



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Cristiane Lopes Lionello

**Resíduos oleosos da indústria de óleo e gás:  
uma revisão dos tratamentos térmicos por micro-ondas**

Rio de Janeiro

2018

Cristiane Lopes Lionello

**Resíduos oleosos da indústria de óleo e gás: uma revisão dos tratamentos  
térmicos por micro-ondas**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos

Rio de Janeiro

2018

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

L763 Lionello, Cristiane Lopes.  
Resíduos oleosos da indústria de óleo e gás: uma revisão dos tratamentos térmicos por micro-ondas / Cristiane Lopes Lionello. – 2018. 92f.

Orientador: Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Resíduos industriais - Aspectos ambientais - Teses. 3. Indústria petrolífera - Teses. 4. Gás - Indústria - Teses. I. Mattos, Ubirajara Aluizio de Oliveira. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. III. Título.

CDU 628.54

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Cristiane Lopes Lionello

**Resíduos oleosos da indústria de óleo e gás: uma revisão dos tratamentos  
térmicos por micro-ondas**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovado em 13 de agosto de 2018.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos (Orientador)  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof. Dr. Marco Antonio Gaya de Figueiredo  
Instituto de Química – UERJ

---

Dr. Luiz Carlos De Martini Júnior  
De Martini Ambiental

Rio de Janeiro

2018

## DEDICATÓRIA

Aos meus sobrinhos Karlos Eduardo, Raley e Antonella é na busca de um mundo melhor que eu continuo e continuarei aprimorando o meu conhecimento.

## AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado força e determinação para seguir até o final. Foi difícil, porém recompensador.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos, pela competência, dedicação, paciência e amizade, que tornou possível a conclusão desse trabalho.

Aos meus familiares, em especial a minha mãe, Maria José, que sem a sua força eu não estaria realizando mais um sonho.

Ao meu pai, que não está mais entre nós, porém certamente estaria orgulhoso.

Ao meu irmão, Carlos Roberto, pois mesmo com as diferenças e a distância estaremos sempre juntos.

À minha tia, Geni Lúcia, que sempre me motivou em aperfeiçoar o meu conhecimento. Também não poderia esquecer da minha querida sogra, Vera Cristina, que torce sempre pelo meu sucesso.

Aos que não foram mencionados tenham certeza que estão no meu coração e nos meus pensamentos.

Ao meu companheiro, Eduardo, pela paciência, compreensão e apoio.

Aos amigos da vida, do trabalho e da pós-graduação, que de alguma forma me deram uma palavra de incentivo e compreenderam as minhas ausências.

Aos Professores da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, pelas valiosas aulas, que contribuíram para o meu aprimoramento profissional e pessoal.

À Alliance Ambiental, pela oportunidade em poder conciliar as atividades profissionais e acadêmicas.

## RESUMO

LIONELLO, C. L. **Resíduos oleosos da indústria de óleo e gás**: uma revisão dos tratamentos térmicos por micro-ondas. 2018. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

A indústria de exploração de óleo e gás natural possui um potencial poluidor elevado, não só pela atividade como também pelos resíduos gerados direta ou indiretamente das atividades. A gestão correta desses resíduos se faz necessária. Dentre os resíduos gerados por essa indústria, os contaminados com óleo são os mais volumosos e significativos, pois se mal gerenciados podem causar danos ao meio ambiente e a saúde dos seres vivos. Portanto, o tratamento desses resíduos é imprescindível. O tratamento por micro-ondas vem se destacando como uma boa opção, pois além de retirar os contaminantes dos resíduos como, por exemplo, os hidrocarbonetos, eles podem ser recuperados e inseridos novamente no processo industrial como combustível ou matéria-prima para a fabricação de produtos. O objetivo geral desse trabalho foi de levantar o percentual de óleo extraído dos resíduos sólidos contaminados com óleo, provenientes da indústria de óleo e gás, quando tratados pela tecnologia de micro-ondas. Foi utilizado o método da revisão sistemática (RS) e do *Snow ball* (bola de neve) para dissertar sobre os estudos realizados mundialmente acerca do tema. Foi extraída a informação do percentual de óleo recuperado em todos os estudos selecionados. No total foram encontrados 294 artigos científicos, que foram analisados conforme os critérios pré-definidos no protocolo da RS, restando 30 artigos, que compuseram o referencial teórico do estudo. Os percentuais de óleo quando extraído dos resíduos é muito variável e normalmente é influenciado pelas legislações ambientais locais, uma vez que percentuais menores proporcionam um maior custo com o fornecimento de energia e tempo. Pode-se concluir que a tecnologia de micro-ondas pode ser uma boa opção para o tratamento de resíduos contaminados com hidrocarbonetos que necessitem de percentuais de remoção de óleo elevados e que as substâncias recuperadas possuem um valor agregado elevado.

Palavras chaves: Micro-ondas; Cascalho; Fluido de perfuração; Borra oleosa; Resíduo contaminado; Resíduos de perfuração.

## ABSTRACT

LIONELLO, C. L. **Oily waste from the oil and gas industry**: a review of the microwave thermal treatment. 2018. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

The oil and natural gas exploration industry has a high polluting potential and is therefore not responsible for the maintenance of energy generated directly or indirectly from the activities. The management of this immobilization is necessary. The waste generated by this industry, those contaminated with oil are the most voluminous and significant because viruses can be harmed by the environment and the health of living things. Therefore, waste treatment is essential. The treatment by microwave has stood out as a good option, because in addition to allowing the contamination of residues such as hydrocarbons, they can be recovered and inserted again in the industrial process as pumping material and products. The objective of this work was to survey the percentage of oil extracted from oil contaminated solids from the oil and gas industry when treated by microwave technology. The strategy of systematic review (SR) and Snow ball (Snow ball) to discuss the processes of clarification on the theme. A retrieved production database was extracted from all selected studies. In total, there were 294 scientific articles, which were analyzed according to the RS protocols, remaining 30 articles, which composed the theoretical reference of the study. Oil percentages when extracted from power loss lots are usually influenced by local laws, as interest percentages provide a higher cost of power supply and time. You can make a microwave technology that need a good choice for the treatment of wastes contaminated with hydrocarbons that require percentages of oil removal and which, like recovered substances, have high added value.

Keywords: Microwave; Drill cuttings; Drilling fluid; Oil sludge; Hazardous waste; Drilling waste.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Proporção das reservas provadas e da produção de petróleo em terra, por região do Brasil .....	15
Figura 2 - Proporção das reservas provadas e da produção de gás natural em terra, por região do Brasil .....	16
Figura 3 - Localização dos reservatórios de petróleo e gás natural do pré-sal .....	17
Figura 4 - Localização dos reservatórios de petróleo e gás natural denominados como <i>offshore</i> convencional.....	18
Figura 5 – Hierarquia na gestão de resíduos .....	29
Figura 6 - Distribuição nacional das unidades de blendagem para fins de coprocessamento de resíduos .....	33
Figura 7 - Distribuição nacional das cimenteiras licenciadas para o coprocessamento de resíduos.....	33
Figura 8 - Exemplo ilustrativo de resíduos contaminados com óleo e/ou produtos químicos .....	39
Figura 9 – Exemplo de borra oleosa .....	40
Figura 10 – Exemplo de fluido de perfuração.....	41
Figura 11 – Exemplo de cascalho proveniente da perfuração de poços de petróleo e gás natural.....	41
Figura 12 – Passo a passo da metodologia implementada.....	46

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual das classes de resíduos gerados em relação ao total, segundo Classificação ABNT.....	27
Gráfico 2 - Composição percentual dos resíduos Classe I gerados em 2009.....	28
Gráfico 3 – Número de artigos por país de origem do estudo.....	52
Gráfico 4 – Distribuição da quantidade de artigos do RS por ano de publicação.....	54
Gráfico 5 - Número total de estudos por tipologia de resíduo .....	56
Gráfico 6 - Número total de estudos por ano da publicação e tipologia de resíduo estudada .....	59
Gráfico 7 - Palavras-chaves mencionadas no referencial teórico.....	60
Gráfico 8 - Distribuição da quantidade de artigos brasileiros da RS por ano de publicação .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição dos artigos encontrados por descritores.....	49
Tabela 2 – Matriz comparativa com dados extraídos dos estudos selecionados na Revisão Sistemática e no <i>Snow Ball</i> .....	65
Tabela 3 – Relação de artigos.....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABETRE	Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
Bbl	Barril.
BVS	Biblioteca Virtual de Saúde.
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.
CGPEG	Coordenação Geral de Petróleo e Gás.
CNPq	Conselho Nacional de Pesquisa.
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono.
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
DILIC	Divisão de Licenciamento.
EPI	Equipamentos de Proteção Individual.
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais.
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
IBP	Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis.
MARPOL	<i>Marine Pollution.</i>
MMboe	<i>Million Barrels of Oil Equivalent.</i>
NT	Nota Técnica.
PCP	Projeto de Controle de Poluição.
POP	Poluentes Orgânicos Persistentes.
RS	Revisão Sistemática.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

UFU	Universidade Federal de Uberlândia.
UMPCR	Unidades de Mistura e Pré-condicionamento de Resíduos.

## SUMÁRIO

Introdução .....	14
A Indústria Petrolífera no Brasil – panorama e a necessidade de uma gestão adequada dos resíduos.....	14
Relevância.....	20
Objetivos .....	21
Geral .....	21
Específicos .....	21
1 METODOLOGIA.....	23
1.1 Revisão sistemática (RS).....	23
1.2 Estrutura.....	25
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	26
2.1 Gestão dos resíduos pelo setor de óleo e gás .....	26
2.2 Resíduos sólidos, contaminados com óleo, gerados pela indústria petrolífera e o seu tratamento com micro-ondas .....	38
2.3 Tratamento por micro-ondas dos resíduos contaminados com óleo da indústria <i>offshore</i> de petróleo e gás natural.....	42
3 ADEQUAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS AO ESTUDO .....	45
3.1 Procedimentos metodológicos do estudo.....	45
3.2 Adequação dos procedimentos ao estudo .....	47
3.2.1 Fase 1 - Perguntas da pesquisa.....	47
3.2.1.1 Pergunta a ser respondida e tema do estudo.....	47
3.2.1.2 Descritores e suas combinações.....	47
3.2.1.3 Base de dados e período de tempo .....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52

## SUMÁRIO

4.1 tratamento por micro-ondas de resíduos oleosos da indústria <i>offshore</i> de óleo e gás .....	52
CONCLUSÃO.....	72
Referências .....	74
APÊNDICE A – Relação dos artigos avaliados e descartados na Fase 1 da metodologia proposta.....	82

## INTRODUÇÃO

### **A Indústria Petrolífera no Brasil – panorama e a necessidade de uma gestão adequada dos resíduos**

O petróleo era conhecido na antiguidade como óleo de pedra ou óleo de rocha devido aos seus afloramentos frequentes no Oriente Médio. Na época, a sua aplicação era diversa, desde uso medicinais, construções de casas, muros e estradas. Ele foi comumente usado nas guerras como produto inflamável (MORAIS, J.M. 2013).

No século XIX, com o advento do motor à combustão, o uso petróleo se torna mais expressivo como combustível. Além disso, a indústria da época requiritava melhores lubrificantes em substituição às gorduras animais e aos lubrificantes provenientes do carvão (MORAIS, J.M. 2013). Devido à grande aplicabilidade e ao mercado consumidor, a procura por petróleo se intensificou ao redor do mundo.

No início do século XX o Brasil possuía pouco interesse em explorar o petróleo. Tal fato pode ser explicado pelo baixo custo de importação dos combustíveis e a pouca quantidade consumida no país. Até o final da Primeira Guerra Mundial (1918) os investimentos em perfuração de poços eram basicamente de empresas particulares. Contudo, com o passar dos anos, o governo optou por investir nesse seguimento, visto que o país era altamente dependente do mercado internacional (MORAIS, J.M. 2013).

Inicialmente o governo preferiu fazer parcerias com empresas americanas, que detinham o conhecimento na área de exploração e prospecção, pois o Brasil carecia de empresas nacionais especializadas e profissionais qualificados.

De acordo com Perissé *et al.* (2007), após o término da Segunda Guerra Mundial (1945), as demandas por derivados de petróleo no país aumentaram significativamente e, somadas ao crescimento das ideias nacionalistas, a Petrobras foi criada pelo Decreto nº 35.308 de 2 de abril de 1954. Até os dias atuais a Petrobras continua sendo a principal petroleira nacional, contudo há outras empresas internacionais que atuam em território brasileiro como: Total, Shell, BP, Equinor entre outras.



No final da década de 1950 já se tinha conhecimento de que o Brasil possuía reservas de petróleo em alto mar (*offshore*), porém ainda não se sabia com precisão as localidades; logo as atividades de exploração de petróleo e gás eram concentradas no poços em terra (*onshore*). Em 1968 houve as descobertas dos campos *offshore* de Guaricema (SE) e Garoupa (RJ) e em 1969 ocorreu a descoberta dos campos de São Mateus (ES) e Ubarana (ES) (NETO, J.B.O; COSTA, A.J.D. 2007).

A partir de então o Brasil passou a ter dois ambientes para a exploração de petróleo e gás natural: *onshore* (em terra) e *offshore* (em alto mar). A parte *onshore* possui bacias maduras já em produção e bacias exploratórias (reservas a serem exploradas), conforme indicado na Figura 1 e Figura 2.

Figura 1 - Proporção das reservas provadas e da produção de petróleo em terra, por região do Brasil



Fonte: FIRJAN 2017.

Figura 2 - Proporção das reservas provadas e da produção de gás natural em terra, por região do Brasil



Fonte: FIRJAN 2017.

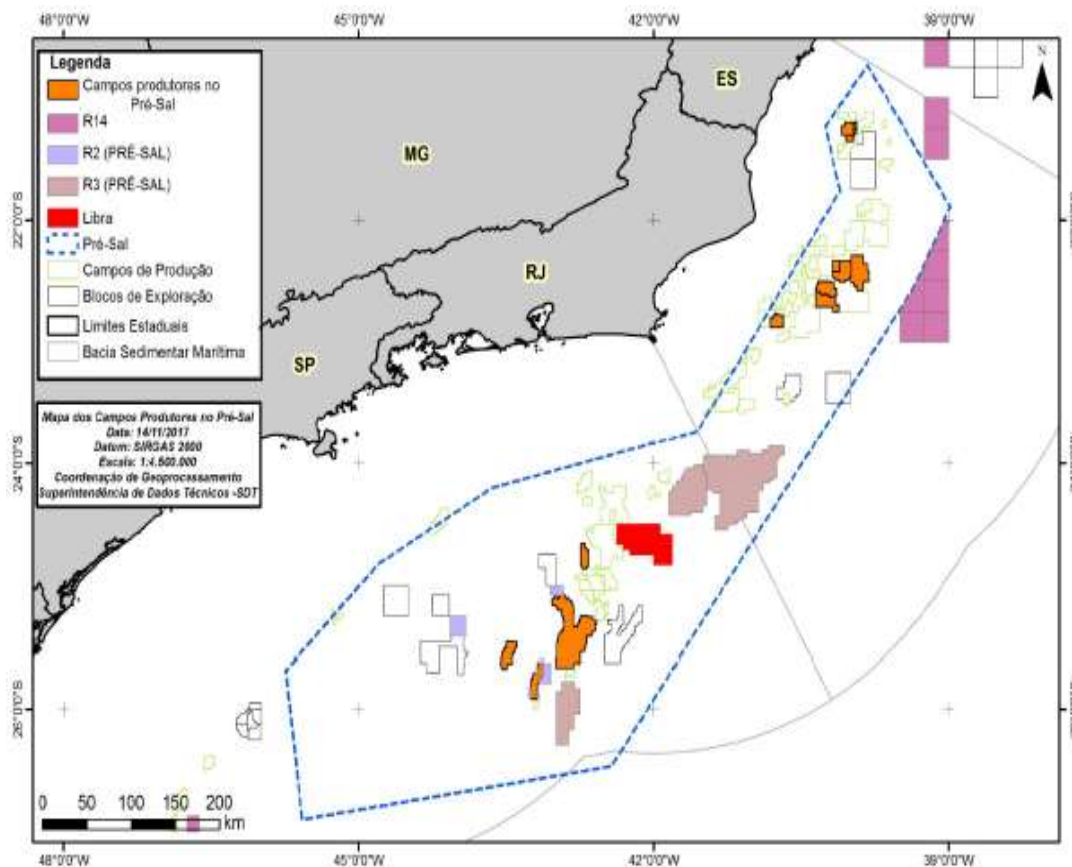
Ao observar as Figuras 1 e 2 nota-se que a produção e as reservas de petróleo em terra estão concentradas na região Nordeste, enquanto que a produção e as reservas de gás natural concentram-se no Norte do país. As regiões Central e Sul do Brasil não possuem reservas nem produção de petróleo e gás natural.

Segundo Oddone (2017) o ambiente *offshore* brasileiro pode ser dividido em pré-sal e convencional:

- **Pré-sal:** É um dos melhores blocos exploratórios do mundo, com as maiores descobertas *offshore* de óleo na última década. Com produção diária de 1.351 mil bbl/dia.
- **Offshore Convencional:** Compreende toda a margem Leste (além do pré-sal) e a margem equatorial. Com uma produção diária de 1.176 mil bbl/dia.

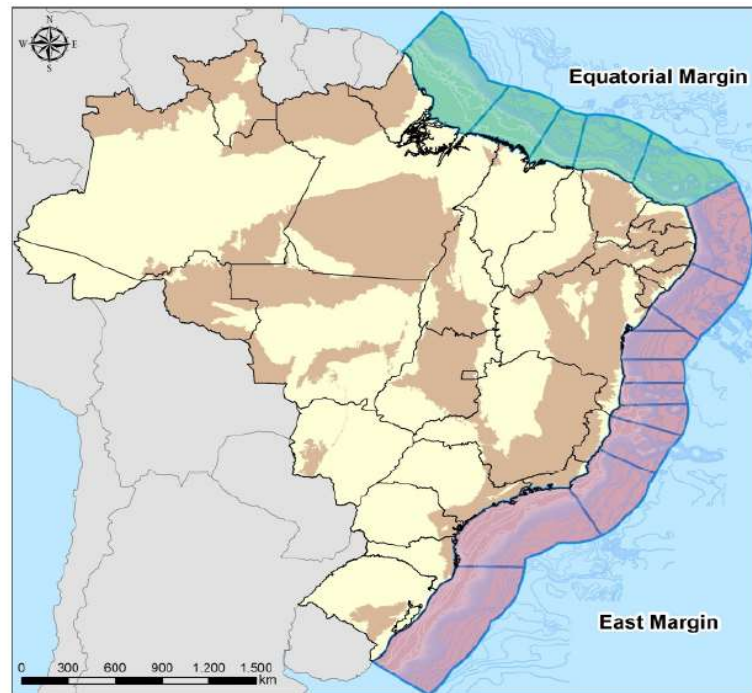
Nas Figuras 3 e 4 estão representadas as localizações dos ambientes *offshore*. Na Figura 3 a região do pré-sal está pontilhada em azul e, na Figura 4, as partes destacada nas cores rosa (*East Margin – Margem Leste*) e verde (*Equatorial Margin – Margem Equatorial*) compreendem a área do *offshore* convencional, que abrange toda a faixa costeira do país.

Figura 3 - Localização dos reservatórios de petróleo e gás natural do pré-sal



Fonte: ODDONE, D.O. 2017.

Figura 4 - Localização dos reservatórios de petróleo e gás natural denominados como *offshore* convencional



Fonte: ODDONE, D.O. 2017.

A exploração de petróleo e gás natural é uma atividade potencialmente poluidora. Sendo assim, tais empreendimentos necessitam de licenciamento ambiental prévio conforme instituído pela Política Nacional do Meio Ambiente, por meio da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

O licenciamento ambiental é um procedimento no qual o poder público, representado por órgãos ambientais, autoriza e acompanha a implantação e a operação de atividades que utilizam recursos naturais ou que sejam consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras. Sendo obrigação do empreender providenciar o licenciamento ambiental junto ao órgão competente (Municipal, Estadual ou Federal), desde as etapas iniciais de seu planejamento e instalação até a sua efetiva operação (FIRJAN 2004).

No âmbito federal, o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) é o órgão responsável pelo licenciamento de atividades desenvolvidas em mais de um Estado e daquelas cujos os impactos ambientais ultrapassem os limites territoriais. A Lei Federal 6.938/81 atribuiu aos Estados a competência de licenciar as atividades localizadas em seus limites regionais. Contudo, os órgãos estaduais, de acordo com a Resolução CONAMA

(Conselho Nacional do Meio Ambiente) 237/97, podem delegar esta competência aos municípios, em casos de atividades com impactos ambientais locais (FIRJAN 2004).

Por meio do Decreto nº 8.437 de 22 de abril de 2015 ficou estabelecido que compete exclusivamente à União o licenciamento das atividades relacionadas à avaliação, exploração e produção de petróleo e gás natural na zona de transição terra-mar (*offshore*). Desse modo, o IBAMA é o ente competente para licenciar atividades de exploração petrolífera na plataforma continental, a qual corresponde, atualmente, a mais de 95% do petróleo e gás produzido no Brasil (ODDONE, D.O. 2017). No que tange a exploração petrolífera e de gás natural em terra, a distribuição de competências depende do impacto do empreendimento e pode ser responsabilidade do município ou do Estado. Nos casos em que a produção de petróleo e gás natural necessite do emprego de recursos não convencionais, a responsabilidade do licenciamento é do IBAMA.

O licenciamento ambiental é a base estrutural do tratamento das questões ambientais pela empresa. O processo de licenciamento ambiental é constituído de três tipos de licenças, sendo cada uma exigida em uma etapa específica do licenciamento. Assim, temos: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO). A Licença Ambiental é um o documento emitido pelo órgão ambiental competente, com prazo de validade definido, que estabelece regras, condições, restrições e medidas de controle ambiental a serem seguidas pelo empreendimento. Entre as principais características avaliadas no processo podemos ressaltar: o potencial de geração de líquidos poluentes (despejos e efluentes), a geração e gerenciamento dos resíduos sólidos, as emissões atmosféricas, ruídos e o potencial de riscos de explosões e de incêndios. Ao receber a Licença Ambiental, o empreendedor assume os compromissos com a manutenção da qualidade ambiental do local em que o empreendimento está instalado (FIRJAN 2004).

Desta forma, o gerenciamento adequado dos resíduos nos empreendimentos é uma exigência legal, logo, o seu desconhecimento ou o seu não cumprimento pode acarretar na perda da outorga da licença e, conseqüentemente, paralisar as atividades, gerando prejuízo financeiro para o empreendedor.

Os resíduos gerados nas atividades de exploração de petróleo são inúmeros e vão desde resíduos não perigosos quanto resíduos perigosos. O presente trabalho teve o objetivo de estudar apenas os resíduos contaminados com óleo provenientes direta e indiretamente das atividades de exploração de petróleo e gás natural das

unidades marítimas de perfuração. Logo os resíduos provenientes das unidades terrestres não foram abordados.

Foram objetos do estudo os resíduos de borra oleosa, resíduo contaminado, cascalho e fluido de perfuração. Tais resíduos foram escolhidos, pois o presente estudo fez uma análise quanto ao tratamento dos mesmos via tecnologia de micro-ondas. Convencionalmente, no Brasil, os resíduos de borra e contaminado são tratados via coprocessamento, enquanto que os resíduos e fluido e cascalho de perfuração apresentam um desafio na tratabilidade devido à sua complexa composição.

O tratamento por micro-ondas surge como uma tecnologia promissora no tratamento de resíduos, pois possibilita a remoção de substâncias polares (ex.: água) e apolares (ex.: hidrocarbonetos) e, conseqüentemente, redução da periculosidade do resíduo, ou seja, após o tratamento o resíduo, que antes estava contaminado por óleo e em uma condição de classificação de periculosidade, tem a sua periculosidade minimizada pela remoção dos contaminantes. A tecnologia permite ainda a recuperação dos óleos, além de evitar a formação de emissões atmosféricas tóxicas.

## **Relevância**

Como o tratamento por micro-ondas é uma tecnologia relativamente recente empregada no tratamento dos resíduos, foi importante fazer um apanhado geral dos resíduos gerados pela indústria de óleo e gás e passíveis de tratamento por essa tecnologia, elencar as vantagens, desvantagens e limitações da técnica. Além de abordar a perspectiva de ser um tratamento ambientalmente mais favorável para os seres vivos.

Saber os percentuais de remoção de hidrocarbonetos que podem ser alcançados, quando os resíduos oleosos são tratados pelas micro-ondas, é fundamental quanto ao aporte financeiro para o desenvolvimento e implementação da tecnologia, pois, caso o percentual de óleo seja elevado, a empresa pode reduzir o preço do tratamento para o gerador ou aumentar a sua rentabilidade. A economia de energia realizada a partir do processamento por micro-ondas, as melhorias na produtividade e a economia de tempo e espaço são, provavelmente, as melhores

bases para a seleção do tratamento por micro-ondas em relação aos processos convencionais.

## **Objetivos**

O presente trabalho abordou de que forma a indústria *offshore* de óleo e gás realiza o gerenciamento dos seus resíduos, elencou como prioritário a abordagem do tratamento dos resíduos contaminados com óleos (classe I), bem como as opções de tratamento convencionais e suas dificuldades. Visando o atendimento aos requisitos legais ou como opção aos tratamentos convencionais, abordou o tratamento dos resíduos elegidos via micro-ondas.

## **Geral**

Fazer uma levantamento bibliográfico dos percentuais de óleo extraído dos resíduos sólidos contaminados com óleo, provenientes da indústria de óleo e gás *offshore*, quando tratados pela tecnologia de micro-ondas.

## **Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Identificar os resíduos sólidos contaminados com óleo que são gerados na exploração de petróleo e gás natural pela indústria petrolífera no Brasil e elegíveis para o tratamento por micro-ondas.
- Fazer uma revisão sistemática da bibliografia disponível quanto ao percentual de óleo contido nos resíduos antes e após o tratamento por micro-ondas.

- Identificar as vantagens, desvantagens e limitações da tecnologia de micro-ondas no tratamento dos resíduos provenientes da indústria *offshore* de óleo e gás.
- Verificar as questões relacionadas à segurança ocupacional do uso das micro-ondas durante o tratamento dos resíduos elegíveis.



## 1 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa bibliográfica exploratória realizada por meio de uma revisão sistemática e do método de “bola de neve”.

### 1.1 Revisão sistemática (RS)

O presente trabalho fez uso da Revisão Sistemática (RS) para discorrer sobre a tecnologia de micro-ondas aplicada ao tratamento de resíduos contaminados com óleos provenientes da indústria *offshore* de óleo e gás. A RS é uma forma de localizar, avaliar e organizar as revisões. Ela é amplamente utilizada na área médica, mas está ganhando espaço em diversas áreas do conhecimento. A RS utiliza os estudos primários para criar uma narrativa descrevendo os principais métodos e resultados a cerca de um assunto, podendo indicar temas ainda não respondidos ou que necessitam de maiores informações (PETTICREW, M., 2001).

De acordo com Petticrew (2001) as principais vantagens da revisão sistemática são:

- Reduzir vieses, selecionar, incluir e avaliar estudos de forma qualitativa e quantitativa;
- Não precisar ser realizada por especialistas;
- Poder ser feita por qualquer pessoa que esteja pesquisando sobre um assunto;
- Poder ser reproduzida, independentemente do tempo e do local, pois apresenta critérios bem definidos.

As RS são desenhadas para serem metódicas, explícitas e passíveis de reprodução por qualquer pessoa em qualquer período de tempo de modo que outros pesquisadores possam repetir o procedimento (GALVÃO, T.F.; PEREIRA, M.G., 2014).

Uma revisão sistemática requer uma pergunta clara, a definição de uma estratégia de busca, o estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão dos artigos e, acima de tudo, uma análise criteriosa da qualidade da literatura selecionada.

O processo de desenvolvimento desse tipo de estudo de revisão inclui caracterizar cada estudo selecionado, avaliar a suas qualidades, identificar conceitos importantes e concluir sobre o que a literatura informa em relação a determinada intervenção, apontando ainda problemas e questões que necessitam de novos estudos (SAMPAIO, R.F.; MANCINI, M.C., 2007).

Os autores de revisões sistemáticas tendem a comunicar somente os resultados positivos dos estudos analisados, contudo é importante apresentar também os resultados negativos, pois tais aspectos só aumentaram o conhecimento a respeito da eficácia e da limitação das técnicas (LAW, M.C.; MACDERMID, J., 2008).

Os métodos para elaboração de revisões sistemáticas normalmente presumem em oito etapas, que são: (1) elaboração da pergunta de pesquisa; (2) busca na literatura; (3) seleção dos artigos; (4) extração dos dados; (5) avaliação da qualidade metodológica; (6) síntese dos dados; (7) avaliação da qualidade dos estudos; e (8) redação e publicação dos resultados (GALVÃO, T.F.; PEREIRA, M.G., 2014).

A RS também é uma importante ferramenta para se avaliar os estudos básicos que objetivam a avaliação econômica de um método, pois, dependendo dos resultados, pode-se justificar a necessidade de: desenvolvimento de um novo modelo de decisão de avaliação econômica; identificar a avaliação econômica mais relevante sobre uma determinada questão; avaliar os estudos mais relevantes e com a melhor qualidade. Caso a pergunta de pesquisa já não tenha sido respondida por outro estudo idêntico ou similar, há justificativa para o desenvolvimento de um novo modelo (SALOMON, F.C.R., 2013).

### 1.1.1 Método Bola de Neve (*Snow ball*)

O método Bola de Neve é uma forma de amostragem não probabilística que utiliza cadeias de referências e é normalmente utilizada em investigações socioculturais (VELASCO, H.; DE RADA, A.D., 1997). Ela é utilizada principalmente para fins exploratórios com o objetivo de melhorar a compreensão sobre um tema. A amostragem de bola de neve pode ser utilizada para a obtenção de uma amostra mais representativa em populações pequenas (VINUTO, J., 2016).

No presente estudo a metodologia de *Snow ball* foi adaptada tendo como população inicial os artigos selecionados via RS, que compuseram o referencial teórico. Em seguida, as referências bibliográficas desses estudos foram analisadas com o objetivo de verificar se havia artigos que não foram encontrados pela metodologia da RS, mas que poderiam ser de extremo interesse ao presente trabalho.

## **1.2 Estrutura**

O estudo foi dividido de 6 partes. Na introdução foi apresentado um panorama sobre a indústria petrolífera brasileira, a relevância do estudo e os objetivos do trabalho. Na sequência o Capítulo 1 tratou de descrever a metodologia empregada na pesquisa. O Capítulo 2 listou os tipos de resíduos oleosos gerados pela indústria *offshore* de óleo e gás natural e apresentou a descrição sobre as tecnologias de coprocessamento e micro-ondas para o tratamento dos resíduos provenientes desse segmento. A adequação dos procedimentos metodológicos ao estudo foi detalhada no Capítulo 3, seguido da discussão dos resultados no Capítulo 4 e conclusões.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Gestão dos resíduos pelo setor de óleo e gás

#### 2.1.1 Resíduos gerados pelo setor óleo e gás nas operações offshore

Os resíduos gerados nas atividades de exploração de petróleo são inúmeros e vão desde resíduos não perigosos quanto resíduos perigosos. Eles podem ser classificados como sendo provenientes direta ou indiretamente das atividades de exploração dos poços de petróleo e gás natural. Alguns dos resíduos gerados indiretamente por essa atividade são: lâmpadas, borras oleosas, água oleosa, resíduo contaminado, tambor contaminado, papel, plástico, lixo comum, óleo vegetal usado entre outros. Exemplos de resíduos provenientes diretamente da exploração de poços de petróleo e gás natural são: pasta cimento, água de lavagem, cascalho e fluido de perfuração entre outros.

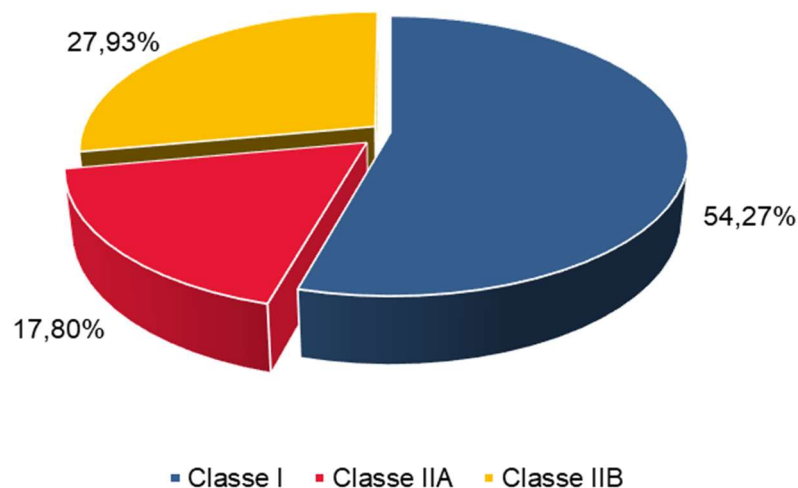
Na Nota Técnica 07 do IBAMA (2011) são descritos 21 tipos de resíduos gerados indiretamente pelas unidades marítimas, a saber:

1. Resíduos oleosos
2. Resíduos contaminados
3. Tambor / Bombona contaminado
4. Lâmpada fluorescente
5. Pilha e bateria
6. Resíduo infectocontagioso
7. Cartucho de impressão
8. Lodo residual do esgoto tratado
9. Resíduo alimentar desembarcado
10. Madeira não contaminada
11. Vidro não contaminado
12. Plástico não contaminado
13. Papel/papelão não contaminado

14. Metal não contaminado
15. Tambor / Bombona não contaminado
16. Lata de alumínio
17. Resíduos não passíveis de reciclagem
18. Borracha não contaminada
19. Produtos Químicos
20. Óleo de cozinha
21. Resíduos de plástico e borracha

De acordo com os dados da Nota Técnica CGPEG (Coordenação Geral de Petróleo e Gás)/DILIC (Divisão de Licenciamento) n° 07 (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2011), as atividades indiretas de exploração e produção de petróleo e gás natural *offshore* geraram 54,3% de resíduos Classe I (resíduos perigosos), 27,9% de resíduos Classe IIA (resíduos não perigoso não inerte) e 17,8% de resíduos Classe IIB (resíduos não perigosos inerte), conforme apresentado no Gráfico 1.

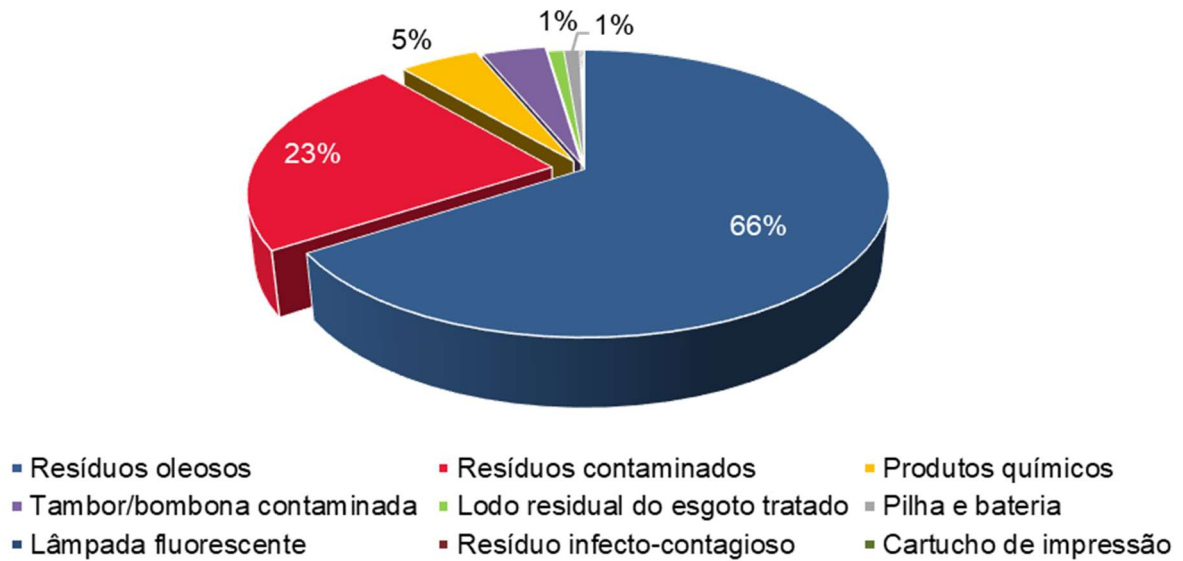
Gráfico 1 - Percentual das classes de resíduos gerados em relação ao total, segundo Classificação ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)



Fonte: Adaptado de IBAMA, 2011.

A composição total dos resíduos Classe I, apresentada no Gráfico 2, é formada principalmente por resíduos oleosos (66%) e resíduos contaminados (23%).

Gráfico 2 - Composição percentual dos resíduos Classe I gerados em 2009



Fonte: Adaptado de IBAMA, 2011.

Os resíduos oleosos podem ser subdivididos em água oleosa, óleo usado e borra oleosa. Água oleosa é todo o efluente líquido contaminado com baixo percentual de óleo. Óleo usado é um lubrificante que já foi usado e necessita de descarte. A borra oleosa consiste em um resíduo denso e com alta concentração de hidrocarboneto, geralmente apresentada no estado físico semissólido. Segundo dados na Nota Técnica CGPEG/DILIC nº 07 (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2011), o volume de borra oleosa compreende cerca da 14% do volume total de resíduos oleosos. Já os resíduos contaminados são caracterizados por um miscelânea de materiais como: trapos, tecidos, estopas, EPI (Equipamento de Proteção Individual), filtros de óleo e outros resíduos contaminados com óleos, resinas, tintas, solventes e outros produtos químicos.

Os resíduos gerados diretamente pelo processo de perfuração de poços de petróleo e gás natural *offshore*, e que necessitam de gerenciamento, estão especificados na Instrução Normativa nº 1 (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2018) e compreendem: fluidos, cascalhos e pasta de cimento. A referida Instrução Normativa regulamenta as condições de uso e descarte desses resíduos nas atividades de perfuração marítima e estabelece também o Projeto de Monitoramento de Fluidos e Cascalhos. O prazo

de vigor da legislação era de 30 dias após a sua publicação, ou seja, 02 de fevereiro de 2018. No entanto, a Instrução Normativa nº 16 do IBAMA (2018), prorrogou o prazo da implementação para 30 de setembro de 2019 visto que as empresas ainda precisam se adequar aos novos requisitos impostos.

Independentemente da origem do resíduo a hierarquia na geração e no tratamento do resíduo deve ser obedecida, conforme estipulado na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Tal hierarquia está representada na Figura 5.

Figura 5 – Hierarquia na gestão de resíduos



Fonte: A autora, 2018.

Caso a geração do resíduo seja inevitável, o mesmo deve ser desembarcado para ser tratado ou disposto em terra por empresas especializadas.

De maneira geral os resíduos são gerados e estocados nas unidades. Posteriormente são transportados por embarcações de apoio, que fazem o traslado até o porto. Em seguida, são armazenados temporariamente no terminal marítimo, para que as empresas gerenciadoras possam coletar os resíduos e realizar os seus transportes até as empresas licenciadas para o tratamento e/ou disposição final (DE SOUZA, C.O., 2010).

É responsabilidade do empreendedor controlar as informações quanto ao gerenciamento e descarte dos resíduos provenientes das unidades marítimas e

reportá-las periodicamente ao IBAMA. Desta forma, o Projeto de Controle de Poluição (PCP) foi implementado por meio da Nota Técnica CGPEG/DILIC nº 01 (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2011), que concebe as diretrizes para apresentação, implementação e para elaboração de relatórios dos empreendimentos marítimos de exploração de petróleo e gás. O PCP é uma medida mitigadora exigida como condicionante do licenciamento ambiental nos empreendimentos de perfuração. Ele objetiva minimizar a geração de efluentes, emissões e produção de resíduo e otimizar todo o seu ciclo de vida para que o impacto ambiental oriundo da atividade seja o menor possível.

Na Nota Técnica 01 (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2011) não é mencionado os resíduos provenientes diretamente das atividades de exploração de petróleo e gás natural como fluidos, cascalhos e pastas de cimento, pois o gerenciamento de tais resíduos está compreendido na Instrução Normativa nº 1 (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2018), conforme mencionado anteriormente.

O presente trabalho teve o objetivo de estudar apenas os resíduos contaminados com óleo provenientes direta e indiretamente das atividades de exploração de petróleo e gás natural das unidades marítimas de perfuração, logo, os resíduos provenientes das unidades terrestres não foram abordados. Os resíduos contaminados gerados pela indústria petrolífera *offshore* e contaminados com óleo são:

- Gerados indiretamente
  - Resíduos oleosos (água oleosa, óleo usado e borra oleosa);
  - Resíduos contaminados;
  - Tambor/bombona contaminado.
- Gerados Diretamente
  - Fluido de perfuração;
  - Cascalho de perfuração.

Os resíduos abaixo não serão alvo do estudo, pois eles são tratados por tecnologias ambientalmente aceitas, financeira viáveis e tecnicamente melhores do que o uso de micro-ondas.



- Resíduos oleosos
  - Água oleosa (tratamento usual: estação tratamento de efluentes);
  - Óleo usado (tratamento usual: rerrefino).
  
- Tambor/bombona contaminada (tratamento usual: recondicionamento).

Nesse trabalho foram identificados os resíduos sólidos contaminados com óleo, que são gerados pelas unidades marítimas de perfuração de petróleo e gás natural e que possuem como tratamento convencional o coprocessamento, a disposição final em aterro classe I ou ainda apresentam como desafio a sua tratabilidade. Esses resíduos compreendem: a borra oleosa, o resíduo contaminado, o fluido e o cascalho de perfuração. O trabalho também avaliou como a tecnologia de micro-ondas contribui para o tratamento de tais resíduos no Brasil e no mundo.

### 2.1.2 Coprocessamento de resíduos

Dos resíduos alvo desse estudo, apenas a borra oleosa e os resíduos contaminados são convencionalmente tratado pelo coprocessamento (PINTO, L.N., 2006). Normalmente, o cascalho e o fluido de perfuração são desembarcados e destinados em aterros industriais (DA SILVEIRA, W.M.V.; PAIVA, P.M.; CAMPOS, L.F.; JUNIOR, J.L., 2016). O tratamento desses resíduos via coprocessamento não é recomendada, pois eles apresentam elevado teor cloreto (sal). A incorporação de cloretos no clínquer é danosa, pois ele destrói a camada passiva das armaduras de aço em concreto armado (ROCHA, S.D.F.; LINS, V.F.C.; SANTO, B.C.E., 2011).

O coprocessamento consiste na mistura de resíduos como matéria-prima ou combustível alternativo para produzir o clínquer, que é a base do cimento, a fim de minimizar os custos operacionais de fabricação do cimento (MILANEZ, B.; FERNANDES, L.O.; PORTO, M.F.S., 2009). Para que os resíduos possam ser introduzidos no forno eles precisam ser triturados (quando sólidos) e homogêneos de forma a adquirir algumas propriedades (principalmente do ponto de vista de teor calorífero) semelhantes aos combustíveis normalmente usados. Essa composição de resíduos, chamada genericamente de *blend*, é então misturada à matéria-prima ou

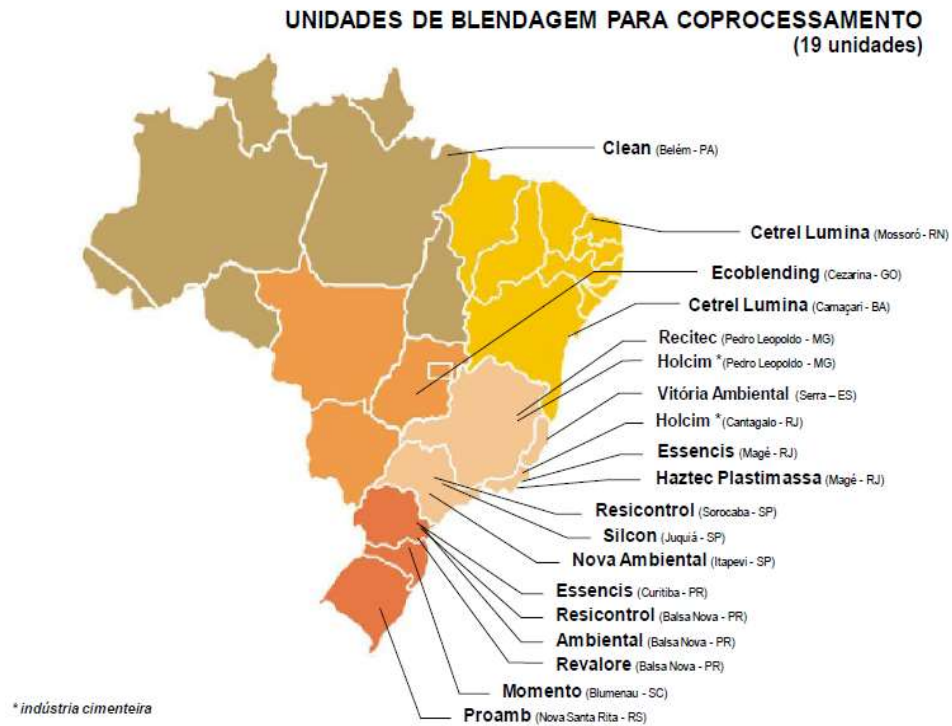
adicionado nos fornos por algum sistema específico de alimentação. Uma parte dos poluentes é destruída pelas altas temperaturas, a outra é incorporada ao clínquer e há ainda algumas substâncias que são dispersas juntamente com as emissões atmosféricas, causando diversos impactos sobre o meio ambiente e a saúde das pessoas que entram em contato com esses materiais (MILANEZ, B., 2007), quando não retidos adequadamente pelos equipamentos de controle. A blendagem se faz necessária, pois, a partir de diferentes resíduos é formado um combustível mais homogêneo, compondo assim um material com poder calorífico adequado para ser utilizado no forno (MARÍNGOLO, V., 2001).

O *blend* é realizado por empresas especializadas denominadas Unidades de Mistura e Pré-condicionamento de Resíduos – UMPCR e popularmente conhecidas como blendeiras (MALARD, M.A.A., 2016). A seguir estão descritos os papéis de cada uma das indústrias no tratamento desses resíduos, conforme Marlard (2016):

- Blendeira: Empresa responsável em fazer a misturas (*blend*) de vários resíduos, homogeneizando-os para que possam ser coprocessados.
- Cimenteira: Uma alternativa para a correta destinação de resíduos, por meio da técnica do coprocessamento, que utiliza resíduos como substitutos de matérias-primas ou combustíveis alternativos nos seus fornos de clínquer.

Desta forma, é importante que haja as blendeiras e as cimenteiras próximas aos locais onde os resíduos são gerados, caso contrário o custo com transporte é elevado, o que pode tornar esse tratamento economicamente inviável. Nas Figuras 6 e 7 estão representadas a distribuição das blendeiras e cimenteiras no Brasil (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS E EFLUENTES, 2013).

Figura 6 - Distribuição nacional das unidades de blendagem para fins de coprocessamento de resíduos



Fonte: ABETRE, 2013.

Figura 7 - Distribuição nacional das cimenteiras licenciadas para o coprocessamento de resíduos



Fonte: ABETRE, 2013.

Como apresentado nas Figuras 6 e 7 (p.33) as blendeiras são distribuídas em 11 estados da federação brasileira, estando a maioria bem próximas às cimenteiras.

As principais vantagens e desvantagens do coprocessamento listadas por Pinto (2006) e Genon & Brizio (2008) são:

- Vantagens

- Destinação final adequada dos resíduos industriais;
- Substituição de combustíveis fósseis por resíduos;
- Destruição total dos resíduos;
- Implementação de controles ambientais que possibilitem a emissão gasosa dentro dos parâmetros legais;
- Redução da disposição final em aterro;
- Baixo custo operacional, quando comparado a outras tecnologias de tratamento térmico;
- Redução dos custos na produção do produto (cimento).

- Desvantagens

- Necessidade de pré-tratamento dos resíduos;
- Formação de Poluentes Orgânicos Persistentes – POPs como: policlorobifenilos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, dioxinas e furanos.

Os POPs são altamente tóxicos, pois permanecerem no ambiente por muito tempo e são bioacumulativos e biomagnificados, ou seja, se acumulam nos organismos e conseqüentemente na cadeia alimentar. Eles causam interferências no sistema endócrino e, por isso, a sua formação no tratamento dos resíduos deve ser evitada (GHISELLI, G.; JARDIM, W.F., 2007).

### 2.1.3 Tratamento por micro-ondas

As micro-ondas foram primeiramente usadas durante a segunda guerra mundial em sistemas de radar, contudo em 1946 descobriu-se que elas também poderiam aquecer alguns materiais, então, desde a década de 1970, o forno de micro-ondas tornou-se uma tecnologia presente em milhões de lares e está cada vez mais presente na rotina dos seres humanos. Em geral, um forno de micro-ondas é composto por: um aplicador, que fornece a energia para aquecer o material, e de sistemas para controlar o seu aquecimento. O magnetron é o aplicador mais utilizado para transformar a energia elétrica em ondas eletromagnéticas (COMMITTEE ON MICROWAVE PROCESSING OF MATERIALS, 1994).

O mecanismo fundamental do aquecimento por micro-ondas é a agitação de moléculas polares ou de íons, que oscilam sob o efeito de um campo magnético. As moléculas tentam se orientar para estar em sintonia com o campo. No entanto, o movimento dessas moléculas é restrito devido à resistência das forças, que limitam o seu movimento, desta forma a agitação aleatória produz calor (MUTYALA, S.; FAIRBRIDGE, C.; PARE, J.R.J.; BÉLANGER, J.M.R.; SIAUW, N.; HAWKINS, R., 2010).

De acordo com Shang *et al.* (2005), no processamento térmico convencional, a energia é transferida para o material através de condução, convecção e radiação. Em contraste, a energia de micro-ondas é fornecida diretamente aos materiais através de interações moleculares com o campo eletromagnético. Existem três classificações genéricas para o comportamento de materiais após interação com um campo de micro-ondas:

- Transparentes (materiais com baixa perda dielétrica): As micro-ondas passam através do material com pouca absorção;
- Opacos (condutores): As micro-ondas são refletidas pelo material e, conseqüentemente, não penetra;
- Absorventes (materiais com alta perda dielétrica): A energia das micro-ondas é absorvida com base na força do campo elétrico e do fator de perda dielétrica do material.

O aquecimento do material de interesse vai depender da sua constante dielétrica, ou seja, quanto maior a capacidade dele absorver as ondas eletromagnéticas mais fácil é de retirá-lo da matriz. As propriedades dielétrica das substâncias estão diretamente relacionadas ao teor de água que elas possuem, quanto mais água o material possuir, maior é a sua capacidade de absorver energia. É importante destacar que a medida que a água é removida, a capacidade do material de absorver energia é reduzida (PEREIRA, M.S., 2013).

De acordo com National Research Council *et al.* (1994) e Pereira *et al.* (2013): as micro-ondas possuem várias características que não estão disponíveis no processamento convencional de materiais como:

- Radiação penetrante;
- Distribuições de campo elétrico controláveis;
- Aquecimento rápido;
- Aquecimento seletivo de materiais por meio da absorção diferencial;
- Autolimitante, pois o material será aquecido até que a sua propriedade dielétrica seja reduzida;
- O processo é baseado no aquecimento direto, o que torna possível o desenvolvimento de sistemas compactos que garantem a segurança do equipamento;
- Conta com um rápido e específico aquecimento, o que proporciona a redução do tempo e da energia gasta;
- Recuperação de substâncias apolares (ex.: hidrocarbonetos) aderidos a uma base polar (ex.: água) por meio de condensadores.

Essas características, isoladas ou combinadas, apresentam oportunidades e benefícios que não são disponíveis nos métodos convencionais de aquecimento. As micro-ondas fornecem alternativas para o processamento de uma gama de materiais, incluindo borracha, polímeros, cerâmicas, compósitos, minerais, solos, resíduos e produtos químicos.

Segundo o National Research Council *et al.* (1994), algumas desvantagens do uso das micro-ondas estão relacionadas com as características de alguns materiais, pois podem ser difíceis de processar como:

- Materiais com condutividade iônica ou metálica significativa não podem ser efetivamente processados devido à penetração inadequada das micro-ondas;
- Isoladores com baixa constante dielétrica são difíceis de aquecer devido à sua absorção mínima da energia incidente, uma vez que as ondas eletromagnéticas não possibilitam a movimentação de cargas;
- Materiais com permissividade ou fatores de perda que mudam rapidamente com a temperatura durante o processamento podem ser suscetíveis ao aquecimento irregular e fuga térmica (perda de calor).

Embora haja desafios no uso da tecnologia, ela se mostra promissora, pois, devido ao aquecimento seletivo dos materiais, há significativa economia de energia e tempo, uma vez que é possível aquecer o material de interesse sem aquecer toda a matriz em que ele está inserido (PEREIRA, M.S., 2013).

O equipamento usado para processamento de micro-ondas industrial é geralmente padronizado e projetado com base nas necessidades específicas da aplicação. O custo do equipamento de micro-ondas depende do tamanho, avaliação de potência, frequência, *design*, sistema de controle de gás, periféricos, fabricante e tamanho do mercado para esse equipamento específico. Devido à essas variáveis, os custos de implementação oscilam muito dependendo das aplicações. Devido às diferenças na configuração e processamento entre micro-ondas e sistemas convencionais, é muito difícil realizar uma comparação geral dos custos de forma significativa.

As micro-ondas afetam o corpo se houver aumento da temperatura, ou seja, se o corpo do indivíduo for atingindo diretamente pelas ondas eletromagnéticas (FLORES, C., 2017). A exposição às micro-ondas pode provocar diversos efeitos à saúde, dependendo da frequência da onda, da potência dos geradores e do tempo de exposição. As pesquisas mostram que, a longo prazo, as pessoas expostas podem sofrer elevação da pressão no sangue, seguida de hipotensão, alterações dos sistemas nervoso central, cardiovascular e endócrino, além de distúrbios menstruais etc. Tais sintomas são importante de serem verificados pelos médicos durante os exames de admissão ou periódicos. Precações devem ser tomadas para que pessoas portadoras de marcapassos ou implantações metálicas não se exponham à radiação nem sequer por curtos períodos ou a níveis aparentemente baixos. Normalmente, os

fornos micro-ondas possuem métodos de controle desenhados pelos próprios fabricantes, que incluem enclausuramento completo, com vedações automáticas e paralização imediata em caso de abertura (ASTETE, M.W.; GIAMPAOLI, E.; ZIDAN, L.N., 1994).

A Norma Regulamentadora NR 15, do Ministério do Trabalho, indica que as micro-ondas é um tipo de radiação não ionizante. Havendo a presença dessa radiação no ambiente de trabalho é necessário que o empregador contrate uma empresa especializada para realizar a inspeção e, conseqüentemente, emitir um laudo quanto aos níveis de radiação no ambiente em que o equipamento está inserido. Desta forma, pode ser avaliado o melhor Equipamento de Proteção Individual – EPI ou Equipamento de Proteção Coletiva – EPC a ser utilizado. Vale ressaltar que na NR 15 as operações ou atividades que exponham os trabalhadores às radiações não ionizantes, sem a proteção adequada, serão consideradas insalubres.

Finalmente, vale a pena destacar que a operação e as manutenções preventivas e/ou corretivas devem ser feitas de acordo com as orientações do fabricante. Além disso, é importante que a empresa possua procedimentos/orientações quanto ao uso do equipamento e zele pelo cumprimento dos mesmos.

## **2.2 Resíduos sólidos, contaminados com óleo, gerados pela indústria petrolífera e o seu tratamento com micro-ondas**

### 2.2.1 Resíduos contaminados

São os resíduos sólidos em geral contaminados por materiais oleosos e químicos, provenientes de diversos processos. Alguns exemplos desses resíduos são: carepas de tinta, latas e embalagens vazias, trapos, tecidos, estopas, EPIs, filtros de óleo, resíduos contaminados com óleos, resinas, tintas, solventes e outros produtos químicos. A Figura 8 ilustra esse tipo de resíduo.



Figura 8 - Exemplo ilustrativo de resíduos contaminados com óleo e/ou produtos químicos



Fonte: ALLIANCE AMBIENTAL, 2017.

### 2.2.2 Borra Oleosa

Resíduos constituídos pela mistura de óleo, sólidos e água, com eventual presença de outros contaminantes, conforme apresentado na Figura 9. Esta emulsão oleosa líquida, pastosa ou sólida é isenta de sólidos grosseiros como carepa de ferrugem, areia, terra e outros. Normalmente é gerada na limpeza de tanques de petróleo e derivados.

Figura 9 – Exemplo de borra oleosa



Fonte: UTARP 2018.

### 2.2.3 Fluido e Cascalho de Perfuração

Os fluidos de perfuração são misturas complexas de sólidos, líquidos e produtos químicos, podendo ser suspensões ou emulsões, dependendo das propriedades físico-químicas dos componentes. Eles possuem várias funções na perfuração dos poços de petróleo como: controlar a pressão e estabilidade do poço, remover os sólidos de perfuração, resfriar a broca e lubrificar a coluna de perfuração, estabilizar as formações rochosas, controlar a corrosão, facilitar a completação do poço, minimizar o impacto ambiental e auxiliar na sustentação da coluna de perfuração (PEREIRA, M.S., 2013). Os fluidos de perfuração podem ser de base sintética (oleosa) ou base aquosa, contaminada ou não por óleo. Neste trabalho as pesquisas foram concentradas nos fluidos que apresentam óleo ou foram contaminados por este.

A Figura 10 ilustra as características do fluido de perfuração.

Figura 10 – Exemplo de fluido de perfuração



Fonte: UNIPEG, 2018.

Os cascalhos de perfuração são fragmentos provenientes da ação da broca sobre a rocha ou cimento curado (IBAMA, 2018), conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Exemplo de cascalho proveniente da perfuração de poços de petróleo e gás natural



Fonte: Cascalhos removidos do fundo de um poço através do fluido de perfuração 2018.

Os resíduos de cascalho são retirados do poço com o auxílio do fluido de perfuração. O fluido, juntamente com o cascalho, passa por um conjunto de peneiras vibratórias e hidrociclones (centrífuga), que remove o cascalho do fluido. Desta forma, o fluido retorna para o poço para ser novamente utilizado. O cascalho é acondicionado em recipientes apropriados para que sejam desembarcados e posteriormente tratados em terra (PEREIRA, M.S., 2013).

### **2.3 Tratamento por micro-ondas dos resíduos contaminados com óleo da indústria *offshore* de petróleo e gás natural**

Para discorrer sobre a tecnologia de tratamento térmico por micro-ondas dos resíduos contaminados por óleos, provenientes das atividades de exploração *offshore* de petróleo e gás natural da indústrias *offshore*, foi consultado duas bases de patentes, sendo uma delas nacional e outra internacional. A base nacional consultada foi a do Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI e a base internacional foi a *World Intellectual Property Organization – WIPO*.

O INPI é autarquia ligada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, criada pela Lei 5.648/70, que tem por objetivo principal executar, no âmbito nacional, as normas que regulam a propriedade industrial, tendo em vista a sua função social, econômica, jurídica e técnica, bem como pronunciar-se quanto à conveniência de assinatura, ratificação e denúncia de convenções, tratados, convênios e acordos sobre as propriedades industriais (INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL, 2017).

A WIPO é um fórum global de serviços de propriedade intelectual, política, informação e cooperação. É uma agência de autofinanciamento das Nações Unidas, que tem o objetivo de liderar o desenvolvimento de um sistema de propriedade intelectual internacional equilibrado e efetivo, que possibilite a inovação e a criatividade (WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION, 2018).

Segundo o SENAI (2017) a patente é um título de propriedade temporária outorgado pelo Estado, aos inventores, autores ou detentoras de direitos sobre uma invenção ou modelo de utilidade. Desta forma, o inventor é obrigado a revelar minuciosamente todo o conteúdo técnico da invenção protegida pela patente.

O objetivo da consulta ao banco de dados foi de avaliar alguns exemplos recentes de tecnologia de micro-ondas desenvolvidas especificamente para o tratamento dos resíduos alvo desse estudo (resíduo contaminado, borra oleosa, cascalho e fluido de perfuração).

Desde os anos 60 há várias patentes relacionadas ao aquecimento de diversos materiais, no entanto, aplicado especificamente aos resíduos da indústria de petróleo e gás, foi encontrado um número bem reduzido. Algumas patentes publicadas recentemente são: US8728348 de 2010 (THE UNIVERSITY OF NOTTINGHAM, 2010), US8789622 de 2014 (KMC Oil Tools B.V., 2014) e BR 102015024051-1 de 2015 (INNOVARE PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A., 2016). As duas primeiras são patentes americanas e a última é uma patente brasileira.

A patente US8728348 trata da remoção de resíduos de óleo em cascalhos de perfuração por micro-ondas, bem como a descontaminação de resíduos animais, solos e vermiculita (um mineral semelhante a mica) contaminados. Ela descreve o uso de fonte geradora de micro-ondas aplicada em uma cavidade de pequena dimensão (largura de 10 cm e altura do leito do material de 4 cm); devido à pequena dimensão do equipamento a produção em escala industrial não é viável. Na patente não cita o teor final de contaminantes que o sólido possui após o tratamento.

A US8789622/2014 também solicita proteção para o tratamento de cascalho contaminado com óleo por meio do uso de micro-ondas. Ela descreve o sistema com concentração de energia em um único ponto por meio de uma fonte micro-ondas de grande potência. Também cita a necessidade de se utilizar um separador magnético para evitar centelhamento quando na presença do campo eletromagnético, pois a atmosfera da cavidade do micro-ondas, durante o aquecimento, é repleta de vapores de hidrocarbonetos, o que pode provocar explosões. Não há a descrição de nenhum sistema que impeça a entrada de ar. Foi destacado no projeto a necessidade de aplicar um gás inerte, nitrogênio (N<sub>2</sub>) como gás de arraste, para permitir a operação segura do forno. Nessa patente também não cita o percentual final de contaminantes em relação a entrada, logo não existe evidências da real eficiência do método.

A patente BR102015024051-1 (INNOVARE PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A., 2016) reivindica a proteção do tratamento de resíduos gerados pela indústria de óleo e gás, como cascalho de perfuração embebidos em fluidos de base oleosa/sintética ou aquosa, bem como resíduos perigosos classe I. Desta forma, ela engloba todos os resíduos objetivo desse estudo. O invento foi desenvolvido para

trabalhar com atmosfera controlada, sem entrada de ar, logo, a chance de explosão se torna nulo. A projeto inova nos seguintes quesitos: ele utiliza uma esteira metálica em aço inoxidável, uma vez que o cascalho é altamente corrosivo; a cavidade em aço inox com isolamento térmica de dimensões variando de 1,3 m a 2,4 m de largura, não se limitando a essas dimensões; o leito de material com altura de até 14 cm; o sistema de revolvimento do cascalho sobre a esteira metálica; a alimentação contínua; o uso de diversas fontes geradoras de micro-ondas de baixa potência distribuídas ao longo da cavidade; a presença de um sistema de controle em função do objetivo final da descontaminação com medição de temperaturas do leito, da atmosfera interna, da velocidade da esteira e da pressão interna. Além disso, acompanha um sistema de recuperação do fluido de perfuração. Segundo dados apresentados, a invenção permite obter índices baixos de contaminantes, menor que 1% em massa, com vazões variando de 500 kg/h a 4.000 kg/h, com um consumo médio de 200 kWh/tonelada de cascalho processado, considerando uma relação de 22,5 % de líquido (10 % água + 12,5 % NParafina) e 77,5 % de sólidos na entrada do material. A atmosfera controlada, com ausência de entrada de ar, permite oferecer uma operação segura e sem riscos de explosão. Contudo, independentemente da segurança mencionada quanto ao risco mínimo de exploração, a invenção protegida pela patente BR102015024051-1 (INNOVARE PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A., 2016) prevê ainda um dispositivo de segurança para alívio da pressão interna em caso de explosão provocada por erro de operação ou entrada de ar por negligência do operador. No documento emitido pelo INPI não menciona os índices que podem ser alcançados com os o tratamento de outros resíduos como borra oleosa e resíduo contaminado, ou seja, embora ele mencione o tratamento desses resíduos, não foram indicadas informações quanto a real tratabilidade dos mesmos.

Conforme apresentado, embora haja algumas lacunas nas descrições das patentes apresentadas, pois elas não deixam claro quanto a real tratabilidade dos resíduos, bem como o potencial de desenvolver a tecnologia apresentada em escala industrial, exceto da patente brasileira quanto ao tratamento de cascalho, as bases de patentes são fontes riquíssima de informação tecnológica, uma vez que o seu uso incrementa e amplia o conhecimento, fornecendo o suporte tanto na criação de um novo produto como na modificação e ajustes dos produtos já existentes (SENAI, 2017).

### 3 ADEQUAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS AO ESTUDO

#### 3.1 Procedimentos metodológicos do estudo

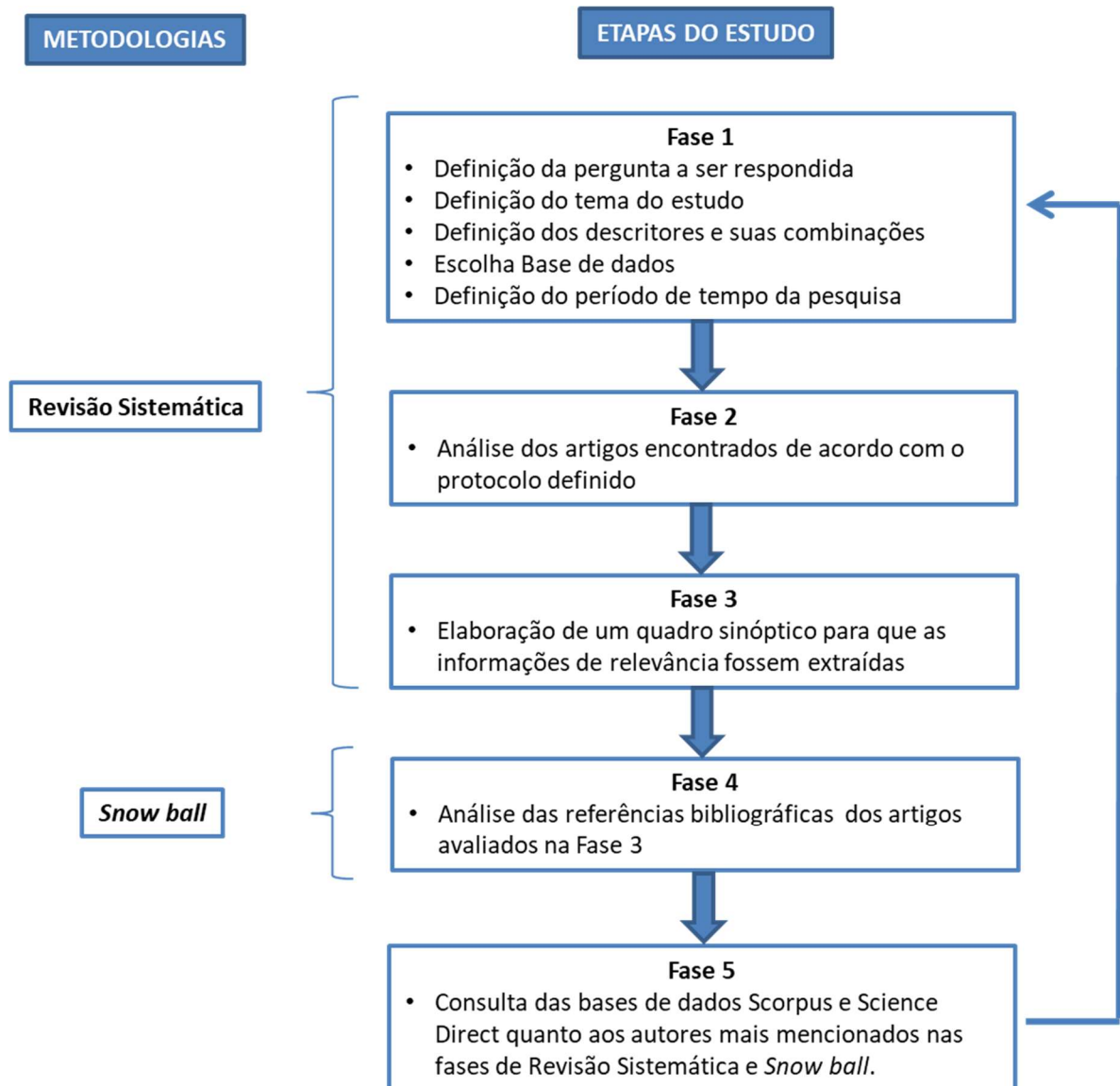
O estudo se baseou em uma revisão sistemática. As Fases 1, 2 e 3, seguiram as diretrizes propostas por Gohr *et al.* (2013). Na Fase 4 foi utilizada a estratégia denominada *Snow ball* (método da bola de neve). A Fase 5 foi realizada a fim de consultar as bases de dados Scopus e Science Direct entre os anos de 2000 a 2018, uma vez que o número de artigos encontrados nas fases anteriores não foi significativo. Abaixo estão descritas cada fase:

- **Fase 1 – Perguntas da pesquisa:** Nessa etapa foram definidos o tema, a pergunta, os descritores (palavras-chaves), bem como as suas respectivas combinações, as bases de dados e o período de tempo em que se fez a busca do referencial teórico.
- **Fase 2 – Seleção dos artigos:** Ao executar a Fase 1, vários artigos foram encontrados. Para saber se o artigo iria compor o referencial teórico da pesquisa foram realizadas perguntas, a fim de assegurar que o artigo escolhido estivesse alinhado aos objetivos do estudo. Sendo todas as perguntas respondidas como “Sim”, o artigo seria selecionado para a Fase 3, contudo se, pelo menos, uma resposta fosse negativa, o artigo seria desconsiderado.
- **Fase 3 – Classificação dos artigos selecionados:** Nessa Fase os artigos foram lidos na íntegra, com o intuito de se extrair as informações de interesse para que a pergunta feita fosse respondida. Os dados extraídos dos artigos foram organizados em uma matriz, que está apresentada no capítulo 5.
- **Fase 4 – *Snow ball*:** Todas as citações dos artigos selecionados na Fase 3, ou seja, que compunha o referencial teórico, foram analisadas a fim de levantar novos artigos não abrangidos na revisão sistemática e possíveis de serem incorporados ao estudo, seguindo as etapas descritas das Fases 1, 2 e 3.

- **Fase 5 – Consulta dos autores mais citados:** Como o número de artigos inicialmente avaliado não foi expressivo, o presente trabalho optou por fazer uma consulta específica nas bases de dados Scopus e Science Direct, filtrando apenas os artigos publicados entre os anos de 2000 a 2018 e utilizando como requisito de busca os autores mais recorrentes nas publicações encontradas nas etapas da RS e do *Snow ball* e a presença da palavra *microwave* no título nas publicações.

A Figura 12 mostra as etapas do estudo com as quatro fases definidas acima.

Figura 12 – Passo a passo da metodologia implementada



Fonte: A autora, 2018.



## 3.2 Adequação dos procedimentos ao estudo

### 3.2.1 Fase 1 - Perguntas da pesquisa

#### 3.2.1.1 Pergunta a ser respondida e tema do estudo

O presente estudo tratou de responder **qual é o percentual de óleo extraído dos resíduos sólidos contaminados com óleo, provenientes das indústria de óleo e gás, quando estes são tratados pela tecnologia de micro-ondas**. Conforme apresentado na relevância do estudo, saber os percentuais de remoção de hidrocarbonetos que podem ser alcançados, quando os resíduos oleosos são tratados pelas micro-ondas, é fundamental quanto ao aporte financeiro para o desenvolvimento e implementação da tecnologia, pois, caso o percentual de óleo seja elevado, a empresa pode reduzir o preço do tratamento para o gerador ou aumentar a rentabilidade do tratamento para a empresa que está implementando/fazendo uso da tecnologia.

#### 3.2.1.2 Descritores e suas combinações

Para se definir os descritores foi utilizado o banco de dados da Biblioteca Virtual de Saúde – BVS para identificar as palavras-chaves que são mundialmente utilizadas na língua inglesa.

Os descritores encontrados foram: *microwave*; *hazardouswaste*; *drillcuttings*; *oil and gas industry* e *oil industry*. Os descritores não encontrados e, conseqüentemente, excluídos foram: *drill waste* e *dril lfluid*.

As combinações feitas a partir dos descritores selecionados foram:

- *Microwave and Hazardous waste*;
- *Microwave and Drill cuttings*;
- *Microwave and Oil and gas industry*;

- *Microwave and Oil industry;*
- *Microwave and Oil sludge.*

As combinações acima foram buscadas no título dos artigos. Não foi definida nenhuma palavra-chave de exclusão. Também não houve a definição de descritores ou combinações em português, pois era desejada a busca de artigos publicados em revistas de grande impacto mundial.

### *3.2.1.3 Base de dados e período de tempo*

Como base de dados foi utilizado o *Google Scholar*, que possibilita a realização de diferentes pesquisas com materiais disponibilizados *on-line* em um único local (GOHR, C.F.; SANTOS, L.C.; GONÇALVES, A.M.C.; PINTO, N.O., 2013) e (BRASIL, 2012). O total de artigos encontrados no *Google Scholar* foi de 39. No portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), onde também se realizou a consultada, foram encontrados apenas 31 artigos (usando os mesmos descritores e critérios). Uma vez que todos constavam no banco de dados do *Google Scholar*, foi utilizada apenas esta base de dados, pois abrangueu um número maior de artigos.

A procura dos artigos compreendeu os anos entre 2000 a 2018. Esse período foi definido, pois é quando o uso do computador se torna mais expressivo na indústria, uma vez que o uso do micro-ondas, industrialmente, requer o emprego dessa tecnologia.

### 3.2.2 Fase 2 - Seleção dos artigos

Na Fase 1 foram encontrados um total de 39 artigos científicos de acordo com descritores informados na Tabela 1, sendo:

Tabela 1 – Distribuição dos artigos encontrados por descritores

Descritores	Número total de artigos encontrados
<i>Microwave and Hazardous waste</i>	01
<i>Microwave and Drill cuttings</i>	16
<i>Microwave and Oil and gas industry</i>	02
<i>Microwave and Oil industry</i>	01
<i>Microwave and Oil sludge</i>	19
TOTAL	39

Fonte: A autora, 2018.

Foi elaborado um protocolo de pesquisa para avaliar as relevâncias dos 39 artigos encontrados. O protocolo teve o objetivo compilar as informações e responder as seguintes perguntas:

- Informações compiladas:
  - Base de dados;
  - Combinações de descritores;
  - Título do artigo;
- Perguntas:
  1. É um artigo científico?
  2. Está entre os anos 2000 a 2018?
  3. O título está alinhado ao tema?
  4. O artigo está disponível na íntegra?
  5. É de língua inglesa ou portuguesa?

Sendo as respostas das perguntas 1 a 5 positivas, o artigo passou para a Fase 3. Se não, ele foi descartado. Dos 39 artigos encontrados, 18 foram selecionados para o referencial teórico desse trabalho e seguiram para a Fase 3 e os outros 21 foram descartados. Os motivos do descarte estão listados a seguir:

- 13 não estavam adequados ao tema;
- 04 não eram de língua inglesa ou portuguesa.
- 02 não eram artigos científicos;

- 01 não era um artigo científico, não estava na língua inglesa ou portuguesa e a íntegra não estava disponível;
- 01 não era de língua inglesa ou portuguesa e não possuía a íntegra disponível.

### 3.2.3 Fase 3 - Classificação dos artigos selecionados

Na Fase 3 foi elaborado um quadro sinóptico para que durante a leitura dos artigos as informações de relevância para o presente trabalho fossem extraídas e organizadas. Os dados inseridos no quadro foram:

- Título do artigo;
- Autores;
- Revista;
- Ano;
- País;
- Palavras-Chaves;
- Objetivo do trabalho;
- Resultados/ Discussão;
- Conclusão;
- Percentual de óleo recuperado.

### 3.2.4 Fase 4 - *Snow ball*

Como a composição do referencial teórico não foi extensa, as referências bibliográficas dos 18 artigos selecionados foram consultadas para que mais artigos relacionados ao tema pudessem ser avaliados. Ao realizar essa consulta foram encontrados o total de 47 artigos que poderiam estar relacionados ao tema estudado, então eles seguiram para a análise, conforme descrito na Fase 1, 2 e 3. Dos 47 artigos

analisados, 12 foram classificados como adequados e seguiram para a Fase 2. Os 12 artigos classificados tiveram as suas referências consultadas, porém não foram encontrados novos artigos.

### 3.2.5 Fase 5 - Consulta dos autores mais citados

Como o número de artigos inicialmente avaliado não foi expressivo, o presente trabalho optou por fazer uma consulta específica nas bases de dados Scopus e Science Direct, filtrando apenas os artigos publicados entre os anos de 2000 a 2018 e utilizando como requisito de busca os autores mais recorrentes nas publicações encontradas nas etapas da RS e do *Snow ball*, e a presença da palavra “microwave” no título nas publicações.

Nessa etapa foram encontrados 341 artigos, após a retirada dos 133 itens duplicados, 208 artigos seguiram para a Fase 1 da metodologia descrita anteriormente. Dos 208 artigos, 205 não estavam adequados ao tema da pesquisa, 2 não foram encontrados na íntegra e 1 já havia sido encontrado pelo método da revisão sistemática, mas publicado em outra revista com outro título. Desta forma, a Fase 5 não agregou nenhum artigo ao referencial teórico inicial.

Em síntese, o presente trabalho utilizou como referencial teórico o quantitativo de 30 artigos no universo total de 294 artigos avaliados.

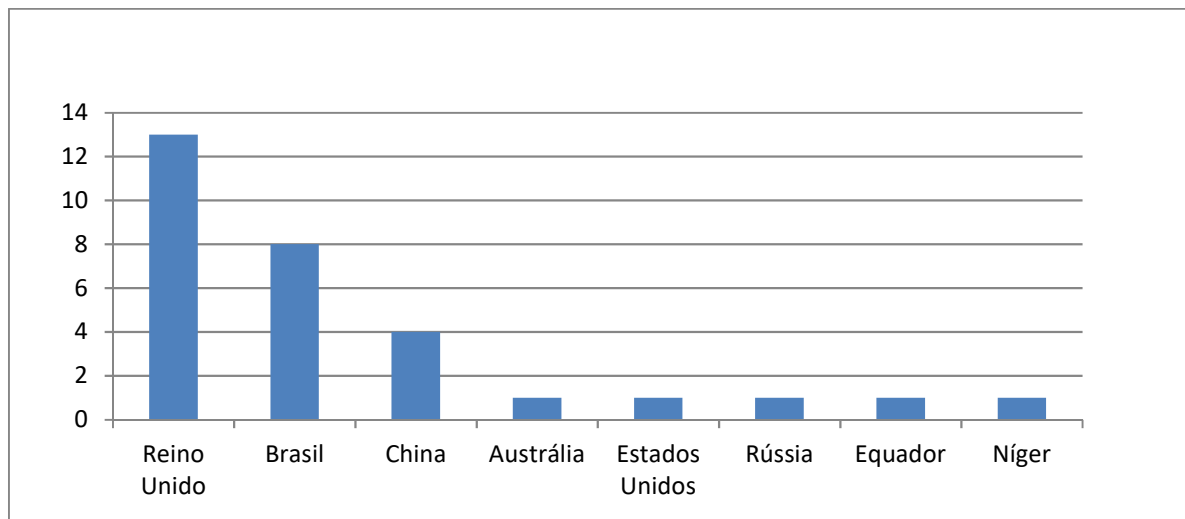
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 tratamento por micro-ondas de resíduos oleosos da indústria *offshore* de óleo e gás

A base de dados do estudo foi composta de 30 artigos, sendo que 70% reuniu informações procedentes do Reino Unido (43%) e do Brasil (27%). A China possui metade das publicações que o Brasil.

No Gráfico 3 são apresentados os países que possuem estudos acerca do tema de interesse do presente trabalho e foram selecionados pelas metodologias de Revisão Sistemática e *Snow ball* para comporem a base de dados.

Gráfico 3 – Número de artigos por país de origem do estudo



Fonte: A autora, 2018.

No Gráfico 3 é possível observar que 5 dos 6 continentes (América, Europa, Ásia, África, Oceania e Antártida), possuem estudos relacionados ao tratamento de dessorção térmica. Abaixo estão especificados os continentes, bem como os países em que houve estudos relacionados ao tratamento térmico de via micro-ondas de resíduos provenientes da indústria petrolífera:

- América: Brasil, Estados Unidos e Equador;
- Europa: Reino Unido;

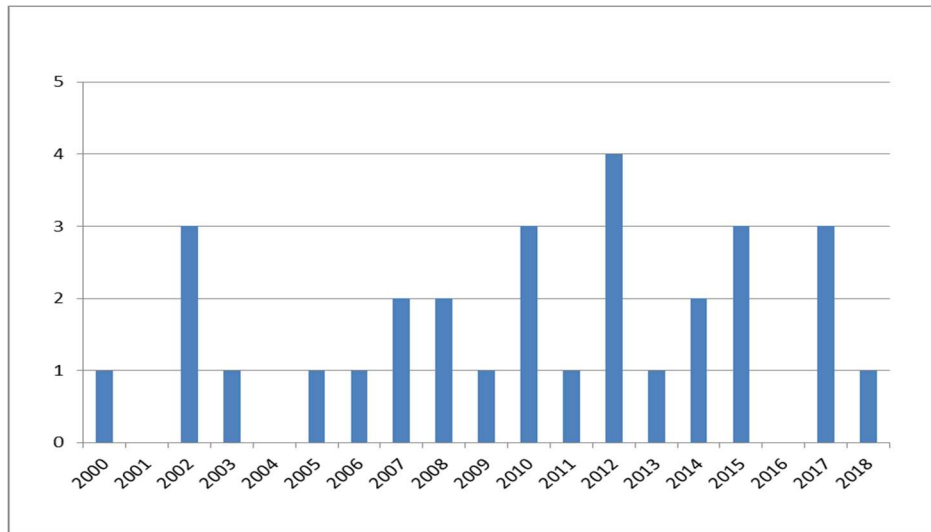
- Ásia: China e Rússia;
- África: Níger.
- Oceania: Austrália.

Os grandes produtores mundiais de petróleo como Estados Unidos e Rússia possuem cada um apenas 1 estudo referente ao tratamento térmico de resíduos provenientes da indústria petrolífera (INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, 2016). A publicação russa é uma das 4 publicações sobre o tratamento de borra oleosa (VEDENKIN, D.A.; SAMOSHIN, R.E.; ZUEV, O. Y., 2015). O estudo americano refere-se a uma perspectiva de passado, presente e futuro quanto ao gerenciamento dos resíduos de perfuração (VEIL, J.A., 2002).

Embora o Reino Unido não esteja entre os 15 maiores produtores mundiais de petróleo e gás natural (INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, 2016), o número elevado de estudos pode ser justificado pela rigorosa legislação ambiental do país, que permite o descarte de resíduos sólidos provenientes da perfuração de poços com, no máximo, 1% de contaminação de óleo (JONES, T.G.J.; SANDERS, M.W., 2002; WAIT, S.T.; THOMAS, D., 2003; SHANG, H.; SNAPE, C.E.; KINGMAN, S.W.; ROBINSON, J.P., 2005; SHANG, H.; SNAPE, C.E.; KINGMAN, S.W.; ROBINSON, J.P., 2006; SHANG, H.; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; ROBINSON, J.P., 2007a; SHANG, H.; ROBINSON, J.P.; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; WU, Q., 2007b; ROBINSON, J.P.; KINGMAN, S.W.; ONOBRAKPEYA, O., 2008a; ROBINSON, J.P.; SNAPE, C.E.; KINGMAN, S.W.; SHANG, H., 2008b; ROBINSON, J.P.; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; BARRANCO, R.; SHANG, H.; BRADLEY, M.S.A.; BRADSHAW, S.M., 2009; ROBINSON, J.P.; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; BRADSHAW, S.M.; BRADLEY, M.S.A.; SHANG, H.; BARRANCO, R., 2010a; ROBINSON, J.; KINGMAN, S.; SNAPE, C.E.; ANTONIO, C.; PERREIRA, I.; PAGE, P.W.; THOMAS, D.J.M., 2010b; KINGMAN, S.; ROBINSON, J. ANTONIO, C.; PEREIRA, I., 2010; PEREIRA, I.S.M.; ROBINSON, J.P.; KINGMAN, S.W., 2011).

A busca de artigos foi concentrada entre os anos de 2000 a 2018. No Gráfico 4 pode-se observar que no início dos anos 2000 havia estudos científicos relacionados ao tema de interesse, porém as publicações não eram contínuas ao longo dos anos.

Gráfico 4 – Distribuição da quantidade de artigos do RS por ano de publicação



Fonte: A autora, 2018.

O estudo de 2000 refere-se ao tratamento de cascalho *in situ*, ou seja, no local da sua geração. A perfuração dos poços ocorreu em uma área isolada e ambientalmente sensível do Equador. Devido às restrições ambientais da exploração de petróleo, visto que a área era protegida e distante dos centros urbanos, a dessorção térmica foi utilizada para tratar o cascalho, recuperando o óleo no local da perfuração. Houve uma redução significativa nos custos com o transporte de resíduos e insumos para o fluido, pois o óleo recuperado foi reintroduzido no sistema como matéria-prima (ZUPAN, T.; KAPILA, M., 2000).

De acordo com o estudo de Níger, na África, o uso da dessorção térmica está gradualmente substituindo a reinjeção do cascalho no delta do Rio Níger. O uso da dessa tecnologia também causa impactos como a emissão de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) devido ao transporte marítimo dos resíduos até o local do tratamento. No entanto, se os equipamentos forem acoplados à sonda, o impacto é praticamente nulo (NTUKIDEM, J.; OMONIGHO, R.; ANIGHORO, S., 2002).

Ao longo dos anos tem-se observado um aprofundamento na discussão da tecnologia de micro-ondas, bem como as variáveis que proporcionam uma maior recuperação dos hidrocarbonetos como: fluxo do gás de varredura, teor de água no resíduo, granulometria e tipo da rocha, aumento do tempo de residência do resíduo na cavidade que recebe as ondas eletromagnéticas, elevação da potência específica e posição do magnétron (ROBINSON, J.P.; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; BRADSHAW, S.M.; BRADLEY, M.S.A.; SHANG, H.; BARRANCO, R., 2010a; SHANG,



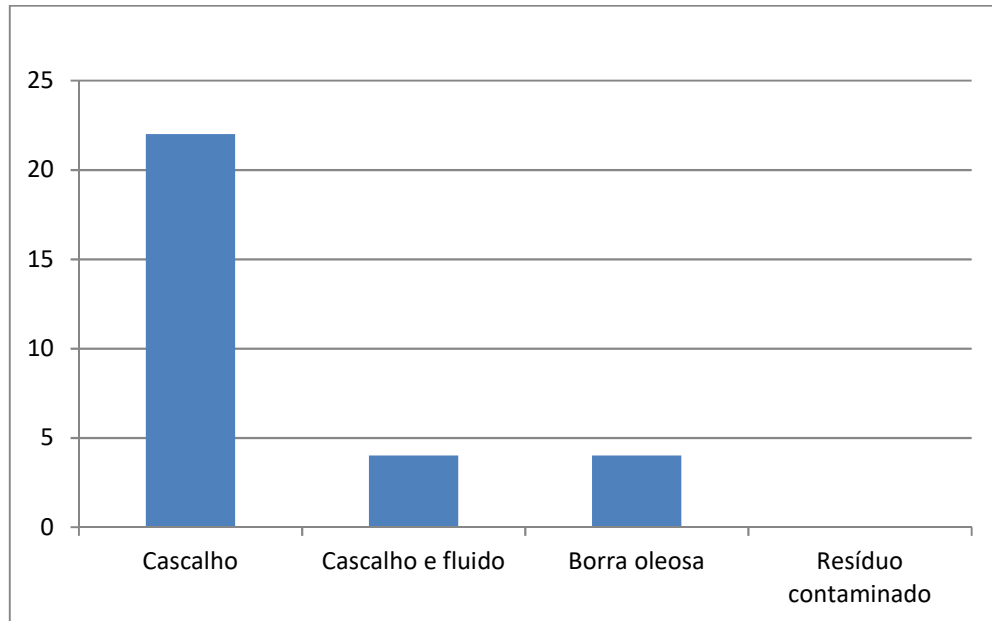
H.; SNAPE, C.E.; KINGMAN, S.W.; ROBINSON, J.P., 2005; SHANG, H.; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; ROBINSON, J.P., 2007a; KINGMAN, S.; ROBINSON, J. ANTONIO, C.; PEREIRA, I., 2010; SANTOS, J.M.; PEREIRA, M.S.; JÚNIOR, I.P.; PENA, M.M.R.; ATAÍDE, C.H., 2014; SANTOS, J.M.; PETRI, I.J.; MOTA, A.C.S; MORAIS, A.S.; ATAÍDE, C.H., 2018).

A partir de 2005 as publicações se tornam constantes, com exceção do ano de 2016, que não houve nenhuma publicação relacionada ao tratamento de resíduos contaminados com óleo provenientes da indústria *offshore* de petróleo e gás natural.

É possível observar no Gráfico 5 a nítida predominância da aplicabilidade do micro-ondas nos estudos envolvendo os resíduos de perfuração de poços de petróleo e gás natural (cascalho e fluido). 87% dos estudos estão relacionados às pesquisas que envolvem o tratamento de resíduos da perfuração (cascalho e fluido) e 13% referem-se ao tratamento de borras oleosas. Não foram identificados estudos relacionados ao tratamento térmico de resíduos sólidos contaminados com óleo provenientes da indústria *offshore* de petróleo de gás.

Essa predominância pode ser explicada, pois a indústria de óleo e gás tem feito melhorias no que referem-se ao gerenciamento adequados dos resíduos de perfuração. Essas melhorias estão de acordo com as mudanças relacionadas aos requisitos legais, contudo, sempre ponderando o custo de implantação e operação. As novas tecnologias estão focados na redução dos resíduos gerados e na possibilidade de reuso (VEIL, J.A., 2002). O tratamento térmico via micro-ondas possibilita a redução do tempo de aquecimento, recuperação de substâncias com elevado valor agregado e redução da emissão de gases do efeito estufa (NTUKIDEM, J.; OMONIGHO, R.; ANIGHORO, S., 2002).

Gráfico 5 - Número total de estudos por tipologia de resíduo



Fonte: A autora, 2018.

Segundo Veil (2002), no passado os resíduos de perfuração eram dispostos sem nenhum controle, causando assim impactos ambientais. Atualmente, as recentes legislações americanas restringem a disposição em terra ou no mar sem um tratamento prévio. Em terra, os resíduos de perfuração são dispostos nos campos que foram perfurados (reinjeção) e em alto mar ocorre a disposição no oceano com prévio tratamento. A reinjeção de cascalho nos poços já perfurados é cerca de 27% mais barata que a tecnologia de dessorção térmica, o que explica, em grande parte, o pouco emprego da mesma em países que tal atividade é permitida (NTUKIDEM, J.; OMONIGHO, R.; ANIGHORO, S., 2002). A escolha da tecnologia de disposição ou tratamento depende da legislação de cada estado, porém, observa-se que cada dia ela está mais restritiva. No entanto, para que se desenvolva uma tecnologia ambientalmente e economicamente viável, deve-se levar em consideração o custo (implementação, operação e manutenção), além do conhecimento do uso e aplicação da tecnologia (*know-how*) (VEIL, J.A., 2002).

No processamento térmico convencional a energia é transferida para um material através de condução, convecção e radiação. Em contraste, no micro-ondas a energia é entregue diretamente aos materiais por meio das interações moleculares com o campo eletromagnético. A distribuição interna de temperatura de um material sujeito ao aquecimento convencional é limitado pela sua condutividade, enquanto o

aquecimento por micro-ondas resulta em elementos individuais do material sendo aquecido individualmente. Consequentemente, o tempo de fornecimento de energia no micro-ondas pode ser significativamente reduzido (SHANG, H.; SNAPE, C.E.; KINGMAN, S.W.; ROBINSON, J.P., 2006; SHANG, H.; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; ROBINSON, J.P., 2007a; ZHANG, H.; WEI, H.; YANG, Q.I.; XIAO, J.; LIU, Y., 2015). Conforme estudos de Shang *et al.* (2007b) o aquecimento por micro-ondas pode ser até 1.000 vezes mais rápido do que usando técnicas de aquecimento convencionais, devido ao aquecimento seletivo dos materiais.

Comparando o tratamento de aquecimento convencional em relação ao tratamento por micro-ondas, o segundo possui várias vantagens como: melhor eficiência, baixo custo e a possibilidade de recuperação do óleo, que pode ser reutilizado.

Geralmente os compostos alvo para remoção ou recuperação são de base orgânica, e estes compostos não são muito receptivos a micro-ondas, pois são apolares. Isso, no entanto, não impede que o tratamento por micro-ondas ocorra, uma vez que, na maioria dos casos, a água está presente até dentro dos materiais de interesse. A água (polar) atua como o receptor de micro-ondas, permitindo que a energia seja dissipada dentro do resíduo e haja a transferência de calor para os contaminantes orgânicos. Com o aquecimento ocorre a evaporação da água, que possibilita o arraste da água da molécula apolar (ex.: hidrocarbonetos) (ROBINSON, J.P.; SNAPE, C.E.; KINGMAN, S.W.; SHANG, H., 2008b). As substâncias oleosas podem ser recuperadas para posterior uso (JONES, T.G.J.; SANDERS, M.W., 2002). Segundo Santos *et al.* (2014) os estudos demonstraram que o aquecimento por micro-ondas não foi capaz de alterar as cadeias de carbono que constituem a n-parafina (tipo óleo).

Dos quatro estudos de tratamento de borra oleosa proveniente da indústria petrolífera, 3 foram realizados na China e 1 na Rússia. Segundo Jiang *et al.* (2012), as várias etapas de exploração de petróleo e gás produzem grandes quantidades de borra oleosa, que é um resíduo de difícil tratabilidade devido à formação de uma emulsão extremamente estável, que contém hidrocarbonetos, benzeno e fenóis. Tendo em vista a complexidade das ligações da moléculas, nem todo hidrocarboneto consegue ser recuperado (VEDENKIN, D.A.; SAMOSHIN, R.E.; ZUEV, O. Y., 2015).

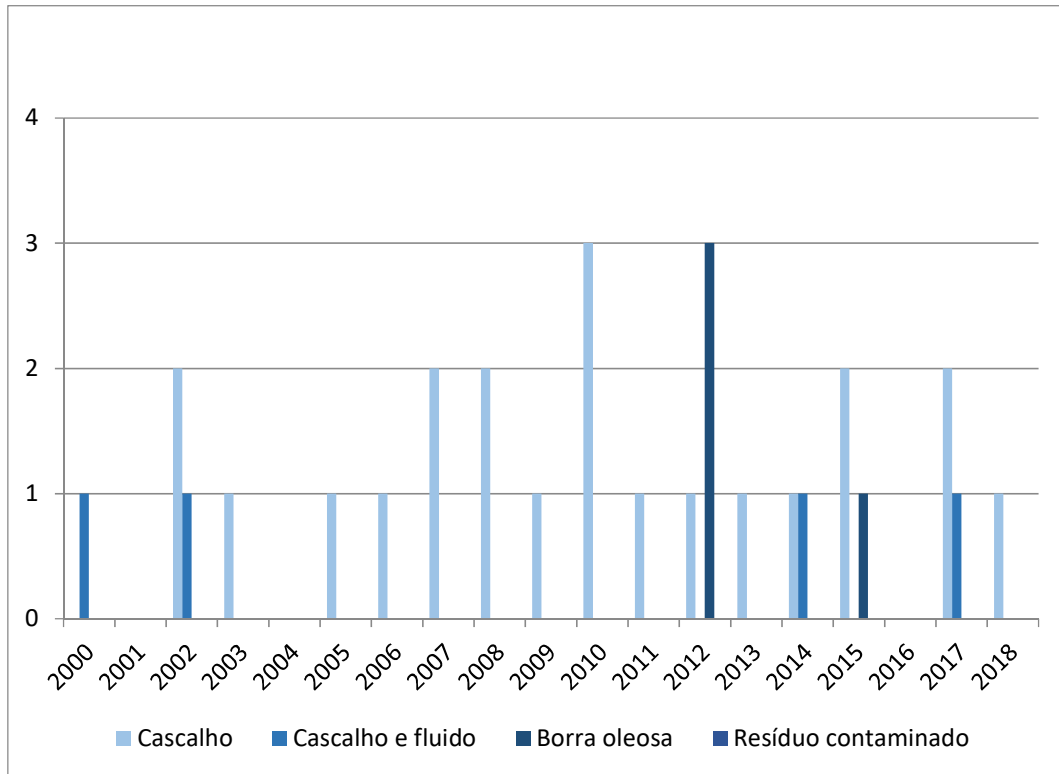
O aquecimento da borra oleosa por micro-ondas produz um gás que contém hidrocarbonetos, como por exemplo, o metano, que pode ser recuperado por meio de

condensadores. Após o tratamento da borra o resíduo sólido resultante ainda possui um elevado teor de hidrocarboneto, logo, ele pode ser usado como combustível alternativo, pois apresenta poder calorífico (JIANG, H.Y.; WANG, X.; WEI, A.J.; ZHENG, S.J.; LIU, F.; JI, C., 2012). O poder calorífico do sólido após o tratamento deve-se a impossibilidade de remoção de todo hidrocarboneto contido na borra oleosa (JIA, H.B.; ZHOU, L.K., 2012).

O estudo de Wang *et al.* (2012) relata que o óleo recuperado proveniente do tratamento da borra oleosa consiste em 89% de óleo leve e 11% de óleo pesado. Tais resultados indicam que o tratamento térmico com micro-ondas é um bom método para o tratamento da borra oleosa e pode ser usado efetivamente para recuperar hidrocarbonetos com boa qualidade.

É possível verificar no Gráfico 6 que os estudos relacionados aos resíduos diretamente com perfuração dos poços de petróleo e gás natural (cascalho, cascalho e fluido) são constantes ao longo do período estudado. As publicações relacionadas à borra oleosa se iniciam em 2012, provenientes da Rússia e da China, porém são menos frequentes. Como já mencionado anteriormente, não foram encontrados estudos com resíduo contaminado, logo não há nenhuma identificação desse resíduo no Gráfico 6. A ausência de tais estudos pode ser explicada pelo fato de atualmente, pelo menos no Brasil, existir um rota economicamente viável e ambientalmente aceita, que é o coprocessamento em fornos de indústrias cimenteiras (PINTO, L.N., 2006). No entanto, é importante que estudos avaliem a viabilidade do tratamento por micro-ondas dos resíduos contaminados, pois ele pode ser uma alternativa economicamente viável e que independeria de outros empreendimentos como *blendeiras* e cimenteiras para o coprocessamento dos resíduos.

Gráfico 6 - Número total de estudos por ano da publicação e tipologia de resíduo estudada



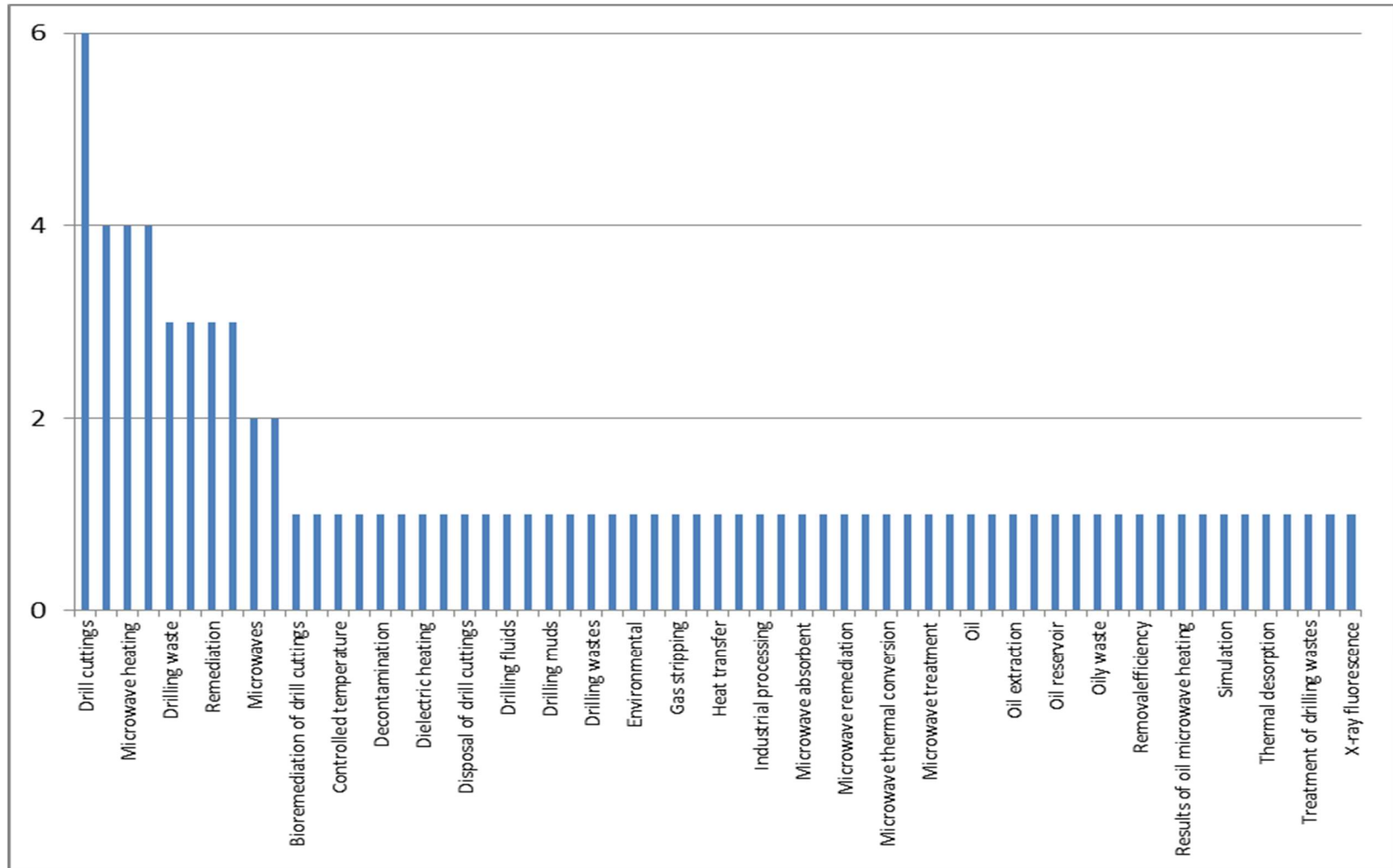
Fonte: A autora, 2018.

Ao analisar os artigos selecionados, que compuseram o referencial teórico, nota-se que 37% deles não apresentaram nenhuma palavra-chave, pois foram publicados em periódicos que não possuíam tal exigência. Para os demais artigos, 19 foram listados no Gráfico 7, além dos descritores que mais se repetiam, bem como a quantidade de vezes em que houve essa repetição.

As palavras-chaves encontradas foram:

- *Drill cuttings*: 06 vezes;
- *Microwave*; *Microwave heating* e *Oil sludge*: 4 vezes cada;
- *Drilling waste*; *Microwave drying*; *Remediation* e *Synthetic drilling fluid*: 3 vezes cada;
- *Microwaves* e *Oil contaminated drill cuttings*: 1 vez cada;
- Outras 51 palavras-chaves: 1 vez cada.

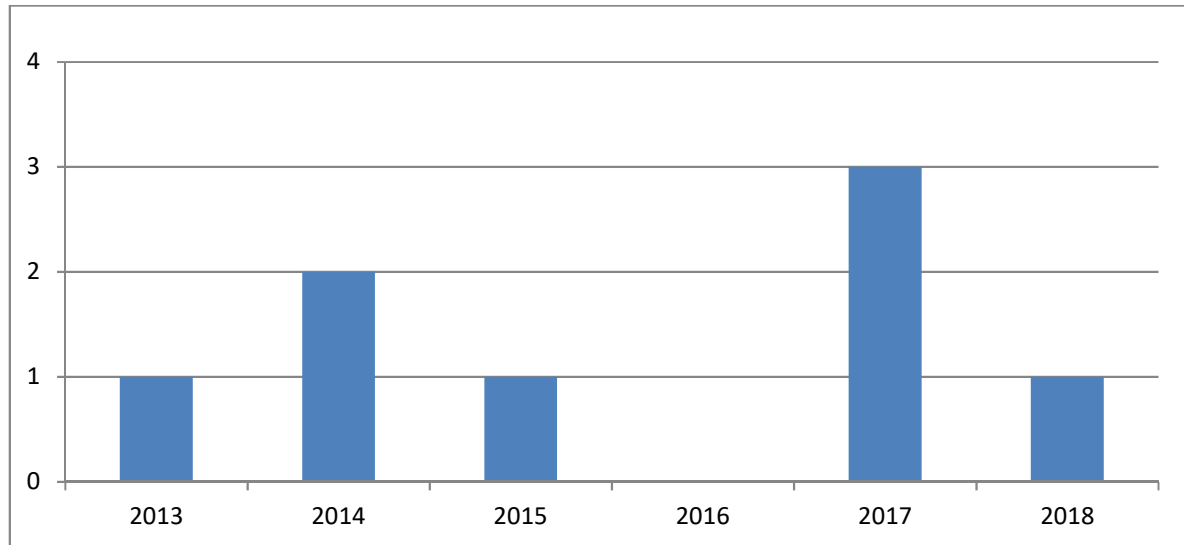
Gráfico 7 - Palavras-chaves mencionadas no referencial teórico



Fonte: A autora, 2018.

O Gráfico 8 apresenta a distribuição das publicações no Brasil relacionadas ao tratamento térmico, via micro-ondas, de resíduos contaminados com óleo e provenientes da indústria petrolífera. Observa-se que os estudos iniciaram em 2013 e está se perdurando aos longo dos anos. É importante destacar que todas as publicações brasileiras são relacionadas com resíduos provenientes da perfuração de poços petrolíferos, ou seja, cascalho e fluido de perfuração, que são resíduos complexos e de difícil tratabilidade gerados no ato da perfuração de poços de petróleo e gás natural. Todas as pesquisas desenvolvidas no país tiveram suporte de agências de fomento como CAPES, CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa) e FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e da Petrobras, o que pode ser justificado pelo interesse da empresa em desenvolver tecnologia capaz de tratar os resíduos provenientes diretamente das suas atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural (PEREIRA, M.S.; ATAÍDE, C.H.; NAUFEL, R.; PANISSET, C.M.A.; SA, C.H.M.; MARTINS, A.L., 2013; SANTOS, J.M.; PEREIRA, M.S.; JÚNIOR, I.P.; PENA, M.M.R.; ATAÍDE, C.H., 2014; PEREIRA, M.S.; PANISSET, C.M.A.; MARTINS, A.L.; DE SÁ, C.H.M.; BARROZO, M.A.S.; ATAÍDE, C.H., 2014; JUNIOR, I.P.; PEREIRA, M.S.; DOS SANTOS, J.M.; DUARTE, C.R.; ATAÍDE, C.H.; PANISSET, C.M., 2015; JUNIOR, I.P.; MARTINS, A.L.; ATAÍDE, C.H.; DUARTE, C.R., 2017a); JUNIOR, I.P.; SANTOS, J.M.; ROSSI, A.S.; PEREIRA, M.S.; DUARTE, C.R.; ATAÍDE, C.H., 2017b; ROSSI, A.S.; FARIA, M.G.; PEREIRA, M.S.; ATAÍDE, C.H., 2017; SANTOS, J.M.; PETRI, I.J.; MOTA, A.C.S; MORAIS, A.S.; ATAÍDE, C.H., 2018), principalmente pela publicação da Instrução Normativa nº 1 (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2018). Cabe ressaltar também que 100% dos estudos são provenientes da Universidade Federal de Uberlândia – UFU.

Gráfico 8 - Distribuição da quantidade de artigos brasileiros da RS por ano de publicação



Fonte: A autora, 2018.

Observa-se que a legislação brasileira é pouco restritiva, pois autoriza o descarte de cascalho com fluido de perfuração com até 6,9% de contaminação por hidrocarbonetos (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2018), uma vez que o tratamento térmico por micro-ondas poderia proporcionar reduções em torno de 1% da concentração de óleos nos resíduos sólidos provenientes da perfuração de poços de petróleo e gás natural, como ocorre no Reino Unido (ZUPAN, T.; KAPILA, M., 2000; NTUKIDEM, J.; OMONIGHO, R.; ANIGHORO, S., 2002; WAIT, S.T.; THOMAS, D., 2003; SHANG, H.; SNAPE, C.E.; KINGMAN, S.W.; ROBINSON, J.P., 2005; SHANG, H.; SNAPE, C.E.; KINGMAN, S.W.; ROBINSON, J.P., 2006; SHANG, H.; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; ROBINSON, J.P., 2007a; SHANG, H.; ROBINSON, J.P.; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; WU, Q., 2007b; ROBINSON, J.P.; KINGMAN, S.W.; ONOBRAKPEYA, O., 2008a; ROBINSON, J.P.; SNAPE, C.E.; KINGMAN, S.W.; SHANG, H., 2008b; ROBINSON, J.P. ; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; BARRANCO, R.; SHANG, H.; BRADLEY, M.S.A.; BRADSHAW, S.M., 2009; ROBINSON, J.P.; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; BRADSHAW, S.M.; BRADLEY, M.S.A.; SHANG, H.; BARRANCO, R., 2010a; ROBINSON, J.; KINGMAN, S.; SNAPE, C.E.; ANTONIO, C.; PERREIRA, I.; PAGE, P.W.; THOMAS, D.J.M., 2010b; KINGMAN, S.; ROBINSON, J. ANTONIO, C.; PEREIRA, I., 2010; PEREIRA, I.S.M.; ROBINSON, J.P.; KINGMAN, S.W., 2011; BALL, A.S.; STEWART, R.J.; SCHLIEPHAKE, K., 2012; SANTOS, J.M.; PEREIRA, M.S.; JÚNIOR, I.P.; PENA, M.M.R.; ATAÍDE, C.H., 2014; JUNIOR, I.P.; PEREIRA,



M.S.; DOS SANTOS, J.M.; DUARTE, C.R.; ATAÍDE, C.H.; PANISSET, C.M., 2015; JUNIOR, I.P.; MARTINS, A.L.; ATAÍDE, C.H.; DUARTE, C.R., 2017a; JUNIOR, I.P.; SANTOS, J.M.; ROSSI, A.S.; PEREIRA, M.S.; DUARTE, C.R.; ATAÍDE, C.H., 2017b; ZHANG, H.; WEI, H.; YANG, Q.I.; XIAO, J.; LIU, Y., 2015; ROSSI, A.S.; FARIA, M.G.; PEREIRA, M.S.; ATAÍDE, C.H., 2017; SANTOS, J.M.; PETRI, I.J.; MOTA, A.C.S; MORAIS, A.S.; ATAÍDE, C.H., 2018).

O objetivo principal do presente trabalho foi analisar os percentuais de óleos antes e após o tratamento térmico via micro-ondas dos resíduos sólidos provenientes da indústria petrolífera. Ao analisar a Tabela 2 pode-se concluir que os resíduos sólidos de borra oleosa, após tratamento térmico por micro-ondas, apresentam o maior percentual de hidrocarbonetos, se comparado aos resíduos de perfuração (cascalho e fluido).

Para os resíduos de perfuração há uma faixa ampla do percentual de óleo antes do tratamento térmico, que pode variar de 4% até 55%, e após o tratamento os percentuais variam de < 1% até 10,68%. Percentuais de óleo muito baixos no sólido, após o tratamento, serão atingidos apenas se a legislação local for restritiva, uma vez que baixas concentrações de óleo requerem temperaturas mais elevadas. Quanto mais energia for fornecida, menor será o percentual de óleo residual, porém o custo de tratamento e da recuperação do óleo é mais elevado (JUNIOR, I.P.; MARTINS, A.L.; ATAÍDE, C.H.; DUARTE, C.R., 2017a). Logo, deve-se sempre buscar percentual residual ótimo que atenda aos requisitos legais e recupere o máximo possível das substâncias oleosas.

A Tabela 2 apresenta uma matriz listando os estudos selecionados na revisão sistemática e *Snow ball* e compara as informações disponíveis nos trabalhos quanto ao percentual de óleo na amostra antes e após o tratamento térmico via micro-ondas. Os autores que mais contribuíram para o tema estudo foram:

- **Reino Unido**
  - J. P. Robinson: 5 publicações.
  - H. Shang: 3 publicações.
- **Brasil**
  - I. P. Júnior: 5 publicações.
  - M. S. Pereira: 2 publicações
  - J. M. Santos 2 publicações.

Os estudos dos ingleses são dos anos de 2005 a 2010, sendo que os estudos dos brasileiros são mais recentes de 2013 a 2018 (exceto 2016).

Observa-se também que todos os autores realizam estudos referentes ao uso do micro-ondas para tratamentos de resíduos de perfuração, mais especificamente cascalho, exceto 1 estudo da autora J. M. Santos, que analisa o tratamento de fluido e cascalho.

É importante ressaltar que todos os autores chegaram a resultados semelhantes quanto ao percentual residual de óleo no sólido tratado por micro-ondas, contudo os percentuais ingleses são menores devido a maior restrição da legislação.

Ao observar a Tabela 2 observa-se que aproximadamente 23% dos estudos foram publicados na revista *Society of Petroleum Engineers*, sendo que os estudos são de 5 países diferentes (Brasil, Reino Unido, Equador, Estados Unidos e Níger), isso pode ser explicado, pois ela é uma organização de associação global para a indústria de petróleo e gás, com foco nos estudos relacionados à exploração, perfuração e produção. Outras 4 revistas aparecem 2 vezes cada, são elas:

- *Industrial & Engineering Chemistry Research*
- *Separation and Purification Technology*
- *Journal of Environmental Management*
- *Advanced Materials Research*

As revistas *Separation and Purification Technology* e *Journal of Environmental Management* possuem trabalhos publicados do Brasil e do Reino Unido, enquanto que os periódicos *Industrial & Engineering Chemistry Research* e *Advanced Materials Research* possuem apenas estudos ingleses e chineses, respectivamente.

A maioria dos estudos do referencial teórico possuem apoio de entidades governamentais como CAPES, FAPEMIG, CNPq, Ministérios da Educação, *Department for Environment, Food and Rural Affairs* e institutos nacionais. Além de financiamento de grandes empresas do setor de óleo e gás como: Petrobras, Hess Corporation, Shell, BP, MI Swaco, Baker Hughes e Schlumberger.

Tabela 2 – Matriz comparativa com dados extraídos dos estudos selecionados na Revisão Sistemática e no *Snow Ball* (continua)

Ano	Autor(es)	Título do estudo	Periódico	País	Tipo de resíduo analisado	Palavras chaves	Percentual de óleo na amostra	
							Pré-tratamento	Pós-tratamento
2000	T. Zupan, M. Kapila	<i>Thermal desorption of drill muds and cuttings in Ecuador: the environmental and financially sound solution</i>	<i>Society of Petroleum Engineers</i>	Equador	Cascalho e Fluido de perfuração	-	33	0,023
2002	J. A. Veil	<i>Drilling Waste Management: Past, Present and Future</i>	<i>Society of Petroleum Engineers</i>	Estados Unidos	Cascalho e Fluido de perfuração	-	Dado não foi disponibilizado	Dado não foi disponibilizado
2002	J. Ntukidem, R. Omonigho, S. Anighoro	<i>Thermal desorption as an alternative to cutting reinjection in Niger Delta waste management operations</i>	<i>Society of Petroleum Engineers</i>	Níger	Cascalho de perfuração	-	8	1 - 3
2002	T.G.J. Jones, M.W. Sanders	<i>Improvements in the analysis of thermally recovered drilling fluid base oils from drilled cuttings</i>	<i>Society of Petroleum Engineers</i>	Reino Unido	Cascalho de perfuração	-	Dado não foi disponibilizado	Dado não foi disponibilizado
2003	S.T. Wait, D. Thomas	<i>The characterization of base oil recovered from the low temperature thermal desorption of drill cuttings</i>	<i>Society of Petroleum Engineers</i>	Reino Unido	Cascalho de perfuração	-	<5	<1
2005	H. Shang, C. E. Snape, S. W. Kingman, J. P. Robinson	<i>Treatment of Oil-Contaminated Drill Cuttings by Microwave Heating in a High-Power Single-Mode Cavity</i>	<i>Industrial &amp; engineering chemistry research</i>	Reino Unido	Cascalho de perfuração	-	10 a 15	<1

Tabela 2 – Matriz comparativa com dados extraídos dos estudos selecionados na Revisão Sistemática e no *Snow Ball* (continuação)

Ano	Autor(es)	Título do estudo	Periódico	País	Tipo de resíduo analisado	Palavras chaves	Percentual de óleo na amostra	
							Pré-tratamento	Pós-tratamento
2006	H. Shang, C. E. Snape, S. W. Kingman, J. P. Robinson	<i>Microwave treatment of oil-contaminated North Sea drill cuttings in a high power multimode cavity</i>	<i>Separation and Purification Technology</i>	Reino Unido	Cascalho de perfuração	<i>Microwaves; Dielectric heating; Drill cuttings; Drilling fluids; Drilling mud</i>	16	<1
2007a	H. Shang, S. W. Kingman, C. E. Snape, J. P. Robinson	<i>Reactor effects on microwave decontamination of oily wastes in a multimode cavity</i>	<i>American Chemical Society</i>	Reino Unido	Cascalho de perfuração	-	Dado não foi disponibilizado	< 0,5
2007b	H. Shang, J. P. Robinson, S. W. Kingman, C. E. Snape, Q. Wu, J. P. Robinson, S. W. Kingman, O.	<i>Theoretical study of microwave enhanced thermal decontamination of oil contaminated waste</i>	<i>Chemical engineering &amp; technology</i>	Reino Unido	Cascalho de perfuração	<i>Decontamination; Microwaves; Oil; Wastes</i>	16	< 1
2008a	Robinson, S. W. Kingman, O. Onobrakpeya, J. P. Robinson, C. E. Snape, S. W. Kingman, H. Shang	<i>Microwave-assisted stripping of oil contaminated drill cuttings</i>	<i>Journal of Environmental Management</i>	Reino Unido	Cascalho de perfuração	<i>Microwave heating; Drill cuttings; Gas stripping; Steam stripping; Remediation</i>	10	<1
2008b	Robinson, C. E. Snape, S. W. Kingman, H. Shang	<i>Thermal desorption and pyrolysis of oil contaminated drill cuttings by microwave heating</i>	<i>Journal of Analytical and Applied Pyrolysis</i>	Reino Unido	Cascalho de perfuração	<i>Oil contamination; Heat transfer; Pyrolysis; Thermal desorption; Drill cuttings</i>	8 e 12	<1

Tabela 2 – Matriz comparativa com dados extraídos dos estudos selecionados na Revisão Sistemática e no *Snow Ball* (continuação)

Ano	Autor(es)	Título do estudo	Periódico	País	Tipo de resíduo analisado	Palavras chaves	Percentual de óleo na amostra	
							Pré-tratamento	Pós-tratamento
2009	J. P. Robinson, S. W. Kingman, C. E. Snape, R. Barranco, H. Shang, M. S. A. Bradley, S. M. Bradshaw	<i>Remediation of oil-contaminated drill cuttings using continuous microwave heating</i>	<i>Chemical Engineering Journal</i>	Reino Unido	Cascalho de perfuração	<i>Oil-contaminated drill cuttings; Microwave heating; Environmental; Remediation</i>	7 e 10	<1
2010	S. Kingman, J. Robinson, C. Antonio, I. Pereira	<i>Latest Developments in the Microwave Processing of Oil Contaminated Drill Cuttings</i>	<i>Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos ou Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos</i>	Reino Unido	Cascalho de perfuração	<i>Drilling waste; industrial processing; microwave; oil contaminated drill cuttings; remediation</i>	6 e 10,5	<1
2010a	J. P. Robinson, S. W. Kingman, C. E. Snape, S. M. Bradshaw, M. S. A. Bradley, H. Shang, R. Barranco	<i>Scale-up and design of a continuous microwave treatment system for the processing of oil-contaminated drill cuttings</i>	<i>Chemical engineering research and design</i>	Reino Unido	Cascalho de perfuração	<i>Scale-up; Simulation; Microwave; Continuous; Drill cuttings</i>	6 e 8	<1

Tabela 2 – Matriz comparativa com dados extraídos dos estudos selecionados na Revisão Sistemática e no *Snow Ball* (continuação)

Ano	Autor(es)	Título do estudo	Periódico	País	Tipo de resíduo analisado	Palavras chaves	Percentual de óleo na amostra	
							Pré-tratamento	Pós-tratamento
2010b	J. P. Robinson, S. Kingman, C. Antonio, I. Pereira, P. W. Page, D.J. Thomas	<i>Microwave treatment of oil contaminated drill cuttings towards a commercial system</i>	<i>Society of Petroleum Engineers</i>	Reino Unido	Cascalho de perfuração	-	10 a 15	< 1
2011	I. Pereira, J. P. Robinson, S. W. Kingman	<i>Effect of Agglomerate Size on Oil Removal during Microwave Treatment of Oil Contaminated Drill Cuttings</i>	<i>Industrial &amp; engineering chemistry research</i>	Reino Unido	Cascalho de perfuração	-	12,42	<1
2012	X. Jia, L. Zhou	<i>Microwave Demulsification Mechanism and Effect on Petrol Oil Sludge</i>	<i>Advanced Materials Research</i>	China	Borra oleosa	<i>Oil sludge; microwave; demulsification</i>	17,77	2,89
2012	H. Jiang, X. Wang, A. Wei, S. Zheng, F. Liu, C. Ji	<i>A Study on the Mechanism of Harmless and Resourceful Treatment of Oil Sludge with Microwave</i>	<i>Advanced Materials Research</i>	China	Borra oleosa	<i>Microwave; Harmless; Resourceful Treatment; Oil Sludge</i>	Dado não foi disponibilizado	Dado não foi disponibilizado

Tabela 2 – Matriz comparativa com dados extraídos dos estudos selecionados na Revisão Sistemática e no *Snow Ball* (continuação)

Ano	Autor(es)	Título do estudo	Periódico	País	Tipo de resíduo analisado	Palavras chaves	Percentual de óleo na amostra	
							Pré-tratamento	Pós-tratamento
2012	A. S. Ball, R. J. Stewart, K. Schliephake	<i>A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings</i>	<i>Waste Management &amp; Research</i>	Austrália	Cascalho de perfuração	<i>Disposal of drill cuttings; drilling muds; bioremediation of drill cuttings; drilling wastes; oil extraction; treatment of drilling wastes</i>	Dado não foi disponibilizado	1
2012	Wang, Wan Fu, L. Guo, Y. Xingyue, L. Peng, Z. Xiaofei	<i>The Features of Microwave Thermal Conversion of Oil Sludge</i>	<i>Applied Mechanics and Materials</i>	China	Borra oleosa	<i>Oil sludge; microwave thermal conversion; microwave absorbent; microwave pyrolysis; microwave thermal treatment; oil recovery rate</i>	36,6	6,6 até 15,6
2013	M. S. Pereira, C.H. Ataíde, R. Naufel, C.M.A. Panisset	<i>Microwave heating: a feasible alternative for drilled cuttings drying in offshore environments</i>	<i>Society of Petroleum Engineers</i>	Brasil	Cascalho de perfuração	-	8,31 e 9,8	Até 6,9
2014	J. M. Santos, M. S. Pereira, I. P. Júnior, M. M. R. Pena, C. H. Ataíde	<i>Microwave Drying of Drilled Cuttings in the Context of Waste Disposal and Drilling Fluid Recovery</i>	<i>Energy Technology</i>	Brasil	Cascalho e Fluido de perfuração	-	Cascalho: 4 Fluido: 42,7	Cascalho: 0,4 a 1 Fluido: 4,27 a 10,68

Tabela 2 – Matriz comparativa com dados extraídos dos estudos selecionados na Revisão Sistemática e no *Snow Ball* (continuação)

Ano	Autor(es)	Título do estudo	Periódico	País	Tipo de resíduo analisado	Palavras chaves	Percentual de óleo na amostra	
							Pré-tratamento	Pós-tratamento
2014	M. S. Pereira, C. M. A. Panisset, A. L. Martins, C. H. M. de Sá, M. A. S. Barrozo, C. H. Ataíde	<i>Microwave treatment of drilled cuttings contaminated by synthetic drilling fluid</i>	<i>Separation and Purification Technology</i>	Brasil	Cascalho de perfuração	<i>Synthetic drilling fluid; Drilled cuttings; Microwave drying</i>	Aproximadamente 55	Média 5,25
2015	I. P. Junior, M. S. Pereira, J. M. dos Santos, C. R. Duarte, C. H. Ataíde, C. M. Panisset	<i>Microwave remediation of oil well drill cuttings</i>	<i>Journal of Petroleum Science and Engineering</i>	Brasil	Cascalho de perfuração	<i>Drilling waste; Microwavedrying; Synthetic drilling fluid; Controlled temperature; Heating kinetics; Removal efficiency</i>	17,8	Até < 1
2015	H. Zang, H. Wei, Q. Yang, J. Xiao, Y. Xiao	<i>Microwave treatment technology for oil contaminated drill cuttings</i>	<i>2015 IEEE International</i>	China	Cascalho de perfuração	<i>oil contaminated drill cuttings; microwave; treatment</i>	8,53	0,15
2015	D. A. Vedenkin, R. E. Samoshin, O. Yu. Zuev	<i>Processing of oil sludge using microwave energy</i>	<i>X International Conference on Antenna Theory and Techniques</i>	Rússia	Borra oleosa	<i>Microwave technology; treatment; oil sludge; oily waste; results of oil microwave heating</i>	Dado não foi disponibilizado	Dado não foi disponibilizado



Tabela 2 – Matriz comparativa com dados extraídos dos estudos selecionados na Revisão Sistemática e no *Snow Ball* (conclusão)

Ano	Autor(es)	Título do estudo	Periódico	País	Tipo de resíduo analisado	Palavras chaves	Percentual de óleo na amostra	
							Pré-tratamento	Pós-tratamento
2017	A. S. Rossi, M. G. Faria, M. S. Pereira, C. H. Ataíde	<i>Kinetics of Microwave Heating and Drying of Drilling Fluids and Drill Cuttings</i>	<i>Drying Technology</i>	Brasil	Cascalho e Fluido de perfuração	<i>microwave drying; dielectric properties; kinetic drying; drying models; drilling oil</i>	6 a 8	<0,1 até 6,9
2017	I. P. Júnior, J. M. dos Santos, A. S. Rossi, M. S. Pereira, C. R. Duarte, C. H. Ataíde	<i>Influence of Rock Chemical Composition in Microwave Heating and Decontamination of Drill Cuttings</i>	<i>Materials Science Forum</i>	Brasil	Cascalho de perfuração	<i>microwave heating; X-ray fluorescence; drill cuttings</i>	10	<0,1 até 6,9
2017	I. P. Júnior, A. L. Martins, C. H. Ataíde, C. R. Duarte	<i>Microwave drying remediation of petroleum-contaminated drill cuttings</i>	<i>Journal of Environmental Management</i>	Brasil	Cascalho de perfuração	<i>Microwave drying; Crude oil; Drill cuttings; Oil reservoir; Microwave remediation</i>	6,9	Variável <1 até <6,9
2018	J. M. Santos, I. P. Júnior, A. C. S. Mota, A. S. Morais, C. H. Ataíde	<i>Optimization of the batch decontamination 2 process of drill cuttings by microwave heating</i>	<i>Journal of Petroleum Science and Engineering</i>	Brasil	Cascalho de perfuração	<i>Synthetic Drilling Fluid; Microwave Heating; Gas Chromatography; Drilling Waste</i>	10,5	Até 6,9

Fonte: A autora com dados da literatura científica, 2018.

## CONCLUSÃO

A integração da RS com *Snow ball* foi importante, pois possibilitou um aumento no número de artigos que compuseram o referencial teórico do estudo.

A decisão de usar a tecnologia de micro-ondas para qualquer aplicação deve ser baseado em uma análise do processo específico. Importantes fatores incluem a localização da instalação de processamento, os requisitos pós-tratamento do resíduo, possíveis melhorias de propriedade, fontes alternativas de energia, disponibilidade de capital, o equilíbrio entre custos de energia e custos de mão-de-obra.

A economia de energia realizada a partir de processamento de micro-ondas, melhorias na produtividade e economia de tempo e espaço são provavelmente as melhores bases para a seleção dessa técnica em relação aos processos convencionais.

Em geral, os elementos necessários para uma aplicação bem-sucedida do processamento de micro-ondas incluem: a seleção de resíduos passíveis de absorver as micro-ondas, uma compreensão da economia do processo, caracterização de propriedades termoquímicas do material, seleção/desenvolvimento de equipamento adequados para a aplicação de interesse, uma compreensão de como as partes a serem processadas se interagem com o campo eletromagnético, medição e controle adequados das variáveis do processo como potência incidente, temperatura e intensidade do campo.

Os estudos analisados foram concentrados em cascalho e fluido de perfuração não aquosos, pois são resíduos mais complexos de serem tratados e, conseqüentemente, necessitam de tecnologia mais inovadora, face as atuais disponíveis.

Existe a necessidade de estudos brasileiros e internacionais quanto ao uso da tecnologia para tratamento de borras oleosas e resíduos contaminados com óleo, devido aos poucos ou nenhum estudo encontrado.

Observa-se um interesse sobre a tecnologia ao longo dos anos, pois há um aumento progressivo nas publicações entre os anos de 2000 a 2018. No Brasil os estudos iniciaram em 2013 motivados, principalmente, pelas perspectivas de descarte zero dos resíduos de perfuração de poços petrolíferos, que geram grandes volumes de cascalho e fluido. O descarte zero significa que todo os resíduos de perfuração

gerado nas plataformas deverão ser tratados em alto mar ou desembarcados e tratados no continente.

É importante ressaltar que 22 estudos chegaram a resultados semelhantes quanto ao percentual residual de óleo no sólido tratado por micro-ondas (abaixo de 1%), contudo os percentuais máximos de remoção dos hidrocarbonetos são variáveis devido à legislação de cada país e a tipologia de resíduo tratado. Para o resíduo de borra oleosa o percentual de óleo remanescente varia de 2,89% até 15,6%. Para os resíduos de cascalho e fluido de perfuração os percentuais variam de <1% até 6,9% e <1% a 10,68%, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

ALLIANCE AMBIENTAL. “Resíduos contaminados com óleos e/ou produtos químicos, 2017.

ARAÚJO, P.B.S. “O conceito do ciclo de vida no gerenciamento de resíduos na indústria brasileira de exploração de óleo e gás offshore.” Tese (Doutorado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS E EFLUENTES. “Perfil do setor de tratamento de resíduos.” 2013. Disponível em: <[http://www.abetre.org.br/estudos-e-publicacoes/publicacoes/publicacoes-abetre/copy2\\_of\\_ABETREPerfildoSetordeTratamentodeResduos042013.pdf](http://www.abetre.org.br/estudos-e-publicacoes/publicacoes/publicacoes-abetre/copy2_of_ABETREPerfildoSetordeTratamentodeResduos042013.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 18., 2013.

ASTETE, M.W.; GIAMPAOLI, E.; ZIDAN, L.N. “Radiações não ionizantes.” In: Fundacentro, Riscos Físicos, 1 ed., capítulo 3, Brasil, 1994.

BALDIN, N.; MUNHOZ, E.M.B. “Educação ambiental comunitária: uma experiência com a técnica de pesquisa Snow ball (bola de neve).” REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, v. 27, 2012.

BALL, A.S.; STEWART, R.J.; SCHLIEPHAKE, K. “A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings.” Waste Management & Research, v. 30, n. 5, p. 457-473, 2012.

BRASIL. Decreto Legislativo Nº 499, de 1º de dezembro de 2009. *Diário Oficial da União*. Poder Legislativo, Brasília, DF, 2009.

—. Decreto nº 35.308, de 2 de Abril de 1954. Aprova a Constituição da Petróleo Brasileiro S. A. “Petrobrás”. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Rio de Janeiro, RJ, 2 abr. 1954. Seção 1, p.5625.

—. Decreto nº 8.437 de 22 de abril de 2015 . Regulamenta o disposto no art. 7º, caput, inciso XIV, alínea “h”, e parágrafo único, da Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 abr. 2015.

—. “Lei 5648, de 11 de dezembro de 1970.” Cria o Instituto Nacional da Propriedade Industrial e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, dez. 1970.

—. “Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010.” Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2 ago. 2010.

—. “Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.” Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras

providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 31 ago. 1981.

—. “Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia.” *Diretrizes metodológicas: elaboração de revisão sistemática e metanálise de ensaios clínicos randomizados*. Brasília, DF, 2012.

“Cascalhos removidos do fundo de um poço através do fluido de perfuração.” Dispo\_nível em: <<https://plus.google.com/107786709868582412957/posts/AsAbeJ4f9gg>>. Acesso em: mar. 2018, 2018.

COMMITTEE ON MICROWAVE PROCESSING. “Microwave Processing of materials.” The National Academies of Sciences Engineering Medicine, Washington, DC, 1994.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. “(Brasil). Resolução no 237, de 19 de dezembro de 1997.” “Documenta”, Brasília, DF, dez. , 1997.

DA SILVEIRA, W.M.V.; PAIVA, P.M.; CAMPOS, L.F.; JUNIOR, J.L. “Fluidos de perfuração usados na construção de poços marítimos e requisitos ambientais para descarte.” *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, v. 10, n. 2, p. 171-189, 2016.

DAVIES, J.M.; ADDY, J.M.; BLACKMAN, R.A.; BLANCHARD, J.R.; FERBRACHE, J.E.; MOORE, D.C.; SOMERVILLE, H.J.; WHITEHEAD, A.; WILKINSON, T. “Environmental effects of the use of oil-based drilling muds in the North Sea.” *Marine Pollution Bulletin*, v. 15, n. 10, p. 363-370, 1984.

DE SOUZA, C.O. “Logística verde aplicada ao gerenciamento de resíduos de sondas de exploração offshore.” 2010. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

DOS PASSOS, R.C.S. “Gerenciamento de Resíduos das Atividades Offshore de Exploração e Produção de Petróleo: Uma análise da conformidade legal aplicada em projetos licenciados.” 2015.

ESTRATÉGIA BOLSA. 2018. Disponível em: <<http://www.estrategia-bolsa.pt/preco-barril-petroleo.html>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

FIRJAN. “Ambiente onshore de petróleo e gás no Brasil.” Publicações Sistema Firjan. Pesquisas e Estudos Socioeconômicos, 2017.

—. “Manual de licenciamento ambiental: guia de procedimentos passo a passo.” Rio de Janeiro: GMA, 2004, 23p.

FLORES, C. “Radiações não ionizantes: o que são, onde estão e riscos associados.” 2017. Disponível em: <[https://www.saudeesegurancaotrabalho.org/radiacoes\\_nao\\_ionizantes/](https://www.saudeesegurancaotrabalho.org/radiacoes_nao_ionizantes/)>. Acesso em: mar. 2018.

GALVÃO, T.F.; PEREIRA, M.G. “Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração.” *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 23, p. 183-184, 2014.

GENON, G.; BRIZIO, E. "Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF." *Waste Management*, v. 28, n. 11, p. 2375-2385, 2008.

GHISELLI, G.; JARDIM, W.F. "Interferentes endócrinos no ambiente." *Química nova*, v. 30, n. 3, p. 695-706, 2007.

GOHR, C.F.; SANTOS, L.C.; GONÇALVES, A.M.C.; PINTO, N.O. "Um método para a revisão sistemática da literatura em pesquisas de engenharia de produção." XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, v. 33, Bahia, 2013.

INNOVARE PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A. . "Ricardo Naufel de Toledo. Unidade de tratamento térmico por micro-ondas para resíduos gerados pela indústria de óleo e gás." BR102015024051-1, 17 set. 2015, 09 ago. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO. Disponível em: <<https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/maiores-produtores-de-petroleo-e-ign-em-2016>>. Acesso em: 10 jun. 2018, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). "Licenciamento Ambiental." Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/perguntas-frequentes/licenciamento-ambiental>>. Acesso em: 02 jul. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. "Instrução Normativa n 16, de 25 de junho de 2018." *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, Ed. 121, jun. 2018, Seção 1, p. 44, 2018.

—. "Instrução Normativa Nº 01, de 02 de janeiro de 2018." *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, 04 jan. 2018. Seção 1, p. 43, 2018.

—. "Nota técnica n 01, de 22 de março de 2011." Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/petroleo-e-gas/notas-tecnicas/1-2011-01-nota-tecnica-programa-de-controle-da-poluicao.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2017.

—. "Nota Técnica Nº 07, de 04 de novembro de 2011." Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/petroleo-e-gas/notas-tecnicas/1-2011-07-nota-tecnica-projeto-de-controle-da-poluicao.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2017, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL . "Instituto Nacional da Propriedade Industrial." Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/sobre/estrutura>>. Acesso em: mar. 2018, 2017.

JIA, H.B.; ZHOU, L.K. "Microwave Demulsification Mechanism and Effect on Petrol Oil Sludge." In: *Advanced Materials Research*. Trans Tech Publications, p. 3571-3575, 2012.

JIANG, H.Y.; WANG, X.; WEI, A.J.; ZHENG, S.J.; LIU, F.; JI, C. "A study on the mechanism of harmless and resourceful treatment of oil sludge with microwave." In: *Advanced Materials Research*. Trans Tech Publications, p. 1831-1834, 2012.

JONES, T.G.J.; SANDERS, M.W. "Improvements in the analysis of thermally recovered drilling fluid base oils from drilled cuttings." In: SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Society of Petroleum Engineers, 2002.

JUNIOR, I.P.; MARTINS, A.L.; ATAÍDE, C.H.; DUARTE, C.R. "Microwave drying remediation of petroleum-contaminated drill cuttings." *Journal of environmental management*, v. 196, p. 659-665, 2017a.

JUNIOR, I.P.; PEREIRA, M.S.; DOS SANTOS, J.M.; DUARTE, C.R.; ATAÍDE, C.H.; PANISSET, C.M. "Microwave remediation of oil well drill cuttings." *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 134, p. 23-29, 2015.

JUNIOR, I.P.; SANTOS, J.M.; ROSSI, A.S.; PEREIRA, M.S.; DUARTE, C.R.; ATAÍDE, C.H. "Influence of Rock Chemical Composition in Microwave Heating and Decontamination of Drill Cuttings." In: *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications, p. 469-473, 2017b.

KINGMAN, S.; ROBINSON, J. ANTONIO, C.; PEREIRA, I. "Latest developments in the microwave processing of oil contaminated drill cuttings." In: *Microwave Symposium Digest (MTT)*, 2010 IEEE MTT-S International. IEEE, p. 1432-1435, 2010.

KMC Oil Tools B.V. *Joseph Daniel Farrar; Perry Don Lyman. Continuous microwave particulate treatment system*. US8789622, 25 apr. 2014.

LAW, M.C.; MACDERMID, J. "Evidence-based rehabilitation: A guide to practice." Slack Incorporated, 2008.

MALARD, M.A.A. "Avaliação ambiental do setor de coprocessamento no Estado de Minas Gerais." 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2016, 246p.

MARÍNGOLO, V. "Clínquer coprocessado: produto de tecnologia integrada para sustentabilidade e competitividade da indústria de cimento." 2001. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2001.

MILANEZ, B. "Co-incineração de resíduos industriais em fornos de cimento: problemas e desafios." IX ENGEMA - Encontro nacional sobre gestão empresarial e meio ambiente. Curitiba, 2007.

MILANEZ, B.; FERNANDES, L.O.; PORTO, M.F.S. "A co-incineração de resíduos em fornos de cimento: riscos para a saúde e o meio ambiente." *Ciência & Saúde*, v. 14, n. 6, p. 2143-2152, 2009.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS). "Diretrizes metodológicas: elaboração de revisão sistemática e metanálise de ensaios clínicos randomizados." Editora do Ministério da Saúde, Brasília, 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). "Instrução Normativa Nº 1, de 2 de Janeiro de 2018." *Diário Oficial da União, Poder Executivo*, Brasília, DF, 5 de jan. 2018. Seção 1, p. 43., 2018.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. "Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 ." *Norma regulamentadora NR 15 - atividades e operações insalubres*. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 08 dez. 1978.

MORAIS, J.M. "Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobrás na exploração e produção offshore." 2013.

MUTYALA, S.; FAIRBRIDGE, C.; PARE, J.R.J.; BÉLANGER, J.M.R.; SIAUW, N.; HAWKINS, R. "Microwave applications to oil sands and petroleum: a review." *Fuel Processing Technology*. Elsevier, v. 91, p. 127-135, 2010.

NETO, J.B.O; COSTA, A.J.D. "A Petrobras e a exploração de petróleo offshore no Brasil: um approach evolucionário." RBE, v. 61, n. 1, p. 95-109, Rio de Janeiro, 2007.

NOVI, J.C.; DE OLIVEIRA, S.V.W.B.; JUNIOR, A.P.S.; BONACIM, C.A.G.; DE OLIVEIRA, M.M.B. "Avaliação legal, ambiental e econômica da implantação de sistema próprio de tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde para geração de energia em hospital-escola do Estado de São Paulo." *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 27, 2013.

NTUKIDEM, J.; OMONIGHO, R.; ANIGHORO, S. "Thermal desorption as an alternative to cutting reinjection in Niger Delta waste management operations." SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 2002.

ODDONE, D.O. "O setor de petróleo e gás no Brasil." Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/palestra/4188-o-setor-de-petroleo-e-gas-no-brasil>> Acesso em: 04 jul. 2018, 2017.

PEREIRA, I.S.M.; ROBINSON, J.P.; KINGMAN, S.W. "Effect of agglomerate size on oil removal during microwave treatment of oil contaminated drill cuttings." *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 50, n. 16, p. 9727-9734, 2011.

PEREIRA, M.S. "Aplicação de secagem por microondas no tratamento de cascalho de perfuração." 2013. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de Engenharia Química - Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Minas Gerais: Uberlândia, 2013.

PEREIRA, M.S.; ATAÍDE, C.H.; NAUFEL, R.; PANISSET, C.M.A.; SA, C.H.M.; MARTINS, A.L. "Microwave heating: a feasible alternative for drilled cuttings drying in offshore environments." SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition, Amsterdam, 2013.

PEREIRA, M.S.; PANISSET, C.M.A.; MARTINS, A.L.; DE SÁ, C.H.M.; BARROZO, M.A.S.; ATAÍDE, C.H. "Microwave treatment of drilled cuttings contaminated by synthetic drilling fluid." *Separation and Purification Technology*, v. 124, p. 68-73, 2014.

PERISSÉ, J.B.; PAREDES, M.L.L.; FARAH, M.A. "Da Destilaria Riograndense de Petróleo aos dias atuais: 75 anos de refino no Brasil." *Boletim Técnico da Petrobras*, v. 50, n. 1/3, p. 11-41, abr./ago./dez., 2007.



PETRI JÚNIOR, I. "Secagem por micro-ondas na descontaminação de cascalhos de perfuração." 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharias). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

PETTICREW, M. "Systematic reviews from astronomy to zoology: myths and misconceptions." *Bmj*, v. 322, n. 7278, p. 98-101, 2001.

PINTO, L.N. "Conversão à baixa temperatura de Blend de Resíduos Industriais." 2006. Dissertação (Mestrado em Química Orgânica) - Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2006.

ROBINSON, J.; KINGMAN, S.; SNAPE, C.E.; ANTONIO, C.; PERREIRA, I.; PAGE, P.W.; THOMAS, D.J.M. "Microwave treatment of oil contaminated drill cuttings-towards a commercial scale system." In: SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Society of Petroleum Engineers. Rio de Janeiro, 2010b.

ROBINSON, J.P. ; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; BARRANCO, R.; SHANG, H.; BRADLEY, M.S.A.; BRADSHAW, S.M. "Remediation of oil-contaminated drill cuttings using continuous microwave heating." *Chemical Engineering Journal*, v. 152, n. 2-3, p. 458-463, 2009.

ROBINSON, J.P.; KINGMAN, S.W.; ONOBRAKPEYA, O. "Microwave-assisted stripping of oil contaminated drill cuttings." *Journal of environmental management*, v. 88, n. 2, p. 211-218, 2008a.

ROBINSON, J.P.; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; BRADSHAW, S.M.; BRADLEY, M.S.A.; SHANG, H.; BARRANCO, R. "Scale-up and design of a continuous microwave treatment system for the processing of oil-contaminated drill cuttings." *Chemical Engineering Research and Design*, v. 88, n. 2, p. 146-154, 2010a.

ROBINSON, J.P.; SNAPE, C.E.; KINGMAN, S.W.; SHANG, H. "Thermal desorption and pyrolysis of oil contaminated drill cuttings by microwave heating." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 81, n. 1, p. 27-32, 2008b.

ROCHA, S.D.F.; LINS, V.F.C.; SANTO, B.C.E. "Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer." *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2011.

ROSSI, A.S.; FARIA, M.G.; PEREIRA, M.S.; ATAÍDE, C.H. "Kinetics of microwave heating and drying of drilling fluids and drill cuttings." *Drying Technology*, v. 35, n. 9, p. 1130-1140, 2017.

SALOMON, F.C.R. "Revisão sistemática de estudos de avaliação econômica sobre o uso do brometo de tiotrópio para o tratamento da doença pulmonar obstrutiva crônica." Tese de Doutorado., 2013.

SAMPAIO, R.F.; MANCINI, M.C. "Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica." *Revista brasileira de fisioterapia*, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007.

SANTOS, J.M.; PEREIRA, M.S.; JÚNIOR, I.P.; PENA, M.M.R.; ATAÍDE, C.H. "Microwave drying of drilled cuttings in the context of waste disposal and drilling fluid recovery." *Energy Technology*, v. 2, n. 9-10, p. 832-838, 2014.

SANTOS, J.M.; PETRI, I.J.; MOTA, A.C.S; MORAIS, A.S.; ATAÍDE, C.H. "Optimization of the batch decontamination process of drill cuttings by microwave heating." *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Minas Gerais, 2018.

SENAI. "Departamento Regional de Pernambuco." *Manual para pesquisa de patentes*. SENAI/DITEC/GED, Recife, 23p., 2017.

SHANG, H.; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; ROBINSON, J.P. "Reactors effects on microwave decontamination of oily wastes in a multimode cavity." *Industrial & engineering chemistry research*, v. 46, n. 14, p. 4811-4818, 2007a.

SHANG, H.; ROBINSON, J.P.; KINGMAN, S.W.; SNAPE, C.E.; WU, Q. "Theoretical study of microwave enhanced thermal decontamination of oil contaminated waste." *Chemicalengineering & technology*, v. 30, n. 1, p. 121-130, 2007b.

SHANG, H.; SNAPE, C.E.; KINGMAN, S.W.; ROBINSON, J.P. "Microwave treatment of oil-contaminated North Sea drill cuttings in a high power multimode cavity." *Separation and purification technology*, v. 49, n. 1, p. 84-90, 2006.

—. "Treatment of oil-contaminated drill cuttings by microwave heating in a high-power single-mode cavity." *Industrial & engineering chemistry research*, v. 44, n. 17, p. 6837-6844, 2005.

THE UNIVERSITY OF NOTTINGHAM. "Christopher Dodds; Georgios Dimitrakis; Sam Kingman. Microwave processing of feedstock, such as exfoliating vermiculite and other minerals, and treating contaminated materials." US8728348, 18 dec. 2009, 24 jun. 2010.

UNIPEG. "Fluidos de perfuração." Disponível em: <<http://unipeg1.blogspot.com/2010/03/fluidos-de-perfuracao.html>>. Acesso em: mar. 2018, 2018.

UTARP. "Limpeza de tanques." 2018. Disponível em: <<http://www.utarp.com.br/lista-servicos/limpeza-de-tanques/>>. Acesso em: mar. 2018, 2018.

VEDENKIN, D.A.; SAMOSHIN, R.E.; ZUEV, O. Y. "Processing of oil sludge using microwave energy." In: *Antenna Theory and Techniques (ICATT)*, 2015 International Conference on. IEEE, p. 1-3, 2015.

VEIL, J.A. "Drilling waste management: past, present, and future." In: *SPE annual technical conference and exhibition*. Society of Petroleum Engineers, 2002.

VELASCO, H.; DE RADA, A.D. "La lógica de la investigación etnográfica." Madrid: Trotta, 1997.

VINUTO, J. "A amostragem em bola de neve na pesquisa qualitativa: um debate em aberto." *Temáticas*, n. 44, 2016.

WAIT, S.T.; THOMAS, D. "The characterisation of base oil recovered from the low temperature thermal desorption of drill cuttings." In: SPE/EPA/DOE Exploration and Production Environmental Conference. Society of Petroleum Engineers, 2003.

WANG, W.F.; LI, G.; YONG, X.Y.; LIU, P.; ZHANG, X.F. "The Features of Microwave Thermal Conversion of Oil Sludge." In: Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications, p. 788-791, 2012.

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. "Inside WIPO." Disponível em: <<http://www.wipo.int/about-wipo/en/>>. Acesso em: mar. 2018.

ZHANG, H.; WEI, H.; YANG, Q.I.; XIAO, J.; LIU, Y. "Microwave treatment technology for oil contaminated drill cuttings." In: Vacuum Electronics Conference (IVEC), 2015 IEEE International. IEEE, p. 1-2., 2015.

ZUPAN, T.; KAPILA, M. "Thermal desorption of drill muds and cuttings in Ecuador: the environmental and financially sound solution." In: SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Society of Petroleum Engineers, 2000.

## APÊNDICE A – Relação dos artigos avaliados e descartados na Fase 1 da metodologia proposta (continua)

Tabela 3 – Relação de artigos (continua)

Item	Título do artigo
1	<i>A Comparative Study of Conventional and Microwave Sintering of BaCe<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>O<sub>3-δ</sub> Ceramic</i>
2	<i>A Comparative Study of Conventional and Microwave-Assisted Synthesis of Quinoxaline 1,4-di-N-oxide N-acylhydrazones Derivatives Designed as Antitubercular Drug Candidates</i>
3	<i>A constraint on the integrated mass power spectrum out to z = 1100 from lensing of the cosmic microwave background</i>
4	<i>A Green Protocol for Microwave-Assisted Extraction of Volatile Oil Terpenes from Pterodon emarginatus Vogel. (Fabaceae)</i>
5	<i>A new technology of microwave treatment of oil contaminated drilling waste in a single mode cavity</i>
6	<i>A review of microwave coal processing</i>
7	<i>A study of the galaxy redshift distribution towards the cosmic microwavebackground cold spot in the Corona Borealis supercluster</i>
8	<i>A Study on Harmless and Recyclable Treatment of Oil Sludge</i>
9	<i>A system for traceable measurement of the microwave complex permittivity of liquids at high pressures and temperatures</i>
10	<i>Adsorption of Trimethyltin, Arsenic (v), Zinc and Copper by Palm Oil Mill Sludge Biochar Prepared by Microwave</i>
11	<i>Adsorption of trimethyltin, arsenic and zinc by palm oil mill sludge biochar prepared by microwave</i>
12	<i>Alternative igniters based on oxidant salts for microwave-induced combustion method</i>
13	<i>An Experimental Study on Microwave Treatment of Watery Sludge for Oil Fields</i>
14	<i>An integrated flow and microwave approach to a broad spectrum protein kinase inhibitor</i>
15	<i>Analysis of drilling fluid base oil recovered from drilling waste by thermal desorption</i>
16	<i>Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric particulate samples bymicrowave-assisted extraction and liquid chromatography</i>
17	<i>Analyzing the inundation pattern of the poyang lake floodplain by passive microwave data</i>
18	<i>Antiangiogenic evaluation of ZnWO<sub>4</sub> nanoparticles synthesised through microwave-assisted hydrothermal method</i>
19	<i>Application of Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub> photocatalyst prepared by microwave-assisted hydrothermal route in the degradation of organic pollutant under sunlight</i>
20	<i>Behaviors of young children around microwave ovens</i>
21	<i>Benzyl benzoate and dibenzyl ether from of benzoic acid and benzyl alcohol under microwave irradiation using a SiO<sub>2</sub>-SO<sub>3</sub>H catalyst</i>
22	<i>Betulinic acid from Zizyphus Joazeiro bark using focused microwave-Assisted extraction and response surface methodology</i>
23	<i>Bromine and chlorine determination in cigarette tobacco using microwave-induced combustion and inductively coupled plasma optical emission spectrometry</i>
24	<i>Bromine, Chlorine, and Iodine Determination in Soybean and its Products by ICP-MS After Digestion Using Microwave-Induced Combustion</i>

## APÊNDICE A – Relação dos artigos avaliados e descartados na Fase 1 da metodologia proposta (continuação)

Tabela 3 – Relação de artigos (continuação)

---

25	<i>Characterization of SrTiO<sub>3</sub> thin films at microwave frequencies using coplanar waveguide linear resonator method</i>
26	<i>Chloride determination by ion chromatography in petroleum coke after digestion by microwave-induced combustion</i>
27	<i>Chlorine determination in crude oil fractions after digestion using microwave-induced combustion</i>
28	<i>Combining autohydrolysis and ionic liquid microwave treatment to enhance enzymatic hydrolysis of Eucalyptus globulus wood</i>
29	<i>Conjugation of optical and microwave techniques to monitor the early age concrete cure</i>
30	<i>Conventional and microwave-assisted pyrolysis of rapeseed oil for bio-fuel production</i>
31	<i>Decontamination of polyaromatic hydrocarbons from soil by steam stripping: mathematical modelling of the mass transfer and energy requirement</i>
32	<i>Demulsification of water-in-crude oil emulsions using single mode and multimode microwave irradiation</i>
33	<i>Design and production of an environmental protecting sensor by high-frequency microwave to measure complex permittivity of a soil-water system</i>
34	<i>Design of a microwave applicator for water sterilization using multiobjective optimization and phase control scheme</i>
35	<i>Determination of Cl and S in edible seaweed by ion chromatography after decomposition by microwave-induced combustion</i>
36	<i>Determination of Cl, Br and I in soils by ICP-MS: microwave-assisted wet partial digestion using H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in an ultra-high pressure system</i>
37	<i>Determination of halogens and sulfur in pitch from crude oil by plasma-based techniques after microwave-induced combustion</i>
38	<i>Determination of macroelements and microelements in flos sophorae by ICP-OES with microwave digestion</i>
39	<i>Determination of metals and metalloids in light and heavy crude oil by ICP-MS after digestion by microwave-induced combustion</i>
40	<i>Determination of the chemical and mineralogical composition of drilled cuttings at different points throughout the solids control process</i>
41	<i>Determination of total organic halogen (TOX) in humic acids after microwave-induced combustion</i>
42	<i>Development and evaluation of a continuous microwave processing system for hydrocarbon removal from solids</i>
43	<i>Development of adaptive technology for treatment of hydrocarbon waste petrochemicals with the use electromagnetic microwave radiation, Thesis for the Candidate of Technical Sciences degree</i>
44	<i>Development of microwave assisted oxidative desulfurization of petroleum oils: A review</i>
45	<i>Development of microwave induced hydrodesulfurization of petroleum streams: A review</i>
46	<i>Development of microwave treatment technique for oil contaminated drill cuttings</i>
47	<i>Dielectric, magnetic and microwave absorbing properties of polyaniline</i>
48	<i>Different effects on microwave drying of drilled cuttings</i>
49	<i>Dimension Optimization for Silica Sand Based on the Analysis of Dynamic Absorption Efficiency in Microwave Drying</i>
50	<i>Discharge practices and standards for offshore operation around the world</i>

---

## APÊNDICE A – Relação dos artigos avaliados e descartados na Fase 1 da metodologia proposta (continuação)

Tabela 3 – Relação de artigos (continuação)

---

51	<i>Disposal of drill cuttings: offshore implications</i>
52	<i>Drilling waste management—the potential for zero landfill</i>
53	<i>Dynamic absorption efficiency of sodium chloride in microwave drying</i>
54	<i>E&amp;P waste management in the Orinoco delta.</i>
55	<i>Ecofriendly Porphyrin Synthesis by using Water under Microwave Irradiation</i>
56	<i>Economic Feasibility Analysis of the Industrial Production of Fish Protein Hydrolysates using Conceptual Process Simulation Software</i>
57	<i>Effect of additives on the microwave-assisted pyrolysis of sawdust</i>
58	<i>Effect of agglomerate size on oil removal during microwave treatment of oil contaminated drill cuttings</i>
61	<i>Effect of microwave irradiation on hydrogen sorption properties of hand mixed MgH<sub>2</sub>–10 wt.% carbon fibers</i>
59	<i>Effect of particle size of starting oxide powders on the performance of doped-lanthanum oxyapatite produced by mechanical alloying followed by microwavesintering</i>
60	<i>Effect of microwave irradiation and water storage on the viscoelastic properties of denture base and reline acrylic resins</i>
62	<i>Effect of microwave irradiation on the viscosity of crude oil: A view at the molecular level</i>
63	<i>Effects of microwave-assisted annealing on the morphology and electrical performance of semiconducting polymer thin films</i>
64	<i>Electromagnetic and thermal history during microwave heating</i>
65	<i>Electromagnetic simulations of microwave heating experiments using reaction vessels made out of silicon carbide</i>
66	<i>Electronic structure and magnetic properties of FeWO<sub>4</sub> nanocrystals synthesized by the microwave-hydrothermal method</i>
67	<i>Endocrine-Disrupting Chemical Degradation in Hazardous Waste Using Microwave Peroxide Oxidation and Acid</i>
68	<i>Energy efficiency 1: Microwave magic</i>
69	<i>Enhanced 'in situ' catalysis via microwave selective heating: Catalytic chain transfer polymerisation</i>
70	<i>Enhancing evaporative mass transfer and steam stripping using microwave heating</i>
71	<i>Erratum: Microwave-absorption properties of ZnO-coated iron nanocapsules (Applied Physics Letters (2008) 92 (173117))</i>
72	<i>Estimation of a novel method to produce bio-oil from sewage sludge by microwave pyrolysis with the consideration of efficiency and safety</i>
73	<i>Evaluation of bromine and iodine content of milk whey proteins combining digestion by microwave-induced combustion and ICP-MS determination</i>
74	<i>Evaluation of hardwood and softwood fractionation using autohydrolysis and ionic liquid microwave pretreatment</i>
75	<i>Evaluation of nitrates as igniters for microwave-induced combustion: Understanding the mechanism of ignition</i>

---

## APÊNDICE A – Relação dos artigos avaliados e descartados na Fase 1 da metodologia proposta (continuação)

Tabela 3 – Relação de artigos (continuação)

---

76	<i>Exploring cosmic origins with CORE: Extragalactic sources in cosmic microwave background maps</i>
77	<i>Facile microwave-assisted synthesis of lanthanide doped CaTiO<sub>3</sub> nanocrystals</i>
78	<i>Fast and efficient microwave-assisted synthesis of CaTiO<sub>3</sub></i>
79	<i>Fast microwave-assisted catalytic pyrolysis of sewage sludge for bio-oil production</i>
80	<i>Fast microwave-assisted resolution of (±)-cyanohydrins promoted by lipase from <i>Candida antarctica</i></i>
81	<i>Feasibility of halogen determination in noncombustible inorganic matrices by ion chromatography after a novel volatilization method using microwave-induced combustion</i>
82	<i>Feasibility of microwave-induced combustion for digestion of crude oil vacuum distillation residue for chlorine determination</i>
83	<i>FeCo/ZnO composites with enhancing microwave absorbing properties: Effect of hydrothermal temperature and time</i>
84	<i>Ferroelectric properties and leakage current characteristics of Bi<sub>3.25</sub>, La<sub>0.75</sub>, Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> thin films prepared by the polymeric precursor method</i>
85	<i>Fluorescence and microwave-absorption properties of multi-functional ZnO-coated α-Fe solid-solution nanocapsules</i>
86	<i>Focused microwave-induced combustion for digestion of botanical samples and metals determination by ICP OES and ICP-MS</i>
87	<i>Geographical Characterization of Beans Based on Trace Elements After Microwave-Assisted Digestion Using Diluted Nitric Acid</i>
88	<i>Hazardous waste. Industrial Waste Treatment. Contemporary Practice and Vision for the Future</i>
89	<i>Heat and mass transfer during microwave steam treatment of contaminated soils</i>
90	<i>Hexagonal-cone like of Fe<sub>50</sub>Co<sub>50</sub> with broad frequency microwave absorption: Effect of ultrasonic irradiation time</i>
91	<i>High rate growth of nanocrystalline diamond films using high microwave power and pure nitrogen/methane/hydrogen plasma</i>
92	<i>Impact of Oil Composition on Microwave Heating Behavior of Heavy Oils</i>
93	<i>Improved waste-activated sludge dewatering using sludge/oil emulsion, ultrasonic and microwave technologies</i>
94	<i>In vivo evaluation of lung microwave ablation in a porcine tumor mimic model</i>
95	<i>Inducing fractures and increasing cleat apertures in a bituminous coal under isotropic stress via application of microwave energy</i>
96	<i>Industrial Microwave Heating</i>
97	<i>Influence of gas and treatment time on the surface modification of EPDM rubber treated at afterglow microwave plasmas</i>
98	<i>Influence of materials dielectric properties on the petroleum oil removal from waste under microwave irradiation</i>
99	<i>Influence of the synthesis media in the properties of CuO obtained by microwave-assisted hydrothermal method</i>
100	<i>Investigation into the depolymerisation of poly(lactic acid) using microwave heating</i>
101	<i>Investigation into the mechanisms by which microwave heating enhances separation of water-in-oil emulsions</i>

---

## APÊNDICE A – Relação dos artigos avaliados e descartados na Fase 1 da metodologia proposta (continuação)

Tabela 3 – Relação de artigos (continuação)

---

102	<i>Investigation of microwave photonic filter based on multiwavelength phase modulation and spectral shaping</i>
103	<i>Kinetic Parameters of the Initiator Decomposition in Microwave and in Conventional Batch Reactors - KPS and V50-Case Studies</i>
104	<i>Kinetics of microwave heating and drying of drilling fluids and drill cuttings</i>
105	<i>Large Bandwidth Photonic Microwave Image Rejection Mixer With High Conversion Efficiency</i>
106	<i>Large-range switchable microwave &amp; millimeter-wave signal generator based on a triple-wavelength fiber laser</i>
107	<i>live Oil Total Phenolic Contents and Sensory Sensations Trends during Oven and Microwave Heating Processes and Their Discrimination Using an Electronic Tongue</i>
108	<i>Low energy consumption synthesis of nanostructured TiO<sub>2</sub> particles by combining oxidant peroxide method and microwave-assisted hydrothermal treatment</i>
109	<i>Magnetic and dielectric properties of the M-type barium strontium hexaferrite (Ba x Sr<sub>1-x</sub> Fe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>) in the RF and microwave (MW) frequency range</i>
110	<i>Magnetically separable graphene oxide anchored sulfonic acid: a novel, highly efficient and recyclable catalyst for one-pot synthesis of 3,6-di(pyridin-3-yl)-1H-pyrazolo[3,4-b]pyridine-5-carbonitriles in deep eutectic solvent under microwave irradiation</i>
111	<i>Manufacture of Furfural from Xylan-containing Biomass by Acidic Processing of Hemicellulose-Derived Saccharides in Biphasic Media Using Microwave Heating</i>
112	<i>Mechanistic investigation into the accelerated synthesis of methacrylate oligomers via the application of catalytic chain transfer polymerization and selective microwave heating</i>
113	<i>Metals determination in milk powder samples for adult and infant nutrition after focused-microwave induced combustion</i>
114	<i>Methods for utilization of oily wastes</i>
115	<i>Microstructure and magneto-dielectric properties of ferrimagnetic composite GdIGX: YIG1- X at radio and microwave frequencies</i>
116	<i>Microwave application in the reduction of metal oxides</i>
117	<i>Microwave assisted pyrolysis of oil-contaminated drill cuttings</i>
118	<i>Microwave cuttings cleaning—development of the ‘Microtreat’ process</i>
119	<i>Microwave drying RDF (Refused Derived Fuel) evaluation of sewage sludge by combined with waste activated carbon and waste oil</i>
120	<i>Microwave Heat Treatment Process of Half-dried Oil Sludge Containing PAC</i>
121	<i>Microwave processing of oil contaminated drill cuttings</i>
122	<i>Microwave pyrolysis of automotive paint sludge (APS): effect of APS loading and absorber on oil yield</i>
123	<i>Microwave Pyrolysis Process of Deep Dried Oil Sludge Containing PAC</i>

---



## APÊNDICE A – Relação dos artigos avaliados e descartados na Fase 1 da metodologia proposta (continuação)

Tabela 3 – Relação de artigos (continuação)

---

124	<i>Microwave radiation in the oil and gas industry</i>
125	<i>Microwave techniques for gas-and-oil producing industry</i>
126	<i>Microwave treatment of minerals—a review</i>
127	<i>Microwave treatment of oil contaminated drill cuttings</i>
128	<i>Microwave coagulation versus sclerotherapy after band ligation to prevent recurrence of high risk of bleeding esophageal varices in Child-Pugh's A and B patients</i>
129	<i>Microwave detection of air showers with MIDAS</i>
130	<i>Microwave detection of air showers with the MIDAS experiment</i>
131	<i>Microwave Doppler radar in unobtrusive health monitoring</i>
132	<i>Microwave Drying of Drilled Cuttings in the Context of Waste Disposal and Drilling Fluid Recovery</i>
133	<i>Microwave drying remediation of petroleum-contaminated drill cuttings</i>
134	<i>Microwave fluidized bed for biomass pyrolysis. Part I: Process design</i>
135	<i>Microwave fluidized bed for biomass pyrolysis. Part II: Effect of process parameters</i>
136	<i>Microwave heating induces changes in the physicochemical properties of baru (<i>Dipteryx alata</i> Vog.) and soybean crude oils</i>
137	<i>Microwave hydrothermal synthesis of SnO<sub>2</sub> based ceramic nanocatalyst applied to the transesterification reaction of babassu oil</i>
138	<i>Microwave magic</i>
139	<i>Microwave processing of porcelain tableware using a multiple generator configuration</i>
140	<i>Microwave pyrolysis of biomass within a liquid medium</i>
141	<i>Microwave pyrolysis of biomass: Control of process parameters for high pyrolysis oil yields and enhanced oil quality</i>
142	<i>Microwave pyrolysis of wood pellets</i>
143	<i>Microwave remediation of hydrocarbon-contaminated soils - Scale-up using batch reactors</i>
144	<i>Microwave remediation of oil well drill cuttings</i>
145	<i>Microwave thermal remediation technique of organic contaminated soil</i>
146	<i>Microwave treatment of drilled cuttings contaminated by synthetic drilling fluid</i>
147	<i>Microwave treatment of oil contaminated drill cuttings - Towards a commercial scale system</i>
148	<i>Microwave treatment of oil-contaminated drill cuttings at pilot scale</i>
149	<i>Microwave treatment of oil-contaminated North Sea drill cuttings in a high power multimode cavity</i>

---

## APÊNDICE A – Relação dos artigos avaliados e descartados na Fase 1 da metodologia proposta (continuação)

Tabela 3 – Relação de artigos (continuação)

---

150	<i>Microwave vitrification for lightweight aggregate manufacture</i>
151	<i>Microwave-absorption properties of ZnO-coated iron nanocapsules</i>
152	<i>Microwave-Assisted Digestion Using Diluted Nitric Acid for Multi-element Determination in Rice by ICP OES and ICP-MS</i>
153	<i>Microwave-assisted diluted acid digestion for trace elements analysis of edible soybean products</i>
154	<i>Microwave-Assisted Extraction of Lipids from Wet Microalgae Paste: A Quick and Efficient Method</i>
155	<i>Microwave-assisted extraction of three bioactive alkaloids from Peganum harmala L. and their acaricidal activity against Psoroptes cuniculi in vitro</i>
156	<i>Microwave-assisted nickel and vanadium removal from crude oil</i>
157	<i>Microwave-assisted procedure for salinity evaluation of heavy crude oil emulsions</i>
158	<i>Microwave-assisted solvothermal preparation of nitrogen and sulfur co-doped reduced graphene oxide and graphene quantum dots hybrids for highly efficient oxygen reduction</i>
159	<i>Microwave-assisted stripping of oil contaminated drill cuttings</i>
160	<i>Microwave-assisted synthesis and photophysical studies of novel fluorescent N-acylhydrazone and semicarbazone-7-OH-coumarin dyes</i>
161	<i>Microwave-assisted synthesis of graphene nanosheets-gold nanocomposites with enhancing electrochemical response</i>
162	<i>Microwave-assisted synthesis of new N 1, NN 4- substituted thiosemicarbazones</i>
163	<i>Microwave-assisted ultraviolet digestion: An efficient method for the digestion of produced water from crude oil extraction and further metal determination</i>
164	<i>Microwave-induced combustion of carbon nanotubes for further halogen determination</i>
165	<i>Microwave-induced combustion of crude oil for further rare earth elements determination by USN-ICP-MS</i>
166	<i>Microwave-induced combustion: Thermal and morphological aspects for understanding the mechanism of ignition process for analytical applications</i>
167	<i>Mini-project for teaching experimental organic chemistry based on N-C cross-coupling promoted by microwave</i>
168	<i>Modeling and reconstruction of time series of passive microwave data by Discrete Fourier Transform guided filtering and Harmonic Analysis</i>
169	<i>Multi-elemental analysis of ready-to-eat "baby leaf" vegetables using microwavedigestion and high-resolution continuum source atomic absorption spectrometry</i>
170	<i>Multitechnique Determination of Halogens in Soil after Selective Volatilization Using Microwave-Induced Combustion</i>
171	<i>MWR: Microwave Radiometer for the Juno Mission to Jupiter</i>
172	<i>New cuttings handling technology improves both drilling performance and safety on Britannia platform</i>
173	<i>Nickel, vanadium and sulfur determination by inductively coupled plasma optical emission spectrometry in crude oil distillation residues after microwave-induced combustion</i>

---

## APÊNDICE A – Relação dos artigos avaliados e descartados na Fase 1 da metodologia proposta (continuação)

Tabela 3 – Relação de artigos (continuação)

---

174	<i>Novel and fast microwave-assisted synthesis of carbon quantum dots from raw cashew gum</i>
175	<i>Novel Gd(OH)<sub>3</sub>, GdOOH and Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanorods: Microwave-Assisted Hydrothermal Synthesis and Optical Properties</i>
176	<i>Novel two-step processing route combining mechanical alloying and microwave hybrid sintering to fabricate dense La<sub>9</sub>. 33Si<sub>2</sub>Ge<sub>4</sub>O<sub>26</sub> for SOFCs</i>
177	<i>Oil-based drilling fluid oil drill cuttings treatment and disposal technology</i>
178	<i>Olive Oil Total Phenolic Contents and Sensory Sensations Trends during Oven and Microwave Heating Processes and Their Discrimination Using an Electronic Tongue</i>
179	<i>One-pot in situ molten salt synthesis of octahedral Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> for efficient microwave absorption application</i>
180	<i>Optimization of the batch decontamination process of drill cuttings by microwaveheating</i>
181	<i>Physical properties of cuttings,drilling fluid and organic phase recovered in the drying operation in oil and gas well drilling</i>
182	<i>Photon-assisted-tunneling in a coupled double quantum dot under high microwaveexcitation powers</i>
183	<i>Planck early results. XX. New light on anomalous microwave emission from spinning dust grains</i>
184	<i>Planck intermediate results. XV. A study of anomalous microwave emission in Galactic clouds</i>
185	<i>Planck intermediate results: LI. Features in the cosmic microwave background temperature power spectrum and shifts in cosmological parameters</i>
186	<i>Power-dependent conductivity of electrolyte aqueous solutions under microwaveirradiation at 915 MHz: An experimental study</i>
187	<i>Preparation of activated carbon from babassu endocarp under microwave radiation by physical activation</i>
188	<i>Preparation of Biochar with Palm Oil Mill Sludge by using Microwave for Copper Removal</i>
189	<i>Probing energy spectrum of quadruple quantum dots with microwave field</i>
190	<i>Processing materials with microwave energy</i>
191	<i>Quantification of tissue shrinkage and dehydration caused by microwave ablation: Experimental study in kidneys for the estimation of effective coagulation volume</i>
192	<i>Quantitative microwave backscatter measurements from the ocean surface using digital marine radar images</i>
193	<i>QUIJOTE scientific results-I. Measurements of the intensity and polarisation of the anomalous microwave emission in the Perseus molecular complex</i>
194	<i>Rapid preparation of (BiO)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> nanosheets by microwave-assisted hydrothermal method with promising photocatalytic activity under UV-Vis light</i>
195	<i>Rapid pyrolysis of sewage sludge for the production of bio-oil and syngas under microwave radiation</i>
196	<i>Rapid microwave-assisted synthesis of zirconium aluminide</i>

---

## APÊNDICE A – Relação dos artigos avaliados e descartados na Fase 1 da metodologia proposta (continuação)

Tabela 3 – Relação de artigos (continuação)

---

197	<i>Rare earth element determination in heavy crude oil by USN-ICP-MS after digestion using a microwave-assisted single reaction chamber</i>
198	<i>Reactor design of microwave assisted Demetallization of heavy crude oil</i>
199	<i>Reactors effects on microwave decontamination of oily wastes in a multimode cavity</i>
200	<i>Reconfiguring the frequency response of dispersive-channel radio over fiber systems by using fiber photonic filters: Application to transmission of multiplexedmicrowave subcarriers</i>
201	<i>Remarkable transmission of microwaves through a wall of long metallic bricks</i>
202	<i>Remediation of oil-contaminated drill cuttings using continuous microwave heating</i>
203	<i>Research of oil sludge decomposition by microwave beams bombarding</i>
204	<i>Research on the heavy metal's reduction from crude oils using microwave heating</i>
205	<i>Research Progress on Resource Recycling Technology of Oily Sludge</i>
206	<i>Rheological study of a water based oil well drilling fluid</i>
207	<i>Role of high microwave power on growth and microstructure of thick nanocrystalline diamond films: A comparison with large grain polycrystalline diamond films</i>
208	<i>Scale-up and design of a continuous microwave treatment system for the processing of oil-contaminated drill cuttings</i>
209	<i>Scale-up of microwave heating process for the production of bio-oil from sewage sludge</i>
210	<i>Seafood digestion by microwave-induced combustion for total arsenic determination by atomic spectrometry techniques with hydride generation</i>
211	<i>Search for microwave emission from ultrahigh energy cosmic rays</i>
212	<i>Sediment removal from crude oil emulsion using microwave radiation</i>
213	<i>Separation of heavy crude oil emulsions using microwave radiation for further crude oil analysis</i>
214	<i>Separation of oil/water emulsions in continuous flow using microwave heating</i>
215	<i>Separation of Oil-Water-Sludge Emulsions Coming From Palm Oil Mill Process Through Microwave Techniques</i>
216	<i>Separation of polyaromatic hydrocarbons from contaminated soils using microwaveheating</i>
217	<i>Simulation and control of continuous glass melting by microwave heating in a single-mode cavity with energy efficiency optimization</i>
218	<i>Solid-acid-catalyzed esterification of oleic acid assisted by microwave heating</i>
219	<i>Solventless metallation of low melting porphyrins synthesized by the water/microwave method</i>
220	<i>Sphere-Enhanced Microwave Ablation (sMWA) Versus Bland Microwave Ablation (bMWA): Technical Parameters, Specific CT 3D Rendering and Histopathology</i>
221	<i>Static magnetic and microwave absorption properties of FeCo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites synthesized by high-energy ball milling method</i>
222	<i>Structural, physical, and chemical modifications induced by microwave heating on native agar-like galactans</i>

---

## APÊNDICE A – Relação dos artigos avaliados e descartados na Fase 1 da metodologia proposta (continuação)

Tabela 3 – Relação de artigos (continuação)

---

223	<i>Studies of anomalous microwave emission (AME) with the SKA</i>
224	<i>Study on demulsification of crude oil emulsions by microwave radiation</i>
225	<i>Study on the temperature uniformity of water with rotation or stir under microwave heating</i>
226	<i>Study on microwave hydrolysis for the analysis of amino acids in egg by high performance liquid chromatography</i>
227	<i>Superconducting evidence of a processed Nb<sub>2</sub>/GeC compound under a microwave heating</i>
228	<i>Supported molybdenum on graphene oxide/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>: An efficient, magnetically separable catalyst for one-pot construction of spiro-oxindole dihydropyridines in deep eutectic solvent under microwave irradiation</i>
229	<i>Sustainable production of levulinic acid from the cellulosic fraction of pinus pinaster wood: Operation in aqueous media under microwave irradiation</i>
230	<i>Synthesis and structural characterization of highly <math>\langle 1\ 0\ 0 \rangle</math>-oriented <math>\{1\ 0\ 0\}</math>-faceted nanocrystalline diamond films by microwave plasma chemical vapor deposition</i>
231	<i>Synthesis of distinctly thiol-capped CdTe quantum dots under microwave heating: multivariate optimization and characterization</i>
232	<i>Synthesis of melamine super plasticizer by microwave</i>
233	<i>Synthesis of potassium niobates by the microwave-assisted solvothermal method</i>
234	<i>Synthesis of Zn-BTC metal organic framework assisted by a home microwave oven and their unusual morphologies</i>
235	<i>Synthesis of ZnCl<sub>2</sub>-activated carbon from macadamia nut endocarp (Macadamia integrifolia) by microwave-assisted pyrolysis: Optimization using RSM and methylene blue adsorption</i>
236	<i>Synthesis using microwave irradiation and antibacterial evaluation of new N,O-acetals and N,S-acetals derived from 2-amino-1,4-naphthoquinones</i>
237	<i>Temperature influence on product distribution and characteristics of derived residue and oil in wet sludge pyrolysis using microwave heating</i>
238	<i>The application of microwave heating in bioenergy: A review on the microwave pre-treatment and upgrading technologies for biomass</i>
239	<i>The discharge of synthetic based mud cuttings offshore a legislative comparison between India and other parts of the world.</i>
240	<i>The eco-bio process—a break through technology in the treatment of oily wastewaters using biocatalysis</i>
241	<i>The influence of mineralogy on microwave assisted grinding</i>
242	<i>The microwave air yield beam experiment (MAYBE): Measurement of GHz radiation for ultra-high energy cosmic rays detection</i>
243	<i>The MIDAS experiment: A prototype for the microwave emission of Ultra-High Energy Cosmic Rays</i>
244	<i>The MIDAS telescope for microwave detection of ultra-high energy cosmic rays</i>
245	<i>The numerical analysis of non-polar solvent heated by microwave indirectly</i>
246	<i>The potential for rapid coke making using microwave energy</i>

---

## APÊNDICE A – Relação dos artigos avaliados e descartados na Fase 1 da metodologia proposta (conclusão)

Tabela 3 – Relação de artigos (conclusão)

---

247	<i>The practical application of microemulsion technology for waste minimisation offshore</i>
248	<i>The State-of-Play of Anomalous Microwave Emission (AME) research</i>
249	<i>The synergic effect of microwave and ultraviolet radiation for chocolate digestion and further determination of As, Cd, Ni and Pb by ICP-MS</i>
250	<i>Theoretical study of microwave enhanced thermal decontamination of oil contaminated waste</i>
251	<i>Thermal desorption and pyrolysis of oil contaminated drill cuttings by microwave heating</i>
252	<i>Thermal treatment of soils contaminated with gas oil: influence of soil composition and treatment temperature</i>
253	<i>Thickness Optimization for Petroleum Coke in Microwave Dehydrating Based on the Analysis of Dynamic Absorption Efficiency</i>
254	<i>TiO<sub>2</sub> synthesized by microwave assisted solvothermal method: Experimental and theoretical evaluation</i>
255	<i>Treatment of Oil Contaminated Drill Cuttings Using Supercritical Carbon Dioxide</i>
256	<i>Treatment of oil-contaminated drill cuttings by microwave heating in a high-power single-mode cavity</i>
257	<i>Tunable interdigital capacitors at microwave frequency</i>
258	<i>Ultraviolet radiation combined with microwave-assisted wet digestion of Antarctic seaweeds for further determination of toxic elements by ICP-MS</i>
259	<i>Understanding microwave heating cavities</i>
260	<i>Understanding the acceleration in the ring-opening of lactones delivered by microwave heating</i>
261	<i>Understanding microwave heating effects in single mode type cavities - Theory and experiment</i>
262	<i>Valorization of sugar cane bagasse and jatropha curcas cake: Production of a biocrude by acetylation reaction under microwave radiation</i>
263	<i>Very small array observations of the anomalous microwave emission in the perseus region</i>
264	<i>Wave-transparent property of aluminosilicate/zirconia fiberboard in microwave heating</i>

---

Fonte: A autora com os dados da literatura científica, 2018.