

GESTÃO DAS ÁGUAS DE PRODUÇÃO: HISTÓRICO, POLÍTICAS AMBIENTAIS E ALTERNATIVA TECNOLÓGICA

*Alexandre Andrade Cerqueira**
*Thais Alves Gallo Andrade**
*Monica Regina da Costa Marques***
*Carlos Russo***

RESUMO

O presente trabalho discute a aplicação da eletrofloculação utilizando corrente alternada, nos moldes da nova política ambiental brasileira no que se refere à atenção que deve ser dada ao manejo da água produzida, um dos principais resíduos gerados durante o processo de exploração e produção na indústria do petróleo, cujo volume vem aumentando gradativamente, à medida que os poços vão envelhecendo e novos são perfurados. É discutido o enquadramento na legislação ambiental do lançamento da água de produção em corpos receptores, em razão do surgimento de novas Leis e Resoluções ambientais, visando a sua minimização e melhoria da qualidade nos campos petrolíferos. O exame dessa modalidade de exploração industrial dos recursos naturais, especialmente em plataformas *off-shore*, exige a integração de política ambiental específica, incluindo-se as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), que estabelecem limites para a emissão de efluentes oleosos. Para adequar-se aos padrões estabelecidos pelo Conama, é necessário o aprimoramento ou o desenvolvimento de novas tecnologias. Neste sentido a eletrofloculação vem a contribuir para a adequação dos efluentes de água de produção.

PALAVRAS-CHAVE: Eletrofloculação; Água de produção; Tratamento de efluentes; Gestão de recursos hídricos; Política ambiental brasileira.

INTRODUÇÃO

Devido aos problemas ambientais que podem ser causados pela toxicidade de

*Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente PPG-MA/UERJ. E-mail para correspondência: alexandreceq@ig.com.br.

**Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Química, Laboratório de Tecnologia Ambiental, LABTAM, Rua São Francisco Xavier, 524 PHLC sala 304, Cep 20550-013. Maracanã- RJ.

seus efluentes, a atividade de extração de petróleo, ciente da crescente preocupação com o meio ambiente e do surgimento de novas leis e resoluções ambientais mais restritivas, procura enquadrar-se às novas exigências. Um dos pontos cruciais a serem atacados é a questão da água de produção, gerada nessa atividade, cujo volume vem aumentando gradativamente, à medida que os poços vão envelhecendo e novos são perfurados (CAMPOS *et al.*, 2005).

O exame dessa modalidade de exploração industrial dos recursos naturais exige a integração entre as políticas específicas fundamentadas na política ambiental, incluindo-se as Resoluções do Conama e seus instrumentos regulatórios próprios.

A implantação das regulamentações obteve a criação de instrumentos que vêm sendo estudados ao longo dos últimos anos, como forma de possibilitar a otimização dos modelos já implantados e de adquirir maturidade administrativa para a configuração de outros.

O lançamento de efluentes de água de produção deve ser tratado de acordo com a legislação ambiental, em função de problemas como o elevado volume, pois, em média, para cada m³/dia de petróleo produzido são gerados 3 a 4 m³/dia de água, podendo chegar a 7 ou mais, nas atividades de exploração, perfuração e produção. A água de produção corresponde a 98% de todos os efluentes gerados, sendo constituída de sais, óleos e outros elementos tóxicos, além de temperaturas elevadas e ausência de oxigênio (THOMAS, 2004).

Na água de produção, existe regulamentação específica caracterizando não só a água de injeção, mas também a *água produzida*. Segundo a Resolução Conama n.º 393/07, que conceitua a *água produzida* e impõe o tratamento de efluentes na extração em plataformas *off-shore*, no seu art. 2.º § I define como *água de processo* ou *de produção* "a que é normalmente produzida junto com o petróleo. A mesma resolução define, no art. 2.º, § II, as áreas ecologicamente sensíveis, como as "regiões das águas marítimas ou interiores, onde a prevenção, o controle da poluição e a manutenção do equilíbrio ecológico exigem medidas especiais para a proteção e a preservação do meio ambiente".

No contexto de reuso da água como mecanismo da produção na indústria de petróleo, a Agência Nacional do Petróleo (ANP) define a *água de injeção* como:

"Água injetada em reservatório, com o objetivo de forçar a saída do petróleo da rocha-reservatório, deslocando-o para um poço produtor. Este método é conhecido como "recuperação secundária", e é empregado quando a pressão do poço torna-se insuficiente para expulsar naturalmente o petróleo" (ANP, 2009).

Sendo assim, este trabalho pretende apresentar a evolução da política ambiental descrita por meio de importantes acontecimentos mundiais, que influenciaram o curso da história da política ambiental no mundo e no Brasil, além da problemática da questão da água de produção, que é gerada na exploração do petróleo em plataformas *off-shore* e lançada nos corpos receptores, bem como seu enquadramento na legislação ambiental. Nesse contexto, também é apresentada a técnica de tratamento de efluente por eletrofloculação com corrente alternada para plataformas *off-shore*, e sua importância para que sejam obtidos resultados rápidos, eficientes e de custo viável no tratamento desses efluentes.

REVISÃO DA LITERATURA

Evolução da política ambiental mundial (problemas ambientais mundiais)

Durante séculos, o desenvolvimento econômico proporcionado pela Revolução Industrial impediu que os problemas ambientais decorrentes desse processo fossem considerados. O meio ambiente era predominantemente visto como acessório do desenvolvimento, e não como parte essencial dele. A poluição e os impactos ambientais eram evidentes, mas os benefícios proporcionados pelo progresso os justificavam como um "mal necessário" (SOUZA, 2006).

Tal crescimento industrial e consequente desenvolvimento econômico provocaram a devastação das florestas, o empobrecimento do solo e a escassez de jazidas minerais, tornando-se insustentável (BURSZTYN, 2001) do ponto de vista ambiental e para a manutenção da própria economia exploratória das matérias-primas.

Foram necessários dois séculos de industrialização para se tornar evidente a necessidade de atribuir restrições ao crescimento da economia, em nome da manutenção dos recursos naturais e da diminuição da degradação do meio ambiente (BURSZTYN, 2001). O período pós-guerra representa um momento impressionante de crescimento econômico e populacional, evidenciado pelo aumento do PIB mundial, que sofreu um crescimento de mais de 100% entre 1950 e 1970. No mesmo período, a população mundial aumentou cerca de 40%, o que tornou evidente a degradação do meio ambiente, e criou profunda ansiedade sobre a capacidade de o planeta suportar esse crescimento. Além do crescimento econômico/populacional, vários desastres ambientais ocorreram – como os causados pelo petroleiro Torrey Canyon em 1967 (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 1988), no Canal da Mancha, considerado um marco na história dos derramamentos de óleo, e pelo Exxon Valdez em 1989, no Alasca –, influenciando o *boom* ambiental e um aumento significativo de atenção da mídia para essas questões.

Segundo Carolina e Silva (2003), com a possibilidade de esgotamento dos recursos naturais e o agravamento dos desastres ecológicos, o mundo se vê diante

de uma ameaça de sobrevivência e, a partir daí, surge a intensa preocupação com os problemas ambientais. Após décadas de exploração desenfreada em prol de seu modelo econômico, o planeta mostra sinais de esgotamento, cujas consequências levam ao sacrifício de populações e da fauna e da flora.

Eventos que marcaram a mudança de pensamento no mundo em relação aos problemas ambientais

Nas décadas de 70 e 80, diversos países, principalmente os "desenvolvidos", começaram a sentir os primeiros problemas em termos de destruição do meio ambiente e do esgotamento dos recursos naturais. Para debatê-los, foram realizadas conferências promovidas pela Organização das Nações Unidas (ONU) (CAROLINA e SILVA, 2003).

De acordo com Souza (2006), em 1972 ocorreu na Suécia a Conferência Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente Humano (Conferência de Estocolmo), onde várias questões ambientais foram discutidas, como a poluição do ar, do solo e da água – que deveriam ser corrigidas. O objetivo era alertar os líderes governamentais e os organismos internacionais para requererem a proteção e o aprimoramento do meio ambiente. Mas tanto a análise dos problemas quanto as medidas propostas para solucioná-los tinham um caráter de atacar o efeito, e não suas causas.

Souza (2006) descreve que o impulso observado pelo movimento ecológico com o avanço tecnológico e o aperfeiçoamento dos diagnósticos dos problemas ambientais voltaram-se para a sobrevivência da espécie humana. Era preciso agir de forma responsável com o meio ambiente, garantindo a conservação dos recursos naturais para as futuras gerações. A partir daí nascia a idéia de *desenvolvimento sustentável*. Em 1987, por meio do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), foi desenvolvido o documento que ficou conhecido como Relatório Bruntland, que combinava os aspectos sociais, econômicos e ambientais na busca pela preservação do meio ambiente, e também de formas mais racionais de utilização dos recursos naturais, com a possibilidade da preservação dos mesmos para as futuras gerações.

Em 1992, a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), a Eco-92, realizada no Rio de Janeiro, foi uma tentativa de reunir representantes de todos os países do mundo para discutir e divulgar a nova concepção de desenvolvimento sustentável, a partir da divulgação do Relatório Bruntland. Como resultado das discussões do evento, focadas no controle da poluição industrial e da gestão do ambiente urbano, foi priorizada a questão de cidadania e dos governos locais.

Da conferência resultou a chamada Agenda 21, documento que apresentava questões para a elaboração de políticas públicas em todos os níveis que privilegiassem a iniciativa local. Questões como desenvolvimento sustentável, biodiversidade, mudanças climáticas, águas (doces e oceanos) e resíduos (tóxicos e nucleares) tornavam-se problemas do planeta e da humanidade, e assumiam o centro da temática ambiental.

Em 2002, em Johannesburgo, África do Sul, foi realizada a Conferência Ambiental Rio+10, que objetivou dar continuidade à discussão iniciada pela Eco-92 sobre ações mais voltadas à erradicação da pobreza, às questões energéticas, à globalização, às mudanças climáticas, entre outras. Reconheceu a importância e a urgência da adoção de energias renováveis em todo o planeta, e sugeriu que os países estabelecessem metas e prazos para cumpri-las (SOUZA, 2006). Vários eventos posteriores foram realizados, mas nenhum deles teve os avanços significativos de 1972 e 1992.

Evolução da política ambiental brasileira

Segundo Vieira e Bredariol (1998), nos últimos 40 anos a questão ambiental produziu políticas públicas no país com uma evolução muito referenciada a pressões externas. Não existia no Brasil uma política ambiental até a Conferência de Estocolmo: havia, sim, políticas que resultaram nela. O tema dominante na época era o estímulo à exploração dos recursos naturais, ao desbravamento do território, ao saneamento rural e à educação sanitária. A legislação que dava base a essa política era da década de 30, e contemplava os códigos de caça, pesca, mineração, florestal e das águas – não havia uma ação coordenada do governo. O desenvolvimento do Brasil acontecia a partir de investimentos públicos em energia, siderurgia, petróleo e infraestrutura, viabilizando a industrialização.

Questões como a acelerada taxa de desmatamento da Floresta Amazônica, poluição do ar, das águas nos principais centros metropolitanos, resíduos radioativos, contaminação dos solos pelo uso abusivo de agrotóxicos na agricultura, avanço da desertificação nas regiões semiáridas do país, superconcentração demográfica nos grandes centros urbanos, extinção de espécies animais, esgotamento de recursos hídricos, entre outros, acarretaram uma intensa preocupação com a degradação ambiental em todas as regiões do país (LITTLE, 2003).

Segundo Machado (2000), a publicação da Lei n.º 6.938/81, que implantou a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, normatizou as questões de proteção, conservação e preservação ambiental, instaurando um novo processo de tratamento dessas questões. Essa lei, em escala nacional, unificou princípios ambientais, responsabilizando-se sobre a supervisão de

normas gerais da política ambiental. Antes de sua aplicação, não havia no direito brasileiro uma preocupação sistemática com a tutela ambiental e, o mais importante, com a defesa do meio ambiente.

Dessa lei surgiu o Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama), que tinha como proposta principal descentralizar as responsabilidades relativas à defesa ambiental entre os três níveis de governo, em uma época de práticas extremamente centralizadoras do regime militar (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 1998). Tal como aponta Machado (2000), com a formação do Sisnama delineou-se um sistema de descentralização, que atribuiu competências aos Estados e municípios, que passaram a responder por uma importante área de licenciamento ambiental e de gestão.

Conforme Moraes e Turolla (2004), a publicação da *Constituição Federal* de 1988 trouxe um capítulo sobre o Meio Ambiente inserindo mudanças significativas na área. No mesmo ano foi instituída a Lei de Crimes Ambientais n.º 9.605, contribuindo para o fortalecimento dos instrumentos de Direito Ambiental. Em 1989, houve a criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), promulgada pela Lei Federal n.º 7.735. Em 1992, foi instituído o Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA), pela Lei n.º 8.490, que assumiu a coordenação da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), sendo responsável pela definição de objetivos, metas e políticas ambientais para o país.

Ainda segundo Moraes e Turolla (2004), em sua configuração atual o Sisnama é composto por duas esferas: uma de formulação de políticas – do qual fazem parte o Conama, órgão superior do sistema, o MMA, órgão central, e o Ibama, órgão executor da política federal de meio ambiente – e outra compreendendo todos os órgãos setoriais, estaduais e municipais.

Por meio da publicação das suas resoluções, o Conama, órgão federal, dispõe sobre a maneira como as atividades industriais em geral poderão ser conduzidas em obediência à política ambiental vigente no país. Tal como aponta Litle (2003), a década de 90 foi seguida pela atualização da legislação ambiental, com a promulgação da Lei de Recursos Hídricos, de n.º 9.433/97; Lei de Crimes Ambientais, n.º 9.605/98; Lei de Educação Ambiental, n.º 9.795/99; e Lei do Sistema de Unidades de Conservação, n.º 9.985/2000. Essas leis normatizaram e criaram novos instrumentos políticos para a efetiva implementação de ações ambientais no país.

HISTÓRICO DAS LEGISLAÇÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DENTRO DA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

De acordo com o Banco Mundial (2008), foi a promulgação do *Código Civil*, em 1916, através da Lei Federal n.º 3.071, a primeira "norma" brasileira que protegeu

juridicamente a água como bem ambiental e regulamentou o regime dominial e de seu uso no Brasil. No entanto, essa lei não reconhecia o real valor econômico desse recurso, e sua regulamentação se fundava principalmente no direito de vizinhança.

Em 1934, entrou em vigor o Código de Águas, regulamentado pelo Decreto Federal n.º 24.643, que trouxe profunda alteração no regime previsto no *Código Civil* de 1916, enfocando a água como um recurso natural dotado de valor econômico para a coletividade.

O decreto teve como principal objetivo regulamentar o aproveitamento e a apropriação da água como fonte geradora de energia elétrica, estabelecendo mecanismos que assegurassem o uso sustentável dos recursos hídricos.

Segundo o que dispõe a Lei Federal n.º 6.938/81, a água é um bem considerado essencial para a vida humana e sua escassez, em razão da poluição, certamente causará males à saúde, à qualidade de vida e ao bem estar da população mundial.

Outra norma de grande importância para proteção das águas é a Lei Federal n.º 9.433/97 (Lei das Águas), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamentado pelo artigo 21 da *Constituição Federal* de 1988. Essa lei trouxe importantes contribuições para o aproveitamento dos recursos hídricos, adequando a legislação aos conceitos de desenvolvimento sustentável, e também regulamentando a utilização dos recursos hídricos, com o objetivo de garantir a preservação e a disponibilidade da água.

Além das diversas leis criadas e posteriormente alteradas, temos as Resoluções do Conama, que "disciplina" os recursos hídricos nas Resoluções de n.º 01/86 (artigo 2.º, inciso VII), no 20/86, n.º 26/86, n.º 274/00, n.º 302/02 e n.º 357/05. A Resolução Conama n.º 357/05, que alterou as de n.º 20/86 e n.º 274/00, é o principal instrumento regulador sobre a classificação das águas existentes no território brasileiro e as respectivas diretrizes ambientais para o seu enquadramento, além de estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes, visando à proteção desse recurso.

Águas de produção

Conforme aponta Rodrigues (2003), o ambiente marinho, devido à sua vastidão, sempre absorveu a contaminação por petróleo causada por fontes naturais sem apresentar danos significativos aos organismos marinhos, mas o aumento desenfreado do consumo de petróleo pelas economias desenvolvidas alterou significativamente esse quadro. A produção anual de petróleo em termos mundiais é superior a 3,5 bilhões de toneladas – e 0,2% deste volume é descartado juntamente com as águas de produção. Apesar de pequena, em relação ao volume total produzido, essa quantia significa mais de 6 milhões de toneladas de óleo, causando a morte de animais e

plantas, além de comprometer diversos ecossistemas pelas próximas décadas.

Tal como aponta Vieira *et al.* (2003), a extração de petróleo e gás é acompanhada de significativa produção de água, normalmente conhecida como água de produção, sendo esta o rejeito de maior volume em todo o processo de extração. Sabe-se que, durante a vida econômica de um poço de petróleo, o volume de água de produção pode exceder em até dez vezes o volume de produção de óleo. Um campo novo produz pouca água, em torno de 5% a 15% da corrente de óleo produzida. Entretanto, à medida que a vida econômica dos poços se vai esgotando, o volume de água pode aumentar significativamente, para uma faixa de 75% a 90%. Essa produção excessiva de água se tornou uma das maiores preocupações na indústria de óleo e gás.

As águas de produção são efluentes complexos, de salinidades elevadas, cuja composição pode variar amplamente, dependendo do tipo de campo e da sua idade, origem e qualidade do óleo, bem como do procedimento usado para sua extração. Os compostos que, normalmente, integram essa água são: óleo disperso e dissolvido; sais minerais dissolvidos; sólidos oriundos da corrosão; graxas e asfaltenos; produtos químicos adicionados para prevenir e/ou tratar problemas operacionais, tais como biocidas, anti-incrustantes, anti-espumantes, inibidores de corrosão e gases dissolvidos, incluindo CO₂ e H₂S (Vieira *et al.*, 2003).

De acordo com Rodrigues (2003), o sistema convencional de tratamento de águas oleosas em plataformas *off-shore* é composto basicamente por separadores água-óleo (SAO) e vasos desgaseificadores, que utilizam o princípio da força gravitacional para a sua separação. A água tratada alcança níveis da ordem de 200 mg/L, devido principalmente à presença de óleo emulsificado, que dificilmente é removido por flotação, e não se enquadra no nível exigido pelo órgão ambiental, necessitando de processos mais eficientes. Além disso, esses processos apresentam cinética lenta (baixa capacidade), dificultando a sua utilização no tratamento de correntes oleosas de elevadas vazões.

Os componentes inorgânicos da água produzida são semelhantes aos encontrados na água do mar; entretanto, a salinidade pode variar, chegando até quatro vezes sua concentração. Plataformas de gás tendem a gerar menor volume de água produzida, porém com altas concentrações de contaminantes orgânicos. Plataformas de óleo, ao contrário, geralmente são responsáveis por altos volumes de água de produção. A literatura indica que cerca de 7 milhões de metros cúbicos de água produzida são descartados diariamente em área oceânica, o que resulta em um volume de aproximadamente de 2,5 trilhões de m³ por ano (GABARDO, 2007).

Conforme cita Gabardo (2007), no Brasil, o volume de água de produção descartado em mar vem aumentando ao longo dos anos, tendo sido registrados

volumes de 58,3 milhões de m³ em 2004, 66 milhões de m³ em 2005 e 73,3 milhões de m³ em 2006. O total descartado em 2006 corresponde a cerca de 3% do que é estimado para o mundo.

O tratamento da água tem por finalidade obter os menores valores de óleos e graxas (O&G) possíveis, sendo então descartada no mar ou reinjetada. Atualmente existem diversas tecnologias que podem reduzir bastante o teor na água a ser descartada ou reinjetada como filtração em leito absorvente, adsorção em carvão ativo, bio-oxidação, entre outras. Porém, essas tecnologias, em geral, ainda não são viáveis nem estrutural nem economicamente no tratamento da água em plataformas, em razão de limitações de espaço físico e do peso dos equipamentos, dificuldade de execução de obras no ambiente marítimo e também o tempo de residência dessas águas nas plataformas, que em geral não é superior a 15 minutos (GABARDO, 2007).

Atualmente, com a Bacia de Campos produzindo mais de 80% de todo o petróleo brasileiro, é possível estimar o impacto ambiental desse setor produtivo. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de um processo que seja técnico e economicamente viável para a remoção de óleos e graxas de águas produzidas da indústria do petróleo. (RODRIGUES, 2007).

Eletrofloculação Aplicada ao Tratamento das Águas

Alguns pesquisadores estão investindo em tratamentos com reatores eletroquímicos para a descontaminação de diversos tipos de efluentes industriais. Para chegar-se ao desenvolvimento e aprimoramento dessa técnica, foram necessários vários anos de pesquisa. Nesse sentido a eletrofloculação vem contribuir para o tratamento de efluentes de água de produção, removendo seus compostos tóxicos, com a finalidade de enquadrar o efluente a ser descartado à legislação ambiental vigente.

A eletrofloculação (EF) é um processo que envolve a geração de coagulantes *in situ* pela dissolução de íons metálicos, a partir de eletrodos de ferro e/ou alumínio, respectivamente, pela ação da corrente elétrica aplicada a esses eletrodos. A geração de íons metálicos ocorre no anodo, enquanto o gás hidrogênio surge no catodo.

De acordo com Silva (2002), em função da complexidade dos fenômenos envolvidos nos processos eletrolíticos de tratamento de efluentes, ocorrem três estágios sucessivos de operação: formação de um agente coagulante através da oxidação eletrolítica do eletrodo de sacrifício (Fe/Al), ocasionando a neutralização das cargas superficiais, a desestabilização das partículas coloidais e a quebra de emulsões (etapa de coagulação – eletrocoagulação); aglutinação das partículas desestabilizadas pelos hidróxidos de ferro e alumínio, que são coagulantes naturais, favorecendo a formação e o crescimento dos flocos (etapa de floculação – eletrofloculação); geração de micro-bolhas de oxigênio (O₂) no anodo e hidrogênio

(H₂) no catodo, que sobem à superfície colidindo e sendo adsorvidos pelos flocos, carreando por arraste as partículas e impurezas em suspensão no meio e promovendo a clarificação do efluente (etapa de flotação – eletroflotação). O processo eletrolítico caracteriza-se por operar em condições normais de temperatura e pressão, em baixo tempo de residência, e por não gerar subprodutos indesejáveis.

Na eletrofloculação podem ser aplicados dois tipos de corrente elétrica, contínua ou alternada, descritos a seguir:

Corrente contínua (CC) – Segundo Mollah *et al.* (2001), no processo de eletrofloculação por corrente contínua há formação de uma camada de óxido impermeável no catodo e uma deterioração no anodo, devido à oxidação. Isso acarreta perda de eficiência na unidade. Essa limitação do processo tem sido minimizada pela adição de placas de eletrodos de sacrifício paralelas na célula. Em razão dessas limitações, alguns pesquisadores têm utilizado o processo de eletrofloculação por corrente alternada (CA).

Corrente alternada (CA) – A corrente alternada retarda o mecanismo normal do ataque ao eletrodo, que ocorre na CC e, assim, assegura razoável tempo de vida ao eletrodo.

Além disso, esse processo pode induzir interações dipolo-dipolo no sistema, decorrentes da constante mudança de polaridade. Como resultado, o campo elétrico pode também interromper a estabilidade do balanço dipolar das estruturas existentes no sistema. Isso não é possível no processo por corrente contínua (MOLLAH *et al.*, 2001).

A técnica proposta neste estudo utiliza corrente alternada de frequência variável. Com ela tem-se a diminuição da geração de placas de flocos na superfície dos eletrodos, acarretando a diminuição do efeito de passivação, menor desgaste e aumento significativo da vida útil dos mesmos.

Tal como descrito por Oliveira e Oliveira (2000), os métodos de tratamento de águas produzidas dependem de muitos fatores, incluindo os volumes envolvidos, a constituição da água, a localização do campo e os limites da legislação ambiental. Para serem viáveis, as tecnologias de tratamento devem apresentar baixo custo operacional e elevada eficiência. No caso de instalações *off-shore*, essas tecnologias também devem ser compactas devido às restrições de espaço e peso.

Legislação específica para águas de produção

Diversos países estabeleceram um limite máximo para o teor de óleo da água produzida. Nos Estados Unidos, a Environmental Protection Agency (EPA) regulamenta que a descarga de água de produção em mar aberto deve conter uma concentração de óleos e graxas menor que 29 mg/L (média mensal) e 42 mg/L (máxima diária).

No Brasil, segundo a Resolução Conama n.º 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, o padrão de lançamento é de até 20 mg/L de óleos e graxas. Em seu art. 43, parágrafo 4.º, informa que o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural será objeto de resolução específica.

Criada em 2007, essa resolução específica para águas de produção, de n.º 393, em seu Art. 1.º, dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas *off-shore* de petróleo e gás natural, definindo o padrão de descarte de óleos e graxas, parâmetros de monitoramento e outras providências. O descarte de água produzida deve obedecer à concentração média aritmética simples mensal de óleos e graxas de até 29 mg/L, com valor máximo diário de 42 mg/L.

Em seu Art. 3.º, dispõe que as águas salinas, na área em que se localizam as plataformas, enquanto não houver enquadramento específico, serão consideradas Águas Salinas de Classe 1, conforme definição constante da Resolução Conama n.º 357/2005. O Art. 9.º proíbe o descarte de água produzida em um raio inferior a 10 quilômetros de unidades de conservação e a 5 quilômetros de áreas ecologicamente sensíveis. Pelo Art. 10, as empresas operadoras de plataformas devem realizar monitoramento semestral da água produzida a ser descartada, para fins de identificação da presença e concentração dos seguintes parâmetros:

I – compostos inorgânicos: arsênio, bário, cádmio, cromo, cobre, ferro, mercúrio, manganês, níquel, chumbo, vanádio, zinco;

II – radioisótopos: rádio-226 e rádio-228;

III – compostos orgânicos: hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), fenóis e avaliação de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), por meio de perfil cromatográfico;

IV – toxicidade crônica da água produzida determinada pelo método ecotoxicológico padronizado com organismos marinhos; e

V – parâmetros complementares: carbono orgânico total (COT), pH, salinidade, temperatura e nitrogênio amoniacal total (www.mma.gov.br/conama).

DISCUSSÃO

A degradação do ambiente, demonstrada historicamente neste trabalho ocasionou a mobilização da comunidade científica em termos de pesquisas para solucionar os problemas ambientais. Primeiramente ocorreram vários eventos que movimentaram o cenário mundial.

A resposta à aclamação social por parte da política pública foi a adoção de várias leis, decretos, resoluções que previnem e regulam acidentes ambientais. Em termos de

águas de produção para a minimização dos impactos ambientais nos recursos hídricos, com o intuito de enquadrar esses efluentes dentro da legislação ambiental vigente, foram promulgadas as Resoluções Conama n.º 357/05 e n.º 393/07.

A produção anual de petróleo no mundo é superior a 3,5 bilhões de toneladas, e 0,2% desse volume é derramado todos os anos nos mares. Isso dimensiona o quanto se perde na prospecção de óleo e também os danos provocados ao ser lançado ao mar, uma vez que, ao poluir aquele ambiente, também destrói aquele local específico e toda a fauna e flora daquela região.

Nesse contexto, a eletrofloculação com corrente alternada vem a contribuir na descontaminação das águas de produção. Essa técnica, em comparação com as demais, possui a grande vantagem de utilizar unidades compactas e alta capacidade de vazão, já que nas unidades *off-shore* o tempo de retenção da água produzida é de apenas 15 minutos, o que em tratamentos convencionais não é suficiente para o tratamento dessas águas.

Em geral, as águas produzidas são de difícil tratamento, em razão da variedade e da elevada toxicidade dos contaminantes presentes. Os produtos adicionados durante a produção de petróleo são, em muitos casos, agentes complicadores para o tratamento dessas águas.

O tratamento da água de produção é uma questão emergente, pelo alto volume diário produzido, além dos motivos citados anteriormente. Com a utilização do processo de eletrofloculação, torna-se possível a reinjeção nos poços do efluente tratado, já que o grande problema dessa prática, ao se usar o mesmo *in natura*, é a grande quantidade de partículas oleosas e sólidas em suspensão; com isso, existe a possibilidade de oxidação/mineralização de compostos orgânicos, reduzindo a carga orgânica e a toxicidade desse efluente.

Na eletrofloculação, os resíduos gerados são de fácil destinação: o volume de lodo gerado pode ser encaminhado para queima na própria plataforma e os gases são, em sua maioria, hidrogênio, oxigênio e cloro. O hidrogênio pode ser reaproveitado como energia alternativa; o oxigênio retorna para a atmosfera; e o cloro só é gerado com alta condutividade do efluente – caso das águas de produção, em que ele auxilia na eletrólise como agente oxidante da matéria orgânica.

CONCLUSÃO

As sociedades humanas sofrem os efeitos de suas próprias incoerências ao fazerem uso descuidado do conhecimento científico e tecnológico em nome do progresso. Durante muito tempo, os recursos naturais foram explorados ilimitadamente, desde que benefícios fossem obtidos e permitissem o progresso material a qualquer custo, sendo a ânsia pelo lucro o principal motivo que provocou a situação irrefreável em

que se encontra a humanidade atualmente. Agora, o homem precisa buscar o equilíbrio necessário para compreender que sua prática em dispor dos recursos naturais existentes se tornou insustentável.

A questão ambiental criou forças nos últimos anos. O poder público, em seus vários níveis, as empresas e toda a sociedade estão cada vez mais conscientes dos problemas que a degradação e o uso não sustentável do meio ambiente podem causar à humanidade. Nos últimos anos, houve avanços na participação da sociedade nas questões ambientais.

Esses avanços foram visíveis na legislação brasileira, principalmente em termos de impactos ocasionados por emissões de efluentes oleosos no ecossistema marinho. Essa estruturação é necessária, pois pouco poderá ser feito para descontaminar o ambiente em curto prazo.

O desenvolvimento de novas tecnologias para "limpar" os rejeitos dos processos industriais, como a aplicação da técnica de eletrofloculação, faz-se necessária neste momento, em que a matéria-prima da indústria energética é baseada principalmente no petróleo. Mesmo com o incentivo para a utilização ou a descoberta de novas fontes energéticas, as chamadas "energias limpas", ainda somos dependentes da indústria petrolífera.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). Disponível em <http://www.anp.gov.br/leg/legislacao.asp> acesso em 05/07/2009

BANCO MUNDIAL. **Licenciamento ambiental de empreendimentos hidrelétricos no Brasil**: uma contribuição para o debate. Relatório no 40995-BR. v.3 Disponível em http://siteresources.worldbank.org/INTLACBRAZILINPOR/Resources/Brazil_licenciamento_SintesePortugueseMarch2008.pdf acesso em 15 dez. 2008.

BRASIL. Leis, decretos, etc. Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, dispõe sobre a Política Nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/6938org.htm>

BRASIL. Leis, decretos, etc. Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o sistema Nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta início do art. da constituição Federal e altera o art.

1º da lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a lei 7.990 de 28 de dezembro de 1990, que modificou a lei 7.990 de 28 de dezembro de 1989. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm

BRASIL. Leis, decretos, etc. Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e de outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm

BURSZTYN, M. (Org.). **Difícil sustentabilidade:** Política energética e conflitos ambientais. Rio de Janeiro: Garamond, 2001, p. 59-76.

CAMPOS, A. L. O.; RABELO, T. S.; SANTOS, R. O.; MELO, R. F. L. V. Produção mais limpa na indústria do petróleo: o caso da água produzida no campo de carmópolis. . CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 23. **Anais**. Campo Grande, 2005.

CAROLINA, A.; SILVA, A. B. Globalização e meio ambiente: um estudo sobre a implementação e mudanças na política ambiental brasileira nos anos 90. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11. Campinas, UNICAMP, 2003.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 20/86; no 357/05 e no 393/07.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **A questão ambiental em Minas Gerais:** discurso e política. Belo Horizonte: FEAM. 1998.

GABARDO, I. T. Caracterização química e toxicológica da água produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar. Tese (Doutorado) – UFRN, 2007, 250f.

LITTLE, P. E. **Políticas ambientais no Brasil:** análises, instrumentos e experiências. Brasília: Editora Peirópolis, 2003, p. 13-21.

MACHADO, C. J. S. A questão ambiental brasileira: uma análise sociológica do processo de formação do arcabouço jurídico-institucional, **Revista de Estudos Ambientais**. v. 2, n.2-3,p.5-20, 2000.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) Disponível em: <http://www.mma.gov.br/conama/> acesso em 07 jul. 2009.

MORAES, S. R. R.; TUROLLA, F. A. Visão geral dos problemas e da política ambiental no Brasil. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.34, n.4, 2004.

OLIVEIRA, R. C. G.; OLIVEIRA, M. C. K. Remoção de contaminantes tóxicos dos efluentes líquidos oriundos da atividade de produção de petróleo no mar. **Bol. Tec. PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 43, n.2, p.129-136, 2000.

PLANALTO. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil/> Acesso em 06 jul. 2009.

RODRIGUES, R. T. Inovação tecnológica no tratamento de águas oleosas de plataformas marítimas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003 – Escola de Engenharia – XIX Prêmio Jovem Cientista – água – fonte de vida.

RODRIGUES, J. R. Utilização de copolímeros a base de estireno e divinilbenzeno na extração de óleos e graxas presentes em efluentes aquosos. Dissertação. (Mestrado), Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, A. L. C. Processo eletrolítico: Uma alternativa para o tratamento de águas residuárias. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) em Química Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SOUZA, A. C. A. (2006). **A evolução da política ambiental no Brasil do século XX**. Disponível em: http://www.achegas.net/numero/vinteeseis/ana_souza_26.htm acesso em 12 de janeiro 2009.

THOMAS, J. E. (Org.) **Fundamentos da Engenharia do Petróleo**. 2. ed. Intersciência, 2004, Petrobrás. Rio de Janeiro.

VIEIRA, L.; BREDARIOL, C. **Cidadania e política ambiental**. Rio de Janeiro: Record. 1998.

VIEIRA, D. S.; CAMMAROTA, M. C.; CAMPORESTE, E. F. S. **Redução de contaminantes presentes na água de produção de petróleo**. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA & DESENVOLVIMENTO,

2., UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

TITLE: MANAGEMENT OF PRODUCTION WATER: HISTORY, ENVIRONMENTAL POLICY AND ALTERNATIVE TECHNOLOGY

ABSTRACT

This paper discusses the application of electroflocculation using alternating current following the lines of the new Brazilian environmental policy in relation to which attention must be given to the management of production water, one of the main waste generated during the process of exploration and production in the petroleum industry, which is increasing in volume as they operate the existing wells and new wells are drilled. It is a literature review of the evolution of global environmental policy, naming a few events that marked the change of world thought in relation to global environmental problems, demonstrating the evolution of the Brazilian Environmental Policy and a history of the laws of disposal of wastewaters. It is also discussed the framework of the wastewater in receiving bodies of water produced in the environmental legislation due to new environmental laws and resolutions aimed at minimization and quality improvement in the oil fields. The examination of this type of industrial exploitation of water resources, especially off-shore platforms, requires the integration of environmental policy states, including the resolutions of the Conselho Nacional do Meio Ambiente.

KEYWORDS: *Electrofloculation; Production water; Wastewater treatment; Water resources management; Brazilian environmental policy.*