



AValiação da Toxicidade de um Efluente Petroquímico Tratado por Sistema Convencional e Após Processos de Separação por Membranas

Cláudia Regina Klauck – claudiark@feevale.br.

Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologias Limpas, Universidade Feevale.
R. Arlindo Pasqualini, 103, CEP 93525-070, Vila Nova, Novo Hamburgo, RS.

Erlon Diego Lorenz de Oliveira – erlondabio@gmail.com.

Universidade Feevale.

Carla Denize Venzke - carladenize@gmail.com.

Universidade Feevale.

Luciano Basso da Silva - lucianosilva@feevale.br.

Universidade Feevale.

Marco Antônio Siqueira Rodrigues – marcoantonio.marco@gmail.com.

Universidade Feevale.

Resumo: A indústria petroquímica consome grandes volumes de água e gera quantidades consideráveis de efluentes. Frente aos possíveis impactos ambientais, o tratamento deste efluente torna-se imprescindível. Os sistemas de tratamento convencional muitas vezes apresentam limitações quanto a qualidade e toxicidade, sendo essencial o desenvolvimento de novas tecnologias para o seu tratamento, como por exemplo os processos de separação por membranas (PSM). Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo a avaliação da toxicidade do efluente petroquímico tratado pelo sistema convencional (biológico e lagoas de estabilização) e após a aplicação de diferentes PSM. As coletas de efluente foram realizadas na saída do sistema convencional de tratamento de efluentes do SITEL no polo petroquímico de Triunfo. Sobre o efluente foram aplicados os PSM: Osmose Inversa (OI), Eletrodialise+Osmose Inversa (EDR-OI) e Osmose Inversa+Eletrodialise (OI-EDR). Avaliaram-se parâmetros físico químicos (cloretos, sulfatos, alcalinidade, condutividade, DQO, SST, dureza, cálcio, ferro, pH e nitrogênio amoniacal) e compostos orgânicos por CG/MS. Para a análise de toxicidade utilizou-se o ensaio em *Lactuca sativa* e *Eisenia foetida* expostos às amostras antes e após os tratamentos. Os resultados indicam que o tratamento convencional e os PSM encontram-se em conformidade com a legislação ambiental vigente quanto aos parâmetros físico químicos e de toxicidade. Também apontam para certa limitação quanto a remoção de compostos orgânicos potencialmente genotóxicos pelo sistema de tratamento convencional. Neste sentido, o emprego de PSM, além de promover uma melhora na qualidade do efluente propiciando o seu reuso industrial, causa eliminação destas substâncias, minimizando os possíveis impactos ambientais de seu lançamento.

Palavras-chave: Efluente petroquímico, Toxicidade, Processos de separação por membranas.



10° Simpósio
Internacional de
Qualidade Ambiental

Regulamentação Ambiental,
Desenvolvimento e Inovação

19 a 21 de outubro de 2016
Prédio 41 | PUCRS | Porto Alegre/RS



REALIZAÇÃO



CORREALIZAÇÃO



INFORMAÇÕES

abes-rs@abes-rs.org.br
51 3212.1375



TOXICITY EVALUATION OF A PETROCHEMICAL EFFLUENT TREATED BY CONVENTIONAL SYSTEM AND AFTER MEMBRANE SEPARATION PROCESSES

Abstract: *The production stages of a petroleum industry, such as extraction and refining, are potentially responsible for generating large volumes of effluent to be discarded in the environment. The waste generated in oil refineries contains many different chemical compositions, depending on the complexity of the refinery, the existing processes and the type of oil used. In respect of potential environmental impacts, the treatment of this effluent becomes essential. The conventional treatment systems often have limitations on the quality and toxicity of this effluent, because of this, the development of new technologies for the treatment, like the membrane separation processes (MSP), is essential. Thus, the aim of this study was evaluate the toxicity of petrochemical wastewater treated by the conventional system and after the application of different MSP. The samples were collected in the petrochemical complex of Triunfo, after the conventional treatment. In this samples different MSP were applied: Reverse Osmosis (RO), Electrodialysis + Reverse Osmosis (EDR-RO) and Reverse Osmosis + Electrodialysis (RO-EDR). Physical-chemical parameters (chlorides, sulfates, alkalinity, conductivity, COD, TSS hardness, calcium, iron, pH and ammonia), and organic compounds were evaluated. The toxicity tests were performed in *Lactuca sativa* and *Eisenia foetida*. The results indicate that both the conventional treatment and MSP are in accordance with emissions parameters of the environmental legislation. Also indicated a certain limitation for the removal of organic compounds with potential genotoxicity by the conventional treatment system. In this sense, the use of MSP improve in the quality of the effluent, minimizing the potential impacts of its release in the environment, and also lead their industrial reuse.*

Keywords: *Petrochemical effluent, Toxicity, Membrane separation processes.*

1. INTRODUÇÃO

A indústria petroquímica consome grandes volumes de água e gera quantidades consideráveis de efluentes, com alto potencial poluidor (STEPNOWSKI et al., 2002). De acordo com Machado *et al.* (2013), os efluentes derivados do petróleo são poluentes perigosos, e se forem lançados indevidamente ao solo, lençóis freáticos e corpos d'água superficiais, podem provocar riscos ao meio ambiente e à saúde pública, uma vez que apresentam propriedades carcinogênicas. Tendo em vista a sua elevada toxicidade em organismos vivos, métodos eficazes de tratamento de efluentes devem ser encontrados, a fim de proteger a saúde dos seres humanos e evitar danos aos recursos hídricos naturais (PIEKUTIN & SKOCZKO, 2016).

Este efluente é frequentemente tratado pelo sistema convencional, sendo tratamento primário, tratamento biológico e tratamento terciário (lagoas de estabilização) (HANSEN, 2015). Contudo, os sistemas de tratamento convencional muitas vezes apresentam limitações quanto à qualidade, e toxicidade não sendo capazes de remover todos contaminantes presentes neste efluente (ROSA (2012), sendo essencial o desenvolvimento/aplicação de novas tecnologias para o seu tratamento. Neste contexto, os processos de separação por membranas (PSM) ganham destaque, por produzirem um efluente de alta qualidade, proporcionando, o seu reuso industrial.

Historicamente a qualidade de efluentes é monitorada através de análises físico-químicas, que são capazes de identificar compostos presentes no meio ambiente, mas não determinam o risco ambiental, por não avaliarem a interação entre contaminantes nem seus efeitos sobre a biota. Neste aspecto, os bioensaios servem como uma ferramenta complementar às análises convencionais na avaliação dos riscos ambientais associados (KWASNIEWSKA *et al.*, 2012). A utilização de organismos bioindicadores, permite integrar os efeitos dos contaminantes presentes, servindo como um complemento às análises físico-químicas, na avaliação da toxicidade de poluentes.

O presente trabalho teve por objetivo a avaliação da toxicidade de um efluente petroquímico tratado pelo sistema convencional por diferentes PSM em dois organismos: *Eisenia foetida* e *Lactuca sativa*.

2. METODOLOGIA

2.1. Coleta das amostras

As coletas de efluente foram realizadas no ponto na saída do sistema convencional de tratamento de efluentes do SITEL (Figura 1). Os ensaios quanto à aplicação de processos de separação por membranas neste efluente, foram realizados mensalmente ao longo dos anos de 2014 e 2015. Para cada ensaio, aproximadamente 10m³ de efluente foi coletado e encaminhados à Universidade Feevale, onde foram aplicadas as tecnologias de membranas de membranas.

Figura 1- Ponto de coleta das amostras, na saída da lagoa de estabilização do SITEL.





2.1. Tratamento por processos de separação por membranas

No efluente petroquímico (A) aplicaram-se os processos de Osmose Inversa (OI) e processos híbridos de Eletrodialise Reversa+Osmose Inversa (EDR-OI) e Osmose Inversa+Eletrodialise Reversa(OI-EDR).

Para o tratamento por Osmose Inversa, foi utilizado um sistema piloto de OI (PAM Membranas), composto por um módulo de membrana espiral, modelo BW 30 (4040) de poliamida (Filmtec, Dow Chemical), com uma área de membrana equivalente a 7,2 m². Neste, aplicou-se uma pressão de 8 bar, vazão do rejeito 300L.s⁻¹ e vazão de permeado 288L.s⁻¹.

Sobre o rejeito gerado por este tratamento, foi aplicado, o processo de EDR, resultando no processo híbrido OI-EDR. Os experimentos com EDR foram realizados em um equipamento piloto (Hidroex, EDR 2.0 – 300 1E 1s 2e), com 300 membranas íons-seletivas. Neste, aplicou-se uma tensão de 250V, vazão de diluído 600L.s⁻¹ e vazão de concentrado 200L.s⁻¹.

Já para o processo híbrido EDR-OI, o efluente foi tratado por EDR (150V, vazão de diluído 600L.s⁻¹ e vazão de concentrado 200L.s⁻¹) e posteriormente tratado por Osmose Inversa (8bar, vazão do rejeito 300L.s⁻¹ e vazão de permeado 324L.s⁻¹).

2.1. Caracterização físico química

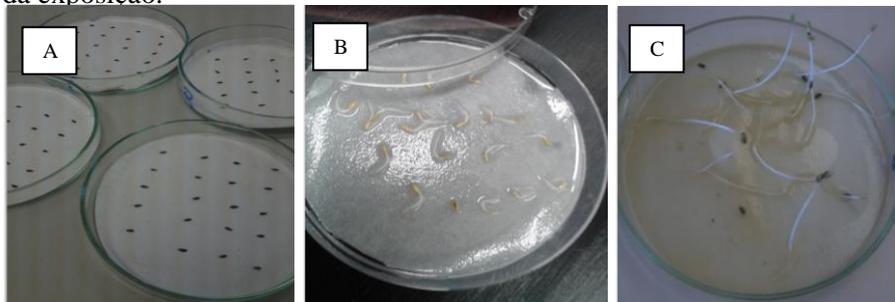
Avaliaram-se parâmetros físico químicos, nas amostras após os PSM e após o sistema convencional (A) quanto aos seguintes parâmetros: cloretos, sulfatos, alcalinidade, condutividade, DQO, SST dureza, cálcio, ferro, pH e nitrogênio amoniacal. Estas foram realizadas em triplicata, seguindo a metodologia descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). A identificação qualitativa de compostos orgânicos foi realizada por CG-MS (modelo GCxGC TOFMS LECO 7890A, modo scan, faixa de varredura 35 a 400u, coluna Rxi-5 SiMS 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm). Os resultados obtidos foram comparados com a biblioteca NISTMS-2008.

2.1. Ensaios de toxicidade

Os ensaios de toxicidade foram realizados em sementes de *Lactuca sativa* (alface) e em minhocas da espécie *Eisenia foetida*. A exposição dos organismos foi realizada com as amostras nas concentrações de 12%, 25%, 50%, 75% e 100%, mantendo-se sempre um grupo controle com água deionizada.

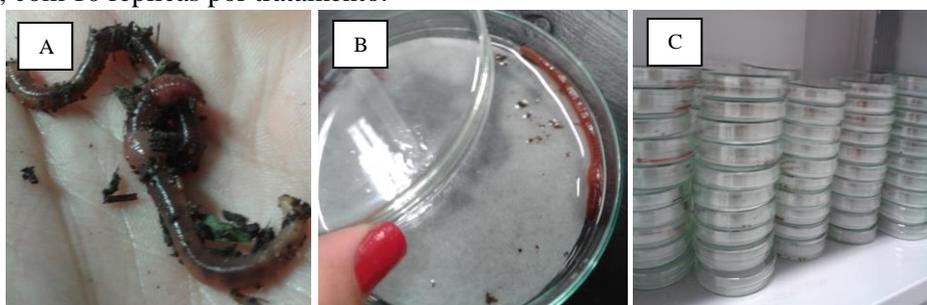
Para o ensaio com a espécie *Lactuca sativa*, a metodologia foi adaptada do guia 850 da USEPA (1996). Para tanto, 20 sementes foram dispostas em uma placa de Petri tendo como substrato papel filtro umedecido com o efluente nas diferentes concentrações (figura 2), bem como ao grupo controle, cada ensaio foi realizado em triplicatas. As sementes foram incubadas por 120 h sob temperatura constante (22,5°C ±2,0°C) e fotoperíodo de 12h. Ao término do tempo de exposição, o comprimento das raízes de cada plântula foi aferido e a germinação das sementes foi quantificada. Os dados quanto a aferição do crescimento radicular e germinação foram analisados estatisticamente no software PAST® (v.3.12) através de ANOVA e *post hoc* Tuckey, considerando-se como tóxica a concentração cujo valor obtido seja significativamente inferior (p<0,05) com relação ao grupo controle.

Figura 2 – Metodologia do ensaio em *Lactuca sativa*. A- Início. B- após 2d de exposição. C- após 5 dias, término da exposição.



O ensaio de toxicidade em *Eisenia foetida*, foi adaptado conforme o guia 207 da OECD (1984). Selecionaram-se apenas indivíduos adultos, com peso superior a 300mg e clitelo desenvolvido. Previamente ao ensaio os indivíduos foram lavados e seu conteúdo gástrico esvaziado. A técnica consiste na exposição individual dos indivíduos em substrato de papel filtro (exposição direta) umedecido com diferentes concentrações do efluente, bem como ao grupo controle, com papel umedecido em água (figura 3). Para cada concentração são executadas 10 réplicas. Os indivíduos ficam expostos por um período de 168h. Ao término do período, os indivíduos sobreviventes foram quantificados. Considerou-se como tóxico a concentração na qual a sobrevivência tenha sido inferior a 50% do valor do grupo controle.

Figura 3 – Ensaio em *Eisenia foetida*. A- Indivíduo adulto com clitelo desenvolvido. B- exposição individual da espécie sobre o substrato de papel filtro umedecido com a amostra. C- Incubação dos organismos, com 10 réplicas por tratamento.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização físico química

A caracterização físico química do efluente petroquímico tratado pelo sistema convencional e após a aplicação de diferentes tecnologias é apresentada na tabela 1. Observa-se que a amostra tratada pelo sistema convencional apresenta seus parâmetros em conformidade para o lançamento, de acordo com o disposto na resolução Consema 128/2006. Os processos de separação por membranas indicam que o efluente após a aplicação do processo de OI e EDR-OI foi considerado viável para o reuso no processo de reposição para torres de resfriamento.

Em termos de eficiência, o tratamento EDR-OI, foi o que apresentou melhores resultados, com remoção média de 99% dos parâmetros avaliados, seguido pelo tratamento OI (97%), já o tratamento do rejeito gerado na osmose por eletrodialise reversa (OI-EDR) apresentou o menor desempenho, com 74% de remoção. Observa-se que o pH apresentou tendência a acidificação, sendo inicialmente 7,4 no tratamento convencional diminuindo após as tecnologias para 5,8 (OI), 5,5 (EDR-OI) e 3,7 (OI-EDR).

Tabela 1- Caracterização físico química das amostras de efluente após tratamento convencional (A) e após a aplicação de diferentes processos de separação por membranas (OI, OI-EDR, EDR-OI) e parâmetros de lançamento e reuso.

Parâmetros	Tratamentos				Consema 128/2006	Padrão para reuso de nas torre de resfriamento
	A	OI	OI-EDR	EDR-OI		
Cloretos (mg.L ⁻¹)	81,29	3,8	6,2	0,21	n.e.	44,00
Sulfato (mg.L ⁻¹)	421,1	0,67	120,1	<0,07	n.e.	44,00
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	101,8	3,8	1	1,5	n.e.	26,00
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	1215	9,55	250	6,08	n.e.	165,0
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	21,19	0,9	15,25	<0,5	360,00	n.e.
SST (mg.L ⁻¹)	48,17	2	11,05	<1,0	155,00	2,00
Dureza (mg.L ⁻¹)	98,65	<0,5	29,6	<0,5	n.e.	30,00
Cálcio (mg.L ⁻¹)	67,33	2,22	18,13	3,2	n.e.	30,00
Ferro (mg.L ⁻¹)	1,43	<0,05	0,39	0,01	n.e.	0,10
pH	7,4	5,82	3,72	5,55	6,0-9,0	7,0-8,0
Nitrogênio Amoniacal(mg.L ⁻¹)	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	20,00	n.e.

n.e.- não especificado.

A caracterização de compostos orgânicos, realizada por CG-MS, indicou a presença de cinco compostos na amostra tratada pelo sistema convencional, de acordo com Ravanchi *et al.* (2009), estes compostos são comumente encontrados em águas residuais provenientes de indústrias petroquímicas. No tratamento do rejeito da osmose pelo processo OI-EDR ainda remanesce um composto. Já após os processos de OI e EDR-OI nenhum composto foi identificado, evidenciando a alta eficiência destes processos na remoção de compostos orgânicos (tabela 2).

Tabela 2- Relação de compostos orgânicos identificados no efluente após tratamento convencional (A) e após a aplicação de diferentes processos de separação por membranas.

Tempo de retenção (min)	Tratamentos			
	A	OI	OI-EDR	EDR-OI
8,26	3-pente-2-ona	n.i.	n.i.	n.i.
8,33	2,3 dimetil-2- buteno	n.i.	2,3 dimetil-2- buteno	n.i.
8,45	4-metil-2-penteno (Z)	n.i.	n.i.	n.i.
8,53	Éter, bis(2-metóxi)etil	n.i.	n.i.	n.i.
11,03	8-metil-1-deceno	n.i.	n.i.	n.i.

n.i.= não identificado

3.2. Ensaios de toxicidade

Com relação a toxicidade, para os ensaios utilizando o modelo vegetal *Lactuca sativa*, nenhuma concentração do efluente petroquímico tratado pelo sistema convencional foi considerada tóxica. Para o parâmetro germinação, as sementes apresentaram taxa de superior à 96% em todas concentrações de exposição (figura 4). Já para o parâmetro crescimento radicular, nenhuma concentração promoveu a inibição no desenvolvimento radicular (figura 5). Ainda, na concentração de 100% a amostra promoveu um desenvolvimento nas raízes significativamente superior aos valores do grupo controle.

Para o efluente tratado por processos de separação por membranas observa-se o mesmo padrão, não ocorrendo toxicidade no tratamento por OI e tão pouco no processo híbrido EDR-OI. Para o grupo exposto à amostra OI, a taxa de germinação foi superior à 96% em todas concentrações de exposição, já para a exposição EDR-OI a germinação foi superior à 90% em todas as concentrações. As sementes expostas ao efluente tratado por OI, nas concentrações 50% e 75% apresentaram crescimento superior aos valores do grupo controle.

Já para a amostra OI-EDR, proveniente do tratamento do rejeito gerado na osmose pelo processo de EDR, observou-se inibição no crescimento das raízes, com diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) com relação ao grupo controle, na concentração de exposição à 25% do efluente. Com relação à taxa de germinação, destaca-se que, apesar de não possuir diferença significativa, esta mesma concentração (25%) também foi aquela na qual foi observada a menor taxa de germinação das sementes (81%).

Figura 4- Percentual de germinação nas sementes de *Lactuca sativa* em cada tratamento nas cinco concentrações de exposição. A- tratamento convencional. B- OI. C- Processo híbrido OI-EDR (tratamento do rejeito da OI). D -Processo híbrido EDR-OI.

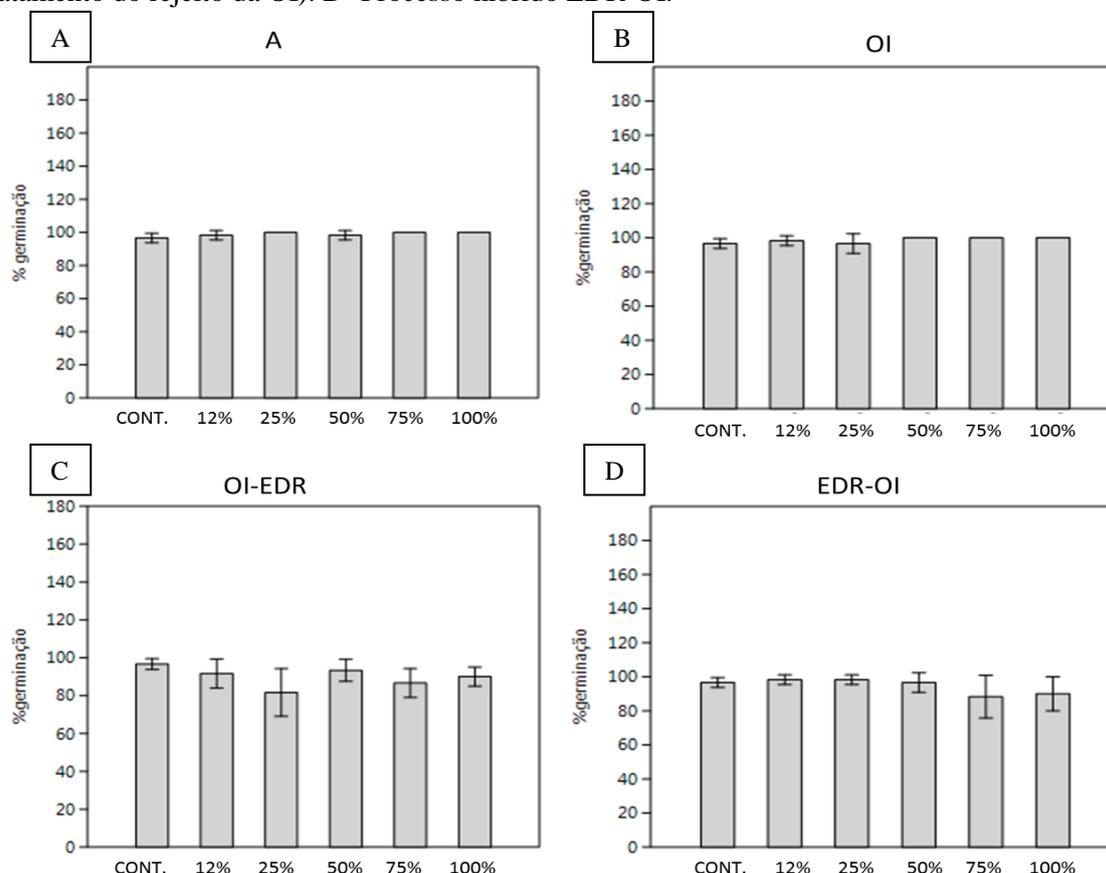
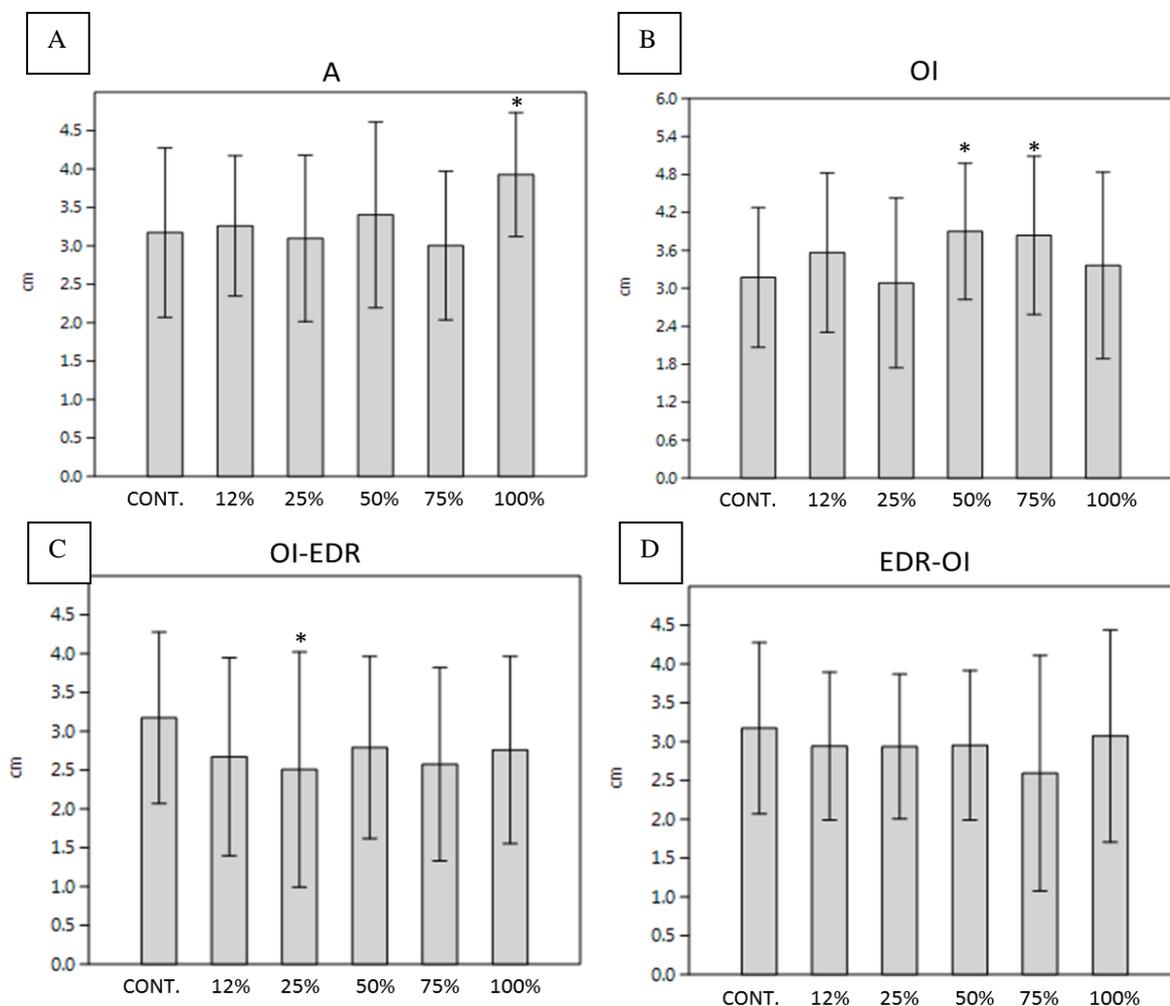


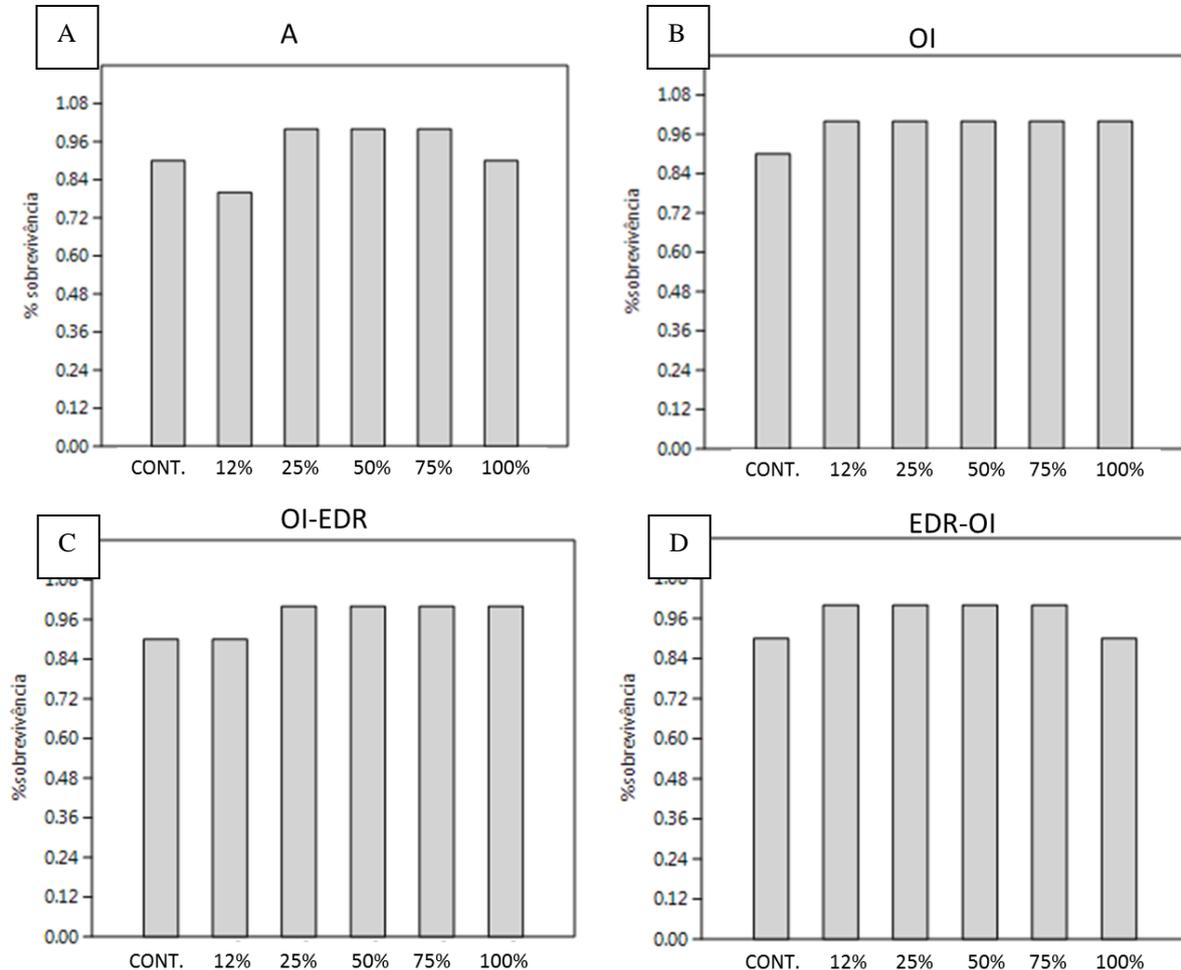
Figura 5- Crescimento radicular de *Lactuca sativa* em cada tratamento nas cinco concentrações de exposição. A- tratamento convencional. B- OI. C- Processo híbrido OI-EDR (tratamento do rejeito da OI). D -Processo híbrido EDR-OI. (Valores com * indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) com relação ao grupo controle).



Considerando-se ainda, a caracterização físico química da amostra OI-EDR, esta foi a que apresentou menor eficiência na retenção de compostos, além de menor valor de pH e ainda, a presença do composto 2,3 dimetil-2- buteno. Por se tratar do rejeito do processo de OI, provavelmente ocorra uma concentração de poluentes nesta fase, em maior quantidade em relação à amostra inicial, culminando com a sua potencial toxicidade.

Na avaliação de toxicidade em *Eisenia foetida*, os resultados obtidos mostram que ao término do tratamento, houve uma alta taxa de sobrevivência dos indivíduos em todas as concentrações de exposição, em todas as amostras avaliadas (figura 6). Para o efluente petroquímico tratado pelo sistema convencional, a taxa de sobrevivência variou entre 80% e 100%, para o efluente tratado por OI 100% dos indivíduos sobreviveram ao término do período de exposição, para os processos híbridos OI-EDR e EDR-OI a taxa de sobrevivência ficou entre 90 e 100%. Estes valores são semelhantes à sobrevivência atingida do grupo controle (90%), indicando que o efluente não apresenta qualquer indicativo de toxicidade aguda para o bioindicador em questão, independente do tratamento aplicado.

Figura 6- Percentual de sobrevivência em *Eisenia foetida* ao fim do período de exposição, em cada tratamento nas cinco concentrações de exposição. A- tratamento convencional. B- OI. C- Processo híbrido OI-EDR (tratamento do rejeito da OI). D -Processo híbrido EDR-OI.



Quanto ao efluente petroquímico tratado pelo sistema convencional, os resultados corroboram com o trabalho realizado por Hartmann (2004) que utilizou ensaios de toxicidade crônica, em três níveis tróficos (algas, microcrustáceos e peixes) para avaliar a toxicidade de um efluente tratado de indústria petroquímica localizada no Rio Grande do Sul, e não detectou quaisquer efeitos negativos sobre os bioindicadores avaliados.

A variabilidade nas características do efluente bem como das formas de tratamento adotada, faz com que se encontre na literatura científica diferentes respostas à avaliação de toxicidade, ainda que os parâmetros físico químicos encontrem-se em conformidade legal. Em recente estudo, Li *et al.* (2015) avaliaram o risco ambiental e influência de um polo petroquímico na região de Beijing (China), em 31 amostras de solo, e não detectaram quaisquer risco de contaminação ambiental e carcinogenicidade. Já Wang *et al.* (2010) alertam para o risco de acumulação dos compostos orgânicos presentes no efluente petroquímico mesmo após o seu tratamento. Estes autores realizaram uma bateria de ensaios *in vivo* e detectaram alterações na função reprodutiva, decorrente da exposição prolongada à um efluente petroquímico previamente tratado e descartado rio Yangtze (China).



Embora possua diversas formas de tratamento e os processos de separação por membranas sejam amplamente estudados para o tratamento do efluente petroquímico visando seu reuso no processo industrial, os estudos envolvendo a avaliação da toxicidade dos produtos gerados por estas tecnologias, ainda são bastante escassos na literatura científica. Tendo em vista a composição deste efluente, bem como a disposição final e tratamento dos concentrados gerados a avaliação quanto ao seu potencial risco ambiental é indispensável.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de tratamento convencional não apresenta toxicidade aguda nos organismos avaliados e a utilização dos PSM não promove aumento na toxicidade, com exceção apenas ao grupo OI-EDR, cuja toxicidade pode estar atribuída ao baixo valor de pH da amostra, bem como concentração de um composto orgânico identificado nesta. Tendo em vista a eliminação de compostos orgânicos potencialmente genotóxicos, conclui-se que o sistema convencional não é capaz de eliminar totalmente estes, apontando certa limitação desta tecnologia. Neste sentido, o uso de tecnologias de separação por membrana, além de promover uma melhora na qualidade do efluente propiciando o seu reuso industrial, causa a eliminação destas substância, minimizando os possíveis impactos ambientais de seu lançamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FINEP, CAPES, CNPq, SCIT/RS e FAPERGS pelo apoio financeiro.

5. REFERÊNCIAS

- ALAJBEG, I. *et al.* Comparison of the composition of some petroleum samples which may be applied for skin and mucous membrane treatment. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 22, n. 1, p. 75-84, 2000
- ALVA-ARGÁEZ, A.; KOKOSSIS, A.C.; SMITH, R. The design of waterusing systems in petroleum refining using a water-pinch decomposition. **Chemical Engineering Journal**, v. 128, n. 1, p. 33-46, 2007
- APHA/AWWA/WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st edition. Washington, D.C. American Health Association, 2005.
- BARRON, M.G. *et al.* Are aromatic hydrocarbons the primary determinant of petroleum toxicity to aquatic organisms? **Aquatic Toxicology**, v. 46, n. 3-4, p. 253-268, 1999
- HANSEN, E. **Balanco hídrico, caracterização e reuso de água do setor petroquímico**. 2016. 90f. Dissertação. Universidade Feevale. (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais). Novo Hamburgo, 2016.
- HARTMAN, C.C. **Avaliação de um efluente industrial através de ensaios ecotoxicológicos e análises físicas e químicas**. 2004. Dissertação (mestrado em ecologia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.



KWASNIEWSKA, J.; NAŁĘCZ-JAWECKI, G.; SKRZYPCZAK, A.; PŁAZA, G.A.; MATEJCZYK, M. An assessment of the genotoxic effects of landfill leachates using bacterial and plant tests. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. V.75, p. 55-62, 2012.

LI, J.; HUANG, Y.; YE, R.; YUAN, G.L.; WUA, H.Z.; HANA, P.; FUD, S. Source identification and health risk assessment of Persistent Organic Pollutants (POPs) in the topsoils of typical petrochemical industrial area in Beijing, China. **Journal of Geochemical Exploration** xxx (2015) xxx-xxx

MACHADO, C. J. S. *et al.* Legislação ambiental e degradação ambiental do solo pela atividade petrolífera no Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 28, p. 41-55, 2013.

OECD-Guideline for the testing of chemicals No. 207 “Earthworm, Acute Toxicity Test” (adopted April 4, 1984).

PIEKUTIN, J.; SKOCZK, I. Removal of petroleum compounds from aqueous solutions in the aeration and reverse osmosis system. *Desalination and Water Treatment*. V.57, p.12135–12140, 2016.

RAVANCHI, T.M; KAGHAZCHI, T; KARGARI, A. Application of membrane separation processes in petrochemical industry: a review. **Desalination**, v.235, p. 199-244, 2009

ROSA, D. F. da. **Aproveitamento de membranas de osmose inversa descartadas da indústria para o reuso da purga de torres de resfriamento**. 2012. 134f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

STEPNOWSKI, P. *et al.* Enhanced photo-degradation of contaminants in petroleum refinery wastewater. *Water Research*, v. 36, n. 9, p. 2167-2172, 2002.

USEPA. United States Environmental Protection Agency (EPA 712-C-96-154) Ecological Effects Test Guidelines - OPPTS 850.4200 - Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test. 1996.

WANG, X.; SHI, W.; WU, J.; HAO, Y.; HU, G.; LIU, H.; HAN, X.; YU, H. Reproductive toxicity of organic extracts from petrochemical plant effluents discharged to the Yangtze River, China. **Journal of Environmental Sciences**. V.22(2) P.297–303, 2010.