

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**PQI 5760 Corrosão na Indústria Química: Mecanismos e**  
**Prevenção**

**Aula 5**

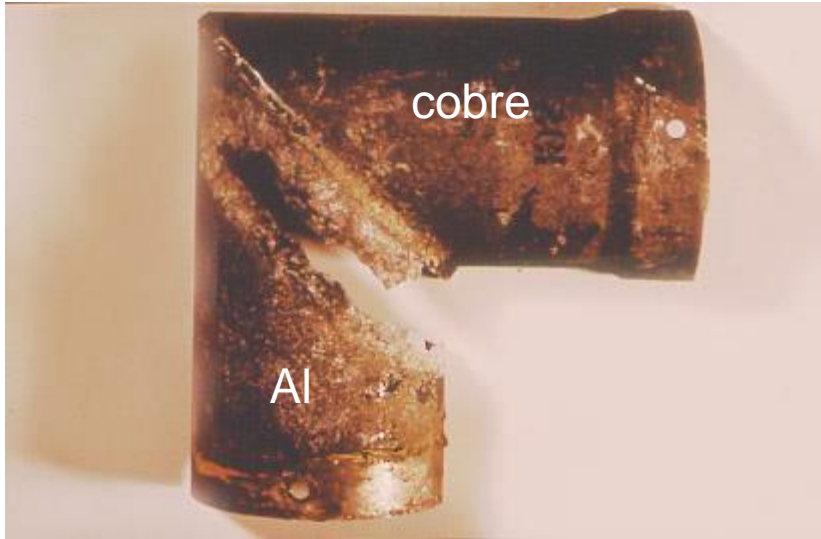
**CORROSÃO**  
**GALVÂNICA**

# CORROSÃO GALVÂNICA

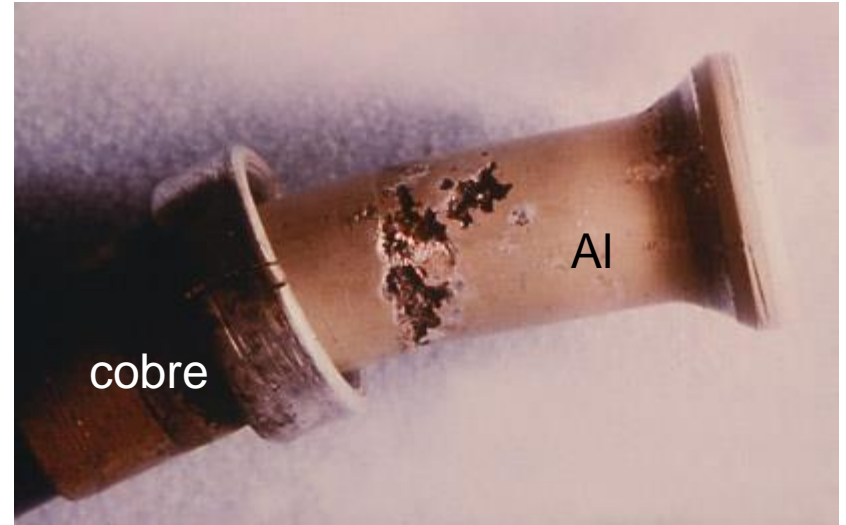
É resultante do acoplamento de dois metais ou ligas diferentes em contato com eletrólito, causando a transferência da carga elétrica de um para outro, por terem potenciais diferentes.

Caracteriza-se por apresentar corrosão localizada, próxima à região do acoplamento, ocasionando profundas perfurações no material metálico que funciona como anodo.

# CORROSÃO GALVÂNICA manifestação

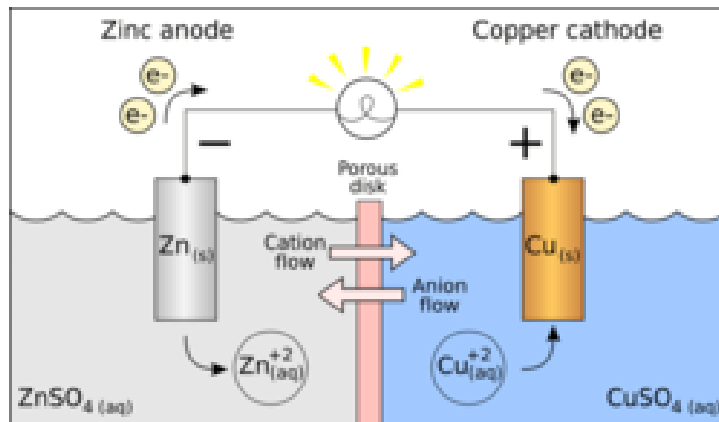


Tubo de alumínio para recolher água de chuva, onde se colocou um arame de cobre em volta e o ataque no Al foi muito intenso



Tubo de alumínio cadmiado foi ligado a um tubo de cobre . O revestimento era fino e com defeitos e através destes ocorreu ataque localizado no alumínio . De um sistema hidráulico de aeronave.

# CORROSÃO GALVÂNICA: como atua



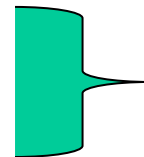
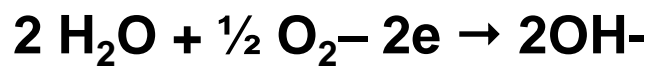
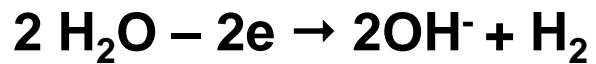
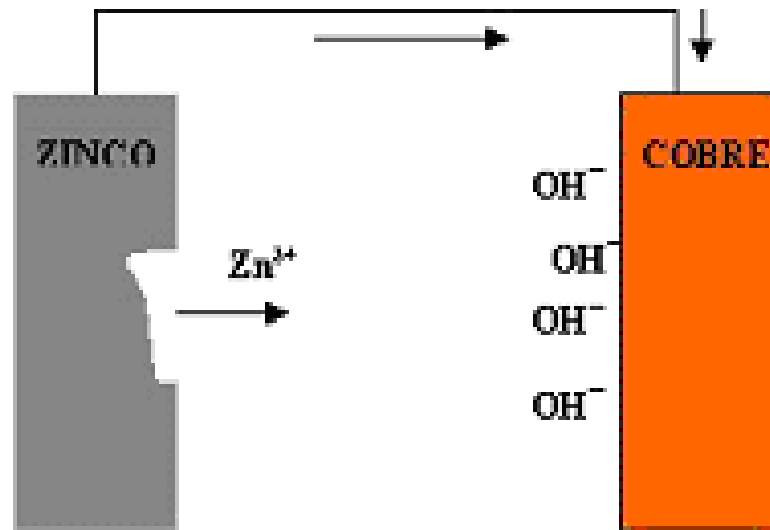
Formação de uma pilha galvânica

## CONDIÇÕES

- dois metais diferentes ( **par galvânico** )
- Em contato elétrico
- No mesmo eletrólito

- ✓ O metal menos nobre é corroído mais intensamente
- ✓ O metal mais nobre corrói menos ou fica protegido (**proteção catódica!!!**)

# CORROSÃO GALVÂNICA como atua



ocorrem  
sobre o  
cobre

# CORROSÃO GALVÂNICA relação de áreas



✓ Próximo ao acoplamento  
(elétrons são preguiçosos!!)  
O ataque ocorre no metal  
menos nobre do par - o aço

A relação de áreas expostas  
dos metais é muito  
importante!!

Área exposta ânodo >>> área do cátodo

# CORROSÃO GALVÂNICA mecanismo

✓ O metal menos nobre é corroído mais intensamente

✓ O metal mais nobre corrói menos ou fica protegido (proteção catódica!!!)

Tabela 9.1 Corrosão de ferro acoplado a outros metais

Segundo metal	Corrosão em miligramas	
	Ferro	Segundo metal
Magnésio	0.0	3104.3
Zinco	0.4	688.0
Cádmio	0.4	307.9
Alumínio	9.8	105.9
Antimônio	153.1	13.8
Tungstênio	176.0	5.2
Chumbo	183.2	3.6
Estanho	171.1	2.5
Níquel	181.1	0.2
Cobre	183.1	0.0

Table 3-3 Change in Weight of Coupled and Uncoupled Steel and Zinc, g

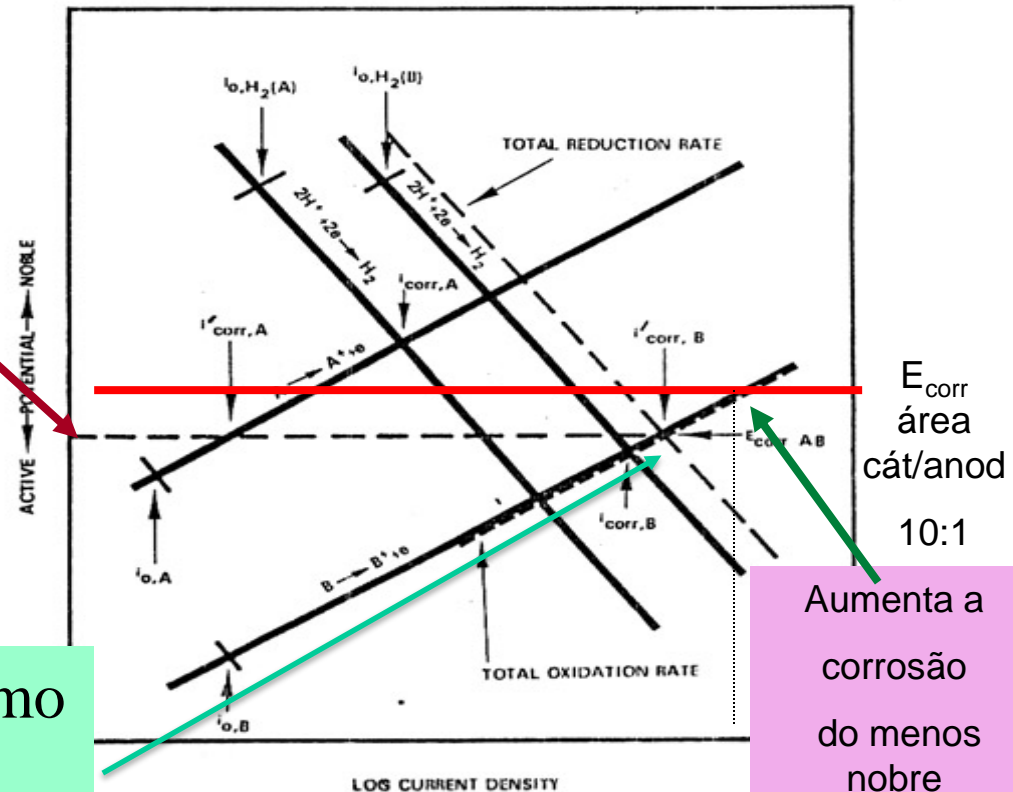
Environment	Uncoupled		Coupled	
	Zinc	Steel	Zinc	Steel
0.05 M MgSO <sub>4</sub>	0.00	-0.04	-0.05	+0.02
0.05 M Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-0.17	-0.15	-0.48	+0.01
0.05 M NaCl	-0.15	-0.15	-0.44	+0.01
0.005 M NaCl	-0.06	-0.10	-0.13	+0.02

Influência do acoplamento galvânico na  $v_{\text{corr}}$

# CORROSÃO GALVÂNICA mecanismo

Ocorre quando dois metais diferentes são postos em contato elétrico num mesmo eletrólito (meio corrosivo). Ambos os metais serão polarizados de modo que cada um corroerá com uma nova velocidade. O mais nobre corroerá menos (fica protegido) e o menos nobre corroerá mais.

O potencial do par galvânico será um valor intermediário entre os potenciais de corrosão de cada um dos metais que formam o par



Aumenta a corrosão do menos nobre

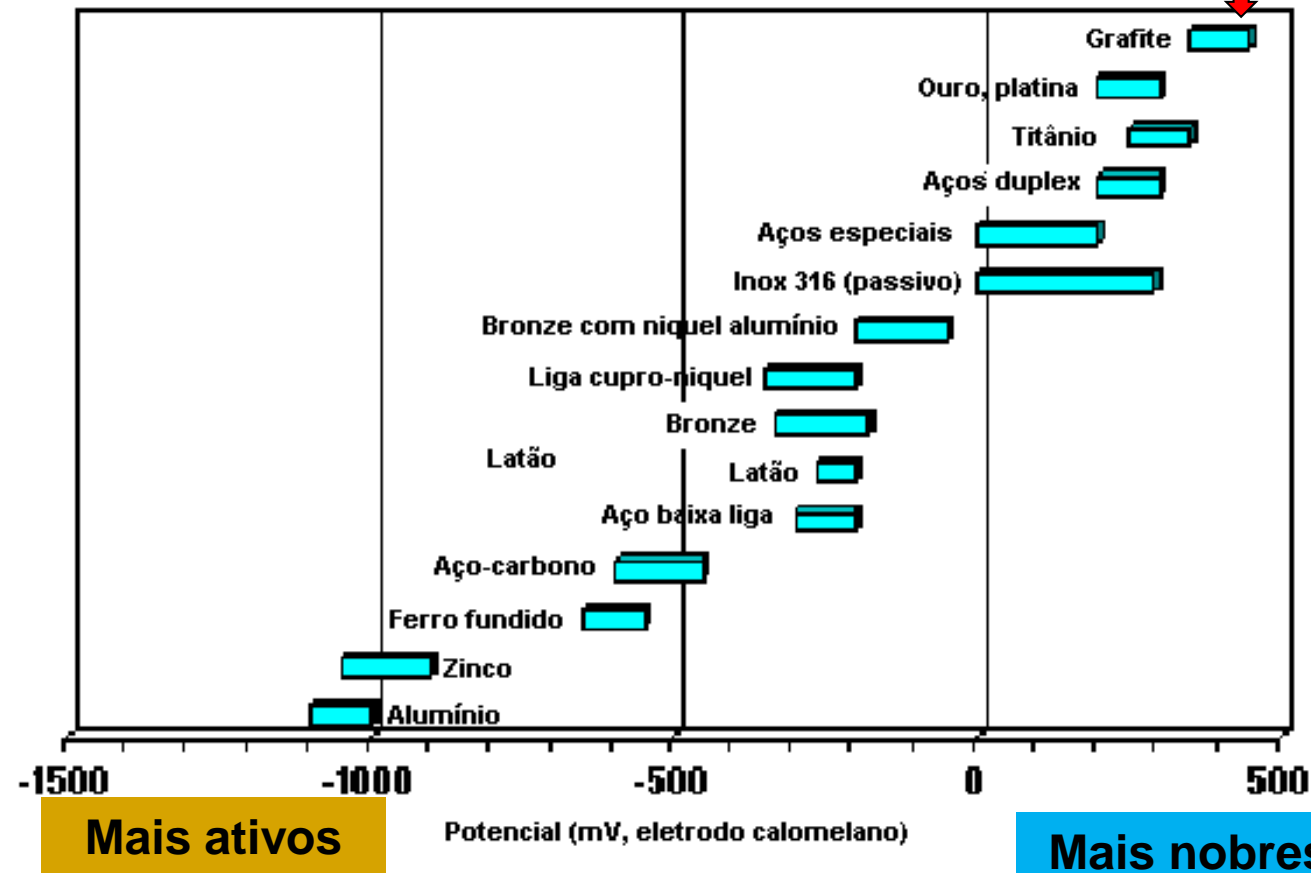
$E_{corr}$   
área  
cát/anod  
10:1

Para áreas iguais, o  $E_{par}$  é próximo do valor do  $E_{metal}$  menos nobre



# CORROSÃO GALVÂNICA - série galvânica

É montada uma classificação dos diferentes metais e ligas pelos seus potenciais de corrosão num dado meio – em água do mar



## Série eletroquímica

	METAL	*POT. ELETRODO	
MENOS NOBRES	Magnésio	-2,340	ANÓDICOS
	Alumínio	-1,670	
	Zinco	-0,762	
	Cromo	-0,710	
	Ferro	-0,440	
	Cádmio	-0,402	
	Níquel	-0,250	
	Estanho	-0,136	
	Chumbo	-0,126	
MAIS NOBRES	Cobre	+0,345	CÁTÓDICOS
	Prata	+0,800	
	Ouro	+1,680	

Tabela 1

# CORROSÃO GALVÂNICA - curvas de polarização

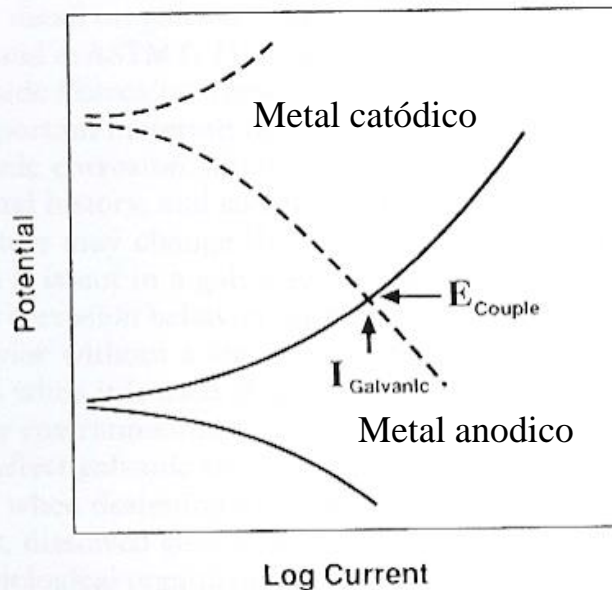


FIG. 10—Rough prediction of galvanic current from overlapping polarization curves.

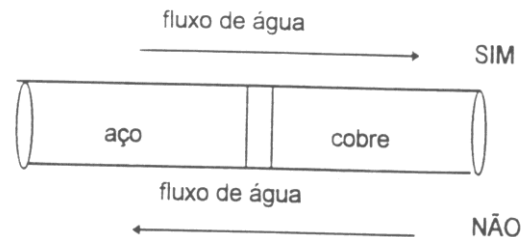
O encontro das curvas anódica do metal menos nobre (anódico) com a curva catódica do metal mais nobre, resulta no potencial do par galvânico e na densidade de corrente galvânica

## • *Técnicas gravimétricas para se medir a corrosão galvânica*

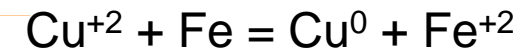
Consiste na medida da variação de massa dos corpos de prova acoplados com o tempo de imersão.

# CORROSÃO GALVÂNICA - casos práticos

- Acoplamento direto de metais diferentes
- Presença de íons metálicos oxidantes no meio onde se insere o metal.



**Deslocamento galvânico**



## • Inversão de polaridade

- Na presença de complexantes: cianeto, EDTA, ácidos orgânicos. Ex.: aço + Sn (fica menos nobre)
- Com formação de películas protetoras → passivação – Al(cátodo- está passivo) e aço carbono (ânodo)
- Ação da temperatura Ex.: aço zincado em água quente e em água fria

Partículas de cobre metálico se depositam sobre o aço e geram micro-células galvânicas de ação local - perfuração

# CORROSÃO GALVÂNICA alguns casos

deslocamento galvânico



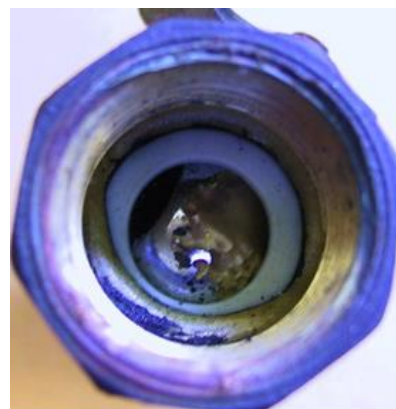
**Chapas de aço imersas em sulfato de cobre**



**Corrosão galvânica de Al em contato com parafuso de aço inox 304**

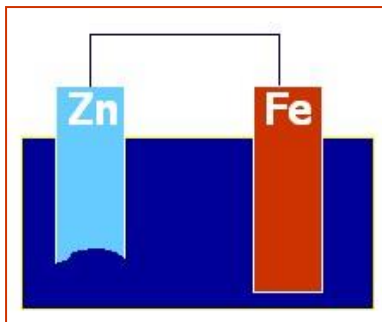


**Corrosão galvânica dos parafusos de aço ao carbono pelo contato com chapa de latão**

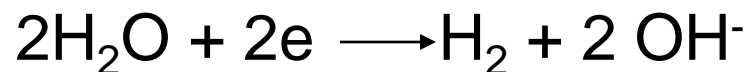
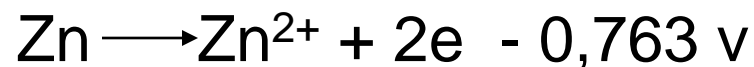


**Corrosão galvânica em corpo de aço de válvula esfera que tem elemento regulador de vazão em aço inox**

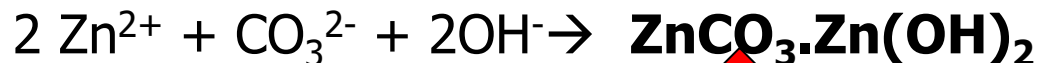
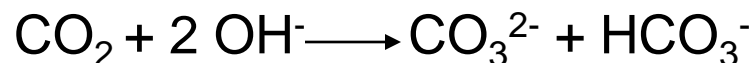
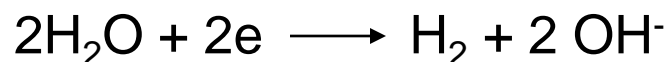
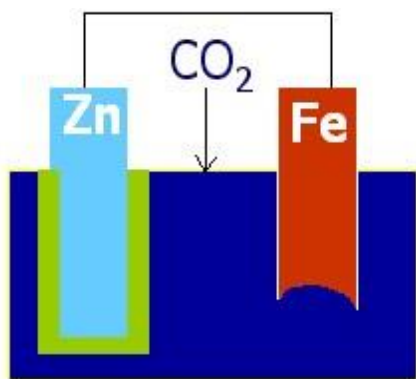
# CORROSÃO GALVÂNICA - natureza dos produtos de corrosão formados



Em aço galvanizado, o revestimento de Zn confere proteção catódica ao aço



Presença de  $\text{CO}_2$ , temperatura de  $70^\circ\text{C}$ , pH neutro ou básico



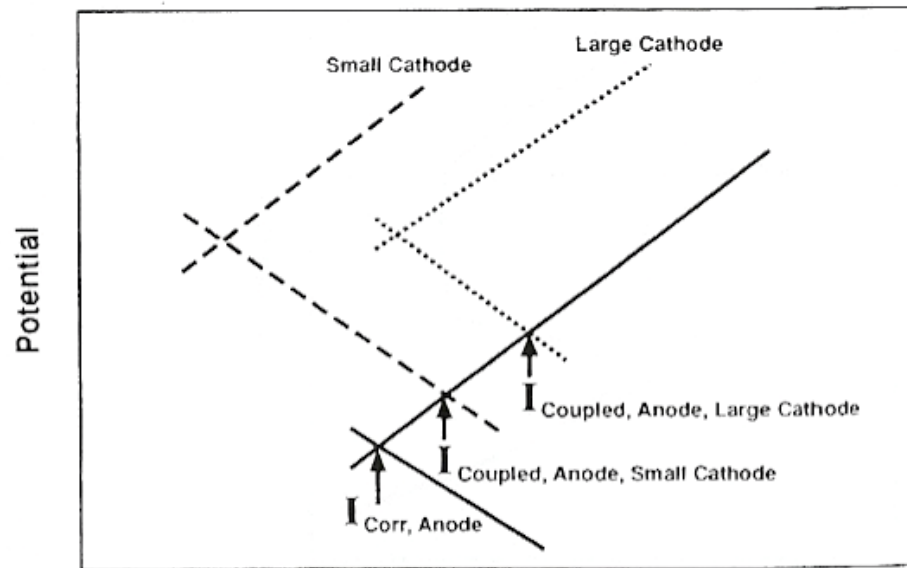
Por isso não se usam tubos de aço galvanizado para água quente

Com a formação de produtos protetores sobre o zinco – o aço será atacado nos defeitos do revestimento de Zn

# Corrosão galvânica – fatores importantes

- Diferença de potenciais de corrosão entre os metais constituintes do par galvânico;
- Distância e relações numéricas entre as áreas anódicas e catódicas;
- Polarização da reação catódica sobre a superfície do metal mais nobre e da polarização da reação anódica do metal menos nobre;
- Natureza do meio corrosivo;
- Natureza dos produtos de corrosão que possam ocorrer na superfície metálica – se forem protetores – inversão de polaridade – Zn em água quente.

## Corrosão galvânica - importância da relação de área cátodo:ânodo



Log Total Reaction Rate, I  
 Efeito da área do catodo na corrente galvânica do par

Efeito da área do metal catódico na corrente galvânica do par

Quanto maior a área do mais nobre, pior para o menos nobre!!!

$$I_a = I_c$$

$$i_a \cdot A_a = i_c \cdot A_c$$

$$i_a = \frac{i_c A_c}{A_a}$$



## Corrosão galvânica - importância da relação de área cátodo:ânodo



Ataque intenso nas pequenas áreas anódicas expostas (defeitos da pintura do menos nobre)

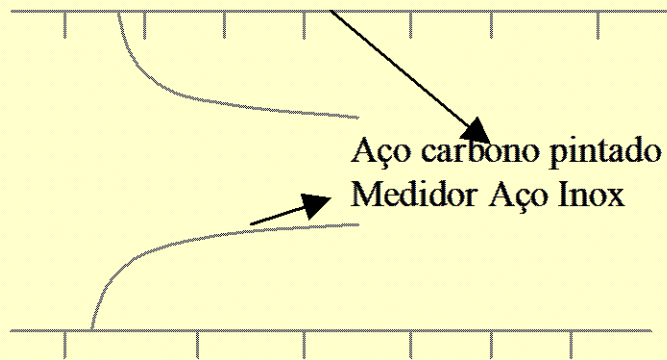
REAÇÃO ANÓDICA:  $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

REAÇÃO CATÓDICA:  $H_2O + \frac{1}{2} O_2 + 2e^- \rightarrow 2OH^-$



## Corrosão galvânica – relação de áreas cátodo: ânodo

### Casos clássicos de falha



Tubulação de aço carbono pintada internamente. Quando se instalou o medidor de vazão de aço inox, ocorreu corrosão galvânica no aço carbono em função dos defeitos na tinta, expondo pequenos anodos de aço carbono.

#### Solução:

pintar o medidor pois essa medida evita problemas de pequenos defeitos na área anódica.

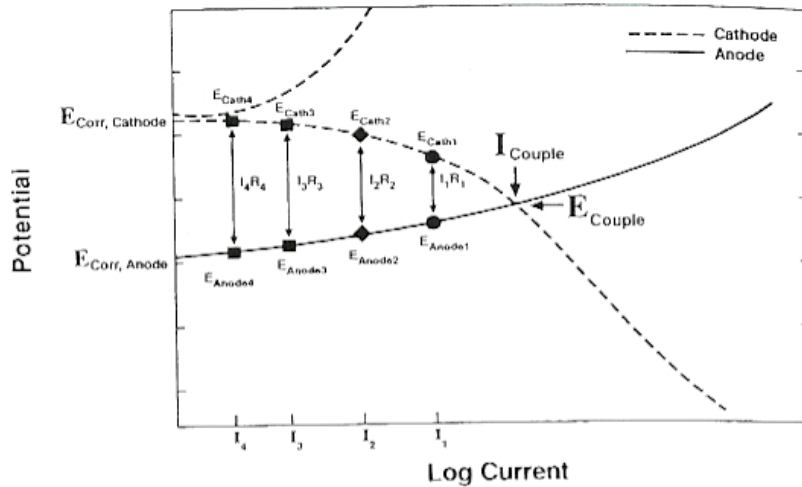
Neste caso é preciso pintar o aço inox!

Medidor de vazão de aço inox instalado em tubulação de aço carbono pintada internamente

**PINTAR O MAIS NOBRE, SEMPRE!!!!**

**Ou os dois!!!**

# CORROSÃO GALVÂNICA : Efeito da distância entre os metais do par galvânico na $i_{corr}$



Quanto maior a queda ohmica,  $RI$ , pela maior distância entre os metais do par, menor a corrente galvânica

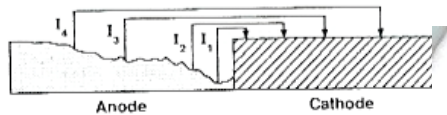


FIG. 11—Effect of distance on IR drop and current

Tipos de controle na velocidade da corrosão galvânica

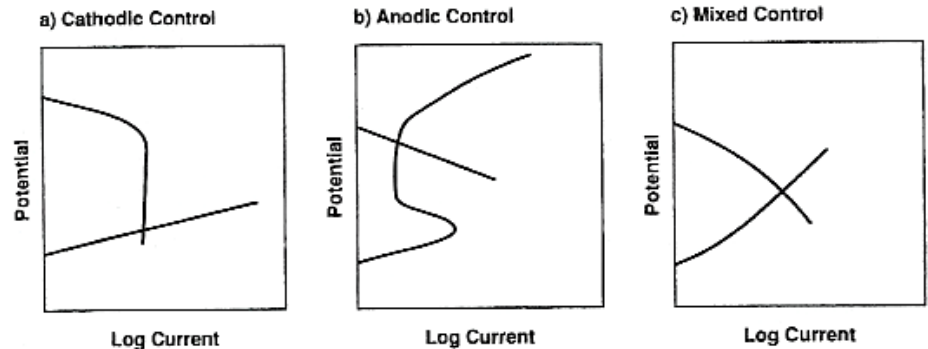
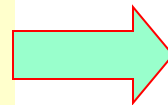
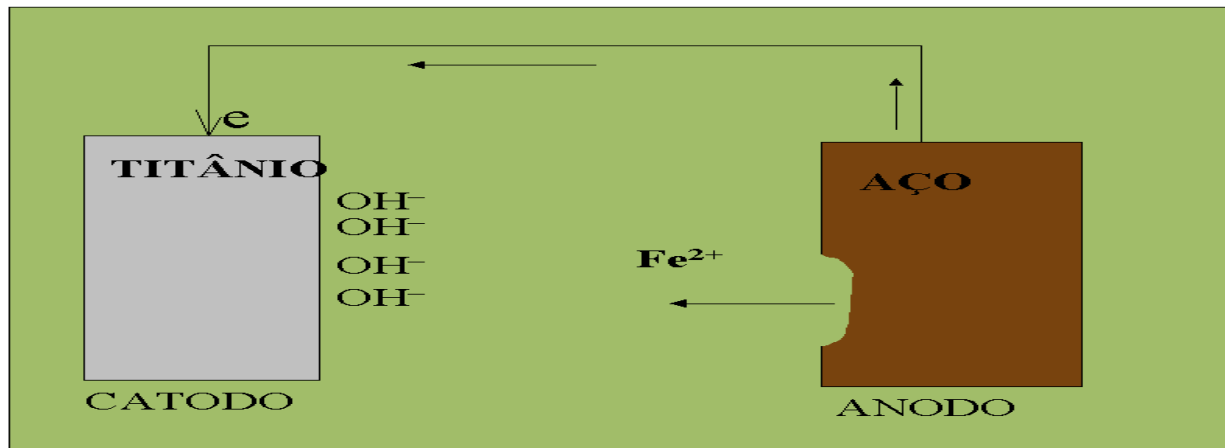


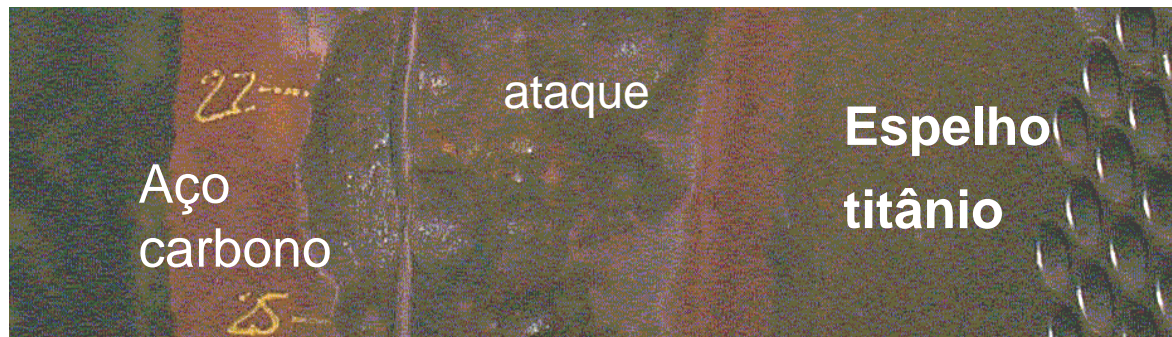
FIG. 12—Type of control of galvanic corrosion reactions: (a) cathodic control; (b) anodic control; (c) mixed control.

# CORROSÃO GALVÂNICA influência da distância: exemplo



REAÇÃO ANÓDICA:  $\text{Fe} - 2 e \rightarrow \text{Fe}^{2+}$

REAÇÃO CATÓDICA:  $\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 e \rightarrow 2\text{OH}^-$



Ataque intenso ocorre no menos nobre, próximo ao acoplamento

# CORROSÃO GALVÂNICA - previsão

pele levantamento das curvas anódica e catódica dos metais formadores do par galvânico

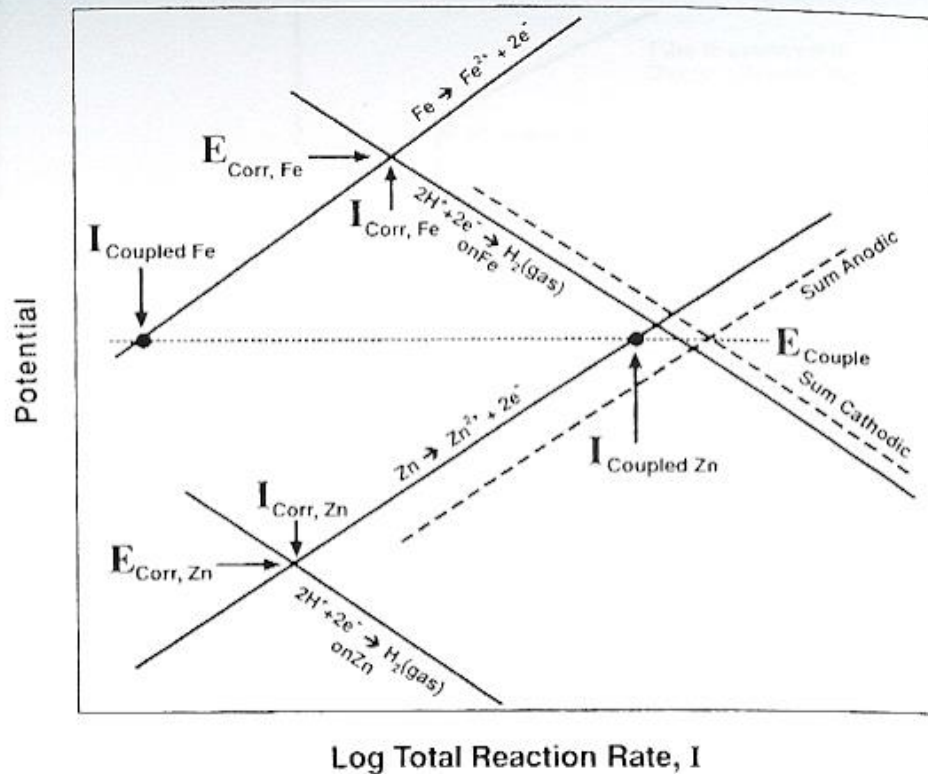


FIG. 4—Evans diagram for iron and zinc in acid.

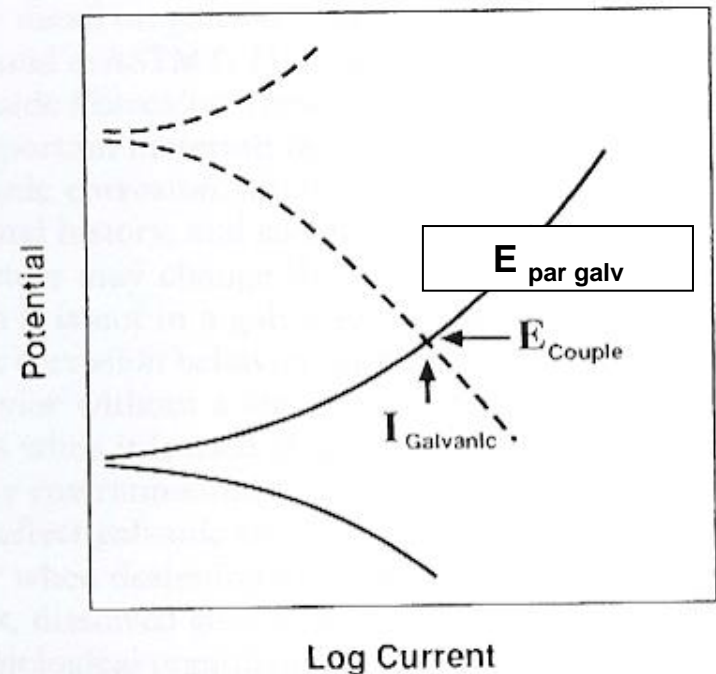


FIG. 10—Rough prediction of galvanic current from overlapping polarization curves.

## CORROSÃO GALVÂNICA – casos práticos



Corrosão galvânica de parafuso de aço-inox e arrauela de aço-carbono cadmiado em atmosferas marinhas

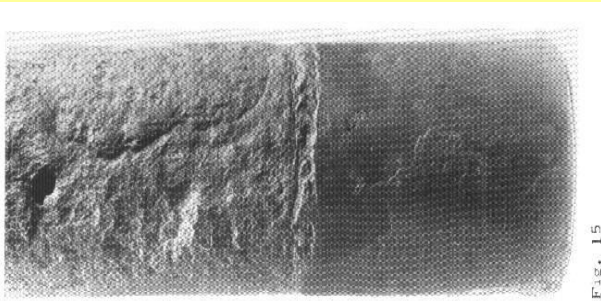


Fig. 15

corrosão galvânica de aço-carbono soldado com aço inoxidável.



## CORROSÃO GALVÂNICA – casos práticos



Aço zincado protegido e  
aço comum



*Galvanic Corrosion*

Depósitos de cobre metálico sobre tubo de aço – deslocamento galvânico pela presença de íons  $\text{Cu}^{+2}$



Tubo de cobre rosqueado num  
tubo de aço galvanizado –  
corrosão intensa do zinco

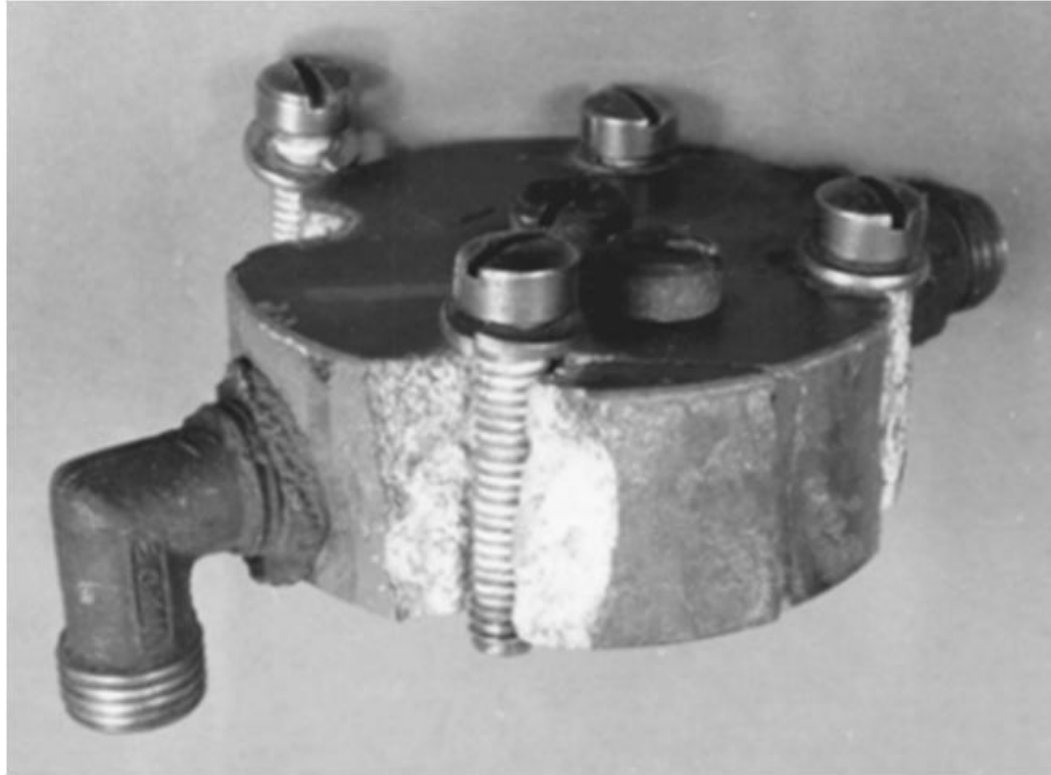


zincados

Prego de aço – corrói

Prego zincado – protegido

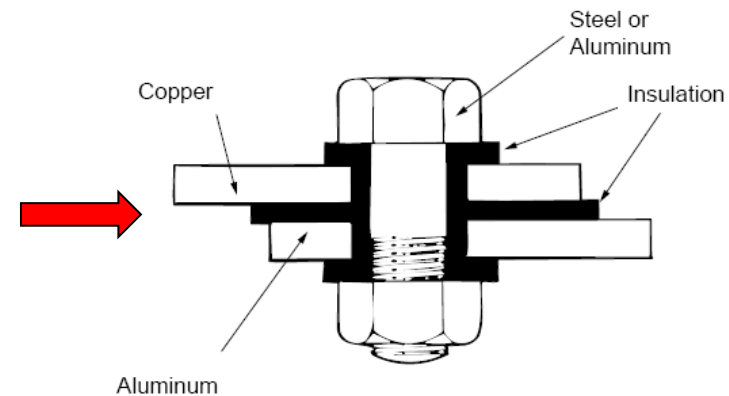
## CORROSÃO GALVÂNICA – casos práticos



Corrosão de um cap de alumínio devido à pressão dos produtos de corrosão estimulados galvanicamente pela presença de parafusos de aço inoxidável 304

# CORROSÃO GALVÂNICA: prevenção e proteção

- uso de materiais com  $E_{\text{corr}}$  próximos; consultar as séries galvânicas. Ex: chapa Al: usar parafuso de aço cadmiado como elemento de fixação
- relação área anódica/área catódica  $\gg 1$
- isolamento elétrico entre as partes metálicas diferentes: gaxetas, niples e arruelas de materiais como neoprene, teflon e hypalon
- usar niples de sacrifício (de material menos nobre) na região próxima ao acoplamento, quando este é inevitável
- aplicação de revestimentos protetores e pinturas: aplicá-las no metal catódico e no anódico, **nunca só no anódico**.
- proteção catódica (ânodos de sacrifício ou corrente impressa)





# CORROSÃO POR PITES