SUBSTITUIÇÃO DE METAL POR POLÍMEROS DE ALTO DESEMPENHO EM COMPONENTES DE SISTEMAS HIDRÁULICOS

Felipe A. Medeiros
Engenheiro de Materiais – Solvay do Brasil Ltda.

Endereço: Rua Urussuí, 300 – Itaim Bibi – São Paulo – SP
Telefone: +55 (11) 3708 5000
Email: Felipe.medeiros@solvay.com

RESUMO

A conversão de peças metálicas por materiais poliméricos tem ocorrido em inúmeros mercados por motivos diversos, que incluem melhoria de desempenho, principalmente contra corrosão, redução de peso, redução de custo de produção, substituição de sistemas montados por peças únicas de geometria complexa, etc. Os metais, no entanto, apresentam elevada resistência térmica e mecânica, o que impede muitas vezes a substituição por um termoplástico convencional. Os polímeros de alto desempenho pertencem a uma classe diferenciada de materiais, que normalmente associa elevada resistência mecânica, térmica e química, preenchendo parte da lacuna de desempenho entre metais e polímeros de engenharia atuais.
Os sistemas hidráulicos prediais e de infra-estrutura, apresentam inúmeros componentes, como válvulas, medidores de fluxo e volumétricos, registros, etc. Tais peças trabalham durante milhares de horas sob pressão e em contato com água ou esgoto com composições diversas. A resistência química e mecânica e estabilidade dimensional devem ser consideradas para a seleção dos materiais a serem empregados. Os polímeros de alto desempenho surgem como opção para tais aplicações.
Palavras Chave: Polímeros de alto desempenho; Sistemas Hidráulicos; PSU, PPSU, PPA, PAMXD6

1. INTRODUÇÃO

1.1 Sistemas Hidráulicos

A distribuição de água e coleta de esgoto são pontos chave para o desenvolvimento, saúde e bem estar humano. As linhas de infra-estrutura para adução e distribuição de água e coleta de esgoto são foco de constantes investimentos dos governos, comprovando tal teoria. O abastecimento de água é crítico não apenas para a vida doméstica, mas para a produção industrial em geral, nos processos químicos e petroquímicos, metalúrgicos, etc.
As linhas de água e esgoto contam com inúmeros componentes, principalmente válvulas e registros, medidores de fluxo, sensores de nível, bombas, etc. Todos projetados para longa vida útil e elevada confiabilidade.
Os principais materiais para as tubulações de água potável e esgoto hoje são o policloreto de vinila – PVC (com ou sem reforço compósito, de poliéster e fibra de vidro - PIRFV), o polietileno de alta densidade – PEAD, o aço e o concreto. As válvulas e dispositivos citados têm peças plásticas e metálicas normalmente montadas em carcaças de latão, bronze ou ferro fundido.

1.2 Polímeros

Os polímeros são relativamente novos se comparados aos materiais conhecidos. O metal e a cerâmica vem sendo usados há milhares de anos pelo homem. Desde a pré-história, ferramentas, utensílios e dispositivos eram fabricados por técnicas precárias, a partir de madeira metais e cerâmica.
Os plásticos foram desenvolvidos no final do século XIX, trabalhos iniciais com reações entre dois componentes levaram à produção de resinas termofixas e lacas para diversos usos. O aprimoramento da química orgânica e processamento químico no início do século XX resultaram no desenvolvimento de monômeros e processos de polimerização, incluindo os trabalhos de Kekulé, Staudinger, Ziegler, Natta, etc., que mais tarde possibilitariam a produção dos polímeros termoplásticos atuais. Hoje o mercado de termoplásticos pode ser resumido em quatro principais classes, de acordo com suas propriedades, potencial de aplicação, disponibilidade e preço: polímeros commodities, polímeros de engenharia, polímeros de alto desempenho e ultra-polímeros.

A Figura 1 representa essa divisão. As propriedades físicas e químicas, de modo geral, sobem à medida que se sobe na pirâmide, a largura da mesma, na altura relativa ao material, representa a disponibilidade (ou volume global produzido) desse polímero.
Em resumo, quanto mais alto um polímero está na pirâmide, mais elevadas são suas propriedades, mais altos os requisitos de aplicação, maior é o preço e menor o número de fabricantes no mundo.
Os elastômeros (borrachas) apresentam divisão similar, mas não serão abordados nesse texto, já que não fazem parte do escopo do trabalho.

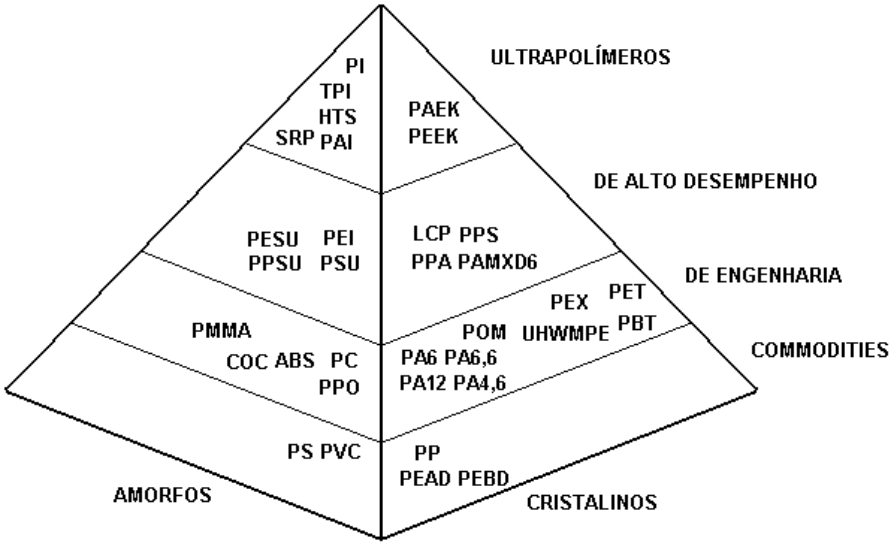


Figura 1: Classes de polímeros disponíveis comercialmente.

1.3 Polímeros Commodities

Os polímeros commodities estão disponíveis em praticamente todos os países industrializados, têm seu preço definido e referenciado internacionalmente. São inúmeros os fabricantes e os volumes de produção globais anuais superam milhões de toneladas. Nessa classe estão o polietileno de alta e baixa densidades – PEAD e PEBD, o policloreto de vinila – PVC, o poliestireno – PS, polipropileno – PP, etc.
Esses materiais são aplicados em embalagens, tubos para água e esgoto, peças de acabamento e componentes para automóveis, etc.

1.4 Polímeros de engenharia

Nessa categoria enquadram-se os materiais com desempenho diferenciado dos polímeros commodities. As temperaturas de trabalho e os requisitos de aplicação são mais elevados. Alguns polímeros commodities modificados com aditivos especiais, cargas minerais e de reforço podem ser considerados materiais de engenharia.
As aplicações dessa classe são normalmente mais críticas, incluindo peças para o compartimento do motor em automóveis, dispositivos e equipamentos elétricos, peças e carcaças para máquinas e ferramentas, etc. A temperatura de aplicação em uso contínuo pode facilmente atingir 120ºC e resistência mecânica em tração em torno de 200MPa em temperatura ambiente.
Aqui se destacam poliamidas alifáticas (que não contém anéis aromáticos na cadeia principal) – PA's, policarbonato – PC, poliacetal – POM, polióxido de fenileno – PPO, polietileno tereftalato – PET, polibutileno tereftalato – PBT, copolímeros de acrinonitrila, butadieno e estireno – ABS, policloreto de vinilideno – PVDC, blendas PVC/ABS, PP reforçado, etc.

1.5 Polímeros de alto desempenho

Esses materiais são aplicados sob requisitos não atendidos pelos polímeros de engenharia. As temperaturas de uso contínuo podem ser criogênicas, ou chegar a 200° C em alguns casos, em ambientes agressivos quimicamente, onde se exigem elevadas resistência a oxidação e ataque químico. A resistência mecânica em tração atinge limites próximos a 400MPa em temperatura ambiente, com materiais reforçados com fibra de vidro e/ou cargas minerais em até 60%.
As aplicações incluem usos especiais no compartimento do motor de automóveis, equipamentos e dispositivos elétricos, instrumentos e bandejas médicas esterilizáveis, tubos e conexões para usos especiais em temperatura elevada, proteções para metais em ambientes agressivos, fotocélulas, etc.
Os principais materiais nessa classe são as poliamidas semi-aromáticas como poliftalamida – PPA e poliarilamida – PAMXD6, polissulfonas – PSU, PESU e PPSU, polímero de cristal líquido – LCP, polissulfeto de fenileno – PPS, polímeros fluorados – PVDF, PFA, ECTFE, PTFE, etc.

1.6 Ultrapolímeros

Os ultrapolímeros são uma extensão do já seleto grupo dos polímeros de alto desempenho. Reúnem propriedades e preço muito elevados e combinações inigualáveis pelos polímeros, de resistência química, térmica e mecânica. Os usos são bastante específicos e envolvem aplicações com alto nível de exigência, atendendo aos mercados aeroespacial, militar, elétrico, médico, etc. As aplicações incluem mancais, arruelas de encosto, anéis de pistão e vedações dinâmicas com elevada resistência a abrasão, engrenagens e polias para transmissões mecânicas, plugues e suportes de contato para dispositivos elétricos em alta temperatura, etc.
Os materiais nesse grupo são basicamente a polieteretercetona – PEEK, poliariletercetona – PAEK, poliamidaimida – PAI, sulfonas de alta temperatura – HTS, polifenileno auto-reforçado – SRP e as poliimidas termoplásticas TPI.

2. SUBSTITUIÇÃO DE METAL POR POLÍMERO

Os trabalhos de conversão de peças metálicas, normalmente fundidas ou forjadas e usinadas já têm longo caminho traçado pelos fabricantes de polímeros. Muitas vezes um dispositivo, formado por algumas peças metálicas fundidas e usinadas é montado antes de ser instalado num sistema principal. Esse dispositivo em alguns casos pode ser injetado – um dos processos convencionais de conformação de termoplásticos – numa peça única, de geometria complexa. Essa conversão reduz o tempo e custo de produção.
Muitas vezes, os requisitos da peça a ser fabricada incluem elevada resistência mecânica e térmica, não atendidos pelos materiais poliméricos de engenharia. Nesse momento faz-se necessário recorrer aos grupos superiores da pirâmide na Figura 1, polímeros de alto desempenho ou ultra-polímeros.

3. OBJETIVO E ROTEIRO ANALÍTICO

Esse trabalho discorrerá brevemente sobre dois grupos de polímeros de alto desempenho, como opções para a conversão metal – polímero em componentes de sistemas hidráulicos para água clorada fria e quente, assim como esgoto.
As polissulfonas (PSU e PPSU) e poliamidas semi-aromáticas (PPA e PAMXD6) são dois grupos distintos de materiais que alinham custo competitivo, elevadas propriedades mecânicas, como rigidez, tenacidade e resistência a tração, com a resistência química necessária para o trabalho junto à água clorada, óleos e graxas (substâncias químicas apolares, assim como nos efluentes domésticos), assim como temperaturas de uso contínuo tão elevadas quanto 190º C (para o PPSU).

4. INFORMAÇÕES TÉCNICAS

4.1 Polissulfonas

A polisulfona – PSU e polifenilsulfona – PPSU são materiais amorfos, transparentes, com temperaturas de uso contínuo de até 160º C e 190º C respectivamente (dependendo dos requisitos mecânicos e agressividade química do ambiente). São rígidos, pouco higroscópicos e bastante estáveis dimensionalmente.

A PPSU destaca-se por ser muito tenaz, com resistência ao impacto superior a da maioria dos polímeros, sendo comparado ao PC, que é componente junto ao vidro, de blindagens e painéis balísticos transparentes.
A experiência no mercado de "Plumbing" (tubos e conexões para água) norte americano e europeu com esses materiais já tem mais de 20 anos, com aplicações que envolvem principalmente conexões, carcaças de válvulas e manifolds, principalmente para linhas de água quente, assim como componentes de boilers e aquecedores residenciais de água.

4.2 Poliamidas Semi-Aromáticas

A poliftalamida – PPA e poliarilamida – PAMXD6 são polímeros semicristalinos extremamente rígidos e tenazes, normalmente usados reforçados com fibra de vidro. As cargas de reforço podem chegar a 60% sem que isso comprometa a processabilidade do material e qualidade da superfície da peça acabada.
Apesar de serem polímeros da família das poliamidas, a absorção de umidade é bastante lenta e se estabiliza abaixo do que seria esperado para PA6 ou PA6,6, por exemplo. Essa baixa absorção torna a estabilidade dimensional suficiente para aplicações em linhas domésticas de água quente e fria.
O uso desses materiais, particularmente a PPA, é consagrado em aplicações "sob o capô" para a automobilística, em bombas de água, carcaças do sistema de refrigeração/aquecimento, bombas de combustível, plugues e conectores, etc.

Propriedade		**PPA GF45**	**PAMXD6**	**PSU**	**PPSU**	**PPSU GF30**
Resistência a Tração	MPa	228	255	70	70	120
Deformação na Ruptura	%	2,1	1,9	50	60	2,4
Módulo Elástico em Tração	GPa	17,2	20	2,5	2,4	9,17
Densidade	g/cm³	1,59	1,64	1,24	1,29	1,53
HDT (1,82 MPa)	º C	281	230	174	207	210
Res. Impacto Izod Entalhe.	J/m	110	110	69	694	75

Figura 2: Valores de interesse para polímeros de alto desempenho

A Figura 2 mostra as propriedades mecânicas dos materiais, com e sem reforço no caso do PPSU. Os módulos elásticos bastante elevados resultam em peças rígidas e com baixa deformação, na solicitação de serviço. Os limites de resistência a tração, principalmente para as poliamidas PPA e PAMXD6 são muito elevados e comparáveis aos ultra-polímeros e compósitos termofixos. Da mesma forma os pontos de amolecimento, acima dos 220º C.
As temperaturas de deflexão térmica são mais elevadas para as poliamidas, mas não refletem a temperatura máxima de serviço, normalmente mais elevadas para as polissulfonas.
A resistência ao impacto de todos os materiais mostrados é bastante elevada, incomparável para PPSU que tem 694 J/m no ensaio Izod entalhado. Esse valor é um dos maiores disponíveis para materiais sem reforço disponíveis no mercado.

4.3 Metais em Sistemas Hidráulicos

O latão é uma liga cobre zinco, onde as proporções entre os elementos podem variar significativamente. É considerado um metal de baixa dureza, aplicado freqüentemente em buchas, anéis e selos dinâmicos para evitar o desgaste das peças em aço (a peça desgastada em latão é substituída, mantendo o sistema operativo. A fundição/forja é simples e gera peças com bom acabamento.
Conexões para linhas de água quente domésticas são fundidas e forjadas facilmente, disponíveis praticamente em todo o mundo, alternativa às peças em PSU e PPSU. Relógios de água no Brasil são quase sempre fabricados em latão, essa aplicação ainda encontra alguma concorrência com o bronze (liga cobre e estanho), especialmente hemisfério norte. A presença de Chumbo nas ligas para conexões é controlada e há limites rigorosos para se evitar a contaminação da água transportada.
O ferro fundido é uma mistura de ferro e carbono, com o segundo ocupando teores entre 2 e 6%. O ferro fundido apresenta quatro tipos principais: branco, cinzento, nodular e dúctil, de acordo com a

microestrutura predominante. O material é moldado facilmente por fundição e largamente aplicado em conexões para tubulações de infra-estrutura. No Brasil é comum o emprego dessas peças nas linhas de adução de água de PVC-M tipo "Defofo". Carcaças de medidores e válvulas para linhas de grande diâmetro com freqüência são feitas em ferro fundido.
Ambos os materiais deste item tem preços que variam bastante, dependendo do mercado internacional, estes que normalmente são mais baixos do que os preços das resinas termoplásticas consideradas nos itens 4.2 e 4.3.
Os polímeros de alto-desempenho somente passam a ser competitivos quando se relaciona custo da matéria prima e densidade, assim como custo de produção da peça. De modo geral, os custos de fundição/forja e usinagem/acabamento são bastante superiores aos custos de injeção do termoplástico.
Comparativamente aos termoplásticos, os metais apresentam elevada estabilidade dimensional, resistência mecânica e resistência térmica. A densidade dos metais normalmente é mais alta que dos plásticos, mesmo reforçados (exceção em alguns casos ao magnésio – 1,7g/cm³). A oxidação dos metais é um ponto de preocupação, assim como a presença de incrustações químicas e o fenômeno da bio-corrosão, fatores que normalmente não são observados em peças plásticas.

4.4 Vida Útil

A vida útil e tensão de trabalho correspondente podem ser previstas através de ensaios de fadiga, fluência e da construção da curva de regressão em ensaio de pressão hidrostática interna de longa duração. As figuras 3 a 7 são exemplos. Os fabricantes das matérias primas normalmente disponibilizam tais dados, a fim de permitir a correta previsão das tensões de trabalho permitidas para cada condição.

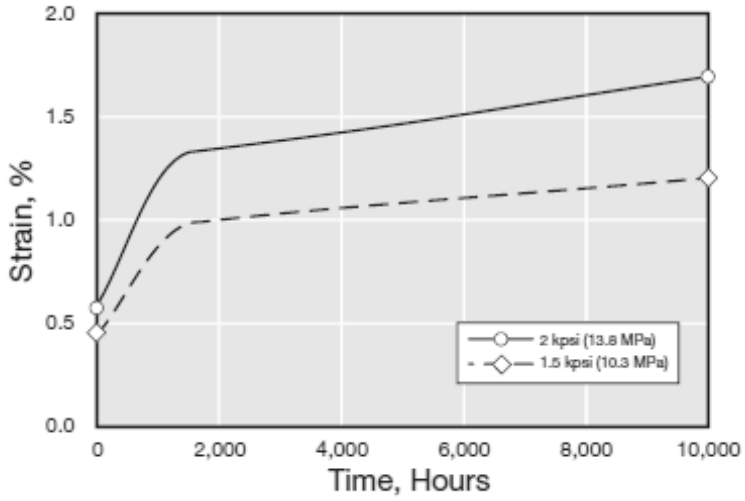


Figura 3: Ensaio de fluência de resina PSU a 60º C

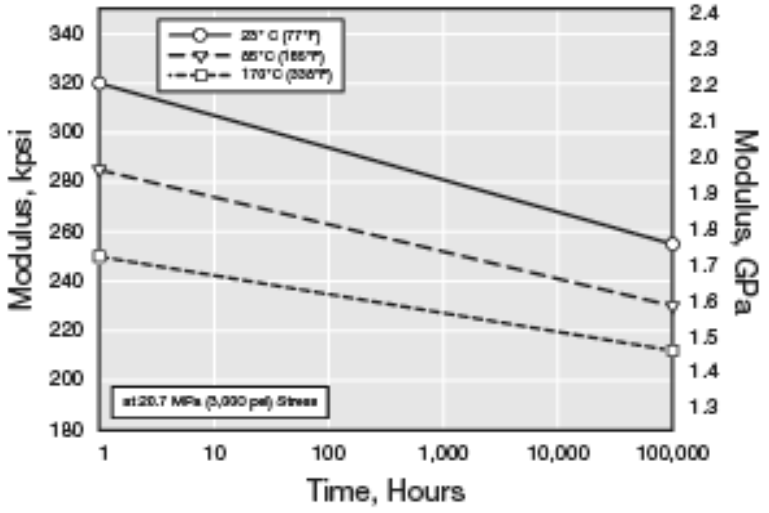


Figura 4: Módulo de fluência para PPSU

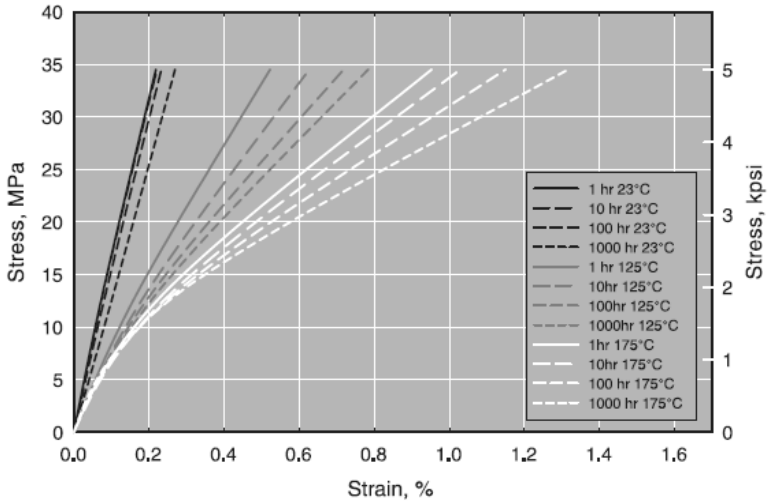


Figura 5: Curvas Isócronas, análise de fluência de PPA GF45

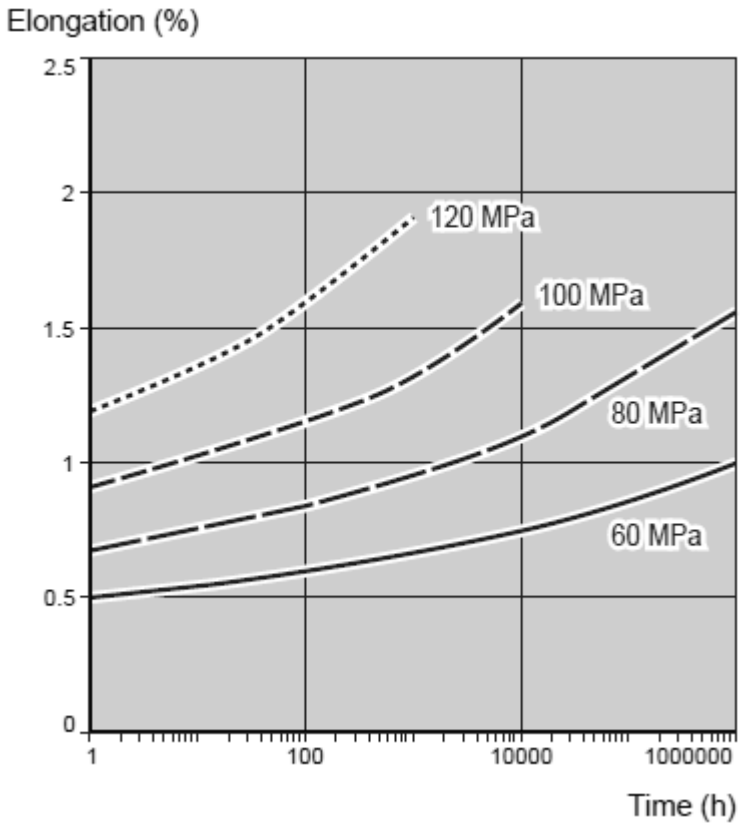


Figura 6: Curvas de fluência de PAMXD6 a 50º C

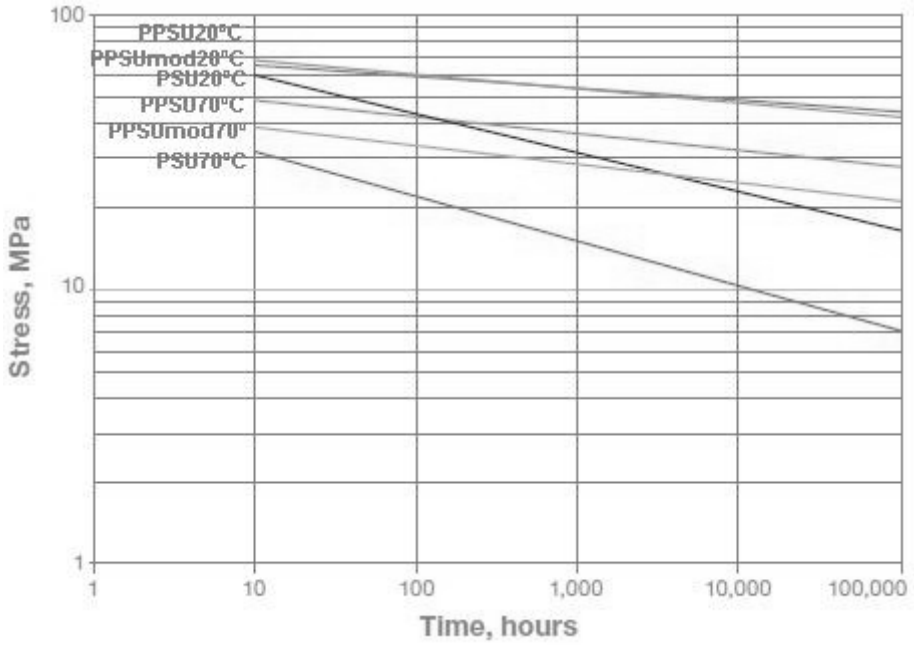


Figura 7: Curvas de regressão de PSU, PPSU e PPSU Modificado, a Tensão de trabalho pode ser extrapolada para 50 anos.

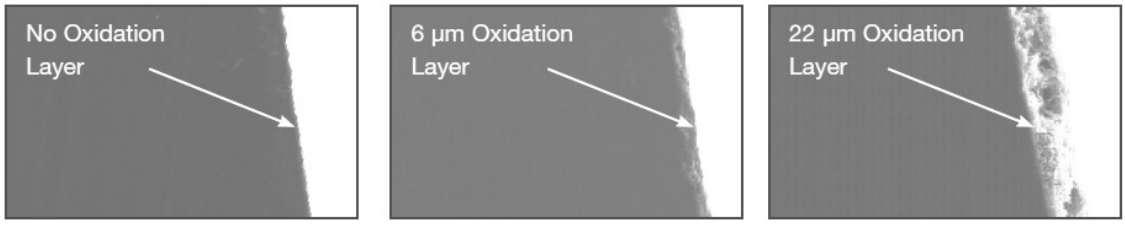


Figura 8: Ensaio de imersão em água quente clorada (PPSU, PPSU Modificado e PSU, respectivamente)

		Média (MPa)	
Temperatura (ºC)	Tempo (h)	PPSU	PSU
20	438000	36,6	13,4
70	438000	21,3	5,7

Figura 9: Dados após teste hidrostático de longa duração

A figura 8 mostra a seção de peças em polissulfonas após 1600h de imersão em água quente clorada. Pode-se ver apenas uma camada micrométrica atacada em duas amostras, o que revela excelente resistência química do material, suficiente à aplicação. Da mesma forma a figura 9 indica valores reais de teste de pressão hidrostática interna de longa duração. Os valores médios para água em 70º C são 5,7MPa e 21,3MPa para PSU e PPSU respectivamente. Não foram encontrados joelhos nessas faixas de temperatura (de acordo com ISO9080 e ISO1167).

5. APLICAÇÕES

Exemplos das inúmeras aplicações correntes de PSU, PPSU, PPA e PAMXD6 no mercado atual (Figuras 10 a 15) incluem válvulas e registros, componentes de torneiras, boilers e aquecedores, manifolds, conexões, etc.





Figuras 10, 11 e 12: Válvula de mistura, manifold e misturador de torneira





Figuras 13, 14 e 15: Conexões para linhas de água quente

6. CONCLUSÃO

A conversão de metal para polímero em sistemas hidráulicos é um importante caminho para redução de custos assegurando suficiente desempenho do sistema. As polissulfonas e poliamidas semi-aromáticas têm propriedades de resultam em excelente alternativa para aplicações em sistemas hidráulicos. Peças e componentes dos sistemas de água quente e fria domésticos podem ser feitos nesses materiais. Outras aplicações semelhantes para sistemas de infra-estrutura podem ser estudadas, com base no histórico de sucesso em aplicações no segmento na Europa e América do Norte.

7. BIBLIOGRAFIA

www.solvayplastics.com (em fevereiro 2010)

www.sabesp.com.br (fevereiro 2010)

MARTINS, Johnny De N.; FREIRE, Estevão; HEMADIPOUR, Henry. "Applications and market of PVC for piping industry". Polímeros: Ciência e Tecnologia, São Carlos, v. 19, n.1, 2009 .

MANRICH, S. "Processamento de Termoplásticos" – São Paulo – Artliber Editora – 2005.

CANEVAROLO Jr., S. V. "Ciência dos Polímeros" - São Paulo – Artliber Editora – 2001.

HARADA, J., WIEBECK, H. "Plásticos de Engenharia" " - São Paulo – Artliber Editora – 2005.

Udel Design Guide – Solvay Specialty Polymers – 2011

Radel, Veradel and Acudel Design Guide – Solvay Specialty Polymers – 2011

Ixef Design and Molding Guide – Solvay Specialty Polymers – 2007

Amodel Design Guide – Solvay Specialty Polyemers – 2009