

Capítulo II

Elastómeros

2.1 Resumo Histórico

A borracha natural, retirada da árvore *Hevea Brasiliensis* (Figura 2.1), era conhecida pelos indígenas do continente americano muito antes da chegada dos exploradores europeus. O primeiro estudo científico da borracha foi efectuado por Charles de la Condamine, durante a sua viagem ao Perú no ano 1735.

Inicialmente a borracha foi utilizada como apagador, uso que persiste hoje em dia. Em 1820, a indústria Inglesa produziu fibras de borracha na tentativa de as utilizar no fabrico de acessórios para vestuário.

Em 1832 foi criada a fábrica de Rosburg em Washington nos EUA, no entanto, os produtos feitos de borracha não vulcanizada eram afectados pelo tempo frio, deixando-os frágeis e com tendência para se colarem na presença do sol, factos que desencorajaram os consumidores.



(a)



(b)

Figura 2.1 – (a) Plantação de árvores-da-borracha, *Hevea brasiliensis*; (b) Remoção de látex (suspensão aquosa de partículas de borracha) da árvore-da-borracha.

Após um longo período de tempo a tentar melhorar as características da borracha, no ano 1839, Charles Goodyear descobriu acidentalmente o processo de vulcanização, ao aquecer em simultâneo a borracha com enxofre e carbonato básico de chumbo. O processo químico através do qual se criam ligações cruzadas entre as moléculas de um elastómero, utilizando enxofre ou outras substâncias que o contenham, designa-se por vulcanização. Na indústria da borracha, utiliza-se o termo “cura” quando as borrachas reagem com outras substâncias que não sejam

constituídas por enxofre, no entanto, e na maior parte das vezes, utilizam-se ambos os termos de forma idêntica. A vulcanização é responsável pela formação de uma estrutura tridimensional a partir de um polímero linear, tendo como base uma reacção química ou física (Figura 2.2). A formação desta estrutura é uma das condições essenciais para possibilitar as propriedades elastoméricas nas borrachas [1].

A vulcanização proporciona ligações covalentes muito fortes, de tal forma que o elastómero se torna insolúvel e impossível de ser fundido, ou seja, bastante mais resistente. Consequentemente, o seu processo de deterioração torna-se significativamente mais lento, podendo, no entanto, ser acelerado pela exposição à radiação ultravioleta.

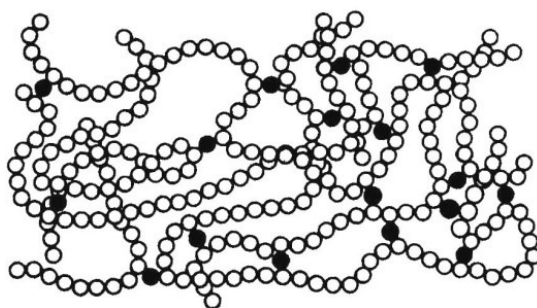


Figura 2.2 – Exemplo esquemático da estrutura molecular de um elastómero após vulcanização. Os pontos a preto exemplificam as ligações químicas entre moléculas originadas pela cura.

Entre 1879 e 1882, Bouchardt descobriu como polimerizar isopreno (composto orgânico tóxico utilizado como monómero), obtendo assim produtos com propriedades similares às da borracha.

Os primeiros pneus de bicicleta datam de 1830, e em 1895 a Michelin teve a audaciosa ideia de adaptar o pneu ao automóvel. Desde então, a borracha obteve uma extraordinária posição no mercado global.

De referir que antes da borracha ser conhecida, a única forma de vedar uma pequena folga numa máquina rotativa, ou assegurar que o combustível utilizado para accionar essa máquina tivesse o mínimo de fugas, era utilizando couro ensopado em óleo. É claro que esta solução só era aceitável para pressões moderadas, pois a partir de determinado ponto, os projectistas tinham um compromisso entre compactar mais o couro ou enfrentar fugas maiores. A borracha vulcanizada veio oferecer a solução ideal. Este material permitia que os engenheiros o moldassem e adaptassem a formas e dimensões precisas, sendo ainda capaz de sofrer grandes deformações e recuperar rapidamente a forma original logo que a carga fosse

removida. Estas propriedades, combinadas com a boa durabilidade e a não aderência a superfícies, constituíam os requisitos fundamentais para uma vedação eficiente^[16].

Uma vasta gama de borrachas sintéticas (elastómeros) tem sido desenvolvida desde a sua primeira descoberta. Como eram necessários grandes investimentos para desenvolver esta variedade, a tecnologia de produção ficou fortemente concentrada em empresas tais como a Dupont, Bayer, Shell, Basf, Goodyear, Firestone, Michelin, EniChem, Dow e Exxon.

2.2 O que é um elastómero?

Os elastómeros são polímeros que apresentam um comportamento mecânico semelhante ao da borracha vulcanizada. Esse comportamento é observado para um determinado intervalo de temperaturas ou, de forma mais rigorosa, um dado intervalo de temperaturas e tempo.

As principais características pretendidas são as seguintes.

- Flexibilidade: o módulo de Young (E) e o módulo de distorção (G) são geralmente da ordem de grandeza de 0.1 a 10 MPa.
- Deformabilidade: deve suportar deformações muito elevadas sem ruptura. O alongamento à ruptura apresenta valores substancialmente elevados (200-400%) podendo mesmo atingir valores iguais ou superiores a 800%.
- Resiliência: deve ser capaz de recuperar quase totalmente a sua forma inicial, depois de submetido a uma deformação relativamente elevada, durante um dado intervalo de tempo. A resiliência é o quociente entre a energia restituída pelo elastómero ao recuperar a forma inicial e a energia utilizada para o deformar (energia de deformação).

A produção de um elastómero efectua-se através da formação de uma rede tridimensional (reticulação) de cadeias poliméricas (conjunto ordenado de monómeros), com um grau de reticulação superior a um dado valor crítico, o grau de reticulação no ponto gel (estado no qual o líquido começa a exibir propriedades pseudoelásticas com um aumento de viscosidade). Um elastómero é um sólido polimérico suficientemente reticulado. A reticulação tem que ser suficiente para que o material se comporte como um sólido viscoelástico, isto é, que o módulo de equilíbrio não seja nulo; caso contrário tratar-se-á de um líquido viscoelástico e não de um elastómero. As cadeias moleculares conservam assim uma acentuada mobilidade à escala local, isto é, para distâncias inferiores à distância característica entre pontos de reticulação consecutivos. Nos casos em que a reticulação seja tão intensa que a mobilidade local dos monómeros seja substancialmente inibida, então tratar-se-á de um termoendurecível.

O intervalo de temperatura em que se verifica o comportamento hiperelástico varia entre um valor mínimo de referência, um pouco acima da transição vítrea, e uma outra temperatura de referência em que cessa a eficácia da reticulação. A diminuição da eficácia pode ter origem na ruptura das cadeias poliméricas devido a um qualquer mecanismo de degradação, ou por destruição dos próprios pontos de reticulação, resultante de processos diversos de natureza química ou física.

2.3 Propriedades físicas e termoelásticas

A característica mais importante de um elastómero é, sem dúvida, a sua elevada capacidade de deformação, mesmo sob a acção de baixas tensões (Figura 2.3).

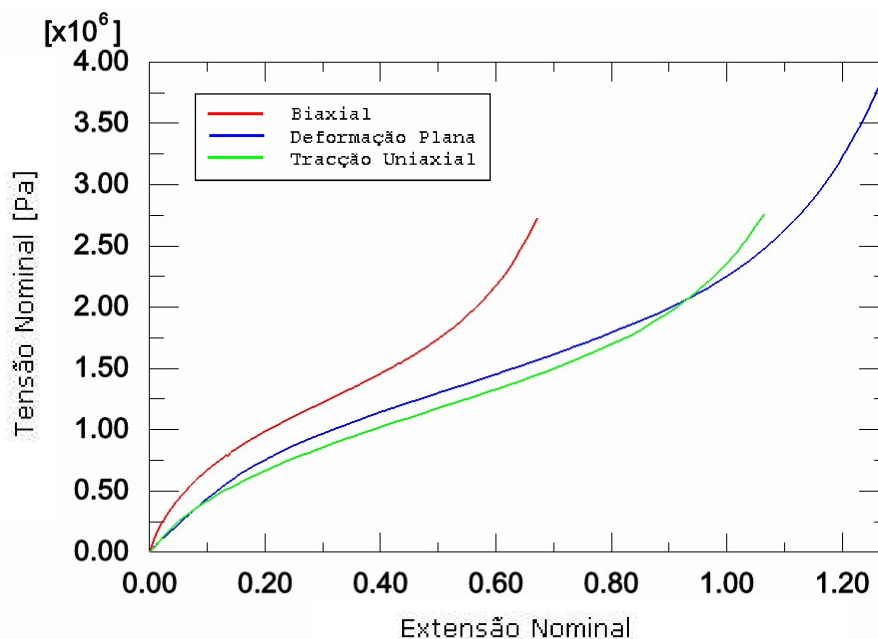


Figura 2.3 – Dados experimentais^[22] de três diferentes ensaios da Borracha Natural.

Pelo gráfico verifica-se que a curva é não-linear, e portanto não é possível definir o módulo de Young (E) do material excepto na região de baixa extensão. A elevada capacidade de deformação e baixo módulo de elasticidade, são o oposto das propriedades de um metal, assim é possível distinguir dois comportamentos elásticos:

1. Elasticidade energética – O material apresenta elevada resistência à deformação, com tensões elevadas a provocarem pequenos deslocamentos. Este comportamento é detectado em sistemas cristalinos; o módulo de elasticidade, E, é elevado.
2. Elasticidade entrópica – Pequenas tensões provocam grandes deformações reversíveis. Este comportamento pode ser visto em gases e polímeros; o módulo de elasticidade, E, é baixo.

No primeiro caso, os átomos estão dispostos de forma regular e exercem fortes interações entre si. Assim, quando se aplica uma força externa, esta tem que superar as interações intermoleculares. A elasticidade é energética por natureza e daí resultam altos valores de E . No segundo caso, a estrutura molecular é muito diferente da do primeiro, na medida em que as moléculas de um elastómero são dispostas de forma muito irregular e aleatória (Figura 2.4). As forças intermoleculares são muito inferiores e a elasticidade é de natureza entrópica, ou seja, quando existe deformação ocorre também uma variação na entropia do sistema, mais concretamente uma diminuição da entropia.



Figura 2.4 – Exemplo da estrutura molecular da borracha não vulcanizada.

A resposta mecânica dos elastómeros apresenta várias características interessantes. Por exemplo, durante os primeiros ciclos de carga e descarga o elastómero sofre um significativo amaciamento e, ao fim de um determinado número de ciclos, a sua resposta torna-se repetitiva. Este amaciamento do elastómero é caracterizado pela diminuição da força necessária à sua deformação para o mesmo nível de extensão. Este fenómeno é conhecido como *Efeito de Mullins*. Na figura 2.5, estão representados quatro ciclos contínuos de carga/descarga que exemplificam este comportamento. É possível verificar que a tensão, para o mesmo nível de deformação, diminui de ciclo para ciclo.

De referir ainda que os elastómeros são extremamente sensíveis à deformação máxima sofrida, isto é, depois de ter atingido um estado de equilíbrio após cargas e descargas sucessivas, se sofrer uma deformação superior, o seu comportamento será a continuação da fase de carga do primeiro ciclo.

A histerese, verificada na fase de descarga, é fruto da viscoelasticidade presente no elastómero e é proporcional ao nível máximo de extensão sofrido.

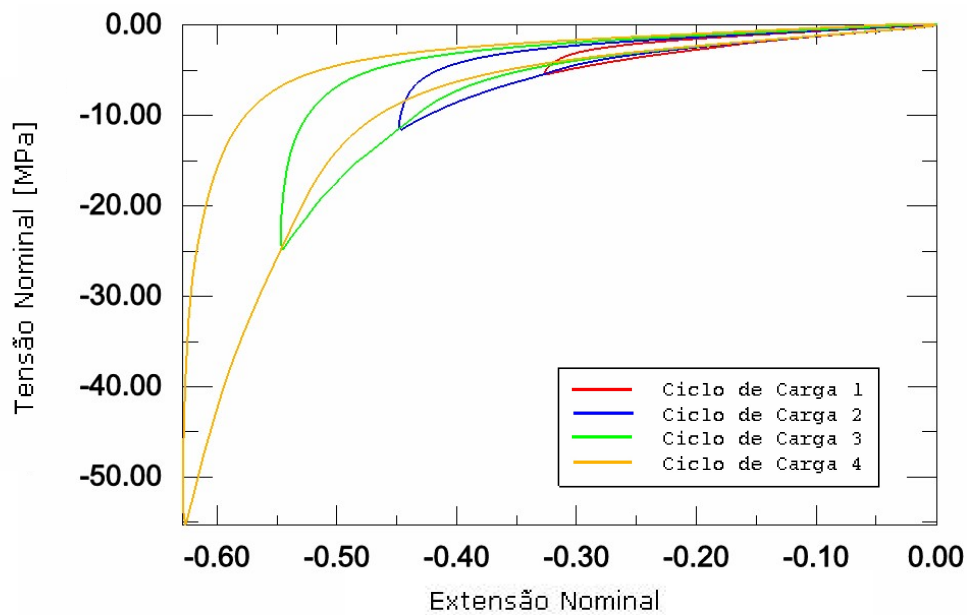


Figura 2.5 – Comportamento tensão-extensão obtido a partir de ciclos consecutivos de compressão uniaxial, utilizando a borracha de cloropreno^[22].

Outro aspecto importante tem que ver com a relaxação de tensões, isto é, quando se mantém o nível de deformação, a força que o elastômero exerce para contrariar essa mesma deformação diminui com o passar do tempo até atingir um estado de equilíbrio (Figura 2.6). A relaxação de tensões é directamente proporcional à deformação sofrida e também à velocidade de deformação^[18]. A velocidade de deformação influencia o comportamento do elastômero na medida em que a tensão aumenta com o aumento da velocidade.

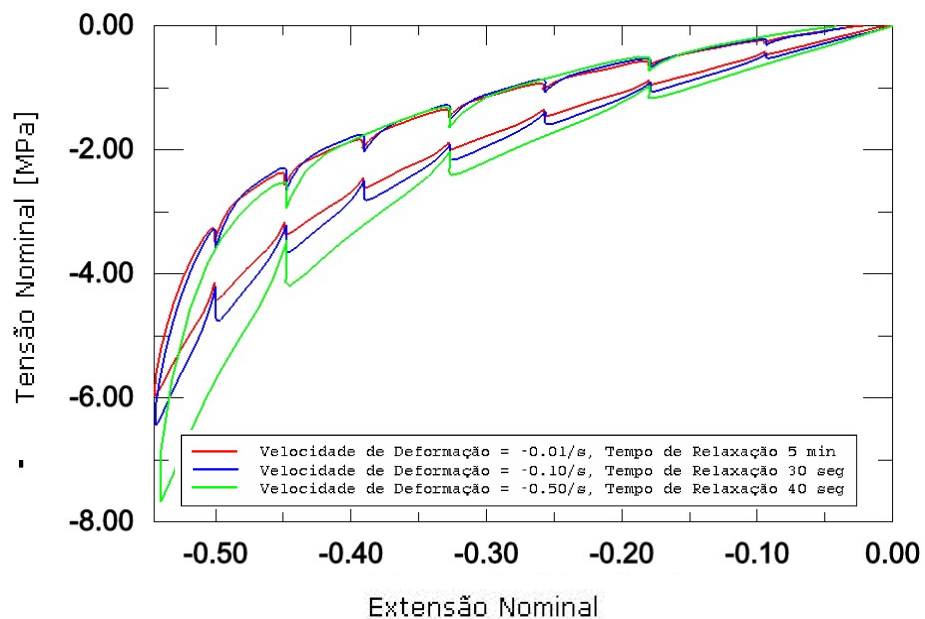


Figura 2.6 – Relaxação de tensões a diferentes velocidades de deformação, para a borracha de nitrilo^[22].

Para além das propriedades mecânicas apresentadas, existem outras um pouco menos conhecidas mas extremamente importantes do ponto de vista científico. O seu estudo data do início do século XIX, quando Gough (1805) fez as seguintes observações:

1. Ao aquecer o elastómero no estado deformado, sob a acção de uma força constante, este tende a contrair na tentativa de recuperar a sua forma inicial;
2. O elastómero liberta calor quando deformado.

Estas observações foram confirmadas por Joule no ano 1859, tornando-se conhecidas por efeitos de Gough-Joule. Para melhor explicar estes fenómenos termoelásticos é necessário desenvolver relações entre a força, deformação e temperatura com as quantidades termodinâmicas de energia interna e entropia. As relações são obtidas directamente da 1ª e 2ª leis da termodinâmica^[20]. Da primeira lei da termodinâmica sabe-se que a variação de energia interna de qualquer processo é dada por,

$$du = dQ + dW \quad (2.1)$$

onde dQ e dW são respectivamente a variação de calor do sistema e o trabalho realizado sobre ou pelo sistema. A segunda lei define que a variação de entropia num processo reversível segue a relação,

$$TdS = dQ \quad (2.2)$$

onde T é a temperatura absoluta e ds a variação de entropia do sistema, obtendo-se para um processo reversível,

$$du = TdS + dW \quad (2.3)$$

Sabendo que o trabalho é igual a uma força vezes um deslocamento, é possível escrever a seguinte igualdade:

$$fdl = du - TdS \quad (2.4)$$

Onde dl é a variação de comprimento sob a acção da força f . A temperatura e a volume constante tem-se o seguinte:

$$f = \left(\frac{\partial u}{\partial l} \right)_{T,v} - T \left(\frac{\partial S}{\partial l} \right)_{T,v} \quad (2.5)$$

Por definição, os elastómeros ideais são caracterizados pela constância da sua energia interna (u), e portanto:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial l} \right)_{T,v} = 0 \Rightarrow f = -T \left(\frac{\partial S}{\partial l} \right)_{T,v} \quad (2.6)$$

Analizando a equação (2.6), e sabendo que a entropia diminui com a deformação, pode concluir-se que a força necessária para deformar um elastómero ideal aumenta com a subida da temperatura. De notar que um elastómero antes de ter qualquer carga aplicada se encontra num estado de entropia máxima. É interessante verificar que ao aquecer um elastómero deformado, este tem tendência a restituir a sua forma inicial (1º efeito de Gough-Joule), pois elevando a temperatura do sistema ocorre um acréscimo da sua entropia. O 2º efeito de Gough-Joule deve-se ao facto da energia interna do elastómero ser apenas cinética e derivar da agitação térmica das moléculas que constituem as cadeias moleculares, esta energia é função da temperatura e independente do estado de deformação. Uma vez que a energia interna não se altera, o trabalho realizado pelas forças aplicadas deve ser equilibrado pela emissão de uma quantidade idêntica de calor.

No entanto, os elastómeros reais sofrem uma variação de energia interna. A simplificação feita acima pode ser justificada para deformações moderadas, mas não para pequenas deformações, ou seja, abaixo dos 10% de deformação. Contudo, a maior parte da variação de energia interna pode ser relacionada com a variação de volume. Esta variação de volume é função da compressibilidade do elastómero que pode, na maioria das vezes, ser considerada nula, visto grande parte dos elastómeros poderem ser considerados incompressíveis.

2.4 A química do elastómero

Devido à extensa gama de elastómeros actualmente no mercado, não seria possível analisar cada um deles individualmente. Nesse sentido apresentam-se dois dos elastómeros mais utilizados na indústria automóvel. Estes são extremamente úteis nas juntas de vedação de intercoolers, como também noutros tipos de produtos que requerem propriedades semelhantes. A escolha destes dois elastómeros, é explicada uma vez que possuem excelentes propriedades, nomeadamente a resistência a altas temperaturas e ao meio ambiente em que se inserem.

2.4.1 Elastómero de etileno-acrílico (AEM)

Etileno-acrílico é o termo usado para descrever a família dos elastómeros de acrílico que foram introduzidos comercialmente, pela empresa DuPont, no ano 1975 sob o nome comercial Vamac®. Estes elastómeros são geralmente utilizados em aplicações que requerem boa resistência aos óleos e ao calor. São normalmente preferidos por possuírem um custo mais baixo relativamente ao silicone e aos elastómeros de fluorocarbono. O etileno presente na sua composição tem por função conferir resistência às baixas temperaturas, por outro lado, o metil-acrilato providência um grau de resistência considerável aos óleos. Finalmente, este elastómero (etileno-

acrílico) ao ser altamente saturado é também altamente resistente ao ozono e às condições atmosféricas.

Estes elastômeros são indicados para aplicações que requerem a presença contínua de hidrocarbonetos alifáticos a elevadas temperaturas (170 °C), incluindo os lubrificantes e fluídos hidráulicos mais comuns na indústria automóvel. As suas características amortecedoras fazem com que seja utilizado em bases anti-vibração e em isolantes.

2.4.1.1 Composição

Os elastômeros de etileno-acrílico são produzidos por copolimerização de etileno e metil-acrilato, na presença de uma pequena quantidade de ácido alquenóico que providencia locais de cura com diaminas (Figura 2.7).

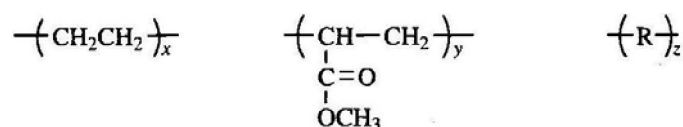


Figura 2.7 – Etileno; Metil-Acrilato; Monómero de cura.

O processo de polimerização origina um terpolímero amorfo ou um copolímero amorfo (sem monómero de cura). A cadeia polimérica principal é totalmente saturada, fazendo com que seja altamente resistente ao ataque por ozono, mesmo na ausência de aditivos antiozono. A resistência aos fluídos e as suas propriedades a baixas temperaturas são, principalmente, função da razão de metil-acrilato para etileno. À medida que o nível de metil-acrilato aumenta, o polímero adquire maior polaridade e simultaneamente melhor resistência a hidrocarbonetos alifáticos. Da mesma forma, ocorre um ligeiro aumento da temperatura de transição vítrea do polímero. Assim sendo, existe um compromisso entre a resistência a óleos e o desempenho a baixas temperaturas.

2.4.1.2 Produção

A produção dos elastômeros de etileno-acrílico passa por um processo de mistura, que no caso de grandes produções pode ser feito numa misturadora, cujo processo se desenrola de cima para baixo, ou num moinho caso a produção seja menor. Em qualquer dos casos, é importante manter a mistura o mais fria possível e evitar que ocorra uma sobremistura. Os ciclos de mistura para uma passagem simples são curtos, tipicamente de 2.5 minutos a 3.5 minutos^[2].

São introduzidos locais de cura carboxílicos no terpolímero de etileno-acrílico para permitir a vulcanização com aminas primárias. São também adicionadas guanidinas para acelerar o processo de cura. Se for desejada uma cura mais rápida para o terpolímero, pode ser utilizada uma combinação de diaminas e peróxidos reduzindo-

se o tempo de cura em aproximadamente 50%. Os copolímeros são curados apenas com peróxidos^[2].

Sempre que as técnicas de produção ou o nível económico permitir, é recomendado que os compostos baseados nos terpolímeros sejam sujeitos a uma pós-cura para que as suas propriedades sejam melhoradas. As curas relativamente curtas podem ser prolongadas num forno, de forma a desenvolver as propriedades físicas e obter máxima resistência à deformação residual por compressão ("*compression set*").

Podem ser usadas várias combinações de tempo e temperatura, no entanto, o ciclo de quatro horas a 175°C é o mais utilizado^[2]. A pós-cura aumenta o módulo, melhora muito a resistência à deformação residual por compressão e estabiliza as propriedades de tensão-extensão iniciais. Durante a etapa de pós-cura, a reticulação química por amidas é convertida numa ligação mais estável. Os copolímeros curados por peróxidos não necessitam de pós-cura^[2].

2.4.1.3 Propriedades

As principais características do Vamac[®] são a resistência ao calor (175°C) e aos óleos. Pode operar por mais de 18 meses a uma temperatura contínua de serviço de 120°C, ou por 6 semanas a 170°C. No caso das temperaturas de serviço se encontrarem no intervalo 190-200°C, a vida útil passará a ser de dias em vez de semanas^[2].

Testes de envelhecimento com a duração de três anos, conduzidos sob influência do sol, água, oxigénio e ozono mostraram que o elastómero é pouco afectado, tanto a nível de aparência como das propriedades físicas^[2].

Os compostos de Vamac[®] apresentam boa resistência a lubrificantes de hidrocarbonetos, fluidos hidráulicos e a massas consistentes, particularmente quando são usados elastómeros com elevado teor de metil-acrilato. No entanto, não são adequados para o contacto com ésteres, acetonas, petróleo, gasolina e óleos de travão, embora possam tolerar querosene e combustível diesel.

A resistência à deformação residual do Vamac[®], vulcanizado por aminas e seguido de uma pós-cura, é excelente, originando valores abaixo dos 20% depois de 70 horas a uma temperatura de 150°C. A vulcanização com peróxidos não origina bons resultados, com ou sem pós-cura. Este terpolímero apresenta excelentes capacidades anti-vibração e é insensível a temperaturas no intervalo de -30°C a 160°C.

	Excelente	Bom	Razoável	Pobre
Tensão de rotura		•		
Deformação			•	
Flexibilidade a baixa temperatura		•		
Deformação residual		•		
Resistência ao corte			•	
Resistência à abrasão		•		
Resistência à chama				•
Permeabilidade ao gás		•		

Tabela 2.1 – Propriedades físicas dos elastómeros de AEM.

	Excelente	Bom	Razoável	Pobre
Ozono	•			
Clima	•			
Água			•	
Vapor				•
Ácidos diluídos			•	
Óleos à base de petróleo		•		

Tabela 2.2 – Resistência química dos elastómeros de AEM.

2.4.1.4 Aplicações

O balanço favorável das propriedades dos elastómeros de etileno-acrílico ganhou reconhecimento comercial, especialmente na indústria automóvel e no revestimento de cabos e fios. Aproximadamente 80% dos elastómeros de etileno-acrílico são usados em aplicações automóveis, sendo os tubos e mangueiras a finalidade mais comum. O recente aumento das temperaturas de operação dos automóveis faz do etileno-acrílico um sério candidato para as aplicações sob o capot. As aplicações incluem vedantes para óleo de transmissão, o-rings, luvas para as velas de ignição, amortecedores de torção e mangueiras para: óleo de transmissão, ar-condicionado, intercooler e turbo (Figura 2.8).

Por outro lado, podem ser utilizados a nível industrial em vedantes de tubos e de sistemas hidráulicos, amortecedores para máquinas em especial as rotativas de alta velocidade, e isolamento de fios condutores. O facto do polímero não conter halogéneos, associado às técnicas de composição únicas em termos de resistência à chama, fazem com que seja seleccionado para revestimento de cabos, chão e também em certos transportes militares.



(a)



(b)

Figura 2.8 – (a) Vedantes e juntas de vedação; (b) Mangueira de um intercooler.

2.4.2 Elastómero de fluorocarbono (FKM)

O elastómero de fluorocarbono (ou FKM) é muito utilizado, especialmente em aplicações onde é requerido o contacto prolongado com óleos de petróleo a uma temperatura elevada. Tais propriedades tornam-no particularmente útil na indústria automóvel, sobretudo na componente motora.

O FKM é particularmente resistente ao aumento de volume em meios com elevado nível aromático, como é o caso das gasolinas, que por questões ambientais são hoje aditivadas em detrimento do chumbo. A sua fraca tolerância a temperaturas baixas pode ser superada recorrendo a formulações especiais. Nestes, o conteúdo em flúor situa-se geralmente na casa dos 66% a 70%^[2].

Estes elastómeros são, por outro lado, extremamente resistentes ao amaciamento quando expostos a temperaturas elevadas por longos períodos de tempo. O sistema de cura utilizado na maioria dos FKM's é o bisfenol, por providenciar a melhor combinação, em termos de resistência à deformação residual por compressão aos ácidos e ao vapor. Podem também ser empregues sistemas de cura com diaminas e peróxidos. Os vulcanizados de fluorocarbono são também muito resistentes ao ozono e ao envelhecimento pela atmosfera.

Actualmente, está disponível uma grande variedade de elastómeros de fluorocarbono de diversos fabricantes. Os maiores produtores deste material são a 3M (Fluorel®), DuPont (Viton®), Ausimont (Tecnoflon®), Daikin (Dai-el®) e Asahi Glass (Aflas®).

2.4.2.1 Composição

As soluções para a polimerização destes elastómeros são bastante simples, incluindo reagentes como: água, solução tampão (para manter o pH estável), emulsionantes (estabilizadores da emulsão), iniciadores e reguladores do comprimento da cadeia. Na maioria dos casos, os emulsionantes do fluorocarbono (ex. perfluorooctanato amónico) são preferidos devido às suas extensas superfícies activas e compatibilidade com as partículas do fluoropolímero que estabilizam^[2].

Na maioria das situações são usados, como iniciadores, o persulfato de amónio ou o persulfato de potássio. Os reguladores de cadeia normalmente usados são: o metanol, a acetona, organossilanos e o dietil malonato.

Os fluoroelastómeros apresentam uma formulação relativamente simples. Devido à sua inerente estabilidade, não necessitam de estabilizadores, antioxidantes, absorvedores de UV, que estão normalmente associados a formulações de borrachas de hidrocarbonetos.

2.4.2.2 Produção

Os fluoroelastómeros são produzidos por polimerização em emulsão de radicais livres (fragmentos moleculares com um ou mais electrões desemparelhados, sendo bastante reactivos). Devido ao facto dos monómeros utilizados se encontrarem no estado gasoso em condições ambientais, a polimerização é conduzida sob pressão^[2].

No processo de manufactura é utilizado um reactor de alta pressão, tipicamente de 5 bar a 20 bar, no qual é introduzida a solução de polimerização. Seguidamente é aquecido e continuamente agitado até atingir a temperatura de operação. Quando ocorre uma queda de pressão, indicando o início da reacção de polimerização, o restante monómero é continuamente alimentado para o interior do reactor^[2]. A alimentação é interrompida quando a percentagem de látex atinge 20% a 40% de conteúdo sólido. Isto requer um tempo de reacção entre as três e as dez horas, dependendo do tipo de polímero que está a ser sintetizado. Após a polimerização o látex resultante é coagulado, utilizando uma solução de sais de alumínio ou magnésio, e o miolo polimérico resultante é lavado com água para eliminar os resíduos. Posteriormente, o mesmo miolo é seco num forno e empacotado em forma de laminados ou, em alternativa, incorporado num sistema de cura^[2].

Os primeiros sistemas de cura utilizados baseavam-se em diaminas (ex. hexametileno diamina). No entanto, problemas associados a este tipo de cura como: ocorrência de cura prematura, baixa estabilidade, pouca resistência ao vapor e ao *compression set* e ainda dificuldade de processamento, resultaram no desenvolvimento de novos sistemas de cura constituídos por bisfenol^[2].

2.4.2.3 Propriedades

Quando completamente curados, os elastómeros de fluorocarbono exibem tipicamente tensões de rotura de 10-20 MPa e extensões na ordem dos 100-500%. Os intervalos de dureza variam entre os 50 e 90 Shore A, dependendo do tipo e quantidade de extensor utilizado.

Os elastómeros de fluorocarbono exibem uma excelente estabilidade térmica. Usualmente, demonstram uma deformação residual à compressão de 10-30% após um período de 70 horas a 200 °C.

A resistência química varia muito com o tipo de fluoroelastómero utilizado. Por exemplo, copolímeros que contenham hexafluoropropileno e fluoreto de vinilideno não conseguem suportar ambientes cáusticos, mas mostram boa resistência perante álcoois e solventes aromáticos. Em contrapartida, os copolímeros de tetrafluoretileno e propileno mostram excelente resistência em meios com um pH elevado, contudo não são recomendados para solventes aromáticos.

	Excelente	Bom	Razoável	Pobre
Tensão de rotura		•		
Deformação			•	
Flexibilidade a baixa temperatura				•
Deformação residual	•			
Resistência ao corte			•	
Resistência à abrasão		•		
Resistência à chama	•			
Permeabilidade ao gás	•			

Tabela 2.3 – Propriedades físicas dos elastómeros FKM.

	Excelente	Bom	Razoável	Pobre
Ozono	•			
Clima	•			
Água	•			
Vapor			•	
Ácidos diluídos	•			
Acetonas			•	
Solventes	•			
Óleos à base de petróleo	•			

Tabela 2.4 – Resistência química dos elastómeros de FKM.

2.4.2.4 Aplicações

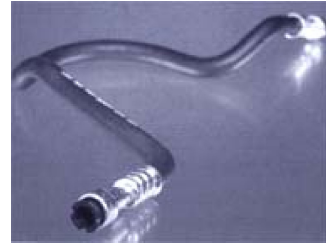
Os fluoroelastómeros são usados numa variedade de aplicações que requerem uma elevada fiabilidade. Como exemplos temos: o-rings, vedantes, mangueiras, tubos, diafragmas, conectores eléctricos (Figura 2.9).



(a)



(b)



(c)

Figura 2.9 – (a) Vedante do tampão da gasolina; (b) Junta de vedação da cabeça de um motor; (c) Mangueira de combustível.