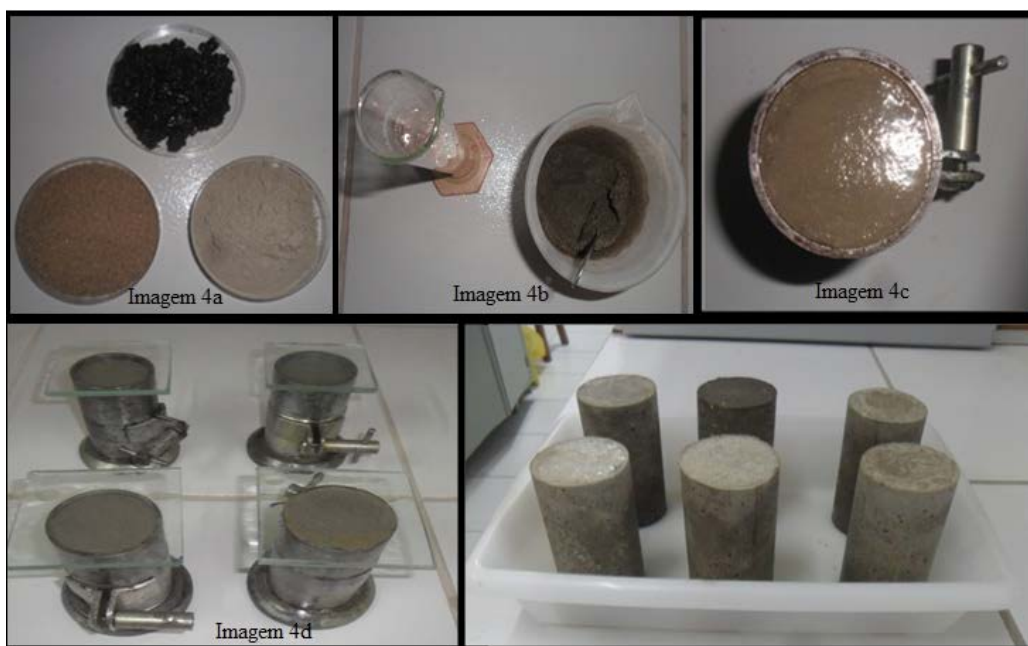


Figura 1: Confeção das matrizes cimentícias.

O ensaio de capacidade de absorção de água (CAA) foi realizado conforme ABNT (1987) – NBR 9778: “Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica”, que avalia a porosidade do material endurecido ou E/S. O ensaio foi realizado com matrizes cimentícias condicionadas em estufa a 103°C e com uma relação líquido/sólido (L/S) 10:1. Após pesagem das MCs as mesmas foram enviadas para estufa a 103°C por 24 horas. Posteriormente foram imersas em água a 23°C por períodos de 24, 48 e 72 horas. O resultado foi expresso em porcentagem (%) conhecendo-se a massa da matriz cimentícia após saturação em água e a massa da MCs seca em estufa, conforme a equação (1):

$$CAA(\%) = \frac{MS_{Sat} - MS}{MS} \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

MSAT: massa do corpo de prova após saturação em água e fervura;

MS: massa do corpo de prova seco em estufa.

Com as respostas da CAA foi realizada a análise estatística dos dados, usando a Análise de Variância (ANOVA) e a otimização do processo. E o critério de decisão adotado foi o teste F e o valor p (*probabilidade* = 0,05).

RESULTADOS OBTIDOS

A análise estatística da variável resposta do planejamento fatorial com adição de 3 PtCt mostrou que houve curvatura na resposta, apresentando um valor p igual a 0,019, ou seja, um valor p menor que o nível de significância adotado (0,05). Sendo assim, buscou-se encontrar a região ótima do processo, para isso foi adicionado pontos axiais, utilizando assim, um planejamento composto central. A Tabela 2 apresenta os resultados do ensaio de capacidade de absorção de água referente aos 11 experimentos do planejamento composto central, onde a maior porcentagem de absorção de água foi de 16,36%, nesta matriz cimentícia foi incorporado 20 % de BOP e curada por 7 dias.

Tabela 2 - Resultado do ensaio de Capacidade de Absorção de Água (%).

Experimento	Nível do Fator %BOP	Nível do Fator tc	Fator %BOP	Fator tc	Variável Resposta
Exp ₁	-1	-1	5	7	14,09
Exp ₂	+1	-1	20	7	16,36
Exp ₃	-1	+1	5	28	14,00
Exp ₄	+1	+1	20	28	15,98
Exp ₅	-1,414	0	1,89	17,5	11,85
Exp ₆	1,414	0	23,11	17,5	15,19
Exp ₇	0	-1,414	12,5	2,65	14,60
Exp ₈	0	1,414	12,5	32,35	13,92
Exp ₉	0	0	12,5	17,5	13,49
Exp ₁₀	0	0	12,5	17,5	13,98
Exp ₁₁	0	0	12,5	17,5	13,58

LEGENDA: -1: Nível baixo; +1: Nível alto; 0: Ponto central; ±1,414: Ponto axial; EXP: Experimento; BOP: Borra oleosa de petróleo; RC: Resistência à Compressão; PPP: planejamento Composto Central.

Em conformidade com os dados obtidos, é possível observar que o tempo de cura não influenciou na capacidade de absorção de água. De acordo com a Tabela 2, a resposta que obteve menor CAA foi a matriz cimentícia referente à 1,89% de BOP e 17,5 dias de cura. Em conformidade com a literatura, possivelmente, este tratamento corresponderá ao maior ganho de resistência em relação aos outros tratamentos do PCC e menor capacidade de lixiviação dos contaminantes, pois segundo Lampris et al.; (2009) a alta porosidade também resulta num aumento da lixiviação dos produtos solidificados.

De acordo com os dados da Tabela 2, observa-se que quanto maior a %BOP maior será a CAA, sendo assim, observa-se que a porcentagem de BOP tem influência na CAA, o mesmo não é observado com o tempo de

cura, conforme os dados da Tabela 2, não apresenta influência na CAA. Resultado observado também por Leonard e Stegemann (2010), quando estudaram a E/S de cascalho de perfuração de petróleo, os autores observaram que a porosidade do material E/S não teve influência do tempo de cura da matriz.

Na Tabela 3 estão apresentados os coeficientes (não codificados) do modelo obtido para a capacidade de absorção de água ao nível de 95% de confiança ($\alpha = 0,05$).

Tabela 3 - Coeficiente do modelo linear para Capacidade de Absorção de Água.

Coeficientes (fatores)	Coeficientes	Valor p	Significância
β_0 (média)	14,1758	0,000	Significativo
β_1 (%)	0,0667	0,010	Significativo
β_2 (t)	-0,1937	0,552	Não Significativo
β_3 (%) ²	0,0039	0,535	Não Significativo
β_4 (t) ²	0,0054	0,137	Não Significativo
β_5 (%.t)	-9,20635E-04	0,862	Não Significativo

LEGENDA: %: Percentagem de Borra oleosa de petróleo; t: Tempo de cura.

Adotando-se um nível de significância de 5% pode-se observar, na Tabela 3, que os parâmetros tempo de cura, interação entre os fatores e coeficientes quadráticos apresentaram valor p maior que o estabelecido, não sendo considerado estatisticamente significativo. Neste sentido, apenas a média geral do modelo (β_0 (média)) e o fator % de BOP (β_1 (% de BOP)), que foram significativos, entra no modelo. Sendo assim, o modelo ajustado que relaciona a porcentagem de borra oleosa de petróleo e tempo de cura das matrizes cimentícias é apresenta na Equação 1.

$$\hat{CAA} = 14,1758 + 0,0667(\%) \quad (1)$$

A Tabela 4 apresenta o resultado da análise de variância referente à Capacidade de Absorção de Água.

Tabela 4 - Análise de Variância (ANOVA): Capacidade de Absorção de Água (%).

Fonte	g.l	Soma Quadrática	Média Quadrática	Valor F*	Valor P	Significância
% BOP	1	10,0654	10,0654	15,93	0,010	Significativo*
t	1	0,2562	0,2562	0,41	0,552	Não Significativo
Interação	1	0,0210	0,0210	0,03	0,862	Não Significativo
% BOP ²	1	0,0145	0,2801	0,44	0,535	Não Significativo
t ²	1	1,9838	1,9838	3,14	0,137	Não Significativo
Resíduo	5	3,1589	0,6318			
Falta de Ajuste	3	3,0229	1,0076	14,81	0,064	Não Há Falta de Ajuste
Puro Erro	2	0,1361	0,0680			
Total	10	15,4999				
$R^2 = 79,62\%$		$R_{max.}^2 = 59,24\%$	$R = 0,89$			

LEGENDA: %BOP: Percentagem de Borra oleosa de petróleo; t: Tempo de cura; g.l: Grau de liberdade; * Significativo a 0,05 de Probabilidade.

Os dados apresentados na Tabela 4 mostra que houve efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade apenas para o fator percentagem de borra oleosa de petróleo, pois, o valor de p foi menor ou igual a 0,05, ou

seja, existe diferença entre escolher o nível maior ou menor para a borra oleosa de petróleo existindo esta diferença, então, pode-se dizer que o fator é significativo.

Apenas a percentagem de BOP utilizado na elaboração das matrizes cimentícias, influencia na CAA do material E/S. Sendo assim, o resíduo borra oleosa pode ter induzido as matrizes cimentícias a absorver água no interior da mesma.

O valor de P foi igual a 0,064 para a falta de ajuste, maior que o α que foi adotado (0.05) isto indica que não há falta de ajuste no modelo. Tem-se, portanto um modelo bem ajustado (equação 1).

Na Figura 2, é apresentado o gráfico de otimização para capacidade de absorção de água.

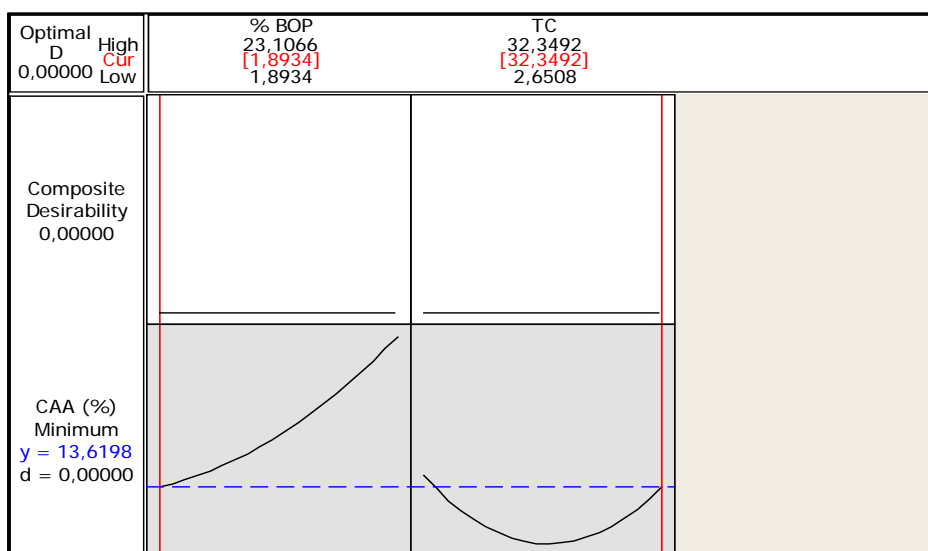


Figura 2: Ponto Ótimo do Processo de E/S: Capacidade de Absorção de Água.

O gráfico 1 mostra que, o melhor resultado para absorção de água, é alcançado com a combinação de 1,8934% de BOP e 32,3492 dias de cura para o processo estabilização por solidificação, ou seja, uma matriz cimentícia elaborada com 1,8934% de BOP e curada a 32,3492 dias resultará em uma CAA de 13,6198%. Este valor pode ser considerado como o ponto ótimo do processo para capacidade de absorção de água, ou seja, o ponto onde é alcançado o menor valor para CAA. Lembrando que, a resposta é proveniente de dados de otimização.

A Figura 3 mostra o gráfico de contorno para a capacidade de absorção de água, com valores para quatro áreas.

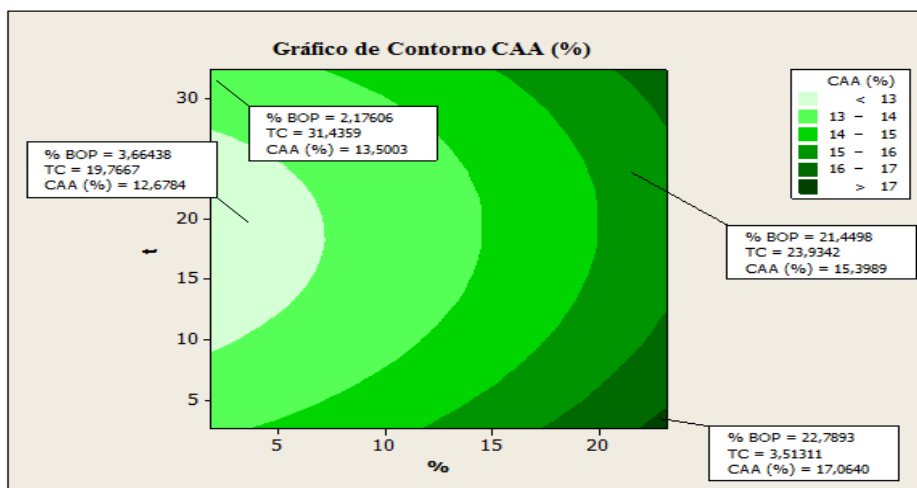


Figura 3: Gráfico de Contorno Para Capacidade de Absorção de Água.

A Figura 3 mostra que a melhor região para o resultado de absorção de água, encontra-se a esquerda do gráfico, em que o valor está situado na faixa menor que 13%. Observa-se no gráfico que a medida que aumenta a porcentagem do resíduo BOP há um gradativo aumento de absorção de água pela matriz cimentícia. Os piores valores para absorção de água são obtidos quando as matrizes cimentícias forem confeccionadas com combinações de % BOP e tempo de cura da região a direita do gráfico de contorno (%BOP = 22,79% e tempo de cura 3,51 dias, a CAA foi igual a 17,06%).

A Tabela 5 mostra mais quatro pontos com otimização referentes CAA.

Tabela 5 – Otimização para Capacidade de Absorção de Água (%)

% BOP	Tempo de Cura (dias)	CAA (%)
23,1066	2,65076	17,2986
23,1066	32,3492	16,5024
1,89340	32,3492	13,6198
12,5	17,5000	13,6833

Com a combinação de quaisquer dos quatro pontos da Tabela 5, irá se obter as maiores capacidades de absorção de água para os níveis do planejamento, o que não é desejável, uma vez que a capacidade de absorção de água influencia nos resultados de resistência à compressão e lixiviação (SPENCE e SHI, 2005), ou seja, o aumento de vazios dentro da matriz cimentícia reduz a resistência à compressão. No entanto, todos os valores estão dentro do estabelecido pelo Protocolo de Avaliação de Materiais Estabilizados e Solidificados, que é $\leq 40\%$.

Conforme a Tabela 5, a maior porcentagem de absorção de água irá ocorrer quando for incorporado 23,1066% de BOP e 2,65076 dias de cura para formar a matriz cimentícia, para estes níveis irá se obter uma absorção de água igual a 17,2986%.

CONCLUSÕES

1. Os resultados mostraram que o tempo de cura não influenciou na resposta de CAA, este resultado foi confirmado pela ANOVA, que apresentou o fator tempo como não significativo. A resposta do planejamento fatorial com adição de 3 PtCt apontou curvatura, sendo assim, foram adicionados pontos axiais, tornando o planejamento composto central.
2. Os resultados mostraram que o aumento da porcentagem de borra oleosa de petróleo incorporada a matriz cimentícia promove um gradativo aumento de absorção de água. A partir da otimização da variável resposta de CAA obteve-se o ponto (BOP:tc) igual a 23,1066%BOP e 2,65076 tc, onde este ponto vai promover uma matriz com maior porcentagem de CAA entre os tratamentos do planejamento adotado.
3. A utilização de metodologia de superfície resposta, para encontrar uma aproximação adequada, entre a resposta de CAA e as variáveis independentes (%BOP e tempo de cura), pode ser utilizada com êxito para modelar o parâmetro CAA para o monitoramento do processo de estabilização por solidificação do resíduo borra oleosa de petróleo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARORA, M.L., BARTH, E., UMPHRES, M.B. Technology evaluation of sequencing batch reactors. *Journal Water Pollution Control Federation*, v.57, n.8, p. 867-875, ago. 1985.
2. DATAR, M.T., BHARGAVA, D.S. Effects of environmental factors on nitrification during aerobic digestion of activated sludge. *Journal of the Institution of Engineering (India)*, Part EN: Environmental Engineering Division, v.68, n.2, p.29-35, Feb. 1988.
3. FADINI, P.S. Quantificação de carbono dissolvido em sistemas aquáticos, através da análise por injeção em fluxo. Campinas, 1995. Dissertação de mestrado-Faculdade de Engenharia Civil-Universidade Estadual de Campinas, 1995.
4. KRIIPSALU, M.; MARQUES, M.; MAASTIK, A. Characterization of oily sludge from a wastewater treatment plant flocculation-flotation unit in a petroleum refinery and its treatment implications. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, New York, v.10, p. 79-86, 2008.

5. J. Liu, X. Jiang, L. Zhou, X. Han, Z. Cui, Pyrolysis treatment of oil sludge and model-free kinetics analysis, *J. Hazard. Mater.* 161 (2009) 1208–1215.
6. LAMPRIS, C.; STEGEMANN, J.A.; CHEESEMAN, C.R. Solidification/Stabilisation of air pollution control residues using Portland cement: Physical properties and chloride leaching. **Waste Management**, v.29, p.1067–1075, 2009.
7. LEONARD, S.A.; STEGEMANN, J.A. Stabilization/solidification of petroleum drill cuttings. **Journal of Hazardous Materials**, 174, p. 463–472, 2010.
8. MINITAB INC. STATISTICAL SOFTWARE – Data Analysis Software; Version 16, 2009.
9. N. Xu, W. Wang, P. Han, X. Lu, Effects of ultrasound on oily sludge deoiling, *J. Hazard. Mater.* 171 (2009) 914–917.
10. P. Yan, M. Lu, Q. Yang, H.L. Zhang, Z.Z. Zhang, R. Chen, Oil recovery from refinery oily sludge using a rhamnolipid biosurfactant-producing *Pseudomonas*, *Bioresour. Technol.* 116 (2012) 24–28.
11. RODRÍGUEZ, O.; PADILLA, I.; TAYIBI, H.; LÓPEZ-DELGADO, A. Concerns on liquid mercury and mercury-containing wastes: A review of the treatment technologies for the safe storage. **Journal of Environmental Management**, London, v. 101, p. 197-205, 2012.
12. RODRÍGUEZ, O.; PADILLA, I.; TAYIBI, H.; LÓPEZ-DELGADO, A. Concerns on liquid mercury and mercury-containing wastes: A review of the treatment technologies for the safe storage. **Journal of Environmental Management**, London, v. 101, p. 197-205, 2012.
13. SHI, C.; SPENCE, R. Designing of cement-based formula for solidification/stabilization of hazardous, radioactive and mixed wastes. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, Boca Raton, v. 34, p. 391-417. 2005.
14. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY **Stabilization/Solidification use at superfund site**. Washington, D.C., United States, Sep., 2000.