

## Artigo

**Tratamento Eletrolítico da Água de Produção da Indústria de Petróleo: Sustentabilidade Ambiental e Pensamento Complexo**

Cerqueira, A. A.;\* Souza, P. S. A.; Souza, D. B.; Marques, M. R. C.

Rev. Virtual Quim., 2014, 6 (2), 235-243. Data de publicação na Web: 10 de dezembro de 2013

<http://www.uff.br/rvq>**Electrolytic Treatment of Production Water in the Oil Industry: Environmental Sustainability and Complexity**

**Abstract:** With the growing demand for oil and its derivatives, it is generated an increasing volume of produced water, which before being discarded must undergo treatment in order to meet the requirements of environmental agencies. The electrolytic treatment or electroflocculation has shown a promising alternative to compliance with environmental legislation, due to its versatility, competitiveness and efficient removal of oil and grease, COD, color and turbidity. However, it should be considered political, economic, social, environmental and technical issues in the development of producing water treatment technologies to contemplate the paradigm of environmental sustainability. This paradigm requires an approach from the perspective of complexity that involves various areas of knowledge, in dialogue, as opposed to classical thought, which is linear and cartesian. The principles of complex thinking on the concept of environmental sustainability exemplified by electrolytic treatment of produced water from oil industry indicate that one should be aware of the repercussions of the parts and the whole and the whole in the parts in order to reduce the probability of being generated major environmental problems.

**Keywords:** Environmental sustainability; complexity; electroflocculation; produced water.

**Resumo**

Com a crescente demanda por petróleo e seus derivados é gerado um volume cada vez maior de água de produção, que antes de ser descartada precisa ser submetida a tratamento, de forma a cumprir os requisitos dos órgãos ambientais. O tratamento eletrolítico ou eletrofloculação tem se mostrado uma alternativa promissora para o atendimento à legislação ambiental, devido a sua versatilidade, competitividade e eficiência de remoção de óleos e graxas, DQO, cor e turbidez. Entretanto, devem ser considerados aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e técnicos no desenvolvimento de tecnologias de tratamento da água de produção de forma a se contemplar o paradigma da sustentabilidade ambiental. Este paradigma requer uma abordagem pelo viés do pensamento complexo que envolve diferentes áreas do conhecimento, em diálogo, em oposição ao pensamento clássico, que é linear e cartesiano. Os princípios do pensamento complexo no conceito de sustentabilidade ambiental exemplificados pelo tratamento eletrolítico da água de produção da indústria de petróleo indicam que deve-se estar atento à repercussão das partes e no todo e do todo nas partes de forma a diminuir a probabilidade de serem gerados maiores problemas ambientais.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade ambiental; pensamento complexo; eletrofloculação; água de produção.

\* Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Laboratório de Tecnologia Ambiental, Instituto de Química, Rua São Francisco Xavier 524, Maracanã, CEP 20550-900, Rio de Janeiro-RJ, Brasil. Tel.: +552334-0563.

✉ [alexandreceq@ig.com.br](mailto:alexandreceq@ig.com.br)

DOI: [10.5935/1984-6835.20140017](https://doi.org/10.5935/1984-6835.20140017)

## Tratamento Eletrolítico da Água de Produção da Indústria de Petróleo: Sustentabilidade Ambiental e Pensamento Complexo

Alexandre A. Cerqueira,\* Paulo Sergio A. Souza, Daniela B. Souza,  
Mônica Regina C. Marques

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Laboratório de Tecnologia Ambiental, Instituto de Química, Rua São Francisco Xavier 524, Maracanã, CEP 20550-900, Rio de Janeiro-RJ, Brazil.  
Tel: +552334-0563.

\* [alexandrecerq@ig.com.br](mailto:alexandrecerq@ig.com.br)

*Recebido em 19 de janeiro de 2013. Aceito para publicação em 11 de novembro de 2013*

1. Introdução
2. O pensamento complexo
3. Pensamento complexo e sustentabilidade ambiental
4. O tratamento eletrolítico da água de produção da indústria de petróleo e o pensamento complexo
5. Considerações finais

### 1. Introdução

As atividades de exploração de petróleo, devido à crescente preocupação com o meio ambiente e ao surgimento de novas leis e resoluções ambientais mais restritivas, precisam se enquadrar dentro das novas exigências ambientais. Uma das questões mais preocupantes envolve a água de produção gerada nessa atividade, a qual aumenta gradativamente em volume à medida que os poços vão envelhecendo e que novos poços são perfurados.<sup>1</sup>

Normalmente, essa água corresponde a mais de 90% de todos os efluentes gerados na indústria do petróleo: em média, para cada m<sup>3</sup>/dia de petróleo produzido são gerados de 3 a 4 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> de água, podendo

chegar a 7 ou mais, nas atividades de exploração, perfuração e produção.<sup>2</sup> No Brasil, o volume de água de produção descartado no mar vem aumentando gradativamente ao longo dos anos, tendo sido registrados volumes de 58,3 milhões de m<sup>3</sup> em 2004, 66 milhões de m<sup>3</sup> em 2005 e 73,3 milhões de m<sup>3</sup> em 2006.<sup>3</sup>

Para que a água produzida possa ser descartada em corpos receptores ou utilizada na reinjeção em poços de petróleo, é necessário o seu tratamento prévio para enquadrá-la na legislação vigente. A Resolução CONAMA 430/2011,<sup>4</sup> estabelece que para o descarte em corpos receptores, o limite de óleos e graxas na água produzida é de até 20 mg dm<sup>-3</sup>. Especificamente, para descarte em plataformas *off-shore*, aplica-se a Resolução CONAMA 393/2007,<sup>5</sup> que estabelece a média aritmética simples

mensal do teor de óleos e graxas de até 29 mg dm<sup>-3</sup>, com valor máximo diário de 42 mg dm<sup>-3</sup>. Para reinjeção em poços de petróleo, a água deverá ter no máximo 5 mg dm<sup>-3</sup> de óleos e graxas.

Na década de 60 do século passado, a ocorrência de acidentes ambientais, pondo em risco recursos físicos e humanos, despertou a necessidade de se controlar esse desenvolvimento, ocorrendo, desde então, uma série de eventos envolvendo a comunidade internacional em torno da preservação do meio ambiente. Desta forma, em 1972 ocorre em Estocolmo a Conferência sobre o Meio Ambiente Humano que produz a Declaração sobre o Meio Ambiente Humano, que originou o conceito de “ecodesenvolvimento” e em 1983 a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento produz o Relatório Nosso Futuro Comum, conhecido por *Relatório Brundtland*, de onde advém o conceito de sustentabilidade ambiental, compreendido como a capacidade de atender às demandas atuais sem comprometer o atendimento às necessidades das futuras gerações.<sup>6</sup>

Em 1989, foi criado o conceito de Tecnologia Limpa pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente como uma resposta à demanda da sustentabilidade ambiental e visa nomear o conjunto de medidas que tornam o processo produtivo mais racional, com uso inteligente e econômico de utilidades e matérias-primas e, principalmente, com mínima ou, se possível, nenhuma geração de contaminantes, com a finalidade de reduzir os riscos aos seres humanos e ao meio ambiente.<sup>7</sup>

Dentro deste contexto, o tratamento eletrolítico ou eletrofloculação (EF) é um processo que envolve a geração de coagulantes *in situ* a partir de eletrodos de ferro e/ou alumínio, pela ação da corrente elétrica aplicada a esses eletrodos. A EF tem se mostrado uma alternativa promissora para o atendimento à legislação ambiental, além de ser versátil e competitiva para instalações em tanques que requerem grandes volumes de água a serem tratadas. As unidades de EF são pequenas e compactas, além de

requererem pouca manutenção e custos operacionais menores quando comparados a outras unidades de flotação.<sup>8,9</sup> Segundo Cerqueira *et al.* (2011),<sup>10</sup> esta técnica é uma alternativa promissora no tratamento de efluentes oleosos da indústria do petróleo.

Os processos tradicionais utilizados em estações de tratamento de efluentes envolvem a adição de agentes coagulantes e floculantes, como, por exemplo, polímeros e sais de ferro e de alumínio que podem causar impactos ambientais devido à sua toxicidade, mesmo em baixas concentrações. Os coagulantes à base de sulfatos, por exemplo, podem precipitar o cálcio presente no sedimento e na água ou participar de processos de oxirredução gerando sulfetos em condições anaeróbias.<sup>9</sup>

Este artigo se propõe a discutir a sustentabilidade ambiental na perspectiva do paradigma do pensamento complexo exemplificado pelo tratamento eletrolítico de efluentes da indústria de petróleo. Tendo em vista que a julgar pelos resultados atuais de degradação e destruição do meio ambiente advindos do modelo de desenvolvimento pautado na racionalidade econômica, emerge discutir a questão ambiental de forma a contemplar o paradigma de produção sustentável e o pensamento complexo como opção em relação à fragmentação do conhecimento e como vetor de compreensão da transdisciplinaridade necessária aos estudos e ações na área ambiental.

## 2. O pensamento complexo

O pensamento complexo oferece uma visão alternativa da realidade, que incentiva o pensamento inovador, indo de encontro à simplificação, concebendo a articulação dos diferentes aspectos dos fenômenos sociais, aspirando a multidimensionalidade do conhecimento. Esse caráter multidimensional do pensamento complexo insere no seu interior a incompletude e a incerteza do conhecimento, que durante muito tempo atormentou as ciências humanas e sociais por

ter como objeto de estudo o complexo fenômeno humano, sem que conseguisse adotar as leis simples e o determinismo das ciências naturais.<sup>11</sup>

Nesse sentido, observa-se um movimento de justaposição entre as ciências, primando pela complementação de saberes. No que concerne ao contexto complexo, a essência do conhecimento deixa de se referir unicamente à apropriação de conceitos e realizações de analogias visando à estruturação de um campo disciplinar próprio, passando a identificar inter-relações entre os conhecimentos, confluindo para um movimento inter e transdisciplinar de religação dos saberes.<sup>12</sup>

O pensamento complexo se baseia nos seguintes princípios:<sup>13</sup>

1. Princípio sistêmico ou organizacional – onde várias partes diferentes de áreas de conhecimentos diferentes estão ligadas e se organizam, ou seja, a partir da junção de partes plurais e heterogêneas entendemos do todo complexo.

2. Princípio hologramático – a parte está no todo, assim como o todo está na parte.

3. Princípio do ciclo retroativo – sugere a causalidade circular, isto é, a causa provoca um efeito que volta à causa, e assim por diante.

4. Princípio do ciclo recursivo – é a circularidade autoprodutiva, onde os produtos e os efeitos são, ao mesmo tempo, produtores e causadores.

5. Princípio da autoeco-organização – é o pensar autônomo consciente de sua dependência de outros para melhor conhecer.

6. Princípio dialógico – o pensamento complexo trabalha com ideias antagônicas que se complementam e não se excluem, é a separabilidade discutida com a inseparabilidade.

7. Princípio da reintegração do conhecedor ou observador em todo conhecimento – o observador é integrado à

sua observação, ou seja, restaura-se o sujeito sem considerá-lo uma perturbação do sistema, mas parte do mesmo.

Desta forma, para se pensar a complexidade é necessário se despir dos paradigmas do antigo pensamento científico que separava e isolava para entender e descrever de forma linear, como se não houvesse dependência entre as diferentes áreas do conhecimento e produzir uma série inumerável de superespecialistas, completamente cegos aos problemas cada vez mais multidimensionais de um contexto complexo e planetário.<sup>14</sup>

### 3. Pensamento complexo e sustentabilidade ambiental

---

O conceito de sustentabilidade ambiental coloca duas visões em oposição: a preservação ambiental e o desenvolvimento econômico. Observa-se nesse ponto o princípio dialógico. É indiscutível a necessidade de se preservar o meio ambiente e o homem tem tomado cada vez mais consciência disso. Entretanto, não se consegue conceber a possibilidade de privação dos benefícios que o desenvolvimento econômico tem oferecido. A partir dessa realidade, torna-se imprescindível que estes dois conceitos dialoguem para que se desenvolva o conceito de sustentabilidade, isto é, criar um desenvolvimento tecnológico ambiental ou uma preservação ambiental tecnológica.<sup>15</sup>

A atividade de exploração de petróleo vem sendo considerada pela sociedade como uma das maiores vilãs na degradação do meio ambiente, tendo em vista que é responsável por boa parte dos casos de contaminação ou poluição ambiental, geradas para atender a necessidade de consumo desta mesma sociedade. Tal realidade leva à implementação de normas ou leis governamentais, na tentativa eliminar ou minimizar estes impactos. Assim sendo, novas tecnologias de tratamento de

efluentes precisam ser criadas e desenvolvidas para atender esta demanda sócio-político-ambiental.

Fica evidenciado aqui o princípio do ciclo recursivo do pensamento complexo, pois a indústria de exploração de petróleo é ao mesmo tempo a produtora e a causadora dos impactos ambientais gerados por sua atividade. Desta forma, os efluentes e resíduos que são produzidos por esta atividade devem ser tratados pela própria indústria de exploração de petróleo. Observa-se, também, o ciclo retroativo, ou seja, a sociedade levanta os problemas gerados pela indústria de exploração de petróleo, que produz para a sociedade. Em resposta à preocupação social o governo cria diversas normas e leis, que levam a comunidade científica a buscar soluções.

Um exemplo destes ciclos retroativo e recursivo é o tratamento eletrolítico de efluentes da indústria de petróleo, mais especificamente no tratamento da água de produção, onde se pode observar, também, outros princípios do pensamento complexo.

#### 4. O tratamento eletrolítico da água de produção da indústria de petróleo e o pensamento complexo

Atualmente existem diversas tecnologias que podem reduzir bastante o teor de óleo na água a ser descartada ou reinjetada, entre elas podemos citar: filtração em leito absorvente, adsorção em carvão ativo, bio-oxidação, dentre outras. Porém estas tecnologias em geral, ainda não são viáveis tanto tecnicamente quanto, devido a limitações de espaço físico e peso destes equipamentos, dificuldade de execução de obras no ambiente marítimo e também o tempo de residência destas águas nas plataformas, que em geral não excede a 15 minutos.<sup>16, 17</sup>

O tratamento eletrolítico ou eletrofloculação (EF) é um processo que

envolve a geração de coagulantes *in situ* a partir de eletrodos de ferro e/ou alumínio, pela ação da corrente elétrica aplicada a esses eletrodos.<sup>8,9</sup> São três os estágios sucessivos de operação ocorridos durante este processo:<sup>18</sup>

1º) 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);

2º) 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);

3º) geração de micro bolhas de oxigênio (O<sub>2</sub>) no anodo e de hidrogênio (H<sub>2</sub>) no catodo, que sobem à superfície colidindo e sendo adsorvidas pelos flocos, carreando-os por arraste, juntamente com as partículas e impurezas em suspensão no meio e promovendo dessa forma a clarificação do efluente (etapa de flotação – eletroflotação).

A EF, em especial, requer equipamentos simples e de fácil operação, onde a corrente e o potencial aplicados podem ser medidos e controlados de maneira automatizada. Dentre os fatores positivos de sua aplicação destacamos: formação de flocos mais estáveis em comparação com a coagulação química, podendo ser melhor removidos por simples filtração; remoção de partículas coloidais menores, pois o campo elétrico aplicado promove mais rapidamente o contato entre elas, facilitando a coagulação; uso limitado de substâncias químicas, minimizando, conseqüentemente, o impacto negativo causado pelo excesso de xenobióticos lançados no ambiente; indução do agente contaminante para o topo do reator através das bolhas de gás produzidas durante a eletrólise, de onde este pode ser concentrado e mais facilmente removido por raspagem ou sucção; controle elétrico da célula eletrolítica, dispensando dispositivos

adicionais e demandando menos manutenção. O processo eletrolítico caracteriza-se, ainda, por operar em condições normais de temperatura e pressão, em valores reduzidos e do baixo tempo de residência.<sup>18</sup>

A EF tem se mostrado uma alternativa promissora para o atendimento à legislação ambiental, além de ser versátil e competitiva para instalações em tanques que requerem grandes volumes de água a ser tratada. As unidades de EF são pequenas e compactas, além de requererem pouca manutenção e custos operacionais menores quando comparados a outras unidades de flotação.<sup>8,9,19,20</sup>

Além disso, a EF tem despertado bastante interesse, devido à sua aplicação para o tratamento de diversos tipos de efluentes, dentre os quais se destacam: a indústria de processamento de coco,<sup>9</sup> de esgotos sanitários,<sup>18</sup> de restaurantes,<sup>21</sup> de siderurgias,<sup>22</sup> de indústrias têxteis,<sup>23,24</sup> de curtumes,<sup>25</sup> além de facilitar a remoção de íon fluoreto,<sup>26</sup> de boro<sup>27</sup> e de óleos<sup>28,29,30,31,32,33</sup>.

Estudos recentes, Un *et al.* (2006),<sup>34</sup> Wimmer (2007),<sup>35</sup> Asselin *et al.* (2008),<sup>36</sup> Gonzales (2008),<sup>37</sup> e Cerqueira *et al.* (2011),<sup>10</sup> avaliaram o tratamento de água produzida da indústria do petróleo por meio do tratamento eletrolítico. Os resultados obtidos por esses estudos em ensaios com efluente real e/ou simulado de água produzida mostraram eficiências de remoção de óleos e graxas, DQO (Demanda Química de Oxigênio), cor e turbidez, chegando a mais de 90%, dependendo das condições experimentais.

Embora, a um primeiro olhar, as informações técnicas descritas acima relatem resultados alcançados por estudiosos remetendo a pontos de vista isolados, as atividades dos cientistas e as apreciações de seus efeitos não estão descoladas. Ambas compõem a dinâmica do todo. O caráter interessante e enriquecedor da atividade científica reside, justamente, na junção das

possibilidades de verificação e imaginação. Aqui esta junção é demonstrada na pesquisa dos benefícios advindos da EF para o alcance da sustentabilidade (verificação) com a possibilidade de inserirmos outros modelos de produção que reconheçam as conexões existentes entre este e o pensamento complexo (imaginação).<sup>13</sup>

Nesse devir entre verificação e imaginação, o conhecimento se constitui como produto de uma relação complexa entre sujeito e objeto e com a capacidade de traduzir a realidade e reconstruí-la sob a forma de representações, ideias, teorias e discursos. Historicamente os conhecimentos vêm sendo organizados de tal forma que a ligação entre os objetos não é visualizada de pronto. Contudo, para que sua colaboração com a sociedade seja efetiva, os resultados da atividade científica precisam se integrar e estar contextualizados.<sup>10</sup>

Assim, ações como a prospecção do petróleo e a possibilidade de reutilização das águas produzidas nesta operação, após o tratamento por meio da eletrofloculação, são percebidas como aplicações de um conhecimento que integra a exploração de um recurso natural à perspectiva da sustentabilidade de forma contextualizada com o momento vivenciado pela sociedade (percepção quanto aos riscos desta atividade e uma destinação às águas residuárias que a contemple).

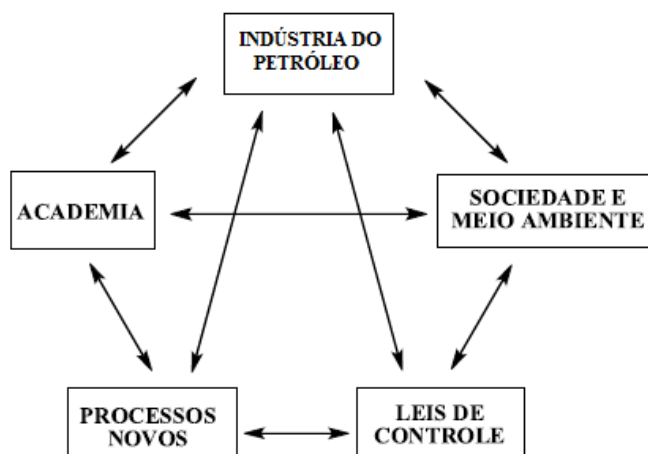
O desejo por conhecer, proveniente da observação e reflexão acerca da realidade, impulsiona o pesquisador a ampliar sua percepção em relação às consequências socioambientais ocasionadas pela exploração e produção petrolífera, tendo em vista a produção de rejeitos e águas residuárias (neste caso, especificamente, as águas produzidas a partir da exploração de petróleo). Perante esta conjuntura, a relação sujeito (pesquisador)/objeto (águas produzidas) conduz à geração de conhecimentos que fundamentam mecanismos capazes de minimizar a contaminação ambiental ocasionada por estas águas (tratamento eletrolítico).

Demonstrando a interpenetração e interconexão entre esse círculo da ciência que se auto-ecoproduz e se auto-ecoorganiza e todos os outros círculos da sociedade que funcionam a seu modo.<sup>13</sup>

Em outra perspectiva, podemos observar o princípio sistêmico do pensamento complexo quando para se desenvolver uma tecnologia ambientalmente mais eficaz para o tratamento da água de produção da indústria de petróleo, várias áreas de conhecimento (como a Química, a Engenharia e a Economia) se juntam para construir o conhecimento e na justificativa da importância de se desenvolver tal projeto. As vantagens políticas, econômicas e ambientais estão na possibilidade de se desenvolver um processo mais eficiente, mais econômico, de mais fácil operação e manutenção, que gere

menos resíduos e com menor impacto no ambiente, o que está de acordo com o objetivo da sustentabilidade ambiental.

Além disso, podemos observar, também, o princípio da retroação, pois esta nova tecnologia de tratamento da água de produção irá gerar outros impactos ambientais que afetarão a sociedade. Esta, por sua vez, irá novamente exigir soluções das autoridades, que criam e executam leis de controle ambiental. Essas leis exigirão o desenvolvimento de novas tecnologias. As novas tecnologias serão desenvolvidas pela academia visando à viabilidade econômica e o enquadramento às novas leis e, assim, serão utilizadas pela indústria de exploração de petróleo. A indústria então gerará outros problemas socioambientais, voltando ao início e fechando o ciclo retroativo (Figura 2).



**Figura 2.** Princípio da retroação aplicado à indústria do petróleo (adaptado de Souza & Marques, 2012).<sup>15</sup>

## 5. Considerações finais

A sustentabilidade ambiental exige a inter-relação entre conhecimentos de áreas distintas, o que é uma característica do pensamento complexo, de modo que conceitos considerados contrários como desenvolvimento econômico e preservação ambiental, possam conviver na construção de novas tecnologias que os atendam.

O tratamento eletrolítico da água de produção da indústria de petróleo é um exemplo de que o desenvolvimento de novas tecnologias para se atender à legislação ambiental, um tema complexo cuja dimensão abarca questões políticas, econômicas, sociais, técnicas e acadêmicas, a princípio separadas mas que se interligam a medida que são apreciadas de forma aprofundada, pode auxiliar nessa transposição da separação para união de saberes tendo como fio condutor a sustentabilidade.

Assim sendo, se faz necessária uma discussão multi e transdisciplinar baseada em um pensamento complexo, que não se encerre no particular, que integre o observador à observação e no qual cada indivíduo seja responsável pelo conhecimento que está sendo construído e permaneça constantemente atento à repercussão das partes no todo e vice-versa, de maneira a se atender aos anseios da sociedade por um ambiente mais equilibrado. Esta discussão se desdobrará na possibilidade de vivenciarmos uma real ética da união e da solidariedade entre humanos, um objetivo anterior a toda e qualquer atividade científica.<sup>10</sup>

## Agradecimentos

Ao CNPq e ao INOG (Instituto Nacional de Óleo e Gás) pelo apoio financeiro.

## Referências Bibliográficas

- <sup>1</sup> Ray, J. P.; Engelhardt, F. R., eds.; *Produced Water: Technological Environmental Issues and Solutions*, Plenum Press: New York, 1992.
- <sup>2</sup> Thomas, J. E.; *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*, Editora Interciência: Rio de Janeiro, 2a. ed., 2004.
- <sup>3</sup> Gabardo, I. T.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil, 2007. [Link]
- <sup>4</sup> Sítio do Ministério do Meio Ambiente (Brasil). Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 15 dezembro 2012. CONAMA - *Resolução no 430/11*; <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>, acessada em janeiro 2013.
- <sup>5</sup> Sítio do Ministério do Meio Ambiente (Brasil). Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=541>>. Acesso em : 15 Dezembro 2012.
- <sup>6</sup> Fogliatti, M. C.; *Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos sistemas de transporte*, Interciência: Rio de Janeiro, 2004.
- <sup>7</sup> Silva, F. M.; de Lacerda, P. S. B.; Jones Jr., J. Desenvolvimento sustentável e química verde. *Química Nova* **2005**, *28*, 103. [CrossRef]
- <sup>8</sup> Mollah, M. Y. A.; Schennach, R.; Parga, J. R.; Cocke, D. L. Electrocoagulation (EC) — science and applications. *Journal of Hazardous Materials* **2001**, *1*, 84. [CrossRef]
- <sup>9</sup> Crespilho, F. N.; Santana, C. G.; Rezende, M. O. Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação. *Química Nova* **2004**, *27*, 387. [CrossRef]
- <sup>10</sup> Cerqueira, A. A.; Marques, M. R. C.; Russo, C. Avaliação do processo eletrolítico em corrente alternada no tratamento de água de produção. *Química Nova* **2011**, *34*, 59. [CrossRef]
- <sup>11</sup> Morin, E.; *A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento*, Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 15a. ed., 2008.
- <sup>12</sup> Morin, E.; *A religião dos saberes: o desafio do século XXI - idealizadas e dirigidas por Edgar Morin*, Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 7a. ed., 2008.
- <sup>13</sup> Morin, E.; *Ciência com Consciência*, Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 5a. ed., 2001.
- <sup>14</sup> Morin, E. Em *Inteligência da Complexidade*; Morin, E.; Le Moigne, J.-L., eds.; Petrópolis: São Paulo, 2000.
- <sup>15</sup> Souza, S. P. L.; Marques, M. R. C. Desenvolvimento sustentável e pensamento complexo - estudo de caso: o uso de argilas como catalisadores. *Química Nova* **2012**, *35*, 1891. [Link]
- <sup>16</sup> Ramalho, J. B. V. S.; *Curso básico de processamento de petróleo: Tratamento de água oleosa*. RPSE/DIROL/SEPET, 1992.
- <sup>17</sup> Rodrigues, B. M.; *Dissertação de mestrado*, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. [Link]
- <sup>18</sup> Wiendl, G. W.; *Processos eletrolíticos no tratamento de esgotos sanitários*, Ed. ABES: Rio de Janeiro, 1a. ed., 1998.



- <sup>19</sup> Cerqueira, A. A.; Marques, M. R. C.; *Electrolytic Treatment of Wastewater in the Oil Industry. New Technologies in the Oil and Gas Industry*, Ed. Rijeka, Croatia: INTECH, 2012, cap. 1.
- <sup>20</sup> Cerqueira, A. A.; *Tese de Doutorado*, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. [[Link](#)]
- <sup>21</sup> Xu, X.; Zhu, X. Treatment of refractory oily wastewater by electro-coagulation process. *Chemosphere* **2004**, *56*, 10. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- <sup>22</sup> Kumar, P. R.; Chaudhari, S.; Khilar, K. C.; Mahajan, S. P. Removal of arsenic from water by electrocoagulation. *Chemosphere* **2004**, *9*, 55. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- <sup>23</sup> Zongo, I.; Maigab, A. H.; Wéthéb, J.; Valentina, G.; Leclerca, J. P.; Paternottea, G.; Lapicquea, F. Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a review. *Journal of Hazardous Materials* **2009**, *169*, 1. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- <sup>24</sup> Cerqueira, A. A.; Russo, C.; Marques, M. R. C. Electroflocculation for textile wastewater treatment. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* **2009**, *26*, 659. [[CrossRef](#)]
- <sup>25</sup> Murugananthan, M.; Raju, G. B.; Prabhakar, S. Removal of sulfide, sulfate and sulfite ions by electro coagulation. *Journal of Hazardous Materials* **2004**, *109*, 1. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- <sup>26</sup> Hu, C. Y.; Lo, S. L.; Kuan, W. H.; Lee, Y. D. Removal of fluoride from semiconductor wastewater by electrocoagulation–flotation. *Water Research* **2005**, *39*, 5. [[CrossRef](#)]
- <sup>27</sup> Yilmaz, A. E.; Boncukcuoglu, R.; Kocakerin, M. M.; Keskinler, B. Removal of sulfide, sulfate and sulfite ions by electro coagulation. *Journal of Hazardous Materials* **2005**, *125*, 1. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- <sup>28</sup> Queiroz, M. S.; Souza, A. D.; Abreu, E. S. V.; Gomes, N. T.; Neto, O. A. A.; CENPES-DITER-SEBIO, RT: Rio de Janeiro, 1996.
- <sup>29</sup> Rubach, S.; Saur, I. F. Onshore testing of produced water by electroflocculation. *Filtration & Separation* **1997**, *34*, 8. [[CrossRef](#)]
- <sup>30</sup> Khemis, M.; Tanguy, G.; Leclerc, J. P.; Valentin, G.; Lapicque, F. Electrocoagulation for the Treatment of Oil Suspensions: Relation Between the Rates of Electrode Reactions and the Efficiency of Waste Removal. *Process Safety and Environmental Protection* **2005**, *83*, 50. [[CrossRef](#)]
- <sup>31</sup> Un, U. T.; Altay, U.; Koparal, A. S.; Ogutveren, U. B. Complete treatment of olive mill wastewaters by electrooxidation. *Chemical Engineering Journal* **2008**, *139*, 445. [[CrossRef](#)]
- <sup>32</sup> Can, O. T.; Kobya, M.; Demirbas, E.; Bayramoglu, M. Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation. *Chemosphere* **2006**, *2*, 62. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- <sup>33</sup> Bensadok, K.; Benammar, S.; Lapicque, G. F. *Journal of Hazardous Materials* **2008**, *152*, 1. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- <sup>34</sup> Un, U. T.; Uğur, S.; Koparal, A. S.; U. Öğütveren, B. Electrocoagulation of olive mill wastewaters. *Separation and Purification Technology* **2006**, *52*, 136. [[CrossRef](#)]
- <sup>35</sup> Wimmer, A. C. S.; *Dissertação de Mestrado*, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. [[Link](#)]
- <sup>36</sup> Asselin, M.; Drogui, P.; Brar, S. K.; Benmoussa, H.; Blais, J. F. Organics removal in oily bilgewater by electrocoagulation process. *Journal of Hazardous Materials* **2008**, *151*, 446. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- <sup>37</sup> Gonzales, L. G. V.; *Dissertação de Mestrado*, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. [[Link](#)]