

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Thiago Ramos da Rocha**

**Análise por Colorimetria do Envelhecimento da  
poliamida 12.**

**Projeto de Graduação**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia  
Mecânica da PUC-Rio

Orientador: Jose Roberto Moraes D'Almeida

Rio de Janeiro  
Julho de 2017

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, sem Ele não estaria hoje aqui.

Leides Pereira da Rocha e Fernanda Ramos da Rocha, que puderam me proporcionar estudar em uma faculdade de excelência, mudando a realidade de uma família que nunca tinha finalizado nem o ensino fundamental.

A minha noiva Danielle Lemos, pela paciência, companheirismo e dedicação para me tornar um engenheiro.

Ao meu irmão Bruno Passos, que foi o melhor amigo que pude ter até hoje.

Aos meus amigos, por me darem felicidade e paciência nos momentos de dificuldade.

Ao meu orientador Jose Roberto Moraes D'Almeida, por ter sido presente em minhas dúvidas, e se esforçado para que o projeto fosse finalizado.

## **RESUMO**

### **Análise por Colorimetria do Envelhecimento da poliamida 12.**

O mercado petrolífero atualmente se tornou um dos principais meios de investimento no Brasil, apesar de nos últimos anos ter ocorrido uma queda nos preços do barril de petróleo no mundo, a atual crescente no valor deste, traz novas oportunidades para países como o Brasil de alavancar o PIB, visto que este mercado representa em torno de 13% do Produto Interno Bruto do Brasil [1]. Segundo dados da Petrobrás, a produção diária de barris já ultrapassa 1,5 milhão [2], fazendo com que a necessidade tecnológica para otimizar a extração se faça ainda mais importante. A engenharia de tecnologia e materiais vem ano a ano estudando novas soluções para contribuir com a alta produção, reciclagem, entre outras vertentes que o mercado atual exige. Atualmente novos materiais de produção são desenvolvidos para trazer novas possibilidades ainda não testadas, os polímeros passaram a ser uma solução muito utilizada, pois proporcionam uma diferente forma de análise. A partir do século XX os polímeros deram início a uma nova realidade, fazendo com que materiais como o aço pudessem ser substituídos em determinadas situações, mantendo suas propriedades físicas em geral. Neste projeto, iremos analisar as alterações sofridas por um polímero após o envelhecimento, visto que naturalmente este processo acontece. Através de corpos de prova produzidos em laboratório, amostras serão analisadas por calorimetria, e o comportamento da poliamida 12 será estudado ao reagir com água a temperatura ambiente e com água à 70C. Nosso estudo visa trazer melhorias em tubulações para extração de petróleo, buscando novas possibilidades para redução de preço na produção, como por exemplo utilizando o processo de reciclagem. No mercado brasileiro de petróleo a maior parte da extração é marítima, fazendo com que melhorias para este processo sejam altamente necessárias, visto que o meio marítimo precisa de materiais com um tempo de vida maior, e que tenha uma alta segurança para que vida marinha seja protegida.

Palavras chaves: Poliamida 12. Mercado Petrolífero. Colorimetria.

## **ABSTRACT**

### **Analysis by Aging Colorimetry of polyamide 12.**

The oil market today has become one of the main means of investment in Brazil, although in recent years there has been a drop in the prices of a barrel of oil in the world, the current increase in the value of this, brings new opportunities for countries such as Brazil to leverage The GDP, since this market represents around 13% of the Gross Domestic Product of Brazil. According to Petrobrás data, the daily production of barrels already exceeds 2 thousand, making the technological need to optimize the extraction becomes even more important. Technology and materials engineering comes year after year studying new solutions to contribute to the high production, recycling, among other aspects that the current market demands. Currently new production materials are developed to bring new possibilities not yet tested, polymers have become a widely used solution, since they provide a different form of analysis. From the twentieth century the polymers began a new reality, making materials such as steel could be replaced in certain situations, maintaining their physical properties in general. In this project, we will analyze the changes undergone by a polymer after aging, since naturally this process happens. Through laboratory-produced specimens, samples will be analyzed by calorimetry, and the behavior of polyamide 12 will be studied by reacting with water at room temperature and with water at 70 ° C. Our study aims to bring improvements in pipelines for oil extraction, seeking new possibilities for price reduction in production, such as using the recycling process. In the Brazilian petroleum market, most of the extraction is maritime, making improvements to this process highly necessary, since the marine environment needs materials with a longer life span, and that it has a high security for marine life to be Protected.

Keywords: Polyamide 12. Petroleum Market. Calorimetry.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
1.1 OBJETIVO .....	9
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b> .....	<b>9</b>
2.1 POLÍMERO .....	9
<b>3. POLIAMIDA</b> .....	<b>13</b>
3.1 POLIAMIDA 6,10.....	14
3.2 POLIAMIDA 11 .....	14
3.2 POLIAMIDA 12 .....	14
<b>4. LINHAS FLEXÍVEIS</b> .....	<b>15</b>
4.1 RISER .....	15
<b>5. COLORIMETRIA</b> .....	<b>16</b>
5.1 COLORIMETRO .....	16
5.2 SISTEMA CIE .....	17
<b>6 . MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
6.1. ENVELHECIMENTO .....	20
6.1.1 ENVELHECIMENTO A TEMPERATURA AMBIENTE.....	20
6.1.2. ENVELHECIMENTO A 70°C.....	21
<b>7. MÉTODO EXPERIMENTAL E RESULTADOS</b> .....	<b>23</b>
7.1 RESULTADOS .....	24
<b>8. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO</b> .....	<b>30</b>
8.1 VALORES ENCONTRADOS .....	30
8.2 PROPOSTA DO PROJETO .....	32
8.3 CONCLUSÃO .....	32
<b>9.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	<b>33</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Polimerização.....	10
Figura 2 – Exemplo de polímero natural.....	11
Figura 3 – Exemplo de polímero sintético. ....	12
Figura 4 - Exemplo de polímero sintético .....	12
Figura 5 – Síntese da poliamida.....	13
Figura 6 – Camadas Riser .....	16
Figura 7 – Gráfico CIE Lab.....	17
Figura 8 - Gráfico CIE LHC. ....	18
Figura 9 – Corpo de prova em água a temperatura ambiente. ....	21
Figura 10 – Corpo de prova em banho maria. ....	22
Figura 11 – Corpo de prova submerso em água. ....	22
Figura 12 – Colorímetro Delta .....	23
Figura 13 – Exemplo CIE Lab. ....	30
Figura 14 - Corpo de prova envelhecido .....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.....	19
Tabela 2.....	24
Tabela 3.....	24
Tabela 4.....	24
Tabela 5.....	25
Tabela 6.....	25
Tabela 7.....	25
Tabela 8.....	26
Tabela 9.....	26
Tabela 10.....	26
Tabela 11.....	27
Tabela 12.....	27
Tabela 13.....	27
Tabela 14.....	28
Tabela 15.....	28
Tabela 16.....	28
Tabela 17.....	28
Tabela 18.....	29
Tabela 19.....	29
Tabela 20.....	29
Tabela 21.....	29

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos vem sendo questionado o impacto ambiental causado pela utilização de materiais nas indústrias, e cada vez mais a ciência e a tecnologia de materiais, desenvolve alternativas que visam a proteção ambiental.

A descoberta dos polímeros revolucionou o cotidiano da humanidade, possibilitando o desenvolvimento de diversos tipos de materiais, que resultou tanto na expansão da produção industrial, como também na reciclagem e reutilização de polimerização. Borrachas sintéticas, plásticos, e outros materiais começaram a fazer parte da indústria automotiva, têxtil, médica, entre outras.

A maioria da produção de petróleo nacional é obtida em águas profundas e ultra profundas, e o nosso ponto central de análise está nas tubulações extensas que se tornam cada vez mais necessárias para poços localizados em alta profundidade. Quando se produz um duto flexível, polímeros são utilizados como barreira interna de pressão, esta camada veda o fluido transportado no interior do duto.

O envelhecimento deste material, é demonstrado pelas mudanças em suas propriedades físicas, e também na sua cor, podendo ser percebido através de uma pequena análise em um colorímetro, que indica a necessidade ou não de troca da tubulação utilizada.

## **1.1 Objetivo**

Esse trabalho tem como objetivo auxiliar a indústria petrolífera a analisar possíveis fraturas nos dutos de extração utilizando a colorimetria. Essa indústria demanda constantemente novas tecnologias, por isso investe em novos materiais para garantir que os locais de acesso aos poços tenham alto tempo de vida e garantia de segurança. Países como o Brasil, que possuem praticamente toda a extração marítima, possuem fatores críticos como carregamentos mecânicos, gradientes térmicos e ambientes com alta corrosão, que dificultam o processo. A colorimetria é um auxiliador, que indica esses fatores críticos de forma preventiva.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA**

### **2.1 Polímero**

A palavra polímero é originada do grego *poly* que significa muitos e *meros* que significa unidade de repetição.

Polímero é uma macromolécula composta por milhares de unidades de repetição denominadas meros, ligadas por ligação covalente, figura 1 [3]. A matéria-prima para a produção de um polímero é o monômero, que é uma molécula com uma (mono) unidade de repetição.

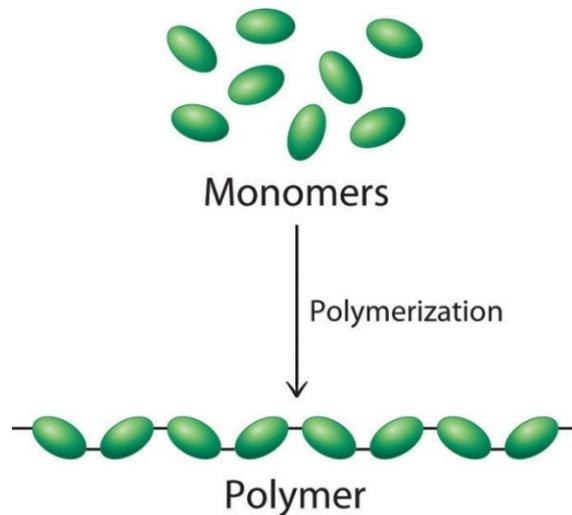


Figura 1 – Polimerização.

Dependendo do tipo do monômero que é a estrutura química, do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, poderemos dividir os polímeros em três classes: Plásticos, Borrachas e Fibras. Os polímeros podem ser divididos em muitas subclasses, pela utilização de critérios como origem, estrutura química, comportamento mecânico, etc. Podemos por exemplo classificar os polímeros como naturais e sintéticos. Naturais ou biopolímeros, são aqueles sintetizados por organismos vivos, como lã, ceda, celulose, e até mesmo nosso DNA, figura 2 [16], que tem sua estrutura composta por dois polinucleotídeos dispostos no formato de dupla hélice que conhecemos[4].



Figura 2 – Exemplo de polímero natural.

Os polímeros sintéticos são encontrados numa ampla variedade de produtos. Entre os mais comuns estão o Polipropileno , Polietileno , e PVC. Temos também que mencionar as poliamidas, com importante papel no segmento têxtil e de peças técnicas, em principalmente para o setor automotivo, o PET, muito utilizado em frascos e embalagens e o Teflon, utilizado como revestimento de panelas antiaderentes. Também podemos citar os polímeros de alto desempenho como as Poliaramidas, utilizadas em coletes a prova de balas, Polisulfonas, em aplicações que buscam boas propriedades em temperaturas elevadas[4]. Exemplos para aplicação dos polímeros sintéticos são apresentados nas figuras 3 e 4 [1,2].



Figura 3 – Exemplo de polímero sintético.



Figura 4 - Exemplo de polímero sintético

### 3. POLIAMIDA

Poliamida consiste em um polímero, que podemos dizer fazer parte dos poli amídicos, onde sua produção tem como elementos básicos como carbono, nitrogênio, oxigênio e hidrogênio.

Este polímero é composto por monômeros de amida em junção com ligações peptídicas. Neste podemos ter grupamentos, produzindo com a polimerização por condensação um carboxílico ou cloreto de acila, e temos como subproduto desta reação a água ou ácido clorídrico.

As características presentes são, uma boa resistência mecânica, resistência à abrasão e tenacidade. Também baixo coeficiente de atrito e absorvem água e alguns outros líquidos. As aplicações são diversas, desde mancais, engrenagens, revestimentos para fios e cabos, entre outros.

As poliamidas podem acontecer de forma natural ou artificial. As proteínas como seda são um exemplo natural de formação. Já as artificiais são produzidas em um processo de polimerização. As poliamidas sintéticas são muito utilizadas em têxteis, tapetes, roupas esportivas, visto que possui alta durabilidade e força.

Toda poliamida é feita pela formação com uma função amida, se ligando a duas moléculas do monômero em conjuntos. Sabemos que este material possui uma facilidade de ser copomerizada, sendo assim permite misturas de monômeros, levando a copolímeros. Os polímeros de Nylon são miscíveis entre si, nos permitindo criar misturas. A síntese a poliamida é dita na figura 5 [5].

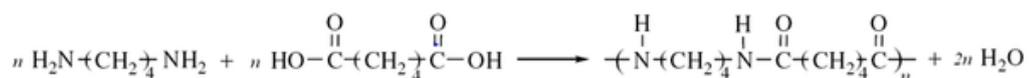


Figura 5 – Síntese da poliamida.

### **3.1 Poliamida 6,10**

Esta poliamida é produzida com a reação do ácido sebástico, que é extraído do óleo da mamona. Temos como característica desse material o ponto de fusão elevado, e resistência a rachadura [6].

### **3.2 Poliamida 11**

Esta poliamida é considerada um bioplástico, é produzida através do óleo de mamona, onde o ácido ricinoleico é seu maior constituinte. Este material combina propriedades como resistência química, térmica e mecânica, permitindo também uma versatilidade no processamento. Aplicamos este material em alto desempenho, como linhas de combustível automotivo, tubos flexíveis para fás, cateteres, entre outros[6].

### **3.2 Poliamida 12**

Esta poliamida é um polímero semicristalino, que tem propriedades muito parecidas com a PA-11. Esta tem como característica uma baixa absorção de água. Uma possibilidade neste material é possuir uma alta deformação quando está sobre tensão, este comportamento é chamado de superplástico. Estes materiais são estudados para diversas outras possibilidades de utilização, porem nesta análise, a grande importância, seria não se romper sobre uma tensão, como por exemplo as correntes marinhas[6].

## **4. LINHAS FLEXÍVEIS**

As estruturas de dutos flexíveis são fundamentais no transporte de petróleo entre o poço, que é situado no fundo do oceano, e as plataformas flutuantes. Estes dutos são uma estrutura em multicamadas, onde temos materiais como aço, e polímeros na sua produção, visando obter flexibilidade. Ano após ano o crescimento da exploração petrolífera ao mar, traz ao mercado o estudo de desenvolvimento de linhas de alta segurança, e com o melhor custo. A poliamida 12 é um polímero utilizado como camada interna nestes dutos. A sua estrutura química apresenta bons resultados em relação a alta resistência a fadiga, baixo coeficiente de fricção, entre outros.

Sabemos que a sobreposição de diversos efeitos leva ao envelhecimento da poliamida, e devemos analisar o que acontece com as perdas físico-químicas, visando prever quando um duto pode ter uma fratura [6][14].

### **4.1 Riser**

Os Risers são tubos muito longos, formados por diversas camadas, possibilitando a extração de petróleo em águas muito profundas. Estes dutos possuem aplicações em diversos locais. Por ser uma tubulação extensa, alguns esforços como o peso do duto, corrente marinha, entre outros, exigem uma construção sofisticada, com geometrias distintas.

Sabemos que temos risers rígidos e flexíveis, a grande característica dos rígidos se dá aos materiais aplicados na construção, como por exemplo o aço. Já os flexíveis possuem camadas metálicas e poliméricas, sendo que este conjunto de camadas proporcionam resistência, não comprometendo a flexibilidade[6].



Figura 6 – Camadas Riser

## 5. COLORIMETRIA

A colorimetria consiste na ciência das cores que busca especificar numericamente, simulando a resultante de um estímulo visual. Nos ajuda a transformar a cor em algo objetivo e não subjetivo.

### 5.1 Colorímetro

Neste equipamento, há um processamento buscando simular o olho humano. Seu projeto busca visualizar a cor da mesma forma que fazemos. De acordo com o modelo, se pode medir no espaço de cor, como CIE Lab, XYZ, LCh, RGB e LUV.

## 5.2 Sistema CIE

A Commission Internationale de L'Eclairage é uma organização considerada como autoridade em expressar a ciência de cores e luz. Através desta, foram definidos os espaços CIE XYZ, CIE Lab e CIE LCh. Nestes modelos, podemos expressar cores, identificar inconsistências e trazer resultados numéricos e com precisão [10].

A CIE em 1931 definiu o espaço de cor CIE XYZ, representando todas as cores possíveis, baseando-se na percepção humana. Este modelo não nos traz algo percentualmente uniforme. Sendo assim em 1976 definiram o Modelo CIE Lab, figura 7 [11], onde "L" significa luminância, "a" o eixo vermelho-verde e "b" o eixo azul-amarelo.

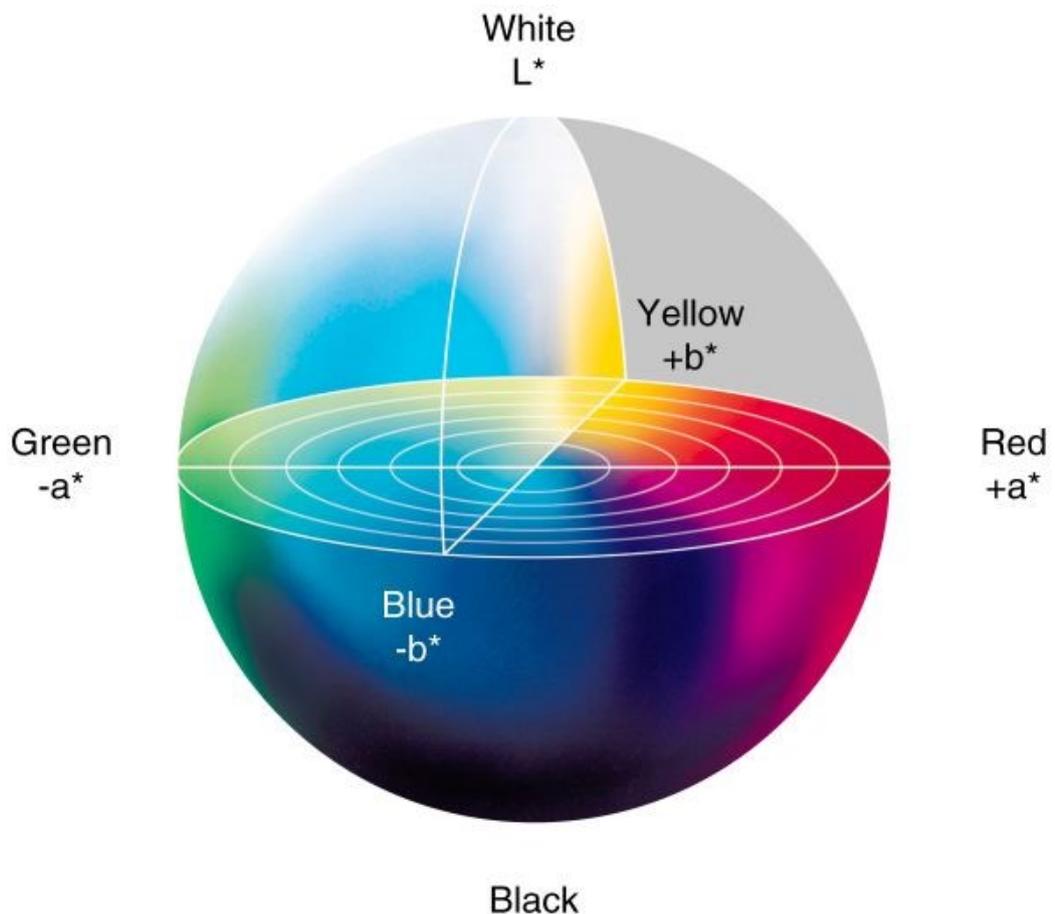


Figura 7 – Gráfico CIE Lab.

No Sistema CIE LHC, figura 8 [11], as apresentações de cores são semelhantes ao Lab, sendo que “a” é substituído por C (chroma) e “b” por H (hue), nos mostrando a saturação e matiz.

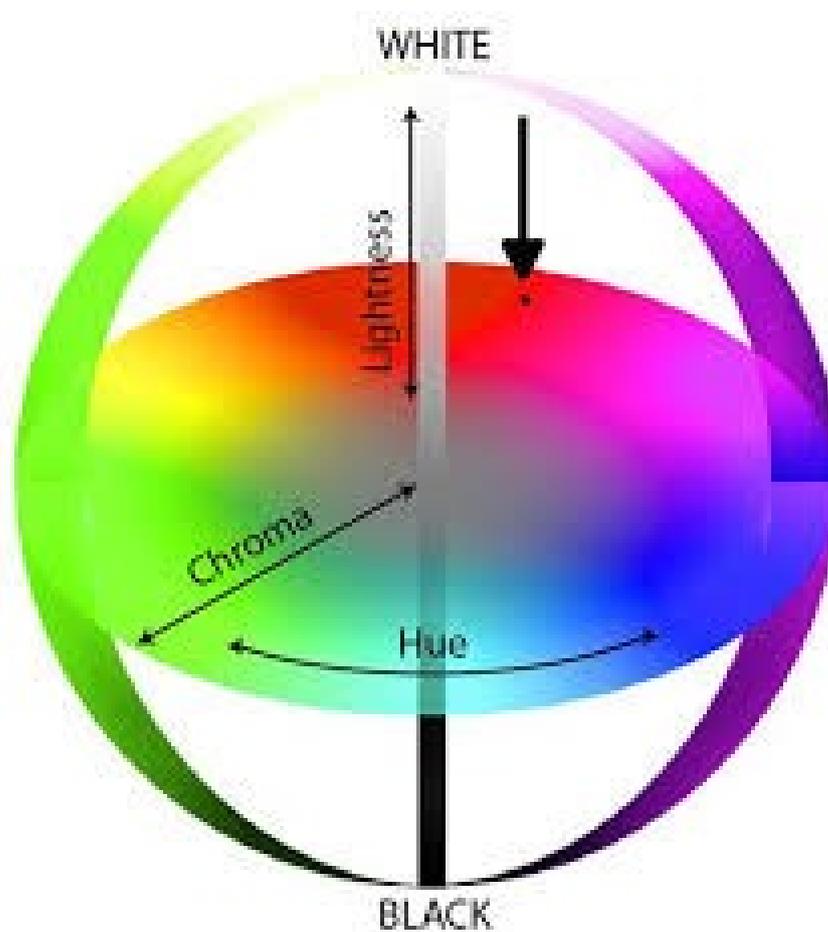


Figura 8 - Gráfico CIE LHC.

Os valores máximos e mínimos de cada variável estão descritos na Tabela 1 [10] :

Tabela 1

Variável	Mínimo	Máximo
L	0	100
a	$-\infty$	$\infty$
b	$-\infty$	$\infty$
C	0	$\infty$
H	0	360

Através do olhar humano, não podemos identificar pequenas mudanças de cores, fazendo com que para identificar envelhecimento de materiais seja necessário um colorímetro.

## **6 . MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste estudo foram utilizados 30 corpos de prova de poliamida 12, onde 10 foram mantidas como na fabricação, 10 envelhecidas em água a temperatura ambiente e 10 envelhecidas em água a 70°C. Apesar de mais corpos terem sido envelhecidos, após o processo selecionamos os com as melhores características em sua cor visual. As condições de operação nos dutos são temperaturas acima de 70°C, escolhemos este valor como base de estudo.

### **6.1. Envelhecimento**

O Laboratório de Fabricação de Compósitos do Departamento de Engenharia Química e de Materiais da PUC – Rio, foi utilizado para envelhecer os corpos de prova.

Os corpos de prova foram submersos em água, a temperatura ambiente ( $23 \pm 2$  °C) e a 70 °C.

#### **6.1.1 Envelhecimento a temperatura ambiente**

Os corpos de prova foram submersos em água, dentro de um recipiente, onde permaneceram um total de 6 meses. Temos o recipiente contendo os 32 corpos de prova, figura 9.



Figura 9 – Corpo de prova em água a temperatura ambiente.

### **6.1.2. Envelhecimento a 70°C**

A fim de simular uma situação real de funcionamento durante o processo de extração, por exemplo, de uma tubulação riser, utilizou-se a temperatura crítica de 70 °C. Os corpos de prova foram submersos em água dentro de um banho-maria, com temperatura controlada de  $70 \pm 1^\circ\text{C}$ , figura 10 e figura 11.



Figura 10 – Corpo de prova em banho maria.



Figura 11 – Corpo de prova submerso em água.

## 7. MÉTODO EXPERIMENTAL E RESULTADOS

Através do colorímetro Delta, figura 12 [15], cada peça foi verificada após todo o processo. Cada resultado foi obtido buscando analisar suas mudanças nas coordenadas Lab e Lch. Para um valor mais preciso, em cada corpo de prova, retiramos do colorímetro 2 valores e calculamos a média.

Nas tabelas 2 a 11 estão mostrados os resultados obtidos para as 10 amostras analisadas em cada condição: Como recebida (Nova), envelhecida a temperatura ambiente, e envelhecida a 70°C. As diferenças entre cada caso são escritas nas tabelas 12 a 21.



Figura 12 – Colorímetro Delta

## 7.1 Resultados

Tabela 2

		Água Tamb	Água 70°C
<b>L</b>	68,125	68,605	62,665
<b>a</b>	-4,315	-3,845	2,3
<b>b</b>	58,64	59,52	50,03
<b>c</b>	58,81	59,645	50,09
<b>h</b>	94,26	93,7	87,36

Tabela 3

	Nova	Água Tamb	Água 70°C
<b>L</b>	68,29	68,96	63,91
<b>a</b>	-3,81	-4,165	2,07
<b>b</b>	58,85	59,07	48,04
<b>c</b>	58,91	59,22	48,09
<b>h</b>	93,61	94,02	87,51

Tabela 4

	Nova	Água Tamb	Água 70°C
<b>L</b>	68,33	68,18	61,15
<b>a</b>	-4,05	-3,76	3,39
<b>b</b>	56,36	58,53	44,79
<b>c</b>	59,5	58,66	44,42
<b>h</b>	93,91	93,67	75,66

Tabela 5

	<b>Nova</b>	<b>Água Tamb</b>	<b>Água 70°C</b>
<b>L</b>	68,88	68,46	61,86
<b>a</b>	-3,87	-4,22	2,57
<b>b</b>	59,44	60,13	47,12
<b>c</b>	59,565	60,24	47,26
<b>h</b>	93,72	94,02	86,79

Tabela 6

	<b>Nova</b>	<b>Água Tamb</b>	<b>Água 70°C</b>
<b>L</b>	66,32	67,61	61,54
<b>a</b>	-3,51	-3,565	3,43
<b>b</b>	57,21	58,59	47,23
<b>c</b>	57,32	58,71	47,35
<b>h</b>	93,515	93,48	75,82

Tabela 7

	<b>Nova</b>	<b>Água Tamb</b>	<b>Água 70°C</b>
<b>L</b>	67,69	68,415	61,62
<b>a</b>	-3,74	-3,99	3,42
<b>b</b>	58,74	59,65	41,13
<b>c</b>	58,87	59,74	43,32
<b>h</b>	93,74	93,83	85,41

Tabela 8

	<b>Nova</b>	<b>Água Tamb</b>	<b>Água 70°C</b>
<b>L</b>	68,24	69,07	61,28
<b>a</b>	-3,53	-4,23	4,06
<b>b</b>	58,46	59,28	41,83
<b>c</b>	58,56	59,43	42,03
<b>h</b>	93,45	94,09	82,83

Tabela 9

	<b>Nova</b>	<b>Água Tamb</b>	<b>Água 70°C</b>
<b>L</b>	68,14	67,87	62,01
<b>a</b>	-0,81	-3,47	3,52
<b>b</b>	60,03	59,11	40,91
<b>c</b>	60,13	59,22	41,06
<b>h</b>	93,63	93,65	85,07

Tabela 10

	<b>Nova</b>	<b>Água Tamb</b>	<b>Água 70°C</b>
<b>L</b>	68,41	69,07	65,01
<b>a</b>	-3,89	-4,23	2,1
<b>b</b>	59,96	59,28	44,36
<b>c</b>	60,08	59,43	44,39
<b>h</b>	93,71	94,06	87,98

Tabela 11

	<b>Nova</b>	<b>Água Tamb</b>	<b>Água 70°C</b>
<b>L</b>	68,18	67,65	63,68
<b>a</b>	-4,2	-4,22	2,17
<b>b</b>	59,84	57,42	47,93
<b>c</b>	59,99	57,58	47,98
<b>h</b>	94,01	94,21	87,39

Tabela 12

	<b>Nova - Água Tamb</b>	<b>Nova - Água 70°C</b>
<b><math>\Delta L</math></b>	0,48	5,46
<b><math>\Delta a</math></b>	0,47	6,615
<b><math>\Delta b</math></b>	0,88	8,61
<b><math>\Delta c</math></b>	0,835	8,72
<b><math>\Delta h</math></b>	0,56	6,9

Tabela 13

	<b>Nova - Água Tamb</b>	<b>Nova - Água 70°C</b>
<b><math>\Delta L</math></b>	0,67	4,38
<b><math>\Delta a</math></b>	0,355	5,88
<b><math>\Delta b</math></b>	0,22	10,81
<b><math>\Delta c</math></b>	0,31	10,82
<b><math>\Delta h</math></b>	0,41	6,1

Tabela 14

	<b>Nova - Água Tamb</b>	<b>Nova - Água 70°C</b>
<b><math>\Delta L</math></b>	0,15	7,18
<b><math>\Delta a</math></b>	0,29	7,44
<b><math>\Delta b</math></b>	2,17	11,57
<b><math>\Delta c</math></b>	0,84	15,08
<b><math>\Delta h</math></b>	0,24	18,25

Tabela 15

	<b>Nova - Água Tamb</b>	<b>Nova - Água 70C</b>
<b><math>\Delta L</math></b>	0,42	7,02
<b><math>\Delta a</math></b>	0,35	6,44
<b><math>\Delta b</math></b>	0,69	12,32
<b><math>\Delta c</math></b>	0,675	12,305
<b><math>\Delta h</math></b>	0,3	6,93

Tabela 16

	<b>Nova - Água Tamb</b>	<b>Nova - Água 70°C</b>
<b><math>\Delta L</math></b>	1,29	4,78
<b><math>\Delta a</math></b>	0,055	6,94
<b><math>\Delta b</math></b>	1,38	9,98
<b><math>\Delta c</math></b>	1,39	9,97
<b><math>\Delta h</math></b>	0,035	17,695

Tabela 17

	<b>Nova - Água Tamb</b>	<b>Nova - Água 70°C</b>
<b><math>\Delta L</math></b>	0,725	6,07
<b><math>\Delta a</math></b>	0,25	7,16
<b><math>\Delta b</math></b>	0,91	17,61
<b><math>\Delta c</math></b>	0,87	15,55
<b><math>\Delta h</math></b>	0,09	8,33

Tabela 18

	<b>Nova - Água Tamb</b>	<b>Nova - Água 70°C</b>
<b><math>\Delta L</math></b>	0,83	6,96
<b><math>\Delta a</math></b>	0,7	7,59
<b><math>\Delta b</math></b>	0,82	16,63
<b><math>\Delta c</math></b>	0,87	16,53
<b><math>\Delta h</math></b>	0,64	10,62

Tabela 19

	<b>Nova - Água Tamb</b>	<b>Nova - Água 70°C</b>
<b><math>\Delta L</math></b>	0,27	6,13
<b><math>\Delta a</math></b>	2,66	4,33
<b><math>\Delta b</math></b>	0,92	19,12
<b><math>\Delta c</math></b>	0,91	19,07
<b><math>\Delta h</math></b>	0,02	8,56

Tabela 20

	<b>Nova - Água Tamb</b>	<b>Nova - Água 70°C</b>
<b><math>\Delta L</math></b>	0,66	3,4
<b><math>\Delta a</math></b>	0,34	5,99
<b><math>\Delta b</math></b>	0,68	15,6
<b><math>\Delta c</math></b>	0,65	15,69
<b><math>\Delta h</math></b>	0,35	5,73

Tabela 21

	<b>Nova - Água Tamb</b>	<b>Nova - Água 70°C</b>
<b><math>\Delta L</math></b>	0,53	4,5
<b><math>\Delta a</math></b>	0,02	6,37
<b><math>\Delta b</math></b>	2,42	11,91
<b><math>\Delta c</math></b>	2,41	12,01
<b><math>\Delta h</math></b>	0,2	6,62

## 8. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

### 8.1 Valores encontrados

Através das análises feitas pela CIE, podemos utilizar o gráfico representado na figura 7 como exemplo. Ele nos dá numericamente o valor da cor do material em cada instante. Buscando ser mais preciso em nossa proposta, a figura abaixo exemplifica o gráfico de mudança de cores. A figura 13, nos mostra as alterações das cores e a resposta do colorímetro no modelo CIE Lab.

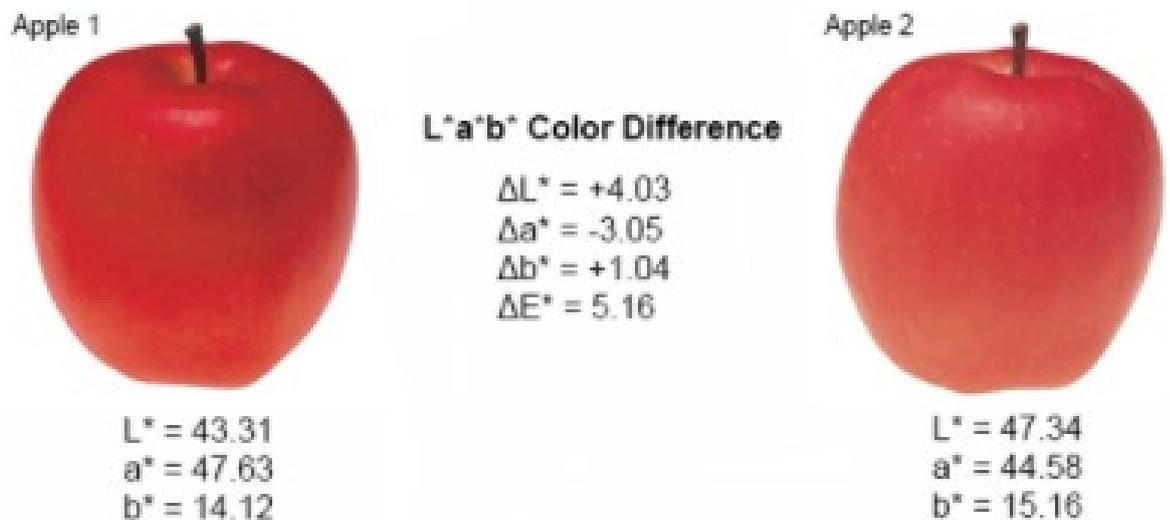


Figura 13 – Exemplo CIE Lab.

O corpo de prova envelhecido neste trabalho é apresentado na figura 14:



Figura 14 - Corpo de prova envelhecido

## **8.2 Proposta do projeto**

Como já dito, as poliamidas representam um dos maiores índices de falhas em dutos, fazendo com que a busca por precisão e novas formas de inspeção se tornem necessárias. Alguns métodos como o de acompanhamento visual, e por estatística de falhas constante seja necessária[14]. Propomos através dos cálculos feitos nas tabelas 12 a 21 correlacionar diferenças gráficas de cor, com propriedades mecânicas.

## **8.3 Conclusão**

Após todos os cálculos, podemos dizer que ao contato com a água na temperatura ambiente, as diferenças medidas são baixas, já com a temperatura elevada, temos deltas maiores, e é um grande indício de maiores mudanças nas propriedades físico-químicas do material. Futuras pesquisas, podem relacionar a alteração nas propriedades das cores com a variação de tensão, deformação, rigidez, entre outras.

O pré sal fará com quem o mercado brasileiro continue crescendo por alguns anos, logo é relevante a possibilidade de colorímetros fazerem parte do processo de análise de tempo de vida do duto, abrindo novos métodos e trazendo maior segurança a extração de petróleo ao mar.

## 9.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2014/06/setor-de-petroleo-e-gas-chega-a-13-do-pib-brasileiro> ,Site acessado na data 10/04/2017
- [2] <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-03/producao-diaria-de-petroleo-e-gas-no-pre-sal-bate-recorde-em-janeiro> , Site acessado na data 10/04/2017
- [3] <https://socratic.org/questions/what-is-the-relationship-between-a-polymer-and-a-monomer>, Site acessado na data 15/04/2017
- [4] Sebastião V.Canevarolo Jr. , Site acessado na data 30/04/2017
- [5] ASHBY, M..F; Materials Selection in Mechanical Design. Oxford: Butterworth Heinemann, 2nd edition, 1999 , Site acessado na data 15/05/2017.
- [6] Hermes, Matthew. Enough for One Lifetime, Wallace Carothers the Inventor of Nylon, Chemical Heritage Foundation, 1996
- [7]<http://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polyamides.html>
- [8][http://www.ima.ufrj.br/wp-content/uploads/2013/11/29-9.15-POL%C3%8DMEROS-USADOS-IND\\_Petroleo.pdf](http://www.ima.ufrj.br/wp-content/uploads/2013/11/29-9.15-POL%C3%8DMEROS-USADOS-IND_Petroleo.pdf) , Site acessado na data 21/05/2017.
- [10] <http://www.cie.co.at/index.php/?service=restart>, Site acessado na data 04/0/2017
- [11] <https://br.pinterest.com/pin/215469163394758846/>, Site acessado na data 13/06/2017
- [12] [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/9324/9324\\_3.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/9324/9324_3.PDF), Site acessado na data 15/06/2017
- [13] <http://sensing.konicaminolta.com.br/2013/11/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>
- [14] <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp124301.pdf>, Site acessado na data 20/06/2017
- [15] [http://www.deltacolorbrasil.com/colorimetro\\_deltavista.html](http://www.deltacolorbrasil.com/colorimetro_deltavista.html), Site acessado na data 20/06/2017
- [16] <http://www.sobratafe.com.br/novas-tecnologias-para-diagnostico-de-tratamento-de-feridas/dna-cap/>, Site acessado na data 21/05/2017

