



Congresso Internacional de Pintura e
Revestimentos Anticorrosivos



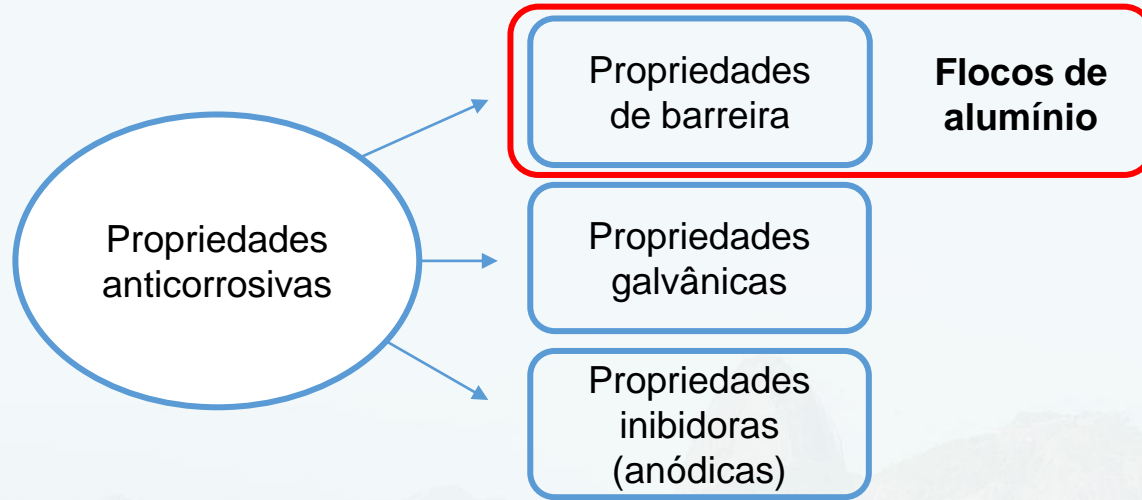
OS FLOCOS DE ALUMÍNIO SÃO SEMPRE IMPORTANTES COMO PIGMENTOS DE BARREIRA?

Leonardo Mukim

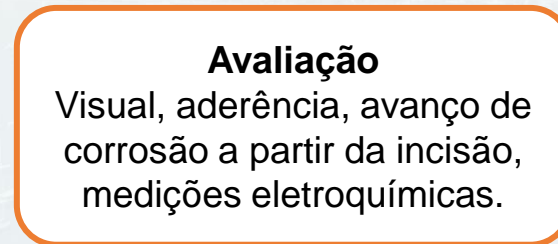
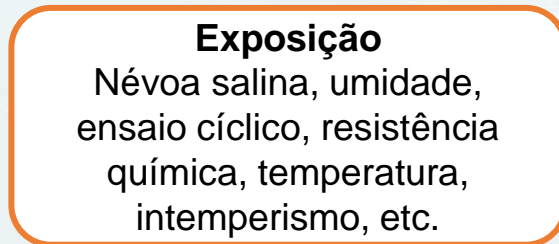
Andreas Loken



Propriedades anticorrosivas e caracterização

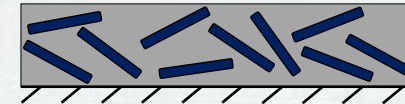
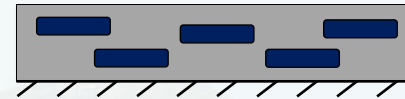
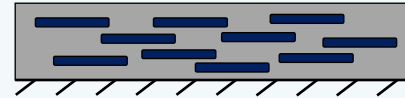


Caracterização



O que são propriedades de barreira?

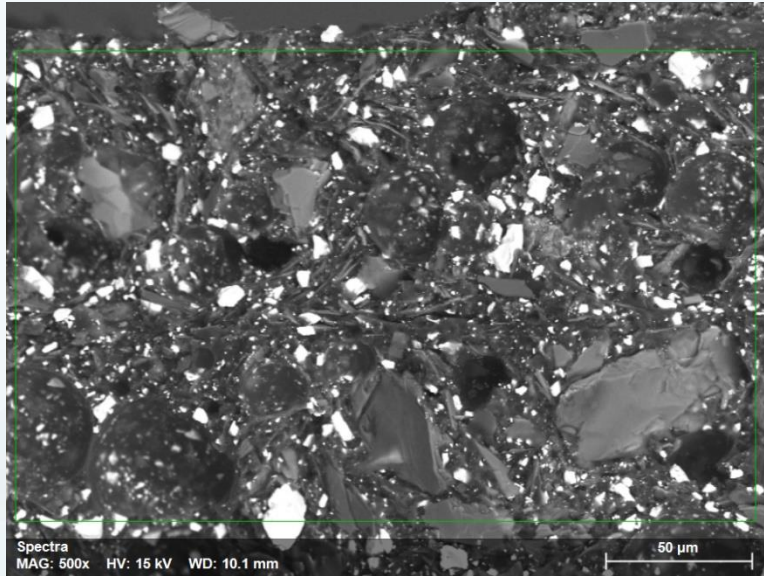
- Obstáculo mecânico para o caminho de agentes corrosivos através do filme.
- Baseia-se em ter pigmentos semelhantes a flocos lamelares, orientados paralelamente ao substrato.
- Pigmentos de barreira mais utilizados:
 - Flocos de vidro
 - Flocos de alumínio
 - Óxido de ferro micáceo (MIO)
- Concentrações específicas de pigmento de barreira podem não resultar em propriedades de barreira semelhantes.



Mesma
concentração
de pigmento –
resultados
muito diferentes

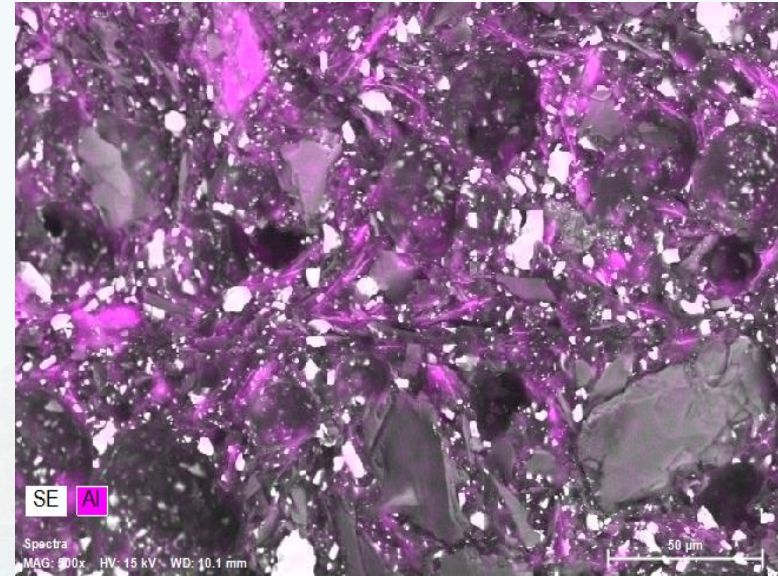
Imagem de MEV

MEV



MEV da seção transversal de filme livre (2 x 125 μm) de revestimento epóxi com 9% de Al na composição

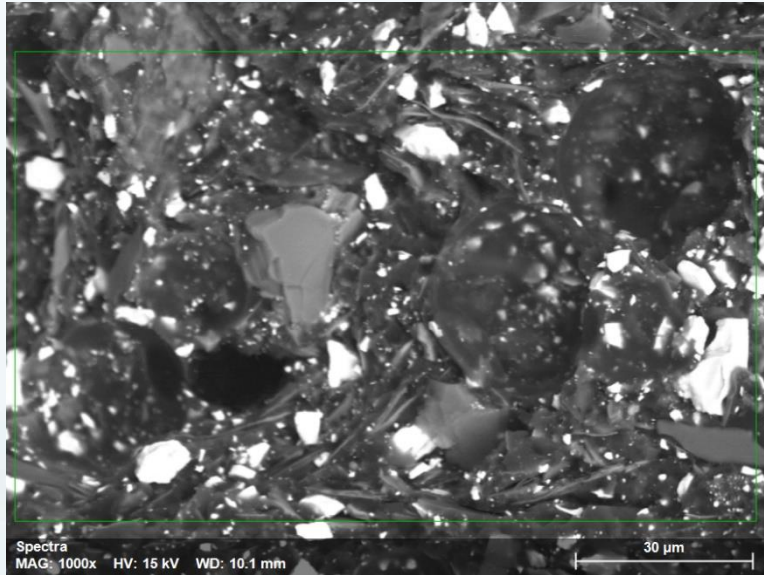
MEV com EDS



Mapa elemental com imagem MEV correspondente, exibindo apenas Al como o elemento de interesse

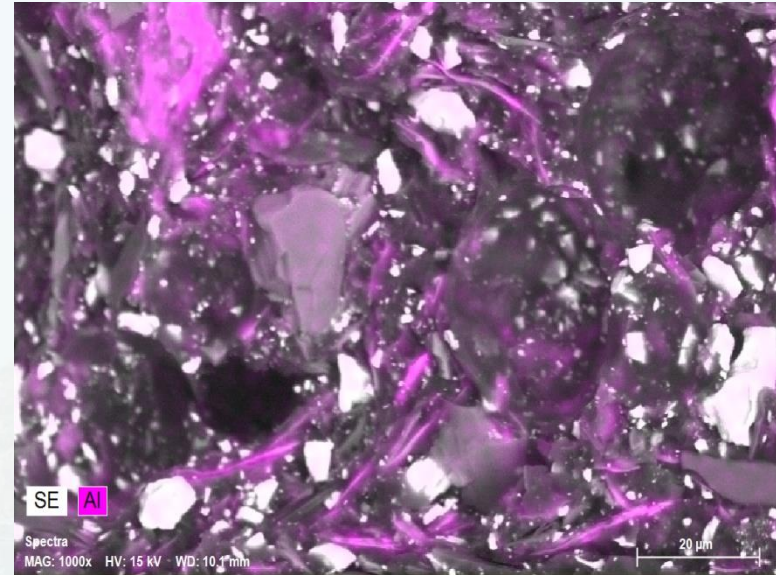
Imagem de MEV

MEV



MEV da seção transversal de filme livre (2 x 125 μm) de revestimento epóxi com 9% de Al na composição

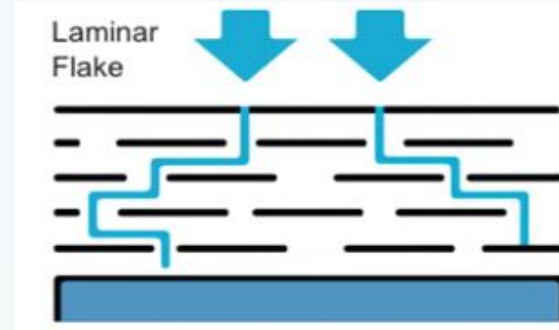
MEV com EDS



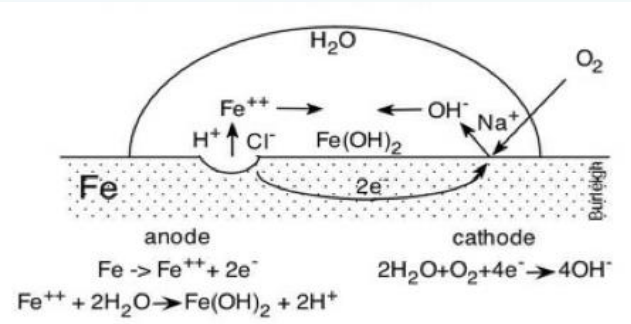
Mapa elemental com imagem MEV correspondente, exibindo apenas Al como o elemento de interesse

Pigmentos em flocos de alumínio

1. Redução do descolamento catódico

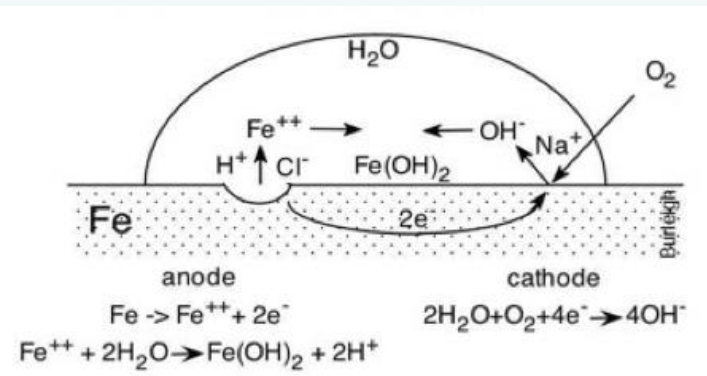


2. Melhoria da propriedade de barreira

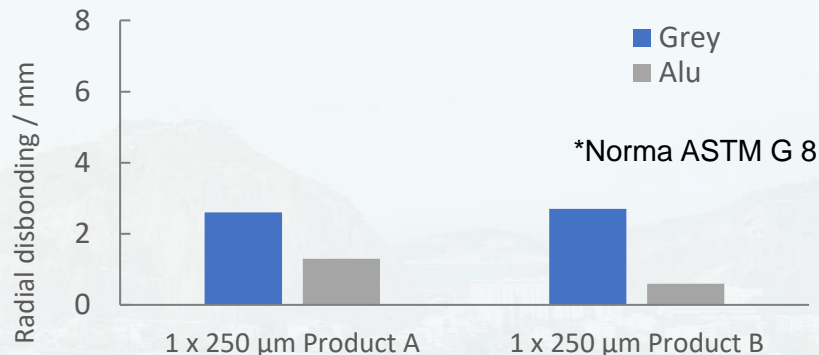
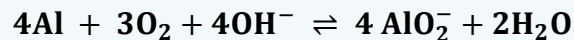


Pigmentos em flocos de alumínio

1. Redução do descolamento catódico



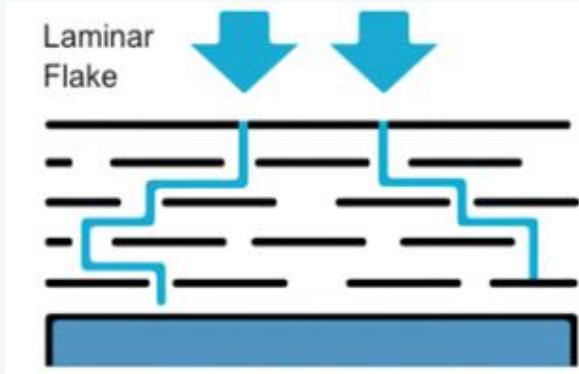
- O descolamento catódico é causado pela formação de hidróxidos (elevada alcalinidade no local).
- O alumínio reduz a extensão do descolamento catódico eliminando hidróxidos do meio [1,2]:



[1] Knudsen, O.Ø. and U. Steinsmo, Journal of Corrosion Science and Engineering, 1999. 2.

[2] Knudsen, O.Ø. and J.I. Skar. CORROSION 2008, Paper no: NACE-08005

Pigmentos em flocos de alumínio

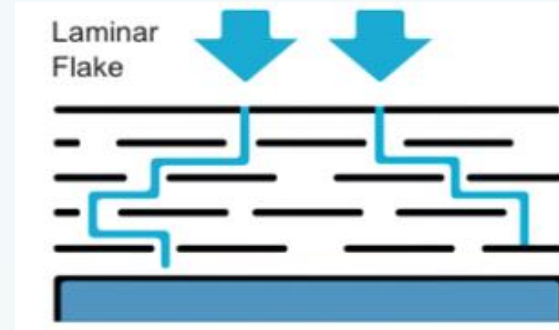


2. Melhoria da propriedade de barreira

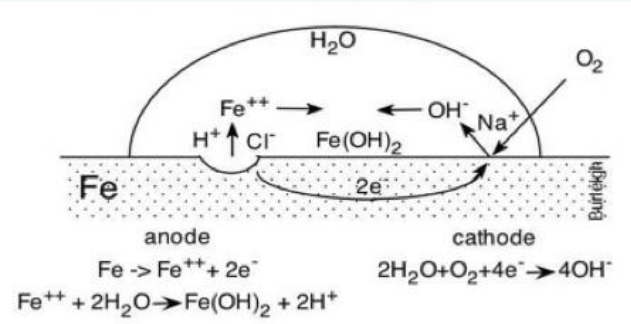
- Nenhum estudo sistemático demonstra, de fato, uma melhoria do efeito de barreira proveniente dos flocos de alumínio.
- Resultados de ensaios extensivos e acelerados em laboratório geralmente são inconclusivos.
 - Difícil determinar como os resultados estão ligados às propriedades de barreira.

Pigmentos em flocos de alumínio

1. Redução do descolamento catódico



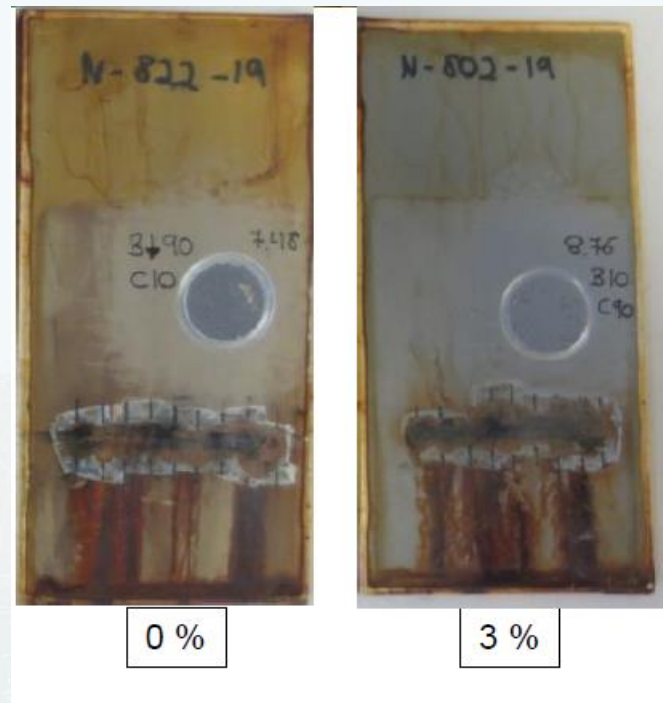
2. Melhoria da propriedade de barreira



Estudo sistemático de investigação do efeito do alumínio

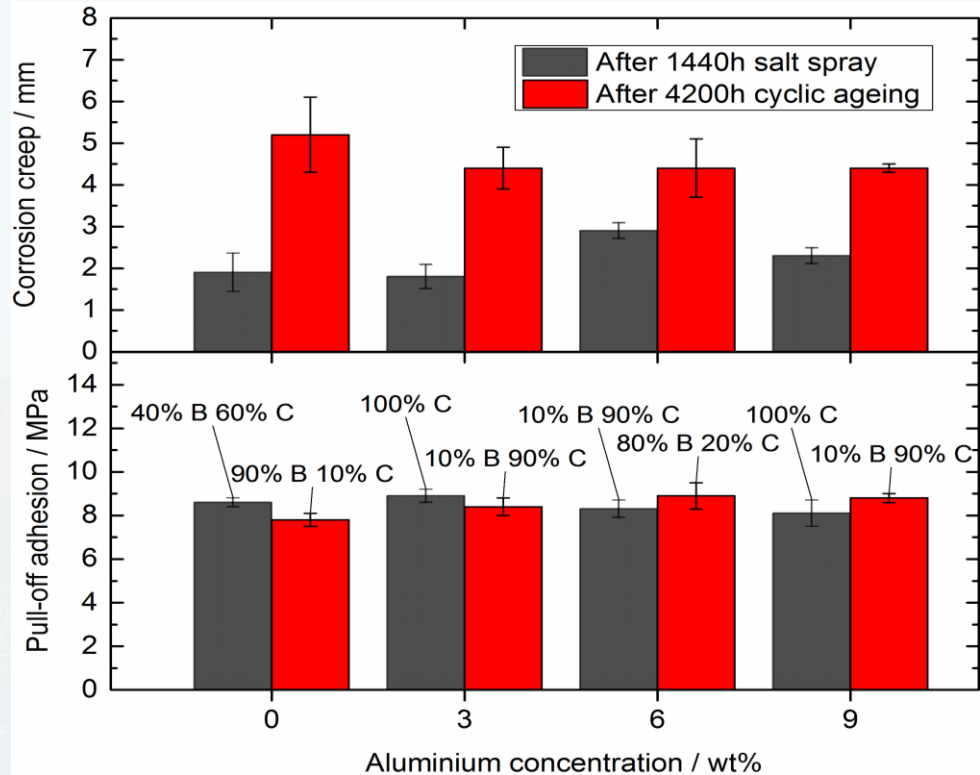
- 4 sistemas de revestimento epóxi com 2 x 125 µm.
- Concentração de alumínio variou sistematicamente:
0 → 3 → 6 → 9% em peso
- Sem alteração no PVC.
- Aplicação via airless em chapas de aço carbono, com preparação de superfície ao padrão Sa 3 (ISO 8501-1).

Ensaio	Norma	Duração
Envelhecimento Cíclico	ISO 12944-9	4200 h
Névoa Salina	ISO 9227	1440 h e 14000 h
Medidas de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS)	ISO 16773-2	Medição contínua (0 – 900 h), e após exposição prolongada
Aderência Pull-Off	ISO 4624	-



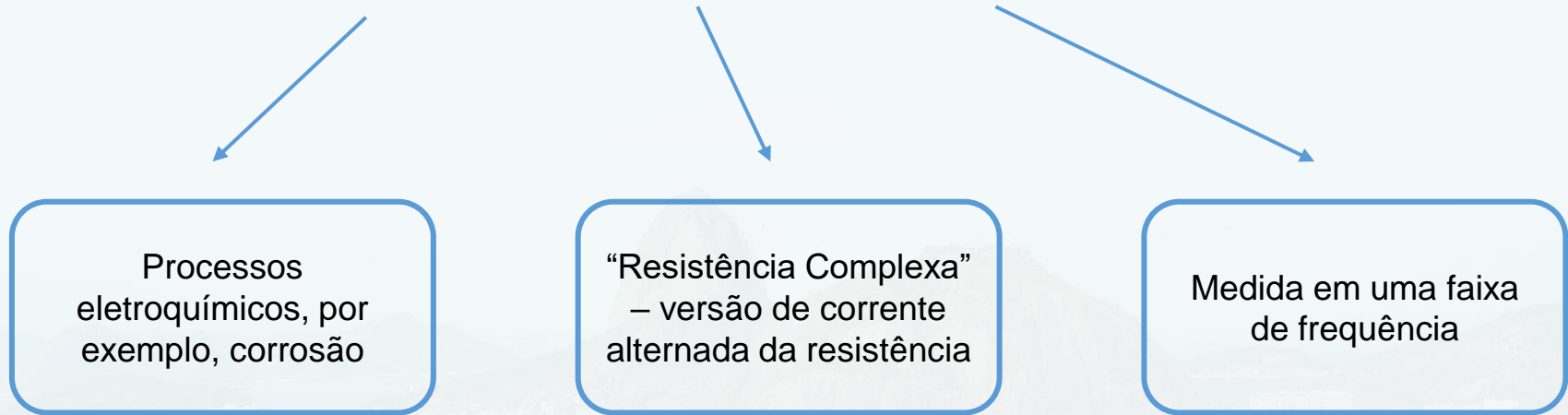
Resultados de ensaios acelerados em laboratório

- O avanço de corrosão a partir da incisão não variou em função da concentração de alumínio em nenhum dos ensaios de exposição.
- Diferenças insignificantes nos valores de aderência pull-off e naturezas de falha.



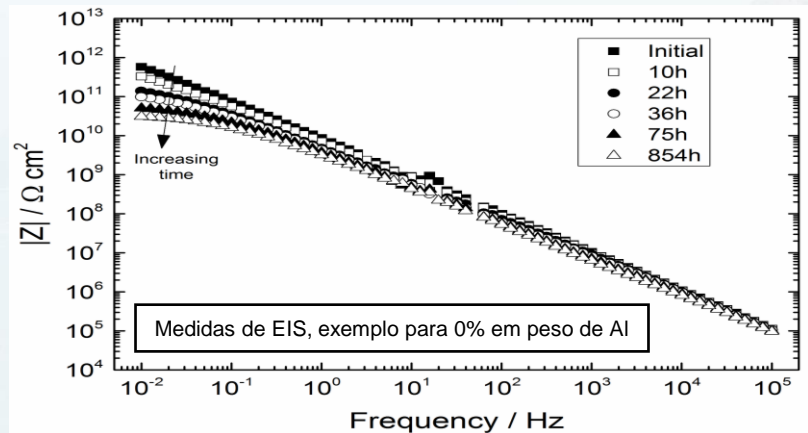
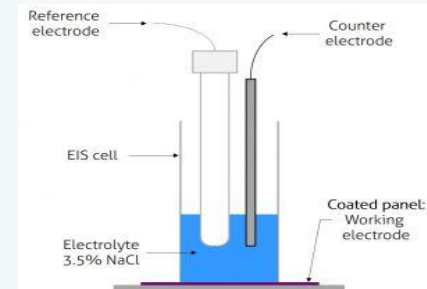
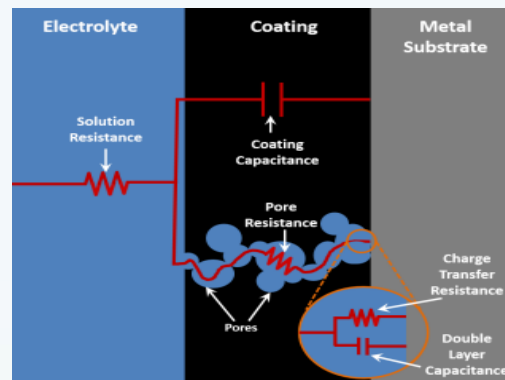
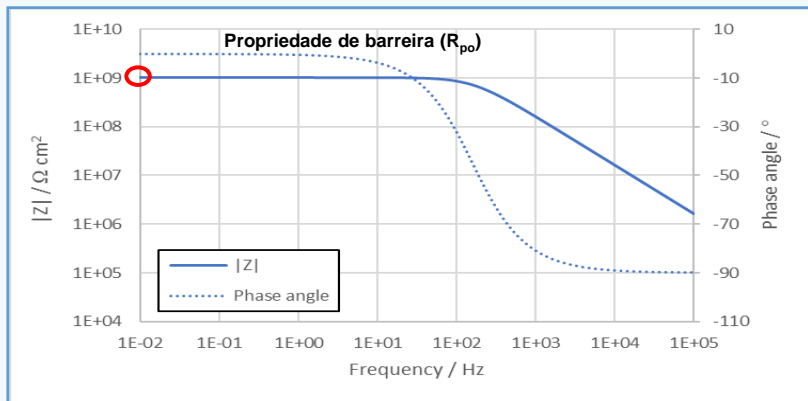
O que é EIS?

EIS = Electrochemical Impedance Spectroscopy
(*Espectroscopia de Impedância Eletroquímica*)



**EIS é um método de avaliação,
não é um método de teste**

Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS)



- EIS mede a impedância do sistema de revestimentos – relacionada à sua propriedade de barreira.
- A modelagem de circuito equivalente produz mais detalhes:

Capacitância do revestimento

Resistência dos poros

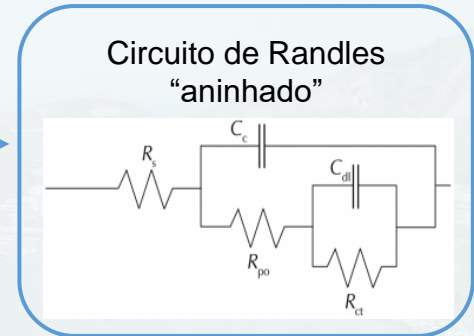
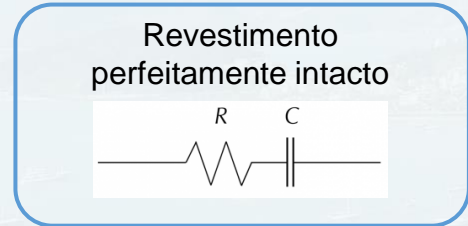
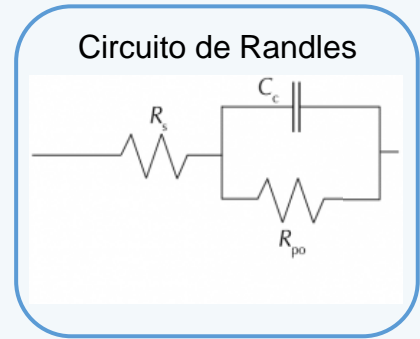
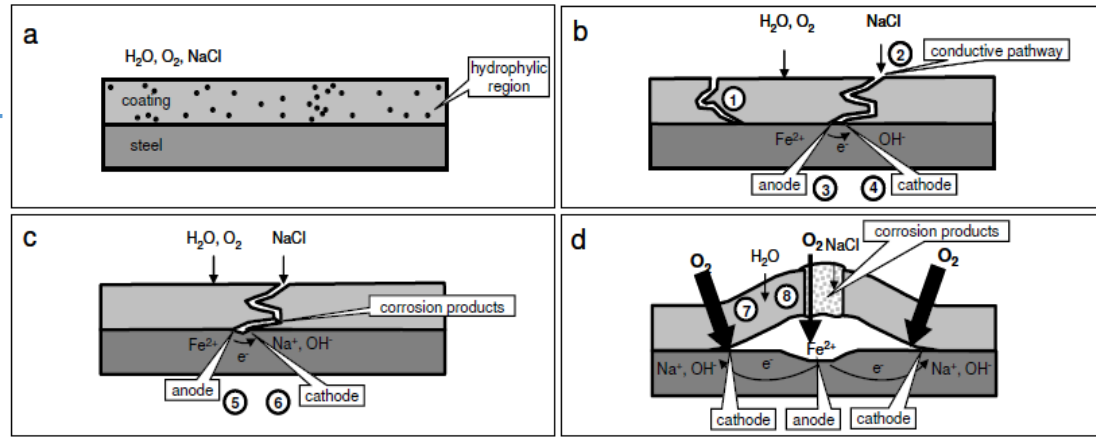
Absorção de água

Difusão de água

Propriedade de barreira

*Esquema retirado do N. Waters *et al.*, "Electrochemical impedance spectroscopy for coating evaluation using a micro sensor", (Conferência Anual da Prognostics and Health Management Society 2014)

Interpretação dos dados EIS – Espectros de impedância típicos



Capacitância do revestimento monitora a permeação de água

Quando submerso, a capacitância efetiva de um revestimento aumentará, devido à permeação/absorção de água.

Mudança mais rápida = maior difusão.

Constante dielétrica do revestimento

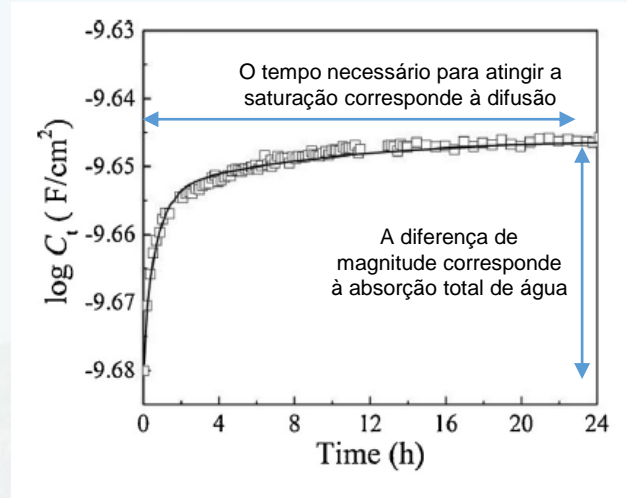
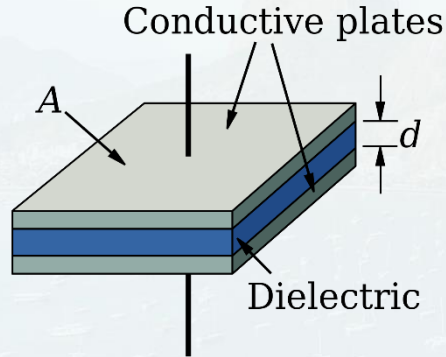
$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d}$$

Área medida

Espessura do revestimento

ϵ_r (água) = 80

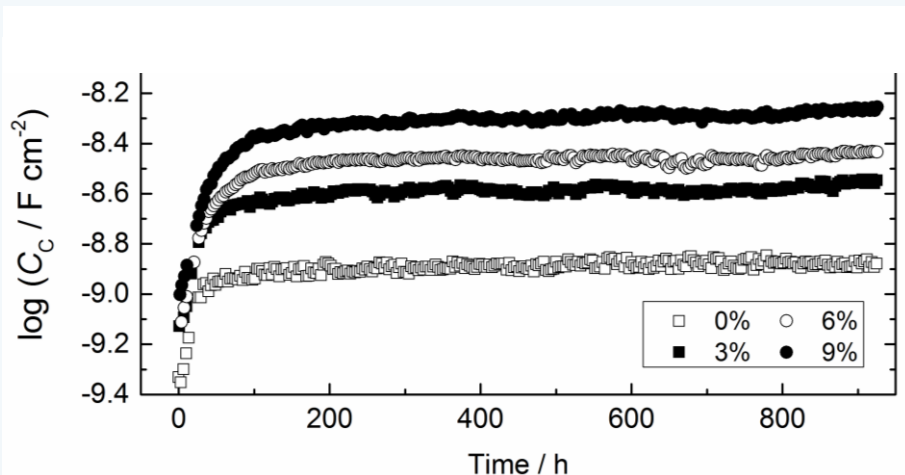
ϵ_r (revestimento seco) = 1-4



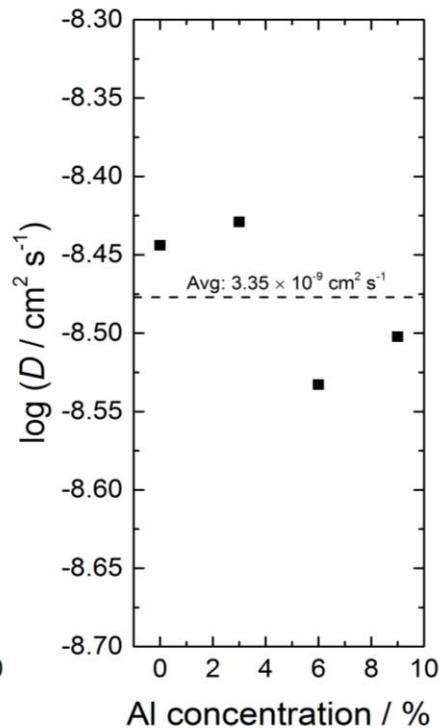
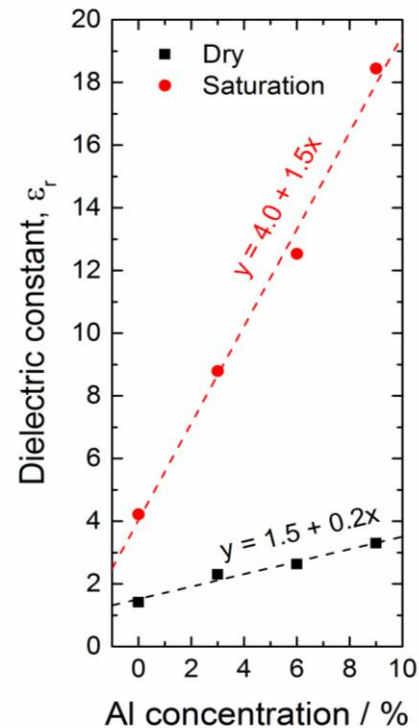
Capacitância do revestimento extraída de medições contínuas de EIS

*Retirado do: Fen et al., *Progress in Organic Coatings*, 137, 2019, p.105333

Capacitância do revestimento – Flocos de alumínio

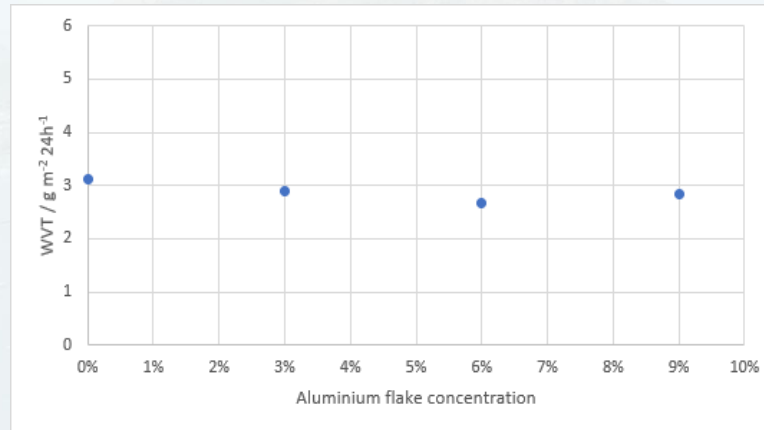
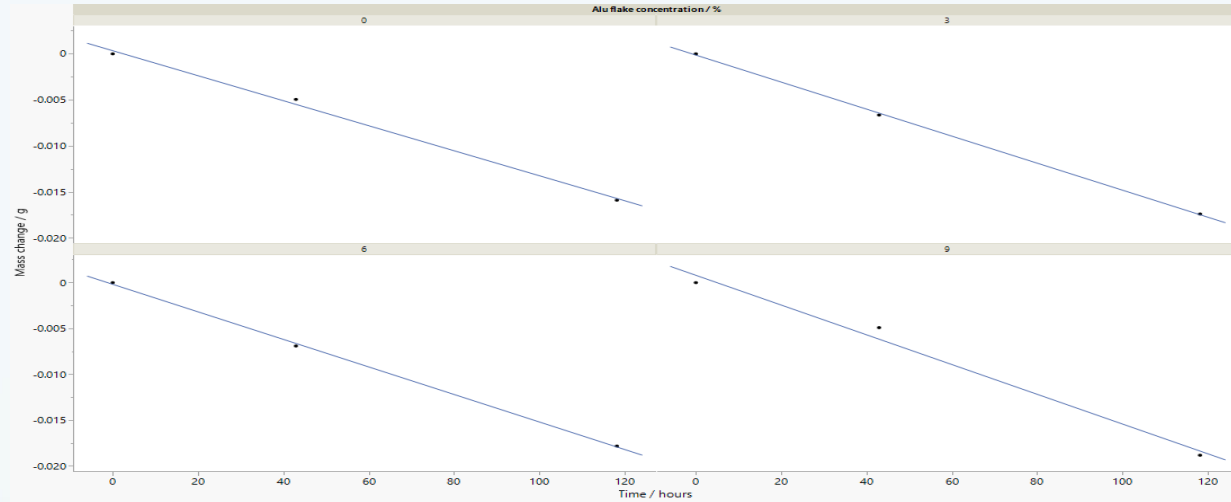


- Maior capacitância inicial com o aumento da concentração de Al – ϵ_r varia em função da concentração de Al.
- Variação insignificante na taxa de mudança na capacitância, relacionada à difusão da água.
- Os flocos de alumínio não tiveram efeito na propriedade de barreira dos revestimentos.

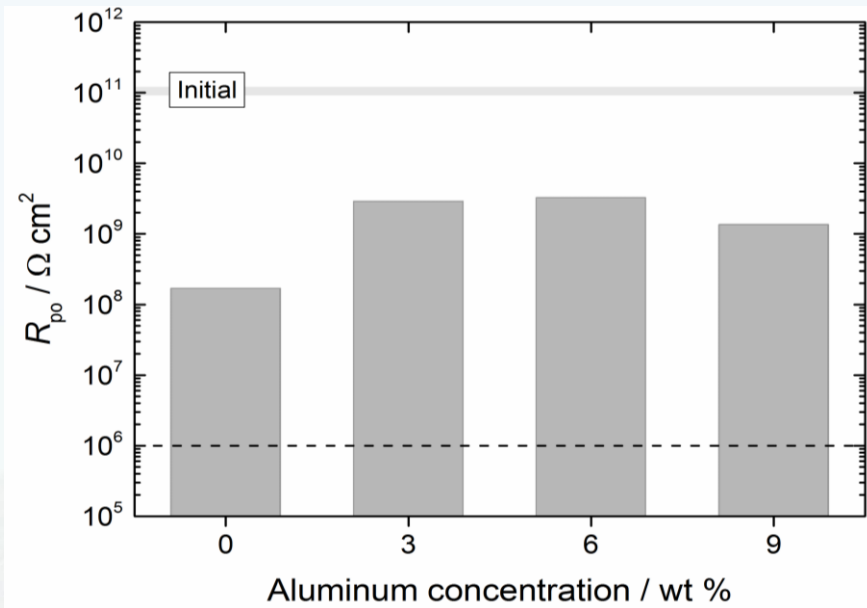
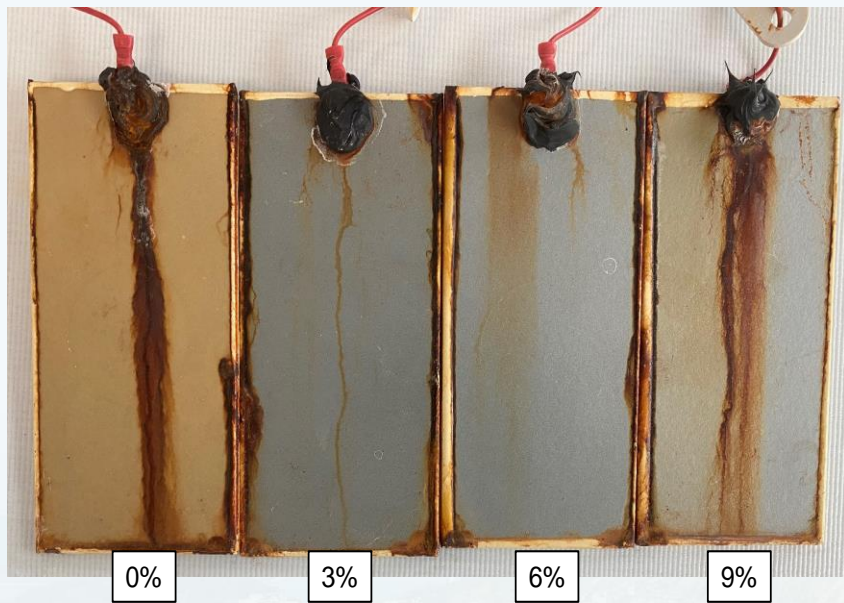


Taxa de transmissão de vapor d'água

- Ensaio realizado de acordo com a Norma ASTM D 1653, seguindo o método B (copo úmido) e a condição A (23°C e 50% URA).
- Amostras (filmes livres) preparadas em triplicata para cada composição (0, 3, 6 e 9% em peso de alumínio).
- Ensaio em andamento. Em princípio, deve-se medir em torno de 1 semana, no mínimo.



Exposição prolongada à névoa salina



- ❖ Nenhuma degradação visual, mesmo após 14000 h ($> 1 \frac{1}{2}$ ano), em salt spray neutro!
- ❖ A propriedade de barreira após exposição prolongada não aumentou significativamente com a concentração de alumínio.

Conclusões

- Os flocos de alumínio demonstraram reduzir o descolamento catódico.
 - **Efeito químico, não um efeito de barreira.**
- O alumínio aumentou a constante dielétrica dos revestimentos, tanto para os revestimentos secos quanto para os totalmente saturados.
- Os flocos de alumínio não afetaram significativamente a propriedade de barreira dos revestimentos avaliados.



Agradecimentos

- Departamento Global de Testes da Jotun
(Andreas Loken)

- Professora Isabel Margarit-Mattos
(POLI / COPPE / UFRJ)

Obrigado

OS FLOCOS DE ALUMÍNIO SÃO SEMPRE IMPORTANTES COMO PIGMENTOS DE BARREIRA?

Leonardo Mukim

E-mail: leonardo.moraes@jotun.com.br

Ramal: (21) 3147-3812

[LinkedIn](#)

