

ESTUDO DA CURVA TENSÃO DEFORMAÇÃO UHMW PE, CERAMP E ULTRAPLAC SUBMERSO EM ÁCIDO PERACÉTICO E DETERGENTE CLORADO¹

Jóbi José Lopes²
Igor Schimidt³
Rodrigo Konrath⁴

RESUMO

A aplicação de UHMW na fabricação de guias, mancais e revestimentos na indústria tem favorecido o surgimento de novas tecnologias. Os polímeros, quando utilizados na indústria estão expostos a diversas situações extremas, que se incluem a alteração de Ph por uso de agentes sanitizantes e detergentes, variação de temperaturas e umidade, além de aplicações de cargas constantes. Esses fatores podem proporcionar alterações nas suas propriedades mecânicas, reduzindo de forma drástica a vida útil dessas peças. Essa pesquisa objetivou apresentar, através de testes de tração, os valores das amostras de 3 tipos de UHMW, sendo eles PE, Ceram P e Ultraplac. As amostras passaram por um processo de simulação de aplicação de sanitizantes e detergentes. A análise dos resultados obtidos permitiu visualizar que os materiais submetidos a simulação tiveram leve redução nas suas propriedades, chegando a uma redução máxima no modulo de elasticidade de 7,9 MPa no UHMW Ultraplac e redução de 1,77MPa na tensão de ruptura do UHMW Ceram P, já nas demais propriedades como tensão de escoamento, ductilidade e modulo de resiliência se mostram nulos quando consideramos os valores de desvio padrão, já nas alterações encontradas podem ser decorrentes do contato com detergente e sanitizantes.

Palavras-chave: UHMW PE. UHMW Ceram P. UHMW Ultraplac. Polímeros. Ensaio de tração.

1 INTRODUÇÃO

O UHMW é largamente utilizado na indústria por ser um material com boa resistência a abrasão. É utilizado em guias de transportadores, buchas, mancais, raspadores dentre outros produtos. É altamente resistente a produtos químicos corrosivos, exceto ácidos oxidantes. Tem absorção de umidade extremamente baixa e um coeficiente de atrito também muito baixo; é autolubrificante e altamente resistente à abrasão, em algumas formas sendo 15 vezes mais resistente à abrasão do que o aço carbono. Seu coeficiente de atrito é significativamente menor do que o do náilon e do acetal e é comparável ao do politetrafluoretileno (PTFE, Teflon), mas o UHMW tem melhor resistência à abrasão do que o PTFE (SILVA JUNIOR, 2016).

¹ Artigo Científico apresentado com requisito para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

² UCEFF Faculdades. Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica. E-mail jobi@uceff.edu.br.

³ UCEFF Faculdades Mestre em Engenharia de Materiais. E-mail igor@uceff.edu.br.

⁴ UCEFF Faculdades. Me em Física E-mail konrath@uceff.edu.br.

Além disso, é submetido a grandes variações de temperatura, umidade, aplicações de agentes alcalinos e ácidos. Todos esses fatores podem proporcionar um desgaste prematuro do UHMW, podendo, assim, gerar alterações em suas propriedades mecânicas.

Diante dos fatores apresentados, questiona-se: Como é o comportamento mecânico destes polímeros? Existem diferenças em longo prazo nas propriedades mecânicas do UHMW PE, Ceram P e Ultraplac quando expostos ao ácido peracético e detergente clorado? O que são e onde são usados o detergente clorado e o ácido peracético? Com a utilização de agentes químicos na limpeza e higienização de equipamentos da indústria, é possível que exista uma diminuição na vida útil do UHMW PE, Ceram P e Ultraplac quando expostos ao ácido peracético e detergente clorado?

Esse estudo tem por objetivo analisar os possíveis efeitos da exposição do UHMW PE, Ceram P e Ultraplac quando expostos ao ácido peracético e ao detergente clorado. Pretende-se ainda por meio desse artigo, verificar o comportamento dos materiais poliméricos quando inseridos em situações de tração em condições naturais e quando submerso em ácido peracético e detergente clorado e utilizar os dados obtidos em testes para determinar as curvas tensão deformação para determinar o módulo de elasticidade do UHMW PE, Ceram P e Ultraplac.

2 POLÍMEROS

Polímeros são macromoléculas orgânicas constituídas de inúmeras unidades de repetição denominadas meros, que se organizam em forma de cadeia. A estrutura química que compõe as unidades de repetição é chamada de monômero. Dependendo dos elementos que fazem parte do monômero, da quantidade média de meros na cadeia, da maneira com que elas se ligam e do seu arranjo espacial, os polímeros são classificados como plásticos, borrachas ou fibras (CANEVAROLO JR, 2006).

Na classe dos plásticos há ainda uma subdivisão entre materiais termoplásticos e termofixos. Os primeiros, são aqueles que podem ser moldados na presença de calor e pressão, de diversas formas e repetidamente (SARANTOPOULOS & TEIXEIRA, 2017). Já os termofixos amolecem com o aquecimento uma única vez, pois, em seguida, passam por reações químicas irreversíveis (as ligações cruzadas) que os tornam rígidos (CANEVAROLO JR, 2006).

Os polímeros são sintetizados a partir de petróleo, gás natural ou compostos naturais de fontes renováveis, sendo estes últimos denominados biopolímeros (SARANTOPOULOS; TEIXEIRA, 2017).

A síntese desses materiais é chamada de polimerização e consiste no conjunto de reações químicas que provocam a união de moléculas em forma de cadeia por meio de ligações covalentes. Esse evento pode ocorrer de diversas maneiras, inclusive incorporando diferentes monômeros, gerando um copolímero (CANEVAROLO JR, 2006).

Embora o desempenho de um material polimérico não dependa apenas da sua composição química, mas também dos aditivos incorporados e da maneira como foi processado, algumas características e propriedades dos polímeros se sobressaem (JORGE, 2013).

A seleção dos plásticos começa com as suas estruturas químicas e moleculares, que demonstram de maneira ampla o comportamento esperado. Para prever condições importantes de processamento, as transições físicas são avaliadas. Porém, estas estão intimamente ligadas com as propriedades de massa molecular, densidade e cristalinidade. A resposta dos materiais a agentes permeantes define sua propriedade de barreira (SARANTOPOULOS & TEIXEIRA, 2017).

2.1 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES

2.1.1 Estrutura química e molecular

A estruturação de um polímero é definida a partir de sua funcionalidade, força das ligações intermoleculares, tipo de cadeias e configuração espacial dessas. A funcionalidade está relacionada ao número de pontos passíveis a reações em condições favoráveis de uma molécula, sendo para polímeros uma quantidade mínima de dois sítios (CANEVAROLO JR, 2006).

As forças intermoleculares podem ser do tipo Van der Waals, pontes de hidrogênio ou atração iônica (para polímeros termoplásticos). O tipo da força influenciará a temperatura de transição vítrea (T_g) e a temperatura de fusão cristalina (T_m), que serão maiores, quanto mais forte for a ligação. Para os termofixos essas forças serão covalentes, muito mais intensas que as demais, explicando sua infusibilidade após a consolidação das ligações cruzadas (SARANTOPOULOS & TEIXEIRA, 2017).

O alinhamento das moléculas pode variar, gerando cadeias com ordenação linear ou ramificada, esta última com derivações laterais de natureza idêntica ou não, tamanho

indeterminado e com derivações secundárias de quantidade também indefinida. A estrutura linear, ou ainda, as ramificações mais curtas propiciam a aproximação entre as cadeias, aumentando o grau de cristalinidade de polímeros semicristalinos, sua densidade e interação entre as cadeias (SARANTOPOULOS & TEIXEIRA, 2017).

A conformação espacial dos monômeros ao longo da macromolécula é chamada de taticidade e pode ter três tipos de arranjos: atáticos, isotáticos e sindiotáticos. O primeiro caso ocorre quando os grupos laterais – átomos ou grupo de átomos que não os participantes da cadeia principal – estão distribuídos aleatoriamente; o segundo de um mesmo lado; e o terceiro quando esses grupos alternam regularmente de lado em relação à cadeia principal (SARANTOPOULOS & TEIXEIRA, 2017).

Caso os polímeros sejam constituídos de mais de um monômero, eles deixam de ser denominados homopolímeros e passam a ser heteropolímeros ou copolímeros. Eles são compostos de comonômeros, cuja proporção pode ser variável, assim como suas distribuições ao longo da macromolécula. Esses fatores determinarão o balanço das propriedades químicas e físicas do copolímero, tomando como base as que estejam associadas com os homopolímeros (SARANTOPOULOS & TEIXEIRA, 2017).

2.1.2 Massa Molar

Os materiais poliméricos são constituídos de cadeias cuja quantidade de meros não é necessariamente idêntica em todas as unidades. Isso ocorre, porque durante a polimerização, a propagação dessas cadeias é independente, bem como o ponto em que os seus centros ativos ficam instáveis e desaparecem, encerrando o processo (CANEVAROLO JR, 2006).

Esse comportamento tem como resultado cadeias com comprimentos diversos, o que pode converter-se em uma diferente quantidade de meros em cada cadeia. A massa molar será, então, também distinta, e o polímero apresentará uma distribuição de massa molar. Essa distribuição e seu valor médio são informações importantes para a previsão de determinados comportamentos dos polímeros (CANEVAROLO JR, 2006).

O índice de fluidez, por exemplo, é uma propriedade prevista por esses dados. Um alto valor de massa molecular média se traduz em uma grande quantidade de cadeias longas, que se enovelarão mais facilmente, resultando em um baixo índice de fluidez. Outra propriedade, a cristalinidade, está interligada com a distribuição de massa molecular. Se as cadeias poliméricas forem em grande parte de massa molar idêntica e elevada, uma distribuição estreita será

observada, propiciando o ordenamento dessas cadeias (SARANTOPOULOS & TEIXEIRA, 2017).

Polímeros com baixa massa molar média tendem a ser frágeis, já que as cadeias individuais podem ser facilmente arrancadas, por serem mais curtas e, conseqüentemente, menos enoveladas (MORRIS, 2017).

2.1.3 Densidade

A densidade é uma propriedade derivativa da composição química, que define a massa molar das macromoléculas. As poliolefinas, por serem compostas apenas de carbono e hidrogênio, átomos leves, apresentam baixa densidade, normalmente inferior a 1 g/cm^3 . Já em polímeros que são compostos por oxigênio, cloro, flúor, etc., a densidade é geralmente maior que esse valor. Essa propriedade também é afetada pela conformação adotada pelas moléculas em uma estrutura cristalina (SARANTOPOULOS & TEIXEIRA, 2017).

Em polímeros semicristalinos, a medida de densidade pode indicar sua cristalinidade, e nos amorfos, sua história termomecânica (CANEVAROLO JR, 2006; MERGEN, 2004).

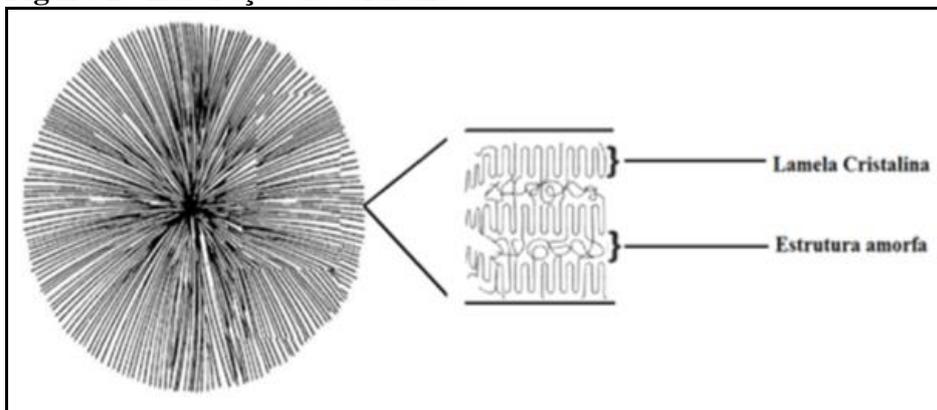
2.1.4 Cristalinidade

Moléculas tendem a se agrupar em arranjos com a menor energia possível. O menor nível de energia que um componente pode alcançar será em formato de cristal (SELKE; CULTER, 2016). A cristalinidade envolve o arranjo repetitivo das moléculas, e em polímeros que apresentam essa característica, compreende o alinhamento de parcelas das cadeias em arranjo tridimensionalmente perfeito, muito embora nesses materiais não haja a formação de grãos individuais, mas sim domínios cristalinos, denominados cristalitos (CANEVAROLO JR, 2006).

A diferenciação com os outros materiais ocorre substancialmente devido à natureza dos polímeros de apresentarem longas cadeias, que dificultam o alinhamento para tal arranjo tridimensional. Diante de um resfriamento lento, um polímero semicristalino começa a se ordenar em estrutura lamelar, que cresce radialmente a partir de um núcleo, formando um esferulito, que é, na verdade, um agregado de cristalitos.

Desta forma, os cristalitos consistem em “ilhas” de regiões cristalinas, circundadas por material desordenado, não existindo uma clara separação entre as regiões cristalinas e amorfas (SARANTOPOULOS & TEIXEIRA, 2017).

Figura 1 - Ilustração de esferulito



Fonte: Gonzaga (2014).

Embora muito menores do que os cristais de outros materiais, os cristalitos contêm mais imperfeições. A sua ocorrência depende da estrutura química, da presença de impurezas, de aditivos, da regularidade espacial das cadeias, de sua rigidez e forças intermoleculares e, ainda, de fatores de processamento (CANEVAROLO JR, 2006).

A morfologia dessas regiões cristalinas e sua incidência definem muitas das propriedades físicas, mecânicas e termodinâmicas dos polímeros. Sabe-se que a parcela cristalina está diretamente associada a propriedades como fragilidade, dureza, rigidez ou módulo, propriedade de barreira, claridade ótica, fluência e estabilidade em longo prazo (SICHINA, 2000).

Quadro 1 - Variação das propriedades do polietileno em função do grau de cristalinidade

	CRISTALINIDADE				
	55%	62%	70%	77%	85%
Ponto de fusão (°C)	109	116	125	130	133
Densidade (g/cm ³)	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96
Rigidez (Mpa x10 ⁻³)	17.2	32.4	51.7	82.7	11.4
Resistência (Mpa)	11.72	17.24	22.75	28.96	35.16

Fonte: Adaptado de Sichina (2000).

Por exemplo, um maior grau de cristalinidade promove menor alongamento e maior rigidez, pois os cristais reduzem a mobilidade das cadeias poliméricas (MORRIS, 2017).

Quanto à claridade ótica, pelo fato de os cristalitos possuírem diâmetro superior ao comprimento de onda da luz visível, essas regiões cristalizadas variarão de translúcidas a opacas, dependendo do seu tamanho (SARANTOPOULOS & TEIXEIRA, 2017).

Tabela 1 - Propriedades de diferentes tipos de Polímeros

PROPRIEDADES	LLDPE	LDPE	HDPE	UHMW-PE
Densidade (g/cm ³)	0.910 – 0.925	0.915 – 0.935	0.941 – 0.967	0.93
Temperatura de fusão (°C)	125	106 – 112	130 – 133	132
Tensão de ruptura (Mpa)	14 - 21	6.9 – 17.2	18 – 30	20 – 41
Elongação até a ruptura (%)	200 - 1200	100 – 700	100 – 1000	300
Módulo de flexão (Mpa)	248 - 365	415 – 795	689 – 1654	N/A
Resistência ao impacto Izod (J/m)	N/A	0.67 – 21	27 – 160	Não quebra
Dureza (Shore D)	41 - 53	45 – 60	60 - 70	N/A

Fonte: Adaptado de Sarantopoulos & Teixeira (2017).

A mensuração da cristalinidade dos polímeros é uma etapa indispensável em aplicações como componentes e partes produzidas por injeção, peças automotivas, fibras, filmes e embalagens para alimentos e bebidas. A definição dessa parcela cristalina pode ser facilmente obtida por meio da análise de Calorimetria Exploratória Diferencial (SICHINA, 2000).

Dentre os polímeros semicristalinos, os mais facilmente cristalizáveis são o Polietileno (PE) e o Poli (cloreto de vinilideno) (PVDC), por se tratarem de polímeros lineares compostos de monômeros insaturados. Polímeros assimétricos, como o Polipropileno (PP), cristalizam apenas se a configuração espacial for regular, ou seja, isotática ou sindiotática, portanto, um Polipropileno atático será amorfo (SELKE & CULTER, 2016).

O UHMW PE oferece excelente resistência à abrasão, ao impacto, propriedades antiaderentes, autolubrificantes e mecânica, mesmo em condições de temperaturas muito baixas. O UHMW PE é adequado para transportadores de arrasto, pás, rodas dentadas e parafusos de alimentação. É um material atóxico o que permite contato direto, tem baixo coeficiente de atrito, abrasão, desgaste, resistência ao impacto e praticamente nenhuma absorção à água. Podemos verificar as propriedades físicas do UHMW PE no Quadro 2.

Quadro 2 - Propriedades físicas UHMW PE

PROPRIEDADES	ASTM	UNIDADE	VALOR TÍPICO
Mecânicas			
Densidade	D-792	g/cm ³	>0.93
Resistência a tração			
Ruptura	D-638	Kgf/cm ²	350
Escoamento		Kgf/cm ²	250
Alongamento da ruptura		%	300
Deformação por compressão		20°C/60Kgf/cm ² /4h	
Sob carga		% espessura	5.1

Retirada a carga			1.8
Resistência ao impacto Izod	D-256A	J/m	Não quebra
Resistência a abrasão	D-1044	Mg/1000 ciclos	23
Desgaste por abrasão em lama de areia		Aço 1020 = 100	25
Dureza	D-2240	Shore D	63
Coefficiente de atrito (Aço polido 23°)	D-1894		
Estático			0.25
Dinâmico			0.16
Térmicas			
Temperatura de deflexão térmica	D-648		
450 Kfg/cm ²		°C	79
1.810 Kfg/cm ²		°C	45
Temperatura de operação			
Máxima constante		°C	82
Máxima intermitente		°C	93
Elétricas			
Resistividade	D-257		
Superficial		Ω (ohms)	>10 ¹⁶
Volumétrica		Ω/cm	>10 ¹³

Fonte: Adaptado de UltraHi (2021).

O UHMW Ceramp é aditivado, indicado para aplicações de alta carga, alta velocidade e abrasão severa. Trata-se de um produto intermediário entre Cerâmica Sintetizada e outros tipos de UHMW utilizados na fabricação de tampas e réguas para caixa de sucção. Por ser um polímero autolubrificante com alta resistência à tração e ao desgaste foi bem-sucedido nas indústrias de madeira, papel e aço.

Por não atender às diretrizes da FDA ou USDA, suas principais aplicações são em buchas de mancais, cames para máquinas, guia de correia, anéis de desgaste, entre outros. Podemos verificar as propriedades físicas do UHMW Ceramp no Quadro 3.

Quadro 3 - Propriedades físicas UHMW Ceram P

PROPRIEDADES	ASTM	UNIDADE	VALOR TÍPICO
Mecânicas			
Densidade	D-792	g/cm ³	>0.964
Resistência a tração			
Ruptura	D-638	Kgf/cm ²	380
Escoamento		Kgf/cm ²	280
Alongamento da ruptura		%	300
Deformação por compressão		20°C/60Kgf/cm ² /24h	
Sob carga		% espessura	6 - 8
Retirada a carga			3
Resistência ao impacto Izod	D-256A	J/m	Não quebra
Resistência a abrasão	D-1044	Mg/1000 ciclos	18
Desgaste por abrasão em lama de areia		Aço 1020 = 100	20
Dureza	D-2240	Shore D	65
Coefficiente de atrito (Aço polido 23°)	D-1894		
Estático			0.18 - 0.25
Dinâmico			0.10 - 0.16
Térmicas			
Temperatura de deflexão térmica	D-648		

450 Kfg/cm ²		°C	79
1.810 Kfg/cm ²		°C	48
Temperatura de operação			
Máxima constante		°C	82
Máxima intermitente		°C	93
Elétricas			
Resistividade	D-257		
Superficial		Ω (ohms)	>10 ¹⁶
Volumétrica		Ω/cm	>10 ¹³

Fonte: Adaptado de UltraHi (2021).

Trata-se de um material reciclado, com excelente desempenho e com alta resistência à abrasão, a impactos, além de propriedades antiaderentes, autolubrificantes e boas propriedades mecânicas, sendo utilizado em diversas aplicações, como por exemplo o segmento agrícola, revestimento de silos, chutes, entre outros. Podemos verificar as propriedades físicas do UHMW Ultraplac no Quadro 4.

Quadro 4 - Propriedades físicas UHMW Ultraplac

PROPRIEDADES	ASTM	UNIDADE	VALOR TÍPICO
Mecânicas			
Densidade	D-792	g/cm ³	>0.935 – 0.945
Resistência a tração			
Ruptura	D-638	Kgf/cm ²	360 - 520
Escoamento		Kgf/cm ²	280 - 310
Alongamento da ruptura		%	150 - 350
Deformação por compressão		20°C / 60Kgf/cm ² / 24h	
Sob carga		% espessura	5.1
Retirada a carga			1.8
Resistencia ao impacto Izod	D-256A	J/m	Não quebra
Resistência a abrasão	D-1044	Mg/1000 ciclos	18 - 37
Desgaste por abrasão em lama de areia		Aço 1020 = 100	15 - 35
Dureza	D-2240	Shore D	63 - 70
Coefficiente de atrito (Aço polido 23°)	D-1894		
Estático			0.18 - 0.25
Dinâmico			0.10 - 0.16
Térmicas			
Temperatura de deflexão térmica	D-648		
450 Kfg/cm ²		°C	68 - 85
1.810 Kfg/cm ²		°C	40 - 50
Temperatura de operação			
Máxima constante		°C	48 - 85
Máxima intermitente		°C	86 - 93
Elétricas			
Resistividade	D-257		
Superficial		Ω (ohms)	>10 ¹⁵
Volumétrica		Ω/cm	>10 ¹⁵

Fonte: Adaptado de UltraHi (2021).

2.1.5 Transições Físicas

As mudanças de estado em polímeros também são diferenciadas em relação ao que ocorre na maioria dos outros materiais. Suas principais transformações se configuram nas temperaturas de transição vítrea (T_g), de fusão cristalina (T_m) em semicristalinos e de amolecimento (T_f) em amorfos. A T_g se refere ao valor médio de temperatura, que permite que as cadeias poliméricas da fase amorfa, antes imóveis, adquiram mobilidade e possibilidade de conformação. A T_m é o ponto no qual a energia térmica fornecida é suficiente para vencer as forças intermoleculares da fase cristalina, de modo a destruir a estrutura lamelar e tornar o material viscoso (CANEVAROLO JR, 2006).

Polímeros semicristalinos em temperaturas inferiores à T_g serão vítreos, rígidos e frágeis. Entretanto, conforme a temperatura vai aumentando, distanciando-se da T_g e se aproximando de T_m , eles se tornam borrachosos, flexíveis e elásticos. Flexibilidade e elasticidade são atributos necessários a polímeros flexíveis, portanto, é imprescindível que a temperatura de transição vítrea dos polímeros utilizados para esse fim, seja inferior à temperatura ambiente (SELKE & CULTER, 2016).

Diante disso, conhecer a T_g dos polímeros é importante para o uso, enquanto a T_m é essencial para o processamento, pois para realizá-lo é necessária temperatura adequada, de modo que o polímero esteja em um estado viscoso e, ao mesmo tempo, não sofra degradação (SELKE & CULTER, 2016).

Por fim, a temperatura de amolecimento (T_f), transição característica dos polímeros amorfos, é uma faixa de temperatura na qual o material, antes sólido, fica em estado amolecido, permitindo sua moldagem. O arranjo amorfo não apresenta ponto de fusão (SARANTOPOULOS & TEIXEIRA, 2017).

É importante ressaltar que as temperaturas de transição física, embora sejam particulares para cada polímero, podem apresentar variações devido a aspectos como massa molecular, regularidade espacial das cadeias, suas forças intermoleculares e aditivos incorporados (CANEVAROLO JR, 2006).

2.1.6 Viscoelasticidade

A resposta mecânica de polímeros sujeitos a tensão e a deformação em função do tempo é de grande importância industrial. A Lei de Hooke é utilizada em sólidos elásticos e a Lei de Newton descreve o comportamento de líquidos viscosos de baixa massa molar. Essas

leis são combinadas para descrever o comportamento de fluidos não newtonianos e as propriedades mecânicas dos polímeros (BELFIORE, 2010).

Os polímeros apresentam características de fluidos e sólidos elásticos simultaneamente, fenômeno denominado viscoelasticidade. Diante de uma solicitação mecânica, parte do regime de resposta será elástica, com origem na distância característica de ligação dos átomos da cadeia principal e suas ramificações. A outra parte do regime será plástica, e se dará pelo atrito entre as cadeias poliméricas. Essas respostas geram uma defasagem, um tempo finito entre o momento de solicitação e a resultante desta (CANEVAROLO JR, 2006).

Polímeros no estado vítreo (abaixo da T_g) não têm energia suficiente para apresentar mobilidade entre as cadeias, portanto, apresentam resposta majoritariamente elástica. Nessas condições, os materiais se revelam rígidos e frágeis. Acima da T_g e abaixo da T_m , o polímero se encontra em um estado denominado borrachoso e a mobilidade da fase amorfa resulta em flexibilidade. Ainda imóvel nesse estado, a fração volumétrica cristalina contribuirá com a resposta elástica. Acima da T_m , o polímero está em estado viscoso e a maior parte de sua resposta será plástica. O processamento ocorre nessas condições, devido à grande capacidade de conformação (CANEVAROLO JR, 2006).

As propriedades viscoelásticas dos polímeros podem ser reveladas por meio de alguns ensaios mecânicos bem definidos, tais como o teste de fluência, de tensão de fratura, dinâmico-mecânicos ou ainda de relaxamento de tensão, sendo esses últimos capazes de indicar a capacidade do material de recuperar suas dimensões originais após a solicitação (BELFIORE, 2010).

A recuperação das dimensões originais em polímeros após uma deformação foi observada por (ZITZUMBO *et al.*, 2006). Concluiu-se que há um padrão de duas etapas: a primeira delas de recuperação, seguindo um padrão Hookeano, caracterizada por uma recuperação elástica rápida. A segunda etapa é caracterizada por uma recuperação elástica lenta, referente à parcela plástica do material.

Na parcela Hookeana, o tempo de recuperação é praticamente independente da deformação, comportamento que indica que nenhum rearranjo ocorreu na estrutura molecular do material. Em contrapartida, a parcela de recuperação lenta está estreitamente relacionada com o grau de deformação, devido à formação temporária de microdomínios estruturais nas parcelas amorfas do material, induzidos pelo cisalhamento. Segundo (ZITZUMBO, *et al.*,

2006), quando dois ou mais microdomínios interagem, tempos de recuperação ainda mais longos são necessários, pois sua interação obstrui o movimento das cadeias poliméricas.

Para Lodge (1989), a importância do estudo da grande recuperação elástica dos polímeros deve ser enaltecida, pois, dentre todas as propriedades, é a que mais destaca os materiais poliméricos diante de outros sólidos e líquidos.

2.1.7 Propriedade de Barreira

A propriedade de barreira determina o grau de resistência à permeação e à absorção de gases, vapores, lipídeos ou luz. Dependendo da aplicação, é de suma importância em considerar alguns desses tipos de barreiras (JORGE, 2013).

A permeação de oxigênio em polímeros depende da difusão que ocorre em regiões amorfas, que podem acabar se movimentando, criando espaços vazios (vacâncias). Desta forma, esse fenômeno depende do volume livre disponível no material, relacionado à menor cristalinidade, à densidade e ao grau de compactação das cadeias. É influenciado, também, por propriedades que interferem no aparecimento de vazios, como a rigidez das cadeias e de suas forças intermoleculares. Essas características, a nível molecular, serão mais ou menos relevantes, dependendo da espessura do filme, que se mostra inversamente proporcional à taxa de permeação (MERGEN, 2004).

2.2 MODELO DE MAXWELL

O modelo de Maxwell consiste na construção do amortecedor e da mola usando o procedimento de associação em paralelo. De forma análoga, à aplicação apresentada anteriormente, fundamentada na tensão constante, mantida ao longo de um determinado intervalo de tempo, é possível obter a curva de variação da deformação (CANEVAROLO JR, 2006).

De acordo com Canevarolo Jr. (2006), os dois elementos básicos a saber, o amortecedor e a mola, quando representados graficamente, apresentam uma curva de variação da deformação em que cada trecho específico da curva-resposta ($\epsilon \times t$) equivale a uma função da ação respectiva dos elementos supramencionados. Todavia, é importante considerar duas situações:

- a) A deformação elástica, que ocorre tardiamente em virtude de um componente viscoso;

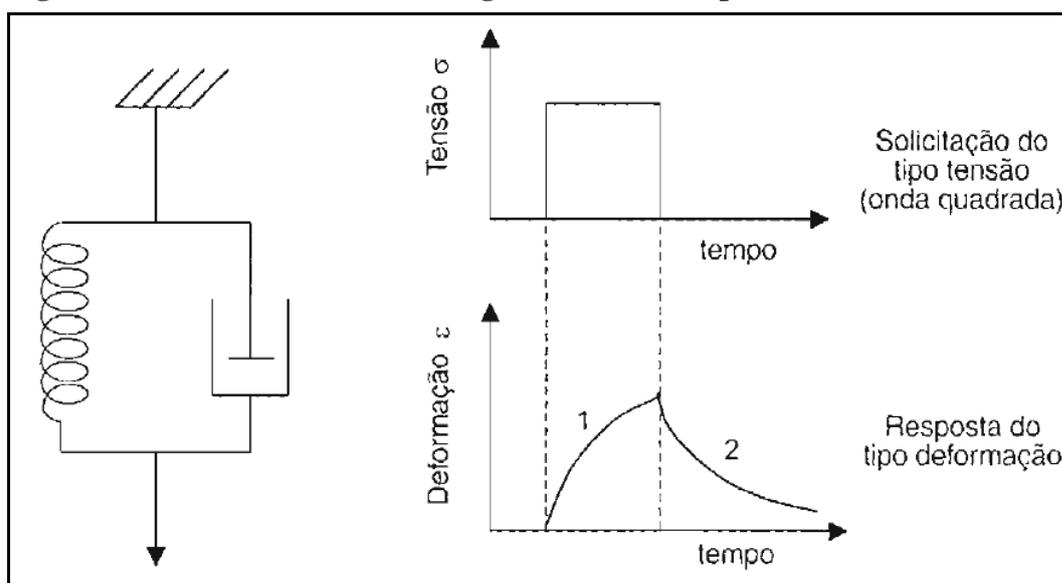
b) Retardamento da recuperação elástica, em virtude de um componente viscoso anterior.

No modelo de Maxwell, a recuperação efetiva se consolida somente decorrido algum tempo relativamente longo, que pode ser teoricamente representado pelo infinito ($t = \infty$).

2.2.1 Modelo de Maxwell-Voigt

Analisados individualmente, os modelos de Maxwell-Voigt não descrevem com fidelidade a representação dos comportamentos dos fluidos viscoelásticos. Com base nesse entendimento, e em consonância com Canevarolo Jr. (2006), costuma-se articular esses 2 modelos, por meio dos quais é possível obter uma curva de variação da deformação com o tempo, que reflete o comportamento dos fluidos viscoelásticos com maior fidelidade. Conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Modelo de Maxwell-Voigt e sua curva resposta



Fonte: Canevarolo Junior (2006).

Em virtude da resposta elástica imediata e também como consequência direta da deformação plástica residual, a articulação desses dois modelos viabiliza a obtenção de resultados verossímeis relativamente ao comportamento dos elementos básicos, de modo que cada trecho da curva resposta, é considera em função de um elemento específico, mola ou amortecedor, e em seguida relativamente à ação conjunta dos elementos envolvidos (CANEVAROLO JR, 2006).

Sob uma ótica aplicável, em consonância com Canto e Pessan (2004), as propriedades mecânicas dos elementos básicos, uma vez analisadas, deixam claro tratar-se de uma forma essencial e amplamente aplicável, no intuito de identificar os materiais a serem utilizados em projetos industriais referentes a peças ou produtos no modelo em questão.

Cumprido ressaltar que os valores de propriedades mecânicas resultam da aplicação empírica de ensaios mecânicos padronizados, com emérito destaque para os ensaios de solicitação mecânica referentes à reflexão, à compressão e à tração.

2.3 DETERGENTE CLORADO

Por detergente clorado, compreende-se o produto que articula não somente o poder de limpeza e de remoção que caracteriza potencialmente o cloro, mas também um efeito desengraxante, atributo muito específico dessa modalidade de produto (ALVES & BISSI, 2016).

Esse resultado é possível em virtude do fato de articular ingredientes tensoativos que promover alterações em propriedades da água e também pelo fato de reduzir a tensão superficial, viabilizando a acessibilidade a superfícies, que de outra forma seriam impenetráveis, haja vista que o produto em questão é capaz de dispersar e emulsificar (ALVES & BISSI, 2016).

Ademais, o detergente clorado, conforme o próprio nome indica, é constituído por cloro, que apresenta um elevadíssimo espectro enquanto germicida, relativamente a microrganismos de todas as ordens. Dadas essas potencialidades é possível afirmar que, os produtos clorados apresentam maior potencial agressivo contra microrganismos, e no que concerne à remoção de sujidades proteicas ou incrustadas em superfícies (ALVES & BISSI, 2016).

Assim sendo, compostos a base de cloro, devem ser utilizados com especial cautela, especialmente pelo fato de ser uma substância altamente corrosiva. Merece destaque a possibilidade de hipercloração da água residual, que pode ocasionar um aumento excessivo do teor de carbono orgânico, resultando em concentrações desproporcionais de trihalometanos, potencialmente cancerígenos, de acordo com a Agência Internacional de Pesquisa do Câncer, relativamente à cloração (ALVES & BISSI, 2016).

Quanto aos elementos estruturais que os constituem, os sabões e detergentes são formados, principalmente, por hidróxido de sódio e gorduras de origem animal ou vegetal. No

que se refere a sabões derivados do petróleo, todavia, os detergentes provenientes são constituídos por aditivos e água, sendo alguns de seus componentes tensoativos o hipoclorito de sódio, elementos alcalinizantes, espessantes etc, não sendo necessária a presença simultânea de todos os tipos de aditivos supracitados (ALVES & BISSI, 2016).

2.4 ÁCIDO PERACÉTICO

Em 1950, Greenspan e Margulies patentearam o ácido peracético, desenvolvido no intuito de atuar como agente germicida em frutas e vegetais. Seu espectro de ação era, então, extensivo somente a bactérias e fungos. Todavia, com o tempo o produto passou a ser utilizado em hospitais, laboratórios e indústrias alimentícias como desinfetante de alta eficácia (COSTA, 2016).

A amplitude de sua aplicação se deve ao fato de o princípio ativo dessa substância ser aplicável a diversos produtos sanitizantes utilizados comercialmente, quase sempre constituídos por uma mistura de ácido peracético, peróxido de hidrogênio, ácido acético e algum elemento com propriedade estabilizante (TELLES, 2011).

Trata-se de um produto oxidante de grande potencial, pelo fato de atuar na parede celular e no interior da célula microbiana, causando danos irreversíveis no sistema enzimático ou a destruição propriamente dita do microrganismo. Dentre as vantagens do ácido peracético é possível mencionar sua ampla ação em baixas temperaturas, bem como o fato de não ser corrosivo em relação ao aço inox ou ao alumínio, especialmente quando utilizado nas concentrações recomendadas (TELLES, 2011).

Ademais, é importante mencionar como vantagem o fato de não exigir enxágue da superfície de aplicação, além de suas propriedades inodoras quando em forma diluída. Ademais, o ácido peracético apresenta também desvantagens. Sua estabilidade sofre redução gradativa quando estocado por longos períodos. Além disso, é importante ressaltar que o ácido causa irritações à pele, devendo por isso ser manipulado, com relativa cautela. Por fim, o ácido peracético é incompatível com outros ácidos álcalis concentrados, com borrachas naturais, ou ainda, com ferro, cobre ou alumínio (TELLES, 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo constitui-se como uma pesquisa com método experimental. De acordo com Gil (2002) a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

A pesquisa experimental constitui o delineamento mais prestigiado nos meios científicos. Trata-se, portanto, de uma modalidade em que o pesquisador é um agente ativo, e não um observador passivo. A pesquisa experimental, ao contrário do que faz supor a concepção popular, não precisa necessariamente ser realizada em laboratório. Pode ser desenvolvida em qualquer lugar, desde que apresente as seguintes propriedades:

- a) **Manipulação:** o pesquisador precisa manipular pelo menos uma das características dos elementos estudados;
- b) **Controle:** o pesquisador precisa introduzir um ou mais controles na situação experimental, sobretudo criando um grupo de controle;
- c) **Distribuição** aleatória: a designação dos elementos para participar dos grupos experimentais e de controle deve ser feita aleatoriamente (GIL 2002).

Para realização deste estudo foram produzidas 60 amostras, sendo 20 amostras de UHMW PE, 20 de UHMW Ceram P e 20 de UHMW Ultraplac conforme Tabela 2 da norma ASTM D638-14.

6.1.1 Plásticos rígidos e semirrígidos - O corpo de prova deve estar de acordo com as dimensões mostradas na Fig. 1. O corpo de prova Tipo I é o modelo preferido e deve ser usado onde houver material suficiente com espessura de 7 mm (0,28 pol.) ou menor disponível (ASTM D638, 2014).

Foram produzidas amostras com espessura de 6+/-0,4mm, sendo eles UHMW PE, Ceram P e Ultraplac.

Tabela 2 - Dimensões de corpos de prova para teste conforme Fig. 1 da norma ASTM D638

REFERÊNCIAS	DIMENSÕES
Largura de seção estreita	13
Comprimento da seção estreita	57
Largura total	19
Comprimento total	165
Comprimento do medidor	50
Distância entre apertos	115
Raio do fillet	76

Fonte: Adaptado de ASTM D638-14.

Nesta etapa, foi aplicado em uma simulação de operação de trabalho, sob aceleração do tempo em 30 dias. Desta forma, o polímero recebeu a aplicação real dos fatores de operação do dia a dia. Foram feitos testes dos polímeros sem imersão no ácido peracético e detergente clorado, de forma individual e posteriormente foi feito teste com a aplicação e com a combinação de ambos os químicos por um período de 30 dias em cada.

Para realizar a simulação, foram considerados 25 dias úteis de trabalho por mês, com 3 aplicações diárias pelo período de 10 minutos. No que se refere ao tempo de aplicação de cada produto, foi utilizada a informação disponibilizada pelo fabricante.

O processo iniciou-se com a imersão dos polímeros no Detergente Clorado Kalyclean S 330 pelo período de 30 dias, seguindo orientação de diluição do fabricante que é de 1% para cada litro de água (10ml de produto para 1000 ml de água) em temperatura ambiente, por um período de 10 min. no mínimo cada aplicação. Foi diluído 300 gramas de detergente clorado em 2000ml de água, alcançando um Ph de 11, depois de 04 dias foi adicionado mais 40 gramas para equilibrar o Ph.

Nas amostras que iniciaram o processo pela imersão em Ácido Peracético 2% Kalyclean S 302 foi utilizado a diluição de 695ml de produto para 2000ml de água em temperatura ambiente, estabilizando seu Ph em 1,90, após 18 dias foi corrigido o Ph de 2,13 para Ph 1,90 com a adição de 55ml.

Após o período de imersão das amostras em detergente clorado e ácido peracético foram realizados os testes de tração em 45 amostras, sendo elas 5 amostras de UHMW PE sem contato com detergente ou sanitizantes, 5 amostras em submersas em detergente e 5 em sanitizantes, o mesmo processo foi realizado para as amostras de UHMW Ceram P e Ultraplac.

Após esse período de imersão em detergente, foram separadas 5 amostras de cada polímero, feito o enxague e, posteriormente, a imersão em Ácido Peracético 2% Kalyclean S 302. Após 30 dias foram realizados os ensaios de tração nas amostras.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com o auxílio de uma máquina universal de ensaios EMIC DL 10000 – Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda., com velocidade de deslocamento de 5mm/min e célula de carga com capacidade máxima de 100 kN, de acordo com a norma ASTM, foram realizados os testes.

Junto à máquina de ensaios está disposto o software TESC, o qual capturou os dados e os forneceu em forma de gráficos relacionando a tensão ao corpo de prova com a deformação absoluta por este sofrida.

$$\varepsilon = \frac{l_o - l_i}{l_i}$$

ε – Deformação

l_o – Comprimento Final

l_i – Comprimento Inicial

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

ε – Deformação

σ – Tensão

E – Modulo de Elasticidade

$$AL\% = 100 * \left(\frac{l_o - l_i}{l_i} \right)$$

$AL\%$ – Ductilidade

l_o – Comprimento Final

l_i – Comprimento Inicial

$$Ur = \frac{\sigma^2}{2E}$$

Ur – Resiliencia

σ – Tensão

E – Modulo de Elasticidade

Quando comparado os dados obtidos das amostras que passaram pelo processo de simulação as amostras de referência é possível verificar os valores das propriedades que estão apresentadas nas Tabela 3.

Tabela 3 - Comparação das amostras de UHMW PE

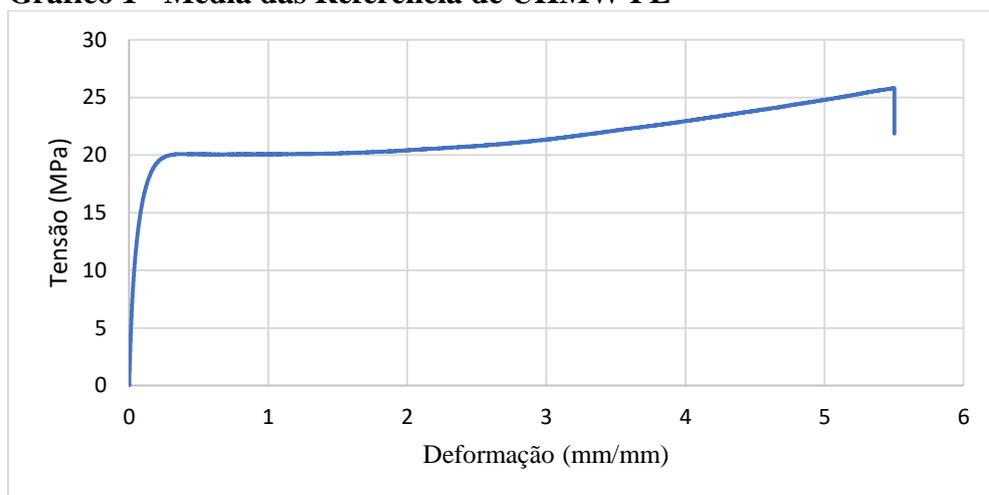
		Tensão de Ruptura (MPa)	Modulo de Elasticidade (MPa)	Tensão de Escoamento (MPa)	Ductilidade (%)	Módulo de Resiliência (MPa)
REFERÊNCIA	CP1	28,31	86,10	20,44	126,00	2,425
	CP2	26,60	75,80	22,78	117,15	3,423
	CP3	24,22	78,10	18,17	66,73	2,114
	CP4	25,89	84,70	17,80	100,61	1,870
	CP5	-	-	-	-	-

DETERGENTE CLORADO	CP1	25,59	89,40	22,41	156,55	2,810
	CP2	24,69	88,80	22,45	118,79	2,837
	CP3	25,29	95,30	21,63	143,52	2,455
	CP4	22,25	85,50	22,45	70,00	2,948
	CP5	23,21	78,20	21,59	101,58	2,982
ÁCIDO PERACÉTICO	CP1	28,31	111,10	19,45	126,06	1,701
	CP2	25,60	94,20	21,38	117,50	2,426
	CP3	24,22	92,50	22,04	66,73	2,626
	CP4	25,89	78,30	22,37	100,61	3,196
	CP5	-	-	-	-	-
ÁCIDO + DETERGENTE	CP1	-	-	-	-	-
	CP2	25,68	77,65	24,88	101,7	2,987
	CP3	25,72	70,86	16,85	151,52	2,004
	CP4	22,24	90,08	18,71	92,73	1,942
	CP5	24,76	100,87	22,58	112,36	2,527

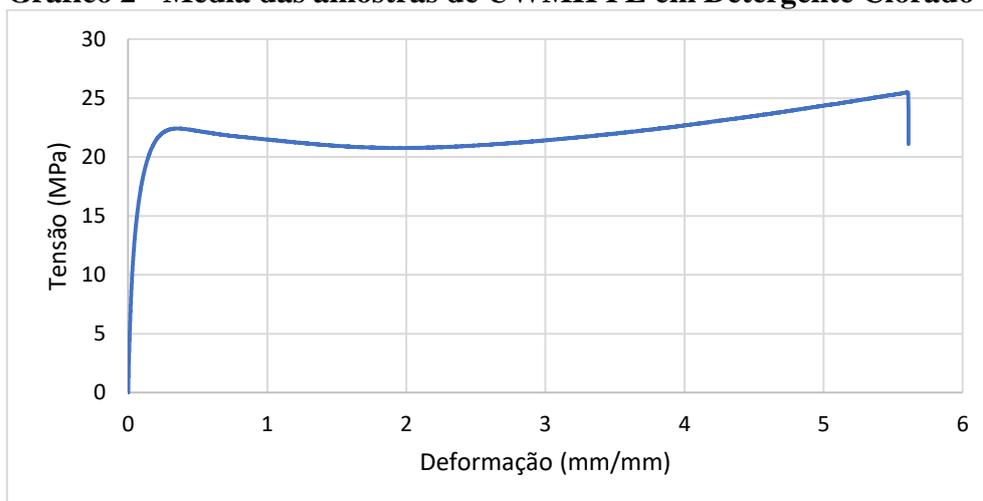
Fonte: Autor (2021).

Nota: Campos com “-” os corpos de provas não romperam devido ao curso da máquina.

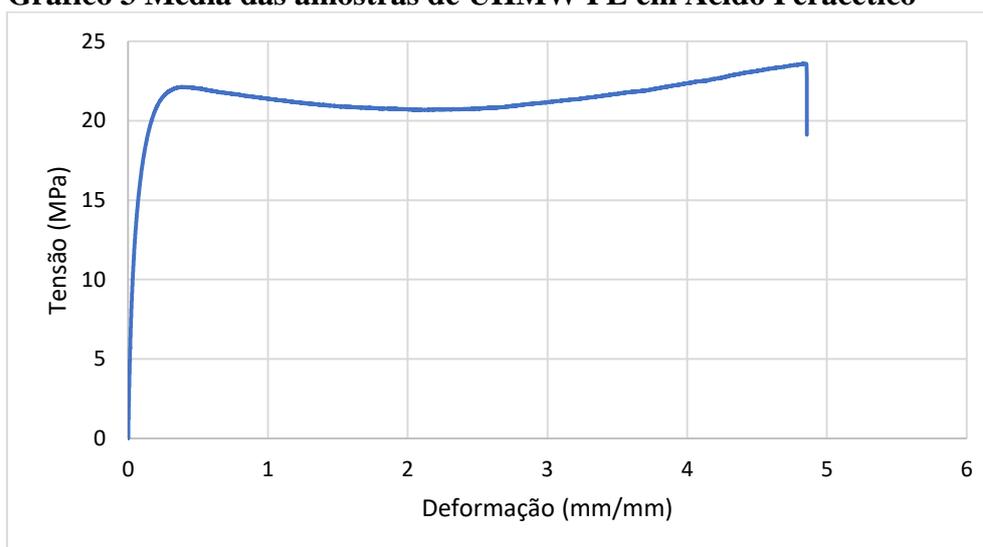
Gráfico 1 - Média das Referências de UHMW PE



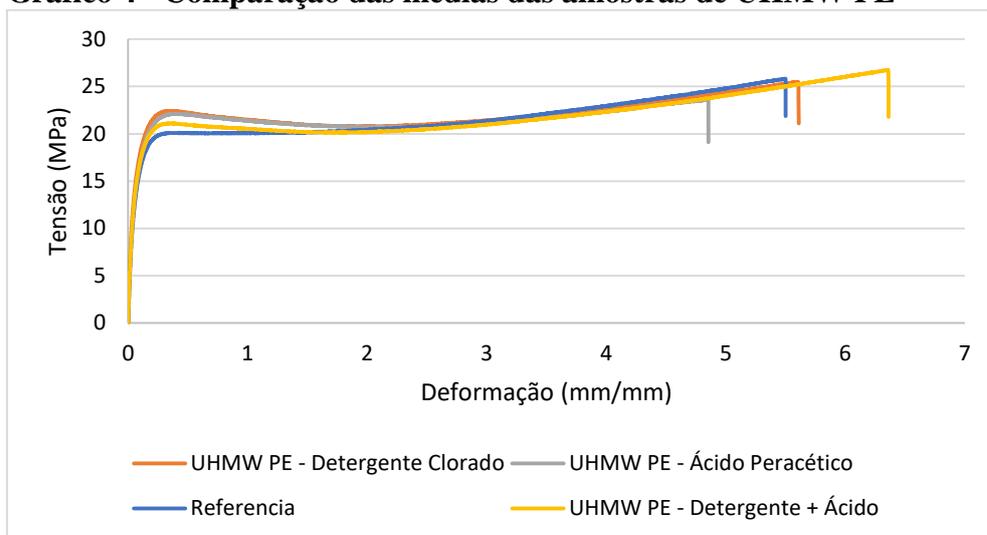
Fonte: Autor (2021).

Gráfico 2 - Média das amostras de UWMH PE em Detergente Clorado

Fonte: Autor (2021).

Gráfico 3 Média das amostras de UHMW PE em Ácido Peracético

Fonte: Autor (2021).

Gráfico 4 - Comparação das médias das amostras de UHMW PE**Tabela 4 - Médias das amostras de UHMW PE**

	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Tensão de Escoamento (MPa)	Ductilidade (%)	Módulo de Resiliência (MPa)
A	26,25±1,2	81,17±4,22	19,79±1,81	102,62±18,95	2,45±0,48
B	24,2±1,18	87,44±4,47	22,1±0,39	118,08±25,83	2,8±0,14
C	26±1,15	94,02±8,62	21,31±0,93	102,72±19,05	2,48±0,42
D	24,6±1,18	84,86±10,61	20,75±2,97	114,57±18,47	2,36±0,39

Fonte: Autor (2021).

Legenda – “A”= Referência, “B”= Detergente Clorado, “C”= Ácido Peracético e “D”= Ácido + Detergente

De acordo com a Tabela 4, houve diminuição de aproximadamente 7,80% na tensão de ruptura comparando-se a amostra de referência e a amostra que esteve submersa em detergente clorado. Na amostra em contato com ácido peracético, observa-se que os valores sofreram variação mínima. Já na amostra em contato com detergente clorado + ácido peracético houve uma variação de 1,65 MPa menor que na amostra de referência.

No módulo de elasticidade, houve um aumento de 7,72% e um desvio padrão com diferença mínima nas amostras em detergente clorado. Nas amostras em contato com ácido peracético, a variação foi de 15,84% para mais, em relação às amostras de referência. Também observou-se que o desvio padrão foi equivalente a 4,4 MPa a mais que nas amostras de referência. As amostras submersas em ácido peracético + detergente clorado tiveram 2,31 MPa a mais que as amostras de referência.

Na tensão de escoamento, em relação às amostras de referências, houve um aumento significativo de 6,27 MPa nas amostras com detergente clorado; 7,09% nas amostras submersas

em ácido peracético; e 8,13% nas amostras que tiveram contato com detergente clorado + ácido peracético.

Quanto ao percentual de alongamento, nas amostras submersas em detergente clorado, os resultados apresentam uma variação de 15% em relação às amostras de referências. Nas imersas em ácido peracético, houve uma variação próxima a 0. Por fim, a variação foi equivalente a 11,65% nas amostras submersas em detergente clorado + ácido peracético.

Diante dos resultados obtidos, considera-se que o fator determinante para a diminuição da resistência mecânica do UHMW PE é o detergente clorado, em que se observou um comportamento diferente nas amostras em relação às amostras de referências. Essas mudanças de comportamento podem ter sido geradas por novas ligações entre as macromoléculas, alterando as características originais do polímero ou, até mesmo, intertravamentos físicos, de modo que, em caso contrário iniciou a degradação de ligações fracas, diminuindo o módulo de elasticidade.

Entende-se que os materiais submersos em detergente clorado atingem um percentual de alongamento maior, mas em contrapartida, a força necessária para seu rompimento é menor, o que acaba tornando o material mais frágil.

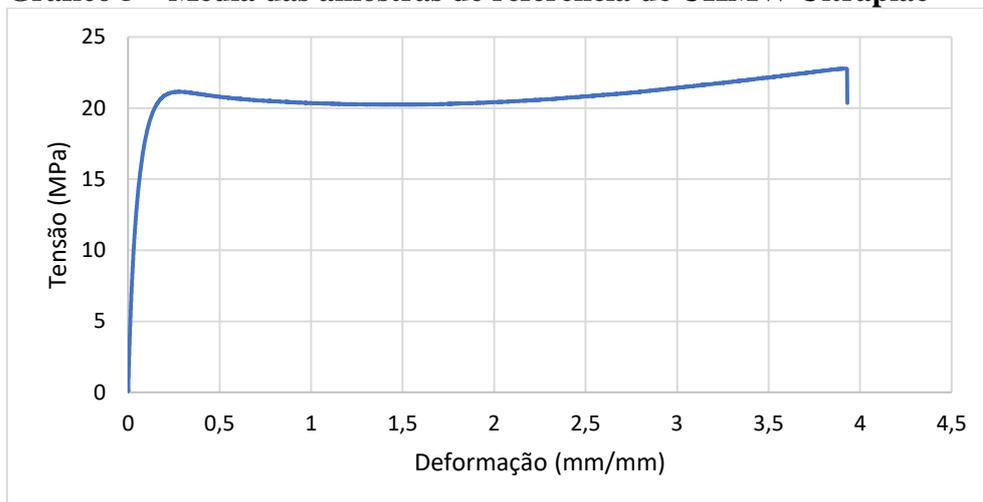
Tabela 5 – Comparação das amostras de UHMW Ultraplac

		Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Tensão de Escoamento (MPa)	Ductilidade (%)	Módulo de Resiliência (MPa)	
ÁCIDO + DETERGENTE CLORADO	REFERÊNCIA	CP1	26,78	135,18	21,71	56,42	1,744
		CP2	22,78	105,83	20,44	38,60	1,973
		CP3	24,27	114,55	22,25	0,84	2,161
		CP4	22,68	103,62	19,57	59,58	1,848
		CP5	20,23	95,03	20,23	37,76	2,153
	DETERGENTE CLORADO	CP1	23,51	90,67	17,88	69,76	1,763
		CP2	22,77	92,41	20,23	22,18	2,214
		CP3	23,46	89,14	20,23	47,88	2,295
		CP4	21,63	83,65	20,02	31,45	2,397
		CP5	22,75	90,95	19,24	71,76	2,035
	ÁCIDO PERACÉTICO	CP1	22,78	97,24	20,39	52,85	2,139
		CP2	22,95	118,41	21,18	62,73	1,894
		CP3	26,70	88,73	20,27	91,64	2,316
		CP4	23,76	91,80	20,06	58,97	2,193
		CP5	23,52	83,90	19,90	66,3	2,360
ÁCIDO + DETERGENTE CLORADO	CP1	21,84	74,64	19,49	47,09	2,544	

CP2	20,39	90,95	18,79	46,00	1,940
CP3	27,54	117,61	25,54	73,33	2,774
CP4	19,55	90,87	18,01	35,76	1,784
CP5	21,47	108,83	17,59	60,55	1,422

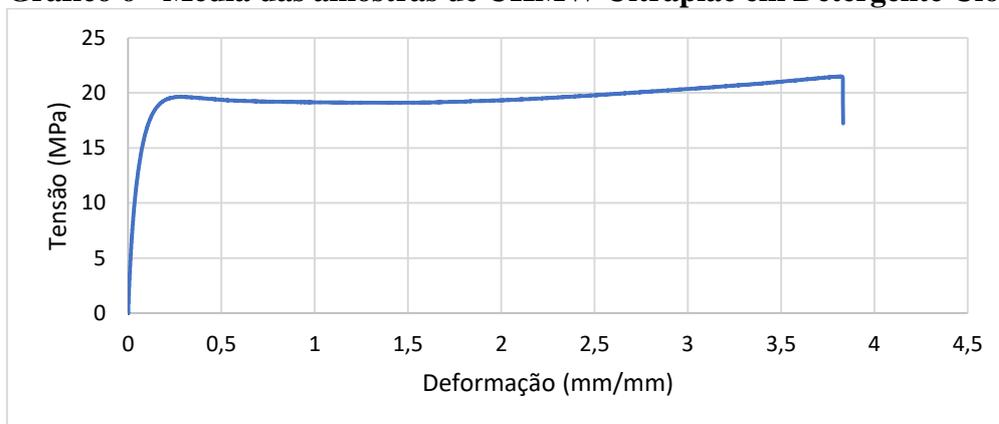
Fonte: Autor (2021).

Gráfico 5 – Média das amostras de referência de UHMW Ultraplac



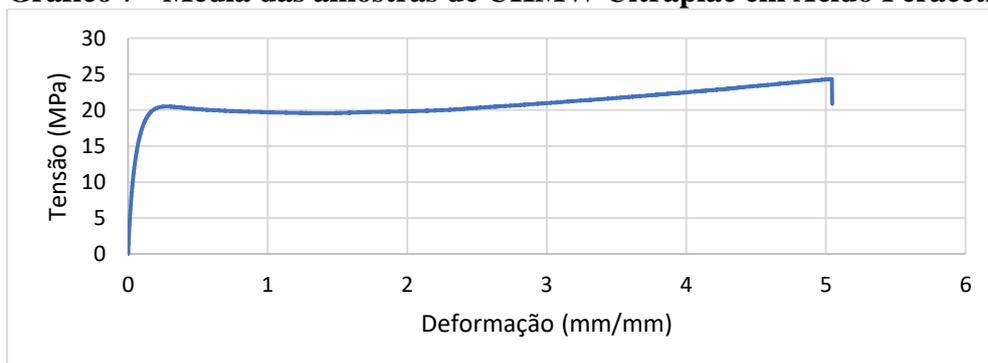
Fonte: Autor (2021).

Gráfico 6 - Média das amostras de UHMW Ultraplac em Detergente Clorado

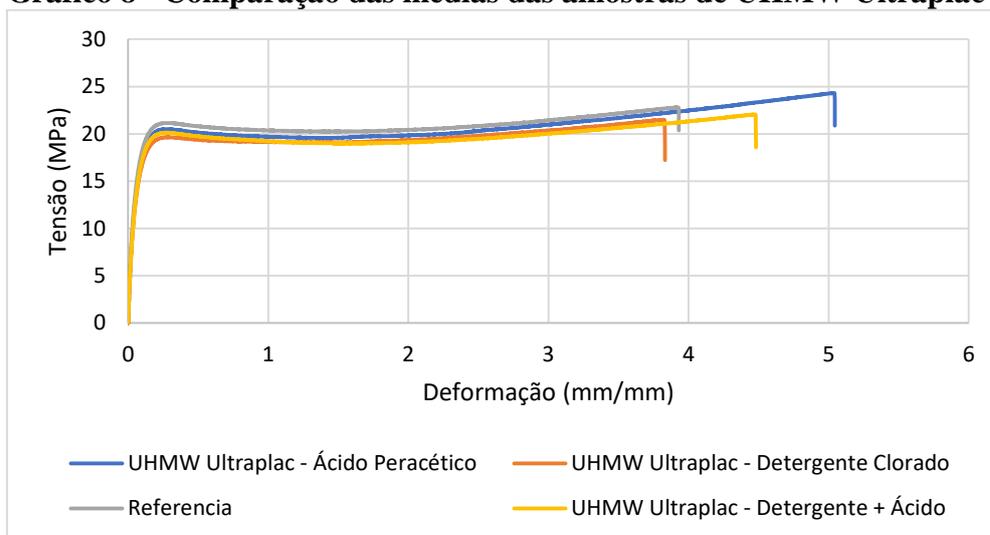


Fonte: Autor (2021).

Gráfico 7 - Média das amostras de UHMW Ultraplac em Ácido Peracético



Fonte: Autor (2021).

Gráfico 8 - Comparação das médias das amostras de UHMW Ultraplac

Fonte: Autor (2021).

Tabela 6 – Média das amostras de UHMW Ultraplac

	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Tensão de Escoamento (MPa)	Ductilidade (%)	Módulo de Resiliência (MPa)
A	23,34±1,74	110,84±11,21	20,84±0,91	38,64±15,48	1,97±0,14
B	22,82±0,52	89,36±2,37	19,52±0,76	48,6±17,72	2,14±0,19
C	23,94±1,1	96,01±9,44	20,36±0,34	66,49±10,05	2,18±0,13
D	22,15±2,15	96,58±13,31	19,88±2,26	52,54±11,51	2,09±0,45

Fonte: Autor (2021).

Legenda – “A”= Referência, “B”= Detergente Clorado, “C”= Ácido Peracético e “D”= Ácido + Detergente

Na Tabela 6 observam-se as médias das amostras do UHMW Ultraplac. Os valores de tensão de ruptura ficaram abaixo de 22,82MPa nas amostras que tiveram contato com o detergente clorado. Ademais, os valores no módulo de elasticidade sofreram redução nesse caso, ao contrário do que ocorreu nas amostras de UHMW PE, em que houve o aumento no módulo de elasticidade. As tensões de escoamento nas amostras submersas em detergente também sofreram significativa redução na tensão, equivalente a cerca de 6,34% nas amostras apenas em contato com detergente clorado, e a 9,40% nas amostras submersas em detergente + ácido. A ductilidade desses materiais também se mostrou superior nas amostras de referência. Esse comportamento pode ter sido decorrente do fato de o UHMW Ultraplac ser reciclado e passar pelo processo de polimerização por uma ou mais vezes, processo que pode alterar as propriedades do material. Também pode ser um comportamento gerado por possíveis formações de novas ligações entre as macromoléculas, em função do contato direto com o detergente e o ácido, deixando a estrutura mais frágil quando submetida a grandes esforços de tração.

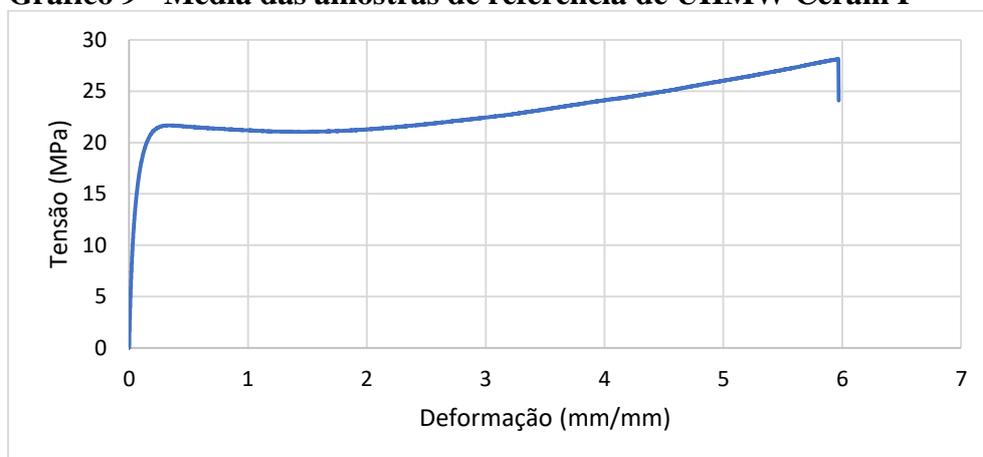
Tabela 7 - Comparação das amostras de UHMW Ceram P

		Tensão de Ruptura (MPa)	Modulo de Elasticidade (MPa)	Tensão de Escoamento (MPa)	Ductilidade (%)	Módulo de Resiliência (MPa)
REFERÊNCIA	CP1	27,34	92,67	19,45	185,94	2,040
	CP2	25,43	94,21	21,09	91,21	2,362
	CP3	28,47	102,39	22,08	156,61	2,381
	CP4	29,24	109,39	21,47	80,85	2,106
	CP5	26,53	87,31	20,48	160,36	2,401
DETERGENTE CLORADO	CP1	28,30	93,42	22,87	139,09	2,798
	CP2	28,09	76,90	22,70	79,90	3,351
	CP3	26,53	89,87	22,17	89,87	2,733
	CP4	-	-	-	-	-
	CP5	-	-	-	-	-
ÁCIDO PERACÉTICO	CP1	25,54	88,60	19,73	125,07	2,197
	CP2	27,33	92,40	20,89	162,11	2,360
	CP3	25,13	91,90	20,60	122,05	2,310
	CP4	27,36	103,80	18,21	111,79	1,598
	CP5	29,52	92,40	20,23	137,27	2,215
ÁCIDO + DETERGENTE	CP1	24,32	76,10	18,79	76,55	2,318
	CP2	24,33	90,30	19,82	103,94	2,174
	CP3	24,10	91,00	19,41	117,64	2,069
	CP4	22,43	81,60	18,79	91,88	2,162
	CP5	-	-	-	-	-

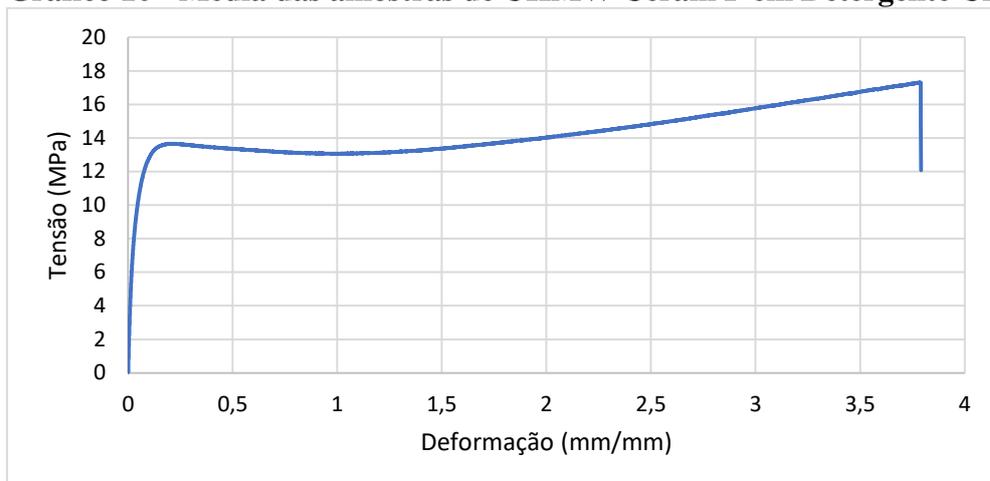
Fonte: Autor (2021).

Nota: Campos com "-" "os corpos de provas não romperam devido ao curso da máquina.

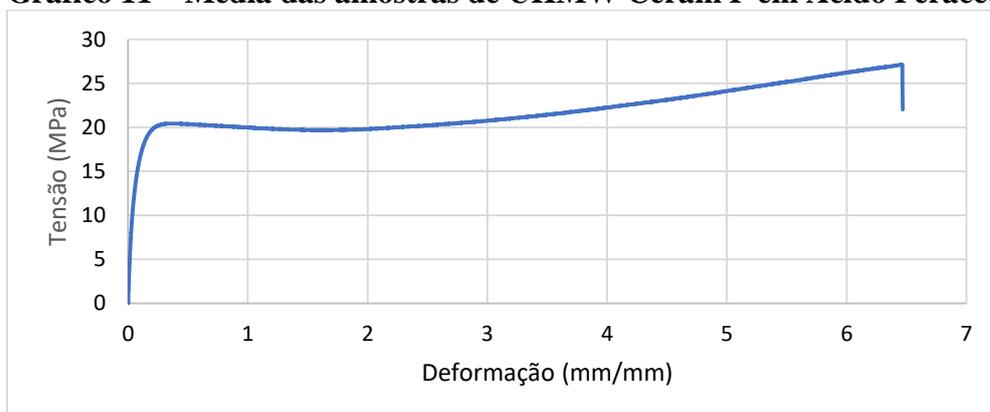
Gráfico 9 - Média das amostras de referência de UHMW Ceram P



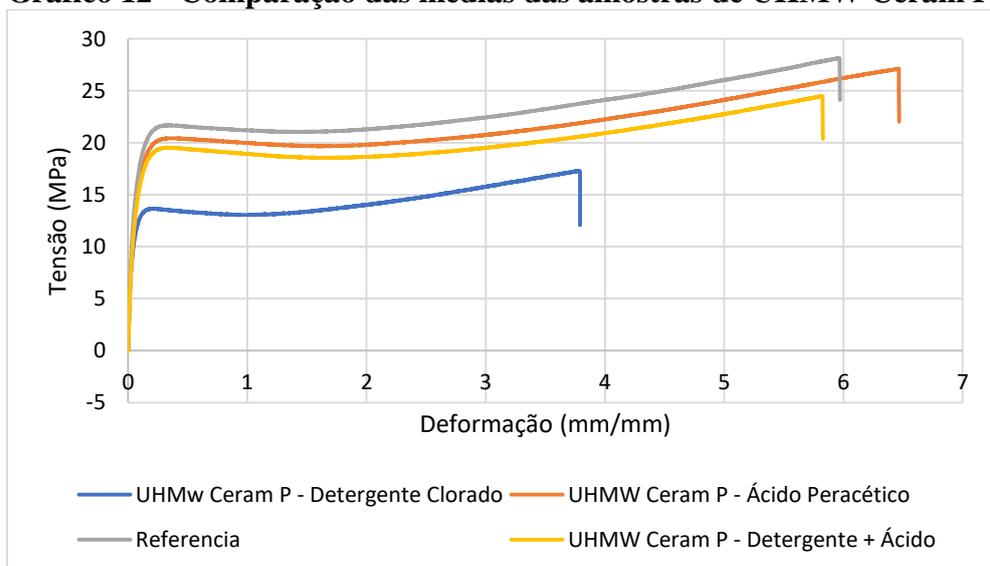
Fonte: Autor (2021).

Gráfico 10 - Média das amostras de UHMW Ceram P em Detergente Clorado

Fonte: Autor (2021).

Gráfico 11 – Média das amostras de UHMW Ceram P em Ácido Peracético

Fonte: Autor (2021).

Gráfico 12 - Comparação das médias das amostras de UHMW Ceram P

Fonte: Autor (2021).

Tabela 8 Média das amostras de UHMW Ceram P

	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Tensão de Escoamento (MPa)	Ductilidade (%)	Módulo de Resiliência (MPa)
A	27,4±1,16	97,19±6,95	20,91±0,75	134,99±39,17	2,25±0,14
B	27,64±0,74	86,73±6,55	22,58±0,27	102,95±24,09	2,96±0,26
C	26,97±1,31	93,82±3,99	19,93±0,76	131,65±14,42	2,13±0,21
D	23,79±0,68	84,75±5,9	19,2±0,41	97,5±13,28	2,18±0,06

Fonte: Autor (2021).

Legenda – “A”= Referência, “B”= Detergente Clorado, “C”= Ácido Peracético e “D”= Ácido + Detergente

Na Tabela 8 observam-se os valores de médias das amostras em UHMW Ceram P. Nesse caso, os valores de tensão de ruptura entre a amostra de referência e as amostras submersas em detergente clorado e ácido peracético separadas não apresentaram muita alteração em seus valores. Já nas amostras que tiveram contato com detergente + ácido houve uma redução de 13% em relação à amostra de referência. Nos valores de módulo de elasticidade houve redução de 10% nas amostras em detergente clorado e de 12% nas amostras em detergente + ácido.

Na tensão de escoamento, as amostras submersas em detergente clorado sofreram um aumento nos valores em 1,67 MPa. A ductilidade foi mais afetada nas amostras submersas em detergente + ácido, com uma diferença de 27% em relação às amostras de referência.

Em comparação com o UHMW PE, verifica-se que o UHMW Ceram P possui uma tensão de ruptura, módulo de elasticidade, tensão de escoamento e ductilidade superiores, isso ocorre por ser um material com aditivo ceramico, que melhora significativamente nas suas propriedades.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo teve como resultado o conhecimento das possíveis alterações nas propriedades mecânicas dos polímeros UHMW PE, Ultraplac e Ceram P submetidos a testes de tração e a simulação de aplicação de sanitizantes e detergentes. No estudo foi planejado conhecer os fatores que influenciam na qualidade e na durabilidade do material.

A análise dos gráficos obtidos através dos testes de tração permitiu o levantamento de algumas informações importantes para a pesquisa. Possibilitou ver que os corpos de prova que passaram pelo processo de aplicação de sanitizantes e detergentes, apresentaram alguma redução nas propriedades de resistência a tração do material, chegando a uma redução máxima no modulo de elasticidade de 7,9 MPa no UHMW Ultraplac, redução de 1,77MPa na tensão de

ruptura do UHMW Ceram P, já nas demais propriedades como tensão de escoamento, ductilidade e módulo de resiliência se mostram nulos quando consideramos os valores de desvio padrão, as alterações encontradas podem ser decorrentes do contato com detergente e sanitizantes. Essas reduções podem ter ocorrido devido ao surgimento de novas ligações entre as moléculas ou até mesmo alteração das ligações existentes.

A pesquisa permitiu ampliar o conhecimento sobre os materiais poliméricos que estão cada vez mais difundidos nas indústrias por apresentar características que outros materiais não dispõem. Desta forma, sugere-se para estudos futuros, que sejam avaliados a mistura de aditivos durante a extrusão dos polímeros para diminuir a ação dos sanitizantes e detergentes na redução das suas propriedades.

REFERÊNCIAS

- ALVES, I. P., e BISSI, L. B. **Fabricação de produtos de limpeza e sanitizantes**. Aracruz: Faculdade Integrada de Aracruz. 2016.
- ASTM D638. **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**¹. 2014.
- BELFIORE, L. A. **Physical Properties of Macromolecules**. 2010.
- CANEVAROLO Jr, S. V. **Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros** 2.ed. São Paulo: ArtLiber. 2006.
- COSTA, J. B. . **Avaliação ecotoxicológica de efluente de tratamento secundário de engoto sanitário após a desinfecção com ácido peracético, cloro, ozônio e radiação ultravioleta**. São Paulo: Universidade de São Paulo. 2016.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa** 4.ed. São Paulo: Atlas S.A. 2002.
- JORGE, N. **Embalagens para Alimentos**. São Paulo. 2013.
- LODGE, A. S. **Elastic recovery and polymer-polymer interactions**. 1989.
- MERGEN, I. Z. **Estudo da Perda de Vácuo em Embalagens Plásticas Muticamadas para Produtos Cárneos Curados Cozidos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.
- MORRIS, B. A. **THE SCIENCE AND TECHNOLOGY: Multilayer Films from Resin and Process to End Use**. 2017.
- PROFESSIONAL PLASTICS; **TIVAR Ceram P**; Disponível em: <https://www.professionalplastics.com/pt/TIVARCERAMP>; Acesso em 17/06/2021

PROFESSIONAL PLASTICS; **Folha UHMW & Rod (Virgin Grade)**; Disponível em: <https://www.professionalplastics.com/pt/UHMWSHEETRODTUBE>; Acesso em 17/06/2021

PROFESSIONAL PLASTICS; **Folha UHMW & Rod (reprocessados)**; Disponível em: https://www.professionalplastics.com/pt/UHMW_Reprocessed; Acesso em 17/06/21

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. e F. G. **Teixeira. Embalagens Plásticas Flexíveis: Principais polímeros e avaliação de propriedades.** 2017

SELKE, S. E., e CULTER, J. D. **Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, and Regulations.** 2016.

SICHINA, W. **DSC as Problem Solving Tool: Measurement of Percent Crystallinity of Thermoplastics.** 2000.

SILVA JUNIOR, A.R. **implantação iônica por imersão em plasma De aço inox, pzt e polímeros para aplicação Espacial;** 2016.

TELLES, E. M. **A Higienização na Prevenção e no Controle do Boifilme: Uma Revisão.** Porto Alegre: Unversidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011.

UltraHi. **UHMW Ultra Hi.** Disponível em: <https://www.ultrahi.com.br/produtos>; Acesso em 17/06/21.

ZITZUMBO, R., ORNELAS-RODRIGUEZ, F., LOPEZ, M., ALONSO, S., YANEZ, J., AVALOS, F., . . . Zizumbo, A. **Laser technology application: Deformation and elastic recovery of semi-crystalline polymers.** EUROPEAN POLYMER JOURNAL. 2006.