

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
INSTITUTO DE QUÍMICA**

Thamara Walleska Tavares Gonzaga

**APLICAÇÃO DE TENSOATIVOS ETOXILADOS NO CONTROLE DA CORROSÃO
EM OLEODUTOS**

**Natal-RN
2015**

Thamara Walleska Tavares Gonzaga

**APLICAÇÃO DE TENSOATIVOS ETOXILADOS NO CONTROLE DA CORROSÃO
EM OLEODUTOS**

Trabalho de conclusão de curso como parte integrante dos requisitos necessários para a obtenção do grau de bacharel em Química do Petróleo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

**Orientador: Prof. Dr. Alcides de Oliveira
Wanderley Neto**

Divisão de Serviços Técnicos

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN
Biblioteca Setorial do Instituto de Química

Gonzaga, Thamara Walleska Tavares.

Aplicação de tensoativos etoxilados no controle de corrosão em oleodutos /
Thamara Walleska Tavares Gonzaga. – Natal, RN, 2015.
41 f. : il.

Orientador: Alcides de Oliveira Wanderley Neto.

Monografia (Graduação em Química do Petróleo) - Universidade Federal do Rio
Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra.

1. Tensoativo etoxilado – Monografia. 2. Adsorção – Monografia. 3. Inibidor de
corrosão – Monografia. I. Wanderley Neto, Alcides de Oliveira. II. Universidade
Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UFRN/BSE- Instituto de Química CDU 544.722.2:620.19 (02)

Thamara Walleska Tavares Gonzaga

**APLICAÇÃO DE TENSOATIVOS ETOXILADOS NO CONTROLE DA CORROSÃO
EM OLEODUTOS**

Trabalho de conclusão de curso como parte integrante dos requisitos necessários para a obtenção do grau de bacharel em Química do Petróleo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, submetido à aprovação da banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Alcides de Oliveira Wanderley Neto

Profa. Dra. Ana Catarina da Rocha Medeiros

Msc. Katherine Carrilho de Oliveira

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que guiou meus passos até aqui.

Aos meus pais e irmãos por todo apoio, ensinamentos e cobranças.

Aos meus tios e primos, em especial, a Tia Lenilma que me acolheu abrindo as portas de sua casa.

Ao professor Alcides de Oliveira e Erileide Cavalcanti, pela orientação, oportunidade e receptividade no LTT.

Aos meus amigos Aline, Ana Paula, Helder, Lenilton, Milton, Simone, Valdeir, Vanessa e Wallace, por todos os momentos, risadas e conselhos.

Ao meu namorado Felipe, pelo carinho, suporte e companheirismo.

Aos demais colegas do curso de Química e Química do Petróleo pela parceria durante o curso.

Ao PFRHPB-222, pelo auxílio financeiro, possibilitando a realização deste trabalho.

“A solução dos problemas apenas restaura a normalidade. Aproveitar oportunidades significa explorar novos caminhos.”

Peter Drucker

RESUMO

A corrosão em dutos e equipamentos em geral na indústria de petróleo, ocasionada devido às condições agressivas dos produtos, é um motivo relevante que impulsiona o estudo dos tensoativos. Essas moléculas tensoativas são largamente utilizadas como inibidores de corrosão, por formarem uma camada protetora sobre o metal que retardam o processo de deterioração, evitando trocas contínuas de equipamentos ou uso de ligas mais nobres. Partindo dessa problemática, existe a necessidade de obter novos sistemas que sejam capazes de formar estes filmes protetivos sobre as superfícies do metal, com alta eficiência de cobertura em baixas concentrações. Esse trabalho propõe avaliar a influência da estrutura de tensoativos não-iônicos etoxilados no processo de adsorção sobre a superfície interna de oleodutos. Com esse propósito foram realizadas medidas de tensão superficial e ângulo de contato para entender como esses tensoativos se comportam na região interfacial. Para avaliação de eficiência quanto à inibição à corrosão dos sistemas foi realizada a técnica de voltametria linear utilizando um potenciostato. A análise dos resultados para os sistemas mostra que, as curvas de polarização passam para valores de potenciais menores à medida que se adicionam os inibidores ao meio. E que estas curvas não estão polarizadas em relação à curva obtida sem a presença do inibidor, isto significa que esses sistemas não inibem as reações de oxidação, indicando que eles não formam uma película protetora eficiente nos sítios.

Palavras-Chave: Tensoativo etoxilado; Adsorção; Inibidor de corrosão.

ABSTRACT

The corrosion of pipelines and equipment in general in the oil industry, caused due to the aggressive conditions of products, is an important reason that drives the study of surfactants. These surface-active molecules are widely used as corrosion inhibitors, precisely for forming this protective layer, usually in low concentrations, caused by the decreasing surface tension becoming a low cost alternative that avoids continuous exchange of equipment or use of alloys more nobles. Starting from this problem, there is a need for new systems to be capable of forming these protective films on metal surfaces, coverage with high efficiency at low concentrations. This work aims to evaluate the influence of non-ionic surfactants ethoxylates structure in the adsorption process on the inner surface of pipelines. For this purpose were conducted surface tension and contact angle measurements to understand how these surfactants behave in the interfacial region. For evaluation of efficiency and corrosion inhibition systems was performed at linear voltammetry technique using a potentiostat. The results for systems that shows the polarization curves move to lower potential values are added as inhibitors in half. And that these curves are not polarized with respect to the curve obtained without the presence of the inhibitor, this means that these systems do not inhibit the oxidation reactions, indicating that they do not efficiently form a protective film on the sites.

Keywords: Ethoxylate surfactant; Adsorption; Corrosion inhibitor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação geral de um tensoativo.....	14
Figura 2 - Representação do processo de micelização em meio polar.....	16
Figura 3 - Representa a influência da cadeia do tensoativo na adsorção em interface sólido-líquido.....	18
Figura 4 - Representação das energias γ_S , γ_{LV} e γ_{SL} e formação do ângulo de contato θ entre uma gota líquida e uma superfície plana.....	19
Figura 5 - Estrutura do álcool laurílico com 9 grupos etoxilados.....	22
Figura 6 - Tensiômetro SensaDyne QC-600.....	24
Figura 7 - Potenciostato/galvanostato da Autolab, modelo 302N.....	26
Figura 8 - Gráfico da tensão superficial em função da concentração para os tensoativos em água destilada.....	27
Figura 9 - Gráfico da tensão superficial em função da concentração dos tensoativos em solução de NaCl 0,5 Mol/L.....	28
Figura 10 - Esquema do comportamento de adsorção do tensoativo em: (a) antes da c.m.c.; (b) na c.m.c. e (c) depois da c.m.c.....	32
Figura 11 - Curvas de Tafel para o Unitol L80, L100 e L230, solução micelar em água destilada.....	34
Figura 12 - Curvas de Tafel para o Unitol L80, L100 e L230, solução micelar, em NaCl 0,5Mol/L.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentração micelar crítica correspondente para os tensoativos.....	28
Tabela 2 - Ângulos de contato dos tensoativos e as imagens obtidas para as soluções em água destilada.....	30
Tabela 3 - Ângulos de contato dos tensoativos e as imagens obtidas para as soluções em solução de NaCl 0,5Mol/L.....	31
Tabela 4 - Valores de eficiência dos inibidores em água destilada.....	35
Tabela 5 - Valores de eficiência dos inibidores em solução de NaCl 0,5Mol/L.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVO	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	TENSOATIVOS.....	14
3.2	TIPOS DE TENSOATIVOS.....	14
3.2.1	Tensoativos iônicos	14
3.2.2	Tensoativos não-iônicos	15
3.2.3	Tensoativos anfóteros	15
3.3	PROCESSO DE MICELIZAÇÃO.....	15
3.4	BALANÇO HIDROFÍLICO-LIPOFÍLICO (HBL).....	16
3.5	ADSORSÃO DOS TENSOATIVOS NAS INTERFACES.....	17
3.6	MOLHABILIDADE.....	18
3.7	CORROSÃO EM OLEODUTOS.....	19
3.8	INIBIDORES DE CORROSÃO.....	20
3.9	ÁLCOOL LAURÍLICO ETOXILADO.....	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1	REAGENTES.....	23
4.2	MATERIAIS.....	23
4.3	EQUIPAMENTOS.....	23
4.4	PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE TENSOATIVOS.....	23
4.5	MEDIDAS DE TENSÃO SUPERFICIAL.....	24
4.6	MEDIDAS DE ÂNGULO DE CONTATO.....	25
4.7	CURVAS DE POLARIZAÇÃO.....	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5.1	MICELIZAÇÃO DOS TENSOATIVOS.....	27
5.1.1	Influência da estrutura os tensoativos na c.m.c	29
5.1.2	Efeito da salinidade na c.m.c	29
5.2	MOLHABILIDADE.....	29
5.2.1	Influência dos grupos etoxilados na molhabilidade	32
5.2.2	Influência da concentração na molhabilidade	32
5.2.3	Efeito do NaCl na molhabilidade	33

5.3	CURVAS DE POLARIZAÇÃO.....	33
5.4	EFICIÊNCIA DOS INIBIDORES.....	35
6	CONCLUSÕES	37
	REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

O aço carbono é o material mais empregado na fabricação de oleodutos, porém mesmo com o desenvolvimento de pesquisas e progressos consideráveis na sua fabricação, a exposição a agentes abrasivos, presentes na salmoura que é carregada junto com o petróleo, ocasiona frequentemente deterioração. Essa salmoura que passa pelas dutovias além dos sais, contém H_2S e CO_2 que acentuam o processo corrosivo interno dos oleodutos (Adaptado de: BENITEZ, MARTÍNEZ, ROLDAN, 2002).

Os prejuízos causados pelos danos de corrosão do ponto de vista econômico atingem custos extremamente altos, resultando em consideráveis desperdícios de investimentos, além de danos irreparáveis ao ambiente e acidentes fatais (MERÇON, GUIMARÃES, MAINIER, 2004). A substituição de um equipamento corroído geram custos bem mais elevados se comparado ao investido na utilização de um aditivo químico (inibidor de corrosão) que retardam ou inibem o processo corrosivo.

Para diminuir ou inibir a ocorrência da reação da corrosão do material metálico, é imprescindível a realização da manutenção, que pode ser feita de forma mecânica como a limpeza dos dutos, até a utilização de métodos físicos e químicos. A inibição química ocorre pela interação do inibidor nos sítios ativos da superfície metálica, modificando os mecanismos das semi-reações anódicas e catódicas que ocorrem heterogeneamente por toda a área superficial do metal (SOUZA, 1989).

Devido a sua estrutura, os tensoativos são utilizados como inibidores químicos, eles agem formando uma espécie de camada protetora ao se adsorverem nas interfaces, inibindo a corrosão. Essas moléculas possuem grande capacidade de adsorção em interfaces, pois possuem em sua estrutura duas regiões de polaridades diferentes, uma polar que se encontra voltado para a fase aquosa e outra apolar voltada para a fase orgânica se orientando de forma mais energeticamente estável (Adaptado de: ATWOOD e FLORENCE, 1985; HUNTER, 1992).

Quando em solução estas moléculas associam-se formando agregados denominados de micelas. A concentração em que ocorre este fenômeno é conhecida como concentração micelar crítica (c.m.c), que é característica de cada

tensoativo e depende da temperatura (SWARUP e SCHOFF, 1993). Assim, a caracterização dos sistemas micelares é de fundamental importância para compreender melhor a sua aplicação.

A relação entre a estrutura química e a capacidade de adsorção dos tensoativo tem sido, e continua a ser, uma das questões centrais na ciência dessas moléculas, no qual existem alguns fatores que influenciam na quantidade em que se adsorvem nas interfaces, tais como: estrutura do tensoativo, adição de eletrólito, temperatura, pH, entre outros (PARIA E KHILAR, 2004; RUPPRECHT, 1978).

A partir deste contexto existe a necessidade de obter sistemas diversificados que sejam capazes de formar estes filmes protetivos sobre as superfícies do metal, com alta eficiência de cobertura em baixas concentrações, uma vez que os processos corrosivos independentes dos avanços tecnológicos se fazem presentes. Portanto, dessa forma é importante que ações preventivas sejam implementadas de forma a manter a confiabilidade dos equipamentos e processos, de acordo com as normas brasileiras e internacionais, assegurando que as operações petrolíferas não causem danos ao homem, à segurança industrial e ao meio ambiente.

O estudo a seguir tem como foco a análise de tensoativos com o intuito de entender o processo de micelização e o seu comportamento de adsorção quando em solução, utilizando as técnicas de tensão superficial e ângulo de contato, respectivamente. Quanto à capacidade desses tensoativos de formar um filme sobre o metal e a sua eficiência são formuladas curvas de polarização que analisam o potencial de corrosão no meio. Sendo relevante pois podem acarretar a redução dos gastos industriais e possibilitando uma otimização do processo.

2 OBJETIVO

Este trabalho objetiva analisar tensoativos comerciais etoxilados não iônicos, são eles: Unitol L80, Unitol L100 e Unitol L230, caracterizando o fenômeno de agregação molecular que ocorre nas interfaces, e avaliar a influência da estrutura desses tensoativos no processo de adsorção sobre o metal simulando as condições salinas de campo para inibir a corrosão em oleodutos. Como técnica auxiliar, medidas de ângulo de contato foram realizadas para melhor compreender o fenômeno de adsorção na superfície do aço carbono.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção foram abordados conceitos que irão fundamentar o estudo dos tensoativos e sua aplicação como inibidores de corrosão, auxiliando em uma melhor compreensão sobre o assunto.

3.1 TENSOATIVOS

Os tensoativos são compostos anfífilos, a sua estrutura é composta por um grupo polar (hidrofílico) e outro apolar (hidrofóbico) que confere a molécula uma dupla afinidade. Geralmente o seu grupo hidrofóbico é um radical alquila com doze ou mais átomos de carbono que está ligado a um grupo hidrofílico, que é responsável pela disposição ou adsorção das moléculas. Os tensoativos se adsorvem em interfaces líquido-líquido, líquido-gás ou líquido-sólido, ocasionando uma redução na tensão superficial e interfacial nesses meios (WANDERLEY NETO, 2009). A Figura 1 representa um esquema de estrutura química geral de um tensoativo.

Figura 1 – Representação geral de um tensoativo.



Fonte: Autor, 2015.

3.2 TIPOS DE TENSOATIVOS

Os tensoativos podem ser classificados em iônico (aniônico e catiônico), não-iônicos ou anfóteros (HOLMBERG, 2003; HUNTER 1992).

3.2.1 Tensoativos iônicos

Os tensoativos são classificados de acordo com o grupo hidrofílico, alguns possuem cargas elétricas como no caso dos tensoativos iônicos, que ao se

dissociarem em água formam íons carregados negativamente (aniônicos) ou positivamente (catiônicos). Os tensoativos aniônicos mais conhecidos são os alquilalcanoatos. Na classe dos tensoativos catiônicos, destacam-se os sais de amônio quaternários e aminas de cadeias longas (utilizadas como óleos lubrificantes, como inibidores de corrosão em superfícies metálicas e como coletores de flotação na indústria de minérios) (TEIXEIRA ROSSI, 2007).

3.2.2 Tensoativos não-iônicos

Os tensoativos não-iônicos apresentam-se como moléculas não dissociadas em solução aquosa, ou seja, não formam íons, e sua solubilidade média se deve a presença de grupos hidroxí ou poliovitilénicos contidos na estrutura (ATTWOOD; FLORENCE, 1985). Suas propriedades são pouco afetadas com a variação de pH e salinidade, o que torna bastante interessante sua aplicação. Os mais utilizados são os álcoois graxos etoxilados.

3.2.3 Tensoativos anfóteros

Os tensoativos do tipo anfóteros quando dissociados podem apresentar tanto carga positiva quanto carga negativa no seu grupo hidrofílico, o fator determinante para o tipo de carga é o pH do meio. Em meio ácido se comporta como catiônico e em meio básico atuam como aniônico. Como exemplo, pode-se citar betaínas e aminoácidos.

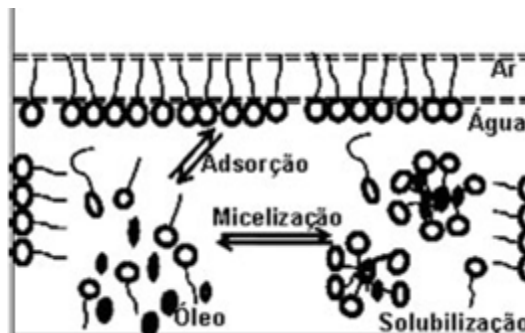
3.3 PROCESSO DE MICELIZAÇÃO

Quando em solução aquosa, por exemplo, o tensoativo migra para a interface e promove distorções nas ligações de hidrogênio. O que ocorre é uma troca da ligação entre as moléculas de água pelo grupo hidrofílico do tensoativo que possui uma menor força de atração, provocando uma redução na tensão interfacial ou superficial.

Com o aumento da concentração esses tensoativos saturam a interface da solução, e se torna energeticamente desfavorável permanecendo no seio da solução

aquosa devido a sua estrutura anfifílica, então se aglomeram para a carga oposta ao meio para manter o menor contato superficial possível, formando uma nova estrutura, as micelas. Quando em solução polar, a parte hidrofóbica fica voltada para o centro da estrutura e a parte hidrofílica para fora, esse agregado é chamado micela direta. Já em meio orgânico (apolar) ocorre o contrário, formando as micelas inversas. A Figura 2 ilustra o processo de micelização.

Figura 2 – Representação do processo de micelização em meio polar



Fonte: RIZZATTI; ZANETTE e MELLO, 2009.

A concentração de moléculas na qual se inicia a micelização é chamada de concentração micelar crítica (c.m.c.), cada tensoativo apresenta uma c.m.c. específica, pois estruturas diferentes interagem de modos distintos com o meio. Existem alguns fatores que interferem nos valores de c.m.c como a temperatura, pH, salinidade, impurezas e o meio da solução.

3.4 BALANÇO HIDROFÍLICO-LIPOFÍLICO (HBL)

A tendência à formação de micelas diretas ou inversas depende da proporção entre a parte hidrofílica e lipofílica do tensoativo e da geometria da molécula. Griffin em 1949 introduziu a noção semi-empírica de balanço hidrofílico-lipofílico (HBL) com a finalidade de selecionar o melhor tensoativo a ser utilizado para cada função. (PEGADO, 2008).

O HBL é uma tentativa de quantificar os efeitos das contribuições das partes polar e apolar existentes na estrutura da molécula. O valor do HBL de um tensoativo aumenta proporcionalmente ao aumento de hidroflicidade da molécula, ou seja, ao aumento na solubilidade do tensoativo no meio aquoso (CREVECOEUR, 1997). A

predominância de uma destas partes dará à molécula anfifílica características específicas e determinará os tipos de aplicações de cada uma (BERTHOD, 1983).

3.5 ADSORÇÃO DOS TENSOATIVOS NAS INTERFACES

A interface é a região entre duas fases que não se misturam, suas características químicas e físicas são diferentes quando comparada as demais regiões no sistema. Devido a sua estrutura os tensoativos têm a habilidade de diminuir a tensão superficial se adsorvendo na interface e formando várias estruturas auto-organizáveis, como micelas e vesículas, quando em solução aquosa (FAN et al, 2008).

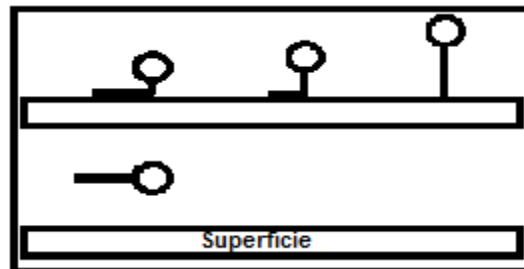
Os tensoativos adsorvem-se nas diferentes interfaces líquido-líquido, líquido-gás ou sólido-líquido. A sua adsorção em interfaces desempenha um importante papel em várias tecnologias como flotação de mineral, lubrificação, corrosão, detergência, emulsificação e recuperação terciária de óleo (ZDZIENNICKA et al, 2008).

Devido a sua dupla afinidade os tensoativos adsorvem-se na interface, com seu grupo hidrofílico voltado para a fase aquosa e o grupo hidrofóbico voltado para a fase orgânica, formando um filme na interface líquido-líquido onde suas propriedades estão ligadas às propriedades dos tensoativos adsorvidos.

Em interfaces líquido-gás a cauda hidrofílica e o seu grau de hidratação são os fatores mais relevantes para a adsorção. Nos tensoativos iônicos o aumento da cadeia hidrofóbica diminui o grau de hidratação acarretando em uma menor adsorção. Para os tensoativos não-iônicos a área por molécula de tensoativo cresce com o aumento de grupos oxietilênicos (DONBROW, 1975). A adição de eletrólito atua diminuindo repulsões entre as cabeças polares, favorecendo a estabilidade de adsorção. Em tensoativos não-iônicos este efeito é pouco pronunciado (HSIAO et al., 1980).

Em interfaces sólido-líquido alguns fatores modificam a quantidade de tensoativos que se adsorvem, como por exemplo, a estrutura do tensoativo, pH, temperatura ou adição de um eletrólito (Adaptado de: TEIXEIRA ROSSI, 2007). A Figura 3 ilustra de um modo geral, a influência da cadeia do tensoativo na adsorção, onde diferentes tensoativos adsorvem-se de maneiras distintas.

Figura 3 – Representa a influência da cadeia do tensoativo na adsorção em interface sólido-líquido.



Fonte: Autor: 2015.

Quanto à estrutura do tensoativo, em geral, os iônicos apresentam um aumento na adsorção quando a cadeia hidrofóbica é maior e em tensoativos não-iônicos, o percentual de adsorção diminui com o aumento da cadeia polioxietilênicas e cresce com o aumento das cadeias alquílicas (PARIA E KHILAR, 2004).

Para tensoativos iônicos a adição de um eletrólito pode aumentar ou diminuir a adsorção, quando o eletrólito possui a mesma carga elétrica do tensoativo ocorre um aumento, porém se a carga for oposta ocorre um decréscimo. Para tensoativos não iônicos, a adsorção decresce devido à competição pelos sítios ativos, entre as moléculas de água e de tensoativos, favorecida pela presença de íons do meio (RUPPRECHT, 1978).

3.6 MOLHABILIDADE

Quando dois ou mais fluidos estão em contato com uma superfície sólida, pode haver uma maior tendência natural de um deles se espalhar sobre esta superfície. Assim, define-se a molhabilidade como uma medida da tendência preferencial de um ou mais fluidos se espalhar ou aderir a uma superfície sólida (DE GENNES, 2004; TIAB e DONALDSON, 2004).

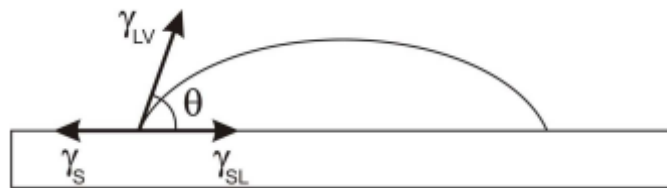
A molhabilidade é um fenômeno de superfície que passou a ser mais bem conhecida a partir dos estudos de Thomas Young (1805) e Willard Gibbs (1906), onde o primeiro afirmou que o equilíbrio das forças atrativas entre as partículas do fluido e as do sólido faria com que o fluido formasse um determinado ângulo com o sólido. No entanto, Gibbs relacionou o ângulo de contato não a um balanço de forças, mas ao conceito de energia de superfície, quando propôs que a linha trifásica

entre um sólido insolúvel e dois fluidos se deslocaria sobre a superfície sólida até que atingisse um ponto em que qualquer deslocamento na linha criaria um acréscimo na energia livre, associada à linha trifásica. . Essa condição de equilíbrio ficou conhecida como equação de Young (CURBELO, 2006).

$$\gamma_{LV} \cos \theta = \gamma_S - \gamma_{SL} \quad (1)$$

Onde γ_S e γ_{LV} são a energia de superfície do sólido e a tensão superficial do líquido em equilíbrio com o vapor, respectivamente e γ_{SL} é a energia da interface sólido-líquido, esquematizados na Figura 4.

Figura 4 - Representação das energias γ_S , γ_{LV} e γ_{SL} e formação do ângulo de contato θ entre uma gota líquida e uma superfície plana.



Fonte: WANDERLEY NETO, 2009.

Por definição, tem-se que, quando $\theta > 90^\circ$, o sólido não é molhável ao líquido, ou seja, não ocorre espalhamento do líquido. Quando $\theta < 90^\circ$ o líquido se espalha espontaneamente, e quando $\theta = 0^\circ$, o líquido se espalha indefinidamente sobre o sólido, ou seja, a molhabilidade é total (RAHAMAN, 1995; HADIAN, 1994; ANEZIRIS, 2005).

3.7 CORROSÃO EM OLEODUTOS

O transporte desde o poço até o uso no cotidiano do petróleo e seus derivados ocorre por uma estrutura de abastecimento, que pode ser realizada de várias formas, entre elas se encontram os oleodutos e gasodutos. Esse transporte dutoviário é composto por um sistema de tubos ou cilindros onde o movimento da

carga é feito por pressão, arraste ou outro elemento transportador (PESTANA E SANTO, 2001).

Os oleodutos são um meio eficiente e econômico para transportar grandes volumes de produtos, possui alto nível de segurança, transportabilidade constante e baixo custo operacional, porém segundo a ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres) é o meio de transporte ainda menos utilizado se comparado ao rodoviário ou ferroviário.

O aço é um material largamente utilizado para a fabricação dos dutos na indústria de petróleo devido sua resistência a altas pressões, temperaturas e fatores externos, mas frequentemente ainda se observa a incidência de corrosão na superfície de oleodutos. É comum ocorrer falhas em equipamentos que estão corroídos, que prejudicam o processo de produção, por causarem atrasos ou aumentarem o custo, além de por em risco à saúde e o meio ambiente. Por isso é importante às operações de manutenção e monitoramento das dutovias (Adaptado de: TERZI e MAINIER, 2008).

A corrosão interna em oleodutos pode estar relacionada a diversos fatores uma vez que o reservatório de petróleo contém também gases, dióxido de carbono, microrganismos, compostos particulados e água com uma elevada salinidade (água de formação), que passa pelos oleodutos junto com a água de injeção (água injetada para forçar a saída do petróleo) a elevadas condições de temperatura e pressão (SCHÜTZ, 2009).

O principal parâmetro da corrosão interna está relacionado com a proporção entre água e óleo. Quando se tem uma elevação no volume de água, emulsão água óleo, esta se separa, decanta-se na parte inferior ao duto e devido ao elevado teor de sais, cloretos, sulfatos e microrganismos torna-se bastante agressiva ao metal (OLIVEIRA, 2000 E OSMAN, 2003).

3.8 INIBIDORES DE CORROSÃO

Os inibidores químicos de corrosão atuam diminuindo ou inibindo o processo corrosivo, estendendo a vida útil dos equipamentos na indústria de petróleo, sendo praticamente indispensável no processo de manutenção de oleodutos.

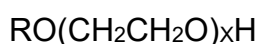
Os inibidores inorgânicos foram inicialmente os mais utilizados, mas não se teve boa efetividade. Logo se iniciou o desenvolvimento de várias formulações de inibidores orgânicos a base de aminas e seus sais (ASM, 2003). Esses inibidores orgânicos atuam se adsorvendo na superfície do metal e produzem uma espécie de filme que impede a dissolução do metal pelo eletrólito (MORALES-GIL, 2004)

A adsorção dos inibidores no metal ocorre por meio de interações físicas ou químicas. A adsorção física acontece através de forças eletrostáticas ou de van der Waals, é rapidamente formada, porém é bem mais fácil de ser rompida. A adsorção química (quimissorção) ocorre lentamente por fortes ligações, com transferência ou compartilhamento de elétrons, com alta energia de ativação (HACKERMAN E SNAVELY, 1966).

Os tensoativos são moléculas orgânicas que surgem como uma alternativa quando se pretende reduzir os efeitos corrosivos devido a sua estrutura anfifílica, que se adsorvem na superfície do metal e mesmo em baixas concentrações são capazes de formar um filme protetor eficiente. Independente do meio corrosivo, o processo de inibição se torna mais eficaz com o aumento da concentração do tensoativo, e atinge um máximo próximo a c.m.c.. Os efeitos de alguns tensoativos, como os polietoxilados, têm sido bastante estudados como inibidores de corrosão para o aço (OSMAN, 1997 e SHALABY, 2002).

3.9 ÁLCOOL LAURÍLICO ETOXILADO

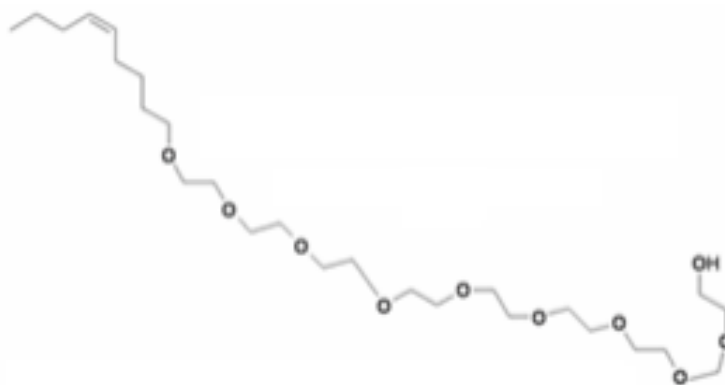
O álcool laurílico etoxilado (Unitol L) é um produto comercial, biodegradável, obtido através da reação de álcool laurílico com óxido de eteno. Em função do grau de etoxilação obtêm-se produtos com diferentes valores de HBL, estado físico e propriedades físico-químicas, permitindo dessa forma a escolha de um produto para cada aplicação (CIR, 1983). O Unitol L é representado pela Fórmula geral:



Onde x é o numero médio de mols de óxido de eteno (grau de etoxilação) e R a cadeia carbônica do álcool laurílico. Quando em baixo grau de etoxilação, esses tensoativos, apresentam HBL baixo, ou seja, possuem uma menor influência da

cabeça hidrofílica, ao passo que quando grau de etoxilação aumenta esses tensoativos tornam-se mais hidrofílicos (maior HBL) (Adaptado de: PEGADO, 2008). Na Figura 5 temos um exemplo de uma estrutura molecular do Unitol com nove grupos Etoxilados (Unitol L90).

Figura 5 – Estrutura do álcool laurílico com 9 grupos etoxilados (Unitol L90).



Fonte: ROBERTO, 2010.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os reagentes, materiais e equipamentos utilizados para a realização deste trabalho estão listados a seguir.

4.1 REAGENTES

- Água destilada;
- Álcool laurílico com 8 grupos etoxilados (Unitol L80);
- Álcool laurílico com 10 grupos etoxilados (Unitol L100);
- Álcool laurílico com 23 grupos etoxilados (Unitol L230);
- Cloreto de sódio 99% (Vetec).

4.2 MATERIAIS

Balões volumétricos (50, 100 e 1000 mL), barra magnética, bastão de vidro, béqueres (50 e 100 mL), bureta graduada de 25 mL, micropipeta, pipetas volumétricas (5, 10, 20 e 25 mL).

4.3 EQUIPAMENTOS

Agitador magnético (modelo TE-085-Tecnical), balança analítica digital (modelo 240A-Precisa), Banho termostatizado (modelo MQBTCA - 100 – Microquímica), Potenciostato-Galvanostato (modelo 302N da Autolab), Tensiômetro (modelo QC6000 da SensaDyne), DAS 100 (modelo da Kruss).

4.4 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE TENSOATIVOS

Nesta etapa foram formuladas soluções com uma concentração acima da c.m.c, adotando-se um o valor de 4% em volume de tensoativo. Feito isso, três soluções foram preparadas adicionando 4 mL de cada tensoativo em três béqueres de 100 mL, que foram solubilizados em água destilada, simultaneamente três

soluções também foram preparadas com o mesmo volume de cada tensoativo, portanto teriam a mesma concentração, porém foram solubilizadas em uma solução de NaCl de concentração 0,5 mol/L. A solubilização destes tensoativos ocorre de forma lenta devido à sua cadeia alquílica, fazendo-se necessária agitação. Esse processo de agitação acarreta na formação de espuma, o que impede o preenchimento dos balões volumétricos (100 mL) de imediato, assim, a amostra fica em repouso por algumas horas até a diminuição (desaparecimento) da espuma, para então serem aferidos os balões.

4.5 MEDIDAS DE TENSÃO SUPERFICIAL

As soluções de tensoativos formuladas em água destilada e em NaCl, foram utilizadas para a avaliação do comportamento dos tensoativos quanto a redução da tensão superficial no meio em função da concentração. Para as medidas foram retiradas alíquotas de 20 mL das soluções concentradas com o objetivo de proceder às diluições (diminuição da concentração) até atingir valores de tensão superficial próximo ao da água.

As medidas de tensão superficial foram realizadas no tensiômetro SensaDyne QC-600, da Chem-Dyne Research Corp. (Figura 6), utilizando o fluxo de nitrogênio gasoso, a uma temperatura de 25°C, controlada em um banho termostaticado MQBTCA 1.

Figura 6 - Tensiômetro SensaDyne QC-600.



Fonte: Autor, 2015.

O programa computacional utilizado foi o SensaDyne Tensiometer Software, versão 1.21, e o método usado foi o da pressão máxima de bolha, na qual se utilizam dois capilares com orifícios e diâmetros diferentes eliminando-se a interferência de componentes hidrostáticos, onde o capilar maior mede o efeito da profundidade de imersão e o capilar menor mede o valor de pressão máxima de bolha o qual é convertido em tensão superficial (DANTAS, 2002).

4.6 MEDIDAS DE ÂNGULO DE CONTATO

As medidas de ângulo de contato foram realizadas utilizando o equipamento DAS 100 e o seu software CAM 200. Nesse procedimento a metodologia utilizada foi o da medida do ângulo diretamente para uma gota de líquido que permanece na superfície plana do sólido, que nesse trabalho foi uma superfície metálica de aço carbono, a mesma utilizada na fabricação de oleodutos.

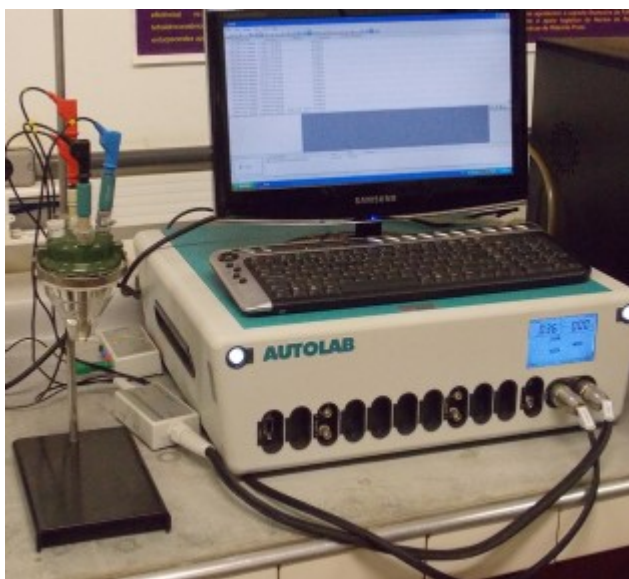
Essa metodologia é mais conhecida como método da gota séssil, que é o mais utilizado para medidas de ângulo sobre uma superfície sólida, nele uma gota com um volume de $1\mu\text{L}$ é depositada individualmente por uma micro seringa é observada com uma lente de baixo aumento, e depois gravada. Utilizando-se essas imagens, o software determina o ângulo de contato através da equação de Young (Adaptado de: WANDERLEY NETO, 2009).

4.7 CURVAS DE POLARIZAÇÃO

O eletrodo de trabalho foi confeccionado com o metal em estudo, o aço API5LX Gr X42, que é empregado na fabricação de linhas de oleodutos. O eletrodo de referência, responsável pela medição do potencial de corrosão, foi o prata/cloreto de prata, sendo a platina o metal condutor. Para o contra eletrodo (eletrodo auxiliar), a platina também foi utilizada como metal condutor, e ele é o responsável para que as reações eletroquímicas de oxidação e redução ocorram normalmente, por exemplo, quando o eletrodo de trabalho funciona como o ânodo o contra eletrodo agirá como cátodo. Os três eletrodos completam a célula eletroquímica, que nada mais é do que um recipiente contendo a solução corrosiva e o inibidor de corrosão na qual os eletrodos são colocados imersos.

O potenciostato é um equipamento eletrônico que controla justamente essa diferença de potencial elétrico entre o eletrodo de trabalho e o de referência, imersos em uma mesma solução. O equipamento utilizado foi o potenciostato/galvanostato da Autolab, modelo 302N (Figura 7), e através dele obteve-se as curvas de polarização que representam o potencial do eletrodo aplicado e a correspondente corrente de corrosão.

Figura 7 - Potenciostato/galvanostato da Autolab, modelo 302N.



Fonte: Autor, 2015.

Uma das melhores maneiras de apresentar as curvas de polarização é através de um gráfico E versus $\log(i)$ (WOLYNEC, 2003), o conhecido diagrama de Tafel. A partir do potencial de corrosão, são feitas duas varreduras distintas, uma no sentido catódico e outra no sentido anódico, medindo para cada sobrepotencial (η) a corrente característica. Formando dois ramos independentes que com o avanço da polarização aproxima-se das retas de Tafel previstas na Equação 2 (Lei de Tafel). A extrapolação destas retas ao potencial de corrosão (E_{corr}) possibilita a obtenção da corrente de corrosão (I_{corr}).

$$\eta = a + b \log i \quad (2)$$

Onde a e b são as constantes anódicas e catódicas de Tafel.

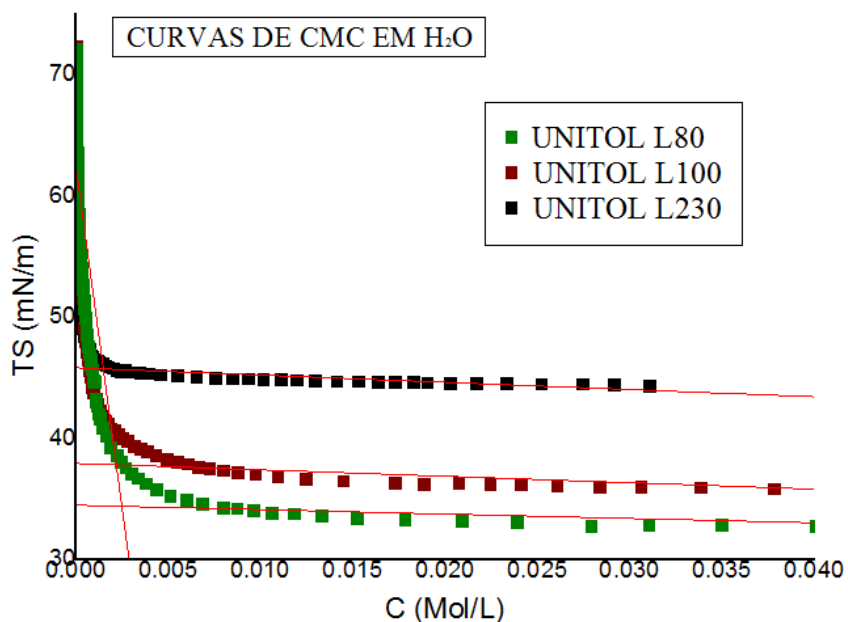
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo foram discutidos os resultados obtidos referentes às análises dos tensoativos etoxilados no controle de corrosão em oleodutos.

5.1 MICELIZAÇÃO DOS TENSOATIVOS

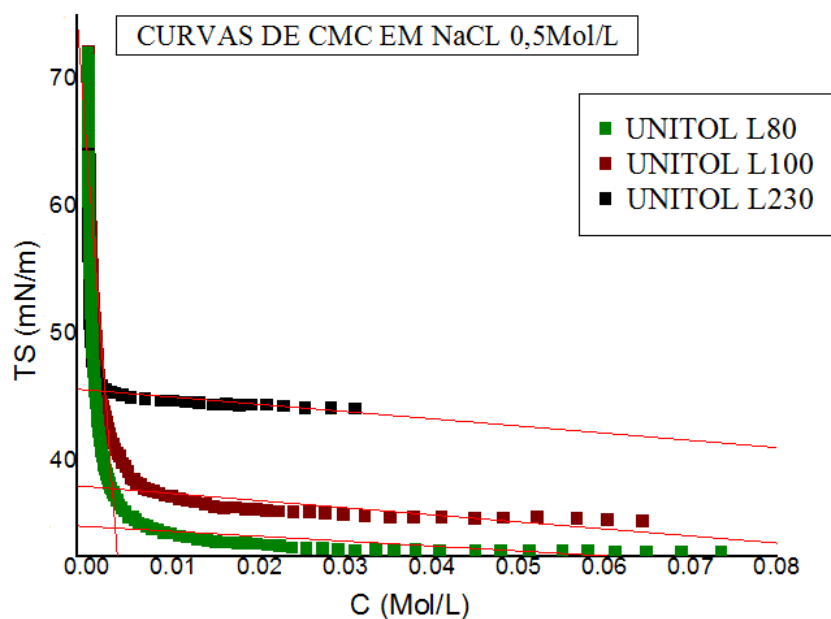
A micelização dos tensoativos Unitol L80, Unitol L100 e Unitol L230 é caracterizada pela concentração micelar crítica, que foi encontrada a partir da variação da tensão superficial em função da concentração do tensoativo. A Figura 8 e a Figura 9 mostram o comportamento de cada um desses tensoativos com os processos de micelização a 25°C, em água destilada e em solução salina de NaCl com concentração 0,5 mol/L, respectivamente.

Figura 8 - Gráfico da tensão superficial em função da concentração para os tensoativos em água destilada.



Fonte: Autor, 2015.

Figura 9 - Gráfico da tensão superficial em função da concentração dos tensoativos em solução de NaCl 0,5 mol/L.



Fonte: Autor, 2015

A c.m.c. é encontrada a partir da inclinação da curva que é feita através da intersecção de duas retas. Os tensoativos Unitol L80, Unitol L100 e Unitol L230 apresentam valores de c.m.c. em concentrações que variam entre as ordens 10^{-3} e 10^{-4} . A c.m.c. para estes tensoativos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Concentração micelar crítica correspondente para os tensoativos.

Meio	Tensoativo	c.m.c. (mol/L)
Água Destilada	Unitol L80	2,48E-3
	Unitol L100	2,20E-3
	Unitol L230	6,60E-4
NaCl 0,5Mol/L	Unitol L80	2,33E-3
	Unitol L100	2,19E-3
	Unitol L230	6,3E-4

Fonte: Autor, 2015

5.1.1 Influência da estrutura dos tensoativos na c.m.c.

A influência da variação de grupos etoxilados, presentes na cadeia hidrocarbônica do tensoativo, é evidenciada nos diferentes valores de c.m.c.

O Unitol L80 com oito grupos etoxilados apresentou o maior valor de c.m.c. quando comparado aos outros dois tensoativos em estudo. O Unitol L100 apresenta uma c.m.c. menor, porém próxima ao Unitol L80 uma vez que é pequena a variação de grupos etoxilados, apenas dois grupos a mais. Já o Unitol L230 apresenta um valor de c.m.c. bem inferior aos demais, se comprado ao Unitol L80 que tem quase três vezes mais grupos etoxilados, e duas vezes maior do que o Unitol L100.

O aumento de grupos etoxilados na cadeia hidrocarbônica reduz o valor da c.m.c., pois a porção hidrofílica do tensoativo aumenta, tornando o raio e a área da superfície da micela maior, uma condição que favorece a micelização a concentrações relativamente baixas (ZHAO et. al., 2007).

5.1.2 Efeito da salinidade na c.m.c.

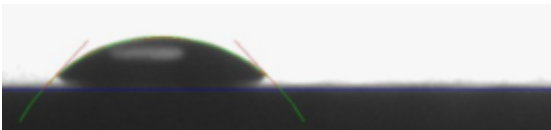


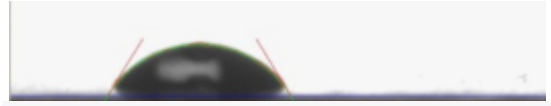

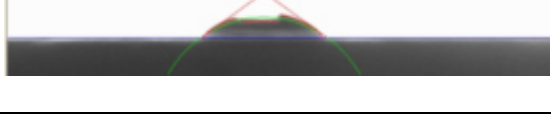

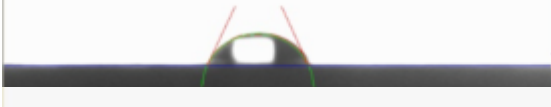

Os três tensoativos foram analisados quanto à formação micelar em ambientes salinos de concentração 0,5 mol/L de NaCl. Quando comparados os valores de c.m.c. obtidos em água com os valores obtidos em meio salino, para os três tensoativos, observou-se que a presença desses íons salinos não reduziu em quantidades significativas o valor da c.m.c.. Em geral, sais inorgânicos apresentam pequeno efeito na c.m.c. para tensoativos não-iônicos (LI, et. al., 2007).

5.2 MOLHABILIDADE

Para a realização das medidas de ângulo de contato foram formuladas soluções de concentração igual à c.m.c. para cada um dos tensoativos em água destilada e em solução de NaCl 0,5 mol/L, com o objetivo de se entender o comportamento desses tensoativos na interface metal-líquido. Analisou-se também o efeito da concentração dos tensoativos na molhabilidade do metal, formularam-se então soluções com um valor de concentração que estivesse antes e outro acima da c.m.c. para os três tensoativos e medidos seus respectivos ângulos de contato.


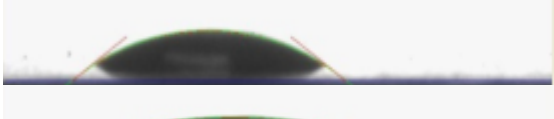

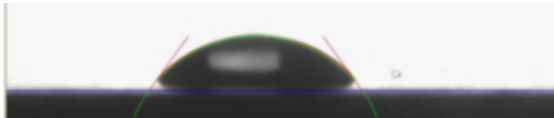
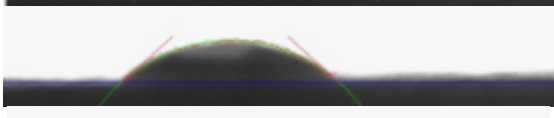


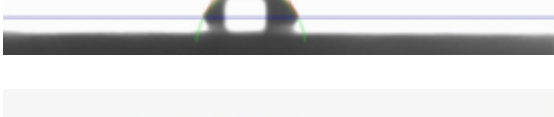

Os ângulos de contato obtidos nas três concentrações foram registrados um minuto após o instante em que a gota toca o metal e feitos em triplicata, os valores que melhor reproduziram estão listados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Ângulos de contato dos tensoativos e as imagens obtidas para as soluções em água destilada.

		Água Destilada
Solução	θ	Imagem
Unitol L80		
Antes da c.m.c.	47,1°	
Na c.m.c.	35,0°	
Acima da c.m.c.	22,2°	
Unitol L100		
Antes da c.m.c.	58,4°	
Na c.m.c.	45,9°	
Acima da c.m.c.	33,3°	
Unitol L230		
Antes da c.m.c.	76,1°	
Na c.m.c.	65,3°	
Acima da c.m.c.	55,0°	

Fonte: Autor, 2015

Tabela 3 – Ângulos de contato dos tensoativos e as imagens obtidas para as soluções em solução de NaCl 0,5 mol/L.

Solução de NaCl 0,5 mol/L		
Solução	θ	Imagem
Unitol L80		
Antes da c.m.c.	39,4°	
Na c.m.c.	34,3°	
Acima da c.m.c.	23,9°	
Unitol L100		
Antes da c.m.c.	53,8°	
Na c.m.c.	40,4°	
Acima da c.m.c.	32,6°	
Unitol L230		
Antes da c.m.c.	68,3°	
Na c.m.c.	59,0°	
Acima da c.m.c.	37,3°	

Fonte: Autor, 2015.

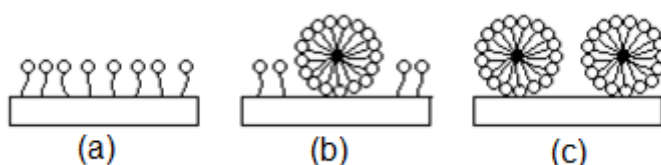
5.2.1 Influência dos grupos etoxilados na molhabilidade

Observa-se a partir dos valores de ângulo de contato que o aumento de grupos etoxilados na cadeia do tensoativo eleva significativamente o valor do ângulo que se forma entre a gota e a superfície metálica, ou seja, menor será a molhabilidade. Isso ocorre devido a esses grupos etoxilados conferirem certa polaridade à cadeia alquílica dos tensoativos e quanto maior for o número desses grupos na molécula maior será sua polaridade. No caso dos monômeros referentes aos tensoativos estudados, estes terão mais afinidade com a água do que com a placa metálica, devido à superioridade de polaridade da água se comparada à polaridade do aço, logo quanto mais polar a molécula do tensoativo maior será sua preferência em ficar solubilizada na solução. Então o aumento do ângulo de contato conforme o aumento da polaridade do tensoativo ocorre devido à diminuição da interação da cadeia alquílica do monômero com a superfície do metal provocada pela sua maior interação com a água.

5.2.2 Influência da concentração na molhabilidade

As medidas de ângulo de contanto das três soluções em concentrações antes, igual e depois da c.m.c. para cada tensoativo possibilitou observar a molhabilidade em função de um aumento gradativo de concentração. Inicialmente analisou uma concentração antes, que apenas apresentava monômeros, depois uma elevação na concentração até atingir a c.m.c. onde se inicia a formação dos agregados (micelas), e por fim uma concentração acima, na qual não existe um número significativo de monômeros isolados. A Figura 10 exemplifica o comportamento dos tensoativos nas concentrações analisadas.

Figura 10 – Esquema do comportamento de adsorção do tensoativo em: (a) antes da c.m.c.; (b) na c.m.c. (c) depois da c.m.c..



Fonte: Autor,2015.

A análise dos valores de ângulo de contato, indicam que o aumento na concentração implica em uma maior molhabilidade sobre metal para os três tensoativos. Quando só existem monômeros, concentração antes da c.m.c., a molhabilidade é menor, pois a adsorção no metal se dá, exclusivamente, pela cauda desses tensoativos, ao passo que a concentração aumenta e surgem os agregados micelares e agora a adsorção na interface passa a ser através da cabeça desses tensoativos. O efeito do tensoativo frente suas propriedades é ainda mais intensificado quando existe uma maior quantidade de micelas formadas. Em uma concentração acima da c.m.c. existe um maior número de micelas formadas do que na c.m.c. e devido à quantidade de tensoativo ocorre uma acentuada diminuição do ângulo de contato elevando a molhabilidade.

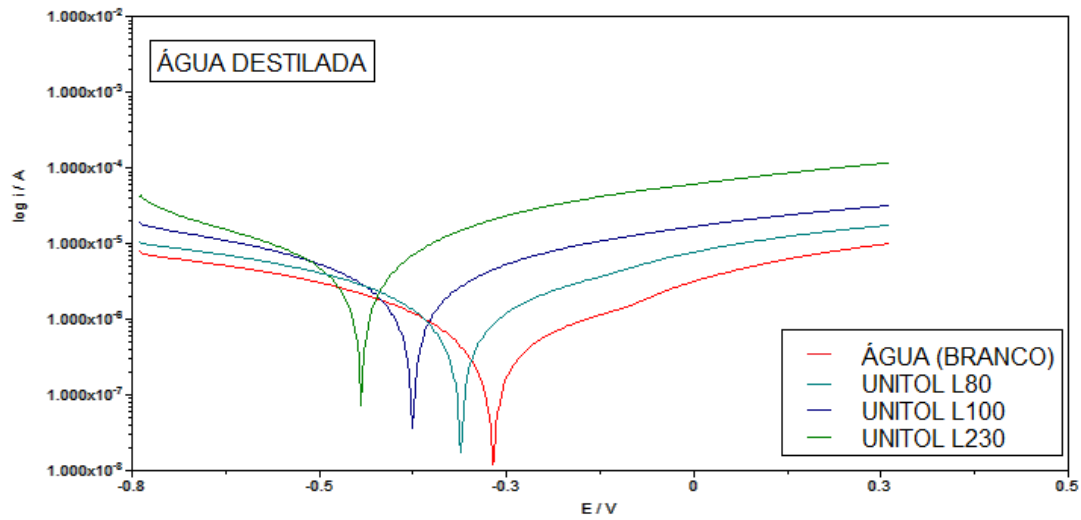
5.2.3 Efeito do NaCl na molhabilidade

Uma leve diminuição do ângulo de contato, que se forma entre a gota e o metal, é observada ao adicionar NaCl ao meio, pois os íons provenientes da dissociação do sal diminuirão o poder de solvatação da água, uma vez que ela tem preferência por partículas menores, sua solubilidade para as moléculas de tensoativos diminui, mesmo depois de estarem agregadas na forma de micelas, e estas tendem a interagir mais com o metal aumentando a molhabilidade na superfície metálica.

5.3 CURVAS DE POLARIZAÇÃO

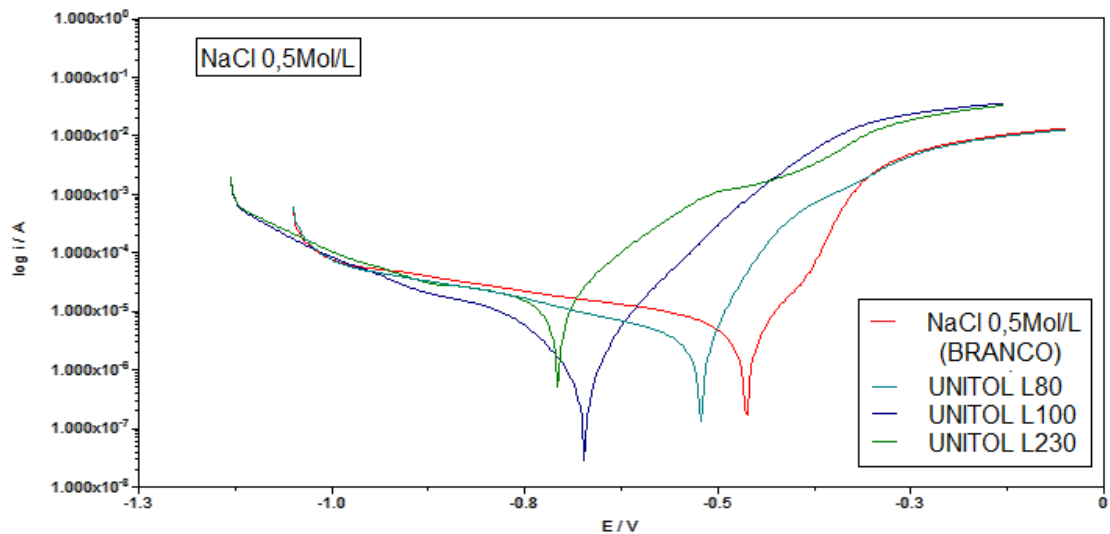
As curvas de polarização das soluções micelares para o Unitol L80, o Unitol L100 e o Unitol L100 em água e em NaCl são representadas nas Figuras 11 e 12, respectivamente.

Figura 11 – Curvas de Tafel para o Unitol L80, L100 e L230, solução micelar em água destilada.



Fonte: Autor, 2015

Figura 12 – Curvas de Tafel para o Unitol L80, L100 e L230, solução micelar em NaCl 0,5Mol/L.



Fonte: Autor, 2015.

As curvas de polarização potenciodinâmicas que foram obtidas na presença dos tensoativos em água e em solução de NaCl 0,5Mol/L, apresentaram valores de potenciais mais negativos quando comparados com a curva de polarização sem inibidor nos dois meios, o que significa que esses tensoativos não são inibidores de corrosão eficazes nessas condições.

5.4 EFICIÊNCIA DOS INIBIDORES

As eficiências foram calculadas, a partir das correntes de corrosão obtidas através da extrapolação da curva de Tafel, segundo a Equação 3.

$$E\% = \left(\frac{I_{\text{corr},0} - I_{\text{corr},1}}{I_{\text{corr},0}} \right) \cdot 100\% \quad (3)$$

Onde $I_{\text{corr},0}$ e $I_{\text{corr},1}$ representam as correntes de corrosão na ausência e presença do inibidor respectivamente.

Os valores obtidos para as soluções micelares de Unitol L80, Unitol L100 e Unitol L230, em água foram listados na Tabela 4 e na Tabela 5 os valores para as solução tensoativas em NaCl 0,5Mol/L.

Tabela 4 – Valores de eficiência dos inibidores em água destilada

Meio	$I_{\text{corr},0}$ (A/cm ²)	$I_{\text{corr},0}$ (A/cm ²)	Eficiência (%)
Água Destilada	1,16E-06	-	-
Unitol L80			
Antes da c.m.c.	-	1,38 E-06	-19,07
Na c.m.c.	-	1,49 E-06	-28,53
Acima da c.m.c.	-	1,56 E-06	-34,22
Unitol L100			
Antes da c.m.c.	-	1,41 E-06	-21,47
Na c.m.c.	-	1,56 E-06	-34,74
Acima da c.m.c.	-	1,60 E-06	-38,19
Unitol L230			
Antes da c.m.c.	-	1,48 E-06	-23,93
Na c.m.c.	-	1,66 E-06	-42,67
Acima da c.m.c.	-	1,79 E-06	-55,08

Fonte: Autor, 2015

Tabela 5 – Valores de eficiência dos inibidores em solução de NaCl 0,5Mol/L

Meio	$I_{corr,0}$ (A/cm ²)	$I_{corr,0}$ (A/cm ²)	Eficiência (%)
NaCl 0,5Mol/L	3,7E-06	-	-
Unitol L80			
Antes da c.m.c.	-	4,48 E-06	-21,55
Na c.m.c.	-	5,50 E-06	-49,17
Acima da c.m.c.	-	5,78 E-06	-56,82
Unitol L100			
Antes da c.m.c.	-	4,61 E-06	-25,05
Na c.m.c.	-	5,56 E-06	-50,94
Acima da c.m.c.	-	5,96 E-06	-61,76
Unitol L230			
Antes da c.m.c.	-	4,87 E-06	-32,13
Na c.m.c.	-	5,94 E-06	-61,44
Acima da c.m.c.	-	6,26 E-06	-69,93

Fonte: Autor, 2015.

Tem-se que as correntes de corrosão obtidas foram maiores na presença de inibidor do que na ausência destes, portanto, esses tensoativos não apresentam eficiência como inibidor de corrosão.

Os valores negativos, diferente do que se esperava, indicam que ao serem adicionados ao meio esses tensoativos provocam corrosão no metal. Esse fato pode ser explicado devido à presença da hidroxila e dos grupos etoxilados, ambos com pares de elétrons livres, na estrutura do tensoativo, que quando em solução aquosa, esses sítios negativos provocam uma ruptura nas moléculas de água, atraem o hidrogênio, acarretando em excesso de hidroxilas livres no meio provocando uma alteração no pH.

Observa-se, através dos valores de eficiência, que a corrosão é acentuada com a elevação da concentração dos tensoativos e também com o aumento no número de grupos etoxilados nas cadeias, em ambos os fatos, isto acontece devido maior quantidade de oxigênios, com pares de elétrons livres, estarem presentes na solução interagindo com o H⁺ provenientes da auto proteólise da água. A presença de NaCl no meio, também é um fator que atenua o processo corrosivo, que em virtude do seu pequeno tamanho atômico os íons cloretos se adsorvem facilmente na superfície e atacam o metal.

6 CONCLUSÕES

Através da tensão superficial pôde-se obter os resultados de c.m.c. para os tensoativos Unitol L80, Unitol L100 e Unitol L230 e verificar que ao passo que a molécula contém um maior número de grupos etoxilados menor será a c.m.c., ou seja, menor a concentração de tensoativos necessário à formação de micelas. E a adição de sal teve um efeito pouco pronunciado sobre a c.m.c..

Observou-se que três fatores influenciaram na molhabilidade dessas moléculas sobre o metal. O aumento de grupos etoxilados ocasiona um aumento da porção hidrofílica na cadeia dos tensoativos, isto faz com que estas moléculas prefiram ficar em contato com a água, que é mais polar do que a superfície metálica, acarretando em uma diminuição na interação da cadeia hidrofílica com o aço, diminuindo a molhabilidade sobre ele. As análises dos ângulos de contato mostram que o aumento na concentração dos tensoativos eleva a molhabilidade. A adição de NaCl aumenta sutilmente a molhabilidade pois diminui a solubilidade da água, fazendo com que as moléculas interajam mais com o metal.

As curvas de polarização obtidas na presença dos tensoativos apresentaram valores de potenciais menores quando comparados com as curvas de polarização do meio branco, o que significa que esses tensoativos não formam um filme protetor sobre o metal. Observa-se através dos valores de corrente de corrosão que estes tensoativos quando em solução ocasionam corrosão no aço, devido a alteração de pH ocasionada pela presença dos sítios negativos do oxigênio presentes na estrutura do tensoativo. E com o aumento da concentração desses tensoativos maior será a quantidade de oxigênio interagindo com os hidrogênios, acarretando em uma maior taxa corrosão. A adição de NaCl eleva o processo corrosivo, devido ao ataque de cloreto sobre o metal.

Os tensoativos em estudo não foram eficazes na formação de uma camada protetora sobre o metal nas condições aplicadas nesse trabalho, e ainda agredem o metal acelerando a corrosão, como mostrado nos resultados de eficiência e nas curvas de polarização. Se fazendo necessário testes em meios ácidos, que podem ser realizados em um futuro projeto de pós-graduação.

REFERÊNCIAS

ASM Handbook Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection, Volume 13^a, 2003.

ATTWOOD, D.; FLORENCE, A. T. Surfactants systems. 1. ed., Chapman and Hall, London, 1985.

ANEZIRIS, C. G., HOMOLA, F., "High temperature wettability of refractories in contact with melts", Handbook, German Ceram. Soc., Technical Ceramic Materials, Kriegesmann, Cap. 5.4.2.1, P.1-32, 2005.

BENITEZ, J. L.; MARTÍNEZ, C.; ROLDAN, R. Tests confirm effectiveness of new inhibitor for pipeline internal corrosion. Oil & gas Journal, Tulsa, p. 66-70, Jun 2002. Disponível em: <<http://www.ogj.com/articles/print/volume-100/issue-24/transportation/tests-confirm-effectiveness-of-new-inhibitor-for-pipeline-internal-corrosion.html>>. Acesso em: 13 jan. 2016.

BERTHOD, A. J.; Structures physico-chimiques des milieux disperses: Miceles, emulsions et microemulsions. J. Chem. Phys., V.5, p.80, 1983.

CIR - Cosmetics Ingredients Review, "Final report of the safety and assessment of the Laureth", Journal of the American College of Toxicology, vol. 2(7), 1983. Disponível em: http://flybit.com.br/trabalhos/produquim/ultrol_I.pdf . Acesso em: 2 de Setembro de 2015.

CREVECOEUR, J.J., Water expandable polystyrene (WEPS), Tese (Pós-doutorado), Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 1997.

CURBELO, F. D. S.; Recuperação Avançada de Petróleo Utilizando Tensoativos. Tese (Doutorado), UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Natal/RN, 2006.

DANTAS, T. N. C.; MOURA, E. F.; SCATENA, H.; DANTAS NETO, A. A. Microemulsion system as a steel corrosion inhibitor. Corrosion, v. 58, n.9, p. 723-727, 2002. Iss 0010-9312.

DE GENNES, P.G.; BROCHARD-WYART, F.; QUÉRÉ, D. Capillarity And Wetting Phenomena: Drops, Bubbles, Pearls, Waves. p.291, New York, 2004.

DONBROW, M. Molecular areas of polyoxyethylene n-hexadecanols and relation of area to chain length and dispersion of nonionic surfactants. Journal of Colloid and Interface Science, 53, p. 145-147, 1975.

FAN, H. et al. Active control of surface properties and aggregation behavior in amino acid-based Gemini surfactant systems. Journal of Colloid and Interface Science, v. 321, n. 1, p.227-234, 2008. Disponível em: <[http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6WHR-4RYXSPY-2&_user=687335&_coverDate=05%2F01%2F2008&_rdoc=26&_fmt=high&_orig=browse&_srch=docinfo\(%23toc%236857%232008%23996789998%23683925%23FLA](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6WHR-4RYXSPY-2&_user=687335&_coverDate=05%2F01%2F2008&_rdoc=26&_fmt=high&_orig=browse&_srch=docinfo(%23toc%236857%232008%23996789998%23683925%23FLA)>

%23display%23Volume)&_cdi=6857&_sort=d&_docanchor=&_ct=28&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&md5=ee7a3c497a65fba782142bf32a4d2f76>. Acesso em: 13 out. 2015.

GRIFFIN, W. C. *Journal Society Cosmdic Chemistry*. v. 1, p. 311, 1949. Em MOURA, M.C.P.A. Utilização de microemulsões como agentes modificadores de superfícies para remoção de íons metálicos. Tese (Doutorado), UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Natal/RN, 2001.

HACKERMAN, N.; SNAVELY, E. S. *Fundamentals of inhibitors*. Basic Corrosion Course, NACE – National Association of Corrosion Engineers, pp.9.1-9.25 (1966).

HADIAN, A. M., DREW, A. L.; "Thermodynamic modelling of wetting at silicon nitride/Ni-Cr-Si alloy interfaces", *Mater. Sci. Eng.*, a.189, p.209-217, 1994.

HOLMBERG, K.; *Organic reactions in microemulsion*. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 8, p. 187-196, 2003.

HSIAO, L.; DUNNING, N.; LORENZ, P. B. *Journal of Colloid and interface Science*, 76, 201, 1980.

HUNTER, R. J. *Introduction to Modern Colloid Science*. Oxford University Press, New York, 1992.

LI, Y.; He, X.; Cao, X.; Zhao, G.; Tian, X.; Cui, X. Molecular behavior and synergistic effects between sodium dodecylbenzene sulfonate and Triton X-100 at oil/water interface. *Journal of Colloid and Interface Science* 307 (2007).

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. I. C.; MAINIER, F. B. *Corrosão: um exemplo usual de Fenômeno Químico*. *Química Nova*, n. 19, p. 11-14, 2004. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a04.pdf>> Acesso em: 15 jan. 2016.

MORALES-GIL, P. et al. Corrosion inhibition of pipeline steel grade API 5LL X52 immersed in a 1Mol/L H₂SO₄ aqueous solution using heterocyclic organic molecules, *Electrochimica Acta*, 2004.

OLIVEIRA, R. C. G. Novo conceito de dessalgação de petróleo para centrais de tratamento. *Bol. Téc, Petrobrás*, Rio de Janeiro, 2000.

OSMAN, M. M.; OMAR, A. M. A.; AL-SABAGH, A. M. Corrosion inhibition of benzyl triethanol ammonium chloride and its ethoxylate on steel in sulphuric acid solution. *Materials Chemistry and Physics*, v. 50, n. 3, p.271-274. 1997. Disponível em: <[http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TX4-3W0FRFT-14&_user=687335&_coverDate=10%2F15%2F1997&_rdoc=17&_fmt=high&_orig=browse&_srch=docinfo\(%23toc%235580%231997%23999499996%2375519%23FLT%23display%23Volume\)&_cdi=5580&_sort=d&_docanchor=&_ct=20&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&md5=a6495e593498f8d3bd065895078ded98](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TX4-3W0FRFT-14&_user=687335&_coverDate=10%2F15%2F1997&_rdoc=17&_fmt=high&_orig=browse&_srch=docinfo(%23toc%235580%231997%23999499996%2375519%23FLT%23display%23Volume)&_cdi=5580&_sort=d&_docanchor=&_ct=20&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&md5=a6495e593498f8d3bd065895078ded98)>. Acesso em: 12 out. 2015.

OSMAN, M.M.; SHALABY, M.N. Some ethoxylated fatty acids as corrosion inhibitors for low carbon steel in formation water. *Materials Chemistry and Physics*, 2003.

PARIA, S.; KHILAR, K. C. A review on experimental studies of surfactant adsorption at the hydrophilic solid–water interface. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 110, n.3, p. 75– 95, 2004.

PEGADO, R. M. Estudo das propriedades físico-químicas de biocombustíveis microemulsionados. Dissertação (Mestrado), UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Natal/RN, 2008.

PESTANA, C.; SANTO, E. E. Gasoduto: Uma análise das etapas do projeto de implantação. *Vetor*, v.21, n.2, p. 44-59, Rio Grande, 2001. Disponível em <www.seer.furg.br/vetor/article/download/1508/1704> Acesso em: 15 jan. 2016.

RAHAMAN, M. N.; *Ceramic Processing and Sintering*, 1ª Ed., p.770, Marcel Dekker, Nova York, 1995.

RIZZATTI, I. M.; ZANETTE, D. R.; MELLO, L. C. Determinação potenciométrica da concentração micelar crítica de surfactantes: uma nova aplicação metodológica no ensino de Química. *Química Nova*, vol.32, no.2, São Paulo 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422009000200041&script=sci_arttext> Acesso em: 15 jan. 2016.

ROBERTO, E. C. Caracterização e aplicação de sistemas micelares e microemulsionados como inibidores de corrosão. Dissertação (Mestrado), UFRN, Programa de Pós-Graduação em Química, Natal/RN, 2010.

RUPPRECHT, H. Sorption of surfactants on solid surfaces and its significance in the field of drug manufacture. *Progress in Colloid and Polymer Science*, 65, p. 29-44, 1978.

SCHÜTZ, P. Efeito de ácidos naftênicos na corrosão eletrolítica de aços para dutos de petróleo. Dissertação (Mestrado), UFRS, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre/RS, 2009. Disponível em:

<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15542/000686355.pdf?sequence=1>> Acesso em 15 jan. 2016.

SHALABY, M. N. Some ethoxylated fatty acids as corrosion inhibitors for low carbon steel in formation water. *Materials Chemistry and Physics*, v. 77, n. 1, p.261-269, 2002. Disponível em:

<[http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TX444SK9JTW&_user=687335&_coverDate=01%2F02%2F2003&_rdoc=38&_fmt=high&_orig=browse&_srch=docinfo\(%23toc%235580%232003%23999229998%23324719%23FLA%23display%23Volume\)&_cdi=5580&_sort=d&_docanchor=&_ct=45&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&md5=8f4a009e874de3490ffefb2db5f967e2](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TX444SK9JTW&_user=687335&_coverDate=01%2F02%2F2003&_rdoc=38&_fmt=high&_orig=browse&_srch=docinfo(%23toc%235580%232003%23999229998%23324719%23FLA%23display%23Volume)&_cdi=5580&_sort=d&_docanchor=&_ct=45&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&md5=8f4a009e874de3490ffefb2db5f967e2)>. Acesso em: 12 out. 2015.

SOUZA, S. A. *Composição Química dos Aços*, Edgard Blucher: São Paulo, 1989.

SWARUP, S.; SCHOFF, C. K. Survey of surfactants in coatings technology. Progress in Organics Coating, 23, 1-22, 1993.

SZYMCZYK, K.; JAŃCZUK, B. The wettability of polytetrafluoroethylene by aqueous solution of cetyltrimethylammonium bromide and Triton X-100 mixtures. Journal of Colloid and Interface Science, V. 303, n. 1, p. 319-325, 1 Nov., 2006. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6WHR-4KH3YG7-2&_user=687335&_coverDate=11%2F01%2F2006&_alid=924091009&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=6857&_docanchor=&view=c&_ct=1&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&md5=046ccd91dedba16944c4ae5ac2e5b62d > Acesso em: 18 jan. 2016.

TEIXEIRA ROSSI, C. G. F. Inibição à corrosão do aço AISI 1020, em meios ácido e salino por tensoativos e substâncias nitrogenadas microemulsionados. Tese (Doutorado), UFRN, Programa de Pós Graduação em Química, Natal/RN, 2007.

TERZI, R.; MAINIER, F. B. Monitoramento da corrosão interna em plataformas offshore. TECNO-LÓGICA, v.12, n.1, p. 14-21, Santa Cruz do Sul, 2008. Disponível em: < <https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/viewFile/355/312> > Acesso em: 15 jan. 2016.

TIAB, D. e DONALDSON, E. C. Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties. 2ªEd, p.889, Oxford: Elsevier, 2004. 889p.

WANDERLEY NETO, A. O. Aplicação de sabões de ácidos graxos epoxidados como inibidores de corrosão em oleodutos. Tese (Doutorado), UFRN, Programa de Pós-Graduação em Química, Natal/RN, 2009.

WOLYNEC, S. Técnicas eletroquímicas em corrosão. São Paulo: Ed. USP, 2003.

ZDZIENNICKA, A.; JAŃCZUK, B.; WÓJCI, W. Wettability of polytetrafluoroethylene by aqueous solutions of two anionic surfactant mixtures. Journal of Colloid and Interface Science, v. 268, n. 1, p. 200-207, 2003.

ZHAO, Z.; Bi, C.; Qiao, W.; Li, Z.; Cheng, L. Dynamic interfacial tension behavior of the novel surfactant solutions and Daqing crude oil. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2007.