



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
CENTRO DE ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

WIRLY MARIA LEMOS CELEDONIO

**ÓLEO DIESEL/ TENSOATIVO NÃO IÔNICO/ ÁGUA: COMPORTAMENTO DE
FASES**

MOSSORÓ - RN

2018

WIRLY MARIA LEMOS CELEDONIO

**ÓLEO DIESEL/ TENSOATIVO NÃO IÔNICO/ ÁGUA: COMPORTAMENTO DE
FASES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal Rural do
Semi-Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Reginaldo
Fernandes.

MOSSORÓ

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C3920 Celedônio, Wirly Maria Lemos.
Óleo diesel/ tensoativo não iônico/ água:
comportamento de fases / Wirly Maria Lemos
Celedônio. - 2018.
38 f. : il.

Orientador: Manoel Reginaldo Fernandes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Química, 2018.

1. Microemulsão. 2. Diagrama de fasea. 3. Óleo
diesel. I. Fernandes, Manoel Reginaldo, orient.
II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

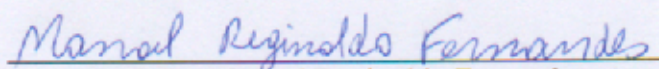
WIRLY MARIA LEMOS CELEDONIO

**ÓLEO DIESEL/ TENSOATIVO NÃO IÔNICO/ ÁGUA: COMPORTAMENTO DE
FASES**

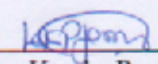
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal Rural do
Semi-Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

APROVADA EM: 14 / 09/ 2 018.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Manoel Reginaldo Fernandes
Presidente


Prof^ª. Dr^ª. Geraldine Angélica Silva da Nobrega (UFERSA)
Membro Examinador


Prof^ª. Dr^ª. Kalyanne Keyly Pereira Gomes (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que é tudo na minha vida. Que esteve comigo em todos os momentos, a Quem eu sempre recorri e sempre obtive respostas. Sua infinita misericórdia e Seu amor fazem de mim quem eu sou.

Agradeço aos meus pais, Maria Ester Lemos da Silva e Silva e José Justino da Silva, que sempre se esforçaram muito pelos meus estudos. Ver o quanto eles batalharam me tornou o que sou hoje. Sempre me amaram acima de tudo. Tudo que eu faço é por vocês.

Agradeço a todos os meus irmãos, que sempre me apoiaram e estiveram comigo em todas minhas decisões.

Agradeço ao meu querido orientador, Prof. Dr. Manoel Reginaldo Fernandes, que se mostrou muito prestativo e paciente durante toda essa jornada. Suas críticas construtivas e seu apoio as minhas ideias engrandeceram esse trabalho. Deixo registrada toda a minha admiração por você, que além de uma pessoa maravilhosa e extremamente bondosa, é um profissional muito competente.

Agradeço a Banca Examinadora pela leitura atenta e pelas contribuições confiáveis e valiosas, além da honra da presença por ocasião da minha defesa do trabalho.

Agradeço a todos os professores da UFRSA que contribuíram no meu crescimento como acadêmica. Cada um deixou em mim uma parcela de conhecimento, a qual levarei comigo para sempre.

A toda minha família e pessoas, que de alguma forma estiveram comigo nessa jornada.

“Aqueles que abrem mão da liberdade essencial por um pouco de segurança temporária não merecem nem liberdade nem segurança”.

Benjamin Franklin

RESUMO

Com o passar dos anos, tornou-se passível de observação uma maior demanda por combustíveis limpos e eficientes que não sejam derivados do petróleo. Isso devido ao crescimento da poluição mundial e um consequente aumento do aquecimento global, causada pela queima do combustível hidrocarbonado, como também em função das reservas petrolíferas possuírem vida finita. A pesar dos esforços realizados também na mecânica dos motores diesel, estes ainda são grandes poluidores, principalmente de fuligem e gases como monóxidos de carbono, óxidos de enxofre e de nitrogênio e hidrocarbonetos. Sendo assim estudos vem sendo realizados para substituição desses combustíveis por diversos outros tipos como: o biodiesel, misturas diesel/biodiesel, misturas etanol/diesel, combustíveis emulsionados e microemulsionados. O presente estudo terá como finalidade a obtenção de diagramas ternários diesel/tensoativo/água visando uma região de microemulsão para uso como combustível em motores de ignição por compressão.

Palavras-chave: Microemulsão, Diagrama de Fases, Diesel

ABSTRACT

Over the years, increased demand for clean and efficient non-oil fuels has become noticeable due to the increase in global pollution and a consequent increase in global warming caused by the burning of hydrocarbon fuel as also due to the oil reserves having a finite life. Despite the efforts also made in the mechanics of diesel engines, they are still large polluters, mainly soot and gases such as carbon monoxide, sulfur oxides and nitrogen oxides and hydrocarbons. Therefore, studies have been carried out to replace these fuels with several other types such as: biodisel, diesel / biodiesel blends, ethanol / diesel blends, emuticated and microemulsified fuels. The present study will have the purpose of obtaining ternary diesel / surfactant / water diagrams targeting a region of microemulsion for use as fuel in compression ignition engines.

Keywords: Microemulsion, Ternary Diagram, Diesel

Lista de Figuras

Figura 1 - Evolução do consumo de diesel e atividade econômica	13
Figura 2 - Representação de uma molécula de tensoativo.....	15
Figura 3 – Representação de um tensoativo aniônico	17
Figura 4 – Representação de um tensoativo catiônico.	18
Figura 5 – Representação da molécula de tensoativo não-iônico.....	19
Figura 6 – Representação da molécula de tensoativo anfótero.	19
Figura 7 – Representação de um sistema bicontínuo.	21
Figura 8 – Classificação de Winsor	22
Figura 9 – Representação do diagrama ternário mostrando zona de microemulsão.	24
Figura 10 – Diagrama pseudoternário com relação cotensoativo/tensoativo e classificação de Winsor.....	24
Figura 11 – Esquema gráfico do método de obtenção das regiões de microemulsão	28
Figura 12 – Diagrama ternário para tensoativo não-iônico Tween 80	30
Figura 13 – Diagrama Ternário para o tensoativo não-iônico Ultranex 60.....	31
Figura 14 - Diagrama Ternário para o tensoativo não-iônico Ultranex 110	32

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Escala de Griffin.....	16
Tabela 2 – principais diferenças entre emulsão e microemulsão.	20
Tabela 3 – Reagentes utilizados na obtenção dos diagramas ternários.	26
Tabela 4 – Equipamentos utilizados na obtenção dos diagramas de microemulsão	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
SCN	Sistema Nacional de Cultura
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBP	Instituto Brasileiro de Petróleo
NO _x	Número de Oxidação
T/O	Binário tensoativo/óleo
O/A	Binário óleo/água
A/O	Binário água/óleo
OD	Óleo Diesel
SO ₂	Dióxido de Enxofre
SO ₃	Trióxido de Enxofre
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S/A
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. Óleo Diesel.....	12
2.2. Tensoativos	14
2.2.1. Balanço Hidrofílico-Lipofílico (BHL)	16
2.2.2. Classificação dos tensoativos	17
2.2.2.1. Tensoativos iônicos	17
2.2.2.2. Tensoativos não-iônicos.....	18
2.2.2.3. Tensoativos anfóteros.....	19
2.3. Microemulsão.....	19
2.3.1. Sistema de Winsor.....	22
2.3.2. Diagramas Ternários	23
2.3.3. Fatores que influenciam no comportamento das regiões microemulsionadas	25
3. METODOLOGIA	26
3.1. Reagentes	26
3.2. Equipamentos	26
3.3. Obtenção do diagrama ternário	27
4. Resultados	28
4.1. Estudo dos tensoativos	28
4.2. Estudo dos diagramas de fases.....	29
4.2.1. Diagrama ternário para tensoativo Tween 80.....	29
4.2.2. Diagrama ternário para tensoativo não-iônico Ultranex 60	30
4.2.3. Diagrama ternário para tensoativo não-iônico Ultranex 110	32
4.3. Discussões	33
5. CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos pode ser observado uma crescente demanda por combustíveis, porém essa demanda tem sido atrelada ao um novo fator, sustentabilidade. A maior fonte de combustível hoje é o petróleo, tanto pela sua facilidade de manuseio quanto pela quantidade de derivados resultantes da sua destilação fracionada. Porém esta é uma fonte esgotável e que gera uma grande quantidade de poluentes.

Combustíveis de origem fóssil são grandes poluidores, visto que liberam para a atmosfera grandes quantidades de poluentes quando utilizados para gerar energia, pela queima direta ou pelo uso em motores de combustão interna. O óleo diesel, que é uma fração do petróleo, constitui-se basicamente de carbono e hidrogênio, e quantidades menores de outros compostos químicos, como nitrogênio, oxigênio e enxofre, além de metais que podem estar presentes sob a forma de sais de ácido orgânico, é utilizado nos motores de ignição por compressão e, também, um grande poluidor do meio ambiente, devido à emissão de gases e material particulado lançados na atmosfera.

A necessidade de se racionalizar o uso dos combustíveis convencionais já existentes, aliada ao aumento da eficiência dos motores atuais e à imposição de legislações rigorosas ao nível de controle de emissões e também a demanda crescente de energia, tanto nos países industrializados como nos países em desenvolvimento, tem exigido o desenvolvimento de combustíveis alternativos para uso em motores diesel.

O biodiesel é uma alternativa aos combustíveis derivados do petróleo, pode ser usado em qualquer veículo com motor diesel. Obtido a partir de fontes renováveis (girassol, soja, mamona e outras oleaginosas), é um combustível que emite menos poluentes, (monóxido de carbono, fumaça e hidrocarbonetos não queimados), entretanto sua queima resulta em acréscimo nas emissões de óxidos de nitrogênio, quando comparadas ao diesel (OZSEZEN et al., 2009, RAKOPOULOS et al., 2008).

Uma alternativa para que possamos atrelar a diminuição da emissão dos poluentes com a eficiência do motor são os combustíveis obtidos através de emulsões e microemulsões. Estudos mostram que a adição de água no diesel, na forma de microemulsão, reduz emissões de NOx, monóxido de carbono, fuligem, hidrocarbonetos, material particulado e também melhora a eficiência dos motores pela formação de vapores de água, em alta pressão, na câmara de combustão (ABU-ZAID, 2004).

As microemulsões e as emulsões são obtidas a partir de três constituintes: água, tensoativo e óleo; e às vezes quatro um cotensoativo. O tensoativo, por ser uma molécula que tem em sua estrutura uma parte polar e outra apolar proporciona a mistura do óleo na água de forma dispersa (DANTAS NETO et al., 2009).

De forma geral, as microemulsões são constituídas por nanogotas de um líquido imiscível disperso em outro, cuja a formação é possível devido a adição de compostos tensoativos, que estabilizam o sistema reduzindo a tensão interfacial entre dois líquidos imiscíveis. Devido a esta interface estável, a formação dos sistemas microemulsionados é espontânea e termodinamicamente estável, quando atingida a proporção adequada dos componentes.

Existem inúmeras vantagens na utilização desse processo de obtenção de combustível, entre elas, a utilização de recursos renováveis, a diminuição da viscosidade dos óleos vegetais, além de promover a diminuição da emissão de gases como monóxido de carbono (RIVAS et al., 2010). Por se tratar de um processo espontâneo à temperatura ambiente, a formação das microemulsões não consomem energia como também não ocorrem reações químicas, fazendo com que o custo com o processo seja inferior aos outros, como a Transesterificação (produção do biodiesel).

Sendo assim o presente trabalho terá como objetivo obter um combustível microemulsionado, derivado do diesel, através do estudo dos diagramas ternários construídos, escolher a melhor região de microemulsão e conseqüentemente o melhor combustível.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os principais temas norteadores do presente trabalho serão abordados nesse tópico, começando por uma explanação sobre o óleo diesel, seguindo por uma abordagem sobre tensoativos e os sistemas microemulsionados, incluindo seus conceitos e características, por fim iniciaremos a teoria sobre os diagramas ternários.

2.1. Óleo Diesel

O petróleo faz parte da vida do homem desde a antiguidade, onde foi utilizado pelos gregos e romanos para fins bélicos, pelos babilônios na construção civil, pelos egípcios no embalsamento de mortos e na construção das pirâmides e também por diversas outras civilizações antigas. Em meados do século XIX, surgiu nos Estados Unidos, a exploração comercial do petróleo, que foi utilizado como substituo para o óleo de baleia e o querosene obtido do carvão, tanto por ser mais barato como por ser melhor.

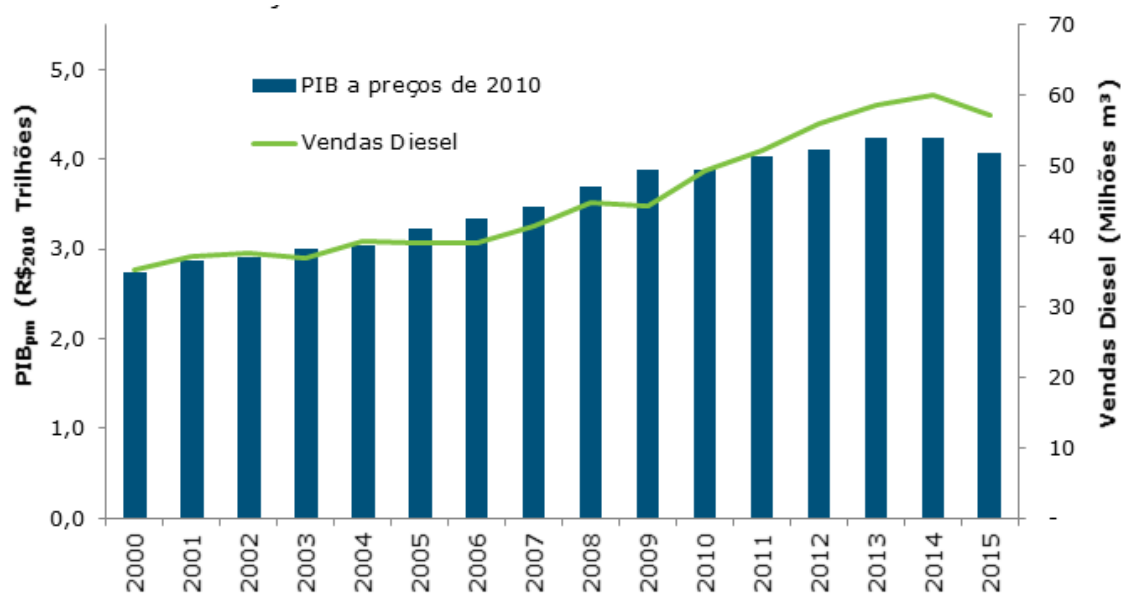
Com a invenção e implementação dos motores a gasolina e a diesel, além da descoberta das várias utilizações existentes para os derivados, fez com que o petróleo se tornasse uma fonte de energia bastante utilizada.

Segundo Thomas (2001), o petróleo possui como principais constituintes os hidrocarbonetos, além de uma pequena quantidade de enxofre, nitrogênio, oxigênio e metais. Seu estado físico pode ser gás, quando há um maior percentual de moléculas pequenas, ou na forma líquida, quando a mistura contém moléculas maiores. No estado líquido se apresenta como uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água e de cor variando entre o negro e castanho claro.

O óleo diesel é um combustível de composição complexa, obtido do petróleo através do processo de destilação fracionada. A sua estrutura e propriedades físico-químicas dependem dos processos de obtenção e da origem do petróleo. O diesel é constituído basicamente por hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos e aromáticos e, em menor quantidade, por substâncias cuja fórmula química contém átomos de enxofre, nitrogênio, metais, oxigênio, etc; esses hidrocarbonetos são formados por moléculas constituídas de 8 a 40 átomos de carbono.

A produção e consumo do diesel de petróleo tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, onde esse consumo mexe diretamente com a economia nacional devido a construção da matriz de transportes do país ser baseada no modal rodoviário, a Figura 1 demonstra essa comparação entre os dois fatos.

Figura 1 - Evolução do consumo de diesel e atividade econômica.



Fonte: Elaboração IBP com dados SCN/IBGE e ANP (2016)

A Petrobrás, conforme determinação da DNC (Departamento Nacional de Combustíveis), disponibiliza no mercado 5 tipos de óleo diesel, são esses:

- Tipo A – Diesel automotivo, utilizado em motores diesel e instalações de aquecimento de pequeno porte.
- Tipo B – Diesel metropolitano, também utilizado para aplicação automotiva. Difere do Tipo A por possuir no máximo 0,5% de enxofre e por somente ser comercializado para uso nas regiões metropolitanas das seguintes capitais: Porto Alegre, Curitiba, São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife, Salvador, Fortaleza e Aracaju.
- Tipo C – Este tipo de óleo caracteriza-se, principalmente, por possuir 0,3% de enxofre e sua temperatura, para destilação de 85% do seu volume, ser de 360°C para 370°C dos outros tipos.
- Tipo D – Diesel marítimo. Como o próprio nome já diz, é produzido especialmente para utilização em motores de embarcações marítimas. Difere do Tipo A por ter

especificado seu ponto de fulgor (temperatura mínima na qual o óleo forma com o ar uma mistura inflamável) em, no mínimo, 60°C.

- Óleo Diesel Aditivado – parte do óleo diesel (Tipo A ou B) recebe, após sair das refinarias, uma aditivação que visa conferir ao produto melhores características de desempenho. Normalmente, esses aditivos apresentam propriedades desemulsificantes, antiespumante, detergente, dispersante e de inibidor de corrosão.

Porém o aumento na produção e no consumo do diesel nos últimos anos é considerado preocupante, dentre outros fatores, pelo o teor de enxofre apresentado. O enxofre é um composto químico indesejável tanto para o meio ambiente quanto para os motores a diesel, pois durante a combustão, o trióxido de enxofre ao reagir com a água forma o ácido sulfúrico, responsável por corroer as partes metálicas do motor. Quando a concentração desse elemento é elevada, teremos um aumento nas emissões de material particulado, como também maiores emissões de poluentes primários como o SO_2 e SO_3 , formando assim chuvas ácidas, que causam grande estragos na saúde humana e ao meio ambiente (DESPOLUIR, 2010).

Por esse motivo combustíveis alternativos são buscados como é o caso do biodiesel obtido através do processo de Transesterificação, já que não apresentam na sua composição compostos como o enxofre, outro meio encontrado é através da microemulsão do óleo que, além de ser um processo mais barato, diminui a emissão dos gases poluentes.

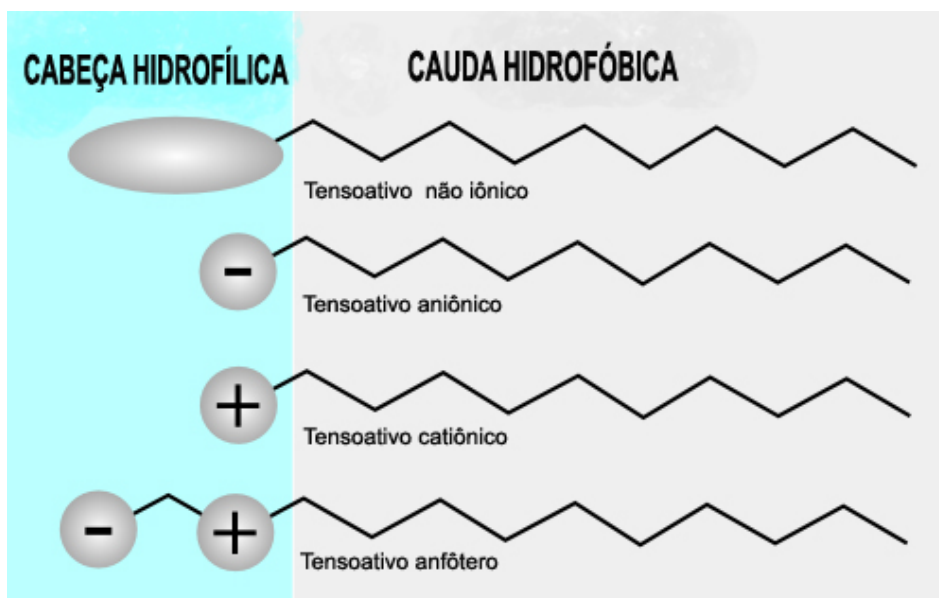
2.2. Tensoativos

Algumas substâncias são capazes de provocar mudanças na tensão superficial ou interfacial de um líquido. Tais substâncias são conhecidas como tensoativos, e apresentam características de possuir duas regiões de solubilidades diferentes, que estão interligadas, porem a uma distância que permite que se comportem independentes. Na sua estrutura apresentam uma cauda apolar ou hidrofóbica, comumente alifática, ramificada ou não e uma cabeça polar hidrófila.

Os tensoativos podem ser classificados em polares e apolares. Em relação ao grupo polar, podem ser classificados como iônicos, este podendo ser catiônicos ou aniônicos, não-

iônicos e anfóteros (NUNZIO, 1980; ATTWOOD; FLORENCE, 1983), como podemos visualizar na Figura 2.

Figura 2 - Representação de uma molécula de tensoativo



Fonte: Sales (2016)

Os tensoativos, por conterem uma parte polar e outra apolar em sua estrutura, apresentam a capacidade de se adsorver nas interfaces de dois líquidos imiscíveis, proporcionando a mistura entre eles.

Os estudos na área de combustíveis estão se desenvolvendo devido, principalmente, às exigências impostas para redução de poluentes pelos órgãos ambientais. Devido a essas exigências, novos estudos estão sendo realizados, como misturas diesel/biodiesel, emulsões e microemulsões. Para se obter as emulsões estáveis e as microemulsões é necessário o uso de tensoativos, que são usadas para promover a redução da tensão interfacial óleo/água, mantendo-as estáveis (DANTAS NETO et al., 2009).

A formação de microemulsão para sistemas do tipo óleo/água dependem principalmente, do equilíbrio que existe entre a parte polar e a apolar do tensoativo empregado, chamado de equilíbrio hidrófilo-lipófilo.

2.2.1. Balanço Hidrofílico-Lipofílico (BHL)

A predominância de um dos caracteres hidrofílico ou lipofílico dota a molécula de tensoativo propriedades específicas e determina os seus tipos de aplicação. Para quantificar os efeitos destas características, Griffin (1954) introduziu a noção semi-empírica de Balanço hidrofílico-lipofílico (BHL).

Na Tabela 1 temos a faixa de BHL e as aplicações específicas para cada faixa. A cada substância surfactante é atribuído um número que o inclui em um determinado grupo com propriedades específicas. Valores de BHL baixo significam pequeno número de grupos hidrofílicos, ou seja, o surfactante apresenta maior solubilidade na fase oleosa, quando comparado aquela na fase aquosa. Para valores de BHL alto, ocorre o inverso.

Tabela 1 - Escala de Griffin

Faixa de BHL		Tensoativos
Baixa	1 a 3	Agente Antiespumante
	3 a 6	Agente Emulsificante
	7 a 9	Agente Molhantes
Alta	8 a 13	Agentes Emulsificantes
	13 a 16	Detergentes
	16 a 18	Agentes Solubilizantes

Fonte: Griffin (1954)

A escolha do tensoativo pode ser feita partindo da análise do BHL. Para sistemas em que a fase aquosa se apresenta em maior quantidade que a fase óleo (emulsões O/A), devem ser utilizados surfactantes com alto valor de BHL (16 a 18). Para sistemas em que a fase óleo é mais abundante do que a fase aquosa deve-se utilizar surfactantes com baixo valor de BHL (3 a 6).

2.2.2. Classificação dos tensoativos

Os tensoativos são classificados de acordo com a natureza do seu grupo hidrofílico, pois podem possuir cargas elétricas ou não na suas cabeças polares. As cargas são responsáveis pelas afinidades químicas entre os íons, provocando repulsões entre as cabeças e, assim, aumentando ou diminuindo a solubilização nos solventes polares. A divisão dos tensoativos é feita em quatro classes, que vão de acordo com sua parte polar, em: iônicos, que por sua vez podem ser catiônicos e aniônicos, não-iônicos e anfóteros.

2.2.2.1. Tensoativos iônicos

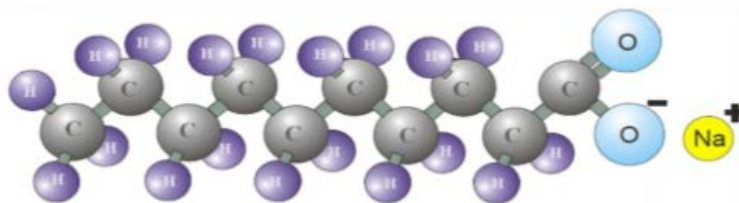
Os tensoativos iônicos são caracterizados por ter grupos carregados em sua estrutura. Podendo ser de dois tipos catiônico e aniônico.

- Tensoativos aniônicos

São os mais comuns e tem como características a presença de grupos funcionais ionizáveis que, dissolvidos em fase aquosa, formam íons carregados negativamente na superfície ativa. Os sabões e os compostos sulfonados e sulfatos representam estes tensoativos (FLORENCIO, 1995).

Estes tipos de tensoativos possuem alto poder espumante, alta detergência e alta umectância, quando comparados aos demais classes de tensoativos. Na Figura 3 temos a forma representativa destes tensoativos.

Figura 3 – Representação de um tensoativo aniônico



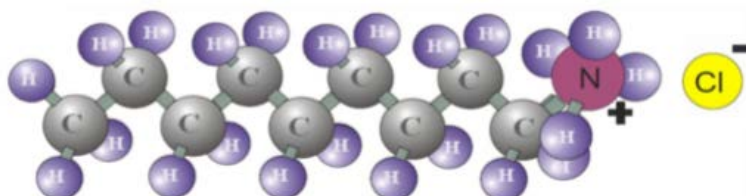
Fonte: Fernandes, 2011.

- Tensoativos catiônicos

São aqueles que ao dissociarem em solução aquosa apresentam grupos ionizáveis carregados positivamente na superfície ativa. Os sais quaternários de amônio são os mais importantes dessa classe.

Estes tensoativos são normalmente utilizados para tratamento de água, formulação de desinfetantes, cosméticos e amaciantes devido a sua efetiva ação microbiológica. Como exemplo deste tipo de tensoativo podem-se citar os sais quaternários de amônio de cadeia longa (FLORÊNCIO, 1995). Na Figura 4 temos a representação da molécula dessa classe.

Figura 4 – Representação de um tensoativo catiônico.



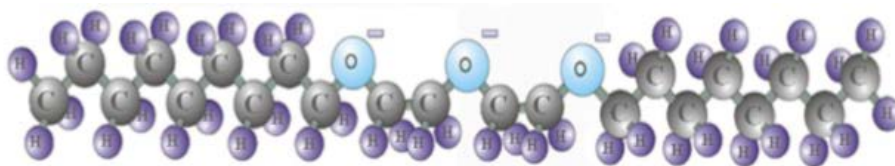
Fonte: Fernandes, 2011.

2.2.2.2. Tensoativos não-iônicos

Os tensoativos não-iônicos são caracterizados por não possuir cargas em sua molécula, logo não se dissociam em solução aquosa, ou seja, não se observa a ionização e sua hidrofília vem de grupos tipo ester, R-O-R, álcool, R-OH, carbonil, RCOR, ou mesmo aminas, R-NH-R, na sua estrutura (DE LA SALLES, 2000). Estes tensoativos são empregados nas mais diversificadas áreas e em geral se formam a partir da condensação de várias moléculas de óxido de etileno sobre um composto hidrófobo com hidrogênio móvel.

Por possuírem características bem particulares, os tensoativos não-iônicos são pouco afetados pela variação de pH e são compatíveis quimicamente com a grande maioria dos demais tensoativos. Estes aspetos combinados aumentam consideravelmente as suas possibilidades de aplicação, podendo ser utilizados na formulação de cosméticos, detergentes, produtos farmacêuticos, flotação de minérios e extração (DE LA SALLES, 2000). A Figura 5 representa os tensoativos não-iônicos.

Figura 5 – Representação da molécula de tensoativo não-iônico.



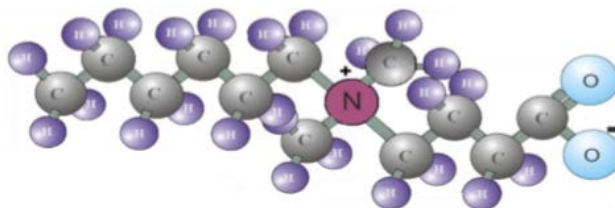
Fonte: Fernandes, 2011.

2.2.2.3. Tensoativos anfóteros

Os tensoativos anfóteros prevalece a carga do meio em que estão dissolvidos, isso significa que de acordo com o pH eles podem se ionizar originando tensoativos catiônicos ou aniônicos (ROSSI et al., 2006). Apresentam na sua estrutura molecular agrupamentos positivo e negativo. O agrupamento positivo normalmente é representado por um grupo de nitrogênio quaternário e o negativo por um grupo carboxilato ou sulfonato.

O comportamento deste tipo de tensoativo está condicionado, principalmente, ao pH e ao tamanho da cadeia. Em pH inferior a quatro atua como tensoativo catiônico, para pH entre quatro e nove atua como tensoativo não-iônico e para pH entre nove e dez seu comportamento é de tensoativo aniônico. Os exemplos mais importantes deste tipo de tensoativo são as alquibetaínas e as alquilsulfobetainas (FLORÊNCIO, 1995). Na figura 6 podemos visualizar a estrutura da molécula.

Figura 6 – Representação da molécula de tensoativo anfótero.



Fonte: Fernandes, 2011.

2.3. Microemulsão

As emulsões são sistemas obtidos pela dispersão entre duas fases imiscíveis, que podem ser classificadas em óleo em água (O/A) ou água em óleo (A/O), de acordo com a hidrofilia ou lipofilia da fase dispersante (NARSIMHAN et al., 2008). Quando as emulsões

apresentam gotículas menores que $0,1\ \mu\text{m}$ são classificadas como microemulsão (OLIVEIRA et al., 2004). Onde o tamanho da gotícula é afetado pela mistura de um tensoativo no sistema, onde a tendência é que o tamanho das gotículas diminua na mesma proporção que aumenta a concentração de tensoativo, gerando assim um sistema opticamente transparente ou translúcido que é denominado como microemulsão (LEITE, 2009).

A principal característica das microemulsões é a sua estabilidade termodinâmica, que oferece vantagens sobre as dispersões instáveis, como as suspensões e emulsões, podendo ser utilizada por mais tempo (OLIVEIRA et al., 2004). As principais diferenças presentes entre a emulsão e microemulsão são relacionadas na Tabela 1.

Tabela 2 – principais diferenças entre emulsão e microemulsão.

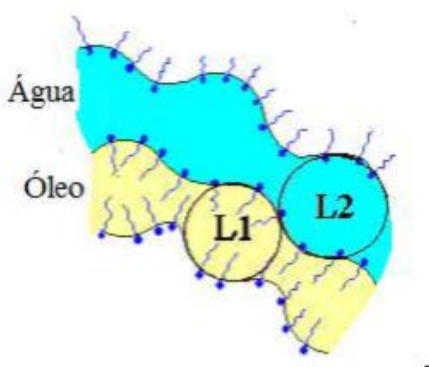
EMULSÕES	MICROEMULSÕES
Instáveis, com separação de fases	Termodinamicamente estáveis
Gotículas de tamanho relativamente grande (1 – 10 μm)	Agregados pequenos (<0,1 μm)
Sistema relativamente estático	Sistema altamente dinâmico
Área interfacial moderadamente alta	Alta área interfacial
Pouca quantidade de tensoativo é necessária	Grande quantidade de tensoativo é necessária
Pequena curvatura da interface água/óleo	Alta curvatura do filme interfacial

Fonte: Martiniano, 2009.

O termo microemulsão foi introduzido por Hoar e Schulmann, em 1943, como sendo dispersões transparentes, fluidas, opticamente isotrópicas e termodinamicamente estáveis de dois líquidos imiscíveis, contendo quantidades apropriadas de tensoativos e, algumas vezes, também um cotensoativo. São opticamente transparentes em decorrência do diminuto tamanho dos micros domínios de água e óleo (10-100 nm) que não espalham a luz visível (HOLT, 1980).

As microemulsões são classificadas em três categorias: óleo em água (O/A), onde teremos gotículas de óleo envolvidas por uma região contínua em água, água em óleo (A/O), onde gotículas de água são envoltas por óleo e, bicontínua, onde as camadas de óleo e de água se intercalam e o tensoativo age separando-as e constituindo um caminho termodinamicamente estável entre elas (LEITE, 1995). Na figura 7 temos a representação de um sistema bicontínuo.

Figura 7 – Representação de um sistema bicontínuo.

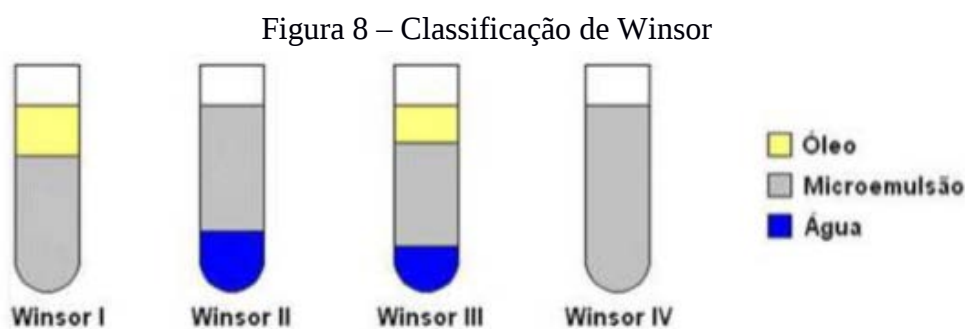


Fonte: Duarte, 2014.

A formação de microemulsão e seu equilíbrio com sistemas heterogêneos foram estudados por Winsor (1948), que criou um sistema de classificação que define os vários equilíbrios existentes entre a microemulsão e fases aquosas e oleosas, estabelecendo quatro tipos de sistemas.

2.3.1. Sistema de Winsor

A classificação, realizada por Winsor (1948), dos sistemas multifásicos contendo microemulsão é de quatro tipos diferentes de equilíbrio de fase. O sistema macroscopicamente monofásico, constituído apenas por microemulsão é o Winsor IV (WIV). Winsor I (WI) e Winsor II (WII) refere-se aos sistemas bifásicos, onde ocorre, respectivamente, o equilíbrio entre uma fase orgânica e as microemulsões do tipo direta (WI) e as microemulsões inversas em equilíbrio com uma fase aquosa em excesso (WII). O sistema trifásico, Winsor III (WIII), ocorre quando a microemulsão encontra-se em equilíbrio entre fase aquosa inferior e uma fase orgânica superior. A Figura 8 ilustra detalhes do sistema de Winsor.



Fonte: Winsor, 1948.

- Winsor I (WI) – É representado pelo equilíbrio entre a fase microemulsionada com a com a fase oleosa em excesso. Por possuir densidade menor que a da microemulsão, a fase oleosa posiciona-se acima da microemulsão. A microemulsão O/A coexiste com o excesso de fase oleosa, sistema bifásico.
- Winsor II (WII) – Representa o equilíbrio entre a fase microemulsionada e a fase aquosa em excesso. Por possuir menor densidade que a fase aquosa, a microemulsão posiciona-se na parte superior. Uma microemulsão do tipo A/O coexiste com excesso de fase aquosa, sistema bifásico.
- Winsor III (WIII) - Nesse caso existe três fases em equilíbrio: óleo microemulsão e água, onde a densidade faz com que o óleo se posicione na parte superior, a

microemulsão ao centro e a água, na fase inferior. É uma fase microemulsionada intermediária em equilíbrio com a fase oleosa e aquosa em excesso.

- Winsor IV (WIV) – é um sistema em que apenas existe a fase microemulsionada, visualmente monofásico. Corresponde à fase microemulsionada pura.

2.3.2. Diagramas Ternários

Os diagramas ternários ou diagramas de fases são empregados na representação dos sistemas microemulsionados para visualização das regiões de Winsor. A representação de um sistema de três constituintes é feita em um triângulo equilátero, onde cada vértice é ocupado por um dos constituintes do sistema (água/óleo/tensioativo). Para um sistema que possua quatro constituintes é formada um pseudo constituinte, agrupamento de dois dos compostos do sistema, em uma relação pré-fixada.

Na preparação dos sistemas microemulsionados é de primordial importância levar em consideração a proporção dos componentes, a estrutura do tensioativo e o tipo de óleo. Desta forma, a construção de um diagrama de fases é uma ferramenta para caracterizar em que condições experimentais as microemulsões existem para, assim, poder selecionar a região do diagrama com as proporções dos componentes que deseja trabalhar (FORMARIZ et al., 2004).

Os sistemas microemulsionados formados por três ou mais constituintes podem ser representados em diagramas onde, de acordo com as proporções de cada um, pode-se delimitar a região de microemulsão e as demais, como: regiões de emulsão e gel. A Figura 9 representa um diagrama ternário formado por três constituintes puros.

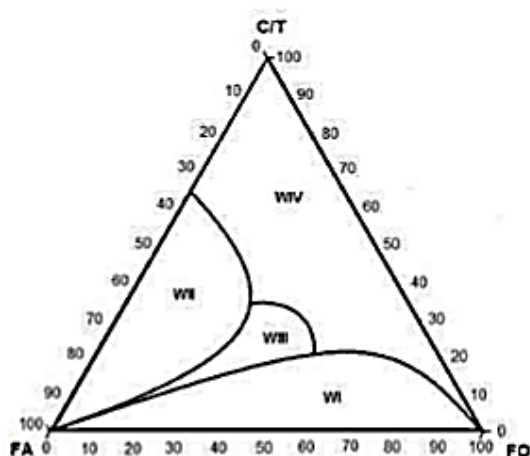
Figura 9 – Representação do diagrama ternário mostrando zona de microemulsão.



Fonte: Nicolas Morgantini, 1984.

Os diagramas pseudoternários (Figura 10) são comumente utilizados para o estudo dos sistemas microemulsionados que apresentam uma relação cotensoativo-tensoativo. Os diagramas pseudoternários são de fácil uso. Os componentes são agrupados e supõe-se que formam pseudoconstituintes puros. Empregam-se normalmente as seguintes relações: relação água-tensoativo constante ou relação tensoativo-cotensoativo constante. A primeira relação é mais utilizada em estudos de difusão de luz e a segunda quando se deseja estudar o comportamento das fases da microemulsão (BARROS NETO, 1996).

Figura 10 – Diagrama pseudoternário com relação cotensoativo/tensoativo e classificação de Winsor.



Fonte: Duarte, 2014

2.3.3. Fatores que influenciam no comportamento das regiões microemulsionadas

As microemulsões sofrem influências tanto de fatores físicos quanto químicos. Dentre estes, pode-se destacar: a temperatura, a salinidade, a natureza do óleo, a razão cotensoativo/tensoativo, a concentração do cotensoativo, etc. Variações nestes fatores podem aumentar ou diminuir a região de microemulsão e, também, provocar a transição de uma região para outra.

Determinados parâmetros exercem influência sobre os sistemas microemulsionados. Na escolha dos constituintes, deve ser levado em consideração a hidrofiliicidade do tensoativo, de modo que, a microemulsão A/O, deve-se optar por um mais hidrófobo, enquanto para microemulsão O/A, é indicado um mais hidrófilo (PRINCE, 1997).

O tamanho da cadeia dos hidrocarbonetos que constituem a fase orgânica exerce influência no domínio de existência e na solubilidade dos sistemas microemulsionados, dessa forma, quanto maior a cadeia, menor a região de microemulsão por tanto menos solúvel é o sistema (BARROS NETO, 1996).

A adição de sais ao sistema faz com que a hidrofília do tensoativo diminua, aumentando assim a afinidade pelo óleo (GUÉRING; LINDMAN, 1985). Um discreto aumento na salinidade gera uma solução contínua em água em equilíbrio com a fase óleo. Para valores médios surgem sistemas trifásicos e para valores elevados apresenta uma microemulsão contínua em óleo.

A temperatura interfere nas características do filme de tensoativos. O aumento da temperatura, para sistemas com tensoativos iônicos, causa o aumento do volume da fase orgânica, enquanto que, para tensoativos não-iônicos, o aumento gradual da temperatura conduz a um aumento da fase aquosa (MOURA, 2001).

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente trabalho é o procedimento detalhado a seguir, de acordo com os matérias e métodos utilizados.

3.1. Reagentes

Estão descritos na Tabela 2 os reagentes que foram utilizados na obtenção dos diagramas ternários desenvolvidos visando a obtenção de microemulsão.

Tabela 3 – Reagentes utilizados na obtenção dos diagramas ternários.

REAGENTE	ORIGEM
Óleo Diesel	PETROBRAS
Água Destila	UFERSA
Tensoativo Comercial – ULTRANEX 60	Comercial
Tensoativo Comercial – ULTRANEX 110	Comercial
Tensoativo Comercial – TWEEN 80%	Comercial

Fonte: Autoria própria.

3.2. Equipamentos

Na Tabela 3 estão descritos os equipamentos utilizados na obtenção dos sistemas microemulsionados.

Tabela 4 – Equipamentos utilizados na obtenção dos diagramas de microemulsão

Equipamento	Ensaio
Agitador de tubos	
Balança analítica digital (precisão 0,0001 gramas)	Obtenção de microemulsão
Centrífuga	

Fonte: Autoria própria.

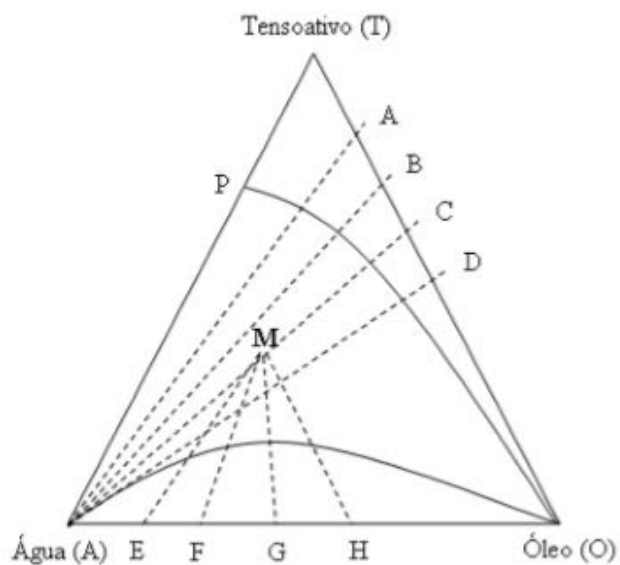
3.3. Obtenção do diagrama ternário

O método de determinação das regiões de microemulsão em um diagrama ternário, para um dado sistema, envolve inicialmente a determinação do ponto de solubilidade máxima (P) da matéria ativa (cotensoativo + tensoativo) na solução aquosa. Após a determinação deste ponto prepara-se pontos no binário com o objetivo de determinar o ponto em que o sistema entra na região de microemulsão, que é perceptível pela mudança da solução turva para uma translúcida, macroscopicamente homogênea.

A construção dos diagramas de microemulsão baseia-se no método de titulação volumétrica com pesagem analítica de suas proporções, afim de obter as proporções mássicas respectivas (RAMOS, 1996).

Os diagramas ternários foram construídos partindo-se de várias proporções no binário (T/O - Fase oleosa) e titulando-as com a fase aquosa (Figura 11).

Figura 11 – Esquema gráfico do método de obtenção das regiões de microemulsão



Fonte: Fernandes, 2011.

A região inferior da microemulsão é dada pela preparação dos pontos no binário A/O. Os percentuais de tensoativo, água e óleo foram determinados através de balanços de massa.

4. Resultados

Serão apresentados nesse tópico os resultados e discussões acerca do experimento realizado neste trabalho. No primeiro momento será caracterizado o tipo de tensoativos utilizados para obtenção dos diagramas ternários. E a caracterização dos sistemas microemulsionados dentro dos diagramas obtidos.

4.1. Estudo dos tensoativos

Para realização dos experimentos deste trabalho foram utilizados tensoativos não-iônicos com diferentes balanços hidrofílicos-lipofílicos, com o propósito de avaliar a sua solubilidade no diesel e obter sistemas microemulsionados.

Os tensoativos selecionados para obtenção dos sistemas microemulsionados foram: TWEEN 80 (BHL=15), ULTRANEX 60 (BHL=10,5) e o ULTRANEX 110 (BHL=13,7), para assim ser realizado o estudo do comportamento destes no sistema. Com os tensoativos escolhidos foram feitos diagramas ternários para determinar as possíveis regiões de microemulsão.

Dos tensoativos não-iônicos utilizados apenas um apresentou região de microemulsão característica. Os resultados serão explicitados no próximo tópico.

4.2. Estudo dos diagramas de fases

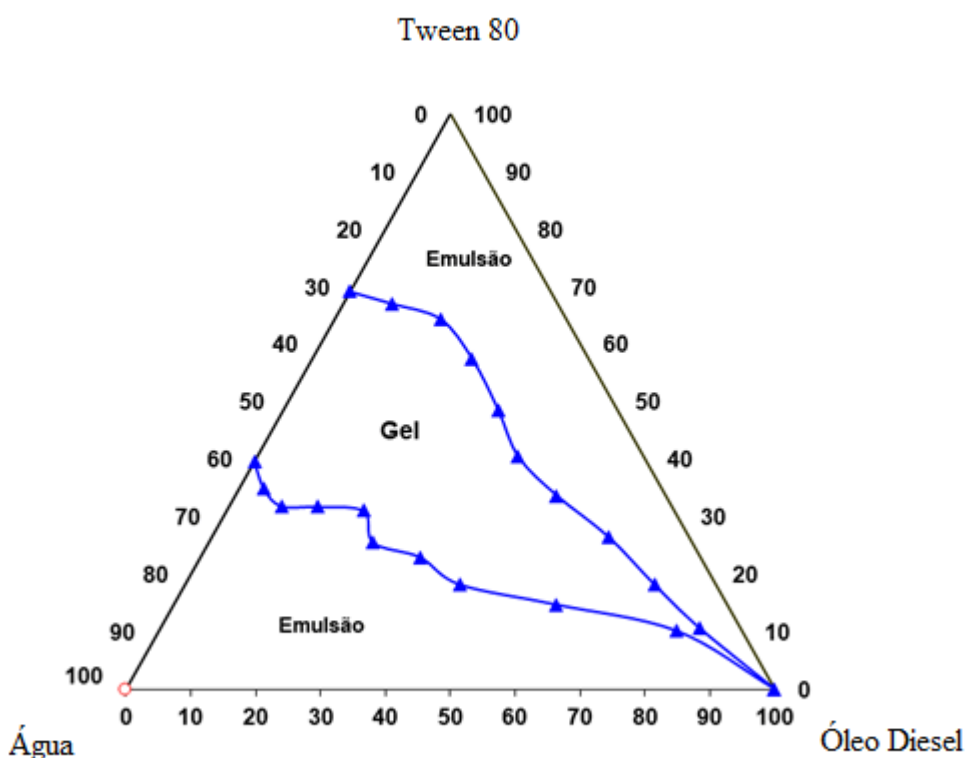
Os diagramas de fases em sistemas microemulsionados podem ser ternários ou pseudoternários. Os ternários normalmente são empregados quando o tensoativo presente no sistema água/óleo é não iônico. Os diagramas pseudoternários são obtidos quando há necessidade de outro componente no sistema, o cotensoativo, que é representado através de uma razão cotensoativo/tensoativo constante.

Para o sistema proposto no estudo utilizamos apenas tensoativos não-iônicos, sendo assim todos os diagramas partirão dos constituintes (água/ tensoativo/ óleo diesel), formando assim diagramas ternários.

4.2.1. Diagrama ternário para tensoativo Tween 80

Para encontrar os valores obtidos no diagrama foram realizados experimentos para diferentes proporções de tensoativo/óleo numa fase aquosa. A Figura 12 ilustra o diagrama ternário obtido.

Figura 12 – Diagrama ternário para tensoativo não-iônico Tween 80, T (23°C) e P (1 atm).



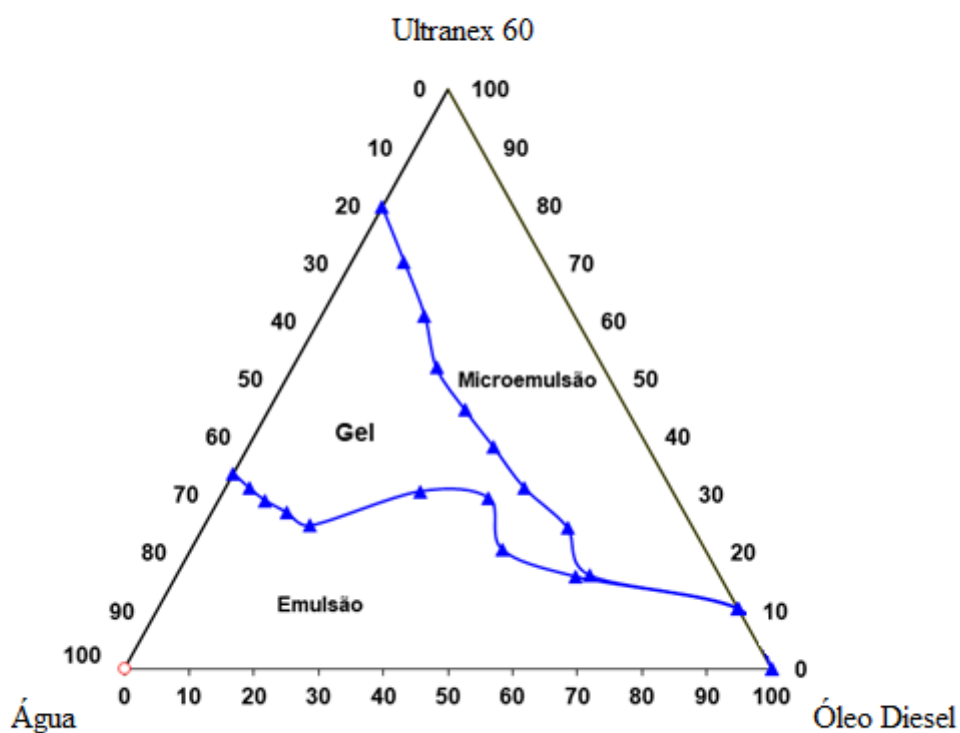
Fonte: Autoria própria.

Após realizar o experimento foi possível observar que, para o tensoativo Tween 80, o sistema não apresentou uma região de microemulsão. Entretanto no primeiro momento obteve-se uma região de emulsão, que logo após passou por uma fase gel e por fim tornou-se novamente emulsão.

4.2.2. Diagrama ternário para tensoativo não-iônico Ultrane 60

De forma análoga a do tensoativo Tween 80, os valores obtidos no diagrama foram através da titulação do bifásico óleo diesel/tensoativo (ULTRANEX 60) com água para diferentes proporções. A Figura 13 ilustra o diagrama ternário obtido.

Figura 13 – Diagrama Ternário para o tensoativo não-iônico Ultranex 60, T (23°C) e P (1atm)



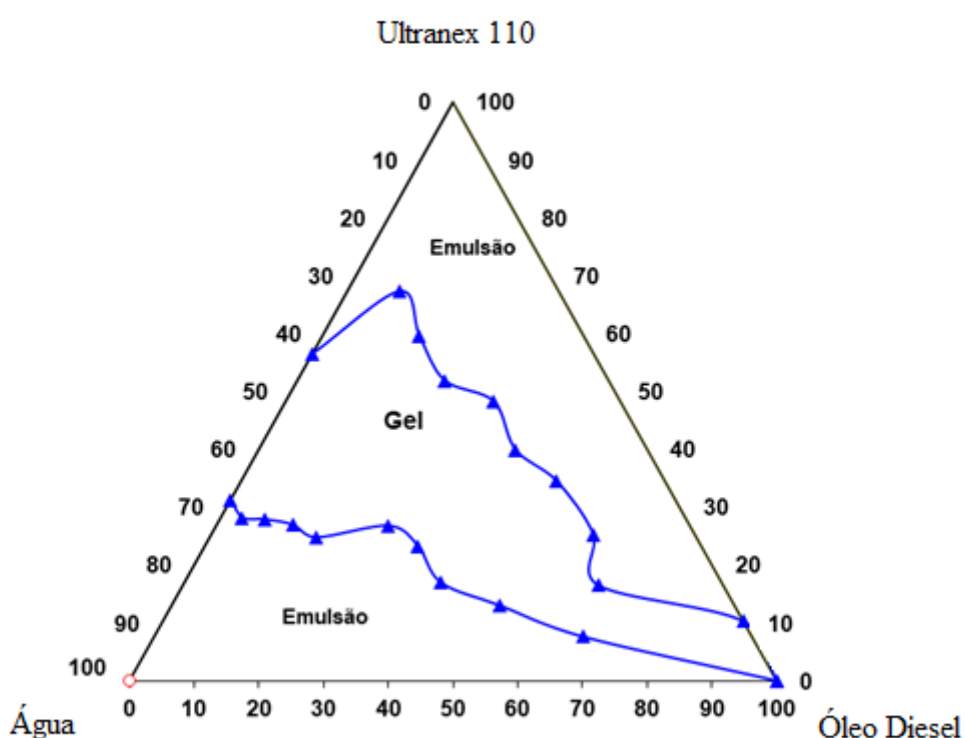
Fonte: Autoria própria.

Após realizar o experimento foi possível observar que, para o tensoativo Ultranex 60, o sistema obteve uma região de microemulsão. Onde no primeiro formou-se uma região de microemulsão, que logo após passou por uma fase gel e por fim, com a continuação da titulação, tornou-se um combustível emulsionado.

4.2.3. Diagrama ternário para tensoativo não-iônico Ultranex 110

De forma análoga a dos outros tensoativo apresentados no estudo, os valores obtidos no diagrama foram através da titulação do bifásico óleo diesel/tensoativo (ULTRANEX 110) com água para diferentes proporções. A Figura 14 ilustra o diagrama ternário obtido.

Figura 14 - Diagrama Ternário para o tensoativo não-iônico Ultranex, 110 T (23°C) e P (1atm)



Fonte: Autoria própria.

Após realizar o experimento foi possível observar que, para o tensoativo Ultranex 110, o sistema não obteve uma região de microemulsão. Entretanto no primeiro momento obteve-se um combustível emulsionado, que logo após passou por uma fase gel e por fim tornou-se novamente emulsão.

4.3. Discussões

Os tensoativos não iônicos utilizados para realização do experimento apresentaram comportamentos específicos em cada sistema, onde apenas o Ultranex 60 apresentou região de microemulsão.

Um fator importante para esse comportamento do sistema é dado pelo Balanço Hidrofílico-Lipofílico do tensoativo. Segundo Griffin (1954) valores de BHL baixo significam pequeno número de grupos hidrofílicos, ou seja, o surfactante apresenta maior solubilidade na fase oleosa, quando comparado aquela na fase aquosa. Para valores de BHL alto, ocorre o inverso.

Para que o sistema possua região de microemulsão é necessário que BHL do tensoativo seja pequeno e por esse motivo apenas o Ultranex 60 (BHL= 10,5) obteve região microemulsionado para o sistema óleo diesel/ tensoativo não iônico/ água.

5. CONCLUSÃO

Dos resultados experimentais é possível concluir que a concentração e o tipo de tensoativo utilizados interferem diretamente no resultado do sistema, onde o tamanho da gotícula é afetado pela mistura do tensoativo no sistema, e a tendência é que o tamanho das gotículas diminua na mesma proporção que aumenta a concentração de tensoativo, gerando assim um sistema opticamente transparente ou translúcido que é denominado como microemulsão. Porém como foi mostrado no presente estudo, nem todo tensoativo é capaz de quebrar a tensão interfacial entre dois líquidos imiscíveis.

Quando o tensoativo não é hidrofílico ou lipofílico o suficiente para romper a tensão interfacial óleo/água, as partículas presentes tornam-se imiscíveis, formando assim sistemas emulsionados e gelatinosos. Dos tensoativos não-iônicos utilizados, apenas o Ultralex 60 (BHL=10,5) possibilitou a quebra da tensão interfacial entre o óleo diesel e água formando assim microemulsão, esse fato ocorreu, pois, o valor do BHL desse tensoativo estava na faixa que permite a solubilidade do óleo na água.

Como foi apresentado, nem todos os tensoativos não-iônicos são capazes de realizar microemulsão com o óleo diesel na fase oleosa, e é nesse ponto que entra a importância do estudo realizado. Com o presente trabalho foi possível demonstrar qual o tensoativo apresentava a região de microemulsão água em óleo na fase oleosa para assim poder ser utilizado, nas proporções adequadas, provenientes do diagrama ternário, como combustível alternativo menos poluente e mais eficiente que o óleo diesel.

REFERÊNCIAS

- ATTWOOD, D.; FLORENCE, A.T. *Surfactant systems*. 1st ed. London: Chapman and Hall, 1983.
- ABU-ZAID, M. Performance of single cylinder, direct injection Diesel engine using water fuel emulsions. *Energy Conversion and Management* 45 (2004), 697–705.
- BARROS NETO. Extração de cobre utilizando microemulsões: Otimização e modelagem. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: DEQ/PPGEQ, 1996.
- DANTAS NETO, A. A.; CASTRO DANTAS, T. N.; MOURA, M. C. P. A.; BARROS NETO, E. L; GURGEL, A. Microemulsions as potential interfacial chemical system applied in the petroleum industry. In: FANUN, M. *Microemulsions Properties and Applications*. Surfactant Science Series, vol. 144, 2009, pp. 411-449.
- DE LA SALLES W. F. Sistemas microemulsionados para a solubilização de depósitos parafínicos. Dissertação (Mestrado), UFRN. Natal: DEQ/PPGEQ, 2000.
- DESPOLUIR. Estudo Técnico: A qualidade do diesel no Brasil. p. 7. Brasília-DF, 2010. Disponível em: <<http://www.cntdespoluir.org.br/Lists/Contedos/DispForm.aspx?ID=23>>. Acessado em: 30 de agosto de 2018.
- DUARTE, K. R. F. Novas alternativas de remoção de enxofre do óleo diesel utilizando tensoativos e microemulsões. Tese (Doutorado em Engenharia Química) Universidade Federal do rio Grande do Norte, Natal-RN, 2014.
- FERREIRA, Maria S. Formulação de combustíveis alternativos em sistemas microemulsionados empregando óleos vegetais e derivados. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Maranhão (UFM), 2006.
- FERNANDES, M. R. Formulação de novos combustíveis base diesel: avaliação de desempenho e emissões. Tese (Doutorado em engenharia Química) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2011.

FORMARIZ, T. P.; WANCZINSKI, B. J.; JUNIOR-SILVA, A. A.; SCARPA, M. V.; OLIVEIRA, A. G. Biotecnologia de sistemas coloidais aplicável na otimização do efeito terapêutico de fármacos usados no tratamento do câncer. *Infarma*, Brasília, v.16, n.1, p. 44-57, 2004.

FLORÊNCIO, T. C. R. M. Desenvolvimento de processos para obtenção de novos tensoativos a partir de óleos vegetais. Dissertação (Mestrado), UFRN. Natal: DEQ/PPGEQ, 1995.

GRIFFIN, W. C. Calculation of HLB values of non-ionic surfactants. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists* 5, 1954.

GUÉRING, P.; LINDMAN, B. Droplet and bicontinuous structures in microemulsions from multi-component self-diffusion measurements. *Langmuir*: v. 1, n. 4, p. 464-468, 1985.

HOLT, S. L. J. *Disp. Sci. Technol.* vol. 1, 1980, pp. 423.

IBP. Evolução do consumo de diesel e atividade econômica. Brasil, 2016. Disponível em: <<https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/consumo-de-diesel-e-atividade-economica/>>. Acessado em: 28 de agosto de 2018.

LEITE, R. H. L. Extração de cromo de efluentes de curtumes utilizando microemulsão. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-Rn, 1995.

LEITE, M. F. Desenvolvimento e caracterização de microemulsões contendo extrato e óleo essencial de *Baccharis dracunculifolia* para enxaguatório bucal. Ribeirão Preto, USP, 2009, Doutorado, 166 p.

MARTINIANO, L. C. Validação de um método para determinação de metais em microemulsão de combustíveis por voltametria de redissolução. Tese (Doutorado), 105 p. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa-PB, 2009.

MOURA, M. C. P. A. Utilização de microemulsão como agentes modificadores de superfícies para remoção de íons metálicos. Tese (Doutorado em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2001.

NARSHIMAN, G.; WANG, Z. Guidelines for processing emulsion-based foods. Food Emulsifiers and Their Applications. 2^a ed, p. 349-394, 2008.

NICOLAS MORGANTINI, L. These de Doctorat de 3eme cycle, Université de Pau, France, 1984.

NUNZIO, M. J. Tensoativos e suas aplicações práticas. Aerosol & Cosméticos. v. 2, n.10, p. 14-22, 1980.

OLIVEIRA, A. G.; SCARPA, M. A.; CERA, L. F. R.; FORMARIZ, T. P. Microemulsões: estrutura e aplicações como sistema de liberação de fármacos. Química Nova, 27: 131, 2004.

OZSEZEN, A. N.; CANAKCI, M.; TURKCAN, A.; SAYIN, C. Performance and combustion characteristics of a DI diesel engine fueled with waste palm oil and canola oil methyl esters. Fuel, vol. 88, 2009, pp. 629-636.

PRINCE, L. M. Microemulsion: theory and practice. New York: Academic Press, 1997.

RAMOS, A. C. S. Extração de Tungstênio utilizando microemulsão. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 1996.

RIVAS, H.; GUTIERREZ, X.; GONZALEZ, M. A.; McGRATH, G.; CARRASQUERO, M.; LINARES, F.L.; GALIASSO, R. Water in hydrocarbon emulsion useful as low emission fuel and method for forming same. United States Patent, Patent n° US 7,704,288 B2, 2010.

ROSSI, C. G. F. T.; DANTAS, T. N. C.; DANTAS NETO, A. A.; MACIEL, M. A. M. Tensoativos uma abordagem básica e perspectivas para aplicabilidade industrial. Revista Universidade Rural Série Ciências exatas e da Terra, Seropédica, v. 25, n. 1-2, p.59-71, 2006.

SALES, G. Tensoativos. Brasil, 2016. Disponível em: <<http://formuladesabaoartesanal.com.br/site/tensoativos/>>. Acessado em: 25 de agosto de 2018.

SILVA, J. D. F., SILVA, Yara P., PIATNICKI, Clarisse M. S., BOCKEL, Wolmir J. e MENDONÇA, Carla R. B. Microemulsões: componentes, características, potencialidades em química de alimentos e outras aplicações. Química Nova, v. 38, n. 9, p.1196-1206, 2015.

THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. Rio de Janeiro; Interciencia: Petrobrás, 2001.

WINSOR, P. A. Hidrotopy, solubilization and related emulsification processes I to VIII. Transations Faraday Society. V. 44, pp. 376, 1948.