

Resistência dos Materiais SAF™ a Produtos Químicos Automotivos

Os resultados estão incluídos neste white paper.

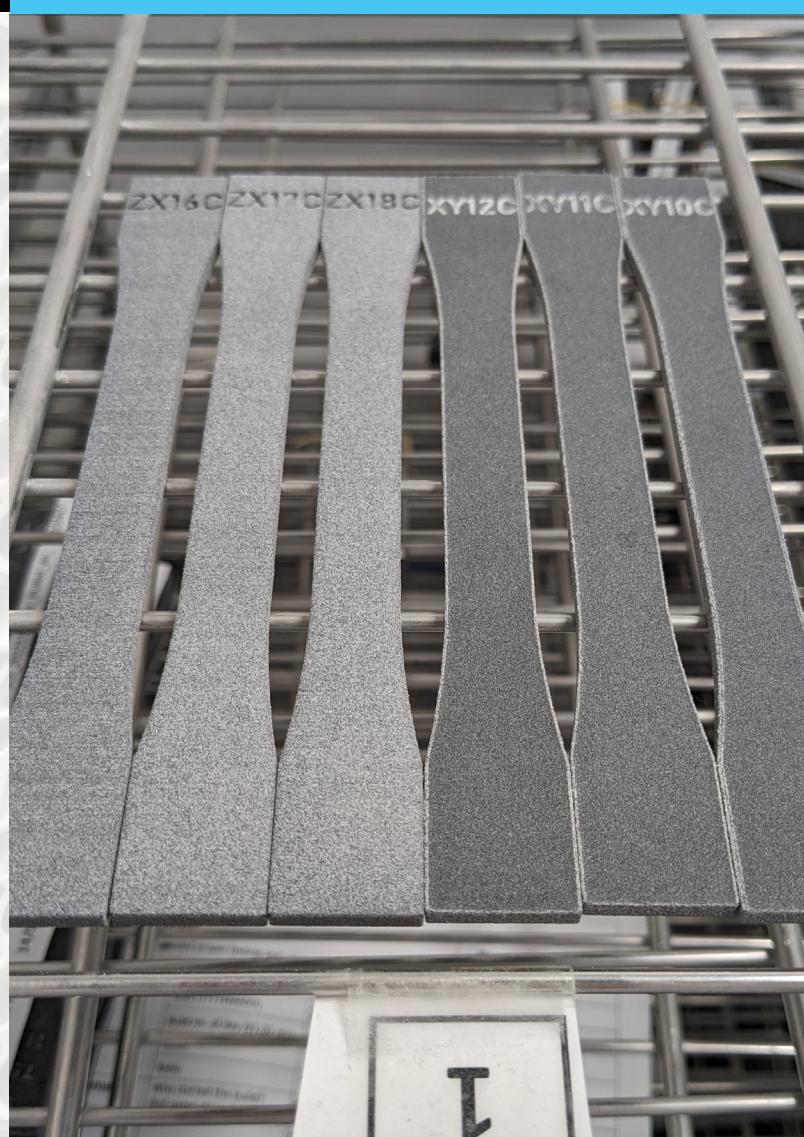


Introdução

Este documento tem como objetivo fornecer aos clientes uma análise do desempenho do PA11 de alto rendimento, SAF PA12 e SAF PP da Stratasys® sob exposição a produtos químicos automotivos conhecidos.

Os reagentes testados foram:

- Ácido de bateria
- Anticongelante
- Óleo de motor (sintético)
- Graxa de silicone
- Graxa à base de petróleo
- Líquido de limpeza de para-brisa
- Água destilada
- Gasolina
- Diesel





Metodologia

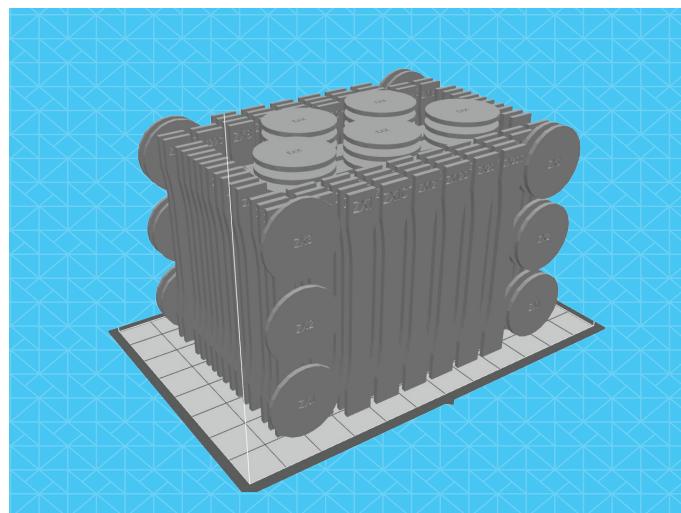
O experimento foi conduzido de acordo com a norma ASTM D543, que define uma prática padrão de avaliação da resistência de plásticos quando em contato com reagentes químicos.

Para a criação das amostras, foram utilizadas as impressoras 3D H350™ SAF™ da Stratasys, com testes realizados nas posições de impressão vertical (ZX) e horizontal (XY). Os dois tipos de amostras utilizados no teste foram:

- Barras de tração ASTM D638 Tipo 1, para avaliação de alterações nas propriedades mecânicas
- Discos de 50,80 mm x 3,175 mm, para avaliação de alterações dimensionais e de peso



Figura 1. Layout de amostras de teste químico preparado com o software GrabCAD® Print™ para impressão na H350.



Para cada experimento, todas as amostras de prova foram pré-condicionadas a 23°C e 50% de umidade relativa por um período mínimo de 40 horas antes do contato com o reagente. As amostras de controle permaneceram nos racks de pré-condicionamento durante todo o experimento (Figura 2), já as amostras de teste foram submersas em um banho de reagente de 4 litros por 168 horas (1 semana).

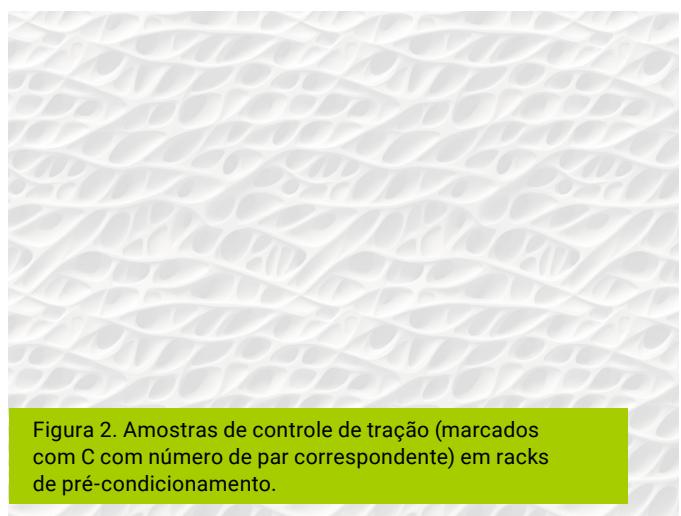
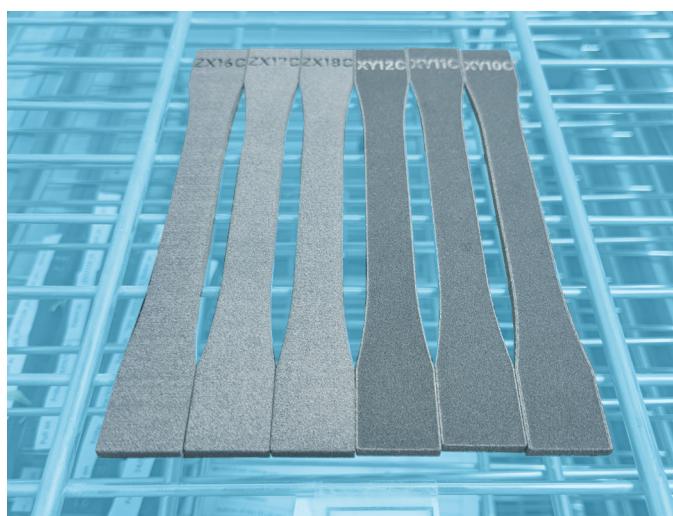


Figura 2. Amostras de controle de tração (marcados com C com número de par correspondente) em racks de pré-condicionamento.



As estruturas foram confeccionadas com aço inoxidável e fio de nicromo a fim de manter as amostras no lugar sem tocar nas paredes do recipiente ou uns nos outros durante a imersão no reagente (Figura 3).

Uma barra de agitação magnética também foi colocada dentro do recipiente antes da vedação do experimento. Foi utilizada para agitar o reagente por 30 minutos em seis intervalos de 24 horas antes da retirada das peças em 168 horas. Uma placa de agitação magnética temporizada digitalmente (Figura 4) garantiu o mesmo tempo de agitação em todos os experimentos.



Figura 3. Peças de teste mantidas em estruturas de aço enquanto imersas no reagente.



Figura 4. Recipiente de experimento vedado sobre a placa de agitação magnética temporizada digitalmente.

O método descrito anteriormente seria impraticável para graxa de silicone e graxa à base de petróleo. Em vez disso, optou-se por um revestimento de spray espesso de reagente no início de cada teste, seguido de uma reaplicação fina a cada 24 horas. As peças passaram por uma inspeção visual para garantir uma cobertura uniforme em cada aplicação.

Amostra de Tração

Os testes de tração foram realizados em um dispositivo universal de ensaio Tinius Olsen 10ST (Figura 5), de acordo com a norma ASTM D638. Esses testes foram realizados em um intervalo de 30 minutos após a retirada do banho reagente.



Figura 5. Aparelhos de teste de tração utilizados.

Foram testadas 12 amostras por reagente. Consistiu-se de seis peças imersas em reagente, enquanto seis peças foram mantidas da mesma montagem para fornecer valores de controle para o teste. As peças de controle foram impressas adjacentes às respectivas peças de teste.

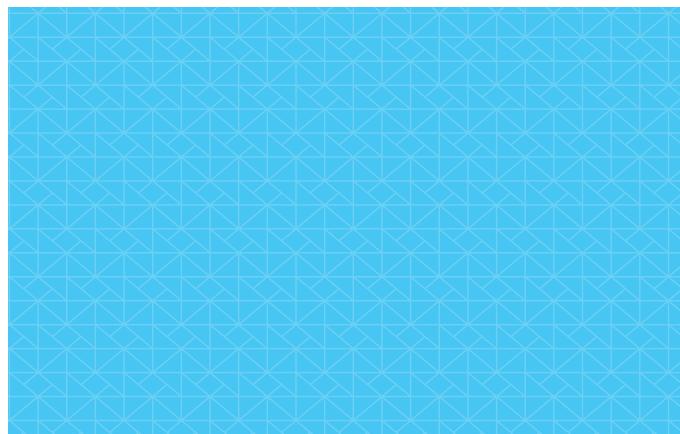


Dados de Peso e Dimensão

Os testes de peso e dimensão compararam os valores pré e pós-imersão das amostras em forma de disco (Figura 6). Para aferir os pesos, foi utilizada uma balança analítica A&D HR-100AZ. Os valores de espessura e diâmetro foram medidos manualmente usando um micrômetro e paquímetro digital, respectivamente. Foram testadas seis peças de peso e dimensão por reagente.



Figura 6. Amostras de peso e dimensão do PA12 após imersão em ácido de bateria.

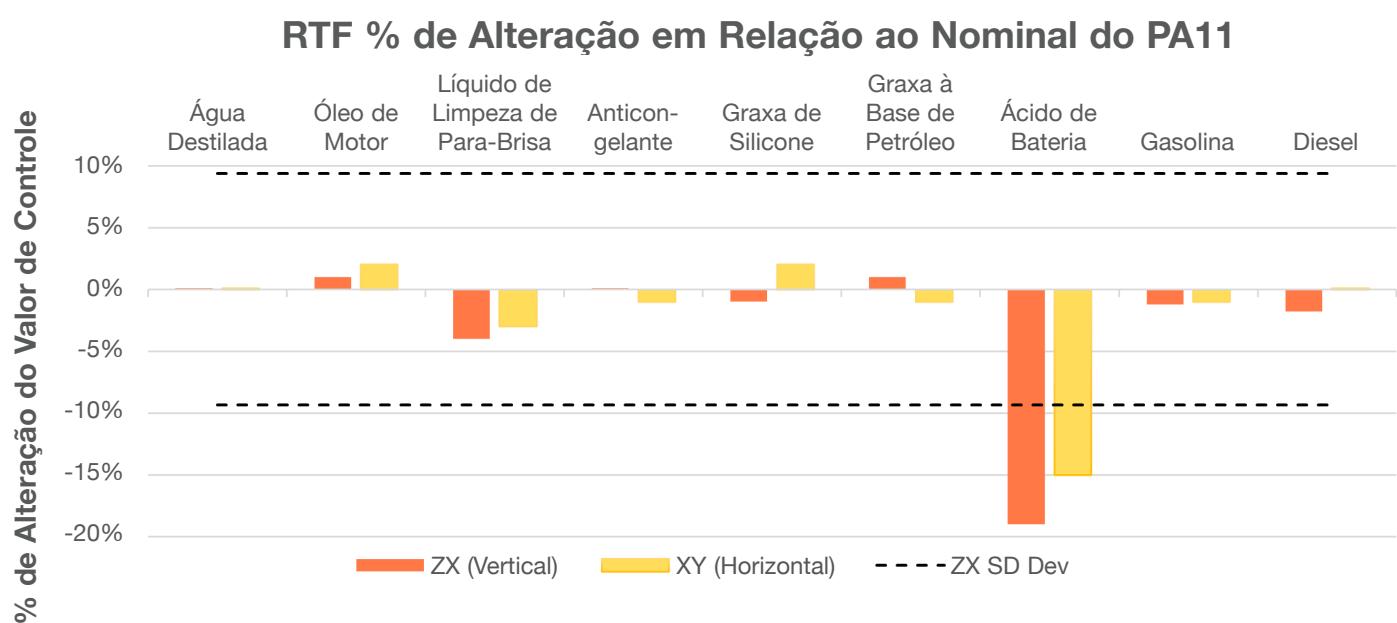


Todos os discos de peso e dimensões foram mantidos por mais 168 horas em racks de pré-condicionamento após a retirada do reagente. Em seguida, foram pesados novamente para investigar como as peças secam após o contato com tais produtos químicos.

Gráficos de % de Alteração por Propriedade

Resultados do PA11

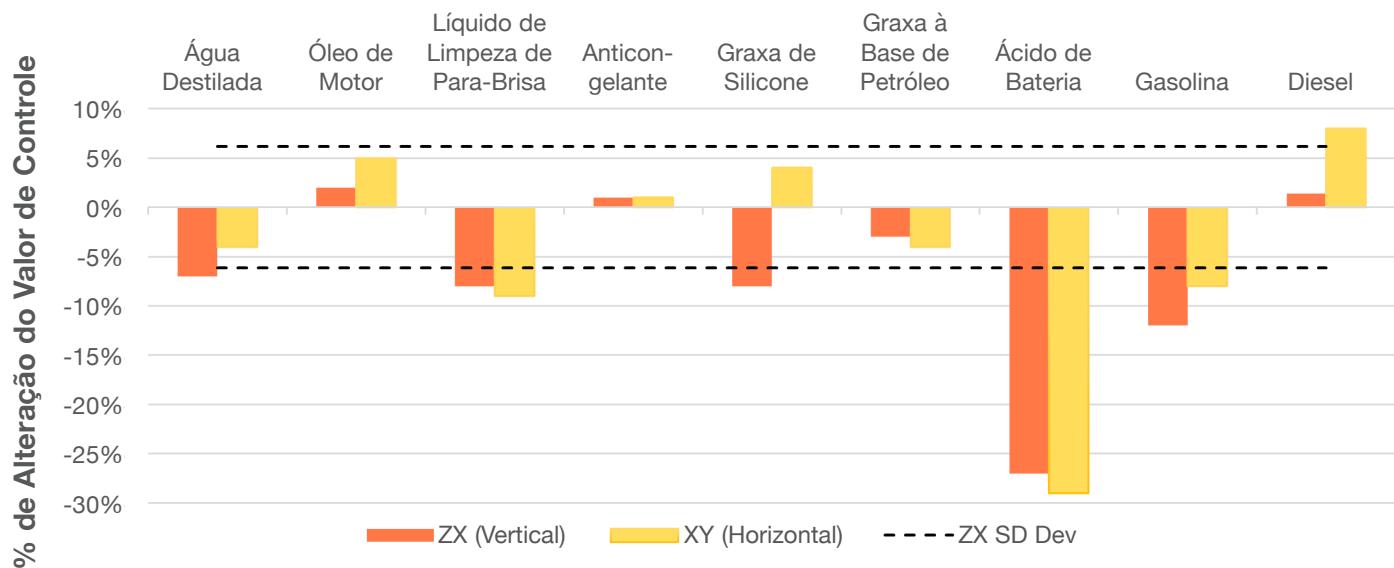
Como sendo o material preferido da Stratasys, os valores de desvio padrão estão disponíveis na nossa Ficha de especificações do PA11 de alto rendimento. São indicados pelas linhas tracejadas pretas.



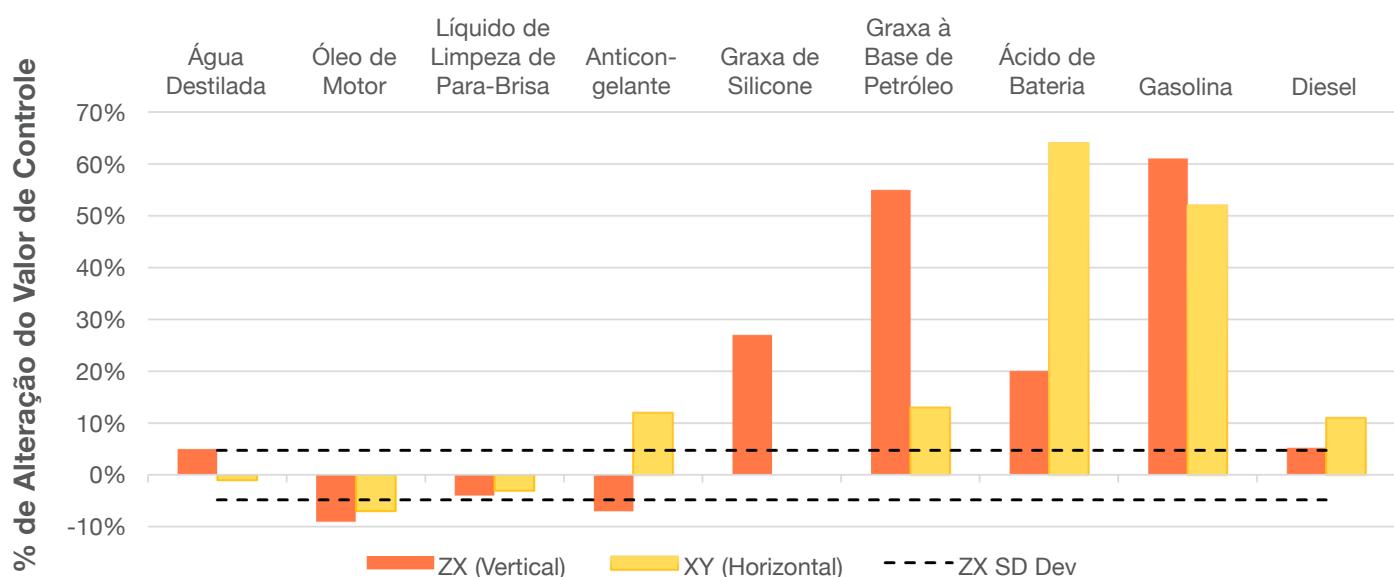


Resultados do PA11 (continuação)

% de Alteração em Relação ao Nominal do Módulo de Young do PA11



Alongamento na Ruptura % de Alteração do Nominal do PA11



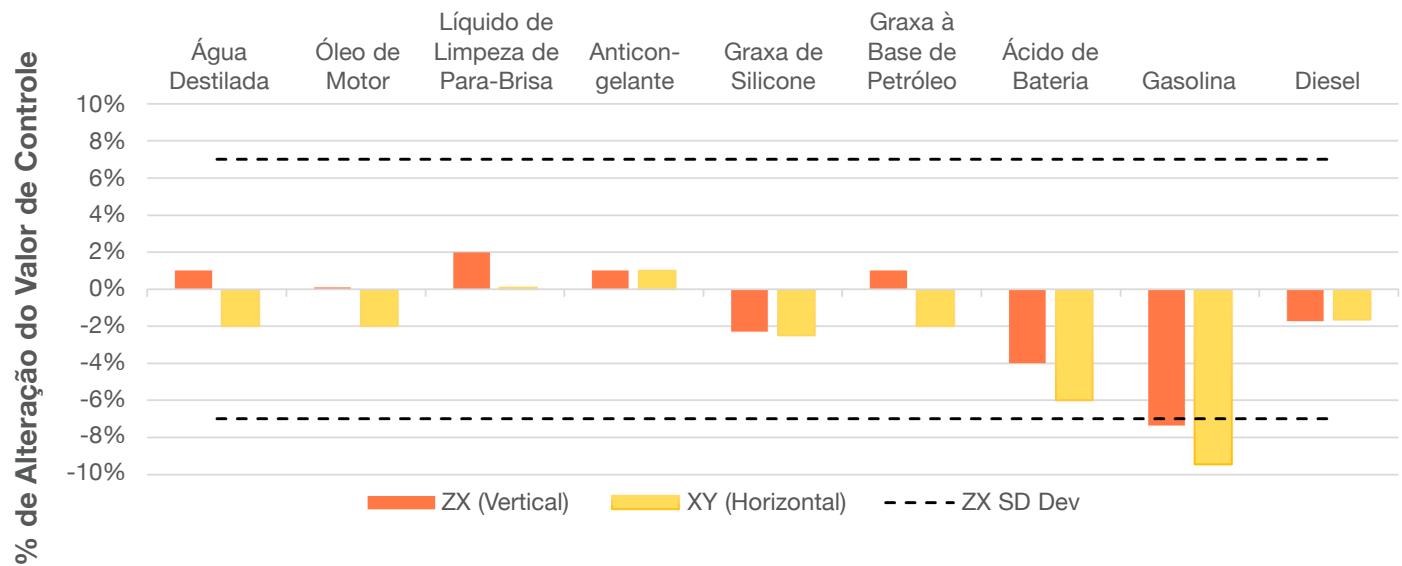


Gráficos de % de Alteração por Propriedade

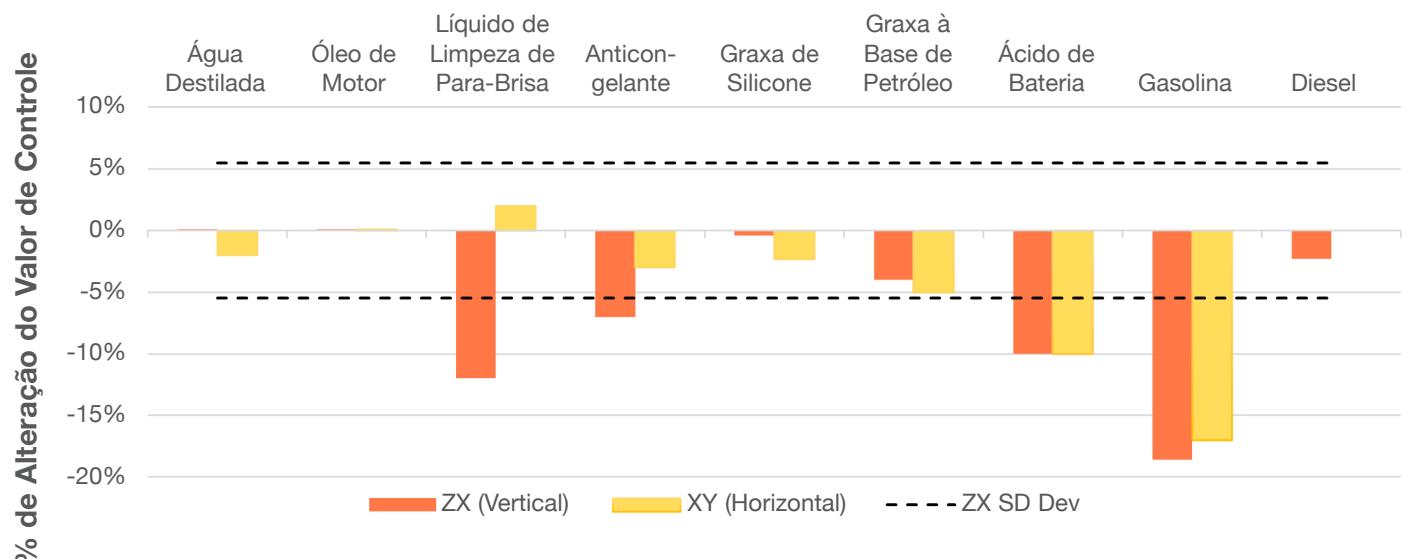
Resultados do PA12

Os valores de desvio padrão são representados nos gráficos por linhas tracejadas pretas.

RTF % de Alteração em Relação ao Nominal do PA12



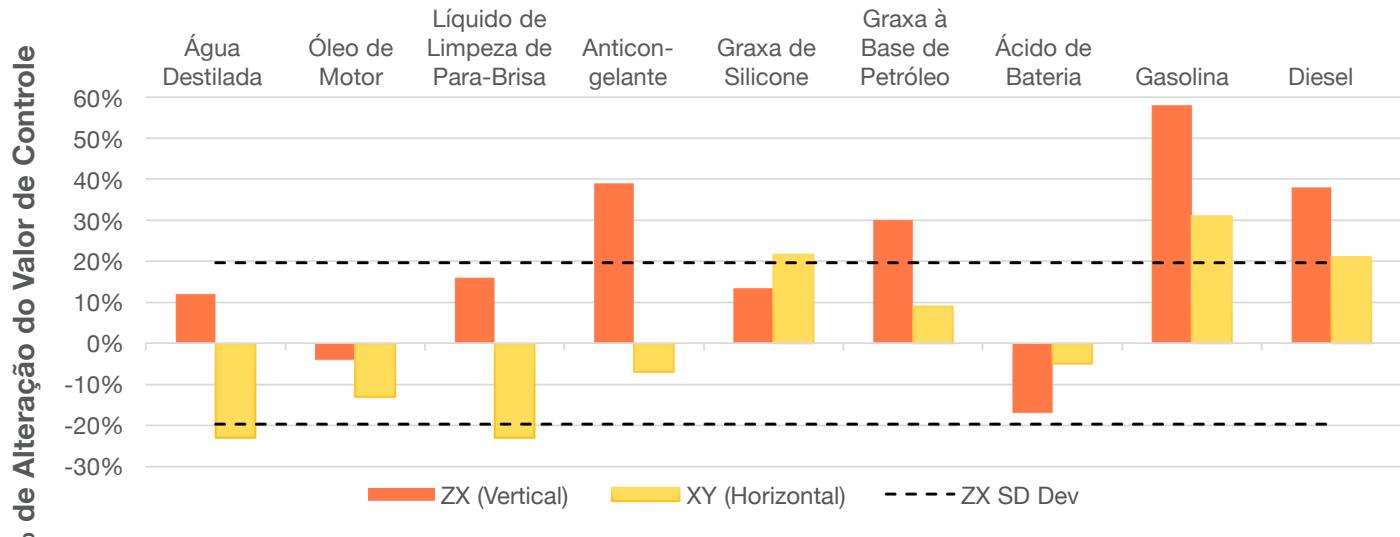
% de Alteração em Relação ao Nominal do Módulo de Young do PA12





Resultados do PA12 (continuação)

Alongamento na Ruptura % de Alteração do Nominal do PA12



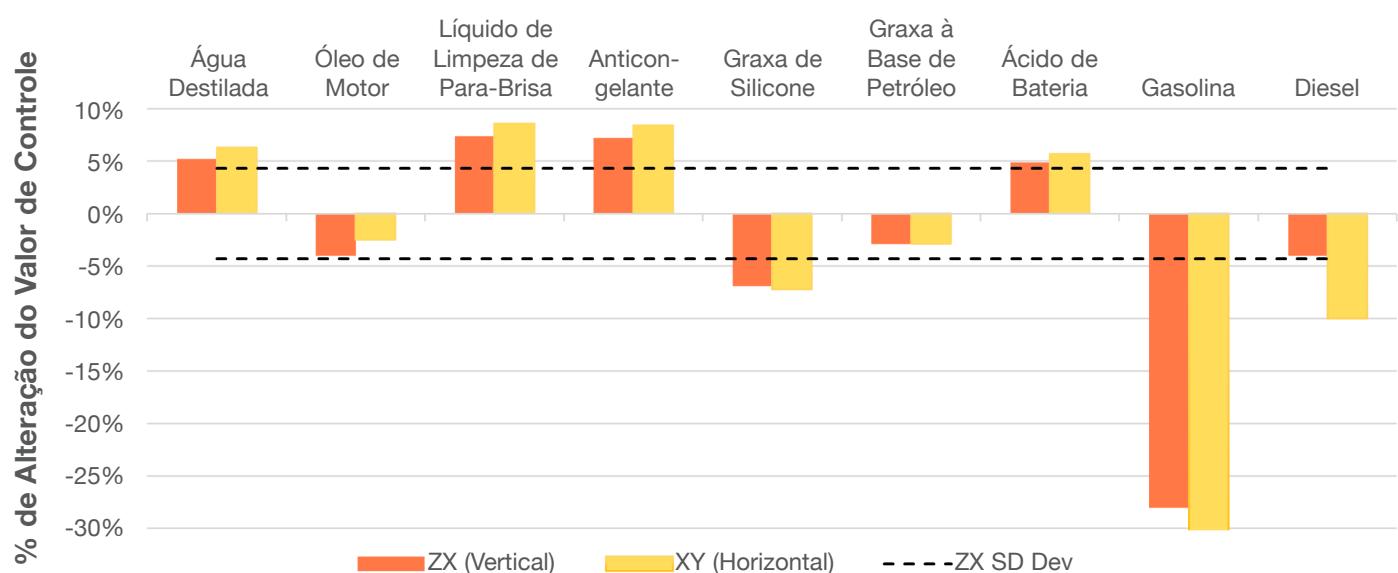


Gráficos de % de Alteração por Propriedade

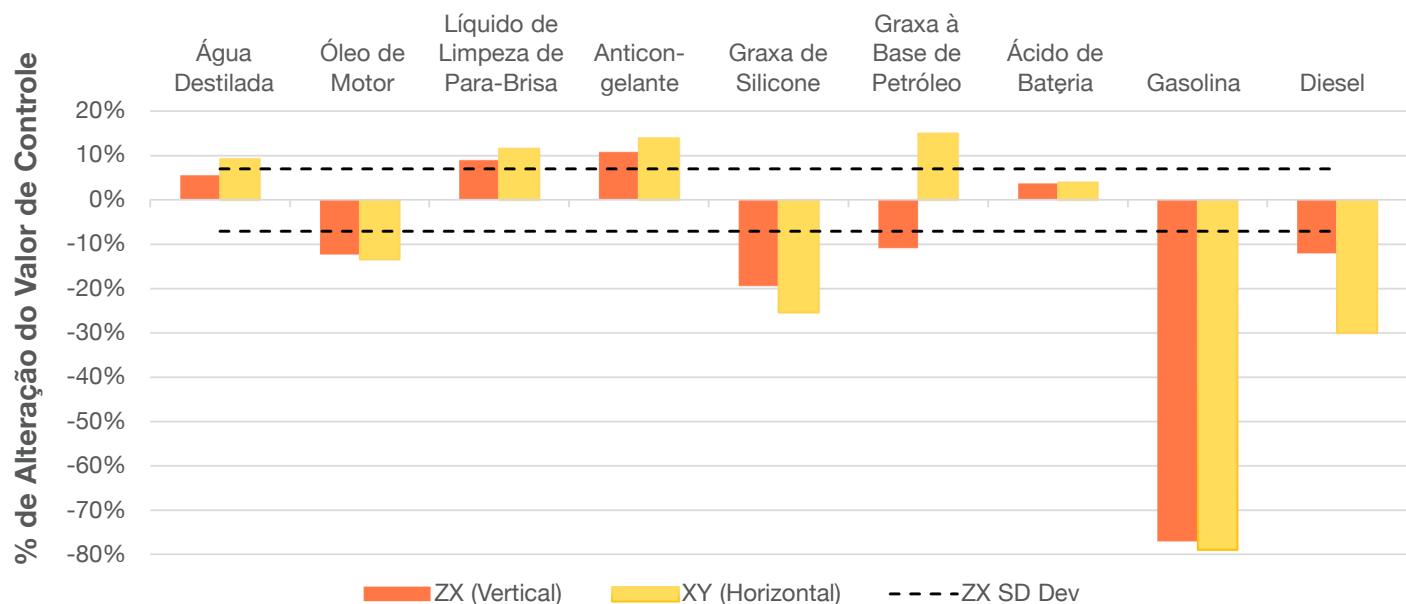
Resultados do PP

Como sendo o material preferido da Stratasys, os valores de desvio padrão estão disponíveis na nossa Ficha de especificações do SAF PP. São indicados pelas linhas tracejadas pretas.

RTF % de Alteração em Relação ao Nominal do PP



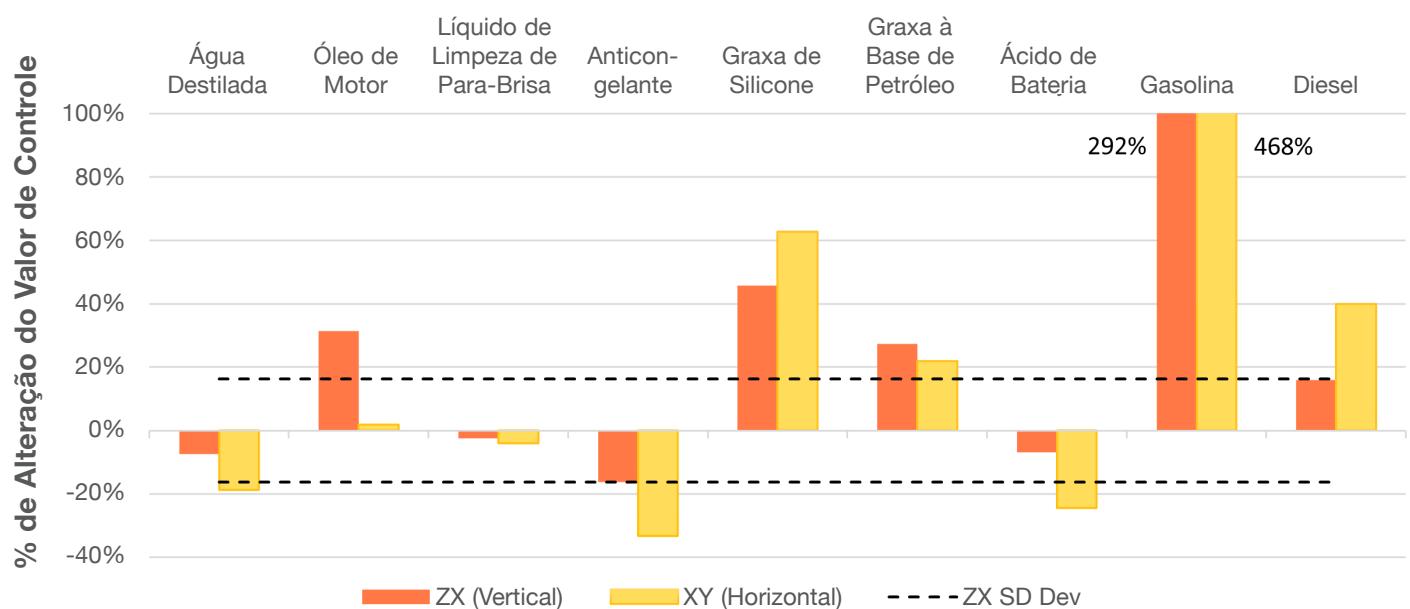
% de Alteração em Relação ao Nominal do Módulo de Young do PP





Resultados do PP (continuação)

Alongamento na Ruptura % de Alteração do Nominal do PP





Tabelas com os Resultados Finais

Alteração nas Propriedades Mecânicas do PA11 – Exposição de 168 horas (ASTM D543)

	Reagente	ZX % de Alteração	XY % de Alteração
UTS (MPa)	Água Destilada	0%	0%
	Óleo de Motor (Sintético)	+1%	+2%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	-4%	-3%
	Anticongelante	0%	-1%
	Graxa de Silicone	-1%	+2%
	Graxa à Base de Petróleo	+1%	-1%
	Ácido de Bateria	-19%	-15%
	Gasolina	-1%	-1%
	Diesel	-2%	0%
Módulo (MPa)	Água Destilada	-7%	-4%
	Óleo de Motor (Sintético)	+2%	+5%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	-8%	-9%
	Anticongelante	+1%	+1%
	Graxa de Silicone	-8%	+4%
	Graxa à Base de Petróleo	-3%	-4%
	Ácido de Bateria	-27%	-29%
	Gasolina	-12%	-8%
	Diesel	+1%	+8%
EaB (%)	Água Destilada	+5%	-1%
	Óleo de Motor (Sintético)	-9%	-7%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	-4%	-3%
	Anticongelante	-7%	+12%
	Graxa de Silicone	+27%	0%
	Graxa à Base de Petróleo	+55%	+13%
	Ácido de Bateria	+20%	+64%
	Gasolina	+61%	+52%
	Diesel	+5%	+11%

Valores de Referência do PA11 de Alto Rendimento

Propriedade (Posição)	Valor Médio
Resistência a Tração (ZX)	47 MPa
Resistência a Tração (XZ, YX)	51 MPa
Alongamento na Ruptura (ZX)	11%
Alongamento na Ruptura (XZ, YX)	30%
Módulo de Tração (ZX)	1.609 MPa
Módulo de Tração (XZ, YX)	1.529 MPa



Tabelas com os Resultados Finais

Alteração nas Propriedades Mecânicas do PA12 – Exposição de 168 horas (ASTM D543)

	Reagente	ZX % de Alteração	XY % de Alteração
UTS (MPa)	Água Destilada	+1%	-2%
	Óleo de Motor (Sintético)	0%	-2%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	+2%	0%
	Anticongelante	+1%	+1%
	Graxa de Silicone	-2%	-3%
	Graxa à Base de Petróleo	+1%	-2%
	Ácido de Bateria	-4%	-6%
	Gasolina	-7%	-9%
	Diesel	-2%	-2%
Módulo (MPa)	Água Destilada	0%	-2%
	Óleo de Motor (Sintético)	0%	0%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	-1%	+2%
	Anticongelante	-7%	-3%
	Graxa de Silicone	0%	-2%
	Graxa à Base de Petróleo	-4%	-5%
	Ácido de Bateria	-10%	-10%
	Gasolina	-19%	-17%
	Diesel	-2%	0%
EaB (%)	Água Destilada	+12%	-23%
	Óleo de Motor (Sintético)	-4%	-13%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	+16%	-23%
	Anticongelante	+39%	-7%
	Graxa de Silicone	+14%	+22%
	Graxa à Base de Petróleo	+30%	+9%
	Ácido de Bateria	-17%	-5%
	Gasolina	+58%	+31%
	Diesel	+38%	+21%

Valores de referência do SAF PA12

Propriedade (Posição)	Valor Médio
Resistência a Tração (ZX)	46 MPa
Resistência a Tração (XZ, YX)	47 MPa
Alongamento na Ruptura (ZX)	5%
Alongamento na Ruptura (XZ, YX)	11%
Módulo de Tração (ZX)	1.700 MPa
Módulo de Tração (XZ, YX)	1.750 MPa

Nota: pequenos valores de alongamento são devidos à rigidez do PA12. Consequentemente, este teste é mais suscetível ao ruído e pode apresentar grandes mudanças percentuais ao longo desse tamanho limitado de amostra.



Tabelas com os Resultados Finais

Alteração nas Propriedades Mecânicas do PP – Exposição de 168 horas (ASTM D543)

	Reagente	ZX % de Alteração	XY % de Alteração
UTS (MPa)	Água Destilada	+5%	+6%
	Óleo de Motor (Sintético)	-4%	-3%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	+7%	+9%
	Anticongelante	+7%	+8%
	Graxa de Silicone	-7%	-7%
	Graxa à Base de Petróleo	-3%	-3%
	Ácido de Bateria	+5%	+6%
	Gasolina	-28%	-36%
Módulo (MPa)	Diesel	-4%	-10%
	Água Destilada	+6%	+9%
	Óleo de Motor (Sintético)	-12%	-13%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	+9%	+12%
	Anticongelante	+11%	+14%
	Graxa de Silicone	-19%	-25%
	Graxa à Base de Petróleo	-11%	+15%
	Ácido de Bateria	+4%	+4%
EaB (%)	Gasolina	-77%	-79%
	Diesel	-12%	-30%
	Água Destilada	-8%	-19%
	Óleo de Motor (Sintético)	+31%	+2%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	-2%	-4%
	Anticongelante	-16%	-33%
	Graxa de Silicone	+46%	+63%
	Graxa à Base de Petróleo	+27%	+22%
EaB (%)	Ácido de Bateria	-7%	-25%
	Gasolina	+292%	+468%
	Diesel	+16%	+40%

Valores de referência do SAF PP

Propriedade (Posição)	Valor Médio
Resistência a Tração (ZX)	25,8 MPa
Resistência a Tração (XZ, YX)	25,8 MPa
Alongamento na Ruptura (ZX)	10,7%
Alongamento na Ruptura (XZ, YX)	22,5%
Módulo de Tração (ZX)	1.212 MPa
Módulo de Tração (XZ, YX)	1.260 MPa



Tabelas com os Resultados Finais

Alteração nas Dimensões e Peso do PA11 – Exposição de 168 horas (ASTM D453)

	Reagente	ZX % de Alteração	XY % de Alteração
Diâmetro	Água Destilada	0,0%	0,0%
	Óleo de Motor (Sintético)	0,0%	0,0%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	0,0%	0,0%
	Anticongelante	0,1%	-0,1%
	Graxa de Silicone	0,0%	0,0%
	Graxa à Base de Petróleo	0,0%	0,0%
	Ácido de Bateria	0,4%	0,4%
	Gasolina	0,1%	0,3%
Espessura	Diesel	0,1%	0,0%
	Água Destilada	0,2%	0,7%
	Óleo de Motor (Sintético)	0,0%	-0,5%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	0,2%	1,0%
	Anticongelante	0,0%	0,1%
	Graxa de Silicone	-0,4%	-0,2%
	Graxa à Base de Petróleo	0,1%	0,3%
	Ácido de Bateria	7,0%	6,6%
Peso	Gasolina	0,6%	0,5%
	Diesel	-0,7%	0,0%
	Água Destilada	1,0%	0,6%
	Óleo de Motor (Sintético)	1,0%	0,4%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	0,3%	0,3%
	Anticongelante	0,9%	0,4%
	Graxa de Silicone	1,0%	0,6%
	Graxa à Base de Petróleo	1,8%	1,0%
Peso (168 hrs seco)	Ácido de Bateria	13,3%	13,0%
	Gasolina	1,2%	1,2%
	Diesel	0,5%	0,2%
	Água Destilada	0,2%	0,2%
	Óleo de Motor (Sintético)	1,0%	0,5%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	0,3%	0,4%
	Anticongelante	0,2%	0,2%
	Graxa de Silicone	0,2%	0,2%



Tabelas com os Resultados Finais

Alteração nas Dimensões e Peso do PA12 – Exposição de 168 horas (ASTM D453)

	Reagente	ZX % de Alteração	XY % de Alteração
Diâmetro	Água Destilada	0,1%	0,1%
	Óleo de Motor (Sintético)	0,0%	0,0%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	0,0%	0,0%
	Anticongelante	0,0%	0,0%
	Graxa de Silicone	0,0%	0,0%
	Graxa à Base de Petróleo	0,0%	0,0%
	Ácido de Bateria	0,1%	0,1%
	Gasolina	0,3%	0,2%
Espessura	Diesel	0,1%	0,0%
	Água Destilada	0,1%	0,1%
	Óleo de Motor (Sintético)	-0,4%	-0,1%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	-0,1%	0,0%
	Anticongelante	-0,4%	0,1%
	Graxa de Silicone	0,1%	0,2%
	Graxa à Base de Petróleo	2,4%	0,6%
	Ácido de Bateria	1,1%	1,3%
Peso	Gasolina	0,6%	0,4%
	Diesel	0,0%	-0,3%
	Água Destilada	-2,1%	-1,0%
	Óleo de Motor (Sintético)	1,0%	0,7%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	0,7%	0,5%
	Anticongelante	1,4%	1,1%
	Graxa de Silicone	1,0%	0,5%
	Graxa à Base de Petróleo	1,8%	1,2%
Peso (168 hrs seco)	Ácido de Bateria	3,9%	3,8%
	Gasolina	1,2%	1,2%
	Diesel	0,7%	0,6%
	Água Destilada	2,3%	-2,1%
	Óleo de Motor (Sintético)	1,3%	1,0%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	0,4%	0,4%
	Anticongelante	0,2%	1,5%
	Graxa de Silicone	0,3%	0,6%



Tabelas com os Resultados Finais

Alteração nas Dimensões e Peso do PP – Exposição de 168 horas (ASTM D453)

	Reagente	ZX % de Alteração	XY % de Alteração
Diâmetro	Água Destilada	0,0%	0,0%
	Óleo de Motor (Sintético)	0,0%	0,0%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	-0,6%	0,0%
	Anticongelante	-0,1%	-0,1%
	Graxa de Silicone	0,3%	0,4%
	Graxa à Base de Petróleo	0,1%	0,1%
	Ácido de Bateria	0,0%	-0,1%
	Gasolina	5,0%	4,4%
Espessura	Diesel	0,3%	0,3%
	Água Destilada	0,6%	0,0%
	Óleo de Motor (Sintético)	0,0%	-0,3%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	-0,1%	-0,3%
	Anticongelante	-0,1%	-0,3%
	Graxa de Silicone	1,3%	1,4%
	Graxa à Base de Petróleo	0,4%	0,5%
	Ácido de Bateria	-0,2%	-0,1%
Peso	Gasolina	4,1%	5,5%
	Diesel	1,1%	0,2%
	Água Destilada	0,2%	0,1%
	Óleo de Motor (Sintético)	1,1%	0,9%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	0,2%	0,2%
	Anticongelante	0,3%	0,1%
	Graxa de Silicone	2,3%	2,8%
	Graxa à Base de Petróleo	2,6%	1,9%
Peso (168 hrs seco)	Ácido de Bateria	0,5%	0,3%
	Gasolina	15%	15%
	Diesel	1,4%	1,3%
	Água Destilada	0,0%	0,0%
	Óleo de Motor (Sintético)	1,0%	0,9%
	Líquido de Limpeza de Para-Brisa	0,0%	0,0%
	Anticongelante	0,6%	0,0%
	Graxa de Silicone	0,8%	1,0%



Conclusões sobre o PA11

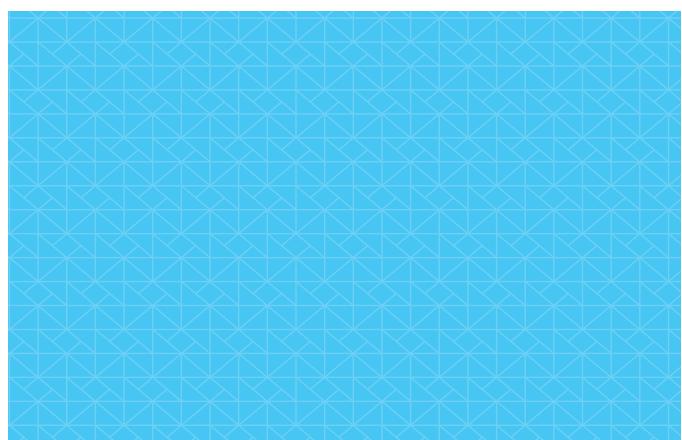
Reagente	Peso & Estabilidade Dimensional	Estabilidade Mecânica
Água Destilada	Excelente	Excelente
Óleo de Motor (Sintético)	Excelente	Excelente
Líquido de Limpeza de Para-Brisa	Excelente	Excelente
Anticongelante	Excelente	Excelente
Graxa de Silicone	Excelente	Excelente
Graxa à Base de Petróleo	Excelente	Excelente
Ácido de Bateria	Resistência Química Limitada	Resistência Química Limitada
Gasolina	Excelente	Excelente
Diesel	Excelente	Excelente

O PA11 de alto rendimento demonstrou excelentes propriedades de resistência química a sete dos nove reagentes testados. Os efeitos da água destilada, óleo sintético de motor, líquido de limpeza de para-brisa, líquido refrigerante anticongelante, graxa de silicone, graxa à base de petróleo e diesel sobre o material foram observados como insignificantes. O ácido de bateria causou reduções de resistência mecânica em média de -17% com um subsequente aumento da elasticidade devido ao amolecimento do material. A imersão em gasolina também parece causar um efeito de plastificação.

Embora as mudanças dimensionais em todos os agentes químicos tenham sido insignificantes, foi observado um notável ganho de peso no PA11 quando imerso em ácido de bateria. Observou-se também mudança permanente da coloração de cinza-claro para azul-escuro (Figura 7), único teste a sofrer tal alteração.



Figura 7. Peças do teste de ácido de bateria do PA11 exibindo mudança de cor após 168 horas de secagem.





Conclusões sobre o PA12

Reagente	Peso & Estabilidade Dimensional	Estabilidade Mecânica
Água Destilada	Excelente	Excelente
Óleo de Motor (Sintético)	Excelente	Excelente
Líquido de Limpeza de Para-Brisa	Excelente	Excelente
Anticongelante	Excelente	Excelente
Graxa de Silicone	Excelente	Excelente
Graxa à Base de Petróleo	Excelente	Excelente
Ácido de Bateria	Boa Resistência Química	Boa Resistência Química
Gasolina	Excelente	Boa Resistência Química
Diesel	Excelente	Excelente

O SAF PA12 demonstrou excelentes propriedades de resistência química a sete dos nove reagentes testados. Os efeitos da água destilada, óleo sintético de motor, líquido de limpeza de para-brisa, líquido refrigerante anticongelante, graxa de silicone, graxa à base de petróleo e diesel sobre o material foram observados como insignificantes.

O PA12 apresentou apenas uma leve redução na resistência da peça, acompanhada de uma leve diminuição na elasticidade quando exposto ao ácido de bateria. A imersão em gasolina também resultou em uma leve redução nas propriedades mecânicas.

Todas as alterações dimensionais foram insignificantes durante o teste. Esse material também registrou aumento mínimo de peso quando exposto ao ácido de bateria, tendo um melhor desempenho em comparação com o PA11 nesse quesito.



Conclusões sobre o PP

Reagente	Peso & Estabilidade Dimensional	Estabilidade Mecânica
Água Destilada	Excelente	Excelente
Óleo de Motor (Sintético)	Excelente	Excelente
Líquido de Limpeza de Para-Brisa	Excelente	Excelente
Anticongelante	Excelente	Excelente
Graxa de Silicone	Boa Resistência Química	Boa Resistência Química
Graxa à Base de Petróleo	Excelente	Excelente
Ácido de Bateria	Excelente	Excelente
Gasolina	Resistência Química Limitada	Resistência Química Limitada
Diesel	Excelente	Excelente

O SAF PP demonstrou excelentes propriedades de resistência química a sete dos nove reagentes testados. Os efeitos da água destilada, óleo de motor, líquido de limpeza de para-brisa, líquido refrigerante anticongelante, graxa à base de petróleo, ácido de bateria e diesel foram observados como insignificantes. Conforme esperado, a gasolina causou uma significativa degradação das propriedades mecânicas desse material. Os resultados sugerem um forte efeito de plastificação.

O material demonstrou um desempenho excepcional quando exposto ao ácido de bateria (sulfúrico concentrado), confirmando ser atualmente o mais adequado entre os materiais SAF para aplicações ácidas.



stratasys.com
Certificado ISO
9001:2015

Sede da Stratasys

7665 Commerce Way,
Eden Prairie, MN 55344
+1 800 801 6491 (ligação gratuita nos EUA)
+1 952 937-3000 (Intl)
+1 952 937-0070 (Fax)

1 Holtzman St., Science Park,
PO Box 2496
Rehovot 76124, Israel
+972 74 745 4000
+972 74 745 5000 (Fax)

WHITE PAPER
SAF