

VI-013 - IMPACTOS AMBIENTAIS DO TRATAMENTO DE ÁGUA DE PRODUÇÃO EM ESTAÇÃO ONSHORE POR MEIO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Luciano Matos Queiroz⁽¹⁾

Professor Associado de Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA (EPUFBA).

Ícaro Souza D'Souza

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela EPUFBA. Especialista em técnicas avançadas para recuperação de petróleo e gás em campos maduros.

Endereço⁽¹⁾: Rua Prof. Arisitides Novis, 02, 4º andar, sala 09, Federação, Salvador, Bahia. CEP – 40.210-630.
e-mail: lmqueiroz@ufba.br

RESUMO

A maioria dos poços de produção de petróleo *onshore* no Estado da Bahia encontram-se em fase de declínio de produção e são considerados poços maduros. Nesses casos, a extração de petróleo prescinde do tratamento de grandes volumes de água que são reutilizados na manutenção da pressão nesses poços. Portanto, justifica-se a aplicação de ferramentas que utilizam a abordagem do Pensamento de Ciclo de Vida (*Life Cycling Thinking*) buscando avaliar de forma holística os potenciais impactos ambientais associados às etapas do tratamento das águas de produção (AP). Aplicou-se essa metodologia à uma estação estruturada para recepção de petróleo bruto localizada na bacia sedimentar do recôncavo baiano. A ACV foi elaborada utilizando-se o *software* SimaPro® versão 8.0.1, licença PhD e a metodologia para a compilação do ICV foi a CML-IA *baseline*. Os resultados mostraram que os fatores determinantes no desempenho ambiental desse processo estão relacionados com as emissões atmosféricas associadas à matriz energética utilizada no processo de forma majoritária, tanto para as categorias de Aquecimento Global, quanto para Acidificação. Portanto, a ACV revelou que o arranjo tecnológico do tratamento da AP revela que o tanque de lavagem deve ser o foco de qualquer tomada de decisão, caso não exista a intenção da mudança na matriz energética.

PALAVRAS-CHAVE: Água de produção, Avaliação de ciclo de vida, Petróleo, Produção *onshore*.

INTRODUÇÃO

Segundo dados da Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2015), no Brasil, existem 9.059 poços produtores de petróleo dentre os quais, 803 são poços marítimos (*offshore*) responsáveis pela produção de 93,3% do petróleo nacional, enquanto os outros 8.256 poços no continente (*onshore*) produzem 6,7%, e são considerados poços maduros.

A geração da água de produção (AP) como subproduto da produção de petróleo e gás ocorre ao longo dos processos de separação dessa mistura de fluidos durante o processamento primário (separação e acondicionamento da água, gás e óleo). A AP contém contaminantes como: hidrocarbonetos, cloreto de potássio, cloreto de sódio, íons de ferro e suas concentrações variam com o tipo e idade do poço além de outros fatores secundários, portanto, seu tratamento é essencial para qualquer destinação. Geralmente, o tratamento da AP consiste na desestabilização da emulsão para a conseguinte separação. Por falta de valor econômico, as alternativas adotadas para destinação final da AP são: descarte, reinjeção nos poços produtores e o reúso. Contudo, todas essas opções necessitam de tratamento específico para atender às demandas ambientais, operacionais ou da atividade produtiva (MOTTA, 2013).

Por conta da maturidade dos poços *onshore* brasileiros, há a necessidade do tratamento de volumes cada vez maiores de água de produção (AP) que é reutilizada na manutenção da pressão de extração e, consequentemente, na produção de petróleo. Segundo Motta (2013) para tanto, os processos mais usuais de tratamento da AP são: flotação por ar dissolvido, uso de hidrociclones e separadores gravitacionais, além de alternativas como os processos de separação por membranas que constituem tecnologia atrativa.

Para o auxílio da tomada de decisão sobre a aplicação das tecnologias de tratamento e recuperação desses grandes volumes de AP podem ser utilizadas ferramentas que permitem avaliar e quantificar os impactos ambientais oriundos desses processos. Objetiva-se, em última análise, a melhoria do desempenho ambiental do próprio processo de exploração de petróleo *onshore*. Nesse contexto, a abordagem do Pensamento de Ciclo de Vida (*Life Cycling Thinking*) usando a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como ferramenta trata de forma abrangente e permite avaliar holisticamente os aspectos ambientais e potenciais impactos associados às etapas do tratamento das águas de produção.

Portanto, neste trabalho avaliaram-se os potenciais impactos ambientais da etapa do tratamento de AP em uma estação de produção de petróleo em fase de declínio de produção, na bacia sedimentar do recôncavo baiano. A avaliação dos potenciais impactos ambientais associados aos processos foi fundamentada na teoria do Pensamento do Ciclo de Vida e uso da ACV e concretizadas por meio da elaboração de cenários, do uso do software SimaPro® e das alterações ocorridas em cada uma das categorias de impacto selecionada.

MATERIAL E MÉTODOS

O objeto de estudo é uma estação estruturada para recepção de petróleo bruto, aqui denominada estação B, localizada na bacia sedimentar do recôncavo baiano. Nessa estação, o óleo, quando estabilizado, é enviado para um parque de armazenamento e, em seguida, para a refinaria. O gás natural é destinado à unidade de processamento de gás natural e a AP passa por um tratamento por flotação e decantação para posterior descarte ou injeção no reservatório produtor para manutenção da pressão interna. A Figura 1 mostra o fluxograma simplificado do processo de produção de petróleo da estação B. O tanque de lavagem é o equipamento responsável pela separação óleo/água a partir de processos físicos (decantação). Na sequência, a corrente de AP é enviada para quatro flutuadores (volume útil igual a 795 m³), nos quais o processo de separação é auxiliado por aditivos químicos. A AP tratada é enviada para os tanques de decantação e, posteriormente, para descarte ou reinjeção nos poços produtores.

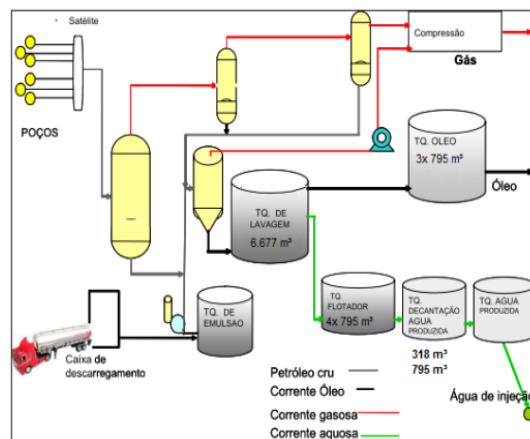


Figura 1: Fluxograma de processo de exploração de petróleo na estação B.

Fonte: adaptado de Oliveira (2006)

O volume mensal de óleo produzido é de 23.082,6 m³ com qualidade de 0,052% BS&W e 154,5 mg.L⁻¹ de sal. Já AP injetada mensalmente tem volume de 32.104.006,2 m³ com um teor de óleos/graxas de 18,15 mg.L⁻¹. Como 88% da produção mensal da estação é de AP, os poços de exploração podem ser denominados como campo maduro.

Para o tratamento da AP, as entradas de material são os aditivos químicos usados para favorecer a separação óleo-água e proteção das instalações. Nas estações de produção de petróleo, os inibidores de corrosão tipicamente utilizados são compostos de amida/amidazolina e os anti-incrustantes de éster fosfatos/fosfanatos. Na desestabilização das emulsões são utilizados desemulsificantes, compostos de copolímeros de óxido de etileno/propileno para facilitar a separação da fase gasosa e aquosa. No tratamento da fase aquosa, são utilizados polietrólitos para a desestabilização e a coalescência das gotículas de água e óleo. O sequestrante de

oxigênio é adicionado após o tratamento da água e é constituído à base de sulfito de sódio. O fornecimento de energia da instalação é baseado na queima do gás natural e no consumo da energia elétrica. O gás natural é obtido do próprio processo de produção de petróleo e alimenta caldeiras para geração de vapor. A energia elétrica é obtida da rede de distribuição da companhia de eletricidade do estado da Bahia. Os equipamentos utilizados no tratamento da AP aproveitam a energia gerada por meio da queima do gás da própria estação.

Os resíduos do processo referem-se àqueles gerados pelo tratamento do efluente final injetado no poço (1.248.074,4 m³/ano) e são os seguintes: compostos orgânicos voláteis (COV) gerados pela volatilização do petróleo nos tanques de armazenamento (emissão gasosa) e a borra oleosa gerada pela decantação de sólidos na formação e precipitação de parafina (emissões sólidas) e por emulsões estabilizadas nos tanques de armazenamento e flotação/decantação (emissões líquidas).

A unidade funcional definida para elaboração da ACV foi de um metro cúbico de AP tratada. O horizonte temporal considerado foi de 30 anos de operação da Estação B, por conta do tempo estimado de vida útil de poços produtores *onshore*. Para a correlação de todas as entradas e saídas do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) com a unidade funcional adotada, calculou-se o volume total de AP durante 30 anos de operação e dividiu-se os quantitativos de entradas e saídas do ICV pelo volume total de água tratada.

A fronteira do sistema foi delimitada a partir da entrada da emulsão no tanque de lavagem, onde a mistura óleo/água chega após passar pelo processo de separação bifásico, seguindo a corrente aquosa até o final do tratamento da AP. No estudo não foram consideradas as tubulações e equipamentos auxiliares ao tratamento da AP, bem como, o consumo de energia necessária para o recalque do efluente para as devidas estruturas de tratamento. A fase posterior ao armazenamento da água produzida também foi desconsiderada. A Figura 2 mostra um fluxograma representativo das fronteiras do estudo. No primeiro plano da fronteira do sistema, a quantificação da produção dos aditivos não foi incluída, bem como, a geração da energia elétrica utilizada na estação B. Contudo, o banco de dados da Ecoinvent3® disponibilizado no software SimaPro® engloba os processos envolvidos na produção dos aditivos e na geração de energia, que, portanto, foram considerados como uma fronteira de segundo plano do sistema.

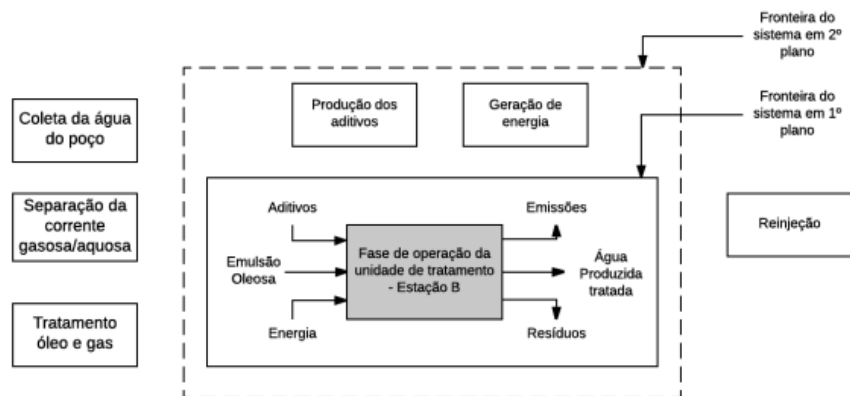


Figura 2: Fronteiras do sistema estudado.

A ACV foi elaborada utilizando-se o *software* SimaPro® versão 8.0.1, licença PhD e a metodologia para a compilação do ICV foi a CML-IA *baseline*, internacionalmente aceita e que conta com fatores de caracterização previamente quantificados e especificados para cada problema ambiental (categoria de impacto), por uma abordagem *Midpoint*. A definição das categorias de impacto desenvolveu-se a partir do levantamento bibliográfico de ACV de processos similares ao do estudo em questão, verificando os métodos mais aplicados e os pontos chave, a fim de auxiliar o processo de seleção dos tipos de impactos ambientais estudados. As categorias de impacto escolhidas e avaliadas a partir do ICV foram: Depleção Abiótica, Depleção da Camada de Ozônio, Aquecimento Global e Acidificação. Os critérios para a escolha das categorias foram baseados em estudos prévios a respeito das entradas e saídas quantificadas.

RESULTADOS

A Figura 3 mostra os dados de entrada e saída do ICV do processo de tratamento da AP na Estação B. As entradas das esferas tecnológicas e as saídas dos fluxos de resíduos se relacionam com o banco de dados da plataforma Ecoinvent 3®. Cada um de seus valores é correlacionado com a unidade funcional adotada. A coluna denominada “Origem” exhibe a fonte dos dados e o termo “Estimado” foi usado para apresentar valores provenientes da obtenção de dados secundários.

Saída conhecida		Total em 1 ano	Total em 30 anos	Unidade Funcional	
Volume de AP tratado		1.248.074,40 m³	37.442.232 m³	1 m³	
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais)	Processo SimaPro®	Total em 1 ano	Total em 30 anos	Correlação	Origem
Desemulsificante	Ethylene oxide {GLO} market for Alloc Rec, S	14.338,37 Kg	430151,1 Kg	0,0115 kg/m³	Campos, 2006
Inibidor de incrustação	Sodium tripolyphosphate {GLO} market for Alloc Rec, S	8.409,60 Kg	252288 Kg	0,0067 kg/m³	Campos, 2006
Inibidor de corrosão	Sodium silicate, solid {GLO} market for Alloc Rec, S	5.760,60 Kg	172818 Kg	0,0046 kg/m³	Campos, 2006
Sequestrante de oxigênio	Sodium sulfite {GLO} market for Alloc Rec, S	70.019,69 Kg	2100590,7 Kg	0,0561 kg/m³	Campos, 2006
Poleletrólitos	Polyacrylamide {GLO} market for Alloc Rec, S	560 Kg	16800 Kg	0,0004 kg/m³	Estimado
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (eletricidade)	Processo SimaPro®	Total em 1 ano	Total em 30 anos	Correlação	Origem
Eletricidade	Electricity, high voltage {BR} electricity production, natural gas, conventional power plant Alloc Rec, S	23922 mWh	717660 mWh	0,0192 mWh/m³	Campos, 2006
Fluxos de resíduos	Processo SimaPro®	Total em 1 ano	Total em 30 anos	Correlação	Origem
COV	VOC, volatile organic compounds	193800 Kg	5814000 Kg	0,155 kg/m³	Campos, 2006
Borra Oleosa	Oil separator sludge	201,95 m³	6058,5 m³	0,165 Kg/m³	Campos, 2006

Figura 3: Inventário do ciclo de vida do tratamento de AP na estação B.

A análise do ICV do tratamento da AP revela que, dentre os parâmetros analisados, os resíduos de borra oleosa (0,165) e compostos orgânicos voláteis (0,155) possuem a maior correlação com o volume de AP tratada. Na esfera tecnológica, o sequestrante de oxigênio (0,0561) e o desemulsificante a base de copolímeros de óxido de etileno (0,0115) possuem as maiores correlações. Já o consumo de energia, correlacionado para o período de 30 anos, foi igual a 0,0192 mWh/m³.

Para a melhor compreensão e interpretação do AICV é necessário entender que cada categoria de impacto possui valores específicos de fatores de impactos (FI). Portanto, para análise correta dos resultados, é imperativo analisar os processos da cadeia produtiva das entradas do ICV implementado no *software* SimaPro®. Na Figura 4 pode-se identificar os potenciais impactos do processo de tratamento da AP para as categorias de impacto selecionadas.

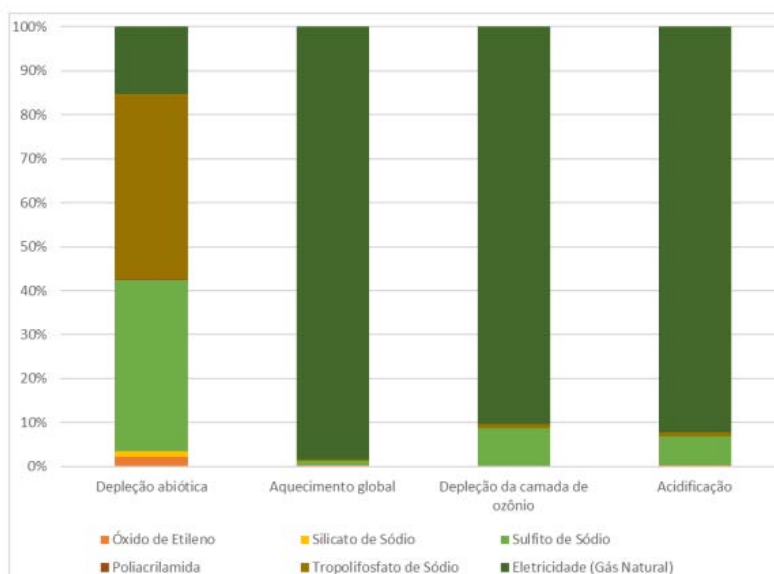


Figura 4: ACV do processo de tratamento de AP na estação B.

A categoria de impacto “Depleção Abiótica” apresenta uma lista de substâncias que possuem FI diferenciados como: Au (52), Te (40,7), Ag (1,18), Cu (0,00137) e F ($5,24 \times 10^{-8}$), dentre outras. Portanto, a partir dos diferentes valores de FI, cada uma dessas substâncias torna-se mais ou menos relevantes para geração dos impactos associados à essa categoria. O tripolifosfato de sódio, utilizado como inibidor de incrustação, é responsável por 42,1% dos impactos na categoria “Depleção Abiótica” porque na cadeia produtiva desse aditivo químico, utilizam-se maiores concentrações de Au, Te e Ag. O sulfito de sódio resulta em 38,9% dos impactos dessa mesma categoria e a justificativa é semelhante, contudo, os quantitativos de Au, Te e Ag, são de menor concentração que na produção do tripolifosfato de sódio. A produção de energia elétrica a partir da queima de gás natural é responsável por 15,3% de influência nessa categoria e, também, contém no seu processo produtivo entradas semelhantes, porém, em proporções reduzidas, o que confere ao sequestrante de oxigênio, a terceira colocação. As demais entradas de óxido de etileno (2,2%) e silicato de sódio (1,2%) possuem em seus processos poucos elementos de FI alto e aqueles que existem apresentam ordem de grandeza pequena quando comparada aos demais aditivos estudados.

A categoria de impacto “Aquecimento Global”, possui como unidade de referência a massa (kg) de CO₂ gerada por quilograma de insumo consumido e tem os impactos relacionados às emissões de resíduos para o ar com elementos de maior FI: hexafluoreto de enxofre (23.500), pentafluoreto de trifluorometilsulfureto (17.400), metano em diferentes formas (CFC 13.900, HFC 12.400), butano (9.540), propano (9.200), dentre outros. Para a referida categoria, utilização da energia a partir da queima de gás natural é o processo de maior potencial impacto ambiental, sendo responsável por aproximadamente 99% dos impactos, justamente pela quantidade de elementos emitidos para a atmosfera, dentre eles o hexafluoreto de enxofre, metano.

A análise da categoria de impacto “Depleção do Ozônio Atmosférico” apresenta semelhanças com a categoria de “Aquecimento Global”, primeiramente, por se tratar de impactos relacionados apenas às emissões para o ar, e, também, porque muitas das emissões são semelhantes entre essas categorias.

Os impactos associado a categoria de “Acidificação” são relacionados a massa (kg) de dióxido de enxofre equivalente produzido por unidade de massa (kg) de insumo utilizado. A categoria dentro do método CML-IA *baseline* tem como maiores FI: amônia (1,6), composto de enxofre (1,2-0,78), e compostos de nitrogênio (0,76-0,5) e todos os compostos estão relacionadas a emissões atmosféricas. Logo, a entrada predominante em emissões atmosféricas (geração de energia por queima de gás natural) se apresenta como maior gerador de impacto, 92% aproximadamente, por conta da liberação de compostos de nitrogênio e enxofre na atmosfera durante o processo, e o sequestrante de oxigênio é responsável por 7% dos potenciais impactos.

Segundo Lopes (2014) O procedimento de normalização dos resultados possibilita a compreensão da magnitude dos impactos de cada uma das categorias de impacto analisada, pois compatibiliza os resultados com indicadores de referências comuns aos processos utilizados em unidades adimensionais, o que permite a análise comparativa entre as categorias de impacto selecionadas. A Figura 5 mostra o resultado da normalização dos resultados da ACV do processo de tratamento da AP na estação B usando o método CML *baseline*/World 2000.

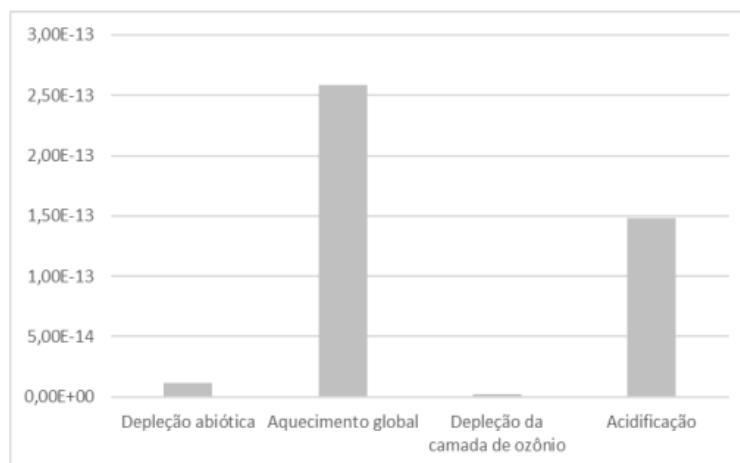


Figura 5: Resultados da normalização dos potenciais impactos ambientais do processo de tratamento de AP da estação B.

Analisando o gráfico da Figura 5, conclui-se que 3% dos impactos do tratamento da AP são associados à categoria de Depleção Abiótica, 61% relacionados aos impactos da categoria Aquecimento Global e 35% dos impactos do tratamento estão relacionados à Acidificação. Na categoria Depleção do Ozônio Atmosférico o quantitativo normatizado é de $1,95 \times 10^{-15}$, o que o torna desprezível em relação a ordem de grandeza das demais categorias de impacto. Portanto, utilizando a ACV como ferramenta de tomada de decisão, propõe-se duas vertentes para a melhoria do desempenho ambiental da estação B: (1) A mudança da matriz energética ou a substituição do principal equipamento consumidor de energia elétrica (tanque de lavagem) por instalações mais eficientes para a separação do óleo/água, ou por equipamentos de menor demanda energética; (2) a substituição do tripolifosfato de sódio em decorrência dos impactos na categoria de Depleção Abiótica, por outros inibidores de incrustação com menores efeitos nocivos, como biopolímeros a base de quitosana, por exemplo.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados da ACV do processo de tratamento de água de produção na estação de exploração de petróleo B, localizada no recôncavo baiano, conclui-se que:

- Os fatores determinantes no desempenho ambiental desse processo estão relacionados com as emissões atmosféricas associadas à matriz energética utilizada no processo de forma majoritária, tanto para as categorias de Aquecimento Global, quanto para Acidificação.
- Já a análise do arranjo tecnológico do tratamento da AP revela que o tanque de lavagem, por ser a única estrutura do tratamento que utiliza intensivamente energia elétrica, deve ser o foco de qualquer tomada de decisão, caso não exista a intenção da mudança na matriz energética.
- A falta de dados dos diferentes processos/produtos relacionados à realidade brasileira no banco de dados da Ecoinvent® adiciona algumas incertezas ao estudo. Contudo, de maneira geral, a metodologia de ACV a partir do uso do *software* SimaPro® apresenta-se adequada para avaliação qualitativa de impactos ambientais, podendo ser aplicada aos diferentes cenários de tratamento de AP como ferramenta de auxílio para tomada de decisões por parte das indústrias petrolíferas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico ANP, 2015. Rio de Janeiro, Brasil, 2015.
2. CAMPOS, M.G. Abordagem De Ciclo De Vida Na Avaliação De Impactos Ambientais No Processamento Primário Offshore. 2006. 142 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia
3. LOPES, T.A.S. Avaliação do ciclo de vida de uma ETE composta por Reator UASB seguido de wetlands construídos. Salvador, 2014. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.
4. OLIVEIRA, J.A. Otimização ambiental de um sistema de produção de petróleo baseada em critérios de produção mais limpa – estudo de caso. Salvador, 2006. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica. Universidade Federal da Bahia, 2006.