

AVALIAÇÃO DO RESÍDUO DE CASCALHO DE PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO DA BACIA POTIGUAR E ALTERNATIVAS PARA SUA DESTINAÇÃO E REAPROVEITAMENTO

EVALUACIÓN DE RESIDUOS DE PERFORACIÓN GRAVA POZOS PETROLEROS POTIGUAR CUENCA Y ALTERNATIVAS A SU DESTINO Y REUTILIZACIÓN

CARLA GRACY MENESES

Doutora em Engenharia Química, Professora da Universidade Potiguar.
E-mail: carlagracy@unp.br

GÊMINSO DE ARAÚJO PAULA

Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho e em Empresarial. Professor da Universidade Potiguar.
E-mail: geminsonpaula@gmail.com

Envio em: julho de 2014

Aceite em: Setembro de 2014

RESUMO

A atividade petrolífera envolve grande potencial de riscos ao meio ambiente, entre os quais se destaca a produção de grandes volumes de cascalhos na perfuração de poços de petróleo. Tem se tornado grande desafio, para os governos e empresas envolvidas, a destinação final desse resíduo de forma adequada às exigências ambientais. Para isso, faz-se necessário, inicialmente, classificá-lo conforme a legislação ambiental pertinente, para situá-lo ou não entre os resíduos potencialmente mais perigosos. Com base nessa classificação, é fundamental a investigação de alternativas para solucionar o problema do acúmulo de grandes volumes desse resíduo na superfície, considerando-se as exigências ambientais e as técnicas atuais disponíveis, seja na forma de deposição em aterros com tratamento térmico ou não, seja por meio de sua reciclagem a partir de outros processos industriais. Concluiu-se pela viabilidade ambiental tanto de sua destinação em aterros sanitários, como de sua reciclagem como matéria prima na indústria da construção civil, sugerindo-se como melhor alternativa o coprocessamento do resíduo de cascalho de perfuração em fornos de clínquer para fabricação de cimento.

Palavras-Chave: Cascalho. Perfuração. Poluição. Fluido de perfuração. Resíduo sólido. Reciclagem.

ABSTRACT

Oil activity involves large potential risks to the environment, among which stands out the production of large volumes of cuttings in drilling oil wells. Has become a challenge for governments and companies involved the disposal of this waste appropriately to environmental demands. For this, it is necessary to initially classify it as relevant to situate it or not among the most potentially hazardous waste environmental legislation. Based on this classification is fundamental to investigate alternatives to solve the problem of the accumulation of large volumes of this residue on the surface, considering the environmental requirements and current techniques available, either as landfill heat treated or not, is by recycling from other industrial processes. It was concluded that both environmental viability of its destination in landfills, as recycling as raw material in the construction industry, suggesting better alternative co-processing of waste drill cuttings in clinker kilns for cement manufacturing.

Keywords: Gravel. Drilling. Pollution. Drilling fluid. Solid waste. Recycling.

1- INTRODUÇÃO

Há mais de meio século que a indústria de petróleo vem se desenvolvendo no Brasil em busca da independência em relação à sua importação e a de seus derivados. Para tanto, rastreando as jazidas geológicas existentes, a PETROBRAS tem posicionado suas sondas ao longo do território brasileiro em sua plataforma continental.

Não obstante o predomínio da produção de petróleo off-shore, a atividade terrestre vem sendo exercida em alguns Estados brasileiros, entre os quais Bahia, Sergipe, Alagoas, Espírito Santo, Amazonas e Rio Grande do Norte. Geograficamente, esta pesquisa se delimita aos contornos da Bacia Potiguar, em sua porção terrestre, que abrange os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará.

No Estado do Rio Grande do Norte, a exploração e a produção de petróleo se desenvolvem no litoral e em algumas regiões continentais, em especial nos campos de petróleo terrestres, situados nos municípios de Mossoró, Areia Branca, Alto de Rodrigues, Apodi e Macau, notadamente na região oeste do Estado.

A escolha dessa região como cenário para a pesquisa ora em comento se deve à sua relevância entre os campos produtores de petróleo em nosso país, uma vez que já figurou em primeiro lugar na produção de petróleo e gás terrestre, à época sendo o Canto do Amaro considerado o maior campo de petróleo terrestre em atividade no país, bem como que, atualmente, representa uma bacia madura e consolidada, que responde por grande parte da produção nacional terrestre de petróleo e gás.

A indústria petrolífera, durante suas operações, gera grandes volumes de resíduos líquidos e sólidos nocivos ao meio ambiente e à saúde pública. Evidentemente, quando adequadamente tratados, destinados e até reciclados, com balizamento em padrões internacionais inclusive, seus efeitos nefastos podem ser reduzidos a níveis aceitáveis.

Entre esses resíduos, ocupam posição de relevância os cascalhos de perfuração. A preocupação maior da indústria de petróleo e gás se deve à quantidade desses resíduos gerada e a seus contaminantes, sejam orgânicos ou inorgânicos. Esforços têm sido empreendidos, tanto pelos gestores públicos, quanto pela iniciativa privada, com vistas a atender as determinações legais, bem como a prevenir danos ao meio ambiente e à saúde pública, porém, muito ainda há que ser feito para que seja alcançado o tão sonhado meio ambiente equilibrado.

O presente estudo é direcionado ao impacto ambiental, eventualmente, provocado pelos cascalhos provenientes da perfuração no âmbito dos campos de petróleo

terrestres da bacia potiguar, que são, em um primeiro instante, carregados para fora do poço, através da circulação do fluido de perfuração e, posteriormente, destinados a local previamente estabelecido, onde serão depositados, ou mesmo incinerados, ou, ainda, reaproveitados na composição de produtos industriais.

É importante ressaltar o papel relevante de normatizador e fiscalizador ambiental do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA) do Rio Grande do Norte em relação à grande demanda das empresas quanto ao seu licenciamento operacional e de instalação, que viabiliza a fiscalização e adequação da produção industrial aos limites ambientais determinados, para evitar a poluição do meio ambiente, sendo exigência, inclusive constitucional, a busca por um meio ambiente ecologicamente equilibrado e sustentável.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o cascalho de perfuração de poços na Bacia Potiguar terrestre e analisar possíveis alternativas de sua destinação final e reaproveitamento ambientalmente adequadas.

2- CARACTERIZAÇÃO DA BACIA POTIGUAR

A Bacia Potiguar situa-se no extremo leste da Margem Equatorial brasileira, compreendendo um segmento emerso e outro submerso ao longo dos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará, ao longo de uma área de 48.000 km²; destes, 21.500 km² correspondem à sua parte emersa (FILHO, 2007), que se limita, ao norte, com o Oceano Atlântico; ao sul, com o embasamento cristalino; ao noroeste, com o Alto de Fortaleza/CE; e ao leste, com a Bacia Pernambuco-Paraíba pelo Alto de Touros/RN (SOARES et al, 2003 *apud* LIMA, 2006 *apud* CASTRO et al, 2010).

A porção terrestre da Bacia Potiguar se estende ao longo do território de 15 municípios produtores de petróleo no Rio Grande do Norte: Alto de Rodrigues, Apodi, Areia Branca, Assu, Caraúbas, Carnaubais, Felipe Guerra, Governador Dix-Sept Rosado, Guamré, Macau, Mossoró, Pendências, Porto do Mangue, Serra do Mel e Upanema (ARAÚJO, 2010).

Buscando-se identificar as formações rochosas existentes na Bacia Potiguar, tomou-se como base o campo de petróleo de Canto do Amaro, por ser este o mais representativo entre os campos dessa Bacia, seja por conter grande quantidade de poços perfurados, seja por ser o campo que apresenta a maior produção de petróleo.

As formações geológicas que compõem o perfil geológico dos poços do campo de Canto do Amaro são as mostradas na Tabela 1, com pequenas alterações de profundidades de poço para poço.

Tabela 1 – Formações geológicas de poços de petróleo da Bacia Potiguar

Formação Barreiras	0 a 30m
Formação Jandaíra	30 a 400m
Formação Açú	400 a 855m
Formação Alagamar	855 a 880 m
Embasamento	topo a 880 m

Fonte: PREDA et al, 2012.

3- CARACTERIZAÇÃO DOS CASCALHOS

Conforme Serra (2003 apud MORAES, 2010), o cascalho representa os fragmentos de rocha deslocados pela broca e carreados para a superfície no fluido de perfuração. Esses fragmentos são, também, denominados de amostra de calha. Estas, quando estão lavadas e secas, são analisadas pelos geólogos para a obtenção de informações sobre as formações perfuradas. O termo cascalho é utilizado na indústria do petróleo para qualquer sedimento retirado do poço, seja de granulometria fina, seja grossa.

Ao retornar à superfície, o fluido de perfuração traz consigo o cascalho, além de lodo, areia e gases; quando é submetido a um processo de separação de sólidos e uma vez apresentando as características desejadas, é rebombeado para o poço, fechando, assim, o ciclo de bombeamento.

Estima-se que cerca de 10 a 15% do volume do fluido de perfuração permanecem aderidos aos cascalhos após o processo de separação (MORAES, 2010), o que, indubitavelmente, irá influenciar a composição do resíduo sólido a ser transportado e destinado a aterro, reaproveitamento ou mesmo a sua incineração.

Dessa forma, tem-se a composição do cascalho determinada, fundamentalmente, pela composição da rocha cortada, que deixa o poço bombeado pelo fluido de perfuração, predominando, assim, a composição mineral da formação perfurada.

O volume de cascalho produzido durante a perfuração, teoricamente, corresponde ao volume do poço acrescido de 20%, em decorrência de eventuais desmoronamentos das formações para dentro do poço, de forma que, para cada 100 metros perfurados, são produzidos cerca de 13 metros cúbicos de cascalho (FIALHO, 2012).

Assim, um poço com profundidade de 900 metros (Canto do Amaro) e diâmetro médio de 8,75 polegadas geraria, em média, o volume de 41,9 metros cúbicos de cascalho. Considerando-se uma densidade média do cascalho de 2,6 kg/dm³ (FIALHO, 2012), esse volume corresponderia a 108,9 toneladas.

Da mesma forma, considerando 600 metros como profundidade média dos poços da Bacia Potiguar terrestre e diâmetro médio do poço de 8,75 polegadas e, ainda, o número de poços perfurados de 7.703 desde o início de sua exploração até o ano de 2012 (ANP, 2012), obtém-se o volume gerado de cascalho da ordem de 215.170 m³, que correspondem à massa de 559.443,2 toneladas, sendo necessária, para o seu transporte, a utilização de cerca de 25.429 carretas com capacidade de carga de 22 toneladas.

A composição química dos cascalhos é muito variada e depende, principalmente, da composição das formações rochosas perfuradas e da composição química do fluido de perfuração (FIALHO, 2012). A Tabela 2 mostra os principais componentes químicos dos cascalhos em percentagem.

Tabela 2 – Composição dos cascalhos de perfuração

Determinações (%)	ABBE <i>et al</i> (2009)	PIRES (2009)	MEDEIROS (2010)	LEONARD e STEGEMAN (2010)	VALORES MÉDIOS
SiO ₂	37,60	43,96	36,5	60,4	44,61
Al ₂ O ₃	13,54	21,48	11,5	10,4	14,23
Fe ₂ O ₃	6,34	5,40	4,5	4,9	5,29
BaO	11,39	2,38	N.A.	N.A.	3,44
CaO	2,78	18,12	35,3	2,5	14,68
MnO	0,17	N.A.	0,09	0,06	0,08
MgO	2,31	N.A.	N.A.	2,0	1,08
K ₂ O	2,33	4,51	2,7	1,7	2,81
Na ₂ O	1,17	N.A.	N.A.	2,4	0,89
TiO ₂	0,65	N.A.	0,81	0,6	0,52
P ₂ O ₅	0,10	N.A.	N.A.	0,1	0,05

Fonte: FIALHO, 2012, adaptada.

4- O PROBLEMA DA DESTINAÇÃO FINAL DO CASCALHO

A atividade de exploração e produção de petróleo apresenta diversos riscos, entre estes os grandes volumes de cascalho que são carreados à superfície pelo fluido de perfuração por ocasião da perfuração de poços, o que tem trazido preocupação aos órgãos governamentais e à sociedade como um todo.

As perdas condicionadas ao meio ambiente pela utilização de derivados de petróleo, desde a extração até a distribuição, representam um problema de extensão mundial com potencial de contaminação ao meio ambiente. A necessidade crescente de preservação dos recursos naturais e dos espaços designados à ocupação humana requer a criação de soluções tecnológicas efetivas para a destinação final dos resíduos gerados nas diversas etapas de produção, minimizando, de forma eficaz, os impactos ambientais (GANGHIS et al, 2009).

Estima-se que, na região nordeste do Brasil, exista, atualmente, uma quantidade de resíduos da ordem de 100 mil m³ oriundos do processo de perfuração de poços para produção de petróleo; e, ainda, em função do crescente número de poços que estão em fase de construção, estima-se uma geração anual de 50 mil m³. Embora, comumente, classificado pela legislação brasileira como classe II, a destinação de grandes quantidades desse tipo de resíduo, com as características físico-químicas encontradas, tem se mostrado um grande desafio para as empresas do setor e órgãos ambientais (GANGHIS, 2009).

A acumulação desse resíduo exige a urgente implementação de medidas ao menos atenuadoras de seus efeitos nefastos ao meio ambiente, já que não é possível cessar sua geração.

5- POSSIBILIDADES QUANTO AO MANUSEIO E DESTINAÇÃO FINAL DOS CASCALHOS

A melhor forma de tratar os resíduos é não gerá-los, seguindo a ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, prevista no art. 9º, da Lei nº 12.305/2010 (PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS).

Também, verifica-se não ser possível a redução de sua geração, uma vez que não são resíduos gerados por desperdício, erros operacionais, etc., mas como resultado natural da própria atividade industrial – à medida que a broca avança no poço, todo o cascalho perfurado há de ser retirado de seu interior. Pelo mesmo motivo, conclui-se pela impossibilidade de minimização do volume gerado de cascalho, ainda que por modificações no processo de perfuração de poços (CARVALHO, 1993

apud TOCHETTO, 2005).

Atualmente, existem diversos estudos para o uso do cascalho em materiais de construção. Estes apontam alternativas para a construção de sub-base de pavimentação, materiais cerâmicos e cimentícios. Esta etapa do estudo tem por objetivo realizar os ensaios para avaliar a influência da substituição de parte da areia natural por cascalhos de perfuração em blocos de concretos para pavimentação intertravada.

Segundo Miller (2011), podemos lidar com os resíduos sólidos que produzimos de duas maneiras: por meio da redução de resíduos e do seu gerenciamento.

Quanto ao gerenciamento de resíduos, considera Miller (2011) uma abordagem ligada à alta produção de dejetos inevitável para o crescimento humano, buscando-se gerenciar os resíduos advindos do crescimento econômico a fim de reduzir o dano ao meio ambiente, principalmente misturando e compactando os resíduos para, depois, incinerá-los, enterrá-los ou enviá-los para outro país. Ocorre, assim, a mesclagem dos resíduos e sua transferência de um ambiente para outro.

6 METODOLOGIA

Visando a obter dados inerentes à composição química dos cascalhos oriundos de poços perfurados após o seu término, buscaram-se, junto ao IDEMA, informações existentes em processos de licenciamento ambiental relativos à destinação final desses resíduos.

Os dados correspondem à análise de cascalhos provenientes de poços perfurados no campo de Canto do Amaro, concluída em 04/12/2009, feita por empresa interessada na caracterização de resíduo segundo parâmetros da NBR 10004:2004 constantes do processo de requerimento de licença de operação nº 2008-021678/TEC/LO-0387, tendo como objetivo a instalação para recebimento e disposição final de resíduos situados no Município de Mossoró/RN.

O referido requerimento teve como objetivo o recebimento e disposição final de resíduos inertes (Classe II) em empreendimento situado no município de Mossoró/RN (BR-304, Km 50,5, na localidade do Rancho Santo André, s/n; zona rural), datado de 10/07/2008, como base na LCE nº 272/2004 e alterações introduzidas pela LCE nº 336/2006.

As metodologias utilizadas para a elaboração dos laudos foram baseadas na "SW 846 USEPA 1986, Test Method for Evaluating Solid Waste Report Number 846, Washington DC" e as referências são:

- Norma NBR 10004:2004 da ABNT – Classificação de Resíduos Sólidos.
- Norma NBR 10005:2004 da ABNT – Ensaio de Lixiviação.
- Norma NBR 10006:2004 da ABNT – Ensaio de So-

lubrificação.

Foram analisadas pela empresa 12 amostras no processo nº 2008-021678/TEC/LO-0387. Basicamente, as análises foram feitas em relação à massa bruta, ao lixiviado e ao solubilizado encontrado nas amostras.

A partir de pesquisa bibliográfica, analisaram-se diversas alternativas, ambientalmente, adequadas para a reciclagem dos cascalhos gerados na perfuração de poços na Bacia Potiguar, sugerindo-se, ao final, a mais adequada a ser empregada no âmbito local.

7- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação aos parâmetros relativos à massa bruta e ao lixiviado, não foi encontrada qualquer não conformidade em relação aos limites impostos pela norma NBR 10004:2004. Porém, os parâmetros analisados referentes ao solubilizado apresentaram não conformidades com os valores limites dessa norma.

Os valores médios dos parâmetros inorgânicos e orgânicos dos ensaios de solubilizado são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores médios obtidos dos parâmetros inorgânicos e orgânicos em não conformidade com a NBR 10004/2004

	Número da amostra												MÉDIA	NBR 10004/2004
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Al	0,282	0,596	0,600	0,100	0,704	0,488	1,500	0,880	1,190	0,461	0,731	0,955	0,692	0,2
Cl-	2036	1760	1764	1728	1686	1434	1563	1425	1277	1446	1351	1851	1581	250
Fe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,695	0,645	0,000	0,499	0,000	0,153	0,3
Na	920	925	873	1020	809	752	903	809	565	759	713	849	815	200
SO4	336	336	446	433	323	381	336	398	216	478	432	328	378	250

Fonte: IDEMA, processo nº 2008-021678/TEC/LO-0387

Com relação aos valores de alumínio, verificou-se a presença de não conformidades em todas as amostras analisadas, exceto na amostra nº 4, cujos valores médios de solubilizados ultrapassaram o limite da norma. O valor médio do desvio é 0,692 mg/l, quando o limite máximo permitido pela norma é 0,2 mg/l; isso corresponde a 3,46 vezes o valor permitido.

O valor médio de cloreto é 1.561 mg/l, quando o limite máximo permitido pela norma é 250 mg/l – o desvio médio corresponde a 6,244 vezes o limite da norma, gerando, assim, não conformidades em todas as amostras analisadas.

Detectou-se a presença de ferro apenas nas amostras nºs. 8, 9 e 11, que apresentaram não conformidades. Considerando-se todas as amostras, o valor médio do desvio é 0,153 mg/l, abaixo do limite máximo permitido pela norma, que é 0,3 mg/l. Porém, se considerarmos a média apenas dos valores obtidos com as três amostras desconformes (amostra 8 = 0,695 mg/l; amostra 9 = 0,645 mg/l; amostra 11 = 0,499 mg/l), o valor médio passa a ser 0,613 mg/l, que ultrapassa o valor 0,3 mg/l permitido pela Norma NBR 10004/2004 em 104,3%.

Com relação ao sódio, houve não conformidades em todas as amostras analisadas. A média do desvio é 815 mg/l, quando o limite máximo permitido pela norma é 200 mg/l, portanto, equivalente a mais de quatro vezes o limite permitido pela Norma NBR-10004/2004.

Em relação ao sulfato, houve não-conformidades em todas as amostras analisadas, cujo valor médio do desvio

é de 378 mg/l, enquanto que o valor máximo permitido pela norma NBR 10004/2004 é de 250 mg/l, estando o valor médio acima do permitido em mais de 50%.

Dessa forma, com base na análise dos dados avaliados, constata-se que os cascalhos de perfuração analisados se classificam como resíduos sólidos classe II-A – não inertes.

7.1 A DESTINAÇÃO FINAL DO CASCALHO DE PERFURAÇÃO

Tendo em vista a preocupação dos órgãos governamentais e da sociedade com o risco de poluição ambiental causado pelos resíduos da atividade de perfuração de poços, passou-se a pesquisar alternativas, ambientalmente, adequadas para a solução do problema.

Assim, os cascalhos gerados na perfuração de poços de petróleo vêm sendo dispostos em aterros sanitários ou reciclados como matéria prima na confecção de artefatos diversos da construção civil, em que pese serem recentes os estudos realizados a respeito da matéria (FIALHO, 2012).

O reaproveitamento do cascalho mediante sua reciclagem como material de construção vem trazendo benefícios econômicos para a indústria civil, além de atenuar o volume depositado em aterros, contribuindo para atenuar a poluição ambiental, uma vez que faz desaparecer o resíduo indesejado, ao contrário do que ocorre com a sua deposição em aterro sanitário.

7.1.1 O PROCESSAMENTO DE INCINERAÇÃO DOS CASCALHOS

A incineração dos cascalhos constitui-se etapa que antecede a destinação final a ser dada aos cascalhos, podendo servir de fase de preparação tanto para a sua deposição em aterros como para a sua reciclagem. A Unidade de Incineração para o tratamento térmico dos resíduos blendados do Canto do Amaro se encontra instalada na Unidade de Blendagem de Resíduos e consiste no manuseio, movimentação, segregação, pré-acondicionamento e blendagem de resíduos industriais oriundos do dique mãe e Central de Resíduos.

7.1.2 A DEPOSIÇÃO DO CASCALHO EM ATERROS SANITÁRIOS

Sendo o cascalho classificado como resíduo sólido não inerte (classe II-A), portanto não perigoso, a sua deposição em aterros sanitários deve seguir a NBR-13.896/1997, que dispõe sobre “aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação”. Atualmente, encontra-se em prática, na Bacia Potiguar, a deposição dos cascalhos provenientes da perfuração em aterros sanitários situados no campo de Canto do Amaro, conforme demonstram os processos de licença ambiental nºs. 2006-005332/TEC/LP-0153, 2008-021312/TEC/RLO-0850 e 2008-021678/TEC/LO-0387.

A deposição de cascalhos de perfuração em aterros sanitários demanda a disponibilidade de grandes áreas destinadas ao seu armazenamento, além do monitoramento dos gases gerados no aterro, das águas subterrâneas e de detecção de vazamentos, o que se perpetua ao longo do tempo.

7.1.3 A ALTERNATIVA DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DE CASCALHOS DE PERFURAÇÃO EM MINA DE SALGEMA

A deposição de resíduos de cascalhos em cavidades subterrâneas de minas de salgema consiste na injeção do cascalho bombeado através de tubulação instalada em poços de injeção perfurados e instalados para este fim, em solução de salmoura saturada, que retornará à superfície através do espaço anular existente entre a tubulação e as paredes do poço. Dessa forma, a fase sólida será depositada na base da cavidade subterrânea de configuração cilíndrica, com seção transversal de cerca de cinquenta metros de diâmetro e cento e vinte metros de altura, situada entre 850 m e 1.000 m de profundidade, abaixo de um espesso pacote de rochas sedimentares formadas por camadas de folhelho (GANGHIS et al, 2009).

7.2 TÉCNICAS DE RECICLAGEM DO CASCALHO DE PERFURAÇÃO

7.2.1 O EMPREGO DO CASCALHO DE PERFURAÇÃO NA CONFEÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO

A incorporação do resíduo do cascalho na mistura homogênea compactada e curada de solo para formação do cimento proporciona ao material boa resistência à compressão, bom índice de permeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade.

Surgem, então, os tijolos ecológicos, que apresentam a vantagem de serem fabricados rapidamente, no próprio canteiro de obras, por mão-de-obra não especializada, tendo como maior quantidade de matéria prima o solo, possibilitando menor consumo de argamassa de assentamento e de revestimento devido à boa qualidade e regularidade no aspecto final das peças, reduzindo a duração da obra e promovendo uma relação custo-benefício mais satisfatória (MARQUES, 2010).

Assim, esse modelo de destinação do cascalho apresenta, conjuntamente, dupla vantagem: a reciclagem do próprio cascalho com a eliminação de seu potencial de poluição e a fabricação de material de construção a baixo custo.

Outro aspecto relevante a ser considerado é que essa técnica pode ser implementada em qualquer atividade de construção civil que envolva a utilização de tijolos assentados com argamassa de cimento, independente de sua localização geográfica.

7.2.2 O COPROCESSAMENTO DO RESÍDUO DE CASCALHO DE PERFURAÇÃO EM FORNOS DE CLÍNQUER PARA FABRICAÇÃO DE CIMENTO

O reaproveitamento do cascalho de perfuração na fabricação de cimento Portland por meio do seu coprocessamento consiste em uma atividade que visa à reutilização de materiais resultantes de processos produtivos e, no entanto, indesejáveis por sua fonte geradora, como alternativa para substituição de matéria-prima para a produção de cimento (MENDES; SOUSA, 2013).

Segundo os autores acima, o processo de fabricação do cimento Portland consiste na transformação de matérias-primas por meio do rearranjo de seus elementos químicos em novos compostos, a partir da preparação destas matérias-primas, que são moídas, transformando as rochas, fontes de cálcio, silício, ferro e alumínio na farinha ou cru de clínquer.

Adquire-se, assim, o cimento Portland através da pulverização do clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, sulfato natural de

cálcio natural e adições de substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam o seu emprego, ocorrendo a destruição total do resíduo empregado (MENDES; SOUSA, 2013).

O emprego dessa técnica é viável para aproveitamento de cascalhos gerados em campos de petróleo situados nas proximidades de fábricas de cimento Portland, a menos que haja viabilidade do seu transporte a locais onde estão instaladas as fábricas de cimento, considerando a grande demanda.

7.2.3 O ESTUDO DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO CASCALHO DE PERFURAÇÃO EM CONCRETO

A utilização do cascalho de perfuração no concreto produzido pode se dar tanto pela substituição parcial da areia por cascalhos de perfuração, como pela adição dos cascalhos em relação à massa do cimento.

Segundo Fialho (2012), para um melhor aproveitamento do resíduo, é necessário um estudo particular do cascalho a ser utilizado, partindo-se de sua caracterização exaustiva. Estudos mostraram resultados que apontaram no sentido de que existe o potencial de substituição de cascalhos de perfuração em concretos nos teores indicados nos experimentos acima, quando comparados ao concreto de referência.

7.2.4 O EMPREGO DO CASCALHO DE PERFURAÇÃO NA FABRICAÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO

Visando ao emprego de tecnologias limpas para a destinação e reaproveitamento do cascalho de perfuração na indústria, destaca-se o seu emprego associado a argilas, exercendo estas o suporte para o resíduo, tendo em vista suas características e natureza homogêneas, com vasto espectro de composições de materiais plásticos e não plásticos, que permite a presença de materiais residuais de vários tipos, mesmo em percentagens significantes (MEDEIROS, 2010).

Medeiros (2010) estudou o processo industrial de aproveitamento dos cascalhos na fabricação de material cerâmico. Neste, foram obtidos tijolos maciços para alvenaria, conforme a norma ABNT NBR 07170/1983, e blocos cerâmicos para alvenaria de vedação, de acordo com a norma ABNT NBR 15270-1/2005 (MEDEIROS, 2010).

Constatou-se, com o trabalho referido acima, que a utilização dos cascalhos na fabricação de material cerâmico tanto contribui para a atenuação do problema ambiental, como para a redução dos custos de materiais na indústria da construção civil, agregando, ainda, valor a um material que não estava sendo utilizado nos proces-

sos industriais (MEDEIROS, 2010).

Em que pese a viabilidade técnica do aproveitamento dos cascalhos como matéria-prima na fabricação de tijolos cerâmicos, há que se verificar o custo de seu transporte do campo de petróleo até o local onde é realizada a fabricação cerâmica, buscando-se a sua viabilidade econômica, ambiental e social em escala industrial, em comparação com a redução de custos de materiais na indústria da construção civil e a demanda disponível desse resíduo, o que pode ser otimizado por meio de novos estudos a serem realizados a respeito.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A destinação final dos cascalhos de perfuração tem sido motivo de preocupação e, ao mesmo tempo, um verdadeiro desafio para os órgãos governamentais e para as empresas petrolíferas (não só no Brasil, mas em todo o mundo), não existindo, ainda, uma padronização adequada para o caso, em que pese os estudos até então realizados.

Essa preocupação decorre, principalmente, dos grandes volumes de cascalhos gerados na perfuração de poços de petróleo, tendo em vista a quantidade proveniente dos poços atuais, que crescem ao grande estoque existente há várias décadas.

Através de informações colhidas da análise dos laudos obtidos junto ao IDEMA, constatou-se que os cascalhos de perfuração são classificados, segundo a Norma NBR 10004:2004, como sendo de classe II-A, portanto, não inertes e não perigosos, uma vez que só foram verificadas não conformidades entre os parâmetros analisados e os valores limites da norma técnica acima nos ensaios de solubilidade.

Essa classificação possibilita que sejam os cascalhos não só destinados à deposição em aterros sanitários ou em outros locais, ambientalmente, viáveis, mas, também, reaproveitados por meio de reciclagem em processos industriais, em particular da construção civil.

A deposição do cascalho em aterros sanitários requer a observância de regras previstas em normas técnicas, mas tem suas viabilidades técnica e econômica calcadas na disponibilidade de áreas existentes nas proximidades dos poços geradores, no entanto, a sua viabilidade ambiental torna-se ameaçada, pelo fato de que não faz desaparecer o resíduo em estudo, que se perpetuará no local destinado indefinidamente, exigindo monitoramento contínuo, o que não afasta a possibilidade da poluição de suas proximidades.

Para o estudo da reciclagem do cascalho de perfuração, a atenção voltou-se para: a reciclagem de cascalho na confecção de solo-cimento, o coprocessamento do resíduo de cascalho para a fabricação de cimento, o estudo do potencial de aplicação do cascalho em concreto e, o

emprego do cascalho na fabricação de material cerâmico.

Essas alternativas apresentam grande viabilidade do ponto de vista ambiental, tendo em vista que a reciclagem dos cascalhos faz desaparecer o indesejável resíduo, embora dependam de outros fatores para a sua implementação, tais como a existência do processo industrial pertinente em locais próximos da fonte geradora do cascalho, além de parcerias com empresas industriais, considerando as viabilidades técnicas e econômicas.

Por último, analisou-se a alternativa de destinação do cascalho em mina de salgema abandonada (subsuperfície), verificando-se a sua inaplicabilidade na Bacia Potiguar, ante a inexistência do espaço de subsuperfície essencial à sua deposição.

Assim sendo, sugere-se, como melhor alternativa, o reaproveitamento do cascalho no coprocessamento do resíduo em forno de clínquer para fabricação de cimento, tendo em vista que existe em atividade uma fábrica de cimento na cidade de Mossoró, o que viabiliza, economicamente, o empreendimento.

Verifica-se que, não obstante haver viabilidades técnica, econômica e ambiental para o emprego das tecnologias analisadas, há necessidade de aprofundamento de pesquisas, enfocando a reciclagem do cascalho de perfuração na confecção de materiais de construção civil, bem como em outros processos industriais a serem identificados, não descartando a necessidade de mais estudos acerca da deposição em aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Vagner. **A história do petróleo no Rio Grande do Norte**. Disponível em <<http://www.vagneraraujo.com/2010/08/historia-do-petroleo-no-rio-grande-do.html>>. Acesso em 15 set 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Banco de dados de Exploração e Produção. POÇOS – DADOS ESTATÍSTICOS - 2012. Disponível em <www.bdep.gov.br/SITE/acao/download/?id=6236>. Acesso em 02 jun 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Disponível em <<http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf>>. Acesso em 7 jun 2014.

_____. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Disponível em <<http://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/ABNT-NBR-10005-Lixiviacao-de-Residuos.pdf>>. Acesso em 7 jun 2014.

_____. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Disponível em <<http://patriciamirotti.files.wordpress.com/2012/04/nbr-10006-procedimento-para-obtenc3a7c3a3o-de-extrato-solubilizado-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf>>. Acesso em 7 jun 2014.

_____. **NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação. Disponível em <<http://ftp.cefetes.br/cursos/MetalurgiaMateriais/Joseroberto/P%D3S/NORMAS,%20ARTIGOS%20E%20%20EXERC%CDIOS/nbr13896.pdf>>. Acesso em 7 jun 2014.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010** - Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em 23 dez 2013.

CASTRO, Francker Duarte de; COSTA, Luzimar Pereira da; SANTOS, Narja Najara Barboza dos; SANTOS E SILVA, Clara Rafaela de Oliveira. **Aspectos geomorfológicos, gelológicos e oceanográficos da margem continental potiguar**: uma fração do Brasil carente em informação. Disponível em <<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNAPI2010/paper/viewFile/563/342>>. Acesso em 12 maio 2014.

COSTA FILHO, Antonio. **Riscos e Vulnerabilidade** – Campo Petrolífero Canto do Amaro, Mossoró-RN. 189 f. 2007. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande-PB, Setembro, 2007. Disponível em <http://www.recursosnaturais.ufcg.edu.br/teses/AntonioCFilho_2007.pdf>. Acesso em 23 mai 2014.

FIALHO, Poline Fernandes. **Cascalho de perfuração de poços de petróleo e gás. Estudo do potencial de aplicação em concreto.** 217 f. 2012. Dissertação de (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012. Disponível em <http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_5089_Poline%20Fernandes%20Fialho.pdf>. Acesso em 23 mai 2014.

GANGHIS, Diógenes; ALARSA, Marcelo; TRENTINI, Sérgio. Alternativa para destinação final de cascalho de perfuração de poços de petróleo on shore gerados no Nordeste do Brasil. **Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo**, 1, 2009. Disponível em <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/21961/14330>>. Acesso em 26 dez 2012.

IDEMA. **Processo nº 2006-005332/TEC/LP-0153.** Licença Prévia.

_____. **Processo nº 2008-021312/TEC/RLO-0850.** Renovação de licença operacional.

_____. **Processo nº 2008-021678/TEC/LO-0387.** Licença Operacional. Contém laudos de análise do cascalho em laboratório.

MARQUES, Sheyla Karolina Justino. **Estudo da incorporação de cascalho proveniente da perfuração de poços de petróleo em formulações para tijolos de solo-cimento.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Natal, 2010. Disponível em <http://bdtd.bczm.ufrn.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=4315>. Acesso em 12 nov 2013.

MEDEIROS, Leonardo Coutinho de. **Adição de cascalho de perfuração da Bacia Potiguar em argilas para uso em materiais cerâmicos:** influência da concentração e temperatura de queima. Dissertação (Mestrado em graduação em Ciências e Engenharia da Materiais) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, 2010.

MENDES, Franklin Silva; SOUSA, Cacilda Alves de. Coprocessamento em fornos de clínquer: uma alternativa sustentável para destinação do resíduo cascalho de perfuração de poços de petróleo em Mossoró-RN. **RUnPetro**, Ano I, n. 1 nov.2012/abr.2013. Acesso em 29 set 2013.

MILLER, G. Tyler. **Ciência ambiental.** São Paulo, Cengage Learning, 2011.

MORAES, Mariana Almeida de. **Estudo Geoquímico, Ecotoxicológico do sedimento nas proximidades de um poço de perfuração na Bacia de Campos, Rio de Janeiro, Brasil.** Disponível em <www.bdtd.ndc.uff.br/tde_arquivos/8/TDE-2011-05-09T110702Z-2916/Publico/Dissert-MarianaMoraes.pdf>. Acesso em 02 set 2012.

PREDA, Wagner Nogueira; ALENCAR FILHO, Martinho Quintas de; BORBA, Genildo Luiz. Características gerais dos projetos de injeção de água nos reservatórios produtores de petróleo da formação açu na Bacia Potiguar. 15, **Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.** Disponível em <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23855>>. Acesso em 29 nov 2012.

TOCHETTO, Marta Regina Lopes. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais.** Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Maria/RS, 2005.