

ANÁLISE DE RISCOS AMBIENTAIS DA DESTINAÇÃO FINAL DE ÁGUA CAPTADA DE CAMPOS DE PETROLEO PARA FINS DE IRRIGAÇÃO

Jullyanno Gonçalves Xavier^{1,a} Carlos Enrique de M. Jerônimo^{1,b}
Caio Pio Balbino² Mateus Soares Coelho³

¹Universidade Potiguar. Eng. Petróleo e Gás. (^{1a} jullyannoxavier@yahoo.com.br, ^{1b} c_enrique@hotmail.com)

²UNIP. Assistente Ambiental (caiopio_18@hotmail.com).

³UNINILTONLINS. Assistente Ambiental (mateusscoelho@hotmail.com)

<http://dx.doi.org/10.5902/223613086674>

RESUMO

Neste trabalho foi realizado um estudo para mapear os riscos e qualificá-los, de forma a direcionar para as medidas mitigadoras que devam ser condicionados a tais elementos. A metodologia consistiu em um método exploratório, campo e revisão da literatura, para avaliar as condições padrões dos projetos e características das águas produzidas no nordeste brasileiro. Os resultados demonstram que a utilização de água produzida para fins de irrigação é uma boa prática, estando os riscos associados a tal atividade em 57% enquadrados como negligenciáveis. Os principais riscos foram observados na correlação dos fatores de produção do rejeito da osmose reversa (pelos graus de frequência associados e nível de concentração de poluentes) e as possíveis contaminações do solo por irrigação de efluentes com níveis elevados de hidrocarbonetos, mediante falhas operacionais no sistema de separação de água-óleo, ou mesmo na flotação desses efluentes. As recomendações para o manejo das correntes concentradas da osmose reversa remetem a necessidade de outras formas de destinação final, com uso de técnicas de incineração, aterros industriais ou coprocessamento. Devendo, ainda, a mitigação da contaminação do solo ser realizada por meio de técnicas preventivas de manutenção nos sistemas de tratamento dos efluentes, de forma a evitar distúrbios que possam gerar correntes fora dos patamares desejados. Além disso, é recomendável que o sistema seja inter-travados com o uso de analisadores em linha do teor de óleo e graxas, presentes nos referidos efluentes tratados.

Palavras-chave: riscos ambientais, água produzida e irrigação.

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL RISK ANALYSIS OF FINAL DESTINATION OF WATER CAPTURED IN OIL FIELDS FOR PURPOSES OF IRRIGATION

In this paper a study was conducted to map the risks and qualify them to direct to the mitigation measures that must be conditioned to such elements. The methodology consisted of an exploratory method, field and literature review to evaluate the projects standard conditions and characteristics of the produced water in northeastern Brazil. The results demonstrate that the use of produced water for irrigation is of good practice, and 57% of the risks associated with such activity is classified as negligible. The main risks were observed in the correlation of the factors of osmosis reverse production (by the associated degrees of frequency and pollutants concentration level) and possible soil contamination by irrigation of effluent with high levels of hydrocarbons by operational failures in the oil-water separation system, or even in the effluents flotation. Recommendations for the management of reverse osmosis concentrated currents need to refer to other forms of disposal, using techniques incineration, landfill or industrial coprocessing. Since,



the mitigation of soil contamination be performed by preventive maintenance techniques in the systems effluent treatment, in order to avoid disturbances that generate currents outside of desired levels. Furthermore, it is recommended that the system to be inter-locked with the use of in-line analyzers content of oil and grease contained in said treated effluent.

Keywords: environmental risks, produced water and irrigation.

INTRODUÇÃO

A aplicação no solo constitui uma das práticas mais antigas de tratamento, destino final e/ou reciclagem de esgotos sanitários. As “fazendas de esgotos”, como ficaram conhecidas as primeiras experiências na Inglaterra, no início do século XIX, logo se disseminaram pela Europa e Estados Unidos. Entre vários exemplos, talvez o mais significativo seja o da cidade de Melbourne, Austrália, onde um sistema em operação desde 1897 (*Werribee Farm*) recebe atualmente 510 milhões de litros de esgoto por dia, ocupando uma área de 10.850 ha e servindo à pastagem de um rebanho de 13.000 bovinos e 3.000 ovinos. Entretanto, com o crescimento das cidades a valorização das áreas periurbanas e a sedução exercida pelo desenvolvimento de alternativas tecnológicas mais sofisticadas, a opção pela disposição no solo como método de tratamento foi praticamente abandonada por volta do final da primeira metade do século XX (Bastos, 2003).

A aplicação de esgotos no solo como uma fonte de irrigação é uma prática bastante antiga, sendo uma forma bem sucedida de tratamento e disposição final dos efluentes resultantes das atividades humanas, conforme descrevem inúmeras pesquisas nessa temática (Andrade Neto, 1991; Heller, 1996; Nadai, 1999; Melo, 2000; Bastos, 2003).

A vantagem do desenvolvimento desta atividade se faz quando da aplicação, visto que há a filtração e a ação de microrganismos, que possuem a capacidade de transformar a matéria orgânica em compostos mais simples. Eles realizam esta atividade buscando alimento e produção de energia. Com isso, tem-se como resultado final deste processo, um efluente tratado e um solo revitalizado, haja vista que os compostos gerados pelos microrganismos podem ser benéficos para o crescimento das plantas e vegetais. Em alguns casos são observadas aplicações para produção de alimentos ou outros produtos de origem vegetal (Andrade Neto, 2003).

Quando a esfera industrial entra na pauta de discussão existem inúmeras questões contrárias ao desenvolvimento deste tipo de procedimento, em especial, pelo fato de que alguns autores alertam para os riscos de contaminação por metais pesados ou substâncias tóxicas que podem ser transferidas para os produtos a serem irrigados ou mesmo por prejuízos ao lençol subterrâneo (Kolesnikovas *et al*, 2009).

Logo, o principal paradigma surge quando se busca a alternativa do aproveitamento da água oriunda dos campos de produção de petróleo para fins de irrigação, para produção de cobertura vegetal, oleaginosas ou mesmo produtos com cunho alimentício indireto como no caso da cana-de-açúcar.

Segundo Fernandes (2006) entre os diversos efluentes gerados na indústria do petróleo, encontram-se as águas de produção que são misturas complexas de água de formação com substâncias orgânicas e inorgânicas, suspensas e dissolvidas. Entre os contaminantes presentes na água de produção encontram-se os metais pesados, cuja concentração, nestes efluentes, pode exceder os limites permissíveis pela legislação em vigor. Logo, têm-se grandes limitações para a destinação final desses.



São milhões de litros de água/dia descartados, segundo Lima (2006), contendo metais pesados em baixas concentrações (por exemplo, chumbo, cádmio e níquel). Uma parte desta água poderia ser reaproveitada para reuso seja na produção de vapor d'água, usado normalmente para injeção em poços com a finalidade de aumentar o fator de recuperação de óleo/gás do poço, seja na irrigação para cultura de oleaginosas, visando a formulação de bicomcombustível. Para o reuso destas águas faz-se necessário tratamento adequado para atender a critérios ambientais, sobretudo, por uma carência no enquadramento a um parâmetro legal de referência.

Dentro desse contexto não são poucos os desafios das empresas petrolíferas que buscam sua atuação. Em especial, podemos destacar a questão da degradação dos constituintes presentes nesses subprodutos, pois a maioria do petróleo produzido no Brasil é pesado, e com grande produção de água associada (Parente *et al*, 2005).

Quando tal cenário é observado nas bacias de campos maduros, especialmente no nordeste brasileiro, os significativos volumes de água produzida são ainda mais significativos. E um contraponto surge nessa temática, visto que a região é notadamente conhecida pela escassez de água, especialmente para projetos de irrigação, sofrendo comumente com períodos extensos de estiagem pluviométrica.

Sendo assim, diante das limitações técnicas para emprego da irrigação com água produzida de campos de petróleo, a alta disponibilidade de recursos hídricos relacionados a tal atividade produtiva e a grande demanda da região nordeste brasileiro por projetos de irrigação, neste trabalho é feita uma avaliação dos riscos ambientais e a saúde humana, para a aplicação de água produzida de campos de petróleo para a irrigação para produção de cultivares (alimentícios ou não).

Tais técnicas são recomendadas na literatura como um aporte na solução dos problemas relacionados ao descarte desses materiais e, sobretudo, nas limitações técnicas e restrições legais associadas (Correia; Jerônimo, 2012). Entretanto, não foram apontados os cenários adequados e nem as condições de riscos que devem ser expostas tais condições operacionais e tipos de destinação final.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo constitui-se de uma pesquisa aplicada, pois objetiva levar conhecimentos para extensão do uso das principais técnicas e recomendações acerca da legislação do gerenciamento de recursos hídricos (especialmente, com fins de potabilidade) em processos de irrigação de águas produzidas em campos de petróleo, levantadas mediante incursões investigativas.

Do ponto de vista dos objetivos, trata-se de um estudo exploratório-descritivo, o qual visa descrever a problemática em discussão, buscando caracterizar o objeto de estudo. Bem como, fazendo um estudo comparativo as pesquisas desenvolvidas para o tratamento de esgotos sanitários e a disposição final desse tipo de efluente.

A hipótese pauta-se na possibilidade de haver alterações significativas e riscos a saúde humana nos casos analisados, em especial, pela contaminação de agentes químicos não removidos no processo em questão. Em outras palavras, espera-se que essa análise demonstre elementos para apoiar no aumento dos níveis de eficácia dos sistemas de tratamento, de forma que se tenha um correto gerenciamento dos efluentes advindos dessas atividades.



Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, o estudo caracteriza-se como pesquisa bibliográfica, por sua elaboração partir do levantamento e análise de material já publicado, como artigos científicos, livros, relatórios técnicos, etc. e (Silva; Menezes, 2001), e como estudo de caso devido à utilização de dados de campo.

A estrutura da pesquisa consiste em:

- Formulação do problema, englobando a justificativa do estudo, a determinação dos objetivos, a contextualização da problemática e definição da metodologia;
- Realização do levantamento teórico, que orienta a caracterização do objeto de estudo, as definições e conceitos a serem utilizados em análise e correntes de pensamentos que norteiam a hipótese da pesquisa;
- Levantamento de dados em campo, por meio de incursões investigativas em campos maduros, mais especificamente do estado do Rio Grande do Norte;
- Estudo criterioso sobre o cumprimento dos requisitos atribuídos pela resolução CONAMA 430/2011 e a portaria do ministério da saúde 2.914/2011;
- Realização de uma análise estatística dos dados obtidos e desdobramento numa análise preliminar de riscos.

Os dados coletados em campos foram organizados, de acordo com a necessidade da utilização em pesquisa, e utilizados para elaboração do levantamento das principais ações de oportunidades.

Por fim, foram coletadas informações quanto ao tratamento e destinação final, em termos de: Existência de técnicas de tratamento; aplicações existentes, utilizações possíveis e riscos associados.

A metodologia de APR compreende a execução das seguintes etapas: definição dos objetivos e do propósito da análise; definição das fronteiras do processo analisado; levantamento de campo para coleta de informações sobre a instalação e os perigos envolvidos; subdivisão do processo em etapas; realização da APR propriamente dita (preenchimento da planilha); caracterização dos cenários identificados através de uma matriz de classificação de risco (frequência e severidade) e análise dos resultados (Aguiar, 2011).

Os resultados da APR são registrados convenientemente numa planilha, conforme ilustrado na Quadro 1. Que, para cada etapa do processo, mostra os perigos identificados, as causas, o modo de detecção, efeitos potenciais, categorias de frequência, severidade e risco, as medidas corretivas e/ou preventivas e o número do cenário (Amorim, 2010).



Quadro 1 – Planilha de Análise Preliminar de Riscos.

Análise Preliminar de Riscos (APR)								
Etapa do processo	Perigo	Causa (s)	Modos de Detecção	Efeitos	Categorias		Recomendações/Obs.	Nº do Cenário
					Frequência	Severidade		

Fonte: Autores.

Para a execução da análise, o processo em estudo foi dividido em etapas. A realização da análise propriamente dita é feita através do preenchimento de uma planilha de APR para cada atividade do fluxograma de processo do segmento. A planilha adotada para a realização da APR, mostrada no Quadro 1, contém 9 colunas, as quais foram preenchidas conforme as descrições a seguir:

Perigo

Identificaram-se, para cada etapa do processo, os respectivos perigos. De uma forma geral, os perigos são eventos acidentais que têm potencial para causar danos às instalações, aos operadores, ao público ou ao meio ambiente.

Causa (s)

Discriminaram-se as causas de cada perigo. Estas causas podem envolver tanto falhas intrínsecas de equipamentos (vazamentos, rupturas, falhas de instrumentação, etc.), bem como erros humanos de operação e manutenção.

Modo de Detecção

Relacionaram-se os modos disponíveis na instalação para a detecção do perigo identificado.

Efeito

Listaram-se os possíveis efeitos danosos de cada perigo identificado.

Categorias de Frequência

Definiu-se como “cenário de acidente” o conjunto formado pelo perigo identificado, suas causas e cada um dos seus efeitos. Deste modo, classificaram-se cada cenário de acidente em uma categoria de frequência, a qual fornece uma indicação qualitativa da probabilidade esperada de ocorrência para cada cenário identificado, conforme a Tabela 1 (Amorim, 2010).



Quadro 2: Categorias de Frequência dos cenários da APR.

Categoria	Denominação	Descrição
1	Extremamente Remota	Extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil da instalação
2	Remota	Não deve ocorrer durante a vida útil da instalação
3	Improvável	Pouco provável que ocorra durante a vida útil da instalação
4	Provável	Esperado ocorrer pelo menos uma vez durante a vida útil da instalação
5	Freqüente	Esperado ocorrer várias vezes durante a vida útil da instalação

Fonte: Adaptado de Amorim (2010).

Categorias de Severidade

Classificaram-se cada cenário de acidente em categoria de severidade, a qual fornece uma indicação qualitativa do grau de severidade das consequências de cada um dos cenários identificados. As categorias de severidade utilizadas no presente trabalho estão discriminadas na Quadro 3 (Amorim, 2010).

Quadro 3: Categorias de Severidade dos cenários da APR.

Categoria	Denominação	Descrição/Características
I	Desprezível	Não ocorrem lesões ou mortes de funcionários, de terceiros (não funcionários) e/ou de pessoas extramuros (indústrias e comunidade); o máximo que pode ocorrer são casos de primeiros socorros ou tratamento médico menor.
II	Marginal	Lesões leves em funcionários, terceiros e/ou em pessoas extramuros;
III	Crítica	Lesões de gravidade moderada em funcionários, em terceiros e/ou em pessoas extramuros (probabilidade remota de morte de funcionários e/ou de terceiros); exige ações corretivas imediatas para evitar seu desdobramento em catástrofe.
IV	Catastrófica	Provoca mortes ou lesões graves em várias pessoas (em funcionários e/ou em pessoas extramuros);

Fonte: Adaptado de Amorim (2010).

Categoria de Risco

Combinando-se as categorias de frequência com as de severidade obtêm-se a Matriz de Riscos, conforme a Quadro 4, a qual fornece uma indicação qualitativa do nível de risco de cada cenário identificado na análise. O resultado dessa matriz permite visualizar os cenários de acidente de maior impacto para a segurança do processo. (Amorim, 2010).

Medidas/Observações

Esta coluna contém as medidas que devem ser tomadas para diminuir a frequência ou severidade do acidente ou quaisquer observações pertinentes ao cenário de acidente em estudo.

Identificador do Cenário de Acidente

Esta coluna contém um número de identificação do cenário de acidente. Foi preenchida seqüencialmente para facilitar a consulta a qualquer cenário de interesse, conforme Quadro 4.

Quadro 4: Matriz de Classificação de Riscos usada na APR.

Frequência							Seve rida de	Legenda											
A	B	C	D	E															
2	3	4	5	5		IV	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Risco</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>1 - Desprezível</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2 - Menor</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3 - Moderado</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4 - Sério</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5 - Crítico</td> </tr> </tbody> </table>	Risco			1 - Desprezível		2 - Menor		3 - Moderado		4 - Sério		5 - Crítico
Risco																			
	1 - Desprezível																		
	2 - Menor																		
	3 - Moderado																		
	4 - Sério																		
	5 - Crítico																		
1	2	3	4	5		III													
1	1	2	3	4		II													
1	1	1	2	3		I													

Fonte: Camacho (2005) e Amorim (2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de qualificar o espaço amostral utilizado para levantamento da matriz de riscos associados a irrigação de plantio com água produzida tratada, foram descritas cada uma das etapas que cercam o tratamento específico que esta água deve receber.

Em relação aos riscos advindos do uso dessa água para a irrigação, neste trabalho será limitado ao uso para o cultivo de espécies oleaginosas, a serem empregadas para extração de óleo vegetal para posterior produção de biodiesel.

Descrição das Propostas de Tratamento

Conforme descrevem Campos et al (2005), Andrade et al (2008) e Gomes (2009), as principais técnicas a serem aplicadas na lapidação e obtenção de uma água com qualidade suficiente para uma irrigação segura são os processos que envolvem: tratamento preliminar (com os separadores água-óleo gravitacionais), o sistema primário (flotação com ar dissolvido) e o polimento complementar que deve ser realizada por técnicas de osmose reversa ou ultrafiltração, a depender da concentração de sais presentes nas referidas águas.

A partir da remoção das impurezas (óleo, sólidos e sais), é considerada que as águas para o processo de irrigação poderão ser utilizadas. Alguns registros de uso são vistos em escalas pilotos, e CILGAS (2011) relata um projeto piloto realizada pela Petrobras no campo de produção de Fazenda Belém, no estado do Ceará.



Análise Preliminar de Riscos

Segundo Aquino; Costa (2011) os riscos ambientais podem ser causados por qualquer agente de natureza variável e quando presentes no ambiente de trabalho podem vir a causar danos à saúde do trabalhador por sua natureza, concentração, intensidade ou tempo de exposição. Este trabalho buscou identificar os riscos físicos, químicos e biológicos.

No levantamento dos perigos mapeados para o emprego deste tipo de água, foram mapeados, especialmente, os seguintes cenários de aspectos e impactos ao meio ambiente, a saber:

- 1 – Contaminação do solo por resquícios de hidrocarbonetos;
- 2 – Salinização do solo pela aplicação de elevados níveis de concentração de sais na água;
- 3 – Exposição dos colaboradores a componentes tóxicos, derivados de hidrocarbonetos, presentes na água;
- 4 – Geração de resíduos contaminados por hidrocarbonetos, oriundos da cobertura vegetal pós-colheita;
- 5 – Contaminação do lençol subterrâneo por hidrocarbonetos;
- 6 – Aumento da salinidade do lençol subterrâneo pela emissão excessiva de sais presentes na água;
- 7 – Exposição da biota da região a índices elevados de toxicidade, com posterior alteração nos níveis de resistência a defensivos contra pragas;
- 8 – Contaminação de corpos d'água superficiais com a presença de hidrocarbonetos via lixiviação e escoamento superficial derivado da ação de precipitações pluviométricas;
- 9 – Contaminação do solo e das águas (superficial e subterrânea) por metais pesados presentes na água produzida;
- 10 – Emissões evaporativas contendo vapores orgânicos voláteis, que contribuam para problemas de saúde dos colaboradores expostos e aquecimento global pela emissão de CO_{2eq};
- 11 – Efeito erosivo potenciado e diferenciado pelas características da água produzida tratada;
- 12 – Geração de efluentes no processo de tratamento, com alta concentração de poluentes;
- 13 – Aumento da emissão de poluentes atmosféricos pela demanda crescente de energia para o tratamento da água produzida para fins de irrigação;
- 14 – Aumento dos níveis de ruído com uso da água produzida tratada, em função de suas características.

Diante do mapeamento inicial foi possível identificar as possíveis causas, os modos de detecção que garantem o controle do aspecto ou impacto, e os efeitos associados aos quatorze elementos mapeados. Na Tabela 1 são apresentados os resultados dessa análise.



Tabela 1: Análise de Causas, Modos de Detecção para os Perigos Mapeados.

Perigo	Causa (s)	Modos de Detecção	Efeitos
1	Falha no sistema de separação e/ou flotação.	Análise visual e TOG	Ocorrência de óleo na água da irrigação, com conseqüente descarte inadequado, com redução na fertilidade do solo.
2	Falhas no sistema de osmose reversa com a especificação da água de forma inadequada.	Condutividade elétrica e Análise Química da água e do solo.	Aumento da concentração de sais, com redução na fertilidade do solo.
3	Falhas no sistema de separação e/ou flotação & Não utilização de EPIs apropriados pelos colaboradores.	Análise visual e TOG	Ocorrência de óleo na água da irrigação, com conseqüente exposição dos colaboradores a riscos ocupacionais, com doenças associadas ao benzeno e outros hidrocarbonetos.
4	Falhas no sistema de separação e/ou flotação & Irrigação com água imprópria.	Análise visual e TOG	Ocorrência de óleo na água da irrigação, com conseqüente descarte inadequado.
5	Inoperância no sistema de separação e/ou flotação.	Análise visual	Ocorrência de óleo na água da irrigação, com conseqüente descarte inadequado.
6	Inoperância continuada do sistema de osmose reversa.	Análise visual	Aumento da concentração de sais, com redução na fertilidade do solo.
7	Falhas no sistema de separação e/ou flotação & Irrigação com água imprópria.	Análise visual e TOG	Ocorrência de óleo na água da irrigação, com conseqüente descarte inadequado.
8	Inoperância no sistema de separação e/ou flotação	Análise visual	Ocorrência de óleo na água da irrigação, com conseqüente descarte inadequado.
9	Modificação das características dos fluidos produzidos.	Análise química do petróleo e da água produzida	Bioacumulação de metais na cadeia trófica.
10	Irrigação com água sem o tratamento adequado.	Análise visual e TOG	Ocorrência de contaminantes na água da irrigação, com conseqüente descarte inadequado.
11	Não Associado.	-	-
12	Concentração do rejeito da osmose	Análise química – NBR 10004/2004	Uso de recursos naturais para abatimento do efeito danoso



	reversa.		do resíduo gerado.
13	Funcionamento inadequado/adequado de bombas e sistemas de osmose.	Observação e <i>Checklist</i> operacional	Uso de recursos naturais utilizados para produção da energia.
14	Não Associado.	-	-

Considerando tal mapeamento na Figura 1 é apresentada a análise das freqüências que tais perigos ou aspectos podem ocorrer no referido processo. Observou-se que os cenários de falhas operacionais são os com maiores probabilidades de ocorrência, tendo-se as maiores probabilidades na ocorrência da contaminação do solo por resquícios de hidrocarbonetos; na geração de efluentes no processo de tratamento, com alta concentração de poluentes e no aumento da emissão de poluentes atmosféricos pela demanda crescente de energia para o tratamento da água produzida para fins de irrigação. Entretanto, tais elementos precisam passar por uma avaliação de severidade para enquadramento do seu grau de risco.

Os riscos 11 e 14 foram desconsiderados da análise pelo fato de não terem associações aos processos envolvidos, bem como, posteriormente foram visualizados como de baixíssima probabilidade e níveis negligenciáveis de severidade, como serão mostrados posteriormente. Para efeito de análise das figuras deve-se considerar o elemento em vermelho como crítico, em amarelo sob atenção e o verde com possibilidade de ser negligenciável. E tal dinâmica de avaliação será adotada para os 3 gráficos a seguir.

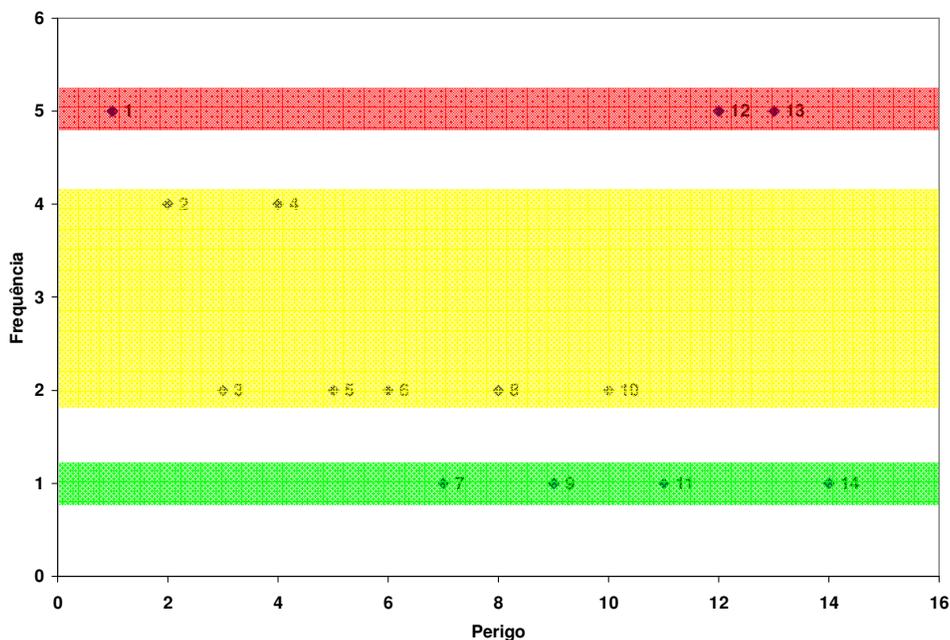


Figura 1: Freqüência dos Perigos Avaliados.

Considerando o grau de severidade dos perigos analisados, tem-se o resultado apresentado na Figura 2.

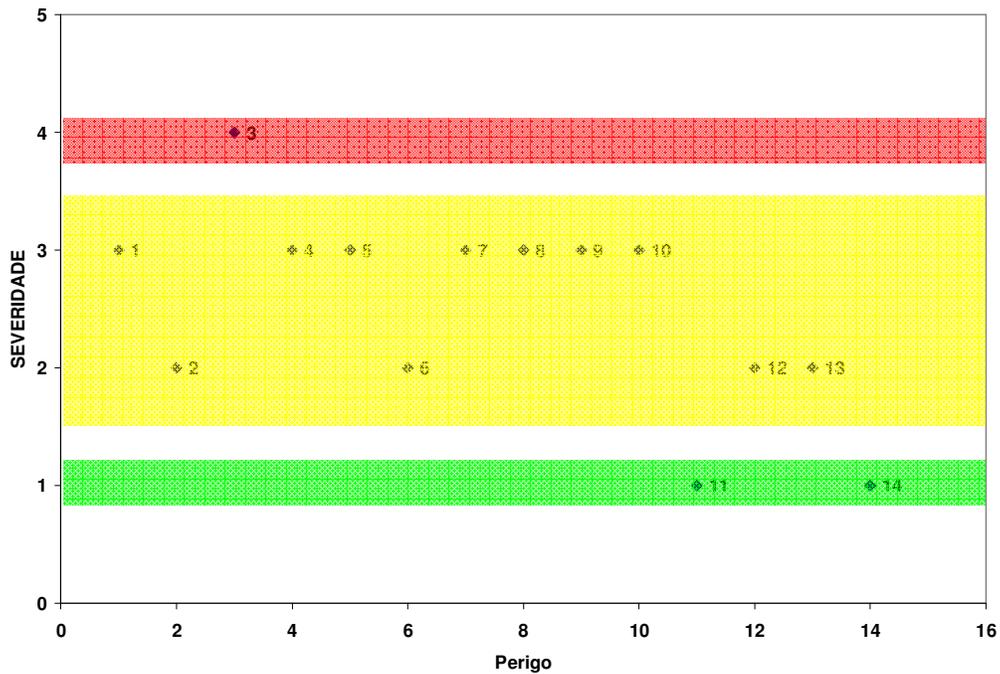


Figura 2: Frequência dos Perigos Avaliados.

Avaliando os resultados dos riscos associados, temos o cruzamento das informações relativas à frequência e a severidade, enquadrando o cenário, demonstrado na Figura 3.

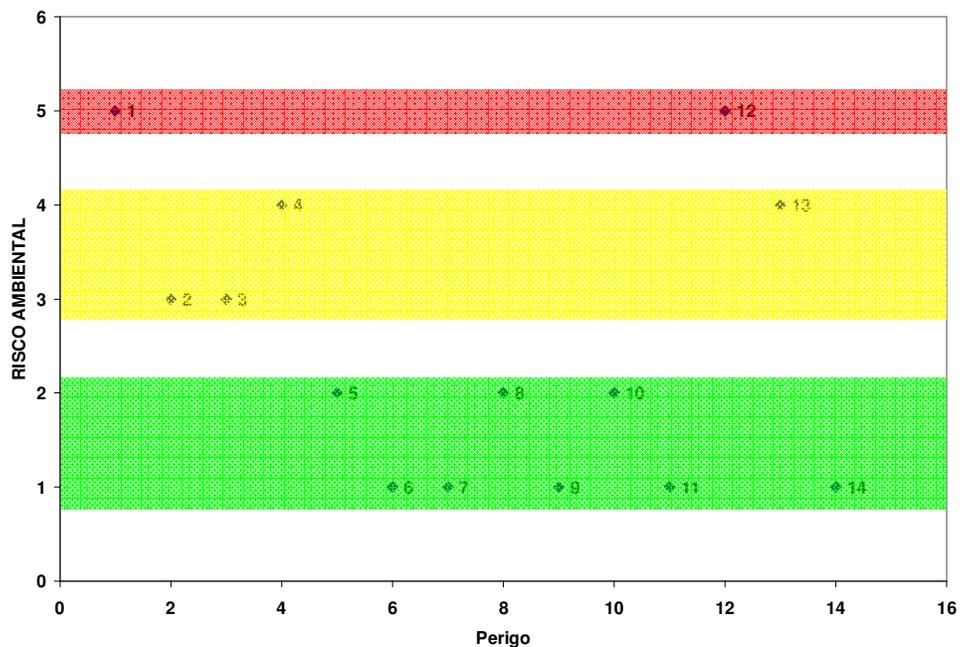


Figura 3: Riscos Ambientais numa escala de priorização.

Observou-se que 57% dos riscos podem ser negligenciáveis, visto que o binômio frequência e severidade apontam para categorias 1 e 2, na escala utilizada. Entretanto, os riscos ambientais



que foram enquadrados na categoria 3 (risco moderado), apesar de terem sido classificados numa categoria menor em relação aos demais riscos presentes no trabalho, deverão ser observados e neutralizados com a implementação das medidas corretivas e/ou preventivas sugeridas, conforme comentado por Cantagallo *et al* (2007), tendo a tratativa de acompanhamento, medições e monitoração.

Os riscos ambientais que foram enquadrados na categoria 4 e 5 (riscos crítico e sério) ensejam maiores cuidados; para esses riscos existem medidas preventivas eficientes que minimizam e/ou neutralizam os riscos identificados, por exemplo, treinamento dos trabalhadores, instalação adequada de máquinas e equipamentos, manutenção periódica de máquinas e equipamentos, equipamentos de proteção coletiva, equipamentos de proteção individual, etc. Sendo assim, as questões que envolvem a geração de efluentes no processo de tratamento, com alta concentração de poluentes (rejeito da osmose reversa) e a possível contaminação do solo por resquícios de hidrocarbonetos, devem possuir planos específicos de manejo e prevenção.

No caso do rejeito da osmose reversa, este elemento apresentou um patamar de risco considerável, pela sua frequência continuada ao longo do processo. E por ser um rejeito de alta concentração de sais e conseqüentemente contaminantes. Para esse perigo (aspecto ambiental) é importante a adoção de elementos de gerenciamento, para adequação de formas de destinação final apropriadas; em especial: incineração, disposição em aterros industriais ou coprocessamento em fornos de cimenteira.

No tocante aos riscos de contaminação do solo por hidrocarbonetos, torna-se importante a inclusão de analisadores em linha do teor de óleo e graxa da água tratada, com ações de bloqueio para impedir a irrigação deste tipo de água em processos de falhas operacionais; uma boa conduta no sentido de estabelecimento de programas de manutenção preventiva e corretiva; e, uma gestão operacional com elevados graus de confiabilidade humana e dos equipamentos, a fim de mitigar os riscos associados a contaminação do solo.

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos é possível concluir que:

1. A utilização de água produzida para fins de irrigação é uma boa prática, estando os riscos associados a tal atividade em 57% enquadrados como negligenciáveis.
2. Os principais riscos foram observados na correlação dos fatores de produção do rejeito da osmose reversa (pelos graus de frequência associados e nível de concentração de poluentes) e as possíveis contaminações do solo por irrigação de efluentes com níveis elevados de hidrocarbonetos, mediante falhas operacionais no sistema de separação de água-óleo, ou mesmo na flotação desses efluentes.
3. As recomendações para o manejo das correntes concentradas da osmose reversa remetem a necessidade de outras formas de destinação final, com uso de técnicas de incineração, aterros industriais ou coprocessamento.
4. A mitigação da contaminação do solo deve ser realizada por meio de técnicas preventivas de manutenção nos sistemas de tratamento dos efluentes, de forma a evitar distúrbios que possam gerar correntes fora dos patamares desejados. Além disso, é recomendável que o sistema seja inter-travados com o uso de analisadores em linha do teor de óleo e graxas presentes nos referidos efluentes tratados.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. A. Metodologias de Análise de Riscos - APP & Hazop. Rio de Janeiro: 2011. Disponível em: <http://professor.ucg.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/13179/material/APP_e_HAZOP.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2012.

ALBUQUERQUE, H. S. et al. Estudo da eficiência de sistemas microemulsionados na recuperação avançada de petróleo. 4º PDPETRO, Campinas, São Paulo, 2007.

AMORIM, E. L. C. de. Ferramentas de Análise de Risco. Apostila do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alagoas, CTEC, Alagoas: 2010. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/71505557/Apostila-de-ferramentas-de-analise-de-risco>>. Acesso em: 08 jul. 2012.

ANDRADE, V. T.; SAMPAIO, A. C.; DIAS, S.; JÚNIOR OSWALDO, A. P. Dessalinização de água produzida, por processos térmicos, a fins de reúso. 193 p., In: IV Workshop sobre Gestão e Reúso de Água na Indústria, Florianópolis-SC, 2008.

ANDRADE NETO, C. O. O. Uso de Esgotos Sanitários e Efluentes Tratados na Irrigação. IX Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem - Natal, Rio Grande do Norte. Anais Vol. 2, p.1961-2006, 1991.

ANDRADE NETO, C. Hidroponia forrageira com efluente de filtro anaeróbio. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville-SC. 2003.

BARRILAS, J. L. M. Estudo do processo de drenagem gravitacional de óleo com injeção contínua de vapor em poços horizontais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Dissertação de Mestrado), 2005.

BASTOS, R. K. X. Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003, 267p.

CAMACHO, E. N. Uma Proposta de Metodologia para Análise Quantitativa de Riscos Ambientais. (2004). Tese - Programa de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

CAMPOS, A. L. O.; RABELO, T. S.; SANTOS, R. O.; MELO, R. L. F. V. Produção mais limpa na indústria de petróleo: o caso da água produzida no campo de Carmópolis/SE. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande-RJ, 2005.

CANTAGALLO, C. et al. Limpeza de ambientes costeiros brasileiros contaminados por petróleo: uma revisão. Pan-American Journal of Aquatic Sciences [S.l.], v. 2, n. 1, p. 1-12, 2007.

CILGAS. Petrobras testa irrigação no *onshore*. Disponível em: <http://www.cilgastech.com.br/rss/ler-mais.php?id=5&Petrobras-testa-irriga%E7%E3o-no-onshore.html>. Data de Acesso: 20.09.2012.

CORREIA, B.; JERÔNIMO, C. E. M. Oportunidades de produção mais limpa no consumo de recursos hídricos na exploração & produção de petróleo on shore no estado do RN. REGET. v(7), nº 7, p. 1335-1348, MAR-AGO, 2012.

FERNANDES JR, W. E. Projeto e Operação em Escala Semi-Industrial de um Equipamento para Tratamento de Águas Produzidas na Indústria do Petróleo Utilizando Nova Tecnologia: Misturador-Decantador à Inversão de Fases (MDIF). 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia,



Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

GOMES, E. A. Tratamento combinando da água produzida por eletroflotação e processo Feton. 95p., Dissertação (Mestrado) –Universidade Tiradentes, Aracaju-SE, 2009.

GUSHIKEN, M. T.; SIQUEIRA, J. B. Características gerais dos projetos de injeção de vapor nos reservatórios produtores de petróleo da formação açu na bacia potiguar. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal- RN, 2008.

HELLER, L. CHERNICHARO, C. A; “Tratamento e disposição final dos esgotos no meio rural.” Seminário Internacional, Belo Horizonte, MG, 6 a 8 março de 1996.

IBP. Informações e Estatísticas. Disponível em: <<http://www.ibp.org.br>>. Acesso em: 11/07/2012.

KOLESNIKOVAS, C. et al. Avaliação de risco toxicológico para hidrocarbonetos totais de petróleo em forma fracionada aplicada à gestão e monitoramento de água subterrânea em um complexo industrial. Revista Águas Subterrâneas, v.23, n.01, p.31-44, 2009.

LIMA, A. F. Caracterização e estudo da bioconversão da matéria orgânica dissolvida em efluentes da Petrobras no Rio Grande do Norte. 1996. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

MELO, H.N.S.; ANDRADE NETO C.O.; LUCAS FILHO M.; PEREIRA M.G. Pós-tratamento de esgotos sanitários por disposição no solo em bacia de infiltração e coluna de areia. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Coletânea de Artigos Técnicos. Vol. 1. pp. 17-24, FINEP/PROSAB, 2000.

MOTA, F. S. B. e VON SPERLING, M.. Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção/ (coordenadores). Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428p.

NADAI, F. A. tratamento de esgoto sanitário por infiltração em pequena profundidade de areia de alta condutividade hidráulica na remoção de DQO e SS. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária – ABES, 1999.

PREDA, W. N.; ALENCAR FILHO, M. Q.; BORBA, G. L. Características gerais dos projetos de injeção de água nos reservatórios produtores de petróleo da formação Açú na bacia potiguar. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal- RN, 2008.

THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.