PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE IMPACTO DA POLIAMIDA 12
APÓS ENVELHECIMENTO**

LUIZ FELIPE BLUVOL WALKER SANTOS

VOLUME ÚNICO

RIO DE JANEIRO, RJ

2016

LUIZ FELIPE BLUVOL WALKER SANTOS

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE IMPACTO DA
POLIAMIDA 12 APÓS ENVELHECIMENTO**

PROJETO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA

ORIENTADOR: JOSÉ ROBERTO D'ALMEIDA

RIO DE JANEIRO

2016

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais, irmão
e meus amigos que me ajudaram em realizar o
sonho de me tornar um engenheiro mecânico.

RESUMO

Esse trabalho tem por objetivo avaliar o efeito do envelhecimento da poliamida 12, com o estudo das propriedades mecânicas desse polímero antes e depois de envelhecido.

Palavras-Chave: POLÍMERO , ENVELHECIMENTO , PROPRIEDADES , POLIAMIDA .

ABSTRACT

This study aims to evaluate the effect of aging on a polyamide 12, studying the mechanical properties of this polymer, before and after aging.

Keywords: POLYMER , AGING , PROPERTIES, POLYAMIDE.

SUMARIO

Resumo.....	3
Abstract.....	4
Lista de ilustrações.....	6
Lista de Tabelas.....	7
1 Introdução.....	8
1.1 Objetivo.....	10
2 Revisão Bibliográfica.....	11
2.1 Poliamida.....	11
2.2 Ensaio de Impacto - Izod.....	12
2.4 Espectroscopia por infravermelho.....	14
2.5 Microscópio eletrônico de varredura (MEV).....	18
3 Materiais e Métodos.....	20
3.1 Materiais.....	20
3.2 Métodos Experimentais.....	20
3.2.1 Envelhecimento.....	20
3.2.2 Ensaio de Impacto – Izod.....	21
3.2.3 Espectroscopia por infravermelho.....	22
3.2.4 Microscópio eletrônico de varredura.....	23
4 Resultados e Discussão.....	25
4.1 Envelhecimento: Aspecto Visual.....	25
4.2 Ensaio de Impacto – Izod.....	25
4.3 Espectroscopia por infravermelho.....	27
4.4 Microscópio eletrônico de varredura.....	28
5 Conclusão.....	33
5.1 Proposta para trabalhos futuros.....	34
6 Referências.....	35
7 Anexo 1.....	36

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplos de emprego de polímeros.	9
Figura 2 - Exemplos de emprego de polímeros.	9
Figura 3-Gráfico da utilização de polímeros ao longo dos anos.	10
Figura 4 - Reação de síntese da poliamida.	11
Figura 5 – Alturas usadas para o cálculo da energia.	13
Figura 6 – Geometria dos corpos de prova conforme a norma ASTM D 256.	14
Figura 7 – Modos de vibração das ligações.....	15
Figura 8 – Cristal usado na espectroscopia por ATR.	17
Figura 9 – Desenho esquemático de um MEV.	19
Figura 10 - Corpos de prova utilizados.	20
Figura 11 - Máquina de ensaio Izod.	21
Figura 12 – Pesos adicionados ao ensaio.....	22
Figura 13 - Equipamento de ensaio de espectroscopia.....	23
Figura 14 - Microscópio eletrônico de varredura.	
Figura 15 – Equipamento para deposição de ouro.	24
Figura 16 - Amostras de Poliamida 12, original e envelhecida.....	25
Figura 17 – Resultado do Infravermelho médio da poliamida 12.	28
Figura 18 - Resultado do Infravermelho médio da poliamida 12 envelhecida.....	28
Figura 19 - Fratura Poliamida 12.....	29
Figura 20 - Fratura Poliamida 12 Envelhecida.	29
Figura 21 – Superfície da amostra Poliamida12.....	30
Figura 22 – Superfície da amostra Poliamida12 envelhecida.....	30
Figura 23 – Superfície média da amostra Poliamida12.	31
Figura 24 - Superfície média da amostra Poliamida12 envelhecida.	31
Figura 25 - Superfície final da amostra Poliamida12.	32
Figura 26 - Superfície final da amostra Poliamida12 envelhecida.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela comparativa de diversos polímeros frente a meios agressivos.	12
Tabela 2 - Resultados do Ensaio Izod Poliamida 12.	26
Tabela 3 - Resultados do Ensaio Izod Poliamida 12 envelhecida.	27

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas vem se discutindo muito sobre a sustentabilidade e o impacto ambiental na utilização de materiais pelas indústrias. Com isso tem se buscado materiais alternativos àqueles que eram amplamente utilizados, como o aço e a madeira.

Um desses grupos de materiais alternativos é o dos polímeros, que são materiais largamente utilizados em diversas formas e em diversos segmentos industriais. Por exemplo, na indústria de segurança em coletes à prova de bala, onde é usado o Kevlar, ou na indústria petroquímica, em tubulações (principalmente em *risers*), auxiliando na vedação e proteção do tubo onde são usadas a poliamida ou náilon. Outros exemplos incluem a indústria têxtil, onde polímeros são usados nos fios dos tecidos para roupas, dando mais resistência e flexibilidade à vestimenta e nas indústrias automobilística e aeroespacial, onde polímeros são usados em diversas aplicações/estruturas. Finalmente, pode-se exemplificar o emprego de polímeros na indústria de bebidas, onde o PET é usado amplamente em embalagens e garrafas. As Figuras 1 e 2 [1,2] mostram alguns exemplos de aplicação de polímeros.

Figura 1 – Exemplos de emprego de polímeros.

Figura 2 - Exemplos de emprego de polímeros.

Os polímeros existem na forma natural como proteínas, celulose e látex, e na forma sintética, como os mostrados nas Figuras 1 e 2.

A Figura 3 mostra um gráfico que compara a utilização de diversos materiais ao longo dos anos e pode-se observar uma grande diminuição da

utilização de metais em detrimento ao aumento considerável de outros materiais, como os polímeros, os compósitos e as cerâmicas [3].

Figura 3-Gráfico da utilização de polímeros ao longo dos anos.

Devido à sua importância para a área de óleo e gás, o náilon (poliamida) será o polímero a ser detalhado nesse trabalho.

1.1 Objetivo

Esse trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da exposição ao óleo aquecido de uma poliamida usada em tubulações.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Poliamida

A poliamida é um polímero de engenharia, termoplástico, de grande importância devido as excelentes propriedades mecânicas. Esse polímero é composto por monômeros de amida conectados por ligações peptídicas, podendo conter outros grupamentos e é produzido a partir da polimerização por condensação de um grupo amina e um ácido carboxílico ou cloreto de acila, tendo como subproduto desta reação água ou ácido clorídrico [4]. A reação de polimerização da poliamida está mostrada na Figura 4 [5].

Figura 4 - Reação de síntese da poliamida.

Existem diversos tipos de poliamidas, sendo as principais a poliamida 6 e a poliamida 11. A grande vantagem deste material é possuir grande estabilidade térmica e resistência química. Assim, não sofre corrosão, em comparação a tubos de aço, mas tem como desvantagem sofrer envelhecimento físico e/ou químico, que deteriora o material através, por exemplo, da reação de hidrólise. Essa reação é um processo químico de envelhecimento muito comum e prejudicial à poliamida, que é potencializado pela elevação de temperatura, pela redução do pH do meio e utilização de pressões de trabalho elevadas.

A Tabela 1 [6] mostra uma comparação de diferentes polímeros em relação aos seus comportamentos frente a diversos meios e a diversos esforços mecânicos.

Características	Poliamida (Nylon)	Poliéster	Polipropileno	Polietileno
Absorção ao Choque	Excelente	Bom	Muito Bom	Razoável
Resistencia à Abrasão	Muito Bom	Excelente	Muito Bom	Bom
Resistência à Fadiga	Bom	Excelente	Excelente	Bom
Resistência à Tração	Excelente	Excelente	Muito Bom	Razoável
Alongamento	Médio	Baixo	Médio	Alto
Resistência Química				
Raios UV	Muito Bom	Excelente	Bom	Razoável
Ácidos	Razoável	Bom	Excelente	Excelente
Alcalinos	Muito Bom	Razoável	Excelente	Excelente
Solventes Orgânicos	Muito Bom	Bom	Muito Bom	Muito Bom

Tabela 1 – Tabela comparativa de diversos polímeros frente a meios agressivos.

2.2 Ensaio de impacto – Izod

O teste Izod é um tipo de ensaio destrutivo feito para analisar a resistência e sensibilidade dos materiais a um carregamento brusco. O ensaio é realizado aplicando uma certa energia de impacto, com objetivo de medir a energia necessária para romper o material.

Este ensaio é muito importante pois permite testar materiais de uma forma simples e de baixo custo. Esse tipo de ensaio é usado em controle de qualidade da produção na indústria e também para posterior certificação do material, sendo muito usado na indústria automobilística e aeroespacial.

A máquina de ensaio consiste de um pêndulo – um martelo de aço, que provoca a fratura do material analisado e um suporte para fixação do corpo de prova, onde o corpo de prova é preso como uma viga engastada, Figura 5 [6].

A medição da energia absorvida pelo material é calculada por um software de controle, que possui como variáveis a altura de elevação do martelo antes e após o impacto, conforme representado na figura 5.

Figura 5 – Alturas usadas para o cálculo da energia.

O corpo de prova deve ser de um formato específico, com um entalhe central, sendo que a face que contém o entalhe é aquela que sofre o choque. No ensaio Izod, o entalhe é posicionado junto ao ponto de engaste, para que o impacto ocorra na região de maior tensão.

O formato do corpo de prova é regido pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) ou por normas americanas (ASTM) ou internacionais.

Para a norma ASTM são utilizadas as geometrias mostradas na figura 6 [7].

Figura 6 – Geometria dos corpos de prova conforme a norma ASTM D 256.

2.3 Espectroscopia por infravermelho

A espectroscopia no infravermelho é um tipo de espectroscopia de absorção, em que a energia absorvida se encontra na região do infravermelho do espectro eletromagnético [8]. Essa técnica tem como principal objetivo identificar um composto ou a composição de uma amostra, pela análise das frequências de vibração dos átomos ou moléculas.

A espectroscopia se baseia na análise da vibração de ligações químicas entre elementos e/ou substâncias, sendo que cada ligação entre os grupos químicos possui uma frequência de vibração diferente, correspondendo a níveis de energia chamados de níveis vibracionais. As frequências de vibração dependem da molécula, da sua geometria, da massa dos átomos e da força das ligações.

As vibrações das ligações podem ser divididas basicamente em 6 modos, representados na figura 7 [9].

Figura 7 – Modos de vibração das ligações.

O primeiro modo é o estiramento assimétrico, onde enquanto uma ligação se encolhe, a outra se alonga, o segundo é o estiramento simétrico onde ambas se alongam ou encolhem, o terceiro é uma mistura entre os dois primeiros, seguido pelos modos que provocam deformação angular, modo de tesoura ou de dobramento angular, torção, balanço e rotação. Estes modos podem acontecer ao mesmo tempo, ou de forma isolada dependendo de cada componente que esteja sendo analisado.

Para que o composto ou elemento possa absorver a radiação no infravermelho, permitindo a análise do experimento, é necessário que ocorra uma variação do momento do dipolo elétrico da molécula, causada pelo movimento dos modos de vibração mostrados na figura 7. Nessas circunstâncias a radiação infravermelha incidente pode interagir com a molécula, respondendo com a transição entre os níveis vibracionais, com todos os componentes se movendo com a mesma frequência e fase, resultando nos espectros que permitem analisar as características do corpo de prova.

Geralmente os modos de vibração nem sempre correspondem ao número de oscilações observadas no espectro, devido a existência de interferências de outros componentes de mesma energia e tendo como consequência, apresentar a mesma

posição no espectro, podendo gerar algumas frequências adicionais que se combinam, apresentando picos aumentados ou deslocados, prejudicando a interpretação da análise.

A região dos comprimentos de onda do espectro do infravermelho se estende aproximadamente entre 0,75 μm e 1mm. É possível variar as regiões de banda para análises diferentes, com o segmento mais usado nas análises químicas se encontrando entre 2,5 μm e 25 μm , conhecida como região fundamental ou do infravermelho médio. Para cada tipo de amostra existe uma banda de maior ou menor atividade.

Além da região do infravermelho médio, a qual será usada neste trabalho, existem a do infravermelho longínquo, compreendida pela região entre 600 e 200 cm^{-1} e do infravermelho próximo, ocorrendo na região de 4000 cm^{-1} até a região do espectro visível pelo olho humano.

O infravermelho médio é usado em maior volume nas análises, pois é excelente para polímeros que possuem muitos C (carbono) e H (hidrogênio) em sua composição, permitindo ver os estiramentos ou ligações de C – H e C – C.

O infravermelho longínquo é usado para ver complexos metálicos e compostos inorgânicos. O infravermelho próximo é usado para analisar moléculas grandes, com mais carbonos, como tecido humano, alguns tipos de polímeros.

Independente de cada tipo de infravermelho, pode se usar qualquer tamanho de comprimento de onda, mas terá como desvantagem ter uma resolução e uma sensibilidade inferior em comparação a usar uma região do infravermelho indicada.

No caso de uma amostra complexa com diversos anéis aromáticos, presença de nitrogênio (N), platina (Pt) ou cadeias de OH, entre outros, deve-se fazer uma calibração mais complexa com análise em diferentes comprimentos de onda, sendo necessário utilizar cálculos estatísticos complexos, para poder determinar uma única propriedade.

A base de qualquer espectrômetro por infravermelho, tem uma fonte de feixes monocromática, sendo os principais métodos utilizados: [9]

- Espectroscopia por Transformada de Fourier (FTIR)

- Espectroscopia por Refletância Total Atenuada (ATR)

A Espectroscopia por Transformada de Fourier (FTIR) possui como vantagem melhor precisão e exatidão nos comprimentos de onda e apresenta poucos elementos ópticos, não sendo necessário a utilização de muitos acessórios, mas a radiação usada é maior, provocando ruídos.

A Espectroscopia por Refletância Total Atenuada (ATR), que será usada neste trabalho, é utilizada para as amostras que não podem ser analisados pelos métodos normais, pois a radiação passa de meios mais densos para outro menos densos, ocorrendo reflexão. Esta reflexão do feixe de luz incide em um cristal, que pode ser visto na figura 8.

Figura 8 – Cristal usado na espectroscopia por ATR.

A técnica de Refletância Total Atenuada é largamente utilizada para analisar materiais como gasolina e soluções aquosas ou materiais com alta absorção ou densos como a poliamida, que é o foco do estudo desse trabalho.

2.4 Microscópio eletrônico de varredura (MEV)

O microscópio eletrônico de varredura é um tipo de microscópio capaz de produzir imagens de alta resolução da superfície de uma amostra com ampliação de até 300.000 vezes, criando imagens com aparência tridimensionais, que são úteis para avaliar a estrutura superficial da amostra, mas são virtuais, pois diferentemente do microscópio óptico, que opera com a radiação da luz, o MEV funciona com a codificação da energia emitida pelos elétrons emitidos.

Em um MEV típico, os elétrons são emitidos termionicamente a partir de um catodo (filamento) de tungstênio ou hexaboreto de lantânio (LaB_6) e acelerados através de um ânodo, sendo também possível obter elétrons por efeito de emissão de campo. O tungstênio é tipicamente usado por ser o metal com mais alto ponto de fusão e mais baixa pressão de vapor, permitindo que seja aquecido para a emissão de elétrons. O feixe de elétrons, o qual normalmente têm uma energia que vai desde as algumas centenas de eV até 100 keV, é focalizado por uma ou duas lentes condensadoras, em um feixe com um ponto focal muito fino, com tamanho variando de 0,4 a 0,5 nm. Este feixe passa através de pares de bobinas de varredura e pares de placas de deflexão na coluna do microscópio, permitindo que a imagem da amostra seja visualizada [10].

Na figura 9 está mostrado como funciona esta disposição de lentes, anodos e catodos do equipamento [11].

Figura 9 – Desenho esquemático de um MEV.

Para realizar uma análise no MEV, é necessário que as amostras não condutoras sejam cobertas com uma camada de material condutor, como ouro, platina, tungstênio ou grafite. Esse procedimento é feito para prevenir acumulação de campos elétricos estáticos devido ao feixe de elétrons que incide sobre a amostra. Para amostras condutoras, como metais, não é necessário este processo de recobrimento do material.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

O material utilizado para o estudo foi um tubo comercial de poliamida 12, utilizado na indústria de petróleo e gás.

Deste tubo foram usinados 24 corpos de prova: 12 corpos de prova para serem envelhecidos e outros 12 para serem ensaiados sem serem envelhecidos, figura 10.

Figura 10 - Corpos de prova utilizados.

3.2 Métodos Experimentais

3.2.1 Envelhecimento

Os corpos de prova foram colocados em um bécher com óleo a 90°C e mantidos em uma sala com temperatura constante e igual a 23°C, com tempo de envelhecimento de aproximadamente 18 meses. O bécher foi vedado para impedir qualquer tipo de contaminação e luminosidade vinda de meio externo.

O óleo utilizado foi o Petrobras Top Turbo, largamente utilizado pela indústria com características parafínicas, densidade de 0.8769 g/cm³ a 20°C e temperatura de degradação 311°C.

3.2.2 Ensaio de impacto – Izod

O ensaio foi realizado utilizando uma máquina de impacto Izod, marca CSI (Custom Scientific Instruments), figura 11. Para realizar o teste a máquina teve que ser alinhada, através da regulagem de seus pés e os resultados obtidos foram processados por um software específico dedicado.

Para o teste com os corpos de prova não envelhecidos foi utilizado um pêndulo com energia inicial de 5,38 J.

Figura 11 - Máquina de ensaio Izod.

Para os corpos envelhecidos foi necessário utilizar pesos para aumentar a energia inicial, pois nos primeiros ensaios, os corpos não romperam. A nova energia inicial máxima utilizada foi de 10,80 J. Os novos pesos adicionados podem ser vistos na figura 12.

Figura 12 – Pesos adicionados ao ensaio.

3.2.3 Espectroscopia por Infravermelho

O ensaio de Espectroscopia por infravermelho foi realizado em um equipamento de análise de espectros da empresa PerkinElmer, modelo Spectrum400, FT-FIR *Spectrometer* com a utilização de acessório de ATR universal e o resultado obtido foi gerado por software específico do próprio fabricante.

Os testes foram realizados em sala com umidade e temperatura controladas, com o aparelho podendo ser visualizado na figura 13.

Figura 13 - Equipamento de ensaio de espectroscopia.

3.2.4 Microscópio Eletrônico de Varredura

A análise por microscopia foi realizada em um microscópio eletrônico de varredura da fabricante Jeol modelo JBM-6510LV, com o resultado sendo gerado por software específico do fabricante.

Para poder realizar a análise foi necessário recobrir a superfície das amostras com uma camada de ouro, usando o equipamento Balzer, modelo SDC 050. Ambos os equipamentos podem ser vistos nas figuras 14 e 15.

Figura 14 - Microscópio eletrônico de varredura.

Figura 15 – Equipamento para deposição de ouro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Envelhecimento: Aspecto visual.

A figura 16 apresenta as amostras utilizadas nos ensaios de impacto, onde pode-se notar que a amostra envelhecida escureceu em relação a original o que indica que houve absorção do óleo pela PA 12.

Figura 16 - Amostras de Poliamida 12, original e envelhecida.

4.2 Ensaio de impacto – Izod

As tabelas 2 e 3 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de impacto Izod, com os corpos de prova originais e envelhecidos. Pode-se observar que houve aumento da energia absorvida no ensaio, o que indica que houve plastificação do material. Ou seja, as moléculas de óleo absorvidas estão atuando como elemento de lubrificação, indicando que, possivelmente, está havendo um envelhecimento físico. Ou seja, é provável que tenha havido absorção, mas não reação química entre o polímero e o óleo.

Na análise dos material, pode se notar que quanto mais escurecido eram os corpos de prova envelhecidos pelo óleo, mais frágeis eles eram, rompendo com uma energia menor que os outros, observado nas amostras 2 e 11 da tabela 2.

No anexo 1 pode-se ver um gráfico no formato Boxplot comparando as amostras originais e envelhecidas, demonstrando o desvio padrão e os valores máximos e mínimos da energia dissipada.

Poliamida 12			
Amostras	Espessura (mm)	Energia Dissipada (J)	Energia dissipada/Espessura (J/m)
1	8,22	1,56	189,781022
2	8,02	1,90	236,907731
3	7,7	1,68	218,181818
4	8,15	1,48	181,595092
5	7,9	1,29	163,291139
6	8,13	1,59	195,571956
7	8,33	1,71	205,282113
8	8,37	1,57	187,574671
9	7,54	1,52	201,591512
10	8,22	1,66	201,946472
11	8,15	1,66	203,680982
12	8,11	1,67	205,918619
Media	8,07	1,6075	199,276927
Desvio Padrão	0,246760834	0,141251844	18,424273
Energia Máxima	5,38 J		

Tabela 2 - Resultados do Ensaio Izod Poliamida 12.

Poliamida 12 Envelhecida			
Amostras	Espessura (mm)	Energia Dissipada (J)	Energia Dissipada/Espessura (J/m)
1	9,75	Não Rompeu *	-
2	11,24	4,55*	404,80427
3	9,82	Não Rompeu*	-
4	9,76	7,27	744,877049
5	9,4	6,2	659,574468
6	9,93	6,84	688,821752
7	9,76	7,15	732,581967
8	9,73	6,26	643,371017
9	9,78	7,21	737,218814
10	9,78	6,64	678,936605
11	11,26	4	355,239787
12	11,74	6,67	568,143101
Media	10,1625	6,125833333	609,094772
Desvio Padrão	0,773458878	1,078841621	128,076208
Energia Máxima	10,80 J		

*Ensaio realizado com o martelo de 5,38 J.

Tabela 3 - Resultados do Ensaio Izod Poliamida 12 envelhecida.

4.3 Espectroscopia por Infravermelho

As figuras 17 e 18 representam os resultados obtidos do ensaio de espectroscopia por infravermelho dos corpos de prova originais e dos envelhecidos em óleo. Pode-se observar que houve uma alteração no pico 1376 cm^{-1} que se relaciona a grupos CH_3 , indicando a presença do óleo absorvido pela amostra. Tal fato permite concluir que ocorreu uma alteração química na estrutura das amostras em decorrência do envelhecimento em óleo.

Figura 17 – Resultado do Infravermelho médio da poliamida 12.

Figura 18 - Resultado do Infravermelho médio da poliamida 12 envelhecida.

4.4 Microscópio Eletrônico de Varredura

As figuras 19 e 20 estão mostrando as fraturas macroscópicas geradas no ensaio Izod. Pode-se notar que as fraturas foram diferentes entre si, visto que a amostra envelhecida possui uma superfície muito mais irregular e grande presença de estrias, diferentemente da amostra original que possui uma superfície mais lisa.

Figura 19 - Fratura Poliamida 12.

Figura 20 - Fratura Poliamida 12 Envelhecida.

As figuras 21 e 22 mostram as superfícies de fratura das amostras original e envelhecida na região próxima ao entalhe, com aumento de 35 X. Nota-se que na amostra envelhecida há uma quantidade menor de intrusões e extrusões que na amostra original.

Figura 21 – Superfície da amostra Poliamida12.

Figura 22 – Superfície da amostra Poliamida12 envelhecida.

As figuras 23 e 24 mostram as regiões médias dos corpos de prova original e envelhecido, aumentadas em 35 X, onde pode ser visto que a amostra envelhecida possui uma superfície mais irregular que na original.

Figura 23 – Superfície média da amostra Poliamida12.

Figura 24 - Superfície média da amostra Poliamida12 envelhecida.

As figuras 25 e 26 apresentam a região final da fratura dos corpos de prova original e envelhecido, aumentadas 22 X e 30 X, respectivamente. Nessa região foi onde ocorreram as maiores diferenças entre as amostras, com a poliamida original possuindo um grande fibrilamento e a amostra envelhecida com presença de estrias, indicando uma plastificação do material.

Figura 25 - Superfície final da amostra Poliamida12.

Figura 26 - Superfície final da amostra Poliamida12 envelhecida.

5 CONCLUSÃO

Conforme a descrição e a parte experimental realizada ao longo do trabalho, a poliamida 12 é um material polimérico, apresentando envelhecimento de sua estrutura, alterando suas propriedades físicas, visto no ensaio de impacto e na análise da fratura, além de ocorrer uma pequena alteração químicas, pela absorção de óleo pela amostra analisada na espectroscopia.

Dos resultados obtidos, após um envelhecimento de 18 meses, pode-se notar que para qualquer que seja a aplicação pretendida, tal como em risers ou qualquer outra que ocorra contato com algum óleo, pode se concluir que é importante se levar em consideração o envelhecimento do material durante a elaboração do projeto.

5.1 Propostas para trabalhos futuros

Neste trabalho foi feito um estudo sobre o envelhecimento em óleo a 90°C durante um período de 18 meses. Fica como proposta, envelhecer os corpos de prova por um tempo maior, para permitir uma análise melhor das propriedades mecânicas do material após envelhecimento, visando um estudo real das alterações de propriedades que ocorrem na utilização da poliamida 12.

6 REFERÊNCIAS

- [1]<http://alunosonline.uol.com.br/quimica/classificacao-dos-polimeros-sinteticos.html>. Site acessado na data 06/11/2016
- [2]<http://alunosonline.uol.com.br/quimica/classificacao-dos-polimeros-sinteticos.html>. Site acessado na data 06/11/2016
- [3] ASHBY, M.F; Materials Selection in Mechanical Design. Oxford: Butterworth Heinemann, 2nd edition, 1999.
- [4] Hermes, Matthew. Enough for One Lifetime, Wallace Carothers the Inventor of Nylon, Chemical Heritage Foundation, 1996
- [5] Hermes, Matthew. Enough for One Lifetime, Wallace Carothers the Inventor of Nylon, Chemical Heritage Foundation, 1996
- [6]http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/7379-ensaio-charpy-mede-a-resistencia-dos-materiais. Site acessado na data 06/12/2016
- [7] CALLISTER, W. D., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. John Wiley & Sons, Inc., 2002
- [8]https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectroscopia_de_infravermelho Site acessado na data 07/12/2016
- [9] ATKINS, P.W.; JONES, Loretta. Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- [10] Hans-Jürgen Kestenbach, Nádia C. P. s. Nocite, Rinaldo Gregório P, Joachim Laos e Jürgen Petermann; Resolução Lamelar num Novo Microscópio Eletrônico de Varredura; Polímeros vol.7 no.1 São Carlos Jan./Mar. 1997
- [11] Joseph I. Goldstein et al, Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis: a text for biologists, materials scientists, and geologists, 2nd ed, 1992, Plenum Press, New York

7 ANEXO I