

Reciclagem de Borra Oleosa através de Incorporação em Blocos Cerâmicos de Vedação

Mara Régia Falcão Viana Alves^{a*}, Francisco Sandro Rodrigues Holanda^{b*}

^aPETROBRAS SA

^bPRODEMA/UFS

*e-mail: mararegia@petrobras.com.br, fholanda@infonet.com.br

Resumo: A indústria de exploração e produção de petróleo em Sergipe gera um resíduo de difícil tratamento e destinação final conhecido como borra oleosa, constituído pela mistura de óleo, sólidos e água. A disposição, tratamento e/ou reciclagem de tais resíduos constituem aspectos de grande importância na definição de políticas de gestão sustentável. Este trabalho buscou uma alternativa para reciclagem da borra oleosa através da sua incorporação à massa argilosa para fabricação de blocos cerâmicos de vedação utilizados na construção civil, em percentuais que variaram de 0 a 25% em peso. A qualidade dos blocos produzidos foi avaliada através de ensaios de resistência mecânica, absorção de água, eflorescência, teor de sais solúveis, lixiviação e solubilização de metais pesados. As análises realizadas mostraram que a resistência mecânica é inversamente proporcional ao teor de borra incorporada; a absorção de água e o teor de sais solúveis são diretamente proporcionais ao teor de borra incorporada; há formação de eflorescência nos blocos para todos os níveis de incorporação; não houve lixiviação dos principais metais pesquisados e a solubilização classificou os blocos produzidos como Classe II (Não Inertes). Os resultados apresentados permitem visualizar que o teor mais adequado para incorporação de borra oleosa para fabricação dos blocos cerâmicos situa-se na faixa de 10% a 20% em peso.

Palavras-chave: reciclagem, blocos cerâmicos, borra oleosa, resíduos de petróleo

1. Introdução

Um dos impactos causados pela atividade de exploração e produção de petróleo é a geração de resíduos sólidos oleosos que necessitam de tratamento e destinação final adequados. Este trabalho teve como objetivo avaliar uma alternativa para destinação adequada do resíduo borra oleosa proveniente do processamento primário dos fluidos na exploração e produção de petróleo. A pesquisa partiu da hipótese de que é possível incorporar a borra oleosa na massa utilizada para fabricação de blocos cerâmicos de vedação, visando diminuir o impacto provocado pelo resíduo no meio ambiente e no ecossistema local, sem alteração da qualidade final do produto, possibilitando sua inserção em um processo produtivo.

2. Material e Métodos

Foram conduzidos experimentos de incorporação utilizando borras oleosas da PETROBRAS/UN-SEAL (Unidade de Negócios de Exploração e Produção de Sergipe e Alagoas) coletadas nos separadores água e óleo das Estações de Santa Bárbara e Nova Magalhães, situadas no Ativo de Produção Sergipe Terra, município de Carmópolis.

Os experimentos foram realizados na Cerâmica Alfredo Barata, Município de Itabaianinha, Estado de Sergipe, onde as borras foram adicionadas à massa para confecção dos blocos cerâmicos nos percentuais de 0% (testemunha), 5%, 10%, 15%, 20% e 25% em relação ao peso total da massa de argila.

A preparação dos blocos foi iniciada quando a argila utilizada no experimento sofreu processo de depuração para eliminação das impurezas que poderiam prejudicar o material, sendo triturada até ser reduzida a pequenos fragmentos. Durante o processo de homogeneização, a borra oleosa foi incorporada manualmente com auxílio de pás e enxadas nas proporções anteriormente definidas.

O composto argila/borra foi introduzido na caixa alimentadora do misturador, umedecido com água para facilitar a homogeneização

e depois laminado, garantindo maior precisão na mistura. Os blocos cerâmicos foram moldados a seguir com pastas consistentes através de extrusão, após passar pela câmara de vácuo para retirada do ar da mistura. A massa extrudada foi cortada em tamanhos pré-fixados por uma cortadeira de dois fios de aço tensionados.

Os blocos cerâmicos secaram pela evaporação natural da água agregada à massa através da exposição das peças ao ar livre, no interior de galpões abertos (secagem natural), sem incidência de sol ou vento. Após secarem naturalmente, os blocos cerâmicos foram colocados no forno tipo Hoffmann. Passaram 30 horas no “esquente” (fase de aquecimento) a 100 °C e queimaram por três dias à temperatura em torno de 900 °C.

2.1. Avaliação dos blocos cerâmicos após a incorporação da borra oleosa

A verificação da conformidade dos blocos cerâmicos com a legislação foi realizada através das análises de resistência mecânica - NBR 6461⁶, absorção de água - NBR 8947³, eflorescência e teor de sais solúveis - NP 80¹⁴, lixiviação - NBR 10005³ e solubilização - NBR 10006⁴.

3. Resultados e Discussão

Os blocos cerâmicos produzidos com incorporação de borra oleosa foram avaliados através das análises apresentadas a seguir.

3.1. Resistência mecânica

Resistência mecânica à compressão é a capacidade que um bloco cerâmico possui de suportar cargas verticais além daquela relacionada ao seu próprio peso. As propriedades físico-mecânicas dos blocos cerâmicos produzidos foram testadas através da análise de resistência mecânica, conforme NBR 6461⁶ indicada pela NBR 7171¹.

Observou-se a tendência de um comportamento linear decrescente da resistência mecânica (MPa) em resposta aos níveis de teor de borra incorporado ($P < 0,25$). Houve uma redução na ordem de 31,5 % na resistência mecânica dos blocos, em função do teor máximo de borra incorporada, com 53,32% de capacidade preditiva (Figura 1). Até o teor de 10% em peso verifica-se um aumento da resistência mecânica, a partir deste valor, quanto maior o teor de borra oleosa incorporado, menor a resistência mecânica.

A menor resistência mecânica à compressão permitida pela NBR 7171/92 é para bloco cerâmico de vedação classe 10 com resistência de 1,0 MPa, que não tem a função de suportar outras cargas verticais além daquela relacionada ao seu peso próprio e pequenas cargas de ocupação. Pode-se afirmar ($P < 0,25$) que os resultados apresentados pelos tratamentos conferem aos blocos uma resistência maior do que a resistência mínima exigida pela NBR 7171/92.

Considerando-se que todos os blocos amostrados foram elaborados conforme os mesmos procedimentos experimentais, é provável que esta dispersão ($R^2 = 0,53$) tenha sido provocada pelos fatores não controlados no processo de fabricação, como a umidificação, a secagem, a temperatura e o tempo de queima dos blocos. Os blocos com incorporação de borra oleosa foram queimados junto com a produção usual daquela indústria cerâmica. Como os blocos com borra incorporada queimam mais rápido que os demais, ocorreu uma sobrequeima, ou seja, ficaram excessivamente queimados. Algumas medidas poderiam ser tomadas para minimizar esta dispersão, como uma melhor homogeneização da mistura argila/borra antes da mesma chegar ao misturador, um maior controle da temperatura e do tempo de queima.

3.2. Absorção de água

Absorção de água é a capacidade que um bloco cerâmico possui de absorver um determinado percentual de água proveniente das mais diversas origens, como a umidade natural, a imersão durante a construção das alvenarias, a água existente nas argamassas das juntas e dos revestimentos, a água das chuvas, a água que sobe por capilaridade e por condensações. Os blocos cerâmicos produzidos foram submetidos à análise de absorção de água, conforme método de ensaio da NBR 8947⁵, indicado na NBR 7171¹.

Os resultados dos ensaios de absorção de água executados nos blocos confeccionados com incorporação de 0% (testemunho), 5%,

10%, 15%, 20% e 25% de borra oleosa apresentam um comportamento linear crescente da absorção de água (%) em resposta aos níveis de teor de borra incorporado ($P < 0,05$).

Verificou-se, ainda, que houve um incremento na ordem de 24% na capacidade de absorção de água pelos blocos, em função do teor máximo de borra incorporada, com 75,46% de capacidade preditiva, se ajustando ao modelo de regressão linear. Tal fato permite inferir que um percentual maior de incorporação de borra aumenta a porosidade do bloco cerâmico e, conseqüentemente, diminui a sua resistência mecânica, ou seja, quanto menor a absorção de água, menor a porosidade e maior a resistência mecânica do bloco cerâmico (Figura 2).

Os tratamentos ($P < 0,05$) conferiram aos blocos uma capacidade de absorção de água situada entre 8% e 25%, limites inferiores e superiores permitidos na NBR 7171/92. Percentuais de absorção de água superiores a 25% indicam que a parede construída com tais blocos pode sofrer aumento de carga quando exposta à chuva, podendo acarretar problemas estruturais à construção, implicando em mais consumo de energia para a manufatura de novos materiais, e conseqüentemente, uma pressão maior sobre o uso de recursos naturais envolvidos na sua fabricação.

3.3. Eflorescência

Entre os inconvenientes resultantes da ação da água nos tijolos está a formação de eflorescências. Os blocos cerâmicos contêm sais solúveis, sendo os mais comuns os sulfatos de cálcio, magnésio, sódio e potássio. Tais sais podem existir na argila, geralmente sob a forma de gesso, resultar da formação das piritas durante a cozedura, serem provenientes do enxofre contido no combustível ou serem provocados por sais solúveis existentes nas argamassas ou nos materiais incorporados durante a fabricação do material. Os movimentos da água nos blocos cerâmicos dissolvem os sais e trazem-nos à superfície, onde se cristalizam em contato com o ar, provocando o aparecimento de manchas brancas e, sobretudo, contribuindo para a deterioração dos revestimentos^{15,16,23}.

Os blocos cerâmicos produzidos com a incorporação de borra oleosa foram submetidos à análise de formação de eflorescência, conforme método de ensaio previsto na Norma Portuguesa NP 80¹⁴. Este ensaio, por não ser exigido nas Normas Brasileiras, não é usualmente realizado, porém, torna-se essencial neste trabalho para a verificação da qualidade do bloco cerâmico produzido com a borra oleosa, em

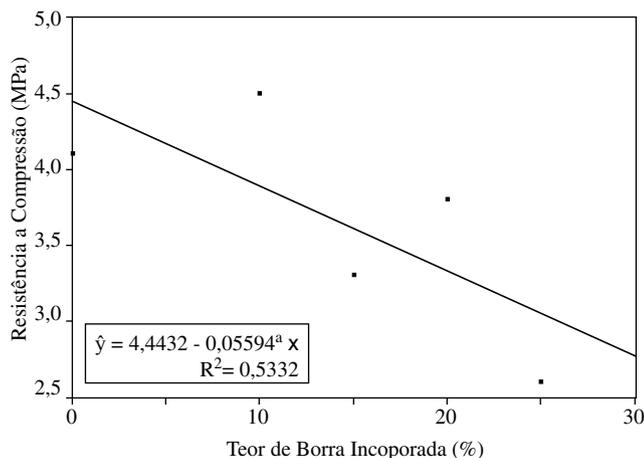


Figura 1. Comportamento da resistência mecânica (MPa) em função dos teores de borra incorporada (%) - São Cristóvão, 2003.

*significativo a 25% de probabilidade pelo teste de Student.

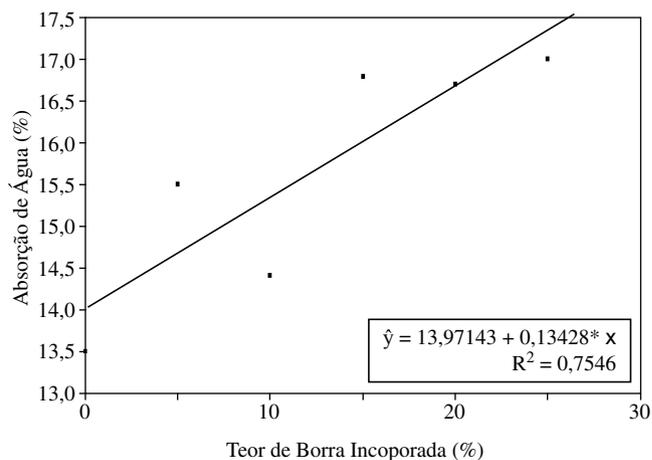


Figura 2. Comportamento da absorção de água (%) em função dos teores de borra incorporada (%) - São Cristóvão, 2003.

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Student.

razão da alta salinidade desta, pois o aparecimento de eflorescências indica que o teor de sais solúveis está acima do aceitável para garantir suas características essenciais, como a resistência mecânica e a porosidade, sofrendo influência direta da absorção de água.

A Figura 3 mostra visualmente que todos os blocos cerâmicos ensaiados apresentaram arestas ou vértices dos blocos revestidos parcial ou totalmente de sais, cobrindo área superior a 5 cm². A partir da confirmação da formação de eflorescência e seguindo recomendação da Norma citada, realizou-se uma análise do teor total de sais solúveis nos blocos cerâmicos produzidos.

3.4. Teor total de sais solúveis

A Norma Brasileira não estabelece limites para o teor total de sais solúveis presentes nos blocos cerâmicos. A presença desses sais é responsável pelo fenômeno chamado de eflorescência, considerado um defeito no material cerâmico, e pode vir a prejudicar a durabilidade da alvenaria ou do seu revestimento pelo aparecimento temporário de eflorescências brancas; de eflorescências que dão manchas coradas permanentes; pela cristalização superficial ou interior, e desagregação de tijolos e revestimentos; pela expansão e enfraquecimento das argamassas de cimento *portland* ou cal hidráulica, devido à reação dos sais dissolvidos com certos compostos presentes¹⁴.

Constatada eflorescência nos blocos cerâmicos produzidos, procedeu-se à análise do teor total de sais solúveis para verificar se a concentração encontrava-se superior ao limite de 0,5% em massa determinado pela NP 80/64.

A Figura 4 apresenta um comportamento linear crescente dos dados referentes ao teor total de sais solúveis (%) nos blocos em resposta aos níveis de teor de borra incorporado ($P < 0,05$). Houve um incremento na ordem de 328% no teor de sais solúveis nos blocos, em função do teor máximo de borra incorporada, com 73,69% de capacidade preditiva. Tal fato informa que um maior percentual de incorporação de borra oleosa aumenta o teor de sais solúveis no bloco cerâmico, favorecendo o aparecimento de eflorescências.

Os tratamentos conferiram ($P < 0,05$) um incremento no teor total de sais solúveis situado nos limites permitidos na NP 80/64 até o teor de incorporação de 20% de borra oleosa, uma vez que o teor de incorporação de 25% de borra oleosa ultrapassou o limite previsto pela norma em questão. Tal fato permite inferir que o limite máximo de incorporação de borra oleosa na massa para confecção de blocos cerâmicos é de 20% para garantir a boa qualidade e o desempenho do bloco cerâmico nas construções, não trazendo prejuízos aos usuários e ao meio ambiente.

3.5. Lixiviação

De acordo com Costa (1998)¹², a realização da análise de lixiviação no material cerâmico produzido através de incorporação de resíduos visa simular o comportamento do resíduo incorporado aos blocos caso estes sejam submetidos a uma situação crítica. Uma situação provável seria da lixiviação do resíduo pela água da chuva, nos blocos pulverizados, diante de uma eventual demolição de alvenaria, condição que poderia provocar a contaminação por metais pesados no solo e, conseqüentemente, no lençol freático, através da infiltração das águas pluviais. Isto poderia provocar um grave problema ambiental, além de representar um risco para a saúde da população, pela provável contaminação do lençol freático^{13,17}. A avaliação do grau de mobilização dos constituintes perigosos da borra oleosa incorporada aos blocos cerâmicos foi verificada através das análises de lixiviação, conforme NBR 10005³.

A análise das características orgânicas e as análises de lixiviação anteriormente realizadas por Alves (2003)⁸ na amostra bruta do resíduo mostram que não houve presença ou lixiviação dos principais compostos pesquisados, como Arsênio, Selênio, Berílio, Mercúrio, Cádmio, Chumbo, Cromo total, Vanádio, Prata, Bário e Fluoretos.



Figura 3. Blocos apresentando eflorescência (manchas esbranquiçadas).

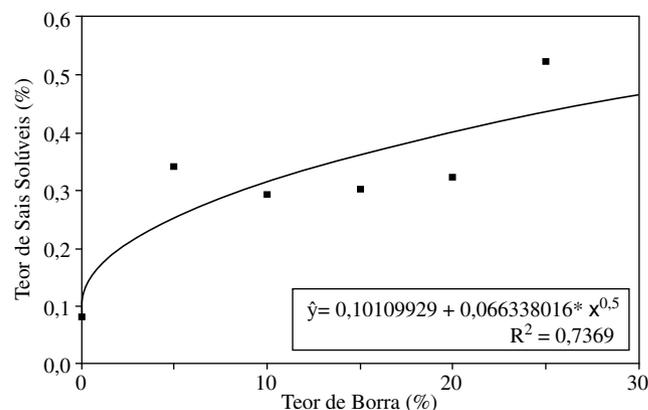


Figura 4. Comportamento do teor de sais solúveis (%) em função dos teores de borra incorporada (%) - São Cristóvão, 2003.

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Student.

A maioria desses compostos sequer foi identificada na amostra bruta do resíduo, então, optou-se por realizar a análise de lixiviação apenas para o Sódio, Cromo, Bário, Arsênio, Fluoreto e Cloreto com valores acima dos limites de detecção apresentados nas análises da amostra bruta do resíduo.

O ensaio de lixiviação serve para caracterizar a toxicidade do bloco cerâmico, determinando sua periculosidade e revelando o potencial de impacto ambiental do produto. A concentração dos metais, conforme Tabela 1, ficou muito abaixo dos limites definidos pela Norma Brasileira, para todos os teores de incorporação, revelando que, quanto ao teor de metais pesados, a incorporação não apresenta toxicidade após a queima dos blocos.

Os resultados encontrados mostram que os blocos cerâmicos não lixiviam os principais metais perigosos, indicando que os metais presentes na borra oleosa ficaram indisponibilizados no bloco cerâmico. Isto foi possível através da reação química provocada pelo calor desenvolvido no forno, que destrói a parte orgânica da borra oleosa, deixando os compostos metálicos formarem uma estrutura cristalina bastante resistente, tornando-se parte do bloco cerâmico¹¹. Os blocos fabricados com incorporação de borra oleosa atenderam aos limites de lixiviação da NBR 10004², não oferecendo riscos ao meio ambiente e à saúde dos seus futuros usuários, podendo ser classificados como não perigosos.

3.6. Solubilização

Considerando o bloco cerâmico numa situação em que o mesmo seja um resíduo imerso em água por um período de sete dias, foram realizadas análises de solubilização conforme NBR 10006⁴, objetivando caracterizá-lo como Classe II ou Classe III. Os blocos cerâmicos com incorporação de borras oleosas não atendem aos limites da Listagem 8 da NBR 10004/87, conforme apresentado na Tabela 2, sendo considerados Classe II (Não inertes), por apresentarem no seu extrato solubilizado valores superiores aos Limites Máximos Permitidos (LMP) para sulfato, bário e arsênio.

De acordo com Barreto⁹, muitos metais presentes na borra oleosa são comumente encontrados na composição do bloco convencional, entre eles, cobre, chumbo, manganês, ferro e alumínio. Com efeito, o bloco cerâmico sem incorporação de borra oleosa (testemunha), apresentou solubilização dos compostos manganês e cromo acima dos LMP pela Norma citada.

Comparando os resultados do teste de solubilização obtidos com os valores orientadores para as águas subterrâneas do Estado de São Paulo e com os valores internacionais citados pela CETESB¹⁰, constatou-se que os valores de Arsênio encontrados estão menores que os LMP nas Normas do Canadá (0,1 mg/L) e da Holanda (0,06 mg/L), indicando que a pequena variação do Arsênio encontrada pode ser enquadrada dentro dos limites de normalidade. Com referência os teores de Bário obtidos, os mesmos continuam acima dos LMP, em-

bora as Normas praticadas pela EPA/USA e pelo Canadá ampliem sua presença para 2,0 mg/L.

O comportamento do sulfato (SO_4^{2-}), que se apresenta na borra oleosa em razão da sua presença na água de formação, mostra que o aumento na concentração de solubilização é proporcional ao aumento do teor de incorporação da borra oleosa²². Este resultado comparado à análise anteriormente realizada confirma a afirmação de que o teor de sais solúveis é fator limitante na incorporação da borra oleosa nos blocos cerâmicos.

A presença do sulfato (SO_4^{2-}) na borra oleosa indica que, não apresentando estabilidade química, o sulfato tende a reagir com os demais compostos presentes na argila, como o cálcio, magnésio, sódio e potássio. Na reação com o cálcio, magnésio e até mesmo com o bário, que foi solubilizado, forma sulfatos insolúveis que se precipitam, tornando-se estáveis. Na reação com o sódio e o potássio estabiliza-se na forma de sulfatos solúveis que, em presença de água, podem ser carregados para o ambiente, embora sem causar-lhe impactos.

Os valores de resistência mecânica e absorção de água atenderam aos limites especificados nas Normas Brasileiras para todos os teores de incorporação utilizados, apresentando uma ligeira melhora na resistência até o limite de 10% de incorporação, vindo a decrescer com o incremento da incorporação de borra a partir desse valor. Os resultados encontrados confirmam que a borra do separador água e óleo pode ser utilizada na produção de blocos cerâmicos, promovendo economia de energia e melhoramento da resistência mecânica⁹. Estes resultados

Tabela 1. Composição do extrato lixiviado dos blocos cerâmicos com incorporação da borra (em mg/L) de Santa Bárbara e de Nova Magalhães. Lixiviação NBR 10005³.

Metais	Amostra Controle	Localidade						Limites NBR 10.004
		Nova Magalhães			Santa Bárbara			
		0%	5%	5%	10%	15%	20%	
Sódio	-	-	-	4	4	6	ND	-
Cromo	0,01	0,007	0,043	ND	ND	ND	ND	5,00
Bário	0,22	0,04	0,15	ND	1,4	1,7	1,9	100,00
Arsênio	ND	0,002	ND	0,004	ND	ND	ND	5,00
Fluoreto	ND	ND	ND	0,2	ND	ND	0,5	150,00
Cloreto	-	-	-	0,33	43,2	2,85	17,2	-

ND – não detectado.

Tabela 2. Composição do extrato solubilizado dos blocos cerâmicos com incorporação da borra (em mg/L) de Santa Bárbara e de Nova Magalhães. Solubilização NBR 10006⁴.

Metais	Amostra Controle	Localidade						Limites NBR 10004
		Nova Magalhães			Santa Bárbara			
		0%	5%	5%	10%	15%	20%	
Nitrato	ND	-	0,13	0,0043	0,0016	0,0043	0,0136	10
Cloreto	0,7	23,133	14,63	31	104,39	20,28	140,89	250
Sulfato	12	430*	227,66	282,66	563,66*	356,33	1079,33*	400
Ferro	0,02	ND	0,03	ND	ND	ND	ND	0,3
Sódio	2,0	8,20	6,53	16	50,66	7,666	14,33	200
Alumínio	-	-	0,09	ND	ND	ND	ND	0,2
Prata	ND	-	ND	ND	ND	ND	ND	0,05
Bário	0,15	0,056	0,053	1,76*	3,73*	2,266*	6,066*	1,0
Arsênio	ND	-	ND	0,0546*	0,0066	0,0513*	0,0166	0,05
Fluoreto	0,4	0,50	0,466	0,666	0,1666	0,166	0,3	1,5

*Valores estão acima dos limites permitidos pela NBR 10004² – ND: não detectado.

ampliam a possibilidade de incorporação para até 20% representando um avanço em relação aos achados de Amaral e Domingues⁷, que testaram a incorporação da borra oleosa até o teor de 5%.

É possível também avançar, considerando a possibilidade de incorporação de 10 a 20%, em relação aos achados de Silva e Belo²¹, que apresentaram também resultados da incorporação de um rejeito não tóxico da indústria petroquímica, verificando que os valores de absorção de água se mantiveram dentro dos limites especificados na Norma Brasileira até 10% de incorporação.

Os trabalhos conduzidos por Santos, Souza e Holanda (2002)¹⁹, mostram dados concordantes com os resultados deste trabalho, uma vez que já chamavam a atenção para a possibilidade de utilização de até 20% de borra oleosa encapsulada na fabricação de produtos cerâmicos. No entanto, acrescenta-se aqui uma relevante contribuição, uma vez que se mostrou a incorporação da borra oleosa *in natura*, eliminando a necessidade de um tratamento intermediário, gerando economia e melhoria de processos.

A verificação do potencial de impacto ambiental dos blocos cerâmicos fabricados com a incorporação de borra oleosa foi realizada através das análises de lixiviação e solubilização e, contrariando os resultados de Amaral e Domingues⁷, que incorporaram borras oleosas na fabricação de blocos cerâmicos até o teor de 5% verificando a inércia dos mesmos, os blocos produzidos nesse trabalho foram considerados não-inertes.

Os resultados confirmam a fixação dos metais pesados no bloco cerâmico relatado por Silva²⁰, que avaliou a incorporação de resíduo de borra oleosa encapsulada em argilomineral na fabricação de materiais cerâmicos através de ensaios de solubilização, tendo sido demonstradas pequenas chances de serem provocados problemas ambientais.

Os resultados encontrados nos testes de solubilização, que classificam os blocos produzidos como não inertes, discordam do trabalho de Santos¹⁸ que, ao investigar a incorporação de borra oleosa encapsulada em argilomineral até o teor de 20% na confecção de materiais cerâmicos, concluiu que estes são inertes. Deve-se considerar, porém, que a incorporação do resíduo *in natura* aumenta a sua concentração na massa do bloco, porém não inviabiliza seu uso para o fim proposto.

4. Conclusões

As análises realizadas nos blocos cerâmicos produzidos com incorporação de borra oleosa em teores variando de 0 a 25% em peso, mostram que a resistência mecânica é inversamente proporcional ao aumento do teor de borra incorporada; o aumento da absorção de água é diretamente proporcional ao aumento do teor de borra incorporada; há formação de eflorescência nos blocos para todos os níveis de incorporação; o aumento do teor de sais solúveis é diretamente proporcional ao aumento do teor de borra incorporada limitando a incorporação de borra oleosa em até 20% em peso, conforme Norma Portuguesa NP 80¹⁴ e não houve lixiviação dos principais metais pesquisados em concentrações superiores aos Limites Máximos Permitidos pela Norma Brasileira NBR 10004², permitindo afirmar que os mesmos não são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde dos usuários. Os blocos produzidos foram classificados como Classe II ou Não Inertes no teste de solubilização.

Os resultados apresentados permitem visualizar que o teor mais adequado para incorporação de borra oleosa para fabricação dos blocos cerâmicos situa-se na faixa de 10% a 20% em peso, onde as suas características essenciais encontram-se maximizadas, tais como a resistência mecânica e a absorção de água, além de apresentar estabilidade química comprovada pelos resultados das análises de lixiviação e solubilização.

A borra oleosa produzida nos separadores água-óleo da UNSEAL/ATP-ST pode ser incorporada à massa argilosa para fabricação

de blocos cerâmicos de vedação utilizados na construção civil, até o teor de 20% em peso, não comprometendo as características essenciais de qualidade do bloco cerâmico, não comprometendo a saúde humana e não sendo prejudicial ao meio ambiente.

Foram introduzidos dois novos parâmetros na discussão da incorporação de resíduos em artefatos cerâmicos, que são a tendência à formação de eflorescência e a avaliação do teor total de sais solúveis, que se mostraram bastante informativos quando o resíduo apresenta uma alta salinidade.

Referências

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7171**: Bloco cerâmico para alvenaria. Especificação. Rio de Janeiro, 1992.
2. _____. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos. Classificação. Rio de Janeiro, 1987a.
3. _____. **NBR 10.005**: Lixiviação de resíduos. Procedimento. Rio de Janeiro, 1987b.
4. _____. **NBR 10.006**: Solubilização de resíduos. Procedimento. Rio de Janeiro, 1987c.
5. _____. **NBR 8947**: Telha cerâmica. Determinação da massa e da absorção de água. Rio de Janeiro, 1985.
6. _____. **NBR 6461**: Bloco cerâmico para alvenaria: Verificação da resistência à compressão. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983.
7. Amaral, S. P.; Domingues, G. H. Aplicação de resíduos oleosos na fabricação de materiais cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, 4, 1990. São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBP, 1990. p. 1-13. ref. TT-345. 1990.
8. Alves, M. R. F. V. **Reciclagem de borra oleosa: uma contribuição para a gestão sustentável dos resíduos da indústria de petróleo em Sergipe**. São Cristóvão, Se. UFS, 2003. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento. 191 p. 2003.
9. Barreto, A. J. B. **Uso de resíduos industriais provenientes do tratamento de efluentes na produção de blocos cerâmicos vazados: aspectos técnicos, econômicos e ambientais**. Rio de Janeiro, RJ: UGF, 1995. Monografia do Curso de Pós Graduação *Latu Sensu* de Ciências Ambientais da Universidade Gama Filho. 1995.
10. Casarini, D. C. P.; et al. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001. Série Relatórios Ambientais. 2001.
11. COPROCESSAR. **Fornos de cimento e metais**. Disponível em <http://coprocessar.hpg.ig.com.br/economia_e_negocios/14/index_int_8.html> Acesso em: 21 mar 2003.
12. Costa, C. E. S. **Desenvolvimento e avaliação de um produto cerâmico para construção civil aproveitando o rejeito proveniente da fabricação do zinco primário**. Rio de Janeiro, RJ: COPPE/UFRJ, 1998. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. 241p. 1998.
13. Fellenberg, G. **Introdução aos problemas da poluição ambiental**. EPU: São Paulo, 1980.
14. IGPAl - **Inspeção Geral dos Produtos Agrícolas e Industriais. Norma Portuguesa 80: Tijolos para alvenaria. Características e ensaios**. Lisboa, Portugal, 1964.
15. Junginger, M.; Medeiros, J. S. Ação da eflorescência de carbonato de cálcio sobre o vidro de placas cerâmicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, Foz do Iguaçu, 2002. **Anais...** Foz do Iguaçu: ENTAC, 2002.
16. Petrucci, E. G. R. **Materiais de construção**. 3 ed. Porto Alegre: Globo, 1978.
17. Rocca, A. C. C.; et al. **Resíduos sólidos industriais – 2. ed. rev. ampl.** São Paulo: CETESB, 1993. 233p.
18. Santos, R. S. **Reaproveitamento do resíduo borra de petróleo da Bacia de Campos – RJ em cerâmica vermelha**. Campos dos Goytacazes, RJ: UENF, 2001. Tese de mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais. 2001.
19. Santos, R. S.; Souza, G. P.; Holanda, J. N. F. Caracterização de massas

- argilosas contendo resíduo proveniente do setor petrolífero e sua utilização em cerâmica estrutural. **Revista Cerâmica**, v. 48, n. 307, p. 115-120, Jul/Ago/Set, 2002.
20. Silva, F. A. N. **Caracterização microestrutural e avaliação ambiental de cerâmicas argilosas com incorporação do resíduo borra de petróleo encapsulada**. Campos dos Goytacazes, RJ: UENF 2000. Tese de mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais.
21. Silva, N. I. W.; Belo, P. Avaliação de misturas de resíduo sólido com argila plástica para aplicação em cerâmica vermelha. **Revista Cerâmica**, v. 42, n. 276, p. 335-338, Jul/Ago, 1996.
22. Thomas, J. E. (Org.). **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, PETROBRAS, 2001. ISBN: 85-7193-046-5.
23. Verduch, A. G.; Solana, V. S. Formação de eflorescências na superfície dos tijolos. **Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 5, p. 38-46, Set/Out, 2000.