

## Tratamento de superfícies hidrofóbica durável para proteção contra Corrosão

A corrosão galvânica (também chamada de "corrosão de metal diferente") ocorre quando dois ou mais materiais diferentes são colocados em contato sob a água. Quando isso acontece, um dos metais se torna o ânodo e corrói mais rápido do que sozinho, enquanto o outro se torna o cátodo e corrói mais lentamente do que sozinho. Isso acontece mesmo se ambos os metais não corroem por si mesmos. Esse fenômeno foi descoberto e colocado em prática por Alessandro Volta que construiu, em 1800, a primeira célula elétrica, ou bateria: uma série de discos metálicos de dois tipos, separados por discos de papelão embebidos em soluções ácidas ou salinas. Este princípio é a base de todas as baterias modernas de célula úmida.

A corrosão sacrificial de um metal como zinco, magnésio ou alumínio é um método difundido de proteção catódica de estruturas metálicas. A corrosão galvânica pode ser uma das formas mais comuns de corrosão, bem como uma das mais destrutivas.

Para neutralizar os efeitos da corrosão (galvânica ou não), a UltraTech comercializa uma tecnologia sol gel chamada **Gentoo**, que revoluciona o controle e a proteção contra a corrosão. Gentoo é um revestimento hidrofóbico, transparente e durável que atua com uma fina película repelente e de barreira, fornecendo proteção contra corrosão tanto por suas propriedades de barreira física densa, quanto por sua capacidade de escorrer a água da superfície revestida. Gentoo também é extremamente fino (4-6 microns em média) e flexível. A seguir um resumo dos testes realizados durante seu desenvolvimento em vários programas de Pesquisa de Inovação em Pequenas Empresas (SBIR) em diferentes ramos das Forças Armadas dos Estados Unidos.

### Introdução

Trens de pouso são itens críticos das aeronaves. Os metais usados para produzir o trem de pouso são propensos à corrosão quando a superfície é danificada. Assim como outros componentes da aeronave, a corrosão e os danos no trem de pouso têm potencial para falhas catastróficas e devem ser minimizados ou eliminados. Atualmente, a mitigação da corrosão no trem de pouso da Força Aérea dos Estados Unidos (USAF) é realizada usando vários tipos de revestimentos, incluindo revestimento de sacrifício (cádmio, baixa fragilização por hidrogênio zinco-níquel [LHE Zn-Ni]), revestimento de barreira (cromo, HVOF, níquel, anodização, etc.) e combinações cromadas de primer/tinta. Sob condições operacionais, o trem de pouso está sujeito a vários danos, incluindo por abrasão/impacto devido a detritos de objetos estranhos (FOD), chuva, erosão de areia e poeira, detritos de pista, abrasão mecânica, etc. que removem os revestimentos de proteção contra corrosão, expondo o metal descoberto subjacente. Além disso, o acúmulo de água em superfícies chapeadas/pintadas e peças rosqueadas pode sofrer corrosão. Em última análise, reparar ou substituir peças do trem de pouso devido à corrosão gera um custo de manutenção significativo, principalmente com peças de reposição obsoletas em aeronaves antigas. Há uma necessidade crítica de tecnologias de revestimentos avançados que sejam de fácil aplicação, custo-benefício, mecanicamente duráveis e mais resistentes a corrosão do que estão atualmente disponíveis.



Essas novas tecnologias de revestimento eliminarão a água e os iniciadores de corrosão. Serão duráveis e resistentes à abrasão/impacto e, como resultado, fornecerão proteção contra corrosão de longo prazo no aço e no alumínio que compõem o trem de pouso. Essas propriedades permitirão a reutilização de peças em vez de substituição, prolongarão a vida útil das peças, reduzirão as despesas de manutenção, armazenamento e reduzirão ou eliminarão os custos de descarte de resíduos perigosos (Cr, Cd) aumentando a confiabilidade e a prontidão dos ativos da USAF (Força aérea dos EUA).

Gentoo é um revestimento de tratamento de superfície hidrofóbico durável, para atender a essa necessidade. Gentoo mostrou-se com durável e com capacidade excepcionais de escorrer água e outros fluidos das superfícies tratadas (combustível de jato, fluido de transmissão, fluido de degelo) e levou a uma melhoria significativa tanto no atraso quanto na taxa mais baixa de corrosão em relação à atual qualificação militar dos Estados Unidos (MIL) pintura e chapeamento. Essa redução na corrosão se traduzirá diretamente em economia de custos por meio da diminuição da manutenção dos componentes do trem de pouso e da redução da reposição de peças corroídas.

O tratamento de superfície Gentoo hidrofóbico é composto por uma matriz orgânica-inorgânica híbrida transparente com base na química de polímeros modificados com silano. O revestimento Gentoo combina a flexibilidade, resistência a impacto, durabilidade, resistência à abrasão, proteção contra corrosão e resistência aos raios UV de vários revestimentos de polímeros orgânicos comercialmente disponíveis combinados e ainda com uma baixa energia superficial para um melhor desempenho para escorrer líquidos. Gentoo é ultrafino (<5 µm), com cura rápida. Foi aplicado em superfícies metálicas e poliméricas previamente pintadas, usando técnicas de aplicação comuns, como derramamento, pincel ou spray. A alta transparência óptica do Gentoo não altera a aparência dos substratos alvos, aumenta a capacidade de derramamento de líquidos, melhora a resistência à corrosão, resiste à abrasão mecânica e danos por impacto, reduz o acúmulo de sal e protege os objetos das intempéries climáticas.

### Preparação e Dados

Gentoo é um revestimento simples e transparente de uma camada que se automonta para orientar os grupos de fluor na superfície. As funcionalidades de flúor são ligadas covalentemente ao revestimento, conferindo hidrofobicidade a longo prazo e propriedades de escorrer líquidos. Devido à baixa concentração de grupos de fluor necessários para conferir hidrofobicidade, eles não interferem na adesão ao substrato. As funcionalidades do silano deste revestimento híbrido fornecem um mecanismo para a formação de ligação covalente entre o Gentoo e o substrato metálico, resultando em uma adesão superior a superfícies metálicas, chapeadas e pintadas. A parte orgânica do Gentoo confere flexibilidade e durabilidade ao sistema de revestimento. Essas características se combinam para produzir um revestimento altamente durável com excelente capacidade de escorrimento de líquidos e resistência à abrasão. Os principais atributos do tratamento de superfície polímero hidrofóbico/híbrido inorgânico são mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1**  
**Principais Atributos do Gentoo**

Hidrofobicidade	Angulo de contato > 110° e angulo de derramamento <5° .
Proteção Corrosão	Excelente capacidade de escoamento de líquidos, redução de corrosão prolongando a vida útil dos componentes metálicos.
Flexibilidade e resistência a abrasão	Excelente flexibilidade através de uma matriz polimérica resistente a abrasão e impactos.
Espessura e Peso	Após aplicado possuirá apenas 1-5µm e super leve.
Adesão	Aderência robusta a substratos metálicos (alumínio, aço, etc.), vidro, polímeros (acrílico, policarbonato) e tintas (poliuretano, látex, acrílico).
Durabilidade no Ambiente	Excelente resistência à degradação resultante de névoa salina e exposição aos raios UV.
Fácil Aplicação	Aplicado em uma única demão usando spray, derramamento, pincel, rolo ou imersão com preparação mínima da superfície.

Propriedade Material	Método de Teste	Resposta Desejada	Resultado
<b>Características GENTOO</b>			
Vida Frasco	ASTM D1200	4 h mínimo	Ultrapassou; 6 h at 23.8°C
Armazenamento	MIL-PRF-32239, 85285;	12-24 meses, 1.6-46°C; .	Ultrapassou; 36 meses
<b>Physical Characteristics of Gentoo</b>			
Hidrofobicida	Medição	Angulo Contato 105 + 3°; Derramamento 10 + 2°	Ultrapassou
Flexibilidade	ASTM	Sem rachaduras	Passou de ¼" mandril; rachou em 1/8" com pintura, mas sem rachaduras apenas com Gentoo
Resistência Calor	ASTM D2244, D522, MIL-PRF-32239	ΔE<1.0, sem rachaduras depois de 1h at 121.2°C	Passou; Sem alteração CA/WS, brilho
SRemovibilidade	MIL-PRF-32239 com CeeBee A-235	Remoção	Passou com Cee Bee A-235 stripper
<b>Durability of Gentoo</b>			
Abrasão	ASTM D1044, D2486	ΔTransparencia <5% ΔNévoa <3% (por 150 ciclos)	Passou
Adesão	ASTM D 3359	5B on 6 h curado ou mecanicamente durável e curado	Passou

Adesão Tinta	HSS Protocolo de Teste Conjunto, ASTM D 3359	5B até RT, 49°C at 96h, e 65°C até 168h	PASS
Resistência a FOD ou Chip	ASTM D3170, avaliação de corrosão TBD	Idêntico ou melhor que o controle	PASS
Resistência a Intempéries	ASTM G154 2 ciclos QUV-B, D4329	1000 h com Dgloss <20, DE < 1.0	PASS - melhor que controle
Fluid Resistance of Gentoo			
Resistência a água	MIL-PRF-23377K	Sem efeito	PASS
Resistência química	MIL-PRF-32239, combustível JP-8	Nenhum efeito mínimo e melhor que o controle	PASS - skydrol, desengordurante, degelo, JP-8

Para os propósitos deste relatório, Gentoo foi aplicado por derramamento, spray ou revestimento por imersão em substratos selecionados - vidro, policarbonato, acrílico, silicone, aço inoxidável Nitronic 50 (UNS S20910), 2024-T3 (UNS A92024) e 7075- Ligas de alumínio T6 (UNS A97075), alumínio 7075-T6 anodizado, Alodine e outros tratamentos de modificação de superfície não cromados e parafusos e arruelas de aço inoxidável 316 (UNS S31600). Os substratos tratados foram curados ao ar à temperatura ambiente ou curados a 90°C por 15-60 minutos, dependendo dos requisitos de aplicação. A espessura do revestimento foi medida em 4-6 µm, dependendo do substrato e do método de aplicação. Três cupons foram usados para cada teste e os dados foram calculados. Os procedimentos de teste são discutidos abaixo na seção de resultados.

### Hidrofobicidade e Transparência

As propriedades de hidrofobicidade e transparência de luz do Gentoo quando aplicado a substratos de vidro são mostradas na Tabela 2. O tratamento exibe ângulos de contato de >110° e um ângulo médio de derramamento de líquidos de ~3-11°, dependendo do tamanho da gota de água. Gentoo não afeta a transparência do substrato, exibindo turvação insignificante e retenção de 100% de clareza.

Tabela 2 Hidrofobicidade e Transparência		
Método do Teste	Substrato Vidro	Substrato Vidro com Gentoo
Anglo de contato	50	112
Anglo derramamento (50 µL droplet)	40	6
Anglo derramamento (120 µL droplet)	30	3
Transparência (%)	93.9	94.1

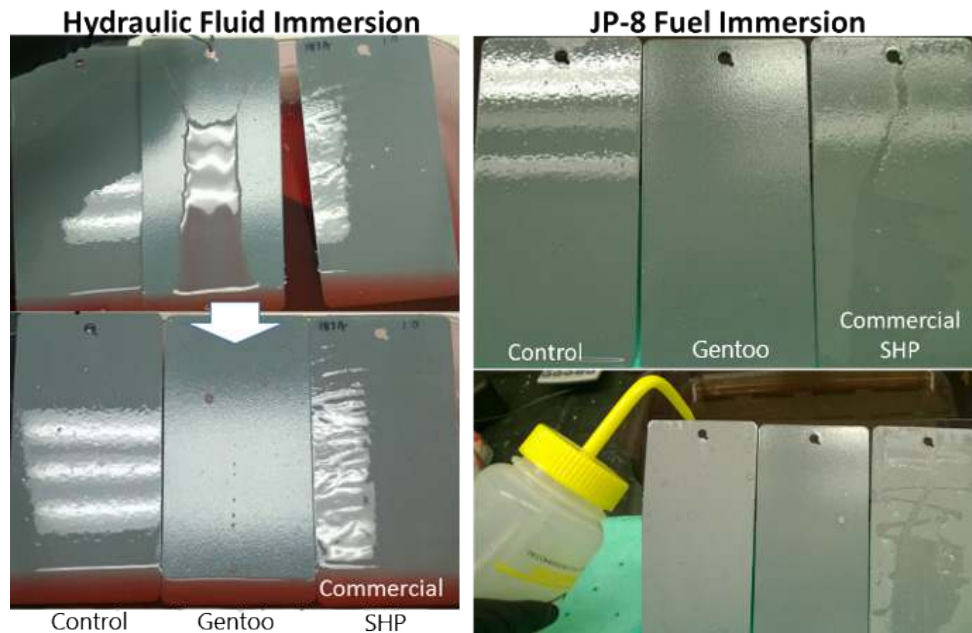
## Resistência Química

O Gentoo também foi avaliado quanto à resistência a fluidos quando aplicado sobre primer epóxi MIL-PRF-23377 com acabamento de uretano cinza MIL-PRF-85285D pintado, painéis de aço 4130 revestidos com LHE Zn-Ni de acordo com o teste de imersão em fluido MIL-PRF-85285D e o High- protocolo de teste de junta de aço. Para o teste de imersão em fluido MIL-PRF-85285D, os painéis revestidos são curados, armazenados em um dessecador por pelo menos 16 h e pesados antes da imersão nos seguintes solventes por 7 dias a 37,8°C: Fluido antigelo/descongelamento de aeronaves ( SAE AMS 1424), Composto de Limpeza (Desengraxante), Equipamento Aeroespacial (MIL-PRF-87937) e Removedor de Tinta, removedor de tinta epóxi PR-3500.

**Tabela 3**  
**MIL-PRF-85285D Fluidos e Condições de Teste de Imersão em Fluido**

Fluido de Imersão	Temperatura do Fluido	Tempo de Imersão
Óleo lubrificante (de acordo com MIL-L-23699)	121 ±3 °C (250 ±5 °F)	24 hours
Fluido Hidráulico (de acordo com MIL-PRF-83282)	66 ±3 °C (150 ±5 °F)	24 hours
JP-8 combustível (de acordo com MIL-DTL-5624)	Temperatura local	7 days

Gentoo não demonstrou bolhas ou defeitos de e manteve o desempenho hidrofóbico após imersão em fluido de degelo de aeronaves, compostos de limpeza (desengraxante), óleo lubrificante, fluido hidráulico e combustível JP-8. Gentoo foi removido com o removedor de tinta epóxi PR-3500, conforme esperado. A tinta superhidrofóbica (SHP) comercialmente disponível também foi avaliada, e esse revestimento perdeu todo o desempenho superhidrofóbico e hidrofóbico após imersão em todos os fluidos, e foi completamente removido quando imerso na maioria dos fluidos, exceto fluidos de degelo. A Figura 1 apresenta algumas imagens representativas.



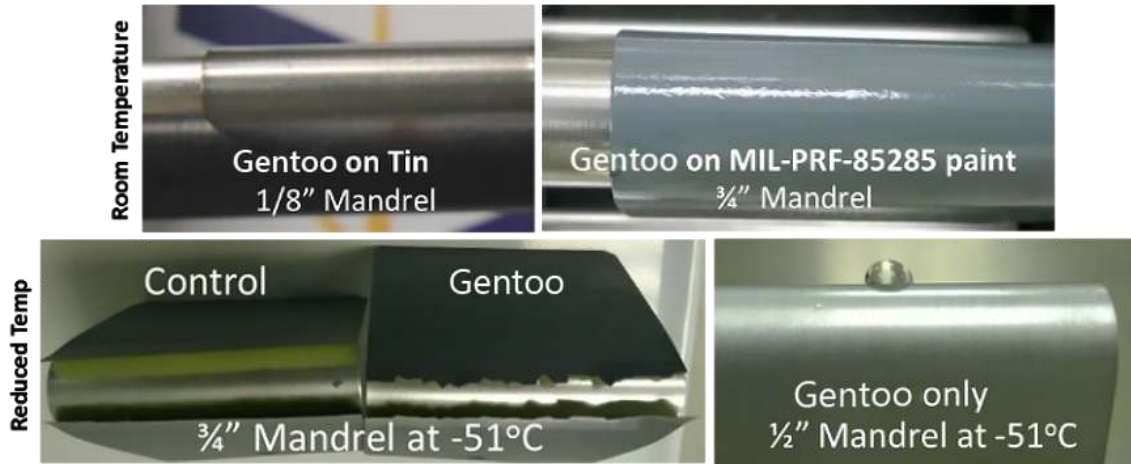
**Figura 1**

Avaliação de imersão em fluido do primer MIL-PRF-23377 com painéis de alumínio pintados com acabamento MIL-PRF-85285D não tratados (controle), tratados com Gentoo e SHP comercial tratados em fluido hidráulico a 66°C por 24 horas (esquerda) e JP-8 à temperatura ambiente por 7 dias seguido de uma lavagem com isopropanol (direita)

### **Flexibilidade**

A avaliação inicial da flexibilidade foi realizada usando um teste de dobra de mandril em que cupons de metal revestidos foram dobrados em torno de mandris com diâmetros de 1/8 a 1 polegada e avaliados quanto a rachaduras ou delaminação do substrato de acordo com ASTM D522. O teste de adesão de dobra conforme especificado em MIL-PRF-85285 para avaliar a flexibilidade do Gentoo a -51°C também é realizado.

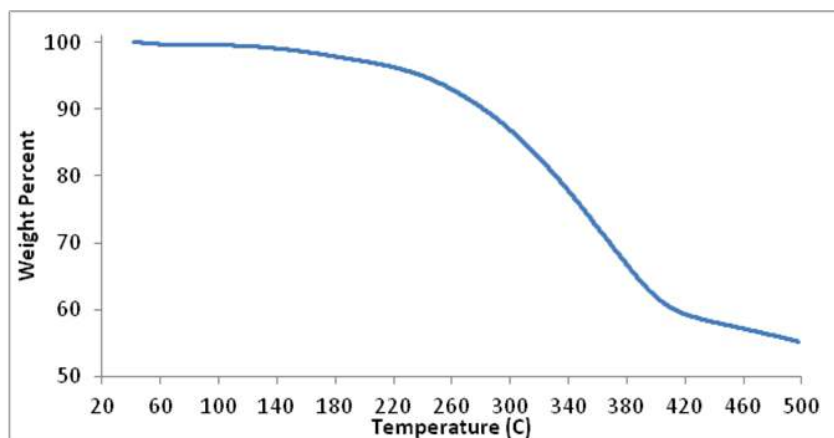
Gentoo exibe excelente flexibilidade em temperatura ambiente e baixas (Figura 2). Gentoo a -51°C dobrado sobre um mandril de 3/4 de polegada trincou durante a avaliação de flexibilidade de baixa temperatura, mas a falha do primer - interface do painel de alumínio resultou em falha completa do revestimento, o Gentoo não foi a fonte da falha e as bordas irregulares são indicativas de que o Gentoo tentou manter o sistema de revestimento unido apesar do evento de delaminação. Um painel de alumínio revestido apenas com Gentoo foi reavaliado a -51°C e passou por uma dobra de mandril de 1/2 polegada. Desempenho hidrofóbico do Gentoo evidenciado pela gota de água na superfície testada.



**Figura 2**

Flexibilidade de curvatura do mandril com tratamento Gentoo à temperatura ambiente direto ao metal e no acabamento de uretano cinza MIL-PRF-85285 (parte superior) e -51°C no acabamento de uretano cinza MIL-PRF-85285 (fila inferior)

Gentoo é estável até 200°C de acordo com a Figura 3 curva de decomposição TGA. Desta forma, o revestimento tem uma ampla faixa de temperaturas de operação de -51 a 200°C.; no entanto, para uso contínuo (em oposição a picos de temperatura), recomendamos uma temperatura máxima de operação de 160°C



**Figura 3**

TGA de decomposição da formulação Gentoo curada (taxa de rampa de 3°C/minutos)

## Resistência UV

A resistência UV do tratamento Gentoo foi determinada de acordo com ASTM D4329. Durante os testes, foi utilizada uma lâmpada UVB-313 com irradiância de 0,63W/m<sup>2</sup>. O ciclo de teste QUV foi composto por um período de 7 horas de exposição UV a 50°C seguido por um período de 5 horas a 50°C com um ciclo de condensação de umidade relativa de 100%. O ciclo de teste QUV foi repetido por 4 semanas. A Tabela 4 mostra os resultados do teste QUV. Visualmente, é evidente que a exposição ao QUV não teve um efeito significativo nas propriedades do Gentoo, já que nenhuma evidência de degradação, delaminação, descoloração, etc. foi observada. Em geral, o ângulo de contato do revestimento diminuiu 7% após 4 semanas de exposição ao QUV. A transparência e clareza do controle e do tratamento Gentoo permaneceram relativamente constantes durante todo o teste. O embaçamento aumentou para todos os revestimentos ao longo do teste, embora o embaçamento tenha permanecido abaixo de 1,65%, o que está bem abaixo do limite visual em que os revestimentos não parecem mais transparentes.

Tabela 4		
Efeito de 4 semanas de exposição QUV na hidrofobicidade e propriedades de transmissão de luz do Gentoo		
Metodo Teste	0 Semanas	4 Semanas
Anglo Contato (°)	112	104
Transparencia (%)	92.5	91.7
Névoa (%)	0.78	1.64
Claridade (%)	99.8	99.7

A resistência UV do Gentoo em um acabamento de uretano de brilho branco MIL-PRF-85285E Tipo I Classe H foi avaliada usando ASTM G-154 Ciclo 2, no qual uma lâmpada UVB-313 com irradiância de 0,71 W/m<sup>2</sup> foi usada. O ciclo de teste QUV foi composto por um período de 4 horas de exposição UV a 60°C seguido por um período de 4 horas a 50°C com um ciclo de condensação de umidade relativa de 100%. Após 500 horas de exposição, nenhuma mudança significativa nas propriedades de cor CIE foi observada com a adição do Gentoo. Gentoo exibiu menos mudança de cor e significativamente menos mudança de brilho do que o revestimento de acabamento de uretano de brilho branco MIL-PRF-85285E Tipo I Classe H durante o período de desempenho.



**Tabela 5**  
Efeito de 500 horas de exposição QUV nas propriedades de cor do Revestimento MIL-PRF-85285E com Gentoo

Método Teste	Controle	Gentoo
Tempo exposição QUV (horas)	500	500
$\Delta L^*$	-0.6	-0.8
$\Delta a^*$	0.2	0.1
$\Delta b^*$	-1	-0.5
$\Delta E$	1.2	0.9
Brilho Inicial	91.6	88.7
$\Delta$ Brilho	-8.9	-1.1

### Propriedades da barreira física e resistência à corrosão galvânica

A Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS) foi usada para avaliar as propriedades de barreira do revestimento Gentoo. Cupons de liga de alumínio UNSA92024 foram revestidos com poliuretano cinza MIL-PRF-85285D (1,0 mil de espessura) e testados com e sem adição de Gentoo. O teste inicial (ou seja, "seco") das amostras mostrou impedância semelhante em toda a faixa de frequência (Figura 4). Após exposição às condições de névoa salina ASTM B117 por 336 horas, as amostras foram testadas novamente. A amostra apenas de poliuretano mostrou uma redução significativamente maior na impedância (~ duas décadas) em comparação com o Gentoo, indicando propriedades de barreira significativamente melhores para o cupom.

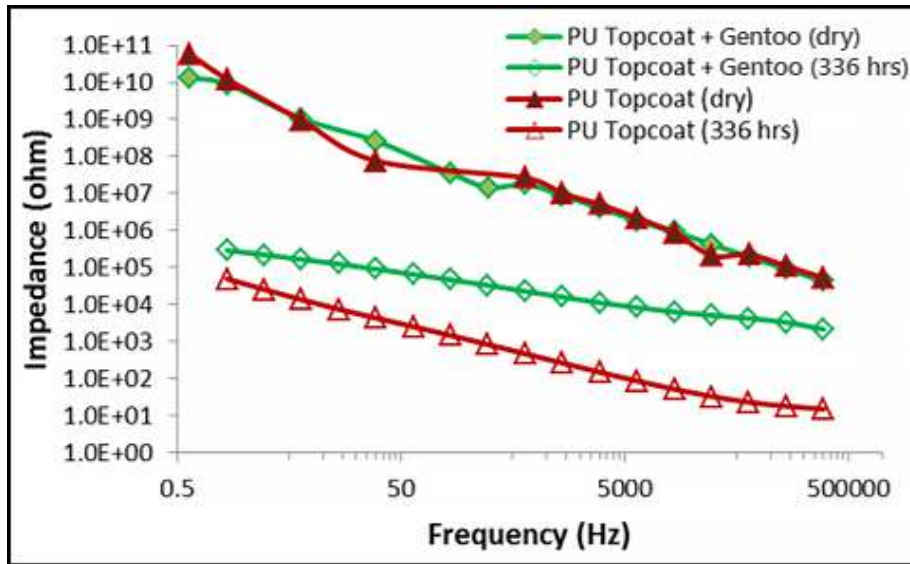
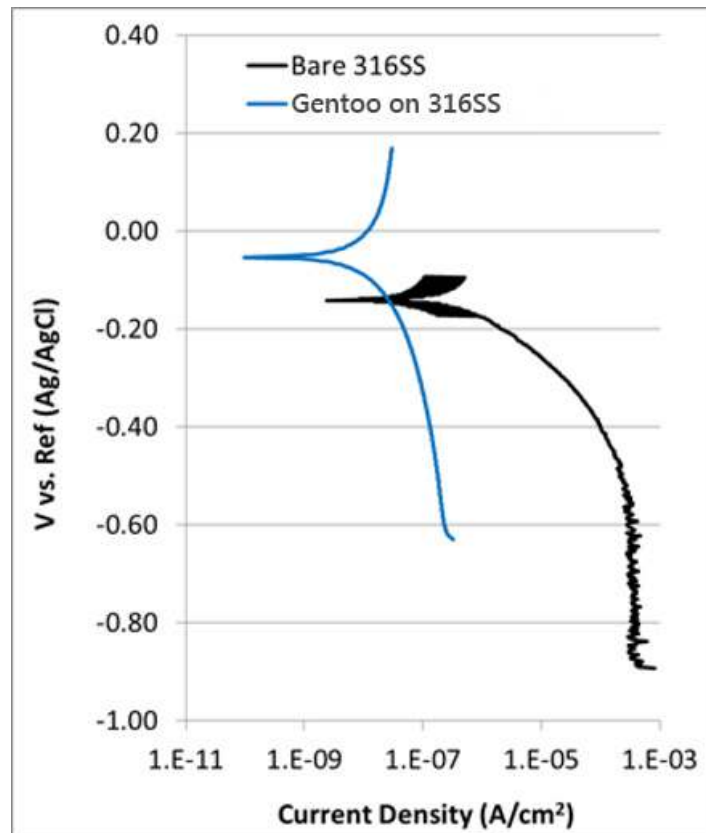


Figura 4

Teste de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS): MIL-PRF-85285D Liga de alumínio UNSA92024 revestida de poliuretano. A corrosão galvânica em torno de fixadores catódicos acoplados a estruturas de liga de alumínio anódica é um problema comum na comunidade aeronáutica. Sabe-se que a corrosão galvânica do alumínio é controlada pela corrente catódica disponível, e que uma redução na corrente disponível deve resultar em menos danos por corrosão. Como uma avaliação dos possíveis atributos de proteção galvânica do Gentoo, o teste de polarização foi conduzido em um cupom plano de aço inoxidável 316 descoberto e comparado com um cupom similar com Gentoo aplicado. Os resultados dos testes são observados na Figura 5. A adição do Gentoo resultou em uma redução de aproximadamente duas ordens de magnitude na densidade de corrente catódica em comparação com o cupom de aço inoxidável 316 descoberto.



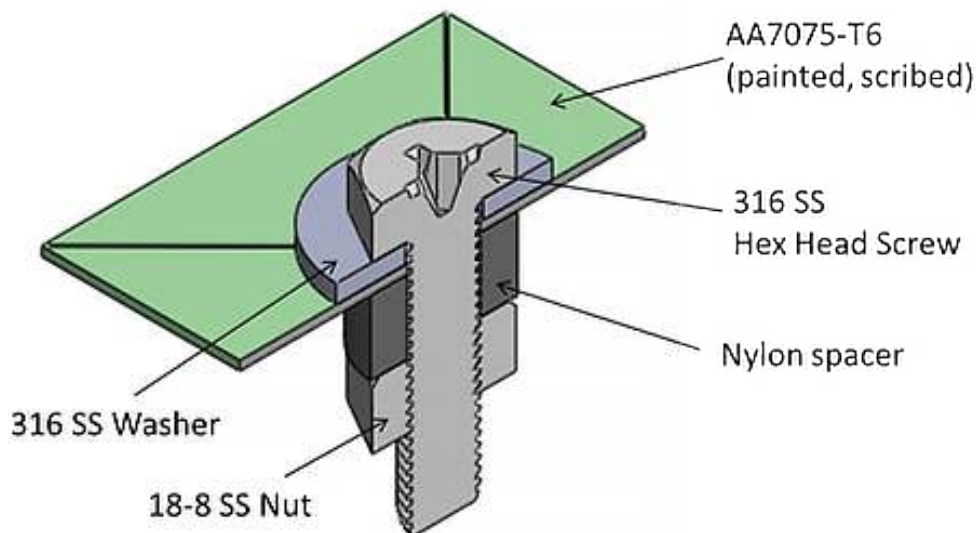
**Figura 5**

Resultados do teste de polarização para um substrato de aço inoxidável 316 descoberto comparado a um substrato similar com o Gentoo.

### Teste de corrosão galvânica do conjunto de fixadores

Como uma avaliação adicional, vários conjuntos de parafusos e arruelas de aço inoxidável 316 foram preparados sem revestimento e revestidos separadamente com Gentoo. Os fixadores foram fixados a cupons de liga de alumínio 7075-T6 (UNS A97075) com primer e acabamento e expostos a condições de corrosão acelerada para avaliação de corrosão galvânica. Especificamente, os conjuntos de fixadores consistiam em parafusos de rosca completa de ¼-20 x 1 polegada e arruelas planas correspondentes (Figura 6), com e sem Gentoo. Parafusos e arruelas selecionados também foram revestidos com cádmio de acordo com ASTM F1941 FE/CD 5A. Os cupons de alumínio 7075-T6 tinham aproximadamente 1 x 1,375 x 0,032 polegada. Com uma broca de ¼-20 um furo rosqueado foi criado na região central de cada um para fixação do fixador acoplado. Todos os painéis de alumínio foram inicialmente desoxidados com Alumiprep 33 e tratados com PreKoke, um promotor de adesão não cromato para tintas. Seguindo o pré tratamento, um primer foi epóxi

MIL-PRF-23377 e acabamento de poliuretano cinza MIL-PRF-85285D da PRC Desoto foram aplicados na superfície. Os cupons revestidos foram riscados à mão para expor o metal fresco e descoberto antes da fixação do fixador. Durante a montagem galvânica, espaçadores de nylon e 18-8 porcas de aço inoxidável foram usados na parte traseira dos cupons de alumínio e apertados a 25 in-lbs. Cada tipo de montagem distinta foi testada em 3 vezes por meio de colocação em condições de névoa salina cíclica ASTM B117.ns.

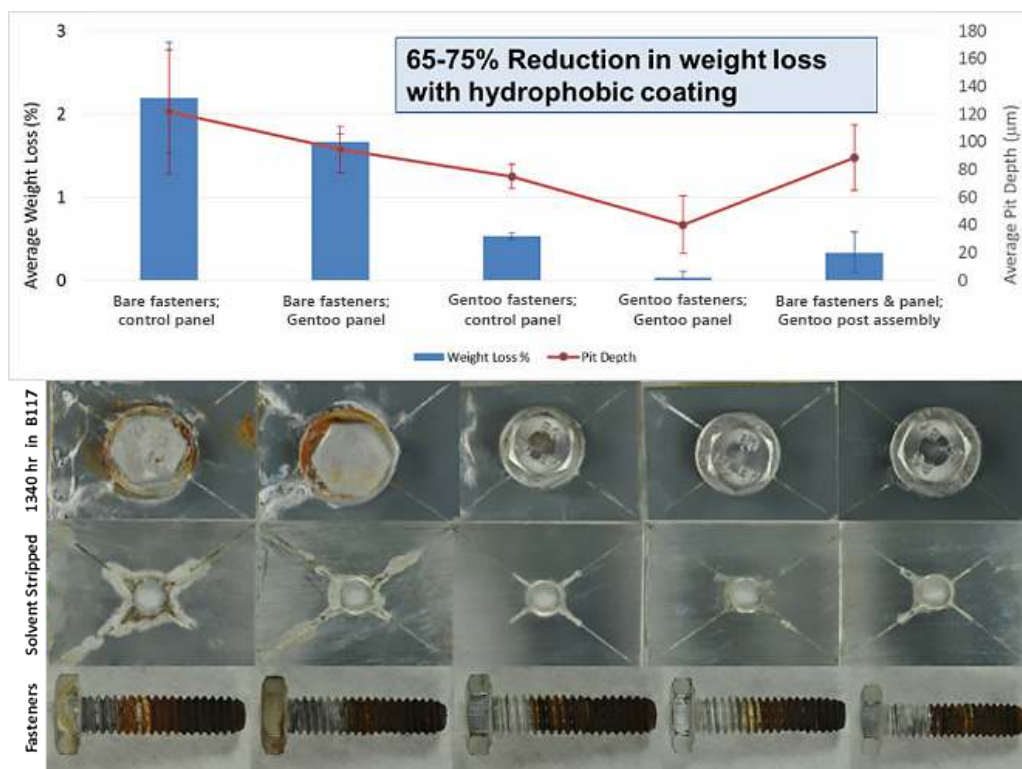


**Figura 6**

Visão geral esquemática dos componentes do conjunto de fixadores galvânicos usados para avaliação de corrosão do Gentoo aplicado a fixadores de aço inoxidável 316.

Fixadores de aço B7 descobertos e conjuntos de fixadores de aço B7 revestidos com cádmio (Cd) foram usados para acoplamento galvânico com os painéis de alumínio pintados e riscados. Foram usados conjuntos de fixadores revestidos com controle e Gentoo. Após 648 horas de exposição ao B117, quantidades significativas de produto de corrosão eram evidentes com os conjuntos de fixadores de aço B7 descobertos, enquanto significativamente menos corrosão era evidente após 1340 horas de névoa salina com os fixadores de aço B7 revestidos com cádmio. Os conjuntos de teste foram removidos do B117, removidos com solvente e limpos usando as diretrizes ASTM G1 e avaliados quanto à perda de peso e medições de profundidade do buraco devido à corrosão. As peças foram removidas com solvente usando primeiro um removedor de tinta para aeronaves Rust-Oleum a 49°C, seguido por imersão em uma solução de remoção de ácido nítrico a 60-70% e enxaguada com etanol para remover qualquer resíduo. Os fixadores e painéis pintados tratados Gentoo demonstraram visualmente melhor resistência à corrosão e medições

de profundidade dos buracos dos painéis de alumínio descascado em ambos os conjuntos de fixadores B7 revestidos com cádmio e B7. O efeito de barreira física do Gentoo parece ser potencializado quando combinado com camadas depositadas eletroquimicamente, como chapeamento de Cd. Os resultados são exibidos na Figura 7.



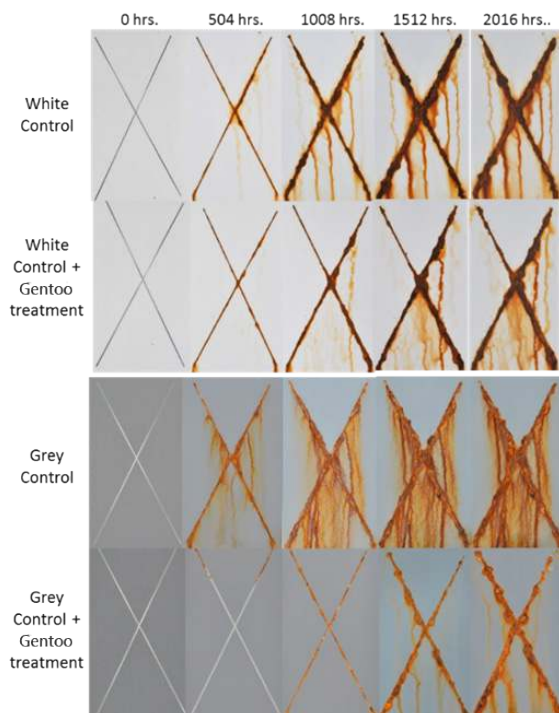
**Figura 7**

Imagens dos testes de montagem de fixadores galvânicos de parafusos B7 HSS revestidos com cádmio após 1340 horas de Salt Spray (imagens da linha superior). Linha do meio painéis de alumínio 7076-T6 revestidos ASTM G1, limpos usando solvente e medidos quanto à perda de peso e profundidade do poço (gráficos anexos). Linha inferior imagens laterais de fixadores representativos.

Nas seções a seguir, a resistência à corrosão por névoa salina contínua, a resistência a lascas combinada com a resistência à corrosão por névoa salina e a resistência à corrosão acelerada galvânica e HSS e os resultados da exposição ambiental no Kennedy Space Center na Flórida são relatados em detalhes. As avaliações de desempenho se concentraram em peças de aço de alta resistência revestidas com LHE ZnNi 300M (UNS K44220) ou 4130 (UNS G41300). Todas as peças rosqueadas HSS eram 300M, enquanto todos os painéis planos HSS eram de liga 4130. Todos os testes foram realizados em triplicado. Os procedimentos de teste específicos são discutidos na seção de resultados.

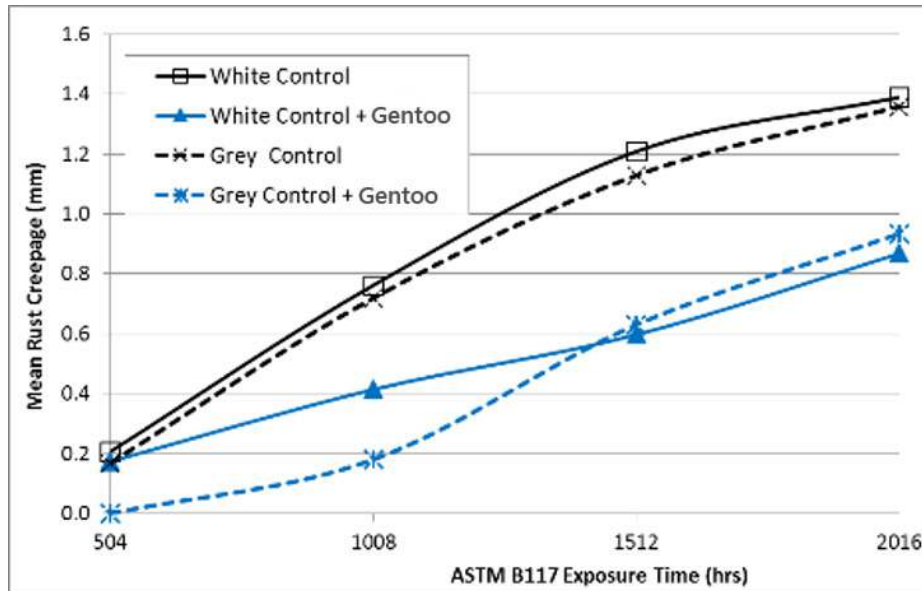
### Resistência a Corrosão

O teste acelerado de corrosão ASTM B117 foi realizado em painéis pintados com LHE Zn-Ni 4130 HSS. Os painéis planos foram preparados com um primer epóxi sem cromo MIL-PRF-85582 Classe N e revestidos com uma tinta de uretano branco brilhante CA8201/F17925 MIL-PRF-85285 Tipo I Classe H ou uma tinta de uretano brilhante CA8211/F3673 MIL-PRF-85285E Tinta cinza semi-brilhante tipo I. Os painéis de controle incluíam apenas o primer e os acabamentos. Gentoo foi aplicado aos painéis de controle selecionados. Todos os painéis foram riscados em "X" de acordo com MIL-PRF-32239 e colocados em névoa salina ASTM B117 com imagens tiradas a cada 500 h. A Figura 8 mostra as imagens do painel exposto à névoa salina para os controles de acabamento branco e cinza e painéis tratados com Gentoo. Quantidades significativas de ferrugem vermelha estão presentes em todos os painéis com o início da ferrugem em 500 h de exposição. A corrosão do scribe é classificada de acordo com ASTM D1654 para cada um dos painéis e é exibida graficamente na Figura 9. Para os acabamentos branco e cinza, o tratamento Gentoo reduz significativamente a fluência do scribe.



**Figura 8**

Imagens de painéis pintados LHE Zn-Ni 4130 HSS riscados MIL-PRF-32239 com o acabamento brilhante branco MIL-PRF-85285 ou o acabamento semi-brilhante cinza MIL-PRF-85285 com e sem Gentoo seguindo ASTM B117 Salt Fog Exposure



**Figura 9**

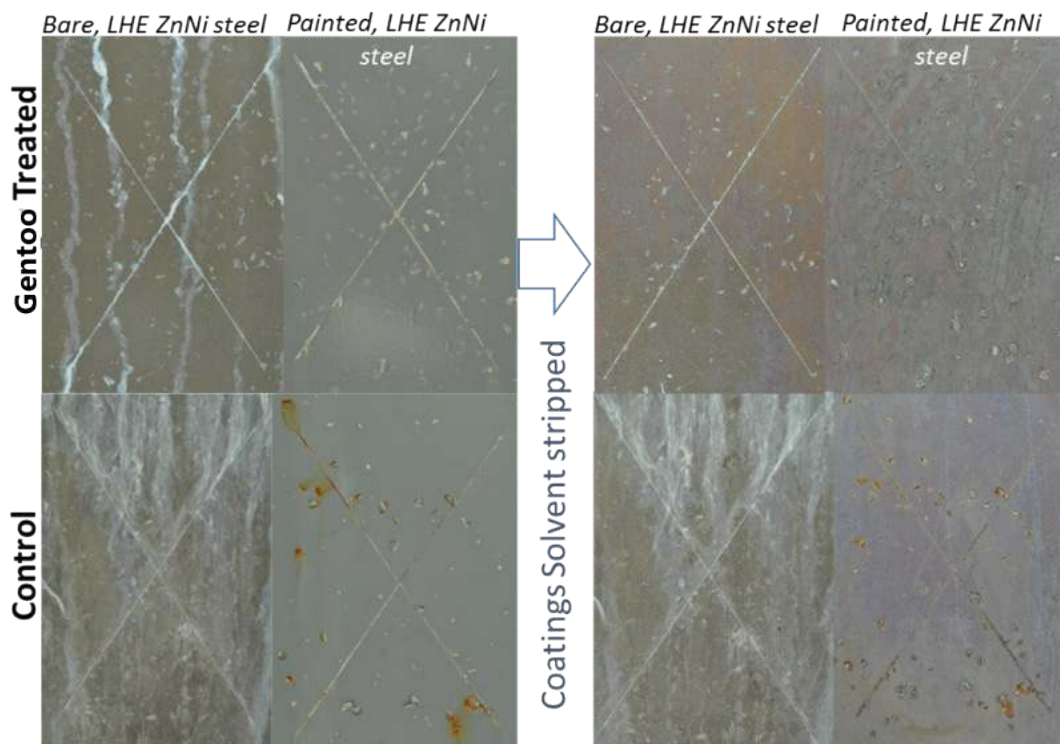
ASTM D1654 Scribe Classificações de corrosão de Scribed, ASTM B117 Salt Fog Exposto pintado, painéis LHE Zn-Ni 4130 HSS com e sem Gentoo

### Teste de resistência ao Impactos

A universidade do Dayton Research Institute (UDRI) emprega seu procedimento de laboratório CLG-LP-044 para realizar testes de detritos de objetos estranhos (FOD) em painéis revestidos de 4x6 polegadas de acordo com o método de teste padrão ASTM D 3170 para resistência a Impacto de revestimentos. Painéis revestidos e curados são testados em triplicado montando na câmara alvo do Gravelometer e disparando um kilo de pedras aluviais erodidas pela água de 3/8 - 5/8 polegadas no painel de teste com uma pistola de ar operando a 70 psi. O cascalho solto é removido do painel com uma fita de filamento 898, e o painel é classificado por uma comparação visual com chips padrão transparentes.

A UDRI realizou testes de resistência a Impactos em painéis de aço LHE Zn-Ni 4130 tratados e não tratados com Gentoo, bem como no primer epóxi tratado e controle MIL-PRF-23377 com acabamento de uretano cinza MIL-PRF-85285D pintados com painéis de aço LHE Zn-Ni 4130 . Nenhuma diferença foi reportada observada na proteção contra cavacos de revestimento entre os painéis de aço descoberto tratado e não tratado com Gentoo. Após o teste de resistência ao Impacto, os painéis danificados foram colocados em uma câmara de névoa salina ASTM B117. Após 2136 horas de exposição, o aço tratado com Gentoo e os painéis de aço tratados com primer/revestimento de acabamento demonstraram uma melhoria significativa da corrosão em relação ao aço descoberto e painéis de controle de aço pintado. O tratamento com Gentoo forneceu proteção adicional à exposição em função do impacto sobre os painéis de controle.

### ~13 weeks (2136 hr) B117 Exposure of FOD Tested Panels

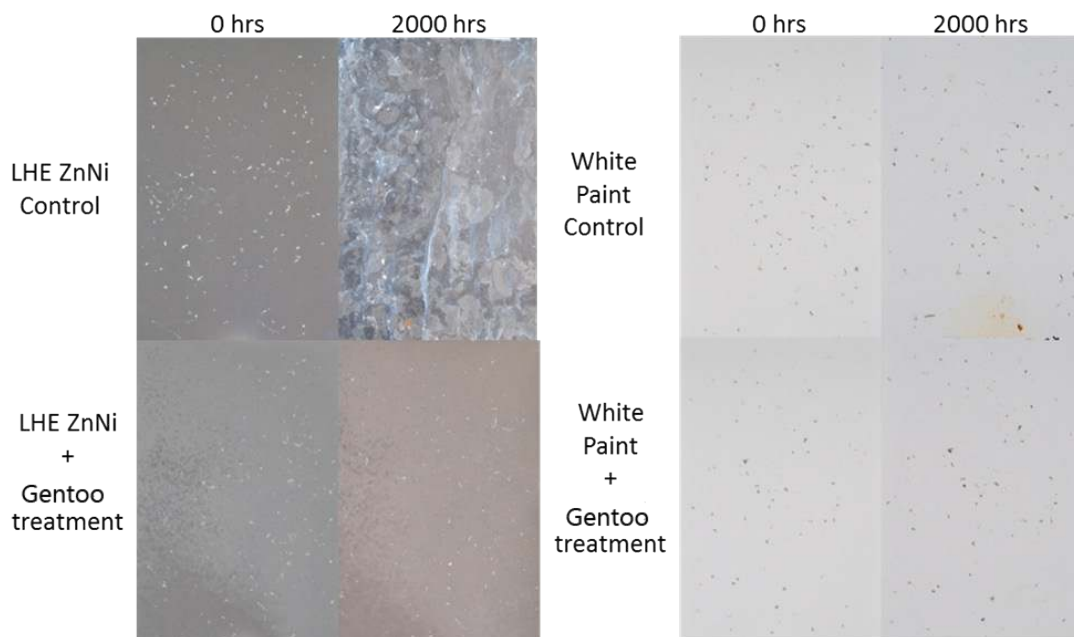


**Figura 10**

2136 horas de exposição à névoa salina B117 de FOD testado primário e MIL-PRF-23377 com acabamento MIL-PRF-85285D pintados com LHE Zn-Ni painéis HSS com e sem Gentoo



O teste de resistência ao Impacto foi repetido com painéis LHE ZnNi 4130 HSS com um primer epóxi sem cromo MIL-PRF-23377J Tipo I Classe N e revestidos com CA8201/F17925 MIL-PRF-85285 Tipo I Classe H tinta de uretano branca brilhante com e sem Gentoo. Bare LHE ZnNi 4130 com e tratamento de superfície Gentoo também foi incluído. Nenhuma diferença significativa resultou nas classificações de proteção contra cavacos entre os painéis com superfície tratada e não tratados. Os painéis foram colocados em névoa salina ASTM B117 por 2000 h de exposição. Manchas vermelhas de ferrugem são visíveis no painel de controle pintado, enquanto os painéis com Gentoo permanecem inalterados (Figura 11).

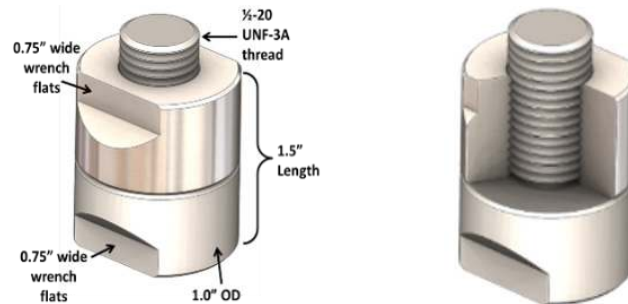


**Figura 11**

ASTM B117 Exposto, Testado à Resistência ao Chipping LHE ZnNi Chapeado 4130 HSS  
Painéis descobertos e pintados com e sem Gentoo

### **Avaliação da peça rosqueada**

As peças rosqueadas projetadas para representar um conjunto de porcas de trem de pouso foram usinadas em aço 300M em um componente de extremidade aberta que se destina a focar a corrosão ao longo da interface rosqueada macho/fêmea, bem como a interface plana onde as duas metades do cupom se encontram. Uma combinação adicional usando peças fêmeas de alumínio 7075-T6 acopladas a peças macho de 300M está incluída na avaliação, criando uma interface galvânica semelhante às superfícies acopladas em conjuntos de rodas de trem de pouso e maior potencial de corrosão do que interfaces 300M retas.



**Figura 12**

Exemplo de cupom rosqueado de extremidade aberta para teste de corrosão acelerada. O material de construção é aço 300M, assim como porcas fêmeas de alumínio 7075-T6 com parafusos machos 300M para montagens galvânicas. As áreas planas em cada extremidade permitirão a aplicação de torque adequada. A intenção do projeto é permitir a entrada de umidade através do perímetro da interface acoplada e ao longo da interface de rosca, que caracteriza as configurações dos componentes do trem de pouso.

LHE Zn-Ni é aplicado em todas as superfícies de cupons 300M desmontados, com folga apropriada nas roscas para aplicação do Gentoo. O primer epóxi MIL-PRF-85582 Classe N e o acabamento branco de poliuretano MIL-PRF-85285E Classe H são pulverizados em todas as superfícies externas. Nenhum primer/acabamento é aplicado nas roscas macho ou fêmea. Esta configuração deixa as meias interfaces de cupons rosqueadas e planas LHE Zn-Ni chapeadas apenas. Gentoo é então aplicado 1) ao longo de todas as faces externas sobre o acabamento de poliuretano e 2) ao longo das superfícies rosqueadas macho/fêmea. Essa configuração permite a comparação de como os cupons com e sem Gentoo aplicados se comportam sob condições de corrosão cíclica acelerada, como as especificadas na Tabela 6. Além do teste de corrosão acelerado, as peças rosqueadas foram submetidas à exposição ambiental da Flórida no local da praia de corrosão do Centro Espacial Kennedy . Assim, existem comparações diretas com o desempenho acelerado e ambiental.

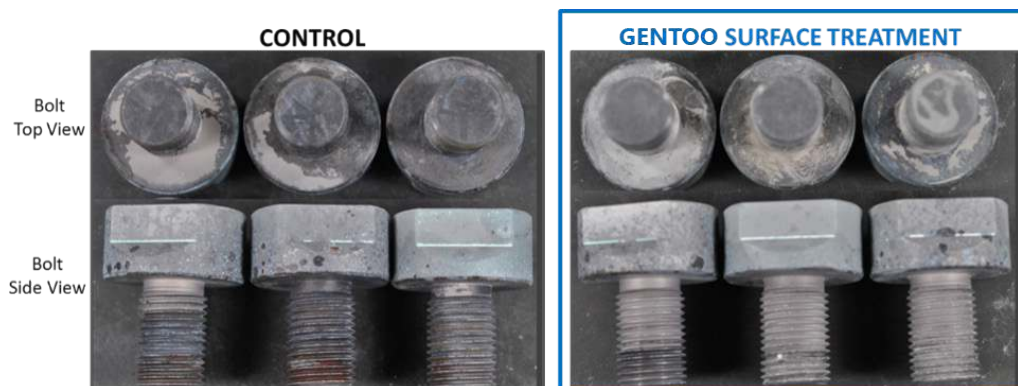
Tabela 6 Comparação de Teste de Exposição Ambiental Acelerada		
	B117	GMW14872
<b>Solução Salina</b>	5% NaCl	0.9% NaCl, 0.1% CaCl <sub>2</sub> , e 0.075% NaHCO <sub>3</sub>
<b>Temperatura</b>	35°C	Varia; 23°C durante o sal
<b>pH</b>	6.5 - 7.2	Medio (6-9)
<b>Condições</b>	Névoa Constante	8 h Fase Ambiente w/ quatro 15 s Sal spray; 8 h Estágio úmido 100%RH at 49°C; 8 h Estágio seco <30%RH at 60°C
<b>Duração do Ciclo</b>	Sem Ciclo	1 ciclo = 1 dia (24 h)
<b>Duração típica do Teste</b>	8 - 3000 h	80-120 ciclos

Os conjuntos 300M e galvânicos (parafuso 300M com porca de alumínio 7075-T6) foram pintados separadamente, metade das quais tratadas com Gentoo. Gentoo foi aplicado por spray nas laterais pintadas e aplicado por derramamento sobre as rosas. Todos os sistemas foram curados à temperatura ambiente. Um composto de junta estática inibidor de corrosão, Corban-27L, foi usado em metade das montagens. Todos os parafusos, porcas de controle e tratados com Gentoo foram montados com um torque de 50 pol-lb e testados em triplicata. Após a conclusão dos testes, uma mídia plástica de ureia 40/60 foi usada para jatear as peças rosqueadas para remover a tinta e o produto de corrosão para comparações finais. Os conjuntos 300M são os mais relevantes para o trem de pouso da Força Aérea dos Estados Unidos (USAF). Assim, os resultados da configuração de 300M são descritos em detalhes, enquanto os resultados galvânicos são resumidos em uma tabela no final da seção. A Figura 13 até a Figura 15 destacam as diferenças observadas entre o controle e as peças 300M tratadas com Gentoo após 5040 h de exposição à névoa salina ASTM B117. As peças foram retiradas do teste devido à quantidade de ferrugem vermelha nas rosas expostas da amostra de controle. Após a desmontagem, uma quantidade significativa de corrosão e produto salino (acumulação branca) foi encontrada nas rosas não expostas do parafuso e da porca do controle. As rosas não expostas da amostra tratada com Gentoo estavam imaculadas e brilhantes na porca e em grandes seções do parafuso. Após o jateamento, as rosas do parafuso e da porca tratadas com Gentoo permaneceram em cinza claro - indicando a presença imperturbável de LHE Zn-Ni (Figura 14). As rosas do parafuso de controle estavam escuras e mostram áreas de ferrugem vermelha após o jateamento. Características semelhantes estão presentes nas rosas das porcas de controle (Figura 15). O escurecimento ao redor das rosas indica que o revestimento LHE Zn-Ni foi completamente consumido durante os testes para as rosas do parafuso de controle e da porca. Gentoo forneceu significativamente mais proteção para as peças 300M em ASTM B117. A USAF especificou o primer epóxi e o sistema de pintura de acabamento de uretano com base em seu uso. Pequenas bolhas surgiram em todas as peças rosqueadas LHE ZnNi 300M após algumas semanas de exposição acelerada à corrosão em ASTM B117 e GMW 14872. Investigações posteriores revelaram uma incompatibilidade entre os sistemas de primer e acabamento recomendados nas peças LHE ZnNi HSS, resultando em bolhas. Os efeitos da formação de bolhas são visíveis como manchas escuras nas partes descascadas (ou seja, Figura 15). As bolhas não foram observadas durante a exposição atmosférica, nem parecem afetar os resultados de corrosão nas rosas das peças.



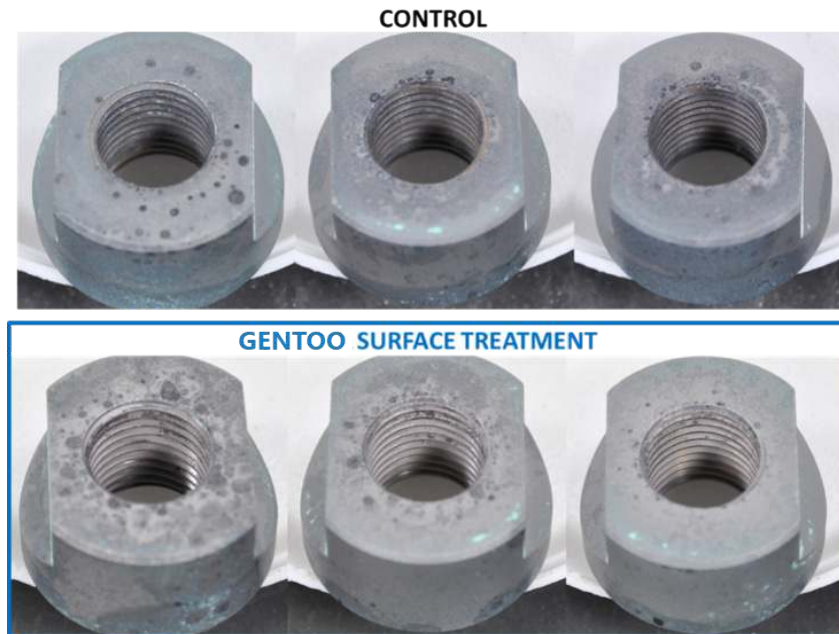
**Figura 13**

Exposição de componentes de controle e tratados com Gentoo 5040 h ASTM B117 (caixa azul) LHE Zn-Ni 300M rosqueados, como removidos do teste



**Figura 14**

Controle sem mídia plástica e tratado Gentoo (caixa azul) Parafusos LHE Zn-Ni 300M de montagens 300M após 5040 h de exposição ASTM B117



**Figura 15**

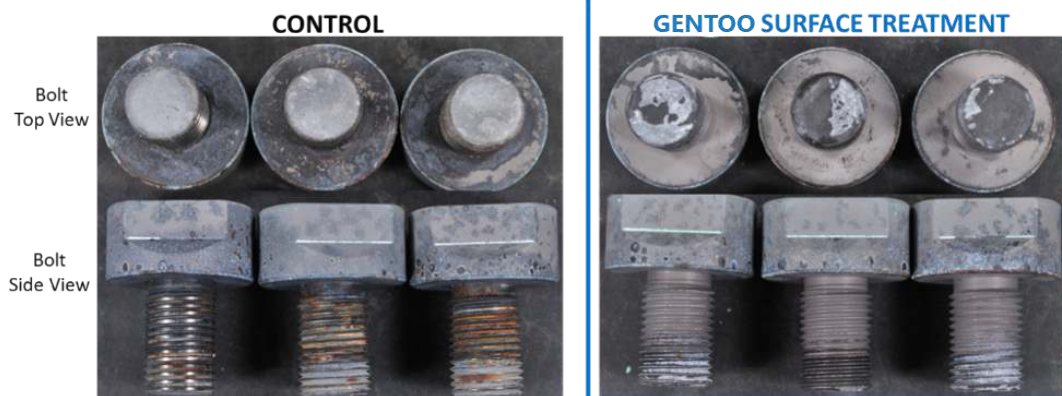
Mídia plástica decapada Controle e Gentoo tratado (caixa azul) LHE Zn-Ni 300M porcas de 300M montagens após 5040 h de exposição ASTM B117

A exposição GMW 14872 das peças rosqueadas 300M apresentam resultados semelhantes aos encontrados após a exposição à névoa salina. A Figura 16 até a Figura 18 mostram o controle e as partes tratadas com Gentoo após 272 ciclos (6528 h) de exposição GMW 14872. As peças foram finalmente removidas dos testes devido à presença de ferrugem vermelha nas roscas expostas das amostras de controle. Tanto os fios de controle quanto os tratados com Gentoo apresentaram produto branco acumulado nos fios expostos. O produto branco não pôde ser removido por lavagem ou enxugamento das amostras de controle e foi um produto do consumo de LHE ZnNi. As manchas brancas na superfície do Gentoo, no entanto, podem ser lavadas com água, como mostrado nas pontas dos fios na Figura 17, ou removidas com um pano macio. Durante o teste GMW 14872, há uma série de névoas salinas durante as condições ambientais. Devido à natureza hidrofóbica do Gentoo, o spray se espalha na superfície dos fios expostos. Quando a água evapora, ela deposita o sal para trás, fornecendo um local para que mais sprays se acumulem e se depositem. Apesar do acúmulo de sal, o Gentoo continuou a fornecer uma excelente barreira contra o material indutor de corrosão e o LHE ZnNi e o 300M HSS subjacente não são afetados. A excelente proteção fornecida pelo tratamento Gentoo também é evidente nas roscas não expostas do parafuso e das porcas. As peças tratadas com Gentoo são brilhantes, cinzas e imaculadas, enquanto as peças de controle são escuras e contêm muitas áreas com ferrugem vermelha.



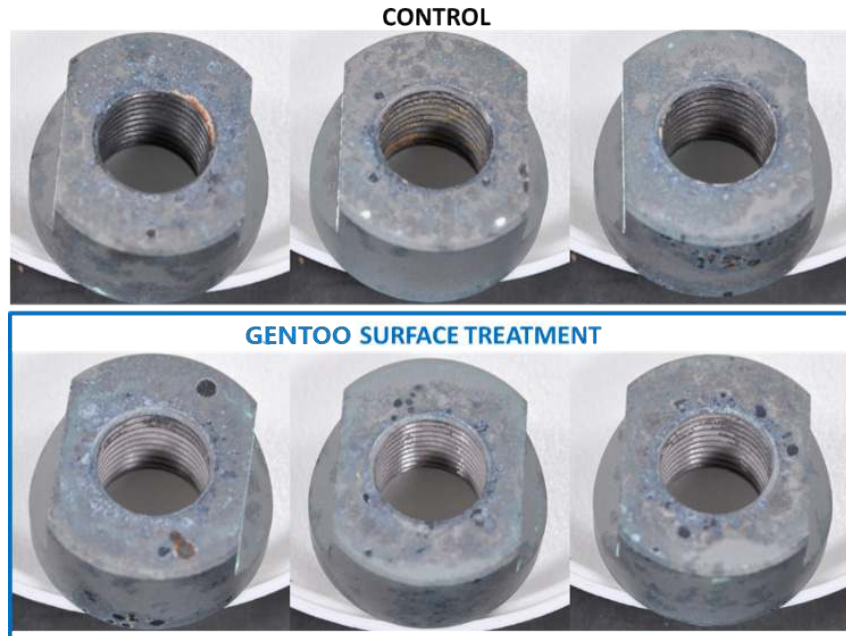
**Figura 16**

Exposição de componentes de controle e tratados com Gentoo 272 ciclos de GMW14872(caixa azul) LHE Zn-Ni 300M rosqueados, conforme removido do teste



**Figura 17**

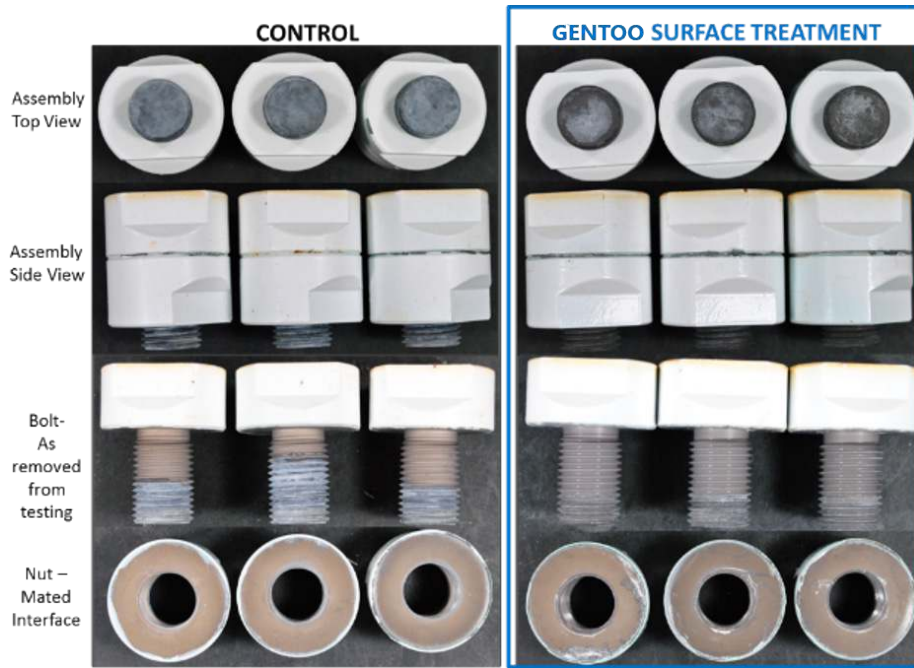
Controle sem mídia plástica e tratado Gentoo (caixa azul) Parafusos LHE Zn-Ni 300M de montagens 300M após 272 ciclos de exposição GMW14872



**Figura 18**

Mídia plástica sem controle e tratada com Gentoo (caixa azul) LHE Zn-Ni 300M porcas de 300M montagens após 272 ciclos de exposição GMW14872

Peças rosqueadas idênticas de 300M passaram por 16 meses de exposição atmosférica no Kennedy Space Center, na Flórida. As imagens das peças desmontadas são exibidas na Figura 19 e na Figura 20. As roscas expostas dos conjuntos de controle mostram o consumo de LHE ZnNi branco na parte superior e nas laterais das roscas, enquanto as roscas Gentoo exibem um consumo mínimo de LHE ZnNi. As roscas internas dos parafusos Gentoo são brilhantes e inalteradas, enquanto o consumo de LHE ZnNi nas roscas em direção à cabeça do parafuso é óbvio para os controles. Da mesma forma, as roscas internas das porcas tratadas com Gentoo permanecem inalteradas, enquanto o consumo de LHE ZnNi é observado nas roscas de controle.



**Figura 19**

16 meses do Centro Espacial Kennedy, Flórida, exposição à beira-mar de controle e componentes rosqueados Gentoo tratados (caixa azul) LHE Zn-Ni 300M, conforme removido do teste



**Figura 20**

Porcas LHE Zn-Ni 300M tratadas com Gentoo e controle (caixa azul) com vista das roscas internas de montagens de 300M após 16 meses de exposição à beira-mar do Kennedy Space Center, Flórida



A Tabela 7 destaca os melhores desempenhos das peças rosqueadas para cada uma das variáveis de teste por método de exposição de teste. Foram avaliadas peças galvânicas e somente peças 300M, juntamente com conjuntos com e sem o composto inibidor de corrosão da junta. O alumínio 7075-T6 nas montagens galvânicas foi tratado com um promotor de adesão sem cromo antes da pintura. As peças rosqueadas foram testadas de acordo com a exposição de névoa salina ASTM B117, exposição cíclica GMW 14872 e exposição ambiental externa de 16 meses no Kennedy Space Center (KSC). A duração da exposição para cada um dos testes também está listada. O tempo de remoção do teste variou dependendo da quantidade de produto de corrosão observado nas roscas expostas. As peças tratadas com Gentoo superaram as peças de controle em todos os métodos de teste de corrosão acelerada, exceto por uma que exibiu um desempenho semelhante. Os testes atmosféricos no KSC foram concluídos recentemente e as diferenças de desempenho são baseadas na condição das roscas expostas e nas impressões iniciais das roscas na desmontagem das peças. O uso de um composto inibidor de corrosão atrasa significativamente o início da corrosão em testes de exposição acelerada e externa. Longos tempos de exposição em testes acelerados resultaram em diferenças notáveis entre as peças tratadas com Gentoo e as de controle. A curta exposição atmosférica provavelmente não foi longa o suficiente para exibir essas diferenças.

Tabela 7				
Executores operacionais para comparação entre conjuntos de peças rosqueadas de controle e tratadas com Gentoo após a conclusão da corrosão acelerada e exposição atmosférica				
Tipo de montagem	Galvanico		300M	
	Sim	Não	Sim	Não
Composto inibidor de corrosão				
<b>ASTM B117 névea salina</b>	Gentoo 3024 h	Gentoo 3024 h	Gentoo 3024 h	Gentoo 5040 h
<b>Ciclo GMW 14872</b>	Gentoo 272 ciclos	Similar 272 ciclos	Gentoo 231 ciclos	Gentoo 272 ciclos
<b>Kennedy Space Center Exposição Atmosférica</b>	Similar 16 meses	Gentoo 16 meses	Similar 16 meses	Gentoo 16 meses

## Conclusão

Foi demonstrada a preparação e aplicação do revestimento Gentoo hidrofóbico resistente à abrasão e fluidos sobre aço chapeado de alta resistência, alumínio anodizado e pré-tratado, bem como sobre o primer epóxi MIL-PRF-23377 com tintas de acabamento de poliuretano MIL-PRF-85285. Gentoo fornece proteção adicional contra corrosão significativa em relação aos revestimentos protetores atuais quando avaliado com métodos padronizados de teste de corrosão acelerada. Gentoo demonstrou benefícios para aplicações resistentes à corrosão através de: i) proteção de barreira aumentada com ordens de magnitude redução na densidade de corrente e perda de impedância reduzida após exposição ASTM B117, ii) resistência à corrosão B117 melhorando desempenho



contra revestimentos aeroespaciais militares padrão e superfícies metálicas (aço LHE Zn-Ni 4130, alumínio 7075-T6 anodizado e não revestido), iii) redução de 65-75% na perda de peso com aplicação de Gentoo em um conjunto de fixação galvânica, e iv) adição de acelerador proteção contra exposição ambiental seguindo o teste de resistência a lascamento ASTM D 3170.

Gentoo também tem muitos atributos chave de aplicação de revestimento: i) capacidade de ser aplicado usando métodos de pulverização de alto volume e baixa pressão (HVLP) atualmente empregados, ii) formulação barata e escalável, iii) excelente ancoragem e compatibilidade com os acabamentos MIL-Spec atuais, materiais de revestimento e superfícies metálicas, e iv) aplicação fina e leve (4-6  $\mu\text{m}$ ) resultando em pouco peso adicionado.

A natureza hidrofóbica do Gentoo fornece excelente escorrimento de líquidos, e é capaz de mover água, iniciadores de corrosão e outros líquidos para longe das áreas danificadas, resultando em uma redução significativa na corrosão.

Gentoo é durável, demonstrando resistência a impacto superior aos revestimentos atuais, possuindo excelentes propriedades de barreira física, reduzindo a penetração de espécies iniciadoras de corrosão. Finalmente, Gentoo fornece proteção adicional contra corrosão sobre superfícies pintadas e revestidas em ambos os testes de corrosão estática e cíclica acelerada, bem como em condições atmosféricas reais. a 200°C e é facilmente limpo sem afetar as propriedades da superfície usando métodos de limpeza padrão.



UltraTech Brasil, São Paulo/BR  
+55 12 3028-5624 e 12 99101-4699  
[www.gentoo.com.br](http://www.gentoo.com.br)

