

# **Relatório de Pesquisa**

## **Utilização de nanopartículas magnéticas na absorção de petróleo derramado**



**2020**

**Associação Mineira de Pesquisa e Iniciação Científica – AMPIC**

**Nome da Instituição de Ensino**

Ana Caroline Nasaro de Oliveira

Júnia Ciríaco de Castro

Rosana Aparecida Ferreira Nunes

# **Relatório de Pesquisa**

## **Utilização de nanopartículas magnéticas na absorção de petróleo derramado**

Relatório Final apresentado ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Feira Mineira de Iniciação Científica (FEMIC) e órgãos de fomento, sob orientação da Prof. Ma. Rosana Aparecida Ferreira Nunes.

Vigência da bolsa: 01/10/2019 a 31/07/2020.

Tipo de bolsa: ICJ – Iniciação Científica Júnior.

Processo Plataforma Carlos Chagas: 439797/2018-7

Coordenação geral: Fernanda Aires Guedes Ferreira

**Timóteo, Minas Gerais**  
**2020**

## RESUMO

Episódios de contaminação ambiental devido ao derramamento de petróleo nos mares e oceanos são recorrentes, causando graves danos ao ecossistema e à economia. Em função disso, faz-se necessário a busca de novas soluções para minimização de tais impactos. Uma dessas técnicas que se encontra em ascensão atualmente é a nanotecnologia. Esta ciência se baseia na manipulação de sistemas funcionais a uma escala atômica e molecular, composta por estruturas que nunca ultrapassam os cem nanômetros. Neste contexto, este trabalho teve por objetivo apresentar parte do desenvolvimento de uma nova proposta para retirar petróleo derramado em ecossistemas aquáticos. Foram realizados testes em laboratório para a formação de nanopartículas. O procedimento utilizou reagentes caseiros, formando Ferro II, Ferro III e obtendo como produto tetróxido de triferro. Este, possibilitou a magnetização do petróleo. Os resultados até o momento mostraram a viabilidade econômica da técnica proposta, inclusive através da comparação com outros métodos tradicionais. Pretende-se ainda realizar o cálculo da proporção de nanopartículas por metro cúbico de petróleo derramado, a partir da disposição de amostras de petróleo em água. Desta forma, espera-se sanar o problema supracitado e contribuir com a sustentabilidade do planeta, visando atingir ao menos um dos dezessete objetivos para transformar nosso mundo, de acordo com a iniciativa das Organizações das Nações Unidas (ONU).

**Palavras-Chave:** Petróleo; Nanopartículas; Magnetização; Meio Ambiente; Proporção Estequiométrica.

## **ABSTRACT**

Episodes of environmental contamination due to oil spills in oceans are recurrent, serious damage to the ecosystem and the economy. As a result, it is necessary to search for new solutions to minimize such impacts. One of these techniques that is currently on the rise is nanotechnology. This science is based on the manipulation of functional systems on an atomic and molecular scale, composed of structures that never exceed one hundred nanometers. In this context, this work aimed to present part of the development of a new proposal to remove oil spilled in aquatic ecosystems. Laboratory tests were carried out to form nanoparticles. The procedure used homemade reagents to obtain Ferro II and Ferro III. Triferro tetroxide was obtained as a product. This enabled the magnetization of oil. The results so far have shown the economic viability of the proposed technique, including through comparison with other traditional methods. It is also intended to calculate the proportion of nanoparticles per cubic meter of spilled oil, based on the disposal of samples of this in water. In this way, it is hoped to solve the aforementioned problem and contribute to the sustainability of the planet, aiming to achieve at least one of the seventeen objectives to transform our world, according to the initiative of the United Nations (UN) organizations.

**Keywords:** Petroleum; Nanoparticles; Magnetization; Environment, Stechiometric Proportion.

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>   | <b>7</b>  |
| <b>2</b> | <b>JUSTIFICATIVA</b>  | <b>10</b> |
| <b>3</b> | <b>OBJETIVOS</b>  | <b>13</b> |
| 3.1      | Objetivo geral  | 13        |
| 3.2      | Objetivos específicos   | 13        |
| <b>4</b> | <b>METODOLOGIA</b>  | <b>14</b> |
| 4.1      | Caracterização da pesquisa  | 14        |
| 4.2      | Ética na pesquisa   | 14        |
| 4.3      | Etapas do trabalho  | 16        |
| 4.3.1    | Construção do referencial teórico                                 | 16        |
| 4.3.2    | Cronograma  | 16        |
| 4.4      | Materiais   | 18        |
| 4.5      | Métodos   | 18        |
| 4.5.1    | Síntese das nanopartículas de magnetita                           | 19        |
| 4.5.2    | Magnetização do petróleo  | 20        |
| 4.6      | Caracterização química das nanopartículas magnéticas de $Fe_3O_4$ | 21        |
| 4.7      | Método de análise dos resultados                                  | 22        |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS OBTIDOS</b>   | <b>23</b> |
| 5.1      | Magnetização do petróleo e tipo de interação formada              | 23        |
| 5.2      | Decaimento do gráfico   | 23        |
| 5.3      | Melhora das características paramagnéticas                        | 23        |
| 5.4      | Estudo do tempo de ócio   | 24        |
| 5.5      | Estudo da viabilidade de custo                                    | 24        |
| 5.6      | Por meio da comparação com outras técnicas                        | 26        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES</b>   | <b>29</b> |
|          | <b>AGRADECIMENTOS</b>   | <b>30</b> |
|          | <b>ANEXOS</b>   | <b>31</b> |
|          | <b>GLOSSÁRIO</b>  | <b>37</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b>  | <b>39</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

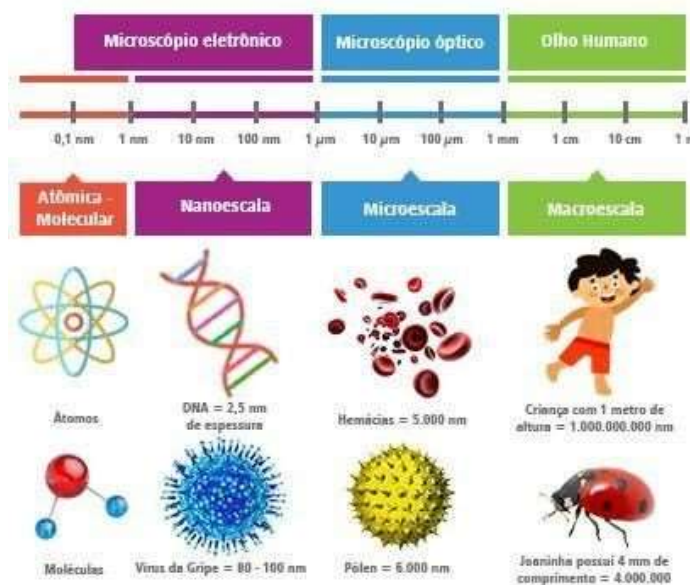
Em 1959 o físico Richard Phillips Feynman plantou a semente do que conhecemos como “nanotecnologia”. Na palestra intitulada “There's Plenty of Room at the Bottom” (Há muito espaço no fundo), foram aludidas frases como “dispor os átomos um por um da forma que desejamos” e “manipular e controlar coisas em escala atômica”. Anos depois, a junção do prefixo “nano” (do grego “anão”) e do sufixo “tecnologia” foi descrita pioneiramente pelo pesquisador japonês Norio Taniguchi, em 1974.

A partir disso, a ciência citada acima tornou-se aplicável, saindo do contexto das ideias. Foi durante a década de 80 que Gerd Binnig e Heinrich Rohrer desenvolveram o “microscópio de varredura”. De acordo com Melo e Pimenta (2004) este aparelho permitia a visualização e a manipulação de átomos. Ainda na mesma década, em 1986, Eric Drexler difundiu o conceito de nanotecnologia a partir da obra "Engines of Creation" (Motores da Criação). Desde então, o advento da expansão da área tornou-se contínuo, tornando-a mais acessível e diversificada.

De acordo com Porter, Youtie e Shapira (2008) (apud Iniciativa Nacional de Nanotecnologia dos EUA (NNI), tradução nossa) a nanotecnologia está "abrangendo a ciência, a engenharia e a tecnologia, relacionadas ao entendimento e controle da matéria na escala de aproximadamente 1 a 100 nanômetros". Eles ressaltam que a área não trabalha apenas com a nanoescala, mas também desenvolve materiais, sistemas e dispositivos por meio da pesquisa.

O termo nanopartículas foi criado a partir da nanotecnologia. Segundo Francisquini, Schoenmaker e Souza (2014), essas são resultado da miniaturização extrema em escalas moleculares e atômicas. Portanto, menores que um vírus, uma hemácia ou até mesmo, um fio de cabelo, como mostra a Figura 1.

**Figura 1 - Nano: uma dimensão muito pequena**



Fonte: Cartilha Educativa para Divulgação e Ensino da Nanotecnologia, adaptada pelas autoras. (2018, p. 13)

Segundo Silva (2014), um material pode assumir diferentes propriedades magnéticas, elétricas, mecânica ou química devido à variação de suas dimensões físicas. Assim sendo, pode assumir funções que um material em escala macro não atingiria:

Nos últimos anos, a nanotecnologia emergiu como um campo multidisciplinar, no qual o entendimento fundamental das propriedades elétricas, ópticas, magnéticas e mecânicas das nanoestruturas promete entregar a próxima geração de materiais funcionais com aplicações abrangentes. As nanoestruturas também podem fornecer soluções para os desafios tecnológicos e ambientais nas áreas de catálise, medicina, conversão de energia solar e tratamento de água. (Mohammad S. et al. 2019, tradução nossa).

A nanotecnologia tem sido empregada demasiadamente na área de reparação ambiental. De acordo com Silva (2014), através dela é possível contornar problemas da indústria de petróleo e gás que a tecnologia atual não poderia solucionar. Ainda, a “nanotecnologia do petróleo”, como é chamada, pode solucionar problemas “no setor de exploração e produção de reservatórios” com a “busca por materiais mais leves e



resistentes”. Ademais, pode ser aplicada “na área de recuperação avançada de óleo e de perfuração” e “no setor de transporte e refino”, alterando “os processos de refino atuais, que usam muitos materiais tóxicos, gerando uma preocupação ambiental”.

Neste contexto, este trabalho tem por objetivo apresentar estudos referentes ao desenvolvimento de uma alternativa viável, sustentável e econômica para a remoção de petróleo derramado dos ecossistemas aquáticos. Ela está relacionada a formação de nanopartículas magnéticas de magnetita, e sua posterior aplicação em petróleo derramado em meio aquoso.





## 2 JUSTIFICATIVA

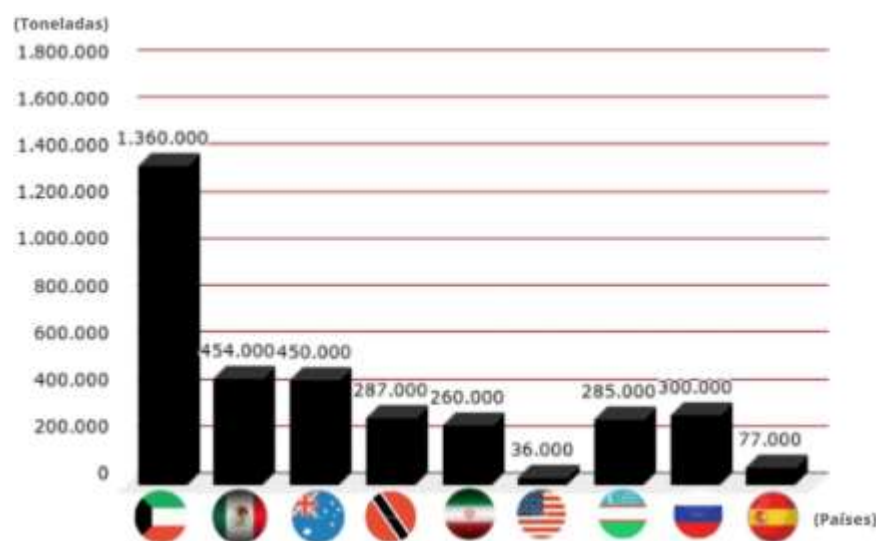
Ao longo de sua passagem na terra, o homem utiliza os bens da natureza para sua sobrevivência e melhora das condições de vida. Entretanto, a infrene exploração de recursos minerais, sobretudo os não renováveis, acabam por desencadear impactos ambientais muitas vezes irreversíveis.

Considerado a maior fonte energética do mundo, o petróleo é composto basicamente por hidrocarbonetos e é “formado pelo processo de decomposição de matérias orgânicas, resto de vegetais, algas, alguns tipos de plânctons e restos de animais marinhos, ocorridos por centenas de milhares de anos da história geológica da Terra” (PIMENTEL, et al., 2010). É utilizado como matéria prima para a geração de energia nas usinas termoelétricas. Muito se enganam aqueles que acreditam que a magnitude desta fonte se reserva apenas a tal atuação. O petróleo é largamente utilizado na indústria dos plásticos, cosméticos, asfaltos e combustíveis. Todavia, em sua exploração, tornam-se recorrentes os casos de acidentes ou ações deliberadas.

Em meados de 1991, em plena Guerra do Golfo, eclodiu no mundo o que viria a ser o maior derramamento de petróleo já visto. Este, não foi propriamente acidental, mas intencional, com 1 milhão e 360 mil toneladas de óleo que trouxeram enormes danos à vida selvagem no Golfo Pérsico.

No ano passado, de acordo com Fearnside (2019), o litoral brasileiro foi demasiadamente afetado por um derramamento de óleo cuja proporção ainda é imensurável. Episódios como estes não podem ser reputados ao acaso, eles expressam modelos de desenvolvimento insustentável e despreparo institucional, protagonizando por vezes, os noticiários mundiais. O gráfico a seguir ilustra alguns dos maiores casos de derramamentos de petróleo ocorridos no mundo.

**Gráfico 1: maiores derramamentos de petróleo ocorridos no mundo (volume e países afetados)**



Fonte: elaborada pelas autoras a partir de “Fundação SOS Mata Atlântica” (2013)

Estes derramamentos podem ocorrer por diversos fatores, “e acontecem, geralmente, devido a falhas humanas ou falhas de equipamentos, a fissuras existentes no assoalho, causadas pela pressão exercida no fundo do oceano, que faz escapar o óleo, e até mesmo à explosão de poços ou ruptura de oleodutos” (ALVES; ALVES; MARTINS, 2012, p.82 apud ALONSO, 2012).

Inimagináveis são os prejuízos que eles causam na fauna e flora marítima, costeira e dos manguezais. De acordo com a Fragmaq (2015), os peixes, ao terem contato com as substâncias tóxicas derivadas do petróleo, morrem por asfixia, já que o óleo impregna as brânquias, impedindo a realização das trocas gasosas. As aves e os demais mamíferos marinhos, além da intoxicação, ficam com as penas cobertas por óleo, não conseguindo voar e nem manter a temperatura corporal.

A poluição de águas é certa quando há derramamento, seja nos oceanos, mares ou manguezais. Vindo de plataformas ou oleodutos danificados, o petróleo forma uma mancha escura sobre a água extremamente tóxica para os organismos ali presentes, se tornando parte indesejada do ecossistema onde se instala. (SANTOS, 2013, p. 38).

Outro fator de suma importância é aquele que afeta direto o turismo, a pesca de subsistência e o comércio local, causando graves prejuízos à economia. A análise

socioeconômica de Sousa, Miranda e Medeiros (2013), realizada com pescadores da baía de Guanabara “mostra que as condições de vida são difíceis para esses trabalhadores que atuam na informalidade e que convivem com a instabilidade da pesca e da precariedade das relações de trabalho” e que após o “acidente na Baía de Guanabara em 2000, provocado pelo derramamento de óleo, muitos pescadores relataram que a situação dos que sobrevivem da pesca piorou muito, uma vez que a produtividade pesqueira da Baía de Guanabara caiu mais de 90% após o acidente”.

Este fator se agrava drasticamente quando a população em questão tenta recuperar o ecossistema com seus próprios meios. O petróleo é uma substância altamente tóxica, que pode ser cancerígena. O manuseio inadequado, sobretudo sem o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI's), pode acarretar consequências adversas.

**Figura 2 - Derramamento de petróleo no litoral nordestino**



Fonte: Salve Maracáípe (2019)

Tomando como base a problemática supracitada, tornam-se necessárias a adoção de medidas de recuperação do ecossistema. Assim sendo, acredita-se que a nanotecnologia a partir da aplicação de nanopartículas sejam uma das soluções.



### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Utilizar uma alternativa mais eficaz, viável e sustentável de retirada de petróleo nos ecossistemas aquáticos.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Compreender os aspectos físico-químicos do petróleo;
- Formar nanopartículas de magnetita;
- Magnetizar o petróleo;
- Estudar os possíveis impactos que a solução pode causar ao meio;
- Padronizar as proporções de solução/petróleo.



## **4 METODOLOGIA**

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para a realização da pesquisa. Para isso, são abordados os seguintes tópicos: caracterização da pesquisa, ética na pesquisa, etapas do trabalho e métodos de análise dos resultados.

### **4.1 Caracterização da pesquisa**

Para o desenvolvimento do trabalho, caracterizou-se a pesquisa como laboratorial, fazendo o uso de técnicas experimentais. De acordo com FONTELLES et al. (2009), uma pesquisa laboratorial testa incansavelmente um produto ou ideia a fim de se obter todas as informações sobre seus resultados. As pesquisas são realizadas em ambiente controlado, tal como um laboratório, com posterior análise de dados.

Dessa forma, a pesquisa laboratorial foi a que mais se aproximou do plano metodológico idealizado e foi nela que baseou-se a pesquisa.

Quanto aos meios, a pesquisa pode ser classificada como um estudo de caso com uso de métodos quantitativos. Segundo Gil (2002, p. 54), o estudo de caso consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento. Os métodos quantitativos tem como objetivo quantificar um problema e entender a dimensão dele.

### **4.2 Ética na pesquisa**

A pesquisa laboratorial prevê e sua execução, contato com preceitos humanos e naturais. Neste contexto, a ética está conectada a esse tipo de pesquisa. Segundo SCHNAIDER (2008), este tipo de pesquisa deve estar condicionado a um comitê de ética em pesquisa. Assim sendo, devem ser realizadas reflexões e discussões de temas éticos, casos com dilemas específicos e situações conflituosas próprias da pesquisa e

pauta. Para que, dessa forma, não haja nenhum tipo de dano direto ou indireto envolvendo indivíduos ou coletividades.

Visando o contato com tais preceitos, foi realizada a submissão do trabalho no Comitê de Revisão Científica (CRC) pela plataforma da Associação Mineira de Pesquisa e Iniciação Científica (AMPIC). Para isso, houve a especificação das variáveis da pesquisa, tais como: dados, objetivos, detalhamentos, materiais e métodos. Destacando-se o estudo envolvendo substâncias químicas com potenciais riscos à saúde e ao meio ambiente, manuseamento de reagentes e benefícios.

A submissão foi analisada pela Dra. Fernanda Nobre Amaral Villani, coordenadora do CRC-AMPIC. Como sugestão, sugeriu-se adicionar maior detalhamento no item referente às substâncias e as quantidades que serão utilizadas na pesquisa. Ademais, não houveram pendências ou listas de inadequações. As considerações finais tratam a proposta como recomendável e de acordo com as normas de segurança e ética na pesquisa. As páginas subsequentes do formulário encontram-se no anexo 1.

**Figura 3 - Formulário submetido ao CRC-AMPIC.**



Associação Mineira de Pesquisa e Iniciação Científica

Comitê de Revisão Científica – CRC

Plataforma AMPIC de Iniciação Científica na Educação Básica

| Revisão de Segurança e Ética - RSE |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| Protocolo                          | 121116 ENG/001-2019     |
| Validade                           | 27/07/2019 a 27/07/2021 |

| Dados da pesquisa       |   |
|-------------------------|---|
| Título                  | Utilização de nanopartículas magnéticas na absorção de petróleo derramado |
| Área                    | Engenharias   |
| Pesquisador responsável | Rosana Aparecida Ferreira Nunes   |
| Instituição proponente  | Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campus Timóteo    |

Fonte: Associação Mineira de Iniciação Científica (2019)

### 4.3 Etapas do trabalho

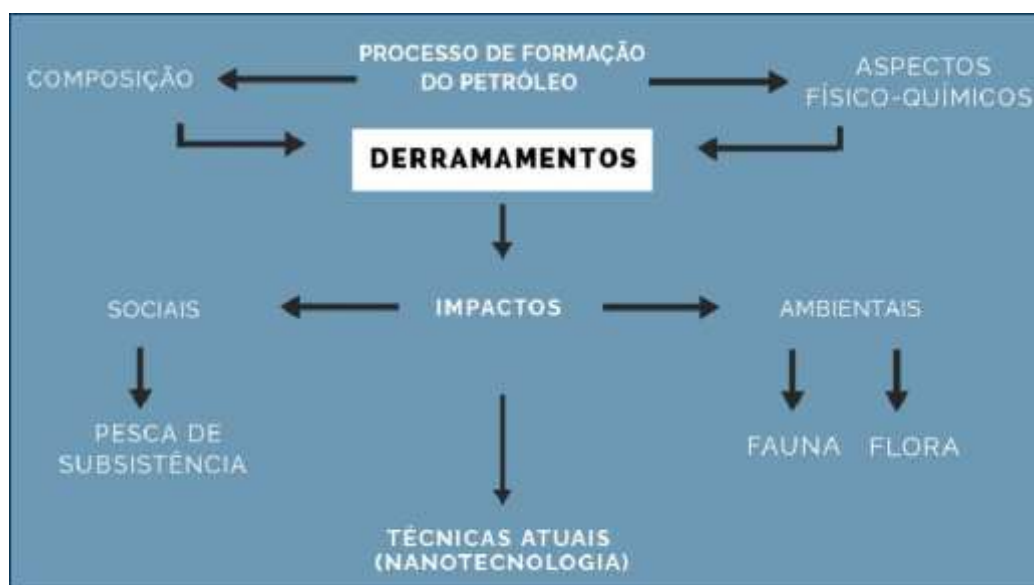
As etapas do trabalho foram realizadas no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, campus Timóteo. Consistiu na utilização de laboratórios de computação, química, materiais e solos.

O trabalho foi organizado em quatro etapas, conforme segue:

#### 4.3.1 Construção do referencial teórico

A primeira etapa do trabalho consistiu na construção do referencial teórico e levantamento bibliográfico.

Figura 4 - Tópicos do referencial teórico estudado.



Fonte: Organizado pelas autoras (2019)

#### 4.3.2 Cronograma

Foram distribuídas as etapas de trabalho em diferentes períodos de tempo, visando a organização do tempo.

Tabela 1 - Cronograma de atividades (2019)

| Atividade | Out | Nov | Dez |
|-----------|-----|-----|-----|
|-----------|-----|-----|-----|



|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| Pesquisa bibliográfica.                                  | x |   |   |
| Contatação de empresas para o fornecimento das amostras. | x |   |   |
| Início dos testes com óleos derivados do petróleo.       |   | x |   |
| Realização dos testes com petróleo.                      |   |   | x |
| Análise de dados.  |   |   | x |
| Otimização de protocolos.                                |   |   | x |
| Participação em feiras.                                  | x |   |   |

Tabela 2 - Cronograma de atividades (2020)

| Atividade  | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| Escrita do artigo científico.                                |     |     |     | x   | x   |
| Participação em feiras.                                      |     |     | x   |     |     |
| Escrita do relatório final.                                  |     |     |     |     | x   |
| Análise de custos.   | x   |     |     |     |     |
| Prosseguimento dos testes.                                   | x   | x   |     |     |     |
| Busca de anterioridade                                       |     |     | x   | x   |     |
| Estudo dos possíveis impactos da técnica para o ambiente.    |     |     |     |     | x   |
| Estudo de forma(as) para retirar as nanopartículas dos óleos |     |     |     |     | x   |
| Caracterização das nanopartículas - revisão bibliográfica    |     |     |     |     | x   |
| Obtenção de novas amostras de petróleo                       |     |     |     |     | x   |
| Estudo e aplicação de eletroímãs                             |     |     |     |     | x   |

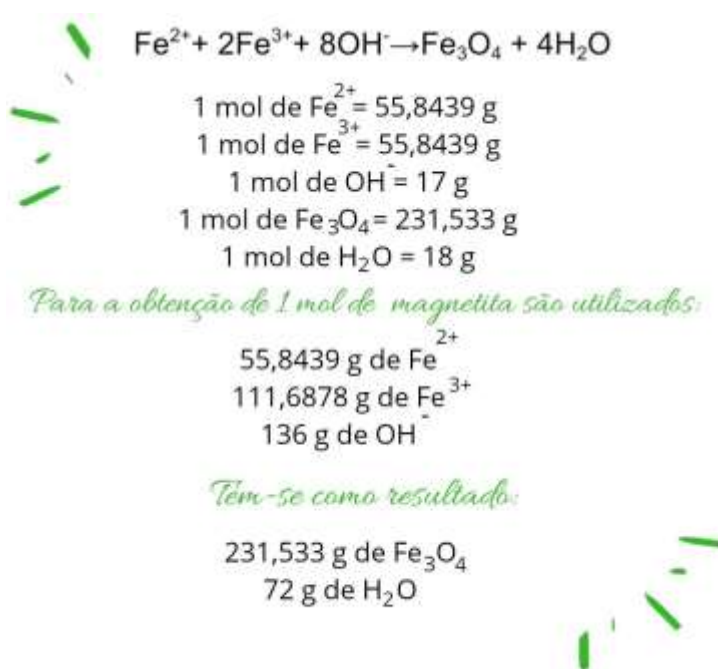


|   |  |  |  |  |  |   |
|---|--|--|--|--|--|---|
| Submissão do artigo em revistas científicas ou /eventos |  |  |  |  |  | X |
|---|--|--|--|--|--|---|

#### 4.4. Materiais

Para a execução dos procedimentos metodológicos foram utilizados: vinagre de acidez volátil 4%; lã de aço; água oxigenada 10 volumes; amoníaco; imã de neodímio; amostra de petróleo cru; proveta; borrifador; béquer. Seguindo a seguinte proporção estequiométrica:

**Figura 5 - Cálculos estequiométricos**



Fonte: elaborado pelas autoras (2019)

#### 4.5 Métodos

Os procedimentos metodológicos aqui empregados foram inspirados a partir do vídeo de Condomitti (2014), retirado na internet, que consiste na formação de nanopartículas de magnetita.

#### 4.5.1 Síntese das nanopartículas de magnetita

A síntese das nanopartículas de magnetita deste trabalho se deu por meio da proporção estequiométrica de ferroso ( $Fe^{2+}$ ) e férrico ( $Fe^{3+}$ ), com posterior adição de hidroxila ( $OH^-$ ).

A formação do ferroso ou Ferro II foi gerada por meio da união do vinagre e da lã de aço. O composto foi deixado em ócio por aproximadamente 44 horas, conforme apresentado no Gráfico 2. Nesse tempo de repouso, houve a formação de  $Fe^{2+}$  e logo após ele foi separado de forma igualitária em dois recipientes distintos.

Gráfico 2: Análise do tempo de ócio das nanopartículas



Fonte: autoria própria

Em seguida, adicionou-se peróxido de hidrogênio em uma das porções de ferroso reservadas, tendo portanto, a formação de férrico ou Ferro III. Juntou-se a solução formada a parte resultante de Ferro II e dessa forma, obteve-se férrico e ferroso combinados em uma só solução.

Por fim, adicionou-se hidroxila a solução supracitada. Como produto, formou-se o tetróxido de triferro ( $Fe_3O_4$ ) diluído em água ( $H_2O$ ). As nanopartículas são então, separadas por meio do processo de decantação. A partir das técnicas empregadas, temos a seguinte reação:

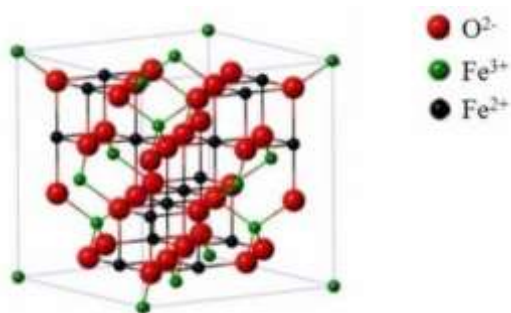


**Figura 6 - Processos metodológicos**



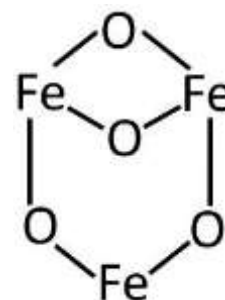
Fonte: organizado pelas autoras (2019)

**Figura 7 - Célula unitária da magnetita**



Fonte: Jesus (2018)

**Figura 8 - Magnetita (fórmula estrutural)**



Fonte: organizado pelas autoras (2019)

#### 4.5.2 Magnetização do petróleo

Após a formação das nanopartículas de magnetita deu-se início ao processo de magnetização do petróleo. As nanopartículas formadas foram dispostas em um borrifador e posteriormente, lançadas sobre a amostra de petróleo. Um ímã de neodímio



foi utilizado para atrair o composto (petróleo + nanopartículas), e assim, realizar o processo de magnetização.

#### **4.6 Caracterização química das nanopartículas magnéticas de $Fe_3O_4$**

O presente trabalho tem entre seus objetivos, realizar a caracterização química das amostras de nanopartículas de magnetita ( $Fe_3O_4$ ) formadas. “A caracterização química pode ser utilizada para separar os acessos conservados quanto à presença e/ou concentração de substâncias específicas e princípios ativos. Destina-se também a conhecer a variabilidade intrínseca ou entre acessos de uma mesma espécie” (ALVES et al. 2010 apud VALLS, 2007).

Assim sendo, buscou-se na literatura trabalhos similares que envolvem a caracterização química de materiais magnéticos. O trabalho intitulado “Functionalization of Magnetite Nanoparticles as Oil Spill Collector” (Funcionalização de nanopartículas de magnetita como coletor de derramamento de óleo) faz uso da magnetita encapsulada com amidoxima de resina que foram caracterizadas por espectroscopia no infravermelho, microscopia eletrônica de transmissão, difração de raios X, análise termogravimétrica e espalhamento dinâmico de luz. “As amostras obtidas foram caracterizadas em um difratômetro BDX-3300 (Eindhoven, Holanda) usando radiação  $CuK\alpha$  (comprimento de onda,  $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ) com fendas variáveis a 45 kV / 40 mA para obter padrões de difração de raios X em pó (DRX).” (ATTA et al. 2015, tradução nossa), apresentando resultados satisfatórios.

A pesquisa “Síntese e Caracterização de Nanoestruturas  $Fe_3O_4$  e  $Fe_3O_4@Ag$  para Estudos com Hipertermia Magnética” fez uso da técnica de difração de raios X para “determinar parâmetros estruturais (tamanho dos cristalitos, estrutura cristalina, quantificação de fases e alguns outros parâmetros da estrutura cristalina)” (JESUS, 2018, p. 33) das amostras de nanopartículas magnéticas.



A técnica de Difração de Raios X foi descrita em 1912, por Max von Laue. Mais tarde, foi difundida e utilizada como base para diversos experimentos.

Ao incidir um feixe de raios X em um cristal, o mesmo interage com os átomos presentes, originando o fenômeno de difração. A difração de raios X ocorre segundo a Lei de Bragg, a qual estabelece a relação entre o ângulo de difração e a distância entre os planos que a originaram (característicos para cada fase cristalina). (ALBERS et al, 2002, p. 34)

A técnica citada será utilizada futuramente na caracterização das amostras desta pesquisa.

#### **4.7 Método de análise dos resultados**

Como método de análise dos resultados, foi feito o uso da análise diagnóstica com o intuito de responder aos seguintes questionamentos:

- O quê? (O que é possível magnetizar)
- Quando? (Em quais situações/ âmbitos a magnetização ocorre)
- Onde? (Onde é possível ocorrer o processo)
- Como? (Como ocorre)
- Por quê? (Por quê ocorre)

Para isso, estudou-se os impactos e as ações provenientes que serão detalhadas na seção que se segue.



## 5 RESULTADOS OBTIDOS

Realizados os processos metodológicos, os resultados obtidos foram analisados.

### 5.1 Magnetização do petróleo e tipo de interação formada

Torna-se possível a realização da magnetização do petróleo na presença das nanopartículas de magnetita produzidas. Isso ocorre pois o oxigênio presente na magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) tende a ser atraído pelos hidrogênios que do petróleo ( $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ) formando uma ligação covalente. Quando submetido ao campo gravitacional de um ímã o composto nanopartículas+petróleo é magnetizável e se desloca como desejado.

### 5.2 Decaimento do gráfico

O decaimento do gráfico 2 (análise do tempo de ócio) é explicado quimicamente. A reação possui um limite, as 44 horas de ócio trata-se do pico desta reação. Nesse ponto, os reagentes tornam-se produtos e em seguida há a saturação da amostra. Ademais, pode-se concluir que a amostra passou a possuir novas características. Sempre que diminuimos a escala, um material passa a assumir diferentes propriedades. Neste caso, parte das características diamagnéticas foram perdidas, e mais características paramagnéticas foram adquiridas.

### 5.3 Melhora das características paramagnéticas

Durante a realização dos processos metodológicos viu-se a necessidade de adaptação. Conclui-se que queimar a lã de aço antes de adicioná-la ao vinagre torna as nanopartículas mais paramagnética, ou seja, aumenta a suscetibilidade magnética, visto que o produto da queima é o óxido de ferro.



#### 5.4 Estudo do tempo de ócio

Para que houvesse a síntese das nanopartículas com o melhor índice de magnetização realizou-se testes com diferentes tempos de ócio, alterando o primeiro passo da metodologia. Foi produzido o gráfico 2 com a análise dos resultados magnéticos obtidos de cada amostra em relação ao tempo, em horas, de repouso. Considerou-se que:

0 - Nenhuma magnetização.

1 - Pouquíssima magnetização: nanopartículas ainda sem muito movimento.

2 - Pouca magnetização: as nanopartículas se movem com menor velocidade.

3 - Magnetização intermediária: tem magnetização satisfatória, porém não é a máxima.

4 - Muita magnetização: as nanopartículas se movimentam com maior velocidade, é o ideal para os bons resultados.

Conclui-se que no período de 36 a 52 horas de ócio tem-se o melhor teor de magnetização. Isso se dá porque 44 horas é o pico da reação, todo reagente se torna produto nesse momento e o composto a partir disso começa a perder suas características magnéticas.

#### 5.5 Estudo da viabilidade de custo

Foi realizado um estudo para conhecimento dos custos acarretados à produção das nanopartículas. Assim sendo, tomou-se como base a equação química (01) e de cálculos estequiométricos (figura 3).

Buscou-se pelos preços em atacado e varejo dos seguintes itens: vinagre, lã de aço, água oxigenada e amônia. Sucedendo-se tal pesquisa, foram realizados os cálculos unitários e volumétricos padronizando-se em 100mL. O cálculo seguinte se deu



utilizando os valores das densidades dos compostos ( $d$ ) e os valores de massa ( $m$ ) obtidos no cálculo estequiométrico, obtendo os resultados em unidades de volume ( $v$ ). Assim sendo, tomamos como base a seguinte equação:

$$v = \frac{m}{d}$$

O cálculo final tomou como base os custos em prol dos volumes calculados (figura 5), permitindo assim, a somatória final. Para a produção de 100mL de nanopartículas em meio aquoso, gasta-se aproximadamente R\$ 1,86, enquanto que, para a produção de uma mesma quantidade do composto puro gasta-se um valor de R\$4,93, aproximadamente.

**Tabela 3 - Análise de preços.**

| <b>PRODUTO</b>        | <b>PREÇO ATACADO/<br/>VAREJO</b> | <b>QUANTIDADE</b>                 | <b>TOTAL</b>  | <b>PREÇO UNITÁRIO/<br/>100 mL</b> |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------|-----------------------------------|
| <b>Vinagre</b>        | R\$ 27,48                        | 12 vidros com 750 mL cada         | 9L            | R\$ 0,30 (100 mL)                 |
| <b>Lã de aço</b>      | R\$ 138,60                       | 140 pacotes com 8 lãs de aço cada | 1120 unidades | R\$ 0,12 (1 unidade)              |
| <b>Amônia</b>         | R\$ 9,40                         | 1L                                | 1L            | R\$0 ,94 (100 mL)                 |
| <b>Água oxigenada</b> | R\$ 5,60                         | 1L                                | 1L            | R\$ 0,56 (100 mL)                 |

Fonte: organizado pelos autores (2020), a partir dos dados coletados em pesquisa

**Tabela 4 - Análise de custos totais.**

| <b>PRODUTO</b>   | <b>PREÇO UNITÁRIO</b> | <b>DENSIDADE</b> | <b>VOLUME</b> | <b>TOTAL</b> |
|------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Vinagre</b>   | R\$ 0,30 (100 mL)     | 1,0 $g/cm^3$     | 55 mL         | R\$ 0,16     |
| <b>Lã de aço</b> | R\$ 0,12 (1 unidade)  | -                | -             | R\$ 0,12     |





|                       |                   |                        |          |          |
|-----------------------|-------------------|------------------------|----------|----------|
| <b>Amônia</b>         | R\$ 0,94 (100 mL) | 0,88 g/cm <sup>3</sup> | 154,5 mL | R\$ 1,45 |
| <b>Água oxigenada</b> | R\$ 0,56 (100 mL) | 1,45 g/cm <sup>3</sup> | 77 mL    | R\$ 0,43 |
| <b>Magnetita</b>      | -                 | 5,2 g/cm <sup>3</sup>  | 44 mL    | -        |
| <b>Água</b>           | -                 | 1,0 g/cm <sup>3</sup>  | 72 mL    | -        |

Fonte: organizado pelos autores (2020), a partir dos dados coletados em pesquisa

### 5.6 Por meio da comparação com outras técnicas

Foi feita uma revisão bibliográfica, a partir dos autores CRAIG (2012) e PIEDADE (2018) e a organização BIOGREEN sobre as técnicas já existentes no mundo para a retirada de petróleo dos ambientes aquáticos. As principais foram listadas na tabela 3 a seguir e classificadas quanto ao método utilizado, físico ou químico, e caracterizadas em pontos positivos e negativos.

Tabela 5 - Análise comparativa de técnicas.

| Nome da técnica       | Método |         | Pontos  |  |
|-----------------------|--------|---------|---|--|
|                       | Físico | Químico | Positivos   | Negativos  |
| Skimmers              | x      |         | Retira parte do petróleo em alto mar.             | Depende das condições meteorológicas; necessita de profundidade mínima para funcionar. |
| Dispersantes químicos |        | x       | Aceleram o processo de dispersão natural do óleo. | Não é eficaz em óleos envelhecidos; O óleo permanece intoxicando o meio                |



|                 |   |   |  |   |
|-----------------|---|---|--|---|
|                 |   |   |  | por um tempo.   |
| Queima in--situ |   | x | É uma forma rápida de retirar o petróleo do alto mar.  | Pode afundar a mancha, dificultando ainda mais a retirada e prejudicando as espécies do fundo;<br>Necessita passar por uma série de critérios devido aos muitos riscos ao meio aquático e as pessoas. |
| Absorventes     | x |   | As "almofadas" podem ser reaproveitadas.   | Funcionam satisfatoriamente apenas em combustíveis e óleos lubrificantes.   |
| Remoção manual  | x |   | É um método mais trabalhoso e demorado, mas não causa nenhum dano adicional ao meio; bastante eficaz em praias e costões rochosos. | Requer grande quantidade de mão de obra especializada; muitas vezes é feito sem o uso correto dos EPIs pela população local acarretando problemas de saúde a população.                               |
| Biorremediação  |   | x | É uma técnica natural, por isso, não causa mais danos ao meio.   | Eficiência variável; depende das condições  |



|                         |          |          |   |  |
|-------------------------|----------|----------|---|--|
|                         |          |          |   | do oceano e meteorológicas.  |
| <b>Técnica proposta</b> | <b>x</b> | <b>x</b> | <b>Utiliza materiais baratos; associa os métodos químicos e físicos; as nanopartículas proporcionam a maior área de contato da magnetita com o petróleo, sendo assim, maior eficácia.</b> | <b>Ainda não se tem conhecimento se existem e quais são os impactos dessa técnica.</b> |

Fonte: organizado pelas autoras (2020), a partir dos dados coletados em pesquisas



## 6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram as vantagens da técnica proposta neste trabalho em relação às usadas tradicionalmente, apesar do estudo ainda não ter sido concluído. A combinação dos dois métodos, a nanotecnologia e o uso do magnetismo, pode contribuir para uma série de características positivas em relação ao processo de retirada de petróleo dos ambientes aquáticos.

A metodologia do presente estudo utiliza materiais baratos, facilmente produzidos em grande escala e até agora não se tem evidências de que essa técnica possa agredir o meio ambiente.

A análise comparativa com outras técnicas demonstrou que existem métodos eficientes para a retirada de petróleo dos ecossistemas aquáticos, no entanto, estes ainda apresentam falhas. Portanto, este trabalho pode ser tornar uma nova alternativa para resolver o problema. Acredita-se que a fusão da técnica proposta com os Skimmers, em especial os barcos recolhedores, ocasionará em uma limpeza mais efetiva dos mares, oceanos e mangues. Além do mais, pode ser mais rápida, diminuindo os impactos dos derramamentos.



## AGRADECIMENTOS

A elaboração do presente Relatório não seria possível sem o apoio de alguns intervenientes. Assim sendo, pretendemos agradecer a todos os que sempre nos apoiaram e contribuíram para a realização e concretização deste trabalho.

Deste modo, agradecemos:

Ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pois o presente trabalho é desmembramento do projeto financiado pela chamada CNPq/MEC/MCTIC/SEPED N° 27/2018.

À nossa mentora Sayonara Assis, por toda a sabedoria que nos transmitiu, toda a paciência, por todas as ideias e todos os conselhos. Agradecemos toda a dedicação e não somente por ter nos ensinado, mas por ter nos feito aprender.

À Professora Ma. Rosana Aparecida Ferreira Nunes, pela sua disponibilidade e compreensão, orientando e guiando o desenrolar de nosso trabalho, manifestando sempre as suas opiniões enriquecedoras para o crescimento deste trabalho.

À instituição ao qual fazemos parte, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbramos um horizonte superior.

À toda a equipe do Cientista Beta, principais responsáveis pelo impulso e realização deste projeto.

À Associação Mineira de Pesquisa e Iniciação Científica por toda ajuda e ensinamentos.

À Deus, nossas famílias e namorados, pois tudo isto foi possível graças ao esforço e dedicação que sempre tiveram.

A todos, muito obrigada!

## ANEXOS

### ANEXO 1 - Formulário submetido ao CRC-AMPIC.

|  |   |  |
|--|---|--|
| Associação Mineira de Pesquisa e Iniciação Científica  |   |  |
| <b>Comitê de Revisão Científica – CRC</b>  |   |  |
| Plataforma AMPIC de Iniciação Científica na Educação Básica                                    |   |  |
| <b>Revisão de Segurança e Ética - RSE</b>  |   |  |
| <b>Protocolo</b>   | 121116 ENG/001-2019   |  |
| <b>Validade</b>  | 27/07/2019 a 27/07/2021   |  |
| <b>Dados da pesquisa</b>   |   |  |
| <b>Título</b>  | Utilização de nanopartículas magnéticas na absorção de petróleo derramado   |  |
| <b>Área</b>  | Engenharias   |  |
| <b>Pesquisador responsável</b>   | Rosana Aparecida Ferreira Nunes   |  |
| <b>Instituição proponente</b>  | Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campus Timóteo  |  |
| <b>Objetivos da pesquisa</b>   |   |  |
| <b>Geral</b>   | Apresentar uma nova proposta para absorver óleos derramados em meio aquoso que seja mais viável e eficaz que as atuais.   |  |
| <b>Específicos</b>   | Obter uma amostra de petróleo;<br>Compreender os aspectos físico-químicos do petróleo;<br>Formar nanopartículas de magnetita;<br>Magnetizar o petróleo;<br>Padronizar as proporções de solução/petróleo.  |  |
| <b>Detalhamento da pesquisa</b>  |   |  |
| <b>Estudo envolvendo substâncias químicas com potenciais riscos à saúde e ao meio ambiente</b> | <i>Qual(is) substância(s), as quantidades e como será(ão) utilizada(s) na pesquisa:</i> Serão utilizadas nanopartículas magnéticas compostas de vinagre, lã de aço, água oxigenada e hidróxido de amônia em quantidades mistas. Será utilizada também uma amostra de petróleo.<br><i>Principais características físicas, químicas e biológicas conhecidas sobre essa(s) substância(s):</i> O vinagre, a amônia e a água oxigenada são líquidos, enquanto que a lã de aço é sólida. Hidróxido de amônia e peróxido de hidrogênio podem ser considerados nocivos em caso ingestão ou inalação exacerbada. |  |
| <b>Riscos</b>  | O hidróxido de amônia e a água oxigenada pode ser nocivo quando ingerido, inalado ou absorvido pela pele. Portanto, recomenda-se o uso de luvas e máscaras ao manusear tais   |  |

|            |   |
|------------|---|
|            | produtos.   |
| Benefícios | A pesquisa poderá ajudar na absorção de petróleo derramado em alto mar, pelo qual, afeta diretamente o meio ambiente e a população. |

| Detalhamento da pesquisa                                     |   |
|--|---|
| Instituição de pesquisa regulamentada ou indústria           | Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, campus Timóteo.   |
| Ações/procedimentos/uso de equipamentos que serão conduzidos | Os laboratórios e os equipamentos tais como: béquer, proveta, balança e microscópio serão utilizados sob orientação de uma técnica em química.                                  |
| Grupo de pesquisa  | O projeto não será parte de trabalho de grupo de pesquisa. Haverá duas alunas responsáveis pela pesquisa e experimentação, uma professora orientadora e uma técnica em química. |

| Materiais e Métodos da pesquisa          |  |
|--|--|
| Ambiente e equipamentos                  | Serão utilizados: béquer, aquário, provetas, imã de neodímio e borrifador. E o ambiente escolhido foram os laboratórios de química e edificações da instituição.   |
| Observação ou intervenção/experimentação | Delimitar o tema de pesquisa > Criar um Plano de Pesquisa > Adquirir materiais > Formar as nanopartículas > Realizar os testes > Analisar os dados > Registrar os dados em um relatório > fazer as mudanças necessárias. |
| Coleta de dados                          | A coleta de dados será a partir de diversas experimentações realizadas na instituição.   |
| Análise de dados                         | A análise dos dados levará em conta os riscos que o experimento poderá causar ao meio em que será inserido, buscando não causar nenhum tipo de impacto.  |

| Documentos anexos |         |
|-------------------|---------|
|                   | Não há. |

| Comentários e considerações sobre a pesquisa   |  |
|--|--|
| De acordo com as normas estabelecidas pela legislação brasileira, referentes aos aspectos éticos em pesquisa, no trabalho foi corretamente informada a utilização de substâncias químicas com potenciais riscos à saúde e ao meio ambiente, assim como a instituição de pesquisa regulamentada onde o trabalho será realizado. |  |

Para verificação das normas e indicações descritas acima, recomendamos as seguintes leituras:

- Manual operacional para comitês de ética em pesquisa – disponível em [http://conselho.saude.gov.br/biblioteca/livros/manual\\_operacional\\_miolo.pdf](http://conselho.saude.gov.br/biblioteca/livros/manual_operacional_miolo.pdf)
- Programa Nacional de Segurança Química – disponível em [https://www.mma.gov.br/estruturas/smcq\\_seguranca/arquivos/pronasq\\_ult\\_versao1\\_143.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_seguranca/arquivos/pronasq_ult_versao1_143.pdf)
- Anteprojeto de lei que dispõe sobre o cadastro, a avaliação e o controle de substâncias químicas industriais, disponível em <http://hotsite.mma.gov.br/consultasubstanciasquimicas/wp-content/uploads/sites/32/2018/11/Anteprojeto-de-Lei-FINAL-Aprovada-Reuni%C3%A3o-02-06.pdf>

#### Recomendações aos pesquisadores

- Fazer as melhorias na escrita do projeto e do documento em anexo que foram indicadas nas considerações.

#### Pendências ou lista de inadequações

- Não há pendências.

#### Considerações finais

RECOMENDADO.

A proposta está de acordo com as normas de segurança e ética em pesquisa.

Mateus Leme, 27 de julho de 2019.

*Fernanda Nobre Amaral Villani*

Dra. Fernanda Nobre Amaral Villani

Coordenadora do CRC-AMPIC

## ANEXO 2 - Feedbacks dos mentores parceiros

Bruno Pires Cabral [email: brunopirescabral@gmail.com] | 21/06/19 21:35:01

Boa noite, gostei do trabalho, principalmente a ideia de adaptar um vídeo para a área científica, trazer algo do comum para o laboratório foi uma ótima ideia. Acredito que esta no caminho certo. Gostaria de pontuar algumas sugestões para o trabalho de vocês.

1° concordo com o outro mentor, faltou a parte dos paramagnéticos e Diamagnéticos. Pelo menos a diferença.

2° Foto, quando fizerem a experiência, vão tirando fotos e alimentando o trabalho, as imagens vão ajudar no trabalho e nas próximas etapas.

3° eu acho que vocês podem experimentar também antes de colocar a palha de aço direto na solução de amônia, experimentar queimar a palha de aço, isso ajuda no efeito paradigmático. Assim terão suas ideias e ver qual a melhor.

4° o armazenamento da solução, se for armazenar como vocês farão para não depositar no fundo do borrifador? pensem na forma de agitar sem o uso do agitador magnético ou algo que contenha metal. (de um dia para o outro a solução pode precipitar e amadurecer o precipitado).



Leticia Gomes de Pontes [email: leticiapontesproteomica@gmail.com] | 22/06/19 17:54:53

Olá Ana Caroline e Júnia, confesso que fiquei muito feliz ao ver o tema "Utilização de nanopartículas magnéticas na absorção de petróleo derramado". O trabalho está bem delineado, é muito fácil de entender o objetivo de vocês e como vocês iram se organizar para chegar ao final do projeto. O tema escolhido é de extrema relevância. Parabéns! Tenho apenas algumas sugestões que jugo de grande importância para que tudo ocorra como o planejado: (algumas já citadas nos feedbacks a cima).

- 1) Especificar o material que irá adsorver o petróleo. Existe mais de uma opção acredito que delinear o caminho desde o inicio irá facilitar muito. Não deixe de verificar todas as opções e qual se adequa melhor ao seu projeto.
- 2) Quanto ao vídeo. Muito boa ideia mas não deixem de escrever um roteiro e acrescentarem no projeto.
- 3) Como agitar a solução de armazenamento sem um agitador magnético? Será necessário então gostaria de deixar uns vídeos como forma de inspiração: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_KMIBUTRTZ4](https://www.youtube.com/watch?v=_KMIBUTRTZ4)

Tenho certeza que após alguns ajustes o projeto ficará ainda melhor! Mãos a obra!

Estou muito empolgada com esse projeto audacioso. Muito sucesso para vocês.

Abraços

### ANEXO 3 - Participação em feiras.









## GLOSSÁRIO

**Diamagnético:** (adjetivo)

Diz-se dos corpos que, num campo magnético, adquirem imantação dirigida em sentido inverso.

**Leis de Coulomb:** lei da física que descreve a interação eletrostática entre partículas eletricamente carregadas.

**Magnetizar:** (verbo transitivo)

Comunicar as propriedades do ímã.

**Nanoestrutura:** são estruturas em na escala nanométrica ou na ordem de bilionésimo(s) de metro.

**Nanopartícula:** nanopartículas são partículas cujo tamanho situa-se entre 1 e 100 nanômetros (nm).

**Nanotecnologia:** (substantivo feminino)

Método que propicia a subdivisão ou a geração de corpos e partículas minúsculas. Tecnologia que opera em sistema nanométrico, dedicado ao desenvolvimento de circuitos elétricos, com extensões ou tamanhos equiparados aos átomos e moléculas.

**Neodímio:** (substantivo masculino)

Metal de símbolo Nd, do grupo de terras-raras, cujo número atômico é 60 e peso atômico 144,24.

**Oleoduto:** (substantivo masculino)

Canalização para o transporte, à distância, de gasolina, petróleo, óleo mineral, sólidos pulverizados etc.



**Paramagnético:** (adjetivo)

Diz-se de uma substância que é atraída do mesmo modo que o ferro, mas de forma muito mais fraca.

**Proporção estequiométrica:** cálculos de massa, de mol e de volume das substâncias de uma reação química, com base na proporção dada pelos coeficientes da equação.



## REFERÊNCIAS

ALBERS, A. P. F. et al . **Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X**. São Paulo , v. 48, n. 305, p. 34-37, Mar. 2002 . Disponível em:

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132002000100008&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132002000100008&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 10 Mai. 2020.

ALVES, Andreza Karla; ALVES, Bruna; MARTINS, Luiana. **O Petróleo e os impactos de seu derramamento no ecossistema de uma região**. 2012. 86 p. Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, [S.l.], 2013. Disponível em: <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/6719/4421>. Acesso em: 10 abr. 2020.

ALVES, Rosa de Belém das Neves et al. **Manual de curadores de Germoplasma - Vegetal: Caracterização Química de Metabólitos Secundários em Germoplasma Vegetal**. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília, DF, p. 12, 2010. Disponível em: [https://www.embrapa.br/documents/1355163/2005846/doc315.pdf/501dcbce-d5bb-4a10-ac91-67e786b4b9db#:~:text=A%20caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20qu%C3%ADmica%20pode%20ser%20utilizada%20para%20separar%20os%20acessos,esp%C3%A9cie%20\(VALLS%2C%202007\)](https://www.embrapa.br/documents/1355163/2005846/doc315.pdf/501dcbce-d5bb-4a10-ac91-67e786b4b9db#:~:text=A%20caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20qu%C3%ADmica%20pode%20ser%20utilizada%20para%20separar%20os%20acessos,esp%C3%A9cie%20(VALLS%2C%202007).). Acesso em: 12 maio 2020.

ATTA, Ayman M et al. **Functionalization of magnetite nanoparticles as oil spill collector**. International journal of molecular sciences vol. 16. 26 Mar. 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4424996/>. Acesso em: 15 mai. 2020.

BIOGREEN (org.). **Vazamentos de petróleo: Saiba como conter acidentes com derramamento de óleos**. Disponível em: <http://www.biosolvit.com/biogreen/blog-interna/vazamentos-de-petroleo-saiba-como-conter-acidentes-com-derramamento-de-oleos/4313/pt>. Acesso em: 21 fev. 2020.

CONDOMITTI, Ulisses. **Faça nanopartículas de magnetita em casa**. Youtube. 07 mai. 2014. 4min35s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=u6DLS2x7gaI&t=2s>. Acesso em: 14 mai. 2018.

CRAIG, Alexandre Patrick de Leão et al. **Técnica de limpeza de vazamentos de petróleo em alto mar**. 2012. 12 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Tiradentes, Aracaju, 2012. Cap. 1. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/download/207/127..> Acesso em: 20 fev. 2020.



DREXLER, K. E., **Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology**. Nova Iorque. Doubleday. 1986.

FEARNSIDE, Philip Martin. **O derramamento de petróleo no Nordeste: Um alerta para o Pré-Sal e para Amazônia**. 2019. Disponível em: [encurtador.com.br/cuPVZ](http://encurtador.com.br/cuPVZ). Acesso em: 27 abr. 2020.

FEYNMAN . R., **There's Plenty of Room at the Bottom**. Vol. 1, No. i. pp. 60-66 - 1959.

FRAGMAQ. **Conheça quais são os impactos ambientais causados pelo petróleo. 2015.** Disponível em: <https://www.agmaq.com.br/blog/conheca-sao-impactos-ambientais-causados-petroleo/>. Acesso em: 26 abr. 2020.

FRANCISQUINI, E. ; SCHOENMAKER, J. ; SOUZA, J. A.. **Nanopartículas Magnéticas e suas Aplicações**. In: Wendel Andrade Alves. (Org.). QUÍMICA SUPRAMOLECULAR E NANOTECNOLOGIA. 1ed.São Paulo: Atheneu, 2014, v. 10, p. 269-288. Disponível em: <<http://professor.ufabc.edu.br/~joseantonio.souza/wp-content/uploads/2015/05/Cap%C3%ADulo-14-Nanopart%C3%ADculas-Magn%C3%A9ticas-e-suas-Aplica%C3%A7%C3%B5es.pdf>> Acesso em 28 abr. 2020.

IFUSP. **Nanopartículas de magnetita no tratamento do câncer**. 2017. Disponível em: <https://portal.if.usp.br/imprensa/pt-br/node/1798>. Acesso em: 30 mai. 2020.

JESUS, A. C. B.; **Síntese e Caracterização de Nanoestruturas Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> e Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@Ag para Estudos com Hipertermia Magnética**. Universidade Federal de Sergipe - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Física (PPGFI). São Cristóvão. 2018. 75 p. Disponível em: [https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/8037/2/ANA\\_CARLA\\_BATISTA\\_JESUS.pdf](https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/8037/2/ANA_CARLA_BATISTA_JESUS.pdf). Acesso em: 24 mar. 2020.

MELO, C. P.; PIMENTA, M. **Nanociências e nanotecnologia**. Parcerias estratégicas. Vol. 9. N° 18. 2004. Disponível em [http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/viewFile/130/124](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/130/124). Acesso em: 28 abr. 2020.

PIEIDADE, N. R.; ALMEIDA, T.; ÉSPER, F. J. **Barreiras de contenção: contenção de derramamento de óleo em cenário offshore**. - Centro Universitário Estácio São Paulo, São Paulo, p. 1-8. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1zudGxjWu-lhmE4-QxAqZyGBq4hpu4477/view?usp=drivesdk>. Acesso em: 24 fev. 2020.



PIMENTEL, Jaqueline et al. **Formação Do Petróleo: Processo De Decomposição De Matérias Orgânicas.** n. 2. 2010. Disponível em: <http://www.revista.universo.edu.br/index.php?journal=1reta2&page=article&op=viewArticle&path%5B%5D=444>. Acesso em: 20 abr. 2020.

PORTER, A.L., YOUTIE, J., SHAPIRA, P.. **Refining search terms for nanotechnology.** J Nanopart Res 10, 715–728 (2008). Available at: <https://doi.org/10.1007/s11051-007-9266-y>. Accessed 28 Apr. 2020

SAJADI, Mohammad S., et al. “Chapter 1 - An Introduction to Nanotechnology.” An **Introduction to Green Nanotechnology**, by Mahmoud Nasrollahzadeh, vol. 28, Academic Press, 2019, pp. 1–27. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128135860000018>. Acesso em: 29 abr. 2020.

SANTOS, Naama Figueiredo dos. **Estudos dos impactos ambientais causados pela exploração, exploração e refino do petróleo.** 2013. 1-63 p. Monografia (Graduação em Ciência e tecnologia) - UFERSA, Angicos, 2013. Disponível em: <http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/232/TCC%20Naama%20Figueiredo%20FINALIZADO.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2019.

SILVA, Delmárcio Gomes Da. **Desenvolvimento, Síntese e Caracterização de Nanopartículas Magnéticas Hidrofílicas e Lipofílicas para Aplicação em Nanotecnologia do Petróleo.** Orientador: Prof. Dr. Henrique Eisi Toma. 2014. 249 p. Tese (Doutorado em ciências (química) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/46/46136/tde-02102014-085431/publico/TeseCorrigidaDelmarcioGomesSilva.pdf> Acesso em: 21 abr. 2020.

SILVA, Mariela Alves. **Processamento e Caracterização de Magnetita Sintética.** 2017. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Cefet-mg, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1DWUYrp9gFv2-oMXepSqtlekibE2IUwk1/view?ts=5e7cd826>

SOSMA, **Plano Nacional contra vazamentos de petróleo não garante segurança da costa.** Fundação SOS Pró-Mata Atlântica. São Paulo. 2013. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/noticias/plano-nacional-contra-vazamentos-de-petroleo-nao-garante-seguranca-da-costa/>. Acesso em: 27 abr. 2020.

SOUSA, Luís G. R.; MIRANDA, Antonio C.; MEDEIROS, Herika B.. **Impacto ambiental e Socioeconômico Do Derramamento De Óleo Na Baía De Guanabara.** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, [S.l.], v. 9, n. 2, nov. 2013. ISSN 1980-0827. Disponível em: [http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/633](http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/633). Acesso em: 14 abr. 2020.





TOMA, Henrique Eisi; SILVA, Delmárcio Gomes Da. **Nanotecnologia para todos - Cartilha Educativa para Divulgação e Ensino da Nanotecnologia.** São Paulo. 1<sup>o</sup> edição. 2018. Disponível em: <https://www.ensinano.com.br/baixar-cartilha/>. Acesso em: 21 abr. 2020.