



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

THAIANE ANDRADE CRUZ

**FORMULAÇÃO DE UM SOLVENTE APLICADO A DESIDRATAÇÃO DO GÁS
NATURAL UTILIZANDO MICELAS INVERSAS: CARACTERIZAÇÃO DA
CONDUTIVIDADE E SOLUBILIDADE**

MOSSORÓ

2019

THAIANE ANDRADE CRUZ

**FORMULAÇÃO DE UM SOLVENTE APLICADO A DESIDRATAÇÃO DO GÁS
NATURAL UTILIZANDO MICELAS INVERSAS: CARACTERIZAÇÃO DA
CONDUTIVIDADE E SOLUBILIDADE**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Geraldine Angélica Silva da Nóbrega

MOSSORÓ

2019

© 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.

C957f Cruz, Thaiane Andrade.

FORMULAÇÃO DE UM SOLVENTE APLICADO A
DESIDRATAÇÃO DO GÁS NATURAL UTILIZANDO MICELAS
INVERSAS: CARACTERIZAÇÃO DA CONDUTIVIDADE E
SOLUBILIDADE / Thaiane Andrade Cruz. - 2019.
47 f. : il.

Orientadora: Geraldine Angélica Silva da
Nóbrega.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Química, 2019.

1. Gás natural. 2. Tensoativos. 3.
Desidratação. 4. Condutividade. 5. Líquido
dessecante. I. Nóbrega, Geraldine Angélica Silva
da , 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.

THAIANE ANDRADE CRUZ

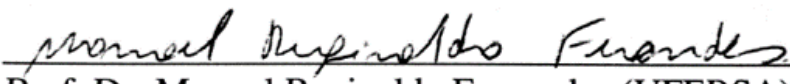
**FORMULAÇÃO DE UM SOLVENTE APLICADO A DESIDRATAÇÃO DO GÁS
NATURAL UTILIZANDO MICELAS INVERSAS: CARACTERIZAÇÃO DA
CONDUTIVIDADE E SOLUBILIDADE**

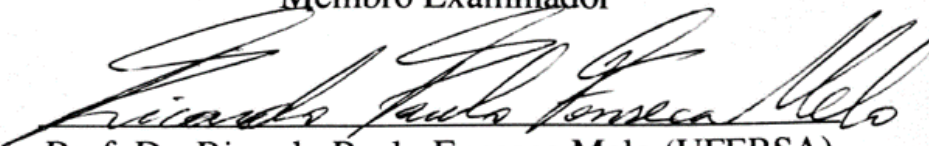
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Defendida em: 19 / 03 / 2019.

BANCA EXAMINADORA


Prof.^a. Dr.^a Geraldine Angélica Silva da Nóbrega (UFERSA)
Presidente


Prof. Dr. Manoel Reginaldo Fernandes (UFERSA)
Membro Examinador


Prof. Dr. Ricardo Paulo Fonseca Melo (UFERSA)
Membro Examinador

“Dedico todo o esforço que depositei neste trabalho ao meu avô Francisco de Andrade, meu irmão Dinobergh Almeida, a minha tia Alcina Cruz e a minha irmã Zaira Cruz (in memorian), que foram exemplos de caráter, força e dignidade”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por nunca ter me deixado fraquejar e por proporcionar-me a força necessária para realizar essa caminhada mostrando-me que não importa o tamanho da dificuldade, é sempre possível vencer. Basta apenas ter fé e força de vontade.

Aos meus pais, Adalberto e Eugênia Cruz que sempre me apoiaram nos estudos e lutaram comigo em cada uma das minhas conquistas e obstáculos. Serei eternamente grata por tudo que fizeram por mim, sempre ficando ao meu lado quando mais precisava nunca me deixando desistir e sempre me mostrando o caminho certo a seguir. Vocês são meus maiores exemplos.

A minha irmã, Thaise Cruz Almeida por toda a sua força e apoio em todos os momentos, por sempre ser esse exemplo de mulher forte e determinada. Que me mostrou como continuar seguindo em frente, não importando quantas vezes eu dissesse que queria desistir.

A minha amiga Vanessa Lima, que compartilha comigo o amor pela Engenharia Química, eu agradeço profundamente por todo tempo que me escutou e me aconselhou durante todo o curso, desde o momento que nos conhecemos até hoje. Ela é uma das únicas pessoas que conseguem entender o quanto eu luto diariamente para continuar seguindo.

As minhas amigas Larissa Moraes, Thaís Kelly e Larissa Lins por sempre estarem presentes na minha vida mesmo à distância, sempre me apoiando e me ajudando a superar os dias mais difíceis.

A minha tia e segunda mãe, Eufrânia Macedo por todos os abraços e palavras de conforto.

A minha família Andrade, por todo o apoio e segurança que me deram quando cheguei na cidade no começo da engenharia. Especialmente a Sérvulo e Denize por terem me adotado como filha.

A todos da minha família Cruz por acreditarem e me apoiarem de alguma forma durante todo o curso.

Aos meus padrinhos Marcos e Maria Cruz, pelo suporte que me deram durante toda a minha vida.

Aos meus amigos de Angicos, pois mesmo que distantes pelas engenharias, sei que posso contar no que precisar.

Aos meus amigos de Mossoró, eu não tenho palavras para expressar o quanto sou grata por todos. Pela família Reynaldo que me acolheu aqui assim que cheguei, pelo apoio e força que me deram principalmente agora nesta reta final. As minhas meninas do grupo secreto por todas as vezes que ficamos juntas em todas as dificuldades. A todos que de alguma forma me deram forças para seguir em frente neste último ano.

A minha orientadora Prof.^a. Dra. Geraldine Angélica Silva da Nóbrega, pelo sua atenção, carinho, apoio, paciência e disponibilidade durante o decorrer desse projeto e de toda a graduação.

A Prof.^a. Dra. Marta Lígia por todo o apoio e suporte que me deu, especialmente durante este fim de período.

Aos professores da graduação com quem pude passar o melhor tempo de aprendizado para meu futuro profissional, obrigada pelos ensinamentos repassados seja acadêmico ou para a vida, vocês contribuíram para minha índole. Meu muito obrigada.

“Eu trabalhei duro por muito tempo para chegar até aqui. Não é sobre ganhar, é sobre não desistir. Se você tem um sonho, lute por ele. Existe uma disciplina. Não é sobre quantas vezes você foi rejeitado, caiu e teve que levantar. É quantas vezes você fica em pé, levanta a cabeça e segue em frente”.

Lady Gaga

RESUMO

O gás natural é uma das fontes de energia mais eficientes dentre os combustíveis fósseis, sendo composta por uma mistura de hidrocarbonetos. Em seu estado bruto a água é considerada um dos principais contaminantes, pois sob a forma de vapor e em teores elevados ela propicia a formação de ambientes ácidos, podendo ocasionar a formação de hidratos em dutos de distribuição sob altas pressões. Por este motivo é necessária a desidratação do gás natural para se garantir a eficiência nas tubulações de transporte, esta é feita por meio do processo de absorção gasosa, sendo necessária a formulação de um solvente apropriado, o processo para a sua formação foi baseando no princípio de formação de sistemas microemulsionados, visto que esses sistemas se mostram economicamente viáveis e eficientes. Foram então construídos diagramas ternários com tensoativos não-iônicos a fim de estudar o comportamento de fases para misturas ternárias compostas de hidrocarbonetos/tensoativo não-iônico/água em cinco diferentes proporções de hidrocarbonetos, sendo eles 1:3, 1:1, 3:1, n-hexano e querosene. Foram feitas análises de área microemulsionada e condutividade para observar solubilização da água na região microemulsionada. Foi verificado que nenhum dos tensoativos utilizados nesta pesquisa apresentou uma boa eficiência para ser utilizado na desidratação do gás natural, pois os diferentes sistemas de água/tensoativo/fase orgânica não demonstraram uma boa solubilização da água e condutividade elétrica.

Palavras-chave: Gás natural, tensoativo, desidratação, condutividade, líquido dessecante.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática de uma molécula de tensoativo com suas partes apolar e polar.....	20
Figura 2: Formação do agregado micelar.....	21
Figura 3: Técnicas utilizadas para determinação da CMC.....	22
Figura 4: Estrutura direta e inversa.....	23
Figura 5: Diagrama ternário mostrando a zona de microemulsão em um sistema de três constituintes.....	24
Figura 6: Representação da região de microemulsão de um diagrama quaternário.....	25
Figura 7: Estrutura de um diagrama pseudoternários com razão cotensoativo/tensoativo constante.....	25
Figura 8: Sistemas Winsor.....	26
Figura 9: Fórmula estrutural do nonifenóispolietoxilados	27
Figura 10: Representação do cálculo integral da área microemulsionada.....	30
Figura 11: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, NP130, Q/H (a) 1:3 (b) 3:1 e (c) 1:1.....	32
Figura 12: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, NP130, (a) Hexano (b) Querosene.....	32
Figura 13: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, RNX110, Q/H (a) 1:3 (b) 3:1 e (c) 1:1.....	33
Figura 14: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, RNX110, (a) Hexano (b) Querosene.....	34
Figura 15: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, TWN 80, Q/H (a) 1:3 (b) 3:1 e (c) 1:1.....	35

Figura 16: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, TWN 80, (a) Hexano (b) Querosene.....	35
Figura 17: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, TWN 20, Q/H (a) 1:3 (b) 3:1 e (c) 1:1.....	36
Figura 18: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, TWN 80, (a) Hexano (b) Querosene.....	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gráfico da condutividade versus a % massa de água do sistema com NP130 e suas respectivas fases orgânicas.	39
Gráfico 2: Gráfico da condutividade versus a % massa de água do sistema com RXN110 e suas respectivas fases orgânicas.	40
Gráfico 3: Gráfico da condutividade versus a % massa de água do sistema com TWN 80 e suas respectivas fases orgânicas.	41
Gráfico 4: Gráfico da condutividade versus a % massa de água do sistema com TWN 20 e suas respectivas fases orgânicas.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedade dos tensoativos	27
Tabela 2: Métodos analíticos e equipamentos	28
Tabela 3: Área da região microemulsionada dos sistemas ternários.	37

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1.	Gás Natural	17
2.1.1.	Definição	17
2.1.2.	Desidratação do gás natural.....	17
2.1.2.1.	Desidratação com líquidos dessecantes.....	18
2.1.2.2.	Desidratação com sólidos dessecantes	18
2.1.2.3.	Desidratação com membranas.....	19
2.2.	Tensoativos.....	19
2.3.	Micelas	21
2.4.	Microemulsão.....	22
2.4.1.	Formação da Microemulsão	22
2.4.2.	Estrutura da Microemulsão	23
2.5.	Diagramas de fases	24
2.5.1.	Diagramas quaternários.....	24
2.5.2.	Diagramas pseudoternários	25
2.5.3.	Sistemas de Winsor	26
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1.	Reagentes.....	27
3.2.	Métodos Analíticos	28
3.3.	Métodos Experimentais	28
3.3.1.	Formulação do solvente.....	28
3.3.2.	Diagrama de fases a temperatura constante	29
3.3.3.	Cálculo da área da região microemulsionada.....	29
3.3.4.	Medida da condutividade elétrica.....	30
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1.	Resultados	31
4.1.1.	Diagrama de fases	31
4.1.1.1.	NP130.....	31
4.1.1.2.	RNX 110.....	33

4.1.1.3. TWN 80	34
4.1.1.4. TWN 20	36
4.1.2. Área de microemulsão	37
4.1.3. Condutividade	38
4.1.3.1. NP130	39
4.1.3.2. RNX 110	40
4.1.3.3. TWN 80	41
4.1.3.4. TWN 20	42
4.2. Discussões	43
4.2.1. Diagramas de fases	43
4.2.2. Área microemulsionada	43
4.2.3. Condutividade elétrica	43
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

O gás natural é uma das fontes de energia mais eficiente dentre os combustíveis fósseis por sua capacidade de realizar trabalhos utilizando menores quantidades de energia. Ele é a porção de petróleo que existe na fase gasosa ou em solução de óleo, sendo composta por uma mistura de hidrocarbonetos, em seu estado bruto, possui também baixos teores de contaminantes como o nitrogênio, o dióxido de carbono, a água e compostos de enxofre (SANTOS, 2010).

Tendo em vista a importância da produção do gás natural, é necessário que ele passe por procedimentos que o tornem comerciáveis, pois em sua forma bruta, ele não está dentro das especificações determinadas pelo mercado, dentre elas está a composição de água, que quando apresentada em forma de vapor se torna o principal contaminante presente no gás produzido, sendo associado ou não. Sua presença, quando em teor elevados, contribuem para a formação de hidratos e corrosão (AMBRÓSIO, 2014).

A água propicia a formação de ambientes ácidos que geram a formação de hidratos em dutos de distribuição sob altas pressões. Estes hidratos são compostos cristalinos onde as moléculas de água, quando estão associadas umas às outras por pontes de hidrogênio, envolvem as moléculas de gás. Essas quando aglomerados dentro dos dutos causam à acumulação de sólidos gerando problemas operacionais (AMBRÓSIO, 2014). Por causa da formação de hidratos e da necessidade de evitar que o meio se torne corrosivo, é necessária a desidratação do gás natural para se garantir a eficiência nas tubulações de transporte.

A absorção é o método mais utilizado no Brasil para a desidratação do gás natural, ela consiste na utilização de um líquido higroscópico (que possui uma alta afinidade com a água), que entra em contato direto com o gás, tendo como principal característica sua fácil regeneração (PROSIM, 2010). Para a formulação desse líquido dessecante é necessário escolher um tensoativo não-iônico que possui um poder hidrófilo devido a presença de grupos polares do tipo éter, álcool, carbonila e amina. Esse tensoativo possui aglomerados de moléculas chamado de micelas que possuem ambas as regiões estruturais hidrofílica e hidrofóbica que se associam espontaneamente em solução aquosa a partir de uma certa concentração micelar crítica (CMC). As micelas inversas são responsáveis pela dissolução dos tensoativos dentro dos líquidos não polares, tendo assim às partes hidrófilas constituindo o interior das micelas e as partes lipófilas a parte exterior, sendo essa a que está em contato com o solvente (MANIASSO, 2001; NÓBREGA, 2003).

Para a produção do líquido dessecante é necessária a formulação de microemulsões que são sistemas que envolvem a combinação de três a cinco componentes, tais como, tensoativo, fase aquosa, fase oleosa e se necessário um cotensoativo (OLIVEIRA *et al.*, 2004). Para isso é necessária a construção de diagramas ternários que tem como intuito delimitar a região microemulsionada onde se encontra a formação de um sistema monofásico.

O objetivo desse trabalho é estudar o comportamento de fases para misturas ternárias compostas de hidrocarbonetos/tensoativo não-iônico/água em cinco diferentes proporções de misturas de hidrocarbonetos, com o intuito de observar o comportamento da microemulsão que irá ser caracterizada pela condutividade elétrica de cada mistura e sendo feito em seguida o cálculo da área de cada diagrama ternário, de modo a comparar e analisar os diferentes tipos de tensoativos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Gás Natural

2.1.1. Definição

O gás natural é a porção do petróleo que existe na fase gasosa ou em solução de óleo, composta por uma mistura de hidrocarbonetos que permanecem nas condições originais do reservatório, sendo encontrado na natureza acumulado em rochas porosas no subsolo, estando acompanhado ou não ao petróleo. É caracterizado como um combustível fóssil, que apresenta o metano como hidrocarboneto predominante e baixas quantidades de propano e butano, em seu estado bruto, apresentam também baixos teores de contaminantes como o nitrogênio, o dióxido de carbono, a água e compostos de enxofre. Pode ser extraído diretamente a partir de reservatório petrolíferos ou gaseíferos, podendo ser classificado como associado ou não associado, respectivamente (SANTOS, 2010).

O gás associado é aquele dissolvido no óleo ou sob a forma de capa de gás, onde o plano de exploração considera o reservatório como produtor de óleo, já o gás não-associado está livre ou possui quantidades muito pequenas de óleo e o seu reservatório é considerado produtor de gás (PAIVA, 2000).

2.1.2. Desidratação do gás natural

O vapor de água é um contaminante que está presente em todo gás natural produzido, sendo ele associado ou não. Sua presença, quando em teor elevado, pode contribuir para a formação de hidratos e corrosão.

Os hidratos são compostos cristalinos formados por moléculas de água, que quando estão associadas umas às outras por pontes de hidrogênio, envolvem moléculas de gás. Esse tipo de ligação intermolecular entre a água e os gases de baixo peso molecular como metano, etano, propano, butano, dióxido de carbono e ácido sulfídrico é parecido com o do gelo comum, mas seu arranjo produz cavidades que cercam os gases no retículo originalmente formado por moléculas de água. Por ter uma estrutura estável, o hidrato não entra em fusão até temperaturas bem acima de 0°C desde que a pressão predominante e a concentração dos gases sejam suficientemente altas, o que a difere do gelo. Outro aspecto relevante sobre os

hidratos é que eles não necessariamente se aglomeram no mesmo ponto em que é formado, em um duto, por exemplo, o hidrato é arrastado junto com o líquido e se forma nos mesmos locais que há acúmulo desse líquido e é essa acumulação de sólido que geram problemas operacionais (AMBRÓSIO, 2014).

Por causa da formação de hidratos e da necessidade de evitar que o meio se torne corrosivo, é necessária a desidratação do gás natural para se garantir a eficiência nas tubulações de transporte, pois caso esse tratamento não seja realizado ocorrerá a redução da sua passagem com o aumento da perda de carga e a redução da vazão de gás.

Há diferentes técnicas de desidratação, as mais utilizadas atualmente são: absorção por líquidos dessecantes, adsorção com sólidos dessecantes e desidratação por membranas.

2.1.2.1. Desidratação com líquidos dessecantes

A absorção é o método mais utilizado no Brasil, ela consiste na utilização de um líquido higroscópico (que possui uma alta afinidade com a água), que entra em contato direto com o gás, tendo como principal característica sua fácil regeneração. O líquido dessecante mais utilizado é o sorbente tietilenoglicol (TEG), com ele a desidratação acontece em baixas temperatura e a água é absorvida pelo TEG para ser evaporada durante a regeneração do líquido em um refulvedor em altas temperaturas (PROSIM, 2010).

Embora existam muitos líquidos que possam a capacidade de absorver a água, o líquido desejável para a desidratação deve possuir uma alta afinidade de absorção, uma regeneração fácil e econômica e não corrosividade e toxicidade, pouca interação com hidrocarbonetos e nenhuma contaminação por gás ácido (MOKHATAB, 2015).

2.1.2.2. Desidratação com sólidos dessecantes

A adsorção é uma operação de transferência de massa do tipo sólido-fluido na qual os sólidos concentram em sua superfície determinadas substâncias existentes em soluções líquidas ou gasosas, permitindo sua separação. Ela ocorre quando o gás entra em contato com um sólido, de maneira que as moléculas do gás interagem com o sólido aderindo-o e formando uma camada que recobre a superfície livre da fase condensada (AMBRÓSIO, 2014).

O dessecante sólido é usado para a remoção do vapor de água de um fluxo de gás, sendo um processo de adsorção que corresponde a processos em que moléculas de água no gás são capturadas e retidas na superfície dos sólidos por forças superficiais. O grau de adsorção é uma função de temperatura e pressão de operação, a adsorção aumenta com o aumento da pressão e diminui com o aumento da temperatura. Para que o sólido dessecante ofereça bons resultados na desidratação é necessário que possua uma grande área superficial para que se tenha uma alta taxa de transferência de massa, assim como possuir uma alta densidade e atividade para manter a eficiência e ser facilmente e economicamente regenerado, boa resistência mecânica, preços acessíveis, não ser corrosivo e tóxico e quimicamente inertes (NÓBREGA, 2003).

Os mecanismos de adsorção em uma superfície dessecante são de dois tipos: físico e químico. Na primeira a ligação entre as espécies adsorvidas e a fase sólida retém líquidos e sólidos juntos a sua estrutura, já na adsorção química uma ligação química mais forte ocorre entre a superfície e as moléculas adsorvidas, sendo este um processo limitado quando se trata da aplicação na desidratação do gás (MOKHATAB, 2015). Alguns exemplos de dessecantes sólidos são a sílica-gel, alumina, zeólitas e carvão ativado.

2.1.2.3. Desidratação com membranas

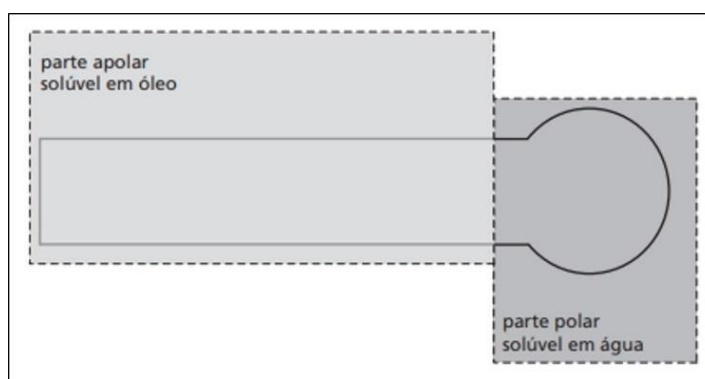
As membranas apresentam duas configurações bastante conhecidas são elas: fibras ocas e tubos permeáveis, que permitem a regeneração do leito. Elas são projetadas ou selecionadas para remover os componentes de interesse, no caso da água do gás natural são utilizadas membranas com soluções de potássio ou de um outro metal alcalino, esse tipo de desidratação é indicado quando se tem uma elevada pressão (400-1220 psig) e a taxa de permeação do gás através das membranas aumentam com o aumento da pressão. A seletividade da membrana com o gás natural é suficientemente grande de maneira que produz gás natural de qualidade (NÓBREGA, 2003).

2.2. Tensoativos

O tensoativo é um tipo de molécula anfifílica, que possui solubilidades diferentes quando presentes em meio aquoso. Apresentam uma parte com característica apolar, que é solúvel em hidrocarbonetos, óleos e gorduras, sendo ligada a uma outra parte com

característica polar que é solúvel em água. Essa molécula é usada para modificar um meio reacional, permitindo a solubilização das espécies de baixa solubilidade ou promovendo um novo meio que possa modificar a velocidade reacional. Na figura 1 abaixo temos na parte apolar uma cadeia carbônica representada por uma barra, em que os carbonos não formam polos de concentração de carga eletrostática. Já a parte polar é representada pelo círculo e formada por alguns átomos que apresentem concentração de carga, com formação de um polo negativo ou positivo (DALTON, 2011).

Figura 1: Representação esquemática de uma molécula de tensoativo com suas partes apolar e polar.



Fonte: Dalton (2011)

Na química os tensoativos, também conhecidos como surfactantes, possuem uma grande importância devido a sua capacidade em modificar propriedades reacionais com o intuito de melhorar a sensibilidade e a seletividade analítica. Tendo como principais características a formação de ambientes organizados, também conhecidos como ambientes micelares (MANIASSO, 2001).

Segundo Nóbrega (2003) quando as moléculas estão dissolvidas em água, apresentam a tendência de se adsorverem na interface água-gás ou água-óleo, exibindo por este motivo uma concentração maior na superfície do que no interior da solução. Por estarem presentes em baixas concentrações em um sistema, possuem também a propriedade de modificarem de forma significativa a energia livre superficial ou interfacial e a partir de uma determinada concentração há a formação de estruturas chamadas micelas. Os tensoativos podem ser classificados de acordo com as características do grupo polar da molécula, sendo dividido em aniônicos, catiônicos, anfóteros e não-iônicos.

Os tensoativos não-iônicos são a classe em que não há formação de íons em solução aquosa, pois não apresentam moléculas dissolvidas. A sua solubilidade em água se deve à

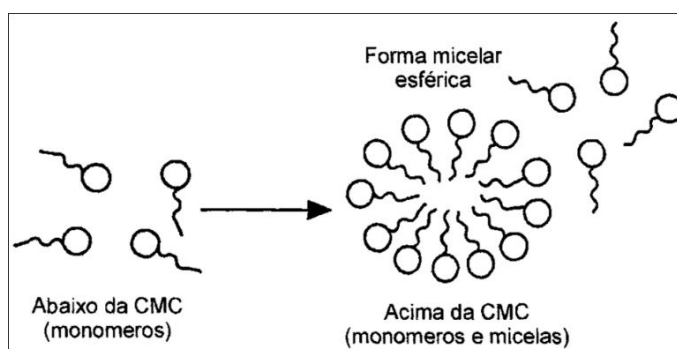
presença, em suas moléculas, de grupamentos funcionais que possuem forte afinidade pela água. Possui um poder hidrófilo devido à presença de grupos polares do tipo éter, álcool, carbonila e amina, sendo derivados do polioxietileno e polioxipropileno ou polialcoóis, éteres de carboidratos, amidas de álcoois graxos e óxidos de amidas graxas (ROSSI, 2007).

As propriedades físico-químicas desse tipo de tensoativo são fortemente dependentes da temperatura, pois sua solubilidade decresce com o aumento da temperatura (DALTON, 2011). Alguns exemplos de tensoativos não-iônicos são éter hexadecil (20)-polioxietilênico (Brij 30) e Polioxietileno (9-10) p-tercotilfenol (Triton X-100).

2.3. Micelas

Micelas são aglomerados de moléculas, que possuem ambas as regiões estruturais hidrofílica e hidrofóbica que, dinamicamente, se associam espontaneamente em solução aquosa a partir de uma certa concentração denominada concentração micelar crítica (CMC), formando grandes agregados moleculares de dimensões coloidais, chamados micelas. (MANIASSO, 2001). A CMC pode ser definida como a concentração máxima na qual o monômero é solúvel, a partir desta concentração os monômeros rearranjam-se espontaneamente de tal forma que adquirem uma conformação termodinâmica estável e solúvel (figura 2). Este fenômeno deve-se à ação do efeito hidrofóbico, que possui uma alta organização das moléculas de água o que promove a auto associação das caudas hidrofóbicas dos monômeros e, conseqüentemente a formação dos agregados (DAL-BÓ, 2007).

Figura 2: Formação do agregado micelar.



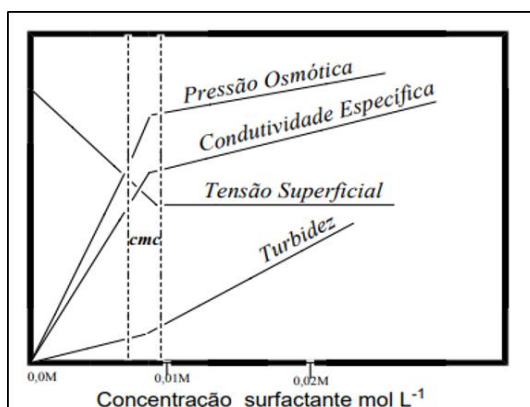
Fonte: Maniasso (2001)

A CMC pode ser vista tanto como a menor concentração de tensoativos na qual às micelas se forma tanto como a solubilidade máxima de água no monômero. Os valores da

CMC dependem da hidrofobicidade da cadeia hidrocarbônica, da carga do surfactante, da natureza da cabeça polar, do contra-íon, do tipo de concentração do eletrólito adicionado e da temperatura, pressão e concentração de aditivos iônico e moleculares. A formação de micelas é detectada através de medidas da variação de propriedades físicas em função da concentração do tensoativo, sendo mais utilizadas para a sua medição a tensão superficial, condutividade elétrica, espalhamento de luz, pH, pressão osmótica e solubilidade (DAL-BÓ, 2007).

Na figura 3 temos um conjunto de gráficos característicos de propriedades físicas usualmente utilizadas para determinar a CMC.

Figura 3: Técnicas utilizadas para determinação da CMC.



Fonte: Dal-Bó (2007)

2.4. Microemulsão

As microemulsões são sistemas termodinamicamente estáveis, isotrópicos e transparentes, de dois líquidos imiscíveis, normalmente água e óleo, estabilizados por um filme de compostos tensoativos localizados na interface óleo/água. Caracterizados como agregados esféricos e com diâmetros entre 10 a 100nm (OLIVEIRA *et al.*, 2004). Geralmente esses sistemas são compostos por quatro componentes: Tensoativo, cotensoativo, composto polar ou apolar, sendo diferenciados das emulsões pelo tamanho das suas partículas, maiores que 0,1 μm , o que confere as emulsões à cor branca-leitosa e a ausência de transparência. Utilizadas como meio absorvente, as microemulsões podem prover uma rota útil para aumentar a velocidade de absorção por causa da alta solubilidade que a fase dispersa pode exibir para o soluto (NÓBREGA, 2007).

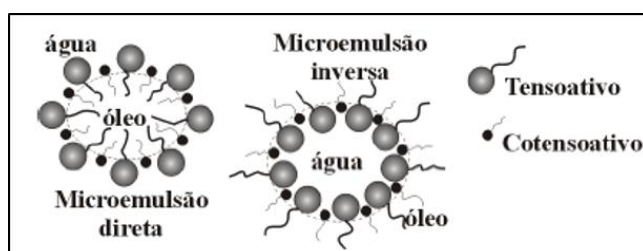
2.4.1. Formação da Microemulsão

A sua formação normalmente envolve a combinação de três a cinco componentes, tais como, tensoativo, fase aquosa, fase oleosa e se necessário um cotensoativo (geralmente um álcool) esse que tem por finalidade dar estabilidade ao tensoativo. Sendo que a orientação para sistemas óleo/água ou água/óleo é dependente das propriedades físico-químicas do tensoativo, explicadas principalmente pelo seu equilíbrio hidrófilo/lipófilo (EHL). A principal característica do sistema é formar espontaneamente a fase interna por homogeneização suave dos componentes da fórmula, tendo como vantagem à sua estabilidade termodinâmica sobre dispersões instáveis, podendo ser utilizada por um espaço de tempo mais amplo (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

2.4.2. Estrutura da Microemulsão

As microemulsões podem ser configuradas em dois tipos, direta e inversa, dependendo da sua composição (Figura 4). As diretas têm a parte hidrofóbica da molécula tensoativa se agrupando no interior da micela de forma a ter o mínimo de superfície em contato com a água, enquanto as extremidades polares ficam dirigidas para o meio aquoso. Já no sistema de micelas inversas as partes hidrofílicas se encontram no centro em contato com a água e às cadeias carbônicas se voltam para o meio externo (ROSSI, 2007). Então assim, as micelas diretas são utilizadas para solubilizar substâncias insolúveis na água, por exemplo, microemulsões óleo/água, enquanto as inversas dissolvem tensoativos dentro de líquidos não polares como microemulsões água/óleo.

Figura 4: Estrutura direta e inversa.



Fonte: Nóbrega (2007)

2.5. Diagramas de fases

As microemulsões são representadas por diagramas de fases, ternários, quaternários e pseudoternários.

2.5.1 Diagramas ternários

Os diagramas ternários representam as microemulsões formadas por três componentes, sendo eles: água, óleo e tensoativo. Cada um deles assume um vértice do diagrama triangular, sendo a região de microemulsão delimitada pelas condições e proporções dos constituintes. Cada lado do diagrama representa uma mistura binária e um ponto no interior do triângulo é formado por uma mistura ternária com proporções especificadas de cada um dos componentes (FERNANDES, 2009; NÓBREGA, 2007). Este tipo de diagrama é representado na figura 5 abaixo.

Figura 5: Diagrama ternário mostrando a zona de microemulsão em um sistema de três constituintes.

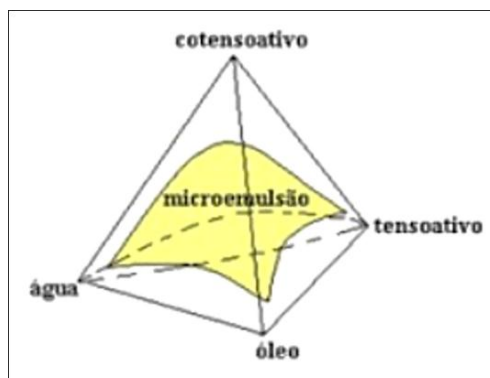


Fonte: Fernandes (2009)

2.5.1. Diagramas quaternários

Esse tipo de diagrama é pouco utilizado, ele representa a região de microemulsão de sistemas formados por quatro componentes, sendo eles a água, óleo, tensoativo e cotensoativo. Nele cada componente assume um vértice no tetraedro, como é representando na figura 6 logo abaixo (FERNANDES, 2009).

Figura 6: Representação da região de microemulsão de um diagrama quaternário.

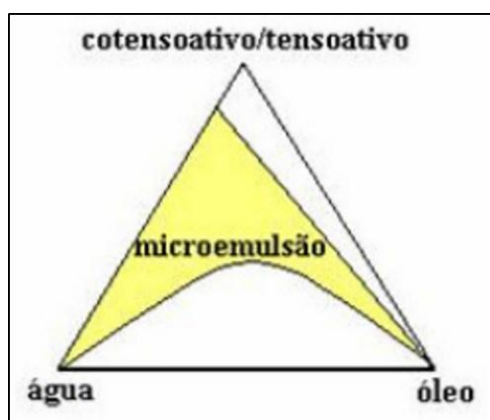


Fonte: Fernandes (2009)

2.5.2. Diagramas pseudoternários

Nesse tipo de representação temos sistemas microemulsionados com quatro constituintes, onde é fixada uma razão entre dois componentes, normalmente cotensoativo/tensoativo, na qual se origina a mesma representação de um sistema de três componentes. Os diagramas pseudoternários representam cortes axiais nos diagramas quaternários, se obtendo assim diagramas triangulares com vértices representando a mistura de dois componentes, a uma razão constante, que é representado na figura 7 (FERNANDES, 2009).

Figura 7: Estrutura de um diagrama pseudoternários com razão cotensoativo/tensoativo constante.



Fonte: Fernandes (2009)

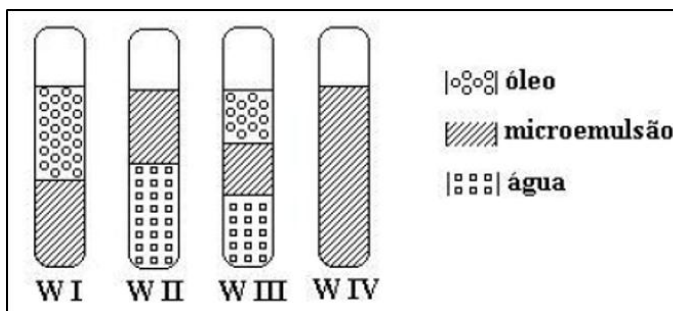
2.5.3. Sistemas de Winsor

Segundo o pesquisador Winsor (1948) os sistemas multifásicos contendo microemulsões em equilíbrio apresentam quatro configurações, dependendo dos parâmetros de composição, temperatura e salinidade. As microemulsões podem permanecer em equilíbrio com uma fase aquosa ou oleosa em excesso, formando compostos multifásicos. Os sistemas estabelecidos foram:

- Winsor I (WI): Representado pelo equilíbrio entre a fase microemulsionada e a fase oleosa em excesso. Por possuir a densidade menor do que a microemulsão, a fase óleo se posiciona acima da microemulsão.
- Winsor II (WII): Nesse sistema é representado o equilíbrio entre a fase microemulsionada e uma fase aquosa em excesso. Devido à microemulsão ser uma mistura de água/óleo/tensioativo e cotensioativo, sua densidade é menos que a fase aquosa, assim a microemulsão se posiciona na parte superior do equilíbrio.
- Winsor III (WIII): As três fases em equilíbrio estão representadas nesse sistema, a fases óleo, microemulsão e fase aquosa, onde o óleo é a fase superior, a microemulsão é a fase intermediária e a aquosa é a fase inferior.
- Winsor IV (WIV): Este é o sistema que existe apenas a fase microemulsionada, isto é, um sistema pseudo monofásico.

A figura 8 abaixo mostras todos os tipos de sistemas Winsor:

Figura 8: Sistemas Winsor.



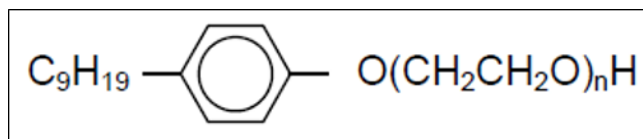
Fonte: Nóbrega (2007)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Reagentes

Os tensoativos não-iônicos etoxilados são obtidos através da reação de nonilfenol com óxido de eteno. Em função do número de unidades de óxido de eteno é possível obter o grau de etoxilação onde é exibido diferentes valores de BHL (balanço hidrófilo-lipofílico), permitindo a escolha de um produto para cada aplicação, podendo ser representados pela seguinte fórmula estrutural (Figura 9), sendo n é o número de mols de óxido de eteno por mol de nonilfenol (grau de etoxilação) (ARAÚJO, 2010).

Figura 9: Fórmula estrutural do nonifenóispolietoxilados



Fonte: Araújo (2010)

Na tabela 1 abaixo, temos os tensoativos utilizados.

Tabela 1: Propriedade dos tensoativos

Tensoativos	Descrição química	BHL	Fornecedor
NP 130	Nonilfenol 13 EO	14,4	Oxiten [®]
RNX 110	Nonilfenol Etoxilado	13,7	Oxiten [®]
TWN 80	Monooleato de Sorbitan Etoxilado 20 EO	15	Vetec [®]
TWN 20	Monolaurato de Sorbitan Etoxilado 20 EO	16,7	Vetec [®]

Fonte: Autoria própria

Como fase orgânica utilizou-se o querosene, que foi obtido comercialmente e produzido pela KO Industrial LTDA, e o n-hexano P.A. ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$, densidade= 0,6689 g/cm³) sendo este fornecido pela Neon Comercial LTDA.

Todos os componentes dos sistemas foram utilizados como fornecidos, sem nenhuma modificação. Para os diagramas de fase foi utilizada misturas de querosene:n-hexano que variam nas proporções 1:3; 1:1; 3:1, e também foram utilizados puros.

3.2. Métodos Analíticos

Os métodos e os equipamentos utilizados para determinar a região de microemulsão e condutividade são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Métodos analíticos e equipamentos

Parâmetro	Aparelho	Faixa	Fabricante/modelo
Pesagem	Balança Analítica	0,01-220g	Marte/AY220
Agitação	Agitador vortex	50-60Hz	Fisatom/772
Condutividade	Condutivímetro	0-20.000 μ S/cm	Quimis®/Q-795A2

Fonte: Autoria Própria

3.3. Métodos Experimentais

3.3.1. Formulação do solvente

Para a formação do líquido dessecante, é feito uma mistura de tensoativo e um composto apolar, sendo o tensoativo não-iônico para que não seja necessária a adição de um cotensoativo na sua formulação, pois uma vez presente, o radical hidroxila (OH), causa interferência na análise da água. A escolha do composto apolar é determinada pelo teste de miscibilidade, feito a temperatura ambiente, com o intuito de verificar o comportamento solúvel, parcialmente solúvel ou insolúvel do composto apolar. Os testes qualitativos de miscibilidade são feitos através de titulação volumétrica do tensoativo no composto apolar, sendo o ponto de viragem (delimitação da região de miscibilidade) determinado pelo aspecto translúcido e homogêneo que sucede ao aspecto turvo, sob agitação, ou vice-versa (NÓBREGA, 2007).

3.3.2. Diagrama de fases a temperatura constante

Para a determinação das regiões microemulsionadas, é necessária a construção de diagramas de fases. Esse método baseia-se na titulação volumétrica com pesagem analítica das proporções volumétricas, com a finalidade de se obter as proporções mássicas respectivas. O comportamento de fases de um sistema que consiste em água, óleo e tensoativo pode ser descrito através de um triângulo de fases cujos os vértices representam os componentes puros. O diagrama triangular é utilizado para representar graficamente os sistemas ternários microemulsionados, em que cada lado representa uma mistura binária e um ponto qualquer no interior do triângulo uma mistura ternária em proporções específicas de cada um dos componentes (NÓBREGA, 2007).

As misturas do binário com fase oleosa e tensoativo não iônico foram preparadas em tubos de ensaio em proporções previamente determinadas, após esta preparação as misturas foram tituladas com água até atingir o limite de solubilização, sendo a adição de cada gota de água seguida por vigorosa agitação no misturador vortex. As transições de fases das amostras examinadas foram determinadas visualmente pela aparência de um aspecto gelatinoso turvo ou pela observação da formação de mais de uma fase (MA *et al.*, 2015).

3.3.3. Cálculo da área da região microemulsionada.

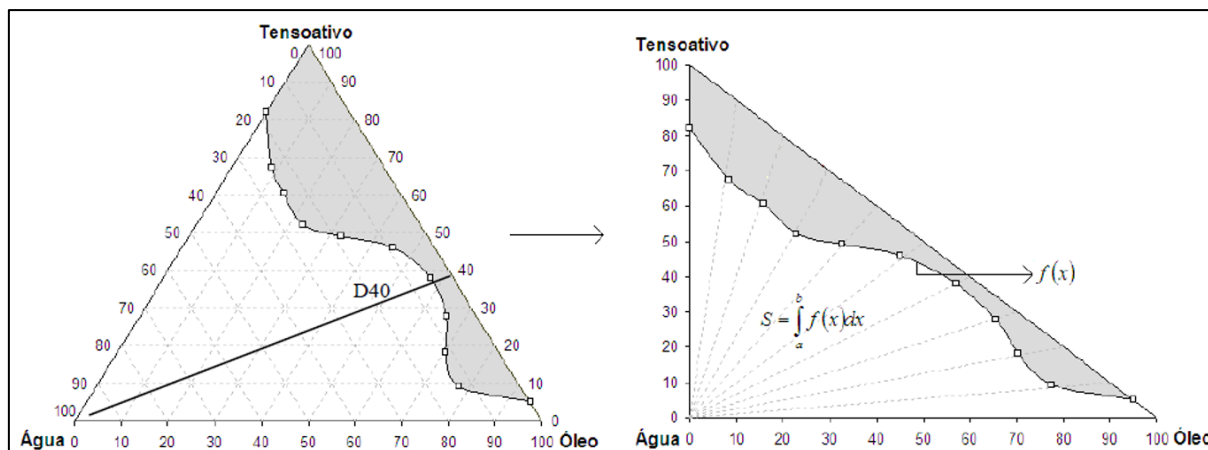
O cálculo da integral é necessário para se obter a maior área de microemulsão do tipo água/óleo, para isso transformou-se os diagramas ternários em diagramas retangulares se tendo assim a equação que melhor representa a curva de microemulsão. É preciso efetua-lo para que se possa delimitar a região de miscibilidade, visto que a região não tem uma forma geométrica definida (NÓBREGA, 2007).

Para transformar o diagrama triangular em um retangular, é feito uma regressão linear para se obter a equação que representa a curva $-f(x)$, onde os limites de integração são as concentrações da fase orgânica. A subtração da área do triângulo sob a curva equivale à região microemulsionada (Equação 1).

$$S = S_{triângulo} - \int_a^b f(x)dx \quad (1)$$

A figura 10 tem-se a aplicação da Equação 1, apresentando as áreas microemulsionadas representadas pela região cinza.

Figura 10: Representação do cálculo integral da área microemulsionada



Fonte: Albuquerque (2017)

3.3.4. Medida da condutividade elétrica

As medições das condutividades foram realizadas a $25 \pm 0,5$ °C em amostras cujas composições se situam ao longo do canal de uma fase, utilizando o medidor de condutividade Quimis[®], modelo DDS-307. A constante da célula de condutividade foi calibrada usando solução padrão de KCL 0,01M. Foram utilizadas como ponto binário as composições de 60% óleo e 40% tensoativo, já que de acordo com a literatura é o melhor ponto de condutividade das microemulsões, sendo realizado assim medições de condutividade ao longo do binário até o seu limite máxima solubilização da água (ALBUQUERQUE, 2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As microemulsões possuem propriedades físicas, que incluem, a estabilidade termodinâmica, alto poder de solubilização, grande área interfacial e alta condutividade elétrica. (FANUN. PAPADIMITRIOU; XENAKIS, 2011). Foram realizados cálculos relacionados a área da região microemulsionada e a medição da condutividade elétrica de cada sistema ternário, afim de caracterizar cada microemulsão.

4.1. Resultados

4.1.1. Diagrama de fases

Com o intuito de estudar a influência do grau de etoxilação dos tensoativos nos sistemas microemulsionados, foram construídos diagramas ternários para a temperatura de 25°C, onde foram observados tanto regiões de duas fases como regiões de uma única fase.

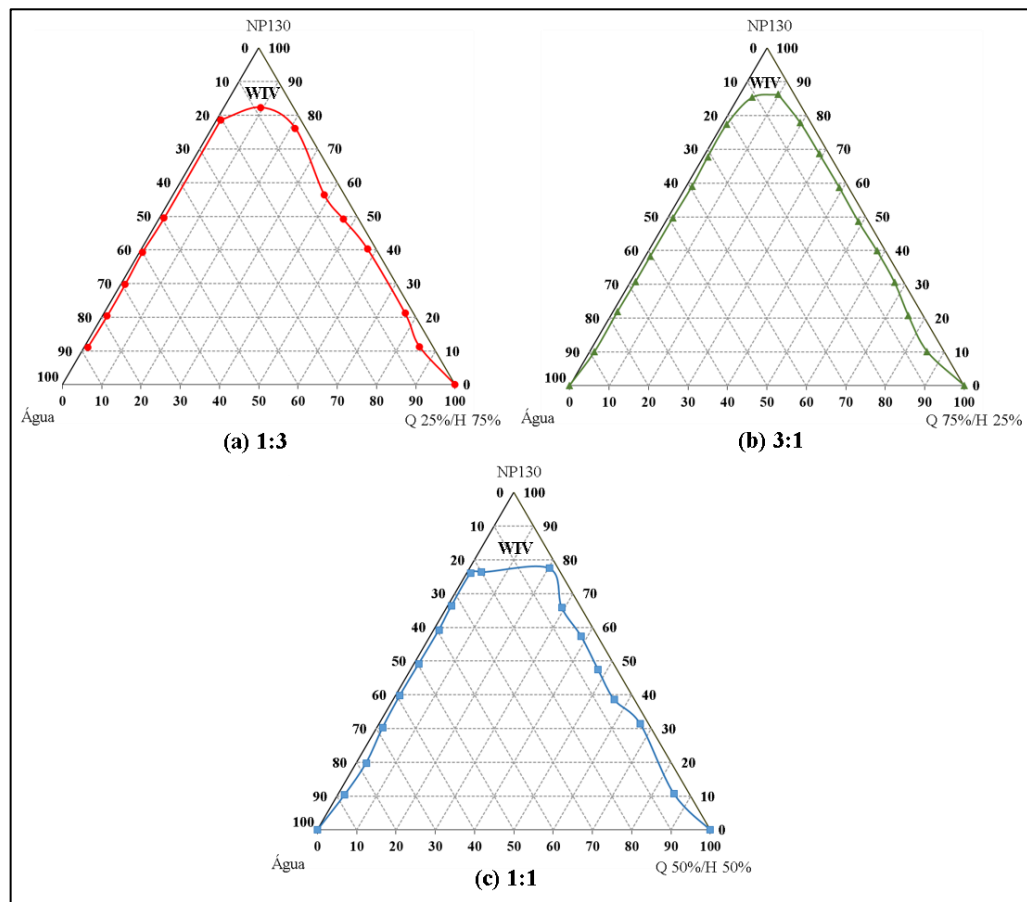
Na região WIV, marcada no gráfico, se têm a presença de uma região de única fase com área isotrópica, transparente e de baixa viscosidade. O diagrama de fases representa regiões de múltiplas fases composta de uma solução micelar de água contínua com excesso de óleo (FANUN. PAPADIMITRIOU; XENAKIS, 2011).

Para que ocorra a absorção da água do gás natural, os diagramas de fases devem apresentar uma boa região de microemulsão A/O que se encontra acima da curva binodal.

4.1.1.1. NP130

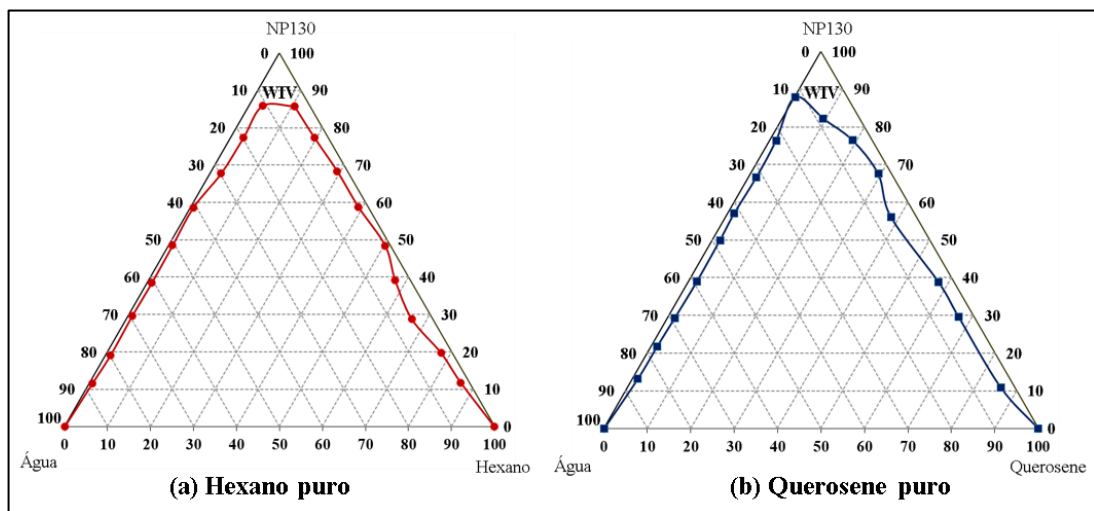
As figuras 11 e 12 comparam as diferentes misturas do querosene/óleo com a utilização dos mesmos em sua proporção pura, nota-se então que as diagramas com frações de 1:3, 1:1 e 3:1 (Figura 11) apresentam uma região microemulsionada maior do que os diagramas de hexano e querosene (Figura 12). Na primeira figura, o diagrama de 1:1 possui a maior região microemulsionada, já na segunda figura os diagramas apresentaram regiões bastante similares.

Figura 11: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, NP130, Q/H (a) 1:3 (b) 3:1 e (c) 1:1.



Fonte: Autoria própria

Figura 12: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, NP130, (a) Hexano (b) Querosene.

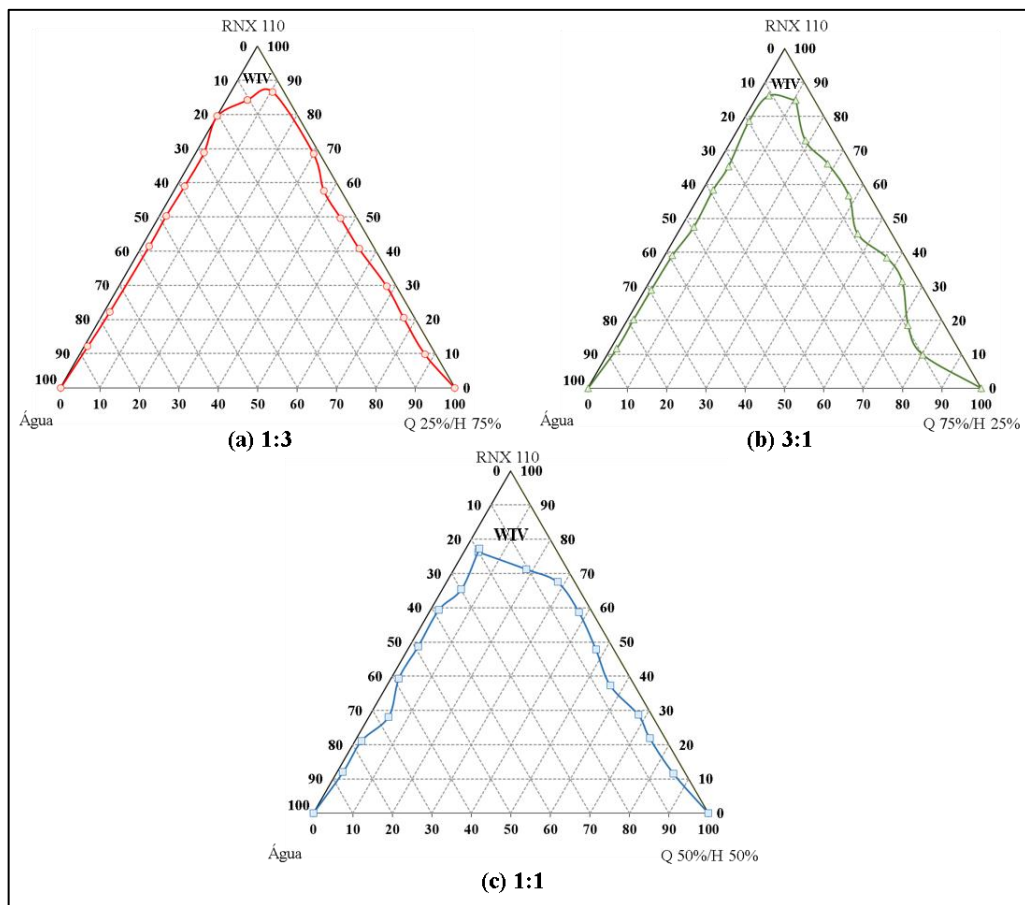


Fonte: Autoria própria

4.1.1.2. RNX 110

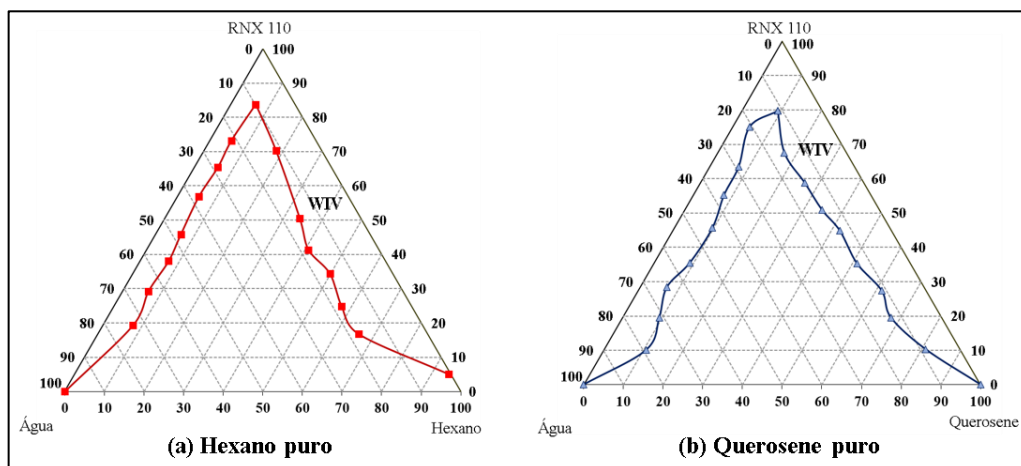
Nas figuras abaixo observou-se que as regiões microemulsionadas dos diagramas de composição de óleo puro (Figura 14) são maiores do que as regiões dos diagramas com diferentes proporções de Q/H (Figura 13). O diagrama do hexano apresentou a maior região de microemulsão, enquanto o de 1:3 teve a menor região.

Figura 13: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, RNX110, Q/H (a) 1:3 (b) 3:1 e (c) 1:1.



Fonte: Autoria própria

Figura 14: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, RNX110, (a) Hexano (b) Querosene.

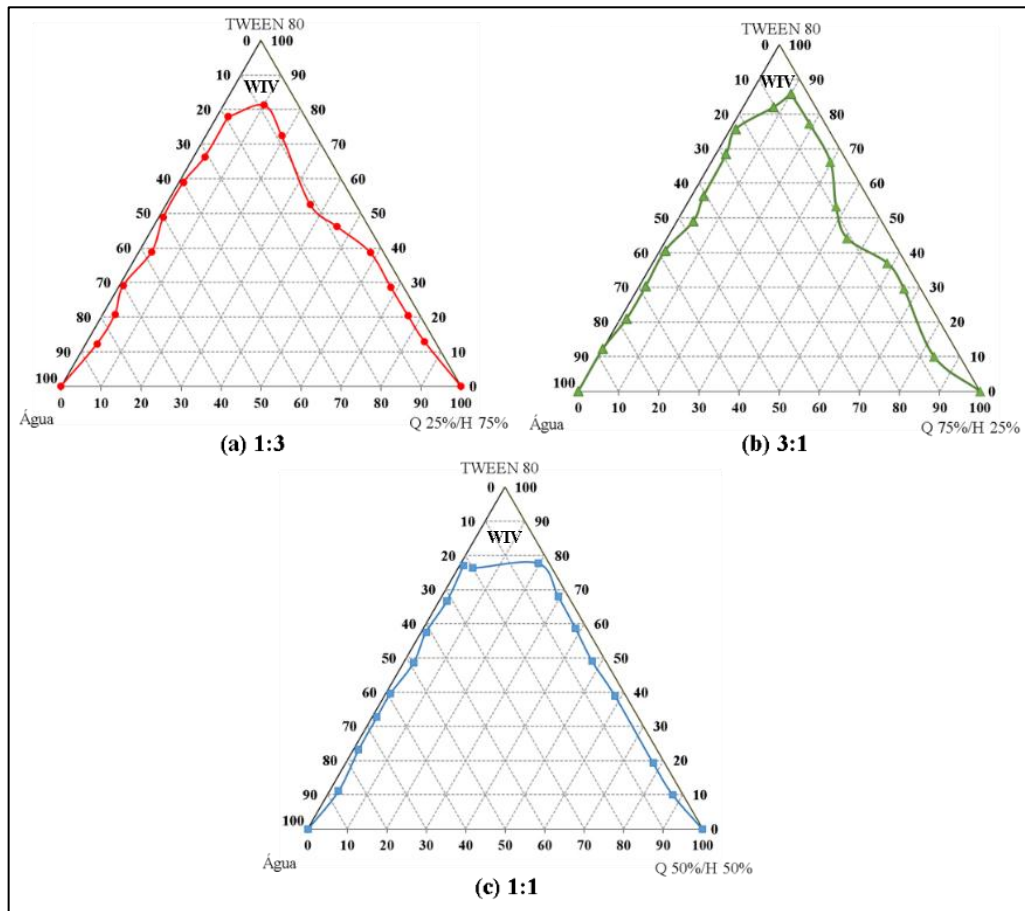


Fonte: Autoria própria

4.1.1.3. TWN 80

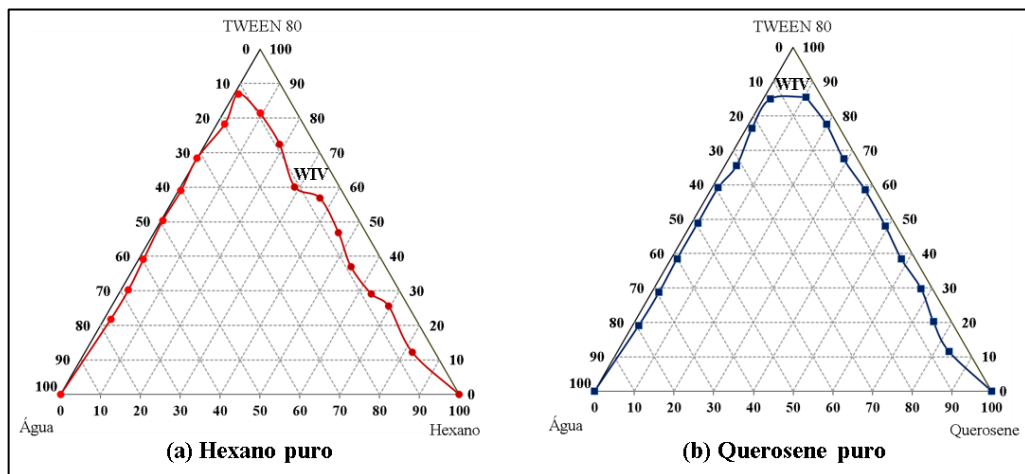
Nos diagramas apresentados na figura 15, a proporção de 1:3 teve maior região microemulsionada do que as proporções 1:1 e 3:1, já na figura 16 o diagrama do hexano apresentou uma região de microemulsão maior do que a do querosene. E quando comparado todos diagramas, o de hexano se destaca pela sua região de microemulsão.

Figura 15: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, TWN 80, Q/H (a) 1:3 (b) 3:1 e (c) 1:1.



Fonte: Autoria própria

Figura 16: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, TWN 80, (a) Hexano (b) Querosene.

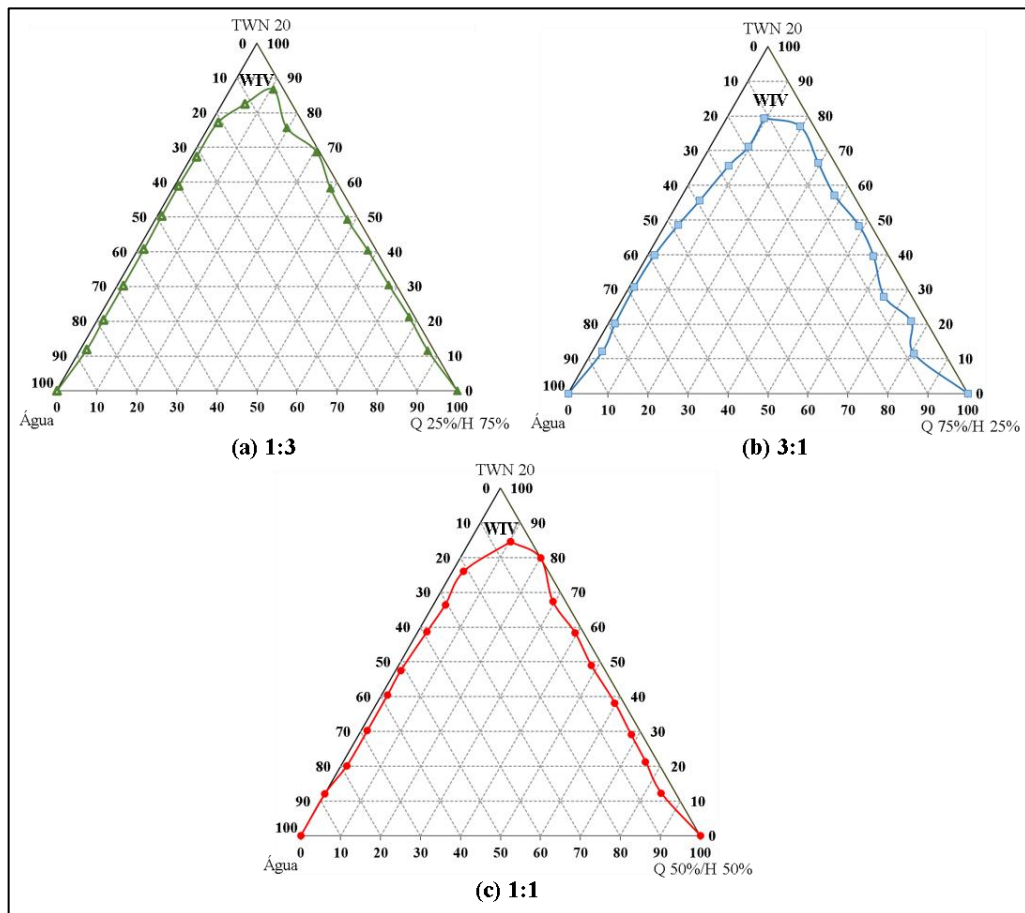


Fonte: Autoria própria

4.1.1.4. TWN 20

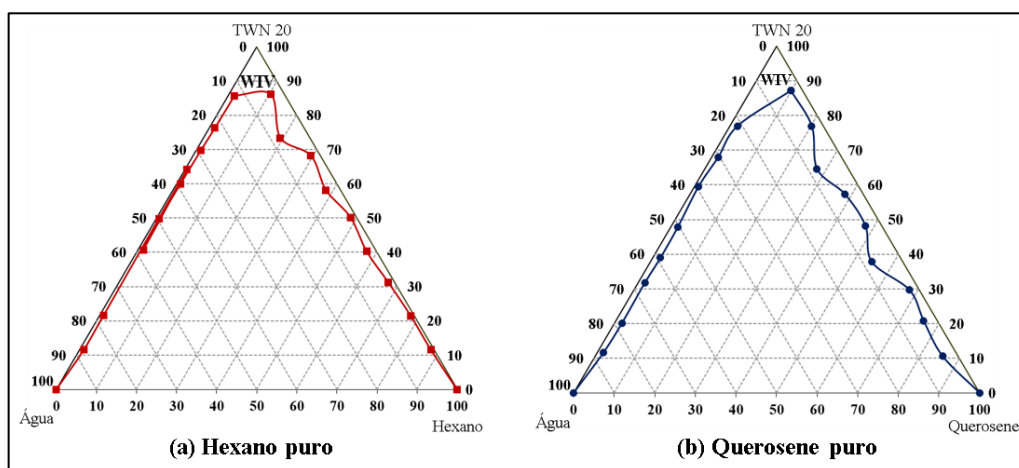
Os diagramas das figuras 17 e 18 apresentam regiões microemulsionadas similares. Tendo o diagrama 3:1 demonstrado uma melhor região de microemulsão do que os demais diagramas.

Figura 17: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, TWN 20, Q/H (a) 1:3 (b) 3:1 e (c) 1:1.



Fonte: Autoria própria

Figura 18: Diagramas de fases ternários para os sistemas: água, TWN 80, (a) Hexano (b) Querosene.



Fonte: Autoria própria

4.1.2. Área de microemulsão

No presente trabalho foram realizados cálculos relacionados a área da região microemulsionada de cada sistema ternário, com o intuito de escolher o tensoativo mais adequado para a formulação do solvente. Como a proposta é obter um solvente com baixa quantidade de tensoativo, o cálculo da área foi realizado no intervalo de 60% a 80% de fase orgânica, os diagramas ternários foram transformados em diagramas retangulares determinadas por meio da regressão linear das equações que representam as linhas limites que indicam a mudança de fase, sendo a região entre as duas linhas limites correspondentes a região microemulsionada.

Tabela 3: Área da região microemulsionada dos sistemas ternários.

Tensoativo	1:3	1:1	3:1	Hexano	Querosene
NP 130	24,26	37,37	51,45	54,72	54,50
RNX 110	45,59	41,27	126,75	279,83	216,1
TWN 80	69,07	120,4	121,49	118,21	69,1
TWN 20	19,14	45,14	71,67	10,65	83,11

Fonte: Autoria própria

De acordo com a tabela 3 os sistemas utilizando o TWN 80 e o RNX 110 possuem as melhores áreas dentre os tensoativos.

4.1.3. Condutividade

Em microemulsões não-iônicas, que possuem baixo teor de água, são formadas micelas inversas dentro de uma fase oleosa contínua e que estes sistemas têm condutividade elétrica semelhante a fase oleosa, já em sistemas com alto teor de água, temos a formação de micelas diretas dentro de uma fase aquosa contínua, que apresentam condutividade semelhante à da água pura (ZHANG, TAXIPALATI E FENG, 2013). Sendo assim, a microestrutura da linha de diluição D40 (figura 10) no sistema formado por água/tensoativo/óleo é gradualmente caracterizada como micelas inversas A/O para região bifásica já que a condutividade diminui em função da presença de óleo em excesso.

As medidas de condução elétrica foram realizadas na região de microemulsão até o limite de solubilização de cada sistema, onde a condutividade das micelas inversas é muito sensível a sua estrutura estando relacionada inteiramente ao raio da gota, mas outros fatores podem influenciar nas propriedades condutoras das micelas reversas (MA *et al.*, 2015).

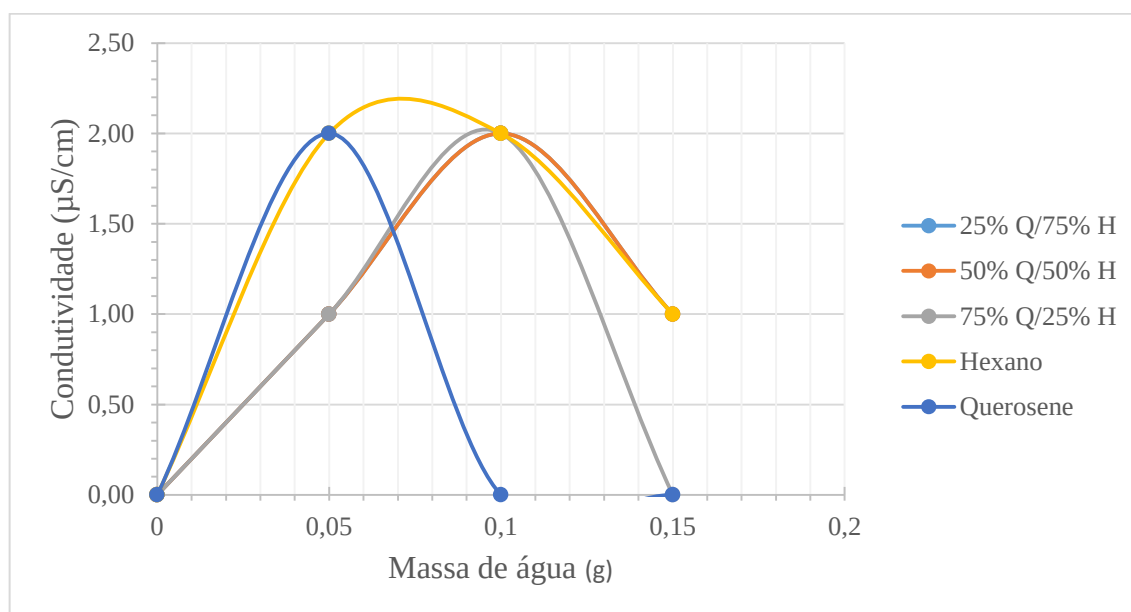
A condutividade é influenciada principalmente pela fração de volume de água presente na mistura. Na mistura binária de 40% tensoativo e 60% óleo só apresenta condutividade a partir da primeira adição de água, isso ocorre devido ao fato da água ser responsável pela condução da corrente elétrica.

Quando a condutividade atingir seu ponto máximo, a mistura ternária se encontrará na região de microemulsão. Após este ponto a mistura se aproximara do seu limite de solubilização ocorrendo um decaimento da condutividade devido à mistura se encontrar na região de duas fases. É nesse momento que ocorre uma diluição das micelas inversas devido ao grande volume de água que a micela não é capaz de suportar, a solução então fica com concentração abaixo da CMC e a mistura começa a adquirir um aspecto turvo, consequentemente causando o decaimento drástico da condutividade, por causa da mudança de fases (ALBUQUERQUE, 2017).

4.1.3.1. NP130

Pode-se observar no gráfico 1 que no sistema água/NP130/fase orgânica a condutividade aumenta com o aumento do teor de água, para as misturas 1:3, 1:1, 3:1 e hexano a condutividade alcança seu máximo a porcentagem de massa de água de 10%. Já o querosene alcança seu limite de solubilidade a 5% da porcentagem de massa de água. Todos os tensoativo apresentaram a mesma condutividade em seu ponto máximo.

Gráfico 1: Gráfico da condutividade versus a % massa de água do sistema com NP130 e suas respectivas fases orgânicas.

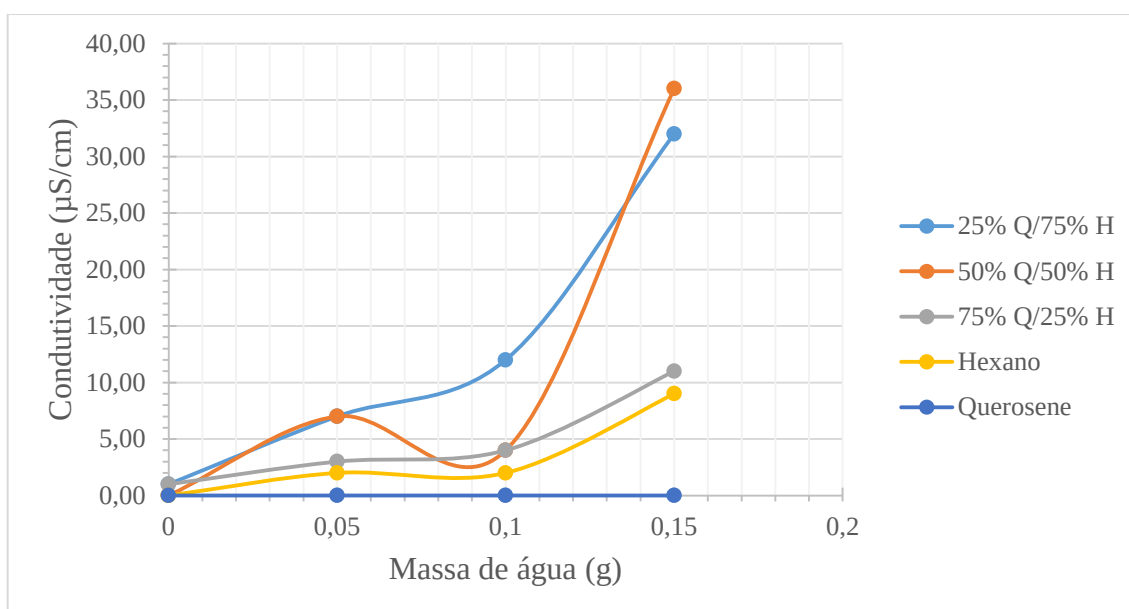


Fonte: Autoria própria

4.1.3.2. RNX 110

No gráfico 2 o sistema microemulsionado apresenta como ponto de máxima condutividade a porcentagem de massa de água de 15%. A fração de 1:1 apresentou maior condutividade do que os demais, enquanto o querosene não apresentou nenhuma condutividade, isso pode se dever ao fato desse sistema possuir condutividades tão baixas que não esteja na faixa de sensibilidade do condutímetro.

Gráfico 2: Gráfico da condutividade versus a % massa de água do sistema com RXN110 e suas respectivas fases orgânicas.

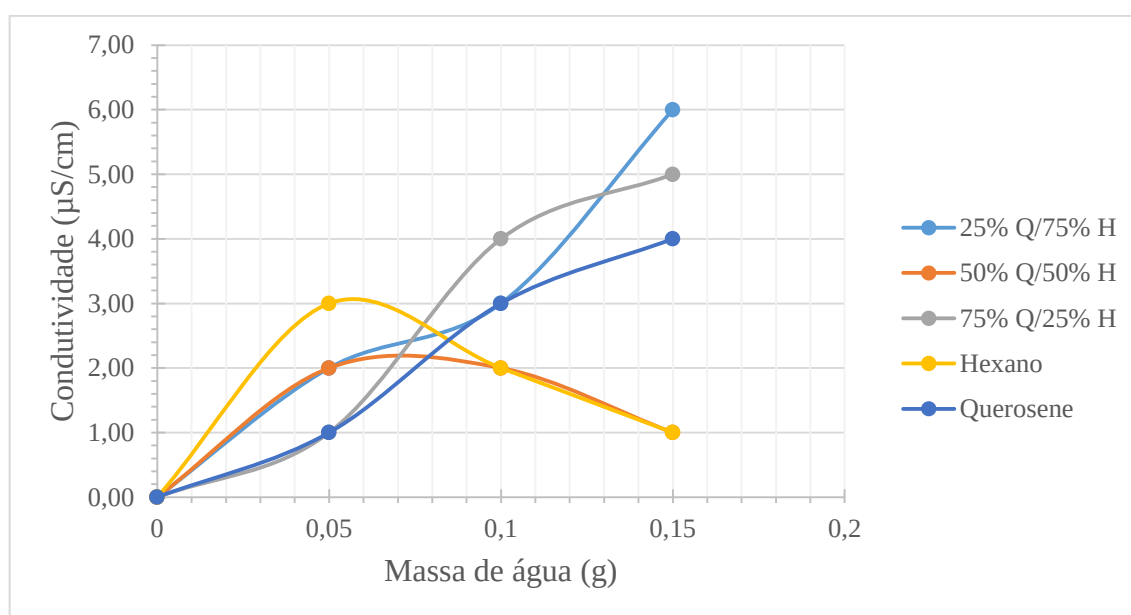


Fonte: Autoria própria

4.1.3.3. TWN 80

No sistema utilizando TWN 80 (Gráfico 3) como tensoativo, para as proporções 1:3, 1:1 e 3:1 o máximo ponto de condutividade se dá em 15% de massa de água, sendo a proporção 1:3 que apresenta a maior condutividade, enquanto o querosene e hexano possuem seu maior ponto de solubilidade em 5% de massa de água.

Gráfico 3: Gráfico da condutividade versus a % massa de água do sistema com TWN 80 e suas respectivas fases orgânicas.

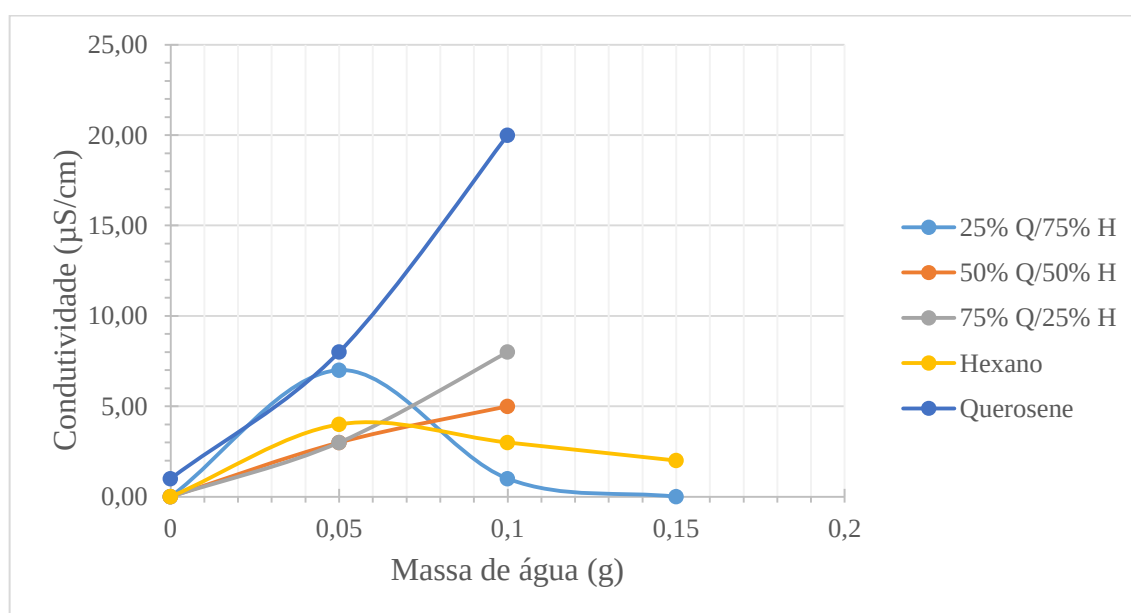


Fonte: Autoria própria

4.1.3.4. TWN 20

O gráfico 4 apresenta o sistema água/TWN 20/fase orgânica, onde as condutividades das diferentes proporções de querosene/hexano atingiram seu máximo a 10% da massa de água, enquanto as proporções puras atingiram seu ponto máximo a 5% de massa de água. A proporção 1:3 apresentou a maior condutividade.

Gráfico 4: Gráfico da condutividade versus a % massa de água do sistema com TWN 20 e suas respectivas fases orgânicas.



Fonte: Autoria própria

4.2. Discussões

4.2.1. Diagramas de fases

Os tensoativos apresentaram regiões microemulsionadas pequenas, o que caracteriza os sistemas com baixas capacidades de solubilizações. Essa está relacionada diretamente com a adição da fase aquosa, pois a medida que se adiciona a água a capacidade de solubilização da microemulsão diminui (FANUN. PAPADIMITRIOU; XENAKIS, 2011). Outro fator que pode explicar as pequenas regiões A/O dos sistemas é o balanço hidrofílico-lipofílico (BHL) dos tensoativos, que quando apresentam valores entre 13-15 favorecem a formação de microemulsões O/A e não as de A/O que é o objetivo deste trabalho (CRUZ, 2013).

4.2.2. Área microemulsionada

As áreas são dependentes dos arranjos das moléculas do tensoativos na interface A/O e estão diretamente relacionadas à capacidade de solubilização de água. É o posicionamento do tensoativo na interface que permite a formação da maior área interfacial e, portanto, geram altos níveis de solubilização (FANUN, 2009). Como os cálculos das áreas dos sistemas formados apresentaram valores baixos, foi comprovado que há uma relação entre a solubilização e a área do sistema.

4.2.3. Condutividade elétrica

A condutividade aumenta exponencialmente com a adição da água no sistema, estando relacionado a diminuição da densidade da molécula do tensoativo na interface A/O (FANUN, 2009). Sendo sensível a sua estrutura, a condutividade está profundamente relacionada ao raio da gota de água, que pode ser um dos fatores que causaram a diminuição do valor da condutividade das micelas reversa (MA, 2015). Após atingir o seu limite de solubilização a condutividade sofre um decaimento por causa da presença de mais de uma fase. Neste ponto a medição não pode mais ser feita, devido a formação do gel, causando a perda da amostra no eletrodo. Para estes sistemas microemulsionados foi obtido valores muito baixos de condutividade, estes resultados podem ser devido a facilidade que os tensoativos têm de gerar mais de uma fase.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Destarte, o objetivo proposto para este trabalho foi cumprido, mostrando-se importante para um melhor entendimento do processo de absorção de água contida em gás natural através de solvente.

Para a formulação do solvente, os sistemas ternários contendo os tensoativos não-iônicos e fase orgânica devem apresentar boas regiões de microemulsão e condutividade. O sistema com NP130 apresentou tanto uma baixa área de microemulsão como de condutividade para todas as proporções das fases orgânicas. Enquanto o sistema RNX 110 obteve uma maior área de microemulsão para o hexano, entretanto a melhor condutividade para esse sistema foi a fração de 1:1. Para o TWN 80 a fração que possui melhor área dentre as fases orgânicas é a de 3:1, apesar da condutividade maior ser encontrada na proporção de 1:3. Já o TWN 20 tem como maior área microemulsionada a fase orgânica do querosene e a sua maior condutividade se dá para a fração de 1:3.

A caracterização desse sistema utilizando a medição da condutividade elétrica é de suma importância para observar o comportamento de cada microemulsão. Podemos concluir a partir do que foi exposto nesse trabalho que nenhum dos tensoativos apresentou uma boa eficiência para ser utilizado na desidratação do gás natural, pois os diferentes sistemas de água/tensoativo/fase orgânica não demonstraram uma boa solubilização da água e condutividade elétrica.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Mylla Monteiro; Silva, Roberta Pereira da; NOBREGA, Geraldine Silva Angélica da. **Investigação sobre a condutividade e comportamento de fases de hidrocarbonetos/tensoativos não iônicos/água sob a forma de micelas inversas**. 2018. 9 f. TCC(Graduação). Curso de Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.
- AMBRÓSIO, Anna Amélia Paula Gomes de Oliveira. **Análise de desempenho de desidratação de gás natural por adsorção em peneiras moleculares**. 2014. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- ARAÚJO, Alessandro Alisson de Lemos. **Determinação experimental e modelagem termodinâmica do ponto de turbidez de sistemas aquosos com tensoativos nonilfenolpolietoxilados**. 2010. 82 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- CRUZ, Kelle Gomes. **SISTEMAS MICROEMULSIONADOS À BASE DE TENSOATIVOS HIDROCARBÔNICOS PARA APLICAÇÃO COMO SUPORTES PARA DISPERSÃO DE COMPOSTOS ANTIBIÓTICOS**. 2013. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2013.
- DAL-BÓ, A. G. (2007). Associação de micelas mistas de surfactantes aniônicos com o polímero hidrofobicamentemodificado etil(hidroxietyl) celulose (EHEC). Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Catarina.
- DALTON, Decio. **Tensoativos: química, propriedades e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2011.
- FANUN, Monzer. Properties of microemulsions based on mixed nonionic surfactants and mixed oils. **Journal Of Molecular Liquids**, [s.l.], v. 150, n. 1-3, p.25-32, nov. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2009.09.008>.
- FANUN, Monzer; PAPADIMITRIOU, Vassiliki; XENAKIS, Aristotelis. Characterization of cephalexin loaded nonionic microemulsions. **Journal Of Colloid And Interface Science**, [s.l.], v. 361, n. 1, p.115-121, set. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2011.05.042>.
- FERNANDES, T. Y. V. (2009). **Desenvolvimento de tensoativos e sistemas microemulsionados para a recuperação de petróleo**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Doutor: 120.
- MA, Y., CHEN, X., WANG, F., WANG, N., BAI, T. Phase diagrams for pseudoternary system of {IPM (1) + [CTAB (21) + butan-1-ol (22)] (2) + water (3)} at temperature 303.15 K. **Journal of Molecular Liquids**, V. 209, p. 603-610, 2015

MANIASSO, N. Ambientes Micelares em Química Analítica. **Quim. Nova**, v.24, No. 1, p.87-93, 2001.

MOKHATAB, SAEID; POE, WILLIAM; MAK, JOHN. **Handbook of Natural Gas Transmission and Processing: Principles and Practices**. 3. ed. [S.l.]: Gulf Professional Publishing, 2015. 628 p.

NÓBREGA, Geraldine Angélica Silva da. **Remoção de água do gás natural por absorção utilizando sistemas microemulsionados**. 2004. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

NÓBREGA, Geraldine Angélica Silva da. **Estudo de uma coluna de absorção recheada para desidratação do gás natural utilizando microemulsão como absorvente**. 2007. 90 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

OLIVEIRA, Anselmo Gomes de et al. MICROEMULSÕES: ESTRUTURA E APLICAÇÕES COMO SISTEMA DE LIBERAÇÃO DE FÁRMACOS. **Química Nova**, Araraquara, v. 27, n. 1, p.131-138, jun. 2004.

PAIVA, J.W. *Condicionamento e Processamento de Gás Natural*. Apostila do Curso de Especialização *latu sensu* em Tecnologia do Gás Natural. Centro de Tecnologia do Gás (CTGÁS). Universidade Potiguar (UNP), 2000.

PROSIM. **Natural Gas Dehydration Unit**. 2010. Disponível em <http://tegdehydration.prosim.net/E12_tegdehydration.pdf>.

ROSSI, C. G. F. T. (2007). **Inibição à corrosão do aço AISI 1020, em meios ácidos e salino, por tensoativos e substâncias nitrogenadas microemulsionados**. Programa de Pós-Graduação em Química. Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Doutora: 163.

SANTOS, Walmir Gomes dos. **Apostila processamento do gás natural**. Rio de Janeiro: Ibp, 2010.

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

Zhang, H., Taxipalati, M., Que, F., & Feng, F. (2013). Microstructure characterization of a food-grade U-type microemulsion system by differential scanning calorimetry and electrical conductivity techniques. *Food Chemistry*, 141(3), 3050-3055. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.05.141