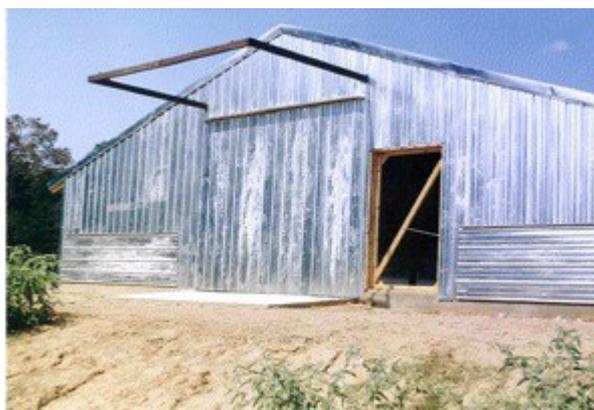


3. Corrosão – Mecanismos, Prevenção e Teste	
<b>GalvInfoNote</b>	<b>Protegendo Chapas de Aço Galvanizadas de Manchas de Estocagem</b>
<b>3.2</b>	
Rev1.2jan 2011	

## Introdução

**Manchas de Estocagem**, quando dizem respeito a chapas galvanizadas, são manchas de corrosão que são normalmente brancas, mas que também podem ser de cor cinza ou preta, depositadas na superfície. Já que a forma de descoloração mais comum tem a aparência branca, essas manchas são chamadas de **ferrugem branca**. Isso pode ocorrer quando chapas de aço galvanizado que estão em contato próximo (em uma bobina ou empilhadas em pilhas/feixes) umedecem, tanto por intrusão direta de água quanto pela condensação entre as superfícies. A descoloração se dá devido aos produtos de corrosão que se formam após o zinco reagir com a umidade na falta de livre circulação de ar.



**Construção feita utilizando painéis laminados galvanizados de um feixe que apresentava grandes quantidades de ferrugem branca.**

Observação: Essa quantidade volumosa de ferrugem branca não ocorreu após o edifício ter sido construído. Quando expostos livremente ao ar, os produtos de corrosão de zinco formam um filme fino e firme. O acúmulo na superfície visto aqui ocorreu enquanto as chapas estavam armazenadas em um feixe úmido.

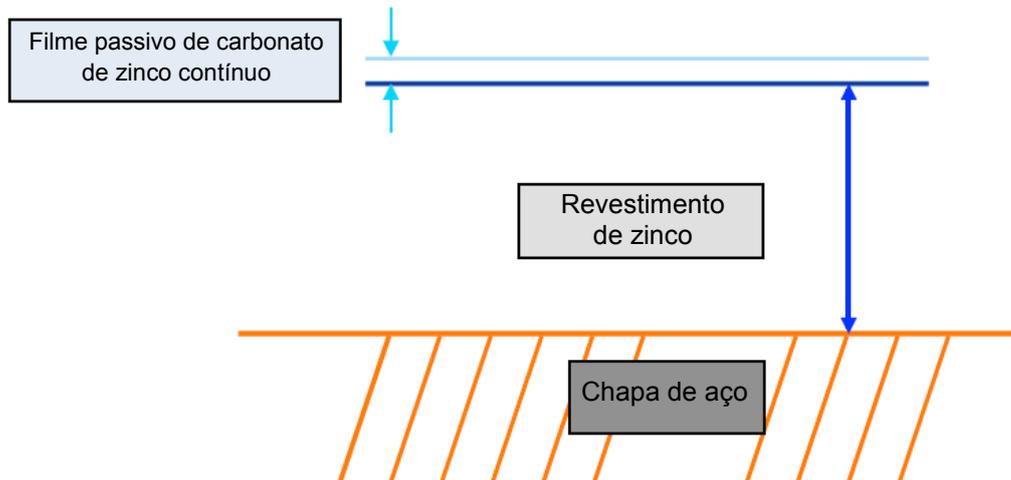
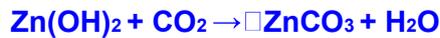
Antes de discutir a mancha de estocagem em mais detalhes, vamos primeiro rever o que acontece quando um revestimento galvanizado (zinco) corrói em um ambiente.

## Porque o Zinco Protege o Aço?

O zinco, por sua natureza, é um metal “reativo” e tende a corroer com relativa rapidez quando exposto à umidade. Por que, então, ele protege o aço quando uma chapa zincada é exposta à atmosfera?

Quando o zinco corrói na presença do ar e da umidade, ele passa por uma série de reações químicas, mudando do zinco metálico na superfície para outros compostos químicos. Na presença de ar, o zinco recém-exposto reage com o oxigênio para formar uma camada de óxido muito fina. Na presença de umidade, o óxido de zinco reage com a água, resultando na formação de hidróxido de zinco. Com o tempo e sob influência do desgaste cíclico, o produto final da corrosão é o carbonato de zinco (formado pela reação entre o hidróxido de zinco e o dióxido de carbono no ar). O carbonato de zinco é um filme fino, firme, compacto e estável (insolúvel em água). Quando a superfície é novamente exposta à água ou à condensação, o filme protetor serve como uma barreira entre a umidade e o zinco que está por baixo. Este tipo de camada química é chamada de **filme passivo**. É a presença deste filme que diminui a reatividade do zinco, reduzindo dramaticamente o índice de corrosão do revestimento de zinco.

A série de reações químicas descritas acima é:



**Um esquema que passa através da espessura mostrando o filme protetor passivo de carbonato/óxido contínuo que se forma em chapas galvanizadas expostas à atmosfera.**

Normalmente, quando chapas com baixo teor de carbono corroem, os produtos da corrosão (óxido de ferro e/ou hidróxido de ferro) não formam um filme passivo, protetor e contínuo. Em vez disso, eles tendem a desgastar ou desenvolver rachaduras, o que permite o contínuo acesso de ar e umidade ao ferro, continuando a reação de corrosão. **A diferença na formação do filme de óxido entre o ferro e o zinco que está por baixo é a base da razão pela qual a galvanização estende a vida do aço.** Para maiores informações de como o zinco protege o aço, consulte a GalvInfoNote 3.1.

Na maioria das aplicações, o filme de superfície passivado que se forma no zinco, ao mesmo tempo em que é firme, não é totalmente protetor e a corrosão contínua ocorre com o tempo. No entanto, devido à natureza do filme passivo, a taxa de corrosão de um revestimento de zinco é diminuída substancialmente – normalmente em fatores de 10 se comparado ao aço nu.

### Por que o Zinco é Propenso a Manchas de Estocagem (Ferrugem Branca)?

Como declarado acima, o zinco é um metal muito reativo. Ele exibe uma taxa de corrosão baixa somente porque um filme passivo contínuo se forma na superfície. Uma parte crucial do mecanismo de corrosão é que a superfície precisa secar ao ar a fim de desenvolver e manter esta camada passiva. É durante o período de secagem de um ciclo de chuva que o filme passivo de carbonato de zinco se desenvolve. Os ciclos atmosféricos úmido-secos são, portanto, necessários para o desenvolvimento da passividade do zinco.

Quando chapas galvanizadas se molham ainda na forma de bobina ou empilhadas em feixes em uma planta de conformação de chapas ou em canteiros, manchas de estocagem podem ocorrer. A mancha de estocagem (ferrugem branca) é simplesmente um composto químico, *hidróxido de zinco* ( $\text{ZnOH}$ ), que se forma quando o zinco está em contato com a umidade. Ele não se converte em filme passivo de carbonato de zinco porque as

chapas estão embaladas de modo apertado e não estão expostas livremente ao ar contendo oxigênio/dióxido de carbono. Um filme de carbonato de zinco protetor não tem a oportunidade de se formar. Já que a reação de corrosão continua a prosseguir devido às superfícies úmidas sem oxigênio e dióxido de carbono, um grande acúmulo de hidróxido de zinco pode se formar. O zinco é um metal muito reativo na presença de umidade quando as condições não permitem a formação do filme passivo.

Quando a ferrugem branca ocorre, há uma perda real do revestimento de zinco e alguma parte do zinco que é destinado a proteger o produto de chapa de aço em serviço é consumido pela oxidação. O tamanho do dano depende principalmente de:

1. Tempo de exposição à umidade,
2. A temperatura durante a estocagem, e
3. A presença de agentes de aceleração de corrosão, tais como sais contendo cloreto.

Geralmente, a quantidade de ferrugem branca parece ser bem densa quando, na verdade, a quantidade de zinco corroído é pequena. Isso ocorre porque o ZnOH é um pouco flocoso e se acumula na área úmida. Quando o ZnOH seca em ambiente aberto, ele se converte em óxido de zinco (ZnO). Se a aplicação não for esteticamente importante, o revestimento galvanizado deve apresentar um bom desempenho e atender às necessidades e expectativas do usuário final. Na maioria dos casos envolvendo exposição externa, a ferrugem branca desaparecerá com o tempo, ao ser lavada pela chuva ou quando for convertida para óxido de zinco e então carbonato de zinco.

A superfície do revestimento de zinco em uma área que sofreu ferrugem branca fica “marcada” e não possui mais a aparência brilhante e reflexiva de uma chapa recém-produzida. A remoção da ferrugem branca (consulte a seção no final deste artigo) não eliminará a aparência de marcada. É por isso que, para aplicações onde a aparência é crucial, chapas galvanizadas com ferrugem branca podem não ser aceitáveis.

Há momentos, embora raros, quando as chapas ficam úmidas por muito tempo, o bastante para que a corrosão do zinco seja séria. Nestes casos, o produto pode não oferecer mais a resistência contra corrosão desejada para a aplicação. Além disso, a ferrugem branca pode ter uma aparência cinza escuro ou preta. Quando as manchas no galvanizado ficam pretas, isso normalmente significa que o ferro se tornou parte do produto de corrosão, isto é, o zinco foi consumido o suficiente para expor o substrato de aço. Contudo, é necessário um observador treinado para determinar se a quantidade de corrosão que ocorreu foi severa ou não.

## Prevenindo a Mancha de Estocagem

Obviamente, é muito desejável que medidas de precaução sejam tomadas para evitar manchas de estocagem na chapa galvanizada. Geralmente, a aplicação do cliente exige uma aparência estética da superfície galvanizada brilhante, e nenhuma quantidade de ferrugem branca é aceitável. Felizmente, foram desenvolvidas práticas que permitem o envio e a estocagem de chapas galvanizadas sem a formação de ferrugem branca.

### Tratamentos Químicos (Passivação)

O melhor caminho para minimizar a chance de formação de ferrugem branca durante o envio e a estocagem de bobinas, de pilhas de chapas cortadas e de feixes empilhados de painéis conformados por cilindros em canteiros é a aplicação de um tratamento químico pelo fabricante da chapa de aço. Este revestimento de passivação é aplicado na linha de galvanização. É muito fino e normalmente invisível. O tipo mais comum de tratamento de passivação tem sido o revestimento de cromato a base de água. Tratamentos de cromato contêm cromo hexavalente. Eles são normalmente aplicados por meio de pulverização da solução sobre a superfície; após, o excesso é “secado” utilizando cilindros revestidos com borracha. Em seguida, o filme de passivação é totalmente secado antes de rebobinarem a chapa revestida na extremidade de saída da linha de galvanização.

Devido a preocupações com saúde, segurança e meio ambiente, a utilização de tratamentos hexavalentes estão sendo descontinuados. Eles estão sendo substituídos por tratamentos que são livres de cromo hexavalente; são aqueles nos quais o cromo está somente em estado trivalente ou produtos

inteiramente livres de cromo. Consulte a GalvInfoNote 2.10 para mais informações sobre estes novos tratamentos.

Os revestimentos de passivação têm sido utilizados por muitos anos e seu desempenho é excepcional com relação à minimização da tendência à manchas quando a chapa se molha na forma de bobina ou de feixe. Fabricantes de chapa de aço utilizam o termo “tratamento de passivação” ou “tratamento químico” para esse tratamento de superfície. Ambos os termos são utilizados alternadamente. **Quando um pedido é feito, é preciso apontar se o tratamento químico “é” ou “não é” necessário.**

É importante lembrar que os tratamentos de passivação aplicados por laminadores **minimizam** a tendência à mancha de estocagem; eles **não eliminam** sua ocorrência caso o produto esteja sujeito a condições muito adversas. Um exemplo seria uma bobina molhada durante o trajeto até um cliente e então a bobina é deixada em um galpão por um longo período de tempo, sem nenhuma tentativa de secá-la. Mesmo se o produto for pedido com tratamento químico, ainda é importante evitar umidade entre revestimentos, seja em forma de bobinas, chapas em bruto ou feixes.

Tratamentos de passivação de superfície também auxiliam o produto de outra maneira. Quando as chapas revestidas são colocadas em uso e expostas à atmosfera, o tratamento de passivação ajuda a manter a aparência brilhante. Com o passar do tempo, o brilho diminui, mas o tratamento de passivação auxilia a manter a aparência resplandecente e metálica por um tempo considerável. A longevidade deste efeito depende do tipo de tratamento, do ambiente e da corrosividade relativa de cada lugar. Além disso, à medida que a superfície escurece, ela tende a continuar de modo mais uniforme do que se as chapas não fossem passivadas.

Visualmente, é geralmente impossível dizer se a chapa galvanizada foi passivada. A Norma ASTM D6492 – *Detecção de Cromo Hexavalente em Chapas Revestidas com Zinco e com Liga de Zinco/Alumínio* pode ser utilizada para determinar se a chapa foi tratada com uma solução de passivação a base de cromo. Como qualquer cromo hexavalente no tratamento conseqüentemente oxida para o cromo trivalente, este teste somente funciona em chapas passivadas recentemente (no máximo alguns meses depois).

Outro método rápido de descobrir se a chapa galvanizada foi passivada, com ou sem tratamento com cromo, é através de um teste de umidade de condensação simples. Coloque um quadrado de 4” [100 mm] de chapa galvanizada como tampa de um béquer contendo água a 140°F [60°C] e deixe por 15 minutos. Se o lado de baixo se mantiver resplandecente, a chapa foi passivada. Se ficar manchado em qualquer grau, a chapa não foi passivada.

Para mais informações sobre passivação, consulte a GalvInfoNote 2.10.

### **Óleos de Passivação**

Além do uso de tratamentos de passivação química, outros tratamentos de superfície podem ser utilizados. Os mais comuns são óleos inibidores de ferrugem. São óleos que contêm inibidores de corrosão que proporcionam proteção de mancha de estocagem. Os inibidores são normalmente produtos polares projetados para serem muito bem absorvidos por superfícies de metal. Eles servem como solução carregadora do inibidor. Como em tratamentos com cromato, o óleo é aplicado pelo fabricante da chapa de aço na linha de galvanização. Um método comum de aplicação de óleo é por meio de um aplicador eletrostático. Eles não são destinados a proporcionar lubrificação suficiente para aplicações como estampagem profunda, mas eles proporcionam alguma lubrificação e podem auxiliar com algumas operações de conformação. Outro tipo é o “óleo evaporativo”. É um composto volátil que evapora quando exposto ao ar, deixando para trás um inibidor de corrosão na superfície da chapa.

Eles são eficientes em proporcionar proteção contra ferrugem de umidade devido a suas habilidades em prevenir a condensação de umidade entre as dobras de uma bobina ou chapas de um feixe. Não são tão eficientes, entretanto, na prevenção de danos causados por excesso de água, como chuva, entre dobras de uma bobina.

## Qual Tratamento Aplicar

Geralmente, a utilização final define o que deve ser aplicado, se um tratamento de passivação ou se uso de óleo inibidor de ferrugem. Normalmente, quando a utilização final não envolve pintura, o método de passivação é o melhor, embora alguns passivadores sejam compatíveis com a pintura. Se a aplicação requer pintura na fábrica, os óleos inibidores de ferrugem são geralmente melhores, mas verifique com o produtor se eles utilizam um passivador pintável.

Devido à mudança de situação com tratamentos de passivação, é melhor para um usuário discutir suas necessidades com um produtor de chapas galvanizadas. Por exemplo, é possível pedir um produto com tratamento químico e com óleo. Normalmente, esta combinação proporciona uma proteção da ferrugem branca melhor do que tratamento químico ou óleo usados separadamente, e deve ser considerada quando condições ruins de estocagem são esperadas. Quando a utilização final envolve soldagem por pontos ou pré-pintura de bobina, pode ser necessário pedir produtos não passivados. Quando este for o caso, **deve haver absoluta certeza que o produto não será molhado antes de ser utilizado**. Precauções que podem ser tomadas são explicadas abaixo.

## Outras Formas de Proteger o Galvanizado da Ferrugem Branca

Apesar da utilização de óleos ou de tratamentos químicos, há outras formas de minimizar as tendências a manchas de estocagem. Um método comum é o “embrulhamento de bobina” feito pelo fabricante da chapa. Tanto embalagens de plástico quanto de papel estão disponíveis. O material da embalagem pode ter um inibidor de corrosão impregnado nele para proporcionar uma proteção ainda melhor.

Além disso, a prevenção de mancha de estocagem é fortemente influenciada por métodos e práticas utilizados para o envio da chapa do fabricante até o cliente. É vital prevenir a intrusão de água e a utilização de práticas que minimizem a tendência à condensação durante o trajeto e a estocagem. É especialmente importante manter a temperatura de estocagem controlada (às vezes até durante o trajeto), para prevenir a condensação, que pode ocorrer se a temperatura cair abaixo do ponto de orvalho ou se os feixes/bobinas de aço a frio forem movidos para um ambiente quente e úmido.

## Como as Bobinas Umedecem?

Chapas em bobinas ou feixes umedecem de duas maneiras:

1. Água de chuva que entra por entre as chapas enquanto o produto está em trânsito ou enquanto está assentado em canteiros.
2. Condensação.

A condensação ocorre quando as bobinas ou as chapas empilhadas estão abaixo do ponto de orvalho da atmosfera local. Uma maneira de isso ocorrer é quando as bobinas são enviadas durante o inverno, são então colocadas em galpões mais quentes que o aço galvanizado e onde a umidade não está num nível baixo controlado. Sob essas condições, a umidade simplesmente condensa na superfície do aço enquanto a bobina fria faz com que a temperatura do ar ao redor caia. Isso é similar à condensação da umidade numa vidraça fria.

A condensação pode ocorrer de outras maneiras que não são tão óbvias quanto àquelas mencionadas acima. Por exemplo, mesmo se a temperatura da bobina e a temperatura dentro do galpão local estiverem quase a mesma quando a bobina chega na fábrica do cliente, mas o galpão não tem temperatura controlada, o resfriamento da noite (ou outra queda rápida de temperatura) pode permitir que condensação ocorra na bobina e até entre as embalagens adjacentes. Uma vez que a umidade condense, leva muito tempo até que ela seque, por haver muito pouco movimento de ar entre embalagens em uma bobina ou um feixe.

Já que não há um caminho definitivo para prevenir totalmente a mancha de estocagem uma vez que o material umedeça, é importante que as melhores práticas sejam aplicadas em todas as etapas do processo.

**Sempre tenha em mente – se o galvanizado for mantido seco, a ferrugem branca nunca será um problema.**

## Melhores Práticas

1. O fabricante do aço precisa aplicar o tratamento químico e/ou óleo de modo controlado para cobrir a área total da superfície da chapa.
2. Se possível, as bobinas devem ser embaladas com papel ou plástico especiais para esta aplicação.
3. **O expedidor precisa proteger o aço durante o envio à fábrica do cliente. Mesmo se as bobinas/feixes forem embalados, envie-os somente em veículos com cobertura impermeável. Se for necessário utilizar um veículo descoberto, a carga deve ser completamente embalada por uma lona, para garantir que não haja invasão de água caso chova durante o transporte. Evite rasgar o papel.**
4. O cliente deve estocar as bobinas em um galpão de clima controlado. Utilize o material prontamente. Sempre que possível, não deixe o produto ficar no estoque por um longo período de tempo (mais de dois meses).
5. Para o envio da fábrica do cliente até o local final, o produto precisa ser protegido novamente, especialmente se as chapas estiverem em contato próximo. Quando esse for o caso, o produto estará propenso a manchas de estocagem, já que as chapas não vão secar de modo adequado se umedecerem.
  - a. Embalagem de papel é um modo de proteger chapas enquanto estiverem em trânsito ou durante estocagem em canteiros de obra. Atente para não embalar o feixe enquanto as chapas estiverem úmidas. Isso prende a umidade e previne a secagem.
  - b. Não embale as chapas de maneira apertada no plástico. Deixe que o produto “respire” para proporcionar uma circulação do ar.
  - c. Estoque as camadas de chapa internamente se possível.
  - d. Estoque os painéis sobre o chão, a pelo menos 12 polegadas, para permitir a circulação de ar sob o feixe. Se eles forem empilhados, garanta a livre circulação de ar entre os fardos utilizando espaçadores de madeira curada.
  - e. Faça inspeções frequentes para garantir que os painéis não tenham umedecido.
  - f. Eleve uma extremidade do feixe de chapas para deixar que a água escorra em caso de umidade entre nas camadas de chapas. Certifique-se de que não há pontos de depressão no comprimento da chapa, de modo a permitir que a água flua livremente, se necessário.

## O Tratamento de Aço Galvanizado Danificado por Mancha de Estocagem

Uma chapa de aço danificada por mancha de estocagem geralmente não pode recuperar sua aparência lustrosa original. A mancha, dependendo da severidade, altera irreversivelmente as características da superfície do zinco em níveis variados. Contudo, há tratamentos que ajudam a melhorar a aparência dependendo da severidade da mancha.

1. Para ferrugem branca inicial de pouca severidade, esfregue/escove a superfície com uma mistura de óleo mineral e serragem. A ação abrasiva moderada remove a mancha; entretanto, esse tratamento não ajuda muito para ferrugem branca avançada. Muitos usuários descobriram que se painéis ligeiramente manchados forem utilizados como estão, a mancha é “removida” após ser exposta ao ambiente externo por um ano mais ou menos, dependendo do local.
2. Se a mancha não for muito severa, ela pode ser removida lavando com vinagre, seguido imediatamente de enxágue completo com água para neutralizar a superfície. A remoção pode ser ajudada pela utilização de uma escova de nylon dura. Estas chapas devem ser secadas antes de serem empilhadas novamente. Este tratamento removerá um pouco do brilho metálico das áreas não manchadas, mas não em um grau excessivo.

3. Outros produtos que limparão a ferrugem branca de modo similar ao vinagre branco são: CLR®, suco de limão, Naval Jelly® Rust Dissolver e Picklex™ 10G<sup>1</sup>.
4. Para manchas mais severas, uma solução de 5% (por volume) de ácido fosfórico na água, com um agente umedecedor adicionado, pode ser esfregada sobre as chapas. Estas chapas devem ser imediatamente bem enxaguadas para neutralizar a superfície e serem totalmente secas logo depois. Este tratamento removerá a maior parte do brilho metálico, mesmo nas áreas não manchadas.
5. Caso a mancha tenha progredido para uma cor cinza escuro ou preta, provavelmente a remoção não será possível.
6. Um método de recuperar o valor de proteção do revestimento de zinco e melhorar a aparência das chapas danificadas por manchas de estocagem é aplicar uma boa tinta rica em zinco de cor semelhante. A superfície deve ser totalmente limpa utilizando produtos descritos acima, escovada, enxaguada e seca com antecedência. Depois de dois anos, mais ou menos, as condições climáticas removerão grande parte da diferença na aparência entre a tinta rica em zinco e a superfície galvanizada.

Duas excelentes referências que foram consultadas na preparação deste artigo e que discutem manchas de estocagem em detalhes são:

[1] Zhang, Xiaoge Gregory: Corrosion and Electrochemistry of Zinc, Plenum Press, New York, 1996, pp. 236-239.

[2] Porter, Frank C.: Corrosion Resistance of Zinc and Zinc Alloys, Corrosion Technology Series, Vol. 6, P.A.Schweitzer (ed), Marcel Dekker, New York, 1994, pp. 64-66 e 372-373.

## Resumo

A mancha de estocagem é a corrosão de superfície que ocorre no galvanizado quando as chapas umedecem enquanto empacotadas firmemente (em bobinas ou pilhas de chapas em bruto/painéis conformados por cilindros) e não são separadas prontamente para permitir a secagem. A umidade contínua previne a formação do filme de proteção passivo na superfície do zinco. O resultado é uma chapa enferrujada e descolorida, e é quase impossível voltar à sua aparência metálica brilhante original.

Para prevenir a ferrugem branca, a chapa galvanizada deve ser protegida do contato com umidade sempre que as chapas estiverem em contato próximo (em bobinas ou feixes) e sempre que o fluxo de ar não estiver disponível para secar a superfície.

Copyright © 2011 - IZA

---

Isenção de Responsabilidade:

Artigos, relatórios de pesquisas e dados técnicos são fornecidos apenas para fins informativos. Embora os editores esforcem-se para fornecer informações precisas e atuais, a Associação Internacional de Zinco não abona os resultados das pesquisas e informações relatadas neste comunicado e se isenta de toda e qualquer responsabilidade por danos resultantes da confiança nos resultados relatados ou outras informações contidas neste comunicado, incluindo, mas não limitando a, danos acidentais ou consequentes.

---

<sup>1</sup> Duran, B., Langill, T., Cleaning Wet Storage Stain from Galvanized Surfaces, 2007, American Galvanizers Association