

RECICLAGEM DE RESÍDUO de E&P como material de construção

O cascalho de perfuração é constituído de partículas de rocha impregnadas com fluido de perfuração. Em geral, grande parte dos cascalhos de perfuração é disposta – embora eles possam ser tratados e, em alguns casos, reutilizados (Drilling Waste Management Information System, 2005a, Al-Ansary & Al-Tabbaa, 2007, Harbottle *et al.*, 2007). Segundo Page *et al.* (2003), o destino final do cascalho de perfuração está condicionado ao teor de hidrocarbonetos de petróleo total, ao teor de umidade, à salinidade, e à fração de argila existente.

A disposição em diques pode ser temporária, como se observa na **Figura 1**, ou permanente. Em geral, os cascalhos são lançados em diques próximos aos poços perfurados e apresentam-se abertos, acumulando águas de chuva e de lavagem. Neste sentido, os diques em geral são impermeabilizados, a não ser que o material de fundação apresente condições hidrogeológicas favoráveis (Drilling Waste Management Information System, 2005b).

Atualmente, as operações de perfuração na UN-Seal secam o cascalho de perfuração através de centrífugas verticais que diminuem consideravelmente o teor de fluido agregado ao cascalho antes da disposição temporária. A secagem, vista na **Figura 2**, vem alcançando índices inferiores a 8%.

Ao final das operações de perfuração, os fluidos sobrenadantes no dique são extraídos e tratados adequadamente. O destino final dos cascalhos está condicionado à sua composição. Caso não apresente perigo aos recursos hídricos, o dique poderá receber um sistema de cobertura que minimizará a formação de lixiviados. Caso algum constituinte do cascalho apresente um teor ligeiramente superior àqueles em geral recomendados para disposição desta natureza, o cascalho poderá ser misturado ao solo natural local a fim de diluir a concentração deste dado elemento ou composto (Bansai & Sugiarto, 1999). Após a implantação do sistema de cobertura, é recomendável a introdução de vegetação a fim de minimizar a ocorrência de erosão (Drilling Waste Management Information System, 2005b). Caso a concentração de constituintes perigosos no cascalho for superior à recomendada, ele é retirado do dique temporário e disposto adequadamente *off site* ou então tratado.

No primeiro caso, a disposição permanente de cascalho de perfuração é realizada em aterros industriais ou em aterros especificamente construídos para este fim, como o operado pela Total Fina Elf, na Líbia, descrito por Morillon *et al.* (2002). Alternativamente, os cascalhos de perfuração podem ser empre-



Patrício José Moreira Pires é mestre em Engenharia Civil e doutorando em Engenharia Civil, na Área de Geotecnia ambiental na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. É engenheiro de Pesquisas do Núcleo de Geotecnia Ambiental da PUC (NGA/PUC-Rio), onde desenvolveu trabalhos de pesquisa e consultoria ambiental para a Petrobras, Shell, entre outras empresas.

José Tavares Araruna Júnior é da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC Rio).

Jonas Alexandre é da Universidade Estadual do Norte Fluminense.



Figura 1 – Armazenamento temporário dos cascalhos de perfuração do Campo de Carmópolis



Figura 2 – Processo de secagem do cascalho de perfuração no poço ANB-03

gados como materiais de pavimentos ou como materiais de construção, conforme sugerem Smith *et al.* (1999).

O presente trabalho descreve o programa experimental que buscou viabilizar a aplicação do cascalho de perfuração dos Campos de Carmópolis (SE), Pilar (AL) e Anambé (AL) aproveitando as sugestões de Smith *et al.* (1999).

O programa consistiu de uma fase de investigação de campo que buscou identificar materiais argilosos que pudessem ser incorporados ao cascalho de perfuração a fim de confeccionar peças cerâmicas. A segunda etapa do programa experimental consistiu de uma série de ensaios visando a sua aplicação como material de construção de peças cerâmicas.

Caracterização dos materiais

Os materiais argilosos coletados nas áreas de produção do Campo de Carmópolis, Anambé e Pilar bem como os cascalhos de perfuração dos respectivos campos foram submetidos a ensaios para a determinação de suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas. Os ensaios constantes do programa experimental foram realizados em laboratórios da PUC-Rio, da Embrapa Solos e da Analytical Solutions. Os materiais em questão foram denominados de Cajueiro-Cerâmica Bandeira, Siriri-Cerâmica Incelt, Cascalhos de perfuração CP129, Cascalhos de perfuração CP1549, Cascalhos de perfuração CP223D e Cascalhos de perfuração CPANB03 Base água.

Os materiais, solos argilosos e cascalhos, apresentaram densidade dos grãos variando entre 2,65 e 2,76 sugerindo que os seus grãos são constituídos basicamente de quartzo e silicatos de alumínio. Todos os materiais apresentaram elevado teor de finos, indicativo de boa

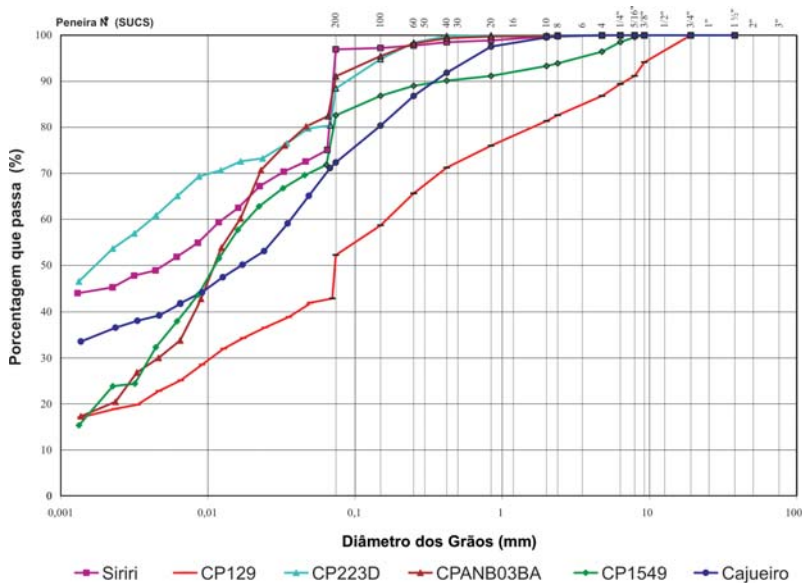


Tabela 1 – Valores de pH

Material	pH (solo/H ₂ O)	pH (solo/KCl)
Cajueiro – Cerâmica Bandeira	7,3	5,5
Siriri – Cerâmica Incelt	7,8	7,1
Cascalho de perfuração CP129	8,0	7,9
Cascalho de perfuração CP1549	10,3	10,3
Cascalho de perfuração CP223D	8,9	8,3
Cascalho de perfuração CPANB Base Água	10,0	10,0

cado como uma argila arenosa de baixa plasticidade, ficando incluso no grupo CL, enquanto que o solo Siriri foi classificado como uma argila arenosa de alta plasticidade, ficando incluso no grupo CH.

Os resultados dos ensaios de pH, ilustrados na **Tabela 1**, mostraram que o Cascalho de Perfuração CP1549 e o Cascalho de perfuração CPANB03 são fortemente alcalinos. O Cascalho de perfuração CP223D e o Cascalho de perfuração CP129 mostraram-se levemente alcalinos. Já os solos Cajueiro – Cerâmica Bandeira e Siriri – Cerâmica Incelt possuem pH que podem ser classificados como neutro.

Observou-se uma diferença negativa entre o pH (solo/H₂O) e o pH (solo/KCl) tanto para o solo Cajueiro – Cerâmica Bandeira quanto para o solo Siriri – Cerâmica Incelt. Dada à variação negativa do pH nas diferentes soluções, os materiais argilosos em questão apresentam o potencial de reter cátions. Na prática, os dois materiais podem eventualmente reter o sódio presente nos sais empregados nas lamelas de perfuração e que se encontra adsorvido aos cascalhos de perfuração.

As análises de fluorescência de raios-X mostraram um predomínio de SiO₂ e Al₂O₃ que são os principais constituintes de quartzo e de argilominerais. Observou-se ainda a presença de bário e do cloreto para os cascalhos de perfuração. Presume-se que este valor é fruto da ação do fluido de perfuração na formação.

Os valores de SiO₂ e Al₂O₃ obtidos nas análises de ataque com extrato sulfúrico para todos os materiais deram uma indicação da existência de argilomineirais em sua constituição.

Os cascalhos de perfuração têm o íon cálcio como o mais disponível para troca, seguido pelo magnésio e o sódio. O cascalho CPANB03 apresentou um alto valor de capacidade de troca do íon sódio, tendo superado o cálcio como o íon com maior facilidade de troca. Em relação aos solos, os íons com maior disponibilidade de troca foram o cálcio e o magnésio.

As análises de sais solúveis mostraram que o cascalho CP1549, o cascalho CP223D, e o cascalho CPANB03 possuem elevado teor de sódio dissolvido e condu-

tividade elétrica elevada. Estes valores muito provavelmente estão associados ao tipo de fluido de perfuração empregado. Observa-se que o cascalho de perfuração CP129 apresenta valores inferiores aos demais, o que pode ter sido fruto da forma de disposição em que ora se encontra. A disposição prolongada em diques pode ocasionar a lixiviação dos sais solúveis.

Com base na NBR 10.004, os cascalhos CP129, CP1549, CP223D e CPANB03 são classificados como Resíduo Classe II A (Não Inerte) enquanto que os solos Siriri – Cerâmica Incelt e Cajueiro – Cerâmica Bandeira são classificados como Resíduo Classe II B (Inerte).

As análises mineralógicas revelaram que nos solos argilosos estão presentes os minerais quartzo, caulinita e mica enquanto nos cascalhos de perfuração estão presentes quartzo, calcita e mica.

Programa experimental

A produção das peças cerâmicas foi realizada visando a reproduzir os processos de fabricação das Cerâmicas Incelt e Bandeira.

Ao todo, foram confeccionadas peças cerâmicas resultantes da adição dos quatro tipos de cascalho de perfuração aos dois tipos de materiais argilosos. A **Tabela 2** descreve o processo de incorporação do cascalho de perfuração ao solo argiloso.

Tabela 2 – Descrição das misturas realizadas

Material Argiloso	Cascalho de Perfuração	Mistura Resultante
INCELT	CP129	INCELT + 5% de CP129 INCELT + 10% de CP129
INCELT	CP1549	INCELT + 5% de CP1549 INCELT + 10% de CP1549
BANDEIRA	CPANB03	INCELT + 5% de CPANB03 INCELT + 10% de CPANB03
BANDEIRA	CP223D	INCELT + 5% de CP223D INCELT + 10% de CP223D

Não foi observado um padrão de variação da massa específica em função do teor de incorporação de cascalho após o processo de secagem, conforme pode ser visto na **Figura 4**.

Em relação à queima, **Figura 5**, não foi observada variação expressiva da massa específica na maioria dos materiais. Apenas no caso da incorporação do cascalho CP1549 ao material Incelt foi observada uma ligeira redução.

Em relação à variação linear após o processo de secagem, os resultados, ilustrados na **Figura 6**, não revelaram um padrão de acréscimo ou redução da variação linear em função do teor de incorporação do cascalho de perfuração. Em alguns casos, o aumento da incorporação do cascalho de perfuração causou um ligeiro decréscimo (e.g., CP1549 e CP223D), em outros casos, inclu-

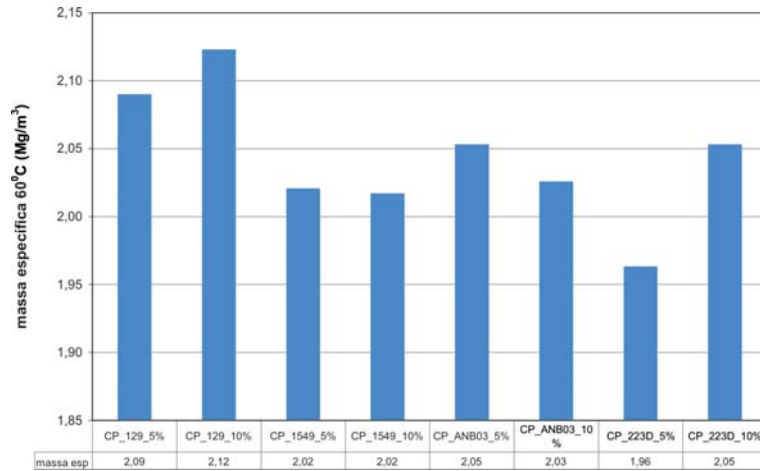


Figura 4 – Massa específica após o processo de secagem

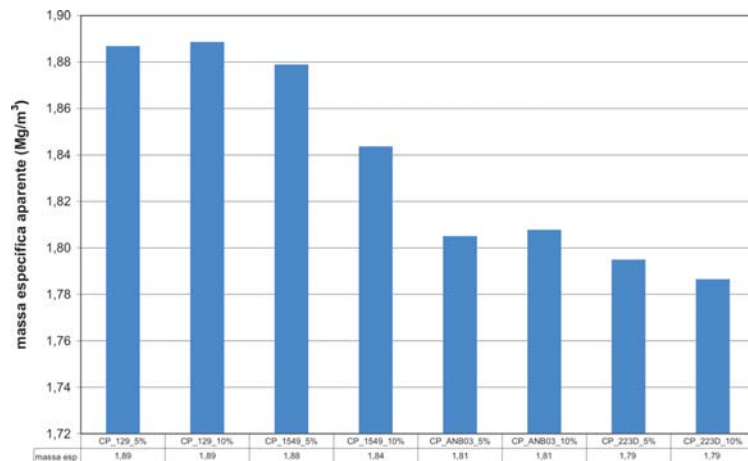


Figura 5 – Massa específica após a queima

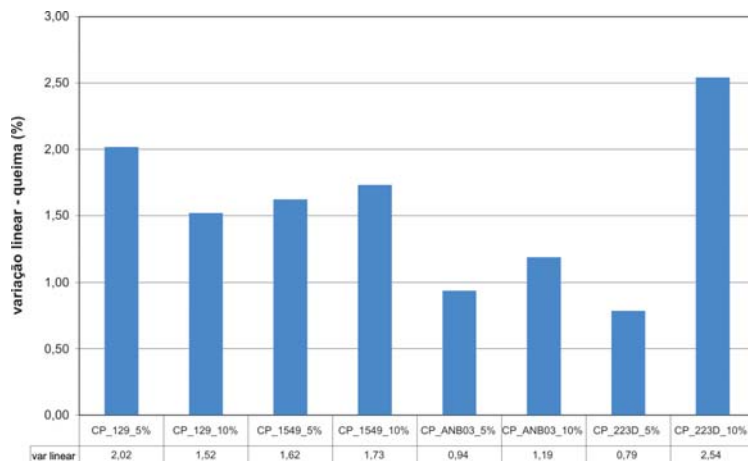


Figura 6 – Variação linear após o processo de queima

do o CP129 e CPANB03, o aumento da incorporação causou ligeiro acréscimo na variação linear. Para efeitos práticos, pode-se concluir que o aumento da incorporação do cascalho de perfuração não alterou a variação linear dos corpos de prova após o processo de secagem, como também observado no processo de queima.

De maneira geral, os resultados dos ensaios de porosidade, ilustrados na **Figura 7**, revelaram que os

corpos de prova confeccionados com o material da cerâmica Incelt apresentaram menor valor de porosidade que os que os corpos de prova confeccionados com o material da cerâmica Bandeira. No entanto, a diferença observada é bastante pequena.

Em relação à absorção de água, não foi observado um padrão de variação deste parâmetro em decorrência do aumento do teor de incorporação de cascalho de perfuração na mistura conforme pode ser visto na **Figura 8**. De maneira geral, os resultados revelaram que os corpos de prova confeccionados com o material da cerâmica Incelt apresentaram um menor valor de absorção de água que os dos corpos de prova confeccionados com o material da cerâmica Bandeira.

As peças cerâmicas foram submetidas a ensaio de flexão a fim de determinar a tensão de ruptura à flexão. Verificou-se em geral, conforme pode ser visto na **Figura 9**, uma redução no valor da resistência, com o aumento do teor de incorporação do cascalho de perfuração. Apenas os corpos de prova confeccionados a partir da incorporação do CP129 apresentaram um ligeiro acréscimo da resistência com o teor de incorporação. No entanto, a diferença observada foi pequena.

Os resultados apresentados na **Figura 10** revelaram grande diferença de valores de resistência entre os corpos de prova confeccionados com o material Incelt e os corpos de prova confeccionados com o material Bandeira. A diferença nos valores de porosidade e de absorção de água determinados já davam uma clara indicação da diferença que seria observada.

Os resultados indicaram que, além de serem mais resistentes, as peças confeccionadas com o material Incelt mobilizam a resistência máxima a um maior nível de deslocamento, *i.e.* apresentam menor módulo de deformabilidade.

As peças cerâmicas resultantes da incorporação dos cascalhos de perfuração foram classificadas em relação à sua pericu-

losidade por meio do emprego da norma brasileira de classificação de resíduos sólidos (NBR 10.004). Em virtude do teor de alumínio dissolvido ter suplantado o valor máximo permitido pela NBR 10.004 em seu anexo G, as peças cerâmicas confeccionadas a partir da incorporação dos cascalhos de perfuração CP129 e CP1549 ao solo Siriri foram classificadas como resíduos não perigosos não inertes, obtendo a classificação IIA, não

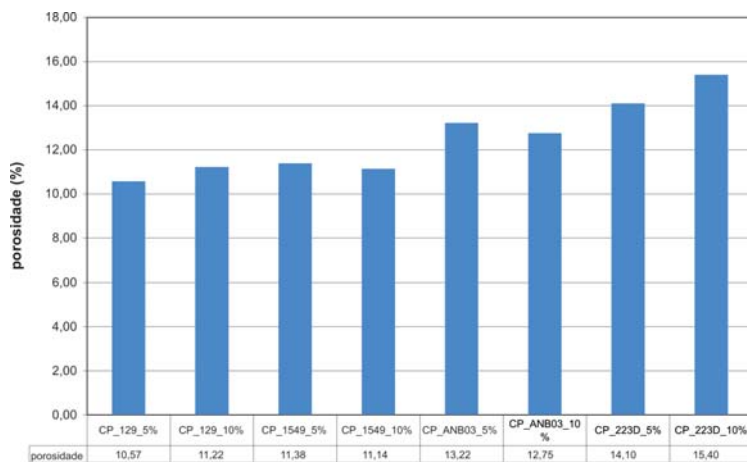


Figura 7 – Porosidade após a secagem

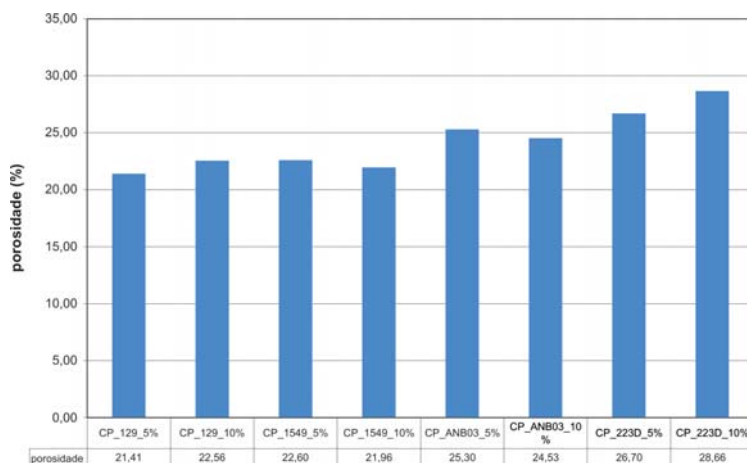


Figura 8 – Porosidade após a queima

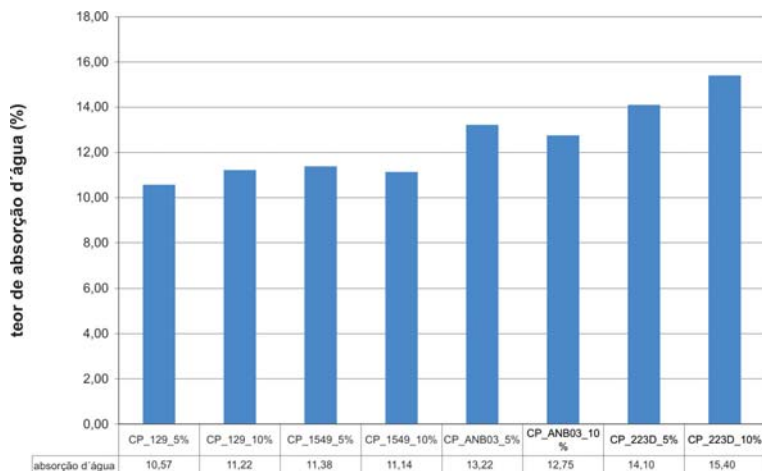


Figura 9 – Absorção de água

obstante o teor de incorporação. Já as peças obtidas a partir da incorporação de 5% do cascalho CPANB03 e de 10% do cascalho CP223B ao solo Cajueiro foram classificadas como resíduos não perigosos não inertes, obtendo a classificação IIA. No entanto, as peças obtidas a partir da incorporação de 10% do cascalho CPANB03 e de 5% do cascalho CP223B ao solo Cajueiro foram classificadas como resíduos não perigosos inertes, obtendo a classificação IIB.

Viabilidade

Os resultados das principais propriedades tecnológicas de cerâmicas vermelhas obtidos no presente programa experimental demonstraram a viabilidade de incorporação dos cascalhos de perfuração dos Campos de Carmópolis, Pilar e Anambé a materiais argilosos para a execução de tijolos.

As propriedades tecnológicas das peças cerâmicas sempre foram incluídas nas faixas de variação ótima e aceitável seguindo a classificação proposta por Dondi (2006). Quando os resultados foram comparados aos obtidos nos pólos cerâmicos de Santa Gertrudes (SP) e Campos dos Goytacazes (RJ), verificou-se semelhança nos valores obtidos na grande maioria dos casos.

Cabe ressaltar que a resistência à flexão das peças resultantes da incorporação dos cascalhos dos Campos de Carmópolis apresentou valores cerca de duas vezes superior ao valor médio das peças do pólo de Campos dos Goytacazes (RJ). O mesmo padrão de similaridade de valores foi também observado nos diversos casos de incorporação de outros tipos de resíduos perigosos, inertes e não inertes em massas de cerâmicas vermelhas relatados na literatura técnica, *e.g.*, Balaton *et al.* (2002), Modesto *et al.*, (2003), Silva e Portela (2005), e Alves e Holanda (2005).

Os riscos ambientais decorrentes da incorporação dos cascalhos foram avaliados mediante testes de lixiviação e solubilização nas peças cerâmicas após serem submetidas à queima. Os resultados indicaram que as peças produzidas lixiviam alguns poucos constituintes inorgânicos (*e.g.*, bário, chumbo e cromo) e orgânicos (fluoreto). Contudo, todos eles em concentrações bem abaixo do valor máximo permitido pelas normas brasileiras, sugerindo que estes ficaram indisponibilizados no material cerâmico.

Em relação aos constituintes solubilizados, foi observado que, na grande maioria das incorporações, o alumínio dissolvido apresentou concentrações superiores ao valor máximo permitido. Ressalta-se aqui que o alumínio é um dos principais constituintes dos solos argilosos bem como das formações dos reservatórios. Esperava-se que o seu valor solubilizado fosse superior ao estipulado pela NBR 10.004. No entanto, os valores medidos de alumínio dissolvido estão bem

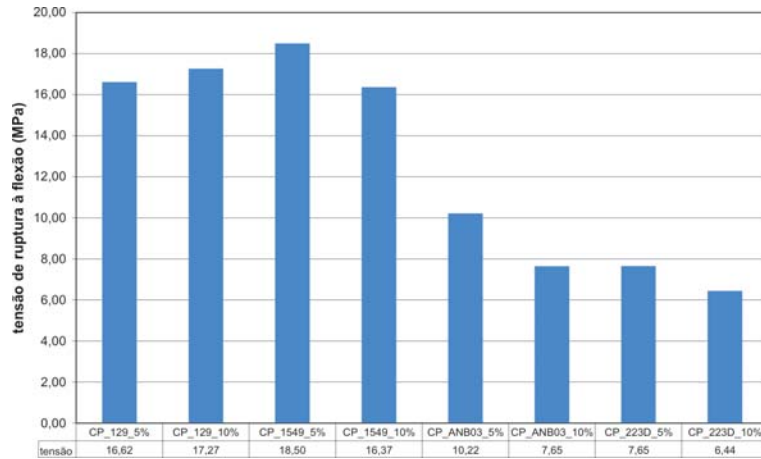


Figura 10 – Valores médios da resistência das vigotas

abaixo do padrão para o lançamento de efluentes líquidos estipulado pela NT-202 da Feema/RJ (1986), *i.e.* 3,0mg/L.

Em relação à classificação das peças cerâmicas oriundas do programa experimental segundo a norma brasileira de classificação de resíduos (NBR 10.004), os resultados mostram que as peças se encaixam na categoria de resíduo não perigoso Classe II, sugerindo a sua aplicação dos materiais testados como bloco cerâmico de vedação. ■

Referências

- AL-ANSARY, M. & Al-Tabbaa, A. (2007). Stabilisation/solidification of sythetic petroleum drill cuttings. *Journal of Harzardous Materials*, 141, pp. 410-421.
- ALEXANDRE, J., ALBUQUERQUE Jr., F.S. & XAVIER, G.C. (2006). Análises das alterações das propriedades mecânicas de produtos cerâmicos em função do tempo de queima. *Cerâmica Industrial*, 11 (4), pp. 17-20.
- ALVES, M.R.F.V. & HOLANDA, F.S.R. (2005). Reciclagem da borra oleosa através da incorporação em blocos cerâmicos de vedação. *Cerâmica Industrial*, 10 (3), pp. 17-20.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1985). *Standard Test Method of Soils for Engineering Purposes – D 2485*. Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08. Philadelphia, USA.
- BALATON, V.T. & FERRER, L.M. (2002). Incorporação de Resíduos Sólidos Galvânicos em Massas de Cerâmica Vermelha. *Cerâmica Industrial*, 7 (6), pp. 42-45.
- BANSAI, K.M. & SUGIARTO (1999). *Exploration and Production Operations – Waste Management a Comparative Overview: US and Indonesia Cases*, SPE 54345, SPE Asia and Pacific Oil and Gas Conference, Jakarta, Indonesia.
- DRILLING WASTE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM (2005a). *Fact Sheet – Beneficial Reuse of Drilling Wastes*, available at <http://www.web.ead.anl.gov/dwm/techdesc/reuse/index.cfm>.
- _____. (2005b). *Fact Sheet – Land Application*, available at <http://www.web.ead.anl.gov/dwm/techdesc/land/index.cfm>.
- _____. (2005c). *Fact Sheet – Solidifications and Stabilization*, available at <http://www.web.ead.anl.gov/dwm/techdesc/solid/index.cfm>.
- DEUEL Jr., L.E & HOLLIDAY, G.H. (1997). *Soil Remediation for the Petroleum Extraction Industry* (2nd. Edition). PennWell, Oklahoma, 242p.
- DONDI, M. (2006). Caracterização tecnológica dos materiais argilosos: métodos experimentais e interpretação dos dados. *Cerâmica Industrial*, 11 (3), pp. 36-40.
- EMBRAPA (1997). *Manual de Métodos de Análise de Solos* (segunda edição). Rio de Janeiro, 212 p.
- FERNANDES, A.C., CAMPOS E SOUZA, P.E., SANTANA, P.R., MORENO, M.M. T. & CARVALHO, S.G. (1998). *Cerâmica Industrial*, 3 (4-6), pp. 24-29.
- HARBOTTLE, M.J., AL-TABBAA, A. & EVANS, C.W., A comparison of the technical sustainability of in situ stabilisation/solidification with disposal to landfill. *Journal of Harzardous Materials*, 141, pp. 430-440.
- IBGE (1995). *Manual Técnico de Pedologia*. Rio de Janeiro, 104p.
- MODESTO, C., BRISTOT, V., MENEGALI, G., De BRIDA, M., MAZZUCCO, M., MAZON, A., BORBA, G., VIRTUOSO, J., GASTALDON & M., DE OLIVEIRA, A.P.N. (2003). Obtenção e caracterização de materiais cerâmicos de resíduos sólidos industriais. *Cerâmica Industrial*, 8 (4), pp. 14-18.
- MORILLON, A., VIDALIE, J.F., HAMZAH, S., SURIPNO, S. & HADINOTO, E.K. (2002). *Drilling and waste management*, SPE 73931, Proceedings of the SPE International Conference on Health, Safety and the Environment in Oil and Gas Exploration and Production.
- PAGE, P.W., GREAVES, C., LAWSON, R. & BOYLE, F. (2003). *Options for the recycling of drill cuttings*, SPE 805583, Proceedings of the SPE/EPA/DOE Exploration and Production Environmental Conference, San Antonio, TX.
- SILVA, J.R.R. e PORTELLA, K.F. (2005). Caracterização físico-química de massas cerâmicas e suas influências nas propriedades finais de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, 10 (5/6), pp. 12-18.
- SMITH, M., MANNING, A. & LANG, M. (1999). *Research on the re-use of drill cuttings onshore*, available at <http://www.bmtcordah.com/downloads/Re-use%20of%20Drill%20Cuttings%20Onshore.pdf>.
- SOUZA SANTOS, P. (1975). *Tecnologia de Argilas: Volume Aplicações* (vol. 2). Editora Edgar Blücher, São Paulo, 802p.