

Projetos sustentáveis com a galvanização por imersão a quente



Conheça os estudos que demonstram os benefícios da utilização do aço galvanizado por imersão a quente em diferentes aplicações e como ela serve de base para a revolução sustentável, incluindo, na pontuação das certificações que ajudam a sua empresa a alcançar os objetivos do Desenvolvimento Sustentável

RICARDO SUP LIC Y GOES

Gerente executivo do ICZ – Instituto de Metais não Ferrosos
ricardo.goes@icz.org.br

ABSTRACT

Sustainable development is an essential aspect of the present and future of civil construction. Although there are several different methods for measuring the level of sustainability, all of them, in the end, have the same goal - to build what is necessary for the present without compromising the future. Hot dip galvanized steel occupies a unique position and can contribute widely to the construction of a sustainable future.

RESUMO

O desenvolvimento sustentável é um aspecto essencial do presente e do futuro das construções civis. Embora existam vários métodos distintos para medir o nível de sustentabilidade, todos eles, no final das contas, possuem o mesmo objetivo: construir o que for necessário para o presente sem comprometer o futuro. O aço galvanizado por imersão a quente ocupa uma posição única, podendo contribuir amplamente para a construção de um futuro sustentável.

1. INTRODUÇÃO

O Desenvolvimento Sustentável, LEED (Leadership in Energy and Environmental Design - certificação), e verde/ecológico não são apenas palavras da moda para arquitetos, engenheiros, construtores e especificadores. Sejam os efeitos de regras e regulamentações mais rígidas, o lento esgotamento de materiais ou decisões éticas conscientes, a construção e o *design* sustentável se tornaram prioridades muito importantes. A utilização do aço, que vem sendo um componente essencial de construções modernas desde a Revolução Industrial em estruturas ao redor do mundo, pode contribuir positivamente com o desenvolvimento sustentável. No entanto, quando o aço fica desprotegido, ele pode sofrer corrosão; portanto, para uma sustentabilidade real, o aço deve ser revestido para aumentar sua durabilidade.

A galvanização por imersão a quente, processo de ligação metalúrgica entre o zinco e o aço, vem sendo utilizada para proteger o aço por mais de 150 anos, proporcionando proteção contra corrosão, sem trabalhos de manutenção, por décadas. Com o crescimento e o desenvolvimento, uma revolução em desenvolvimento sustentável que faça uso de aço galvanizado por imersão a quente garantirá que o planeta tenha mais séculos de crescimento e desenvolvimento seguro e saudável.

À medida que a consciência ambiental aumenta, também cresce o número de abordagens falsas ou enganosas de marketing verde, conhecidas como 'lavagem verde', criando-se a necessidade de se educar especificadores e consumidores sobre como diferenciar o verdadeiro desenvolvimento sustentável de abordagens falsas. 'Lavagem verde' é o ato de ludibriar consumidores sobre as práticas ambientais de uma empresa ou sobre os benefícios ambientais de um produto ou serviço.

A finalidade deste artigo é quantificar e estabelecer como o aço galvanizado por imersão a quente pode contribuir positivamente com o desenvolvimento sustentável.

O QUE É DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL?

Desenvolvimento Sustentável (SD) é o compromisso social, econômico e ambiental, com crescimento e desenvolvimento que atendam às demandas atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações para atender às suas necessidades. A criação de comunidades, países e de um planeta mais sustentável é algo pertinente, e os desenvolvedores dos ambientes de construção

(arquitetos, engenheiros, fornecedores de materiais, etc.) compartilham uma parte substancial da responsabilidade pela proteção dos interesses da geração atual e das futuras.

Especificadores utilizam uma série de métodos de avaliação de impacto ambiental para medir o nível de sustentabilidade de determinado processo ou produto; no entanto, muitos métodos são altamente subjetivos. Fatores considerados nas avaliações podem variar, vão desde itens concretos, como emissões de carbono e uso de energia, até itens mais abstratos, como cursos de treinamento e iniciativas de reciclagem. Dois métodos para medir sustentabilidade, bastante conhecidos e aceitos, são a combinação do Inventário do Ciclo de Vida (LCI)/Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) e a Liderança em Energia e Design Ambiental, do Conselho Americano de Construção Verde (LEED).

INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (LCI) E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (LCA)

Um método de medição de impacto ambiental, conhecido e utilizado no mercado, é a combinação do Inventário do Ciclo de Vida (LCI) e da Avaliação do Ciclo de Vida (LCA). O LCI e a LCA trabalham em conjunto para quantificar fluxos de materiais, fluxos de energia e impactos ambientais de um determinado produto. O estudo de Inventário do Ciclo de Vida (LCI) possibilita a medição dos fluxos de materiais, fluxos de energia e liberação de resíduos no ambiente da produção de uma quantidade definida de um produto. O LCI também é conhecido como estudo do 'berço ao portão', ou 'portão ao portão', e é a base para a elaboração da LCA.

Já a avaliação do ciclo de vida (LCA) é um método científico padronizado para a análise sistemática de todos os fluxos de materiais e energia, assim como dos impactos ambientais atribuídos a um produto, desde a aquisição das matérias-primas até os processos relacionados ao fim de vida útil do produto. A LCA é considerada uma análise completa 'do berço ao caixão' do verdadeiro impacto ambiental de um determinado produto.

A LCA possui quatro fases: desenvolvimento sustentável; inventário de ciclo de vida; avaliação do impacto do ciclo de vida; e liderança em energia e *design* ambiental. Esta publicação analisará cada uma delas em detalhes, no tocante ao aço galvanizado por imersão a quente.

✓ **Desenvolvimento Sustentável (SD)** é o compromisso social, econômico e ambiental com crescimento e desenvolvimento que atendam às demandas atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações para atender às suas necessidades.

- ✓ **O Inventário do Ciclo de Vida (LCI)** é um estudo e medição dos fluxos de materiais, fluxos de energia e liberação de resíduos no ambiente da produção de uma quantidade definida de um determinado produto.
- ✓ **A Avaliação do Ciclo de Vida (LCA)** é um método científico padronizado para a análise sistemática de TODOS os fluxos de materiais e energia, assim como dos impactos ambientais atribuídos a um produto, desde a aquisição das matérias primas até processos relacionados ao fim de vida útil do produto.
- ✓ **Liderança em Energia e Design Ambiental (LEED)** é um programa de certificação independente e referência aceita nacionalmente para o *design*, construção e funcionamento de edifícios ecológicos de alto desempenho.

LIDERANÇA EM ENERGIA E DESIGN AMBIENTAL (LEED)

LEED é a referência aceita nacionalmente para o *design*, construção e funcionamento de edifícios ecológicos de alto desempenho. A LEED promove uma abordagem do edifício por completo no tocante à sustentabilidade, avaliando seu desempenho em cinco áreas principais de saúde humana e de impactos ambientais:

- (1) Desenvolvimento sustentável do local;
- (2) Eficiência no uso de água;
- (3) Energia e atmosfera;
- (4) Materiais e recursos;
- (5) Qualidade ambiental interna.

A seleção de materiais de construção é somente um pequeno aspecto da LEED, mas ainda é o sistema mais conhecido de medição de sustentabilidade da área. Porém, críticos frequentemente apontam que possui um formato relativamente simplista para medir o caráter verde/ecológico de determinado produto e que ela possui uma brecha para que edifícios

não ecológicos consigam uma classificação alta. O ponto referente ao formato simplista gira em torno do fato de que a certificação oferece créditos para materiais reciclados utilizados, consumo de energia e impacto na qualidade do ar da vida útil de um produto; porém, características relacionadas ao fim de vida útil, como potencial para reciclagem, não são considerados.

Embora o consumo de energia e o impacto ambiental de um edifício durante sua produção/construção e uso sejam importantes, o que acontece com um edifício ao fim de sua vida útil também pode causar impactos significativos. Provavelmente, o mais frustrante seja a brecha no sistema de créditos. Não significa, necessariamente, que profissionais da indústria que possuem essa certificação propaguem um desenvolvimento sustentável. Devido ao fato de que cada crédito LEED tem o mesmo peso (1 ponto), é possível conseguir créditos suficientes para se obter uma classificação alta sem ter obtido nenhum ponto referente à eficiência em energia. Críticos alegam que isso é uma brecha que permite, a alguns, burlarem o sistema de classificação, recebendo prêmios por serem 'ecológicos', quando, na verdade, o desempenho ambiental do edifício é deficiente. Independentemente dessas alegações, a LEED ainda é um sistema de classificação útil, que proporciona uma contribuição positiva para o avanço do desenvolvimento sustentável.

GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE E LEED

Já que a LEED é o método mais comum para medir o nível de sustentabilidade, especificadores frequentemente se perguntam se o aço galvanizado por imersão a quente pode contribuir com créditos.

A categoria de Materiais e Recursos de 'Crédito 4: Conteúdo Reciclado', por exemplo-, concentra especificamente no aumento do uso de produtos de construção com alto nível de conteúdos reciclados, reduzindo os impactos causados pela extração e processamento de metais brutos e minérios. As duas principais substâncias do aço galvanizado por imersão a quente (aço e zinco) possuem altos índices de reciclagem e reaproveitamento.

O índice de reciclagem, que é um fator na classificação LEED, considera qual a porcentagem de determinado produto é gerada a partir de fontes recicladas. O índice de aproveitamento, que mede a periodicidade de reciclagem que de fato acontece ao fim da vida útil de determinado produto, atualmente não é utilizado na classificação LEED, mas é um indicador ambiental importante a ser considerado (Figura 1).

	Zinco ^a	Aço ^b
Índice de Reciclagem	30%	70%
Índice pré-consumo	15%	57%
Índice pré-consumo		
Índice de Reaproveitamento	80%	100%

^a Associação Internacional do Zinco (IZA), Zinc Recycling, 2004.
^b Steel Recycling Institute, Steel Takes LEED with Recycled Content, March 2009.

Figura 1: Índice de reciclagem

O conteúdo reciclado de um conjunto de materiais é determinado pelo peso, e a parte reciclada é depois multiplicada pelo custo do conjunto de materiais para determinar o valor do conteúdo reciclado.

O aço galvanizado por imersão a quente é o material mais o produto de construção (o zinco reage metalurgicamente com o ferro do aço, tornando-se um único produto); portanto, o valor do aço enquanto produto de construção é diretamente multiplicado pelo conteúdo reciclado de aço galvanizado por imersão a quente. Com mais de 70% de conteúdo reciclado combinado, o aço galvanizado por imersão a quente facilmente atende às exigências dos Créditos 4.1 e 4.2, da categoria de Materiais, e Recursos de 'Crédito 4: Conteúdo Reciclado', contribuindo com pontos para os dois créditos.

Devido a seus altos índices de reciclagem, o aço galvanizado por imersão a quente contribui com pontos de acordo com os itens 4.1 e 4.2 da categoria de Materiais e Recursos de 'Crédito 4: Conteúdo Reciclado'. A LEED exige os seguintes itens para a concessão de pontos nessas categorias (LEED-NC Versões 2.2 e 2009):

- **Crédito 4.1 (1 ponto):** "Utilizar materiais com conteúdos reciclados de tal forma que a soma do conteúdo reciclado pós-consumo mais a metade do conteúdo pré-consumo constitua ao menos 10% do valor total dos materiais utilizados no projeto".
- **Crédito 4.2 (1 ponto):** "Utilizar materiais com conteúdos reciclados de tal forma que a soma do conteúdo reciclado pós-consumo mais a metade do conteúdo pré-consumo constitua ao menos 10% a mais que no caso do Crédito 4.1 (total de, pelo menos, 20%) do valor total dos materiais utilizados no projeto".

O QUE É O ZINCO?

Antes de examinarmos o impacto do aço galvanizado por imersão a quente no ambiente, é importante conhecer o componente principal do revestimento galvanizado por imersão a quente: o zinco.

O zinco é um metal de propriedades positivas, que pode ser infinitamente reciclado sem qualquer atributo físico ou químico. Natural, essencial e em abundância, cerca de 30% do fornecimento anual de zinco advém de fontes recicladas, e 80% do zinco que pode ser reciclado é reaproveitado. O zinco é o 27º elemento mais abundante na crosta terrestre e existe naturalmente no ar, na água e no solo. A maioria das rochas e diversos minerais contêm zinco em quantidades variadas. Aproximadamente 5,8 toneladas de zinco são transportadas naturalmente no meio ambiente por ano, por plantas e animais, chuvas, fenômenos naturais e outras atividades. Durante o curso da evolução, todos os organismos vivos se adaptaram à presença de zinco no ambiente, passando a utilizá-lo em processos metabólicos específicos. A quantidade de zinco presente na natureza varia de acordo com o local

e as estações do ano. O zinco também é essencial para a vida dos seres humanos, e até mesmo para a vida dos menores micro-organismos. O zinco ajuda na digestão, reprodução, funcionamento dos rins, respiração, controle de diabetes, paladar, olfato e muitas outras funções. Embora o excesso de zinco possa ser prejudicial, a deficiência de zinco é uma preocupação muito maior. A Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que 800.000 pessoas em países em desenvolvimento morram a cada ano devido à falta de zinco em suas dietas.

O zinco é comum no cotidiano; na verdade, óxidos de zinco e outros compostos são utilizados em diversos produtos para nossos lares. O óxido de zinco bloqueia mais raios UV que qualquer outro elemento, sendo muito comum em protetores solares. O zinco também é utilizado em cosméticos, pneus, tratamento de queimaduras de sol, assaduras, acne, resfriados, aftas, caspa, resfriados comuns, queimaduras, entre outros tipos de afecções. Além disso, um dos usos mais antigos e comuns do zinco é na construção civil.

O zinco vem sendo utilizado em construções por mais de 150 anos para proteger o aço contra corrosão. É mais utilizado em construções como um revestimento de proteção no processo de galvanização por imersão a quente, ou em outras formas de revestimento de zinco. No entanto, na Europa, e mais recentemente nos Estados Unidos, lâminas de zinco puro vêm sendo utilizadas em sistemas de cobertura e de painéis.

GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

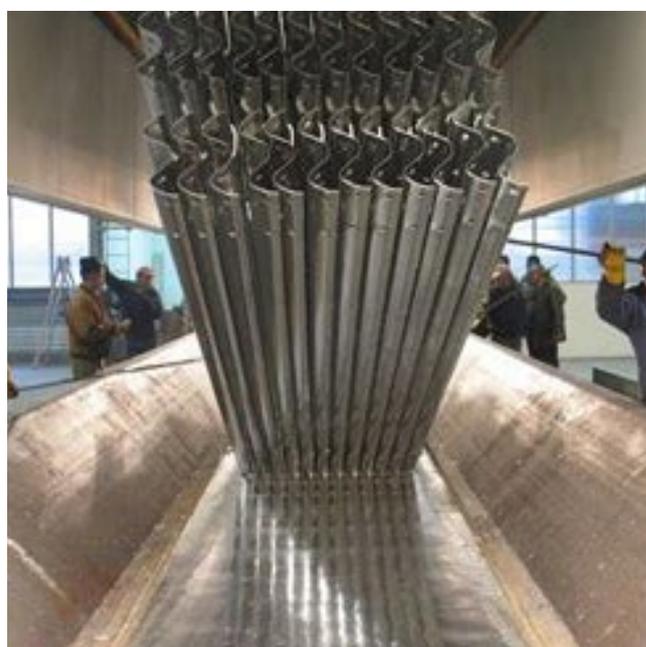


Figura 2: Banho de Zinco

A Galvanização por imersão a quente é um processo de revestimento de zinco no aço que visa preservar a plenitude de suas qualidades pela proteção contra a corrosão. Nesse processo, a peça é totalmente imersa no banho de zinco líquido (zinco fundido entre 450 e 490°C) (Figura 2), e a sua superfície, que permitir acesso, será protegida. A molhabilidade da superfície da peça se permite com facilidade em função da boa fluidez do zinco fundido. É um processo Normatizado: ABNT NBR: 6323/2016 - Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação.

DESEMPENHO AMBIENTAL DO AÇO GALVANIZADO POR IMERSÃO A QUENTE

Em 2008, a Associação Internacional do Zinco (IZA) patrocinou um estudo do Inventário do Ciclo de Vida (LCI) e da Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) do aço galvanizado por imersão a quente. A IZA contratou a Five Winds International e a PE International, duas empresas do ramo ambiental, renomadas internacionalmente, para executar o estudo. Elas coletaram dados mundiais sobre galvanização da Associação Americana de Galvanizadores (AGA), Associação Geral de Galvanizadores Europeus (EGGA), Associação Australiana de Galvanizadores (GAA) e da Associação de Galvanizadores por Imersão a Quente da África do Sul (HDGASA) para executar o estudo. O objetivo era gerar um Inventário de Ciclo de Vida (LCI) de 1kg de produto de aço galvanizado por imersão a quente e, utilizando as informações desse LCI, executar uma avaliação do ciclo de vida (LCA) para compreender o impacto ambiental total do aço galvanizado, desde a produção até sua utilização e fim de vida útil. O objetivo da LCA é fornecer um panorama preciso sobre a posição atual do processo de galvanização, além de destacar oportunidades para minimizar os impactos ambientais no futuro.

Tanto no LCI quanto na LCA, diversos critérios ambientais foram medidos. Antes de revelar os dados do estudo, é importante definir os critérios utilizados:

- Demanda de Energia Primária (PED), medida em mega Joules (MJ), é a soma do total de energia primária consumida na fabricação e fornecimento de produtos.
- Joule (J) é a unidade do SI para trabalho e energia, equivalente ao trabalho realizado por uma força de 1 Newton quando seu ponto de aplicação se move a uma distância de um metro na direção da força. Um mega Joule (MJ) equivale a um milhão de Joules.

Potencial de Aquecimento Global (GWP), medido em quilogramas de equivalentes de CO₂ (100 anos), é o

potencial de aumento gradual da temperatura da atmosfera e oceanos do planeta, que induz mudanças no clima mundial.

Potencial de Acidificação (AP), medido em quilogramas de equivalentes de SO₂, é a quantidade de íons de hidrogênio criada quando uma substância é convertida em ácido, num processo conhecido como chuva ácida.

Potencial de Criação Fotoquímica de Ozônio (POCP), medido em quilogramas de equivalentes de eteno (C₂H₂), é a criação de um *smog estival* (de verão), ou índices elevados de ozônio no nível do solo.

VISÃO GERAL DO LCI E DA LCA

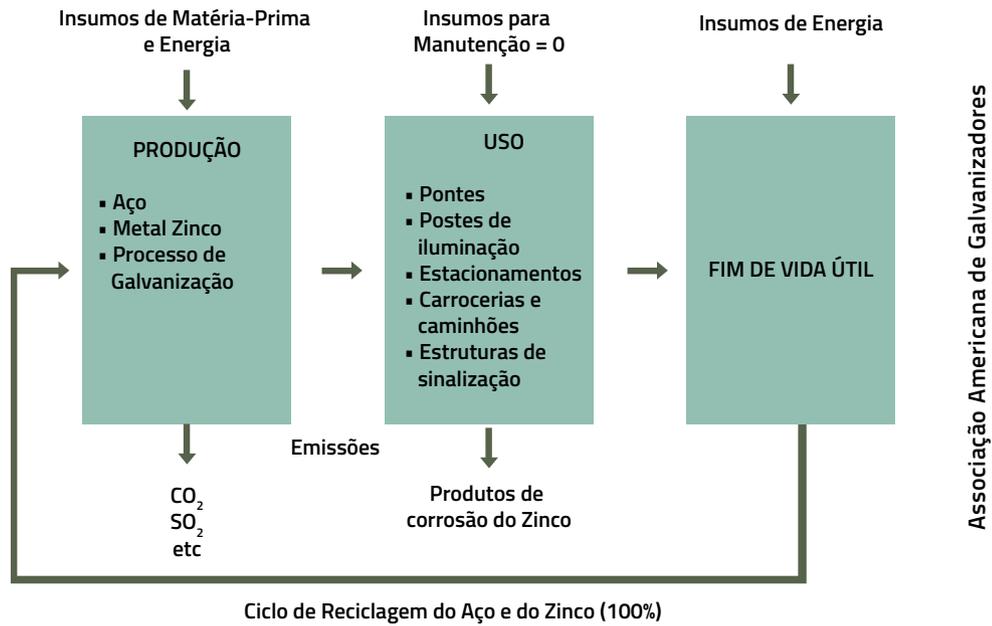
O LCI examina o impacto ambiental da produção de 1kg de aço galvanizado por imersão a quente. O LCI do processo de galvanização por imersão a quente é um estudo de 'portão a portão', o que significa que ele somente examina o impacto ambiental gerado a partir do momento em que o produto chega nas instalações de galvanização até o momento em que ele está pronto para ser transportado ao local de utilização. No entanto, para realmente medir o impacto da produção de 1kg de aço galvanizado por imersão a quente, o impacto da produção de aço e de zinco também devem ser analisados.

O LCI examina o impacto da produção de aço, do zinco e do processo de galvanização. Combinando os três LCIs, ou seja, um estudo do 'berço ao portão', revela o verdadeiro impacto da produção de 1kg de aço galvanizado por imersão a quente, o que é equivalente à fase de produção da LCA.

A LCA examina a totalidade dos impactos ambientais do aço galvanizado por imersão a quente desde a produção até o fim de vida útil. A LCA é considerada um estudo do 'berço ao caixão', já que considera impactos iniciais de produção, impactos durante utilização devido a manutenções e/ou emissões geradas, e o crédito ou impacto ao fim da vida útil. No caso do aço galvanizado por imersão a quente, o termo mais correto seria do 'berço ao berço', já que o zinco e o aço são 100% recicláveis ao fim de suas vidas úteis. A LCA executada pela Five Winds e pela PE International examinou uma viga para construção galvanizada por imersão a quente (16 m, 940 kg) e um poste para usos diversos (10,7 m, 184 kg).

Cada produto galvanizado por imersão a quente gerará resultados levemente distintos, mas os números apresentados aqui podem ser utilizados como guias de orientação. A Figura 3 é uma representação visual da LCA para aço galvanizado por imersão a quente.

LCA DO AÇO GALVANIZADO



*Exceto nas condições ambientais mais agressivas e corrosivas, não há insumos de energia ou matérias-primas durante a utilização (mais de 75 anos)

*Para o aço galvanizado, com ocorrência natural de óxido de zinco, hidróxido de zinco e carbonto de zinco.

Figura 3: LCA do Aço Galvanizado

PRODUÇÃO DO AÇO

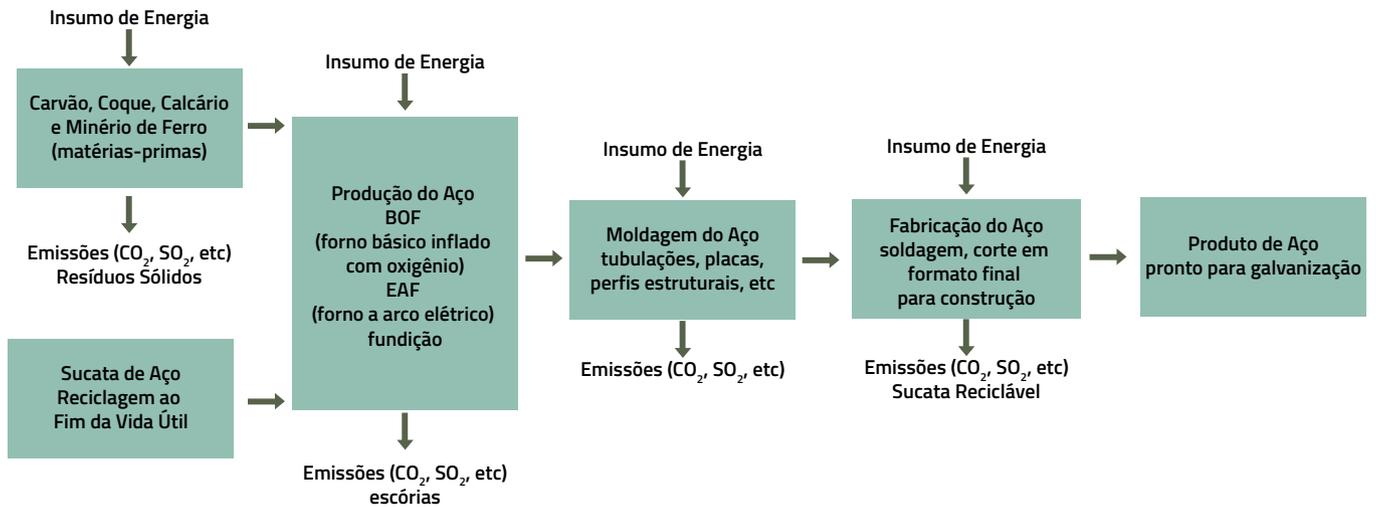


Figura 4: Produção do aço

LCI do Aço (Berço ao Portão)	Demanda de Energia Primária	Potencial de Aquecimento Global (GWP) (equivalentes de CO_2)	Potencial de Acidificação (AP) (equivalentes de SO_2)	Potencial de Criação Fotoquímica de Ozônio (POCP) (equivalentes de C_2H_2)
1 kg of HDG Steel	21.64 MJ	1.55 kg	0.00459 kg	0.000763 kg

Figura 5: POCP Aço Galvanizado

ESTUDO DO LCI

▪ Aço

Para compreender e reconhecer os impactos ambientais da produção de aço galvanizado por imersão a quente, é necessário começar pela produção do aço. O LCI do aço inclui a extração de materiais virgens, assim como a reutilização de sucata reciclada. O aço é o material mais reciclado no mundo, com 70% da produção de aço advinda de materiais reciclados.

Além da matéria-prima, o LCI também examina a energia consumida e emissões geradas pela fundição do material, moldagem das peças em placas, vigas, entre outros, e o impacto da fabricação do aço para sua utilização final. Após a fabricação, o aço é transportado às instalações de galvanização para ser revestido. Conforme ilustrado na Figura 4, pouquíssimo resíduo sólido é gerado durante o processo.

Utilizando informações da indústria obtidas através do banco de dados GaBi (um conjunto de declarações ambientais de produto - EPDs), um LCI foi executado para determinar a quantidade de energia e emissões necessárias para produzir 1kg de aço. A massa do aço corresponderá à maior parte do peso (1kg) do aço galvanizado por imersão a quente, mas os números também levam em consideração o peso do zinco. Portanto, os valores

apresentados aqui representam a demanda de energia primária (PED), o potencial de aquecimento global (GWP), o potencial de acidificação (AP) e o potencial de criação fotoquímica de ozônio (POCP) para a quantidade de aço contida em 1kg de produto de aço galvanizado por imersão a quente (Figura 5).

▪ Zinco

Além do aço, o zinco é um componente importante da galvanização por imersão a quente. Similar ao aço, a produção de zinco advém da extração de minério de zinco e de fontes recicladas. Na verdade, 30% do zinco produzido anualmente advém de materiais reciclados.

O LCI do zinco analisa a energia consumida e as emissões geradas a partir dos processos de extração, concentração e refino. O zinco refinado é transportado às instalações de galvanização em grandes blocos ou lingotes, que serão fundidos na caldeira.

A Figura 6 ilustra uma visão simplificada da produção do zinco. O processo de refino do zinco também gera poucos resíduos; na verdade, durante o processo, outros elementos, como cobre, cádmio e chumbo, são separados do zinco para utilização própria.

Utilizando informações de todo o mundo, obtidas através da indústria do zinco, um LCI foi executado para determinar o impacto ambiental da produção de 1kg de

PRODUÇÃO DE ZINCO

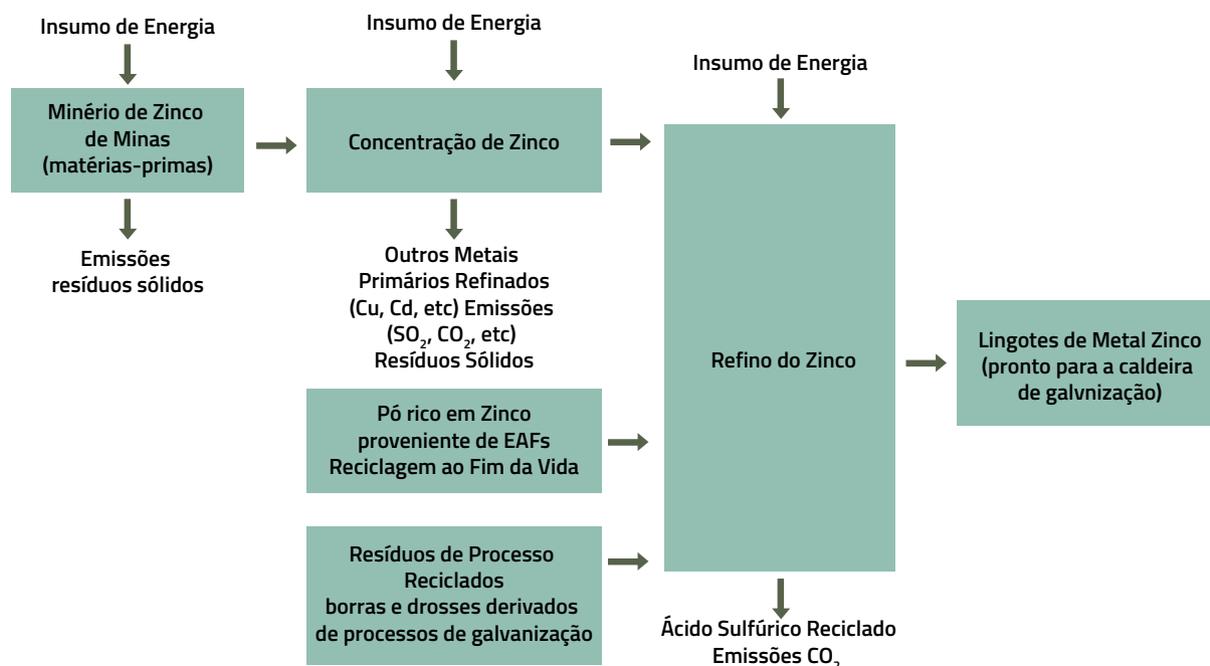


Figura 6: Produção de zinco

MATÉRIA TÉCNICA

LCI do Aço (Berço ao Portão)	Demanda de Energia Primária	Potencial de Aquecimento Global (GWP) (equivalentes de CO ₂)	Potencial de Acidificação(AP) (equivalentes de SO ₂)	Potencial de Criação Fotoquímica de Ozônio (POCP) (equivalentes de C ₂ H ₂)
1kg de Aço HDG	2,46 MJ	0,160 kg	0,00115 kg	0,000614 kg

Figura 7: LCI do Aço galvanizado (HDG)

GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

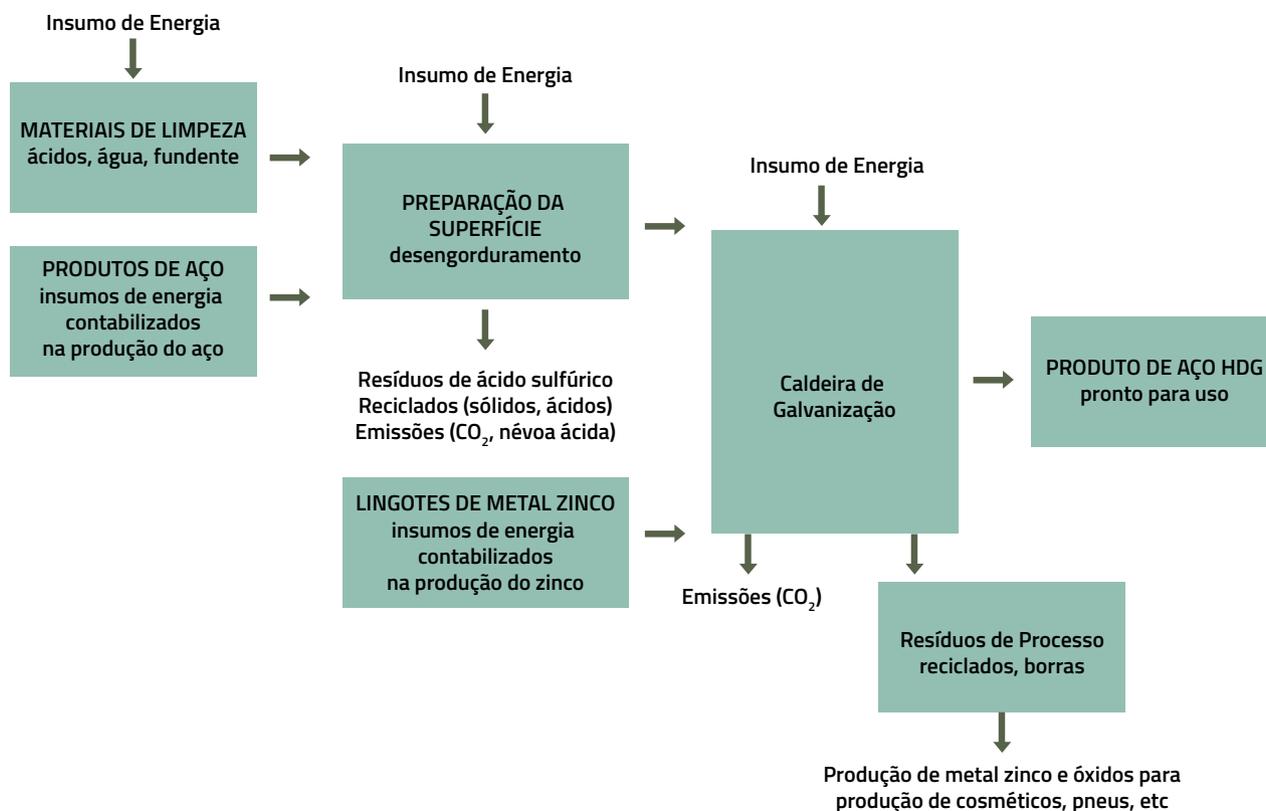


Figura 8: Galvanização por imersão a quente

zinco SHG. Conforme explicado anteriormente, a maior parte da massa dos produtos de aço galvanizado por imersão a quente é composta por aço. Portanto, os valores para o zinco representados aqui têm como base apenas o zinco presente em 1kg de aço galvanizado por imersão a quente (Figura 7).

GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

A etapa final para a determinação da fase de produção da LCA para o processo de galvanização por imersão a quente é a avaliação das demandas de energia e emissões geradas pelo processo. O estudo de 'portão a portão' leva em consideração energia e emissões adicionais do processo para além dos insumos de aço e zinco.

A Figura 8 ilustra os produtos e energia adicionais necessários para o revestimento do aço pelo zinco.

Também utilizando informações de todo o mundo obtidas através da indústria de galvanização, um LCI foi executado para determinar o impacto ambiental do revestimento do aço com zinco durante o processo de galvanização por imersão a quente. Os dados de demanda de energia e emissões para o processo de galvanização apresentavam leves variações, principalmente devido às diferenças em energia (eletricidade /vs. gás natural), eficiências nos processos, e às diferenças nas redes elétricas em diferentes locais. Mais uma vez, esses valores médios representam apenas o impacto do tipo 'portão a portão' do processo de galvanização, não incluindo os impactos da produção de aço e zinco (Figura 9).

Somente Processo de Galvanização por Imersão a Quente Portão a Portão	Demanda de Energia Primária	Potencial de Aquecimento Global (GWP) (equivalentes de CO ₂)	Potencial de Acidificação (AP) (equivalentes de SO ₂)	Potencial de Criação Fotoquímica de Ozônio (POCP) (equivalentes de C ₂ H ₂)
1kg de Aço HDG	1,80 MJ	0,0991 kg	0,000407 kg	0,0000265 kg

Figura 9: Demanda de energia – Aço galvanizado – portão a portão

Fase de Produção (Berço ao Portão)	Demanda de Energia Primária (DEP)	Potencial de Aquecimento Global (GWP)	Potencial de Acidificação (AP) (SO ₂ equiv.)	Potencial de Criação de Ozônio Fotoquímico (POCP) (C ₂ H ₂ equiv.)
1 kg de aço HDG	25.9 MJ	1.80 kg	0.00615 kg	0.000824 kg

Figura 10: Fase de Produção da LCA

FASE DE PRODUÇÃO DA LCA

A fase de produção da LCA para a galvanização por imersão a quente (do 'berço ao portão') combina PED, GWP, AP e POCP de três LCIs: aço, zinco e galvanização. Portanto, chega-se ao impacto de 1kg de aço galvanizado por imersão a quente no momento em que o produto deixa as instalações de galvanização, conforme ilustrado na Figura 10.

FASE DE USO DA LCA

A segunda fase de uma LCA (Avaliação do Ciclo de Vida) examina insumos adicionais de energia e materiais e emissões adicionais geradas enquanto o produto

estiver em funcionamento. Conforme mencionado anteriormente, o aço galvanizado por imersão a quente não necessita de manutenção por 75 anos ou até mais. Consequentemente, a galvanização por imersão a quente não oferece aumento de nenhum tipo de impacto ambiental durante seu tempo de serviço.

Embora o impacto ambiental da galvanização por imersão a quente esteja restrito à fase de produção, o impacto ambiental de outros sistemas de revestimento – como pintura, por exemplo - aumenta com o uso (Figura 11). A pintura, que precisa de manutenção constante durante o uso, gera um impacto ambiental adicional em cada ciclo de manutenção.

FASE DE USO DA LCA: HDG vs. PINTURA

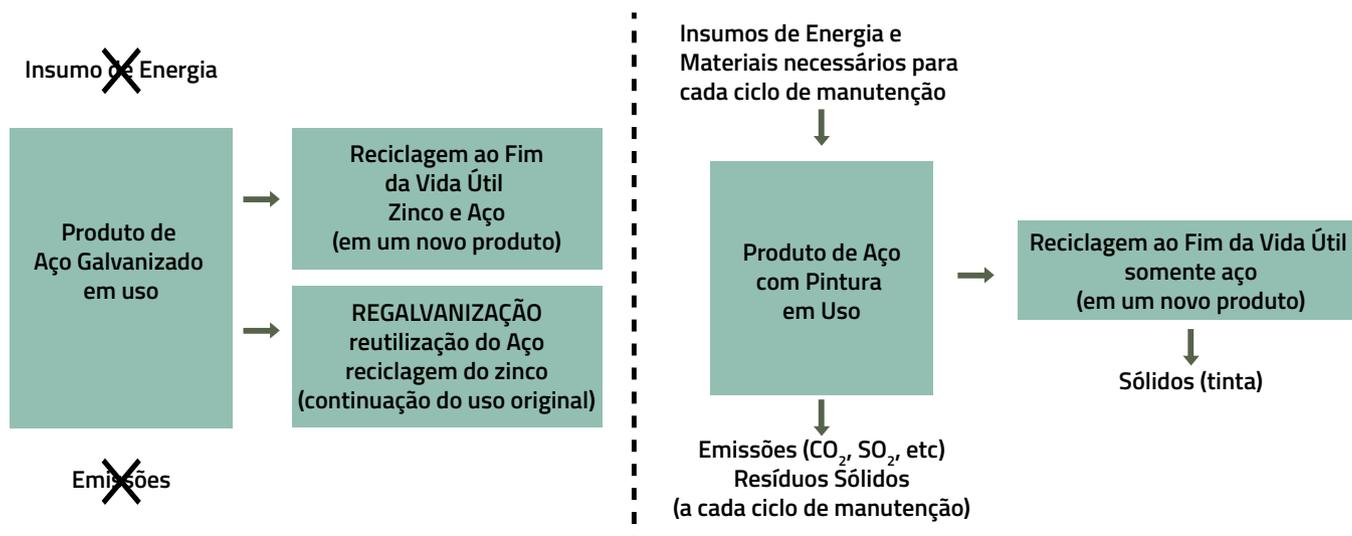


Figura 11: Fase de uso do LCA: HDG Vs. Pintura

Fase de Uso	Demanda Primária (equivalentes de CO ₂)	Potencial de Aquecimento Global (GWP)	Potencial de Acidificação (AP) (equivalentes de SO ₂)	Ozônio Fotoquímica de (POCP) Potencial de Criação
1 kg of HDG Steel	0 MJ	0 kg	0 kg	0 kg
Painted Steel	P ₁ kg	P ₂ kg	P ₃ kg	P ₄ kg

Figura 12: Fase de uso

FASE DE FIM DE VIDA ÚTIL DA LCA



Figura 13: Fase de fim de vida útil da LCA

Revestimentos com pintura necessitam de manutenções periódicas a cada ciclo pré-determinado de 12-20 anos. P1, P2, P3, e P4 (Figura 12) representam os custos ambientais adicionais relacionados à manutenção de aço com pintura. Portanto, um projeto cujo objetivo em termos de vida útil seja de 60 anos precisará, pelo menos, de duas a quatro pinturas de manutenção. Cada ciclo de manutenção (seja de retoque, manutenção ou repintura completa) precisará de insumos adicionais de energia e materiais, e gerará emissões e resíduos. Além disso, existem custos ambientais indiretos associados à manutenção, como aumento de emissões de gases poluentes devido a atrasos/desvios do trânsito durante a manutenção de uma ponte de aço pintada.

FASE DE FIM DE VIDA ÚTIL DA LCA

A fase final da LCA é a fase de fim da vida útil. Conforme destacado anteriormente, tanto o aço quanto o zinco são 100% recicláveis, sem qualquer perda de suas propriedades. Produtos/materiais reciclados ao fim da vida útil

Fim de vida útil	Demanda de Energia Primária (PED)
1kg de Aço HDG	-8,61 MJ

Figura 14: Fim de vida útil

LCA Completa (do Berço ao Caixaão)	Demanda de Energia Primária	Potencial de Aquecimento Global (GWP) (equivalentes de CO ₂)	Potencial de Acidificação(AP) (equivalentes de SO ₂)	Potencial de Criação Fotoquímica de Ozônio (POCP) (equivalentes de C ₁ H ₂)
1kg de Aço HDG	17,3 MJ	1,80 kg	0,00615 kg	0,000824 kg

Figura 15: Avaliação Completa do Ciclo de Vida (LCA)

recebem créditos de energia na LCA, já que a reciclagem reduz ou elimina a produção de resíduos, conservando energia e recursos naturais (materiais virgens) por meio de processos de reutilização. Quando uma estrutura construída com aço galvanizado por imersão a quente é demolida, o material galvanizado é recolhido e transportado a uma fábrica de aço para reciclagem. Enquanto ele se encontra dentro do Forno a Arco Elétrico (EAF), o zinco é capturado na forma de pó rico em zinco, que pode ser reutilizada no processo de produção do zinco. A sucata de aço fundida está então preparada para ser moldada em novos perfisados de aço (Figura 13).

O componente principal do produto galvanizado por imersão a quente, o aço, contribui com a maior parte dos créditos referentes ao fim de vida útil (Figura 14). Os mesmos créditos referentes ao aço dependem do seu método de revestimento, pintura ou galvanização. No entanto, o zinco do revestimento HDG também é 100% reciclável, enquanto o revestimento por pintura se torna parte permanente do fluxo de resíduos, ou é desperdiçado, como parte das emissões ao ambiente.

LCA COMPLETA

A Avaliação Completa do Ciclo de Vida (LCA) para galvanização por imersão a quente combina PED, GWP, AP e POCP das fases de produção, uso e fim de vida útil. Visto que a galvanização por imersão a quente não necessita de manutenção durante uso, os valores da LCA completa refletem os valores de produção, com exceção da demanda de energia, que diminui devido aos créditos de reciclagem ao fim da vida útil (Figura 15).

GALVANIZAÇÃO VS. PINTURA NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (LCA)

Embora o LCI e a LCA executados pela IZA, Five Winds e PE International se concentrem na galvanização por imersão a quente, e aplicando conhecimentos gerais sobre sistemas de pintura, as seguintes informações podem ser verificadas:

- O aço, com seu alto nível de reciclagem e baixo impacto ambiental, é o componente principal na LCA do aço galvanizado e do aço com pintura.
- A galvanização por imersão a quente possui um impacto ambiental menor que a tinta durante sua fase de uso, visto que HDG não necessita de manutenção.
- Ao final da vida útil, o zinco do revestimento galvanizado é reciclado, fazendo o HDG 100% reciclável, enquanto revestimentos com pintura se tornam parte do fluxo permanente de resíduos ou geram emissões.

Embora a massa do revestimento, seja galvanizado ou pintura, possa parecer irrelevante quando comparada à massa do aço, ao considerar estruturas inteiras que utilizam milhares ou até mesmo milhões de quilos de aço, a importância do impacto ambiental adicional produzido pelo revestimento em questão torna-se mais evidente. Para destacar a diferença que o revestimento causa no impacto ambiental total, considere os seguintes estudos de casos que utilizam informações ambientais públicas.

ESTUDO DE CASO NÚMERO 1: ESTRUTURAS DESTINADAS A VARANDAS

A VTT Technical Research, conhecida por elaborar declarações ambientais de produtos (EPDs) utilizados em construções, executou Avaliações de Ciclo de Vida (LCAs) comparando uma varanda galvanizada e uma pintada, ambas com o mesmo *design*. O objetivo do estudo não era estabelecer uma base para melhorias futuras. As evidências auferidas demonstraram que, embora o aço seja o elemento principal das duas estruturas, o revestimento é uma parte significativa do perfil LCA.

As avaliações ambientais das varandas foram baseadas nos seguintes parâmetros:

- 60 anos de tempo de vida útil;
- 1,715 lbs (778 kg) de aço galvanizado; 420 ft² (39 m²) de aço com pintura;
- Índice de corrosão do revestimento galvanizado: 0,5– 1,0 micrometros por ano (ISO 14713);
- Pintura: Primer de epóxi rico em zinco (40 micrometros); camada intermediária de epóxi (160 micrometros); e revestimento superficial de poliuretano (40 micrometros);
- Manutenção da Pintura: Aos 15, 30, e 45 anos (ISO 12944).

Os critérios de impacto ambiental examinados foram os mesmos utilizados no LCI e na LCA: Demanda de Energia Primária (PED), Potencial de Aquecimento Global (GWP), Potencial de Acidificação (AP) e Potencial de Criação Fotoquímica de Ozônio (POCP).

Os resultados mostraram que a durabilidade do revestimento possui um papel muito importante no impacto ambiental total. Os três ciclos de manutenção necessários para a varanda pintada representaram quase a metade das necessidades em energia da estrutura pintada, enquanto a varanda galvanizada necessitou de insumos adicionais de materiais ou de energia. Os gráficos a seguir ilustram a PED total de cada fase da LCA, a porcentagem de PED consumida por cada revestimento e os valores de GWP, AP e POCP.

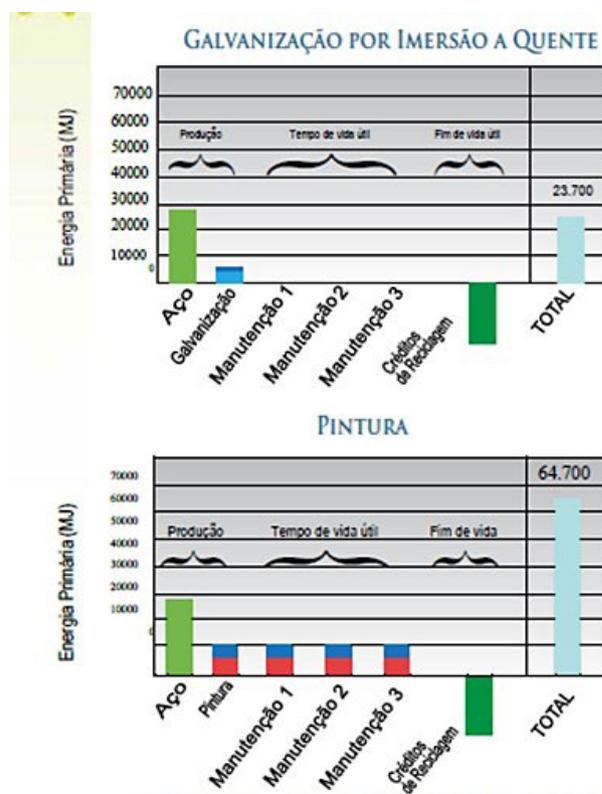


Figura 16: Energia do Ciclo de Vida: HDG x Pintura

A Figura 16 mostra que a Demanda de Energia Primária (PED) total para a varanda com revestimento galvanizado por imersão a quente é de 23,700 MJ (30,5 MJ/kg), ou apenas 37% dos 64,700 MJ (83,2 MJ/kg) necessários para a varanda com pintura. Lembre-se que, se a varanda com pintura for utilizada por um ano a mais sem manutenção, um ciclo de manutenção extra seria necessário e, assim, mais demandas de energia e emissões seriam acrescentadas aos valores indicados, enquanto que a varanda galvanizada permaneceria intacta.

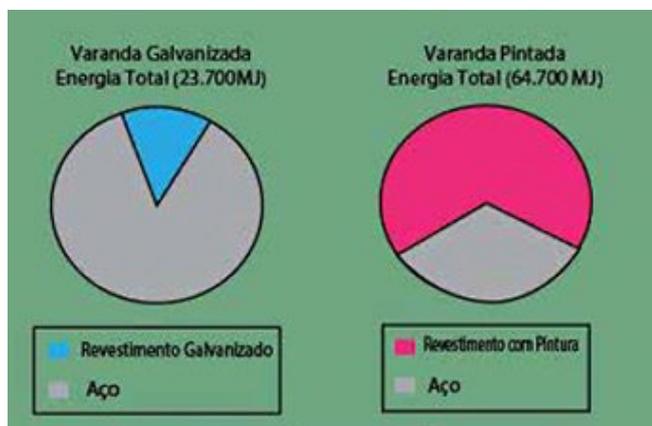


Figura 17: Consumo de energia pelo revestimento HDG vs Pintura

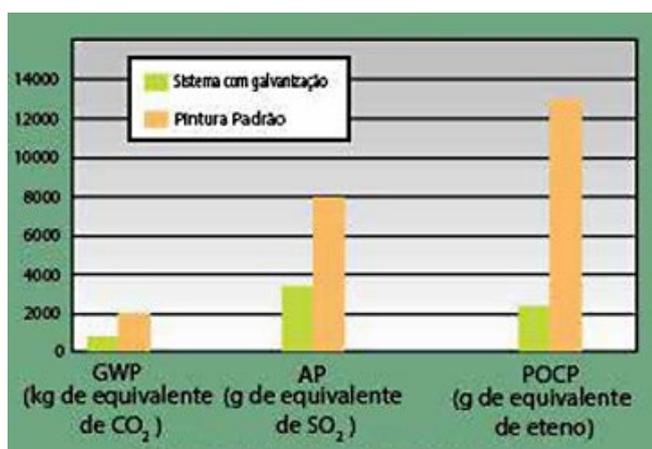


Figura 18: Emissões HDG Vs. Pintura

A diferença de demanda de energia para cada estrutura de varanda é ainda mais marcante quando se considera a porcentagem do total de energia atribuída ao revestimento. A galvanização contribui com somente 16% do total de demanda de energia, enquanto a pintura contribui com 69% até o fim de sua vida útil de 60 anos (Figura 17). De acordo com o estudo, cada ciclo de manutenção

de pintura consome energia equivalente à utilizada na produção original, enquanto que na galvanização o aço é protegido durante toda a sua vida útil, as seis décadas, sem manutenções.

Além da economia em energia, há diferenças significativas nos valores de GWP, AP e POCP. Em cada um desses indicadores, a galvanização representa apenas uma pequena porção do impacto causado pelo revestimento por pintura (Figura 18).

ESTUDO DE CASO NÚMERO 2: ESTACIONAMENTO

O Instituto de Tecnologias de Proteção ao Meio Ambiente da Universidade Técnica de Berlim executou avaliações de ciclo de vida (LCAs) e comparou uma estrutura, ilustrada abaixo, para estacionamentos com revestimento galvanizado por imersão a quente e uma com revestimento pintado. De maneira similar ao estudo da VTT Technical Research, a Universidade Técnica de Berlim se empenhou para determinar o impacto de revestimentos galvanizados por imersão a quente, bem como estabelecer uma referência para melhorias futuras. Os resultados do estudo demonstraram mais uma vez o impacto significativo que o revestimento exerce sobre o aspecto ambiental total do estacionamento.

Os seguintes parâmetros foram utilizados no estudo com a estrutura para estacionamento:

- 60 anos de tempo de vida útil;
- 1 m² de peça de aço (20m²/tonelada métrica);
- Índice de corrosão do revestimento galvanizado: 1 microm por ano (ambiente de classificação C3 segundo a norma ISO 1461);
- Sistema com pintura: Sistema com três camadas de revestimento, com 240 micrometros de espessura;
- Manutenção da pintura: Aos 20 e aos 40 anos (ISO 12944).

Este estudo também examinou os valores de PED, GWP, AP e POCP de cada sistema de revestimento. Os resultados de cada área de impacto são muito menores no estacionamento com revestimento por galvanização por imersão a quente que no estacionamento com revestimento por pintura. De maneira similar à da varanda com pintura, os dois ciclos de manutenção necessários para o estacionamento com pintura aumentam significativamente o consumo de recursos e energia do estacionamento.

Visto que a galvanização não necessita de manutenção durante seus 60 anos de vida útil, o consumo total de recursos e energia da estrutura galvanizada é de somente 32% do que é necessário para a garagem pintada,

e o GPW é equivalente a 38% do valor registrado para a estrutura pintada. Além disso, o AP é 15% menos do que para a pintura e o POCP é 33% menor (Figura 19).



Figura 19: Garagem pintada

DESEMPENHO ECONÔMICO DO AÇO GALVANIZADO POR IMERSÃO A QUENTE

Além do impacto ambiental, um verdadeiro desenvolvimento sustentável também deve considerar os impactos econômicos. De maneira similar às análises ambientais, para entender os custos completos de um sistema de proteção contra corrosão, é necessário enxergar para além dos custos iniciais referentes ao Custo do Ciclo de Vida (LCC).

O LCC é a análise do custo real de um sistema de revestimento considerando todo o seu tempo de vida útil. Ele considera: custos iniciais, custos com retoques, custos de manutenção, custos com revestimento, inflação e custos de oportunidades. Com bastante frequência, especificadores baseiam suas decisões somente nos custos iniciais, um erro potencialmente fatal para as futuras gerações.

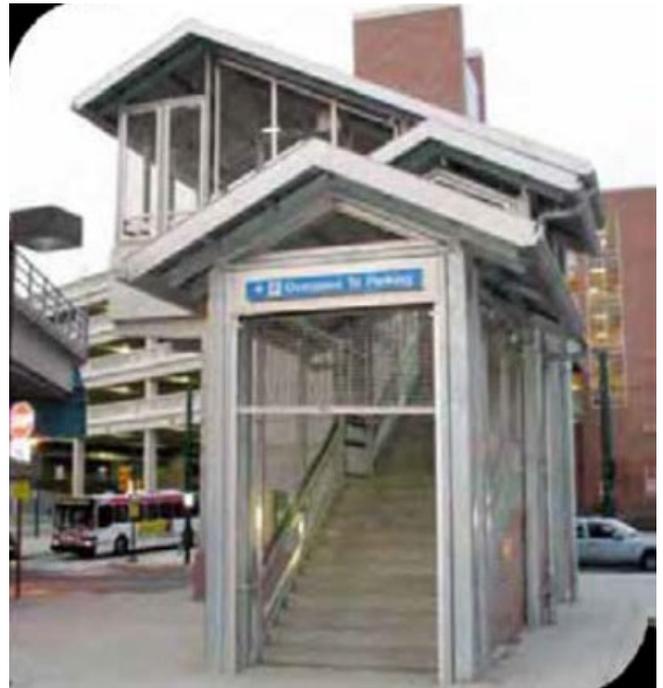
Ao escolher um sistema de proteção contra corrosão baseados apenas nos custos iniciais, os especificadores erram ao não considerarem os gastos com manutenções futuras, o que muitas vezes significa uma incapacidade de economizar reservas em orçamentos futuros para tal finalidade. Esse tipo de descuido, muito comum, contribui para o aumento dos problemas de corrosão em toda a América do Norte.

Com base em um estudo de 2001, executado pela NACE, FHWA e CC Technologies, atualizado para o PIB do Brasil de 2020 - de R\$ 7,4 trilhões -, indica-se que os custos com corrosão metálica custam 4% do PIB, ou seja

R\$ 296 bilhões, todos os anos no país. Todavia, estes 296 bilhões somente refletem os custos diretos da corrosão. Há também os indiretos (atrasos com o trânsito, oportunidades comerciais perdidas, segurança, etc.) a serem considerados e que podem ser de 5 a 11 vezes maiores que os custos diretos.

Embora a corrosão seja um fenômeno natural - que não pode nunca ser completamente eliminado - é um erro acreditar que nada pode ser feito. Uma das maneiras mais rápidas e eficientes de cortar os custos de corrosão é especificar e elaborar um orçamento para sistemas de proteção contra corrosão com base no Custo do Ciclo de Vida (LCC).

O LCC é a análise do custo real de um sistema de revestimento comparado ao seu tempo total de vida útil. O LCC, como já dito anteriormente, considera custos iniciais, custos com retoques, custos de manutenção, custos com revestimento, inflação e custos de oportunidades.



▪ Custo Inicial

Ao escolher um sistema de proteção contra corrosão, o custo inicial terá que ser sempre considerado. Ele leva em consideração todos os custos materiais e de mão de obra para a produção do produto revestido. Muitos especificadores acreditam, erroneamente, que a galvanização por imersão a quente não é econômica do ponto de vista dos custos iniciais. Entretanto, ao considerar sistemas comuns de revestimento por pintura, com 2 ou 3 camadas para proteção contra corrosão, a galvanização por imersão a quente se mostra muito competitiva do ponto de vista dos custos.

▪ Custo do Ciclo de Vida

Para atender aos parâmetros econômicos de um desenvolvimento sustentável, o Custo do Ciclo de Vida (LCC) - que pode ser bastante complicado de calcular - também deve ser considerado. Visto que a galvanização por imersão a quente proporciona um desempenho livre de manutenções por 75 anos ou mais, na maior parte dos ambientes, o seu Custo do Ciclo de Vida é quase sempre o mesmo que o seu custo inicial. Por outro lado, sistemas com pintura necessitam de manutenções periódicas, com um cronograma definido, o que aumenta o custo do sistema durante a vida útil do projeto. Consequentemente, ao analisar o LCC, a galvanização por imersão a quente possui uma vantagem inquestionável sobre sistemas de pintura.

DESEMPENHO SOCIAL DO AÇO GALVANIZADO POR IMERSÃO A QUENTE

O terceiro aspecto de um desenvolvimento sustentável, ou seja, suas ramificações sociais, é um pouco mais difícil de medir. Porém, existem alguns impactos positivos inerentes resultantes da utilização da galvanização por imersão a quente. O aspecto social de um desenvolvimento sustentável está interligado aos impactos ambientais e econômicos, e ele pode ser medido mais facilmente por meio de melhoria na qualidade de vida e progresso social.

Além das características já discutidas, como durabilidade, desobrigação de manutenção e longevidade, a galvanização por imersão a quente também proporciona impactos sociais positivos na área de segurança.

A finalidade da utilização da galvanização por imersão a quente é minimizar a corrosão. Quanto menor for a corrosão de infraestruturas, edifícios, redes elétricas, entre outros, maior será o nível de prosperidade e segurança no mundo. À medida que as infraestruturas na América do Norte continuam a envelhecer e a se deteriorarem em um ritmo mais rápido que os ciclos de manutenção, a possibilidade de desastres potencialmente fatais aumenta. Além disso, a galvanização por imersão a quente pode ajudar a minimizar os danos causados por desastres naturais.

A galvanização por imersão a quente atende aos novos padrões sísmicos, que estão mais rígidos, elaborados para tornar as estruturas mais resistentes a terremotos. A história também demonstra que âncoras galvanizadas por imersão a quente, fixadas ao solo, minimizam os estragos causados por furacões em habitações móveis, e postes galvanizados de transmissão e distribuição mantêm o funcionamento de seus serviços durante desastres naturais, como furacões, por exemplo.

Além dos muitos benefícios sociais que a galvanização por imersão a quente agrega às construções, a indústria de galvanização por imersão a quente se esforça para melhorar nossa posição social, econômica e ambiental atuais.

A indústria adotou um Estatuto de Desenvolvimento Sustentável, em 2005, com o compromisso de gerir, de maneira responsável, todos os riscos relacionados ao meio ambiente e à saúde humana, mantendo nossos funcionários, cidadãos e comunidades mais seguros. Além disso, em vez de nos acomodarmos confortavelmente em nossa posição atual, a indústria participa ativamente de pesquisas voltadas para a melhoria da sustentabilidade e eficiência do processo de galvanização e dos produtos galvanizados por imersão a quente.

CONCLUSÃO

O Desenvolvimento Sustentável é um aspecto essencial do presente e do futuro das construções civis. Embora haja vários métodos distintos para medir o nível de sustentabilidade, todos eles, no fim das contas, possuem o mesmo objetivo: construir o que for necessário para o presente sem comprometer o futuro.

O aço galvanizado por imersão a quente ocupa uma posição única, podendo contribuir amplamente para a construção de um futuro sustentável. O aço por si só é um componente essencial das construções modernas, mas sua susceptibilidade à corrosão, quando exposto, é um ponto negativo à causa do desenvolvimento sustentável.

O revestimento de aço com zinco por meio do processo de galvanização por imersão a quente protege o aço contra corrosão com impactos mínimos na esfera ambiental, econômica e social. Portanto, a utilização do aço galvanizado por imersão a quente pode servir como a base da revolução sustentável, alcançando os objetivos do desenvolvimento sustentável sem comprometer a capacidade das gerações futuras de fazer o mesmo.

Fonte: Traduzido parcialmente da literatura “Hot Dip Galvanizing for Sustainable Design” – IZA (International Zinc Association) / AGA (American Galvanizers Association) e acrescentados dados do PIB brasileiro de 2020. 📌