

CORROSÃO GALVÂNICA OU BIMETÁLICA

Corrosão Galvânica - Características

Acoplamento de metais com diferentes potenciais de corrosão **(nobrezas diferentes)** em contato elétrico em um mesmo eletrólito

METAL MAIS NOBRE

- É polarizado catodicamente – seu **potencial de corrosão diminui**;
- Passa a **corroer com velocidade menor** do que se estivesse isolado no mesmo meio.

METAL MENOS NOBRE

- É polarizado anodicamente – seu **potencial de corrosão aumenta**;
- Passa a **corroer com velocidade maior** do que se estivesse isolado no mesmo meio;
- A corrosão ocorre **perto da junção** com o metal mais nobre.

O acoplamento galvânico deve ser evitado quando o metal menos nobre não pode ser corroído

O acoplamento galvânico pode ser utilizado como método de proteção contra a corrosão para o metal mais nobre – acoplamento intencional

Corrosão Galvânica - Exemplos



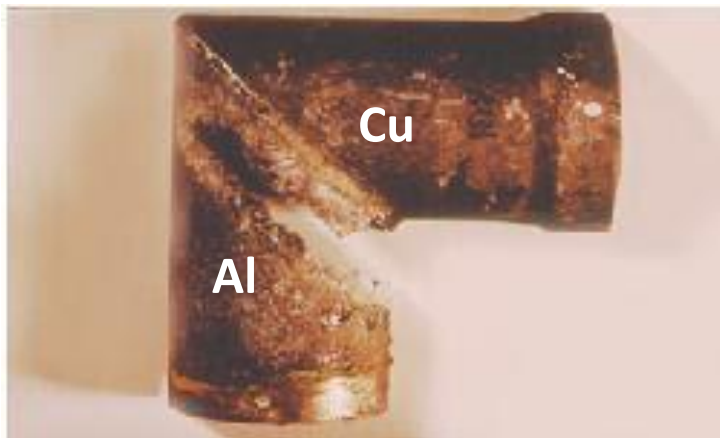
Corrosão Galvânica entre aço (parafuso) e placa de latão

<http://www.revistadoparafuso.com.br/v1/modelo/noticia.php?id=720>



Corrosão Galvânica entre tubos de aço galvanizado e cobre

<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=27&Cod=103>



Tubos coletores de água – um fio de cobre foi enrolado em torno do Al

<http://dutosquimica.blogspot.com.br/>

CÉLULA “LASANHA”

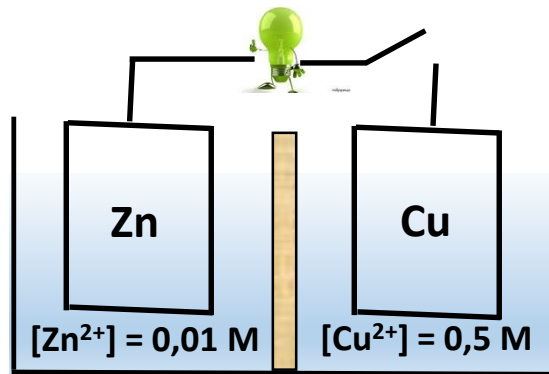


Assadeira de aço e folha de Al para cobertura – corrosão desta última nos pontos onde toca o alimento.

www.butlersheetmetal.com

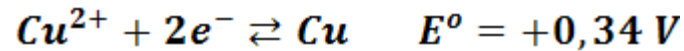
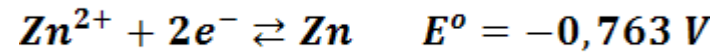
Corrosão Galvânica - Mecanismo

Diferença de potencial entre dois metais diferentes e imersos em um mesmo eletrólito – diferencia da pilha no sentido de que o **processo é indesejável**

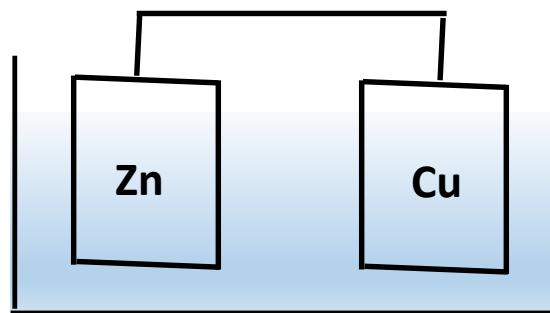


Anodo

Catodo



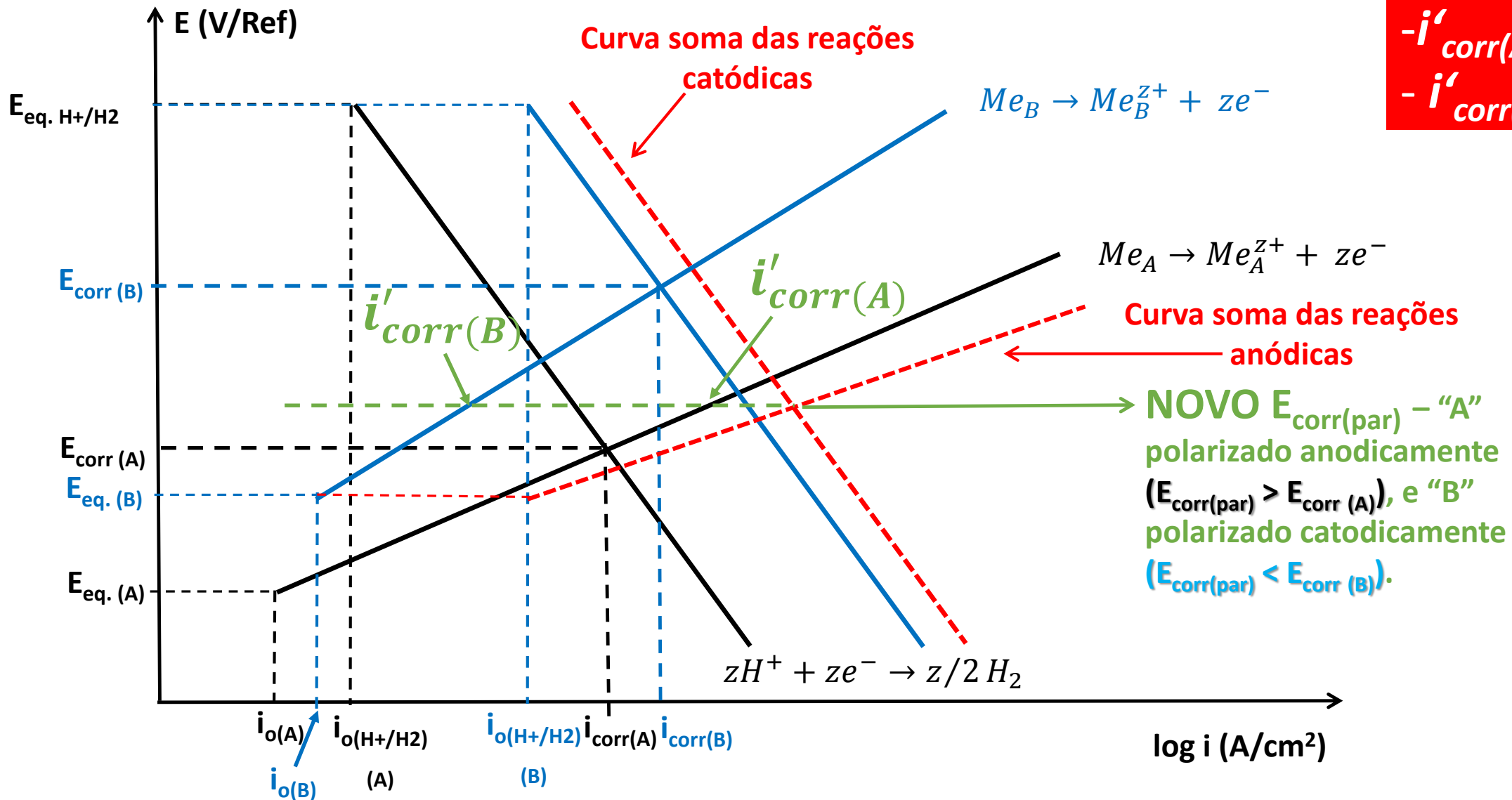
Pilha Galvânica - aproveitamento da ddp para realizar trabalho



Metais com nobrezas diferentes e imersos em um eletrólito condutor

CORROSÃO GALVÂNICA - A diferença de potencial entre os dois materiais leva a uma corrosão mais rápida do metal menos nobre – em serviço a corrente gerada não é aproveitada

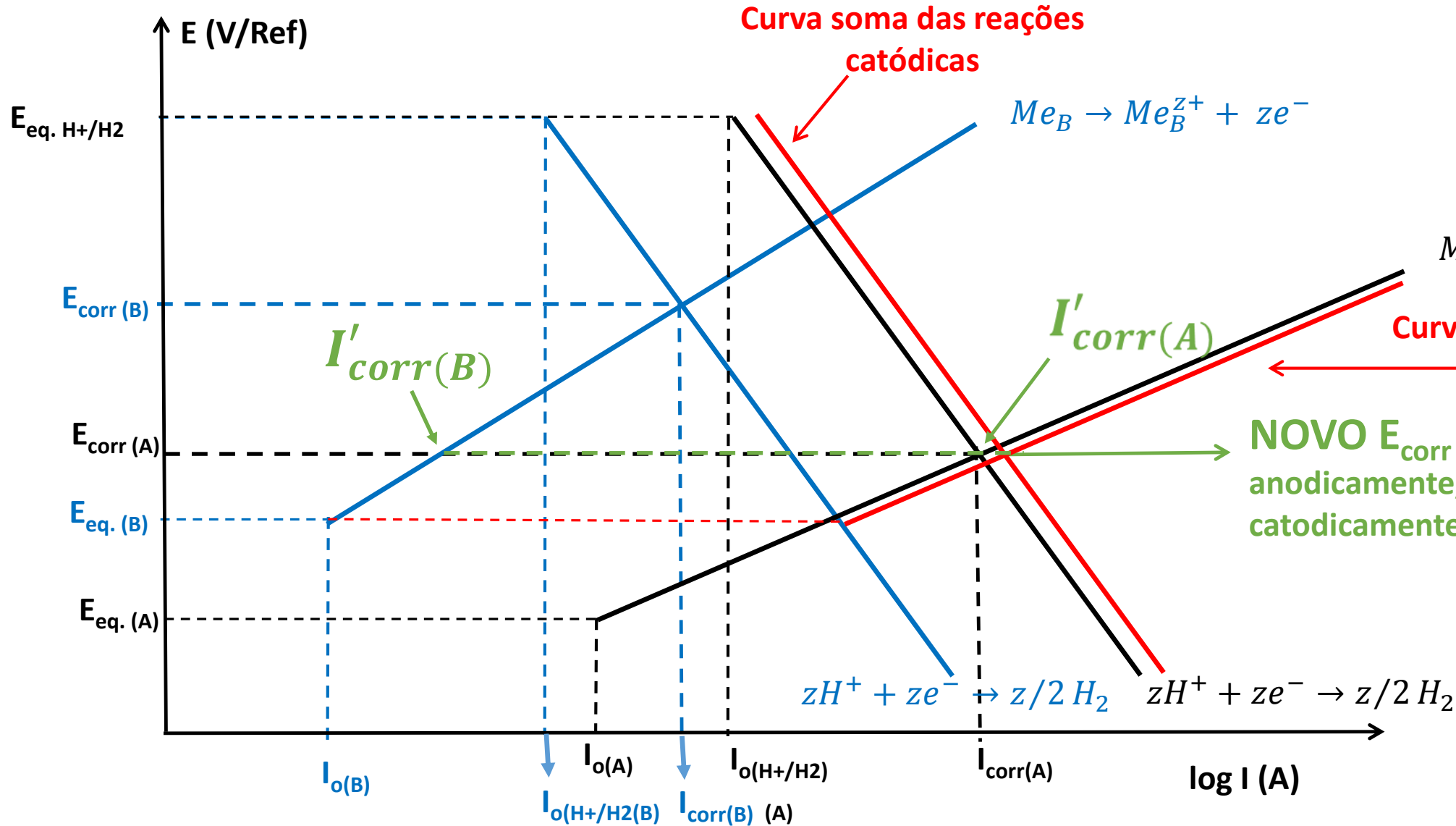
Teoria do potencial misto para metais acoplados galvanicamente – áreas iguais dos dois metais



$-i'_{\text{corr(A)}} > i_{\text{corr(A)}}$;
 $-i'_{\text{corr(B)}} < i_{\text{corr(B)}}$.

Metais acoplados galvanicamente

Área Metal **mais nobre** << Área Metal **menos nobre**



A corrente de corrosão de "A" – PRATICAMENTE NÃO AUMENTA

NOVO E_{corr} – "A" polarizado anodicamente, e "B" polarizado catodicamente.

O aumento da densidade de corrente no metal menos nobre é desprezível. Já para o mais nobre, ocorre grande diminuição.

Determinação da densidade de corrente anódica em um par galvânico

- Par galvânico Cu-Ni, onde o Cu é mais nobre que o Ni

Sendo:

$$S_{par} = S_{Cu} + S_{Ni};$$

$$f_{Cu} = \frac{S_{Cu}}{S_{par}}; \quad f_{Ni} = \frac{S_{Ni}}{S_{par}};$$

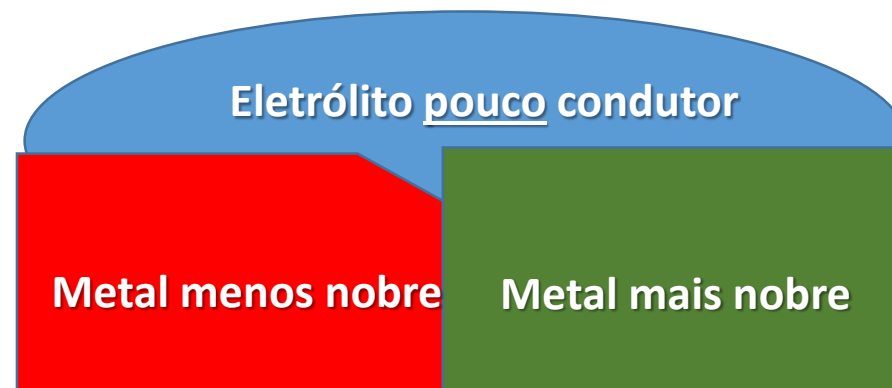
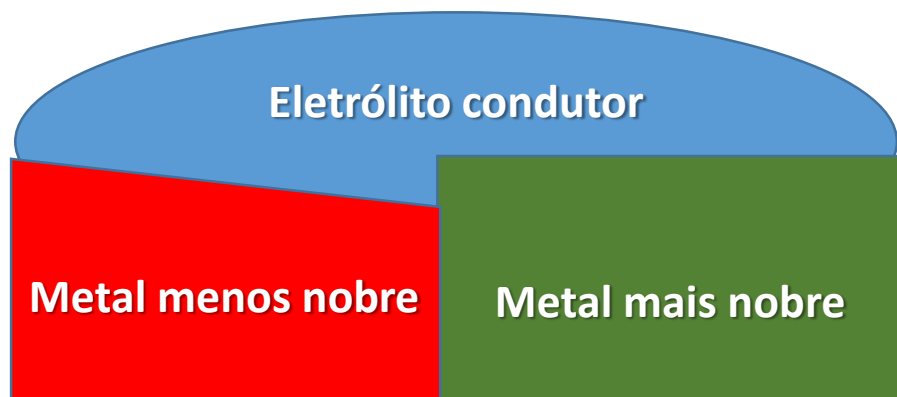
$$f_{Cu} + f_{Ni} = 1$$

$$i_{a,par} = \frac{I_{a,par}}{S_{par}} = \frac{I_{a,Cu} + I_{a,Ni}}{S_{par}} = \frac{I_{a,Cu}}{S_{par}} + \frac{I_{a,Ni}}{S_{par}} = \frac{I_{a,Cu}}{\frac{S_{Cu}}{f_{Cu}}} + \frac{I_{a,Ni}}{\frac{S_{Ni}}{f_{Ni}}} = f_{Cu} \cdot \frac{I_{a,Cu}}{S_{Cu}} + f_{Ni} \cdot \frac{I_{a,Ni}}{S_{Ni}}$$

$$i_{a,par} = f_{Cu} \cdot i_{a,Cu} + f_{Ni} \cdot i_{a,Ni}$$

Alguns aspectos relevantes sobre a corrosão galvânica

- O **potencial do par** (E_{par}) terá um valor entre o E_{corr} do metal menos nobre e o E_{corr} do metal mais nobre – **polarização anódica do metal menos nobre e catódica do metal mais nobre**;
- Devido à diferença entre os potenciais de corrosão **o metal menos nobre** (anodo do par galvânico) **envia elétrons para o metal mais nobre** (catodo do par galvânico), suprimindo parcialmente os elétrons que irão ser consumidos pela reação de redução na superfície deste último - isto explica a **polarização catódica** e a **diminuição da corrosão no metal mais nobre do par**;
- E_{par} estará **mais próximo do metal que apresentar maior fração de área**;
- A **corrosão é mais intensa na proximidade da junção** entre os dois metais – a condutividade do eletrólito tem um papel importante neste tipo de corrosão.



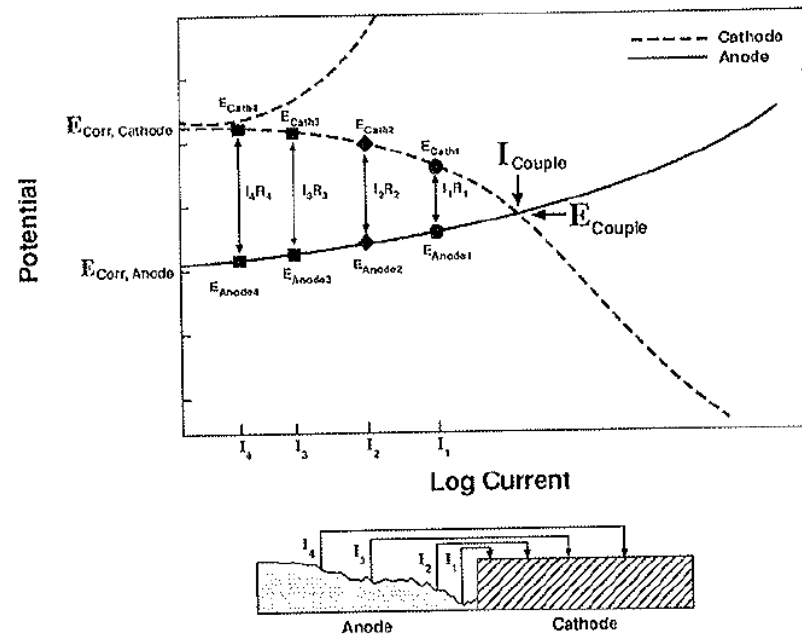


FIG. 11—Effect of distance on IR drop and current density.

Técnicas para prever a corrosão galvânica

- ✓ Medida do potencial de corrosão de cada um dos metais no meio de interesse seguido de determinação do potencial de corrosão (misto) do par – proporção entre as áreas é importante.
- ✓ Levantamento de curvas de polarização do metal com verificação de sua corrente de corrosão quando polarizado no potencial do par.
- ✓ Determinar a série galvânica no meio de interesse e procurar acoplar metais que apresentem potencial de corrosão próximos;

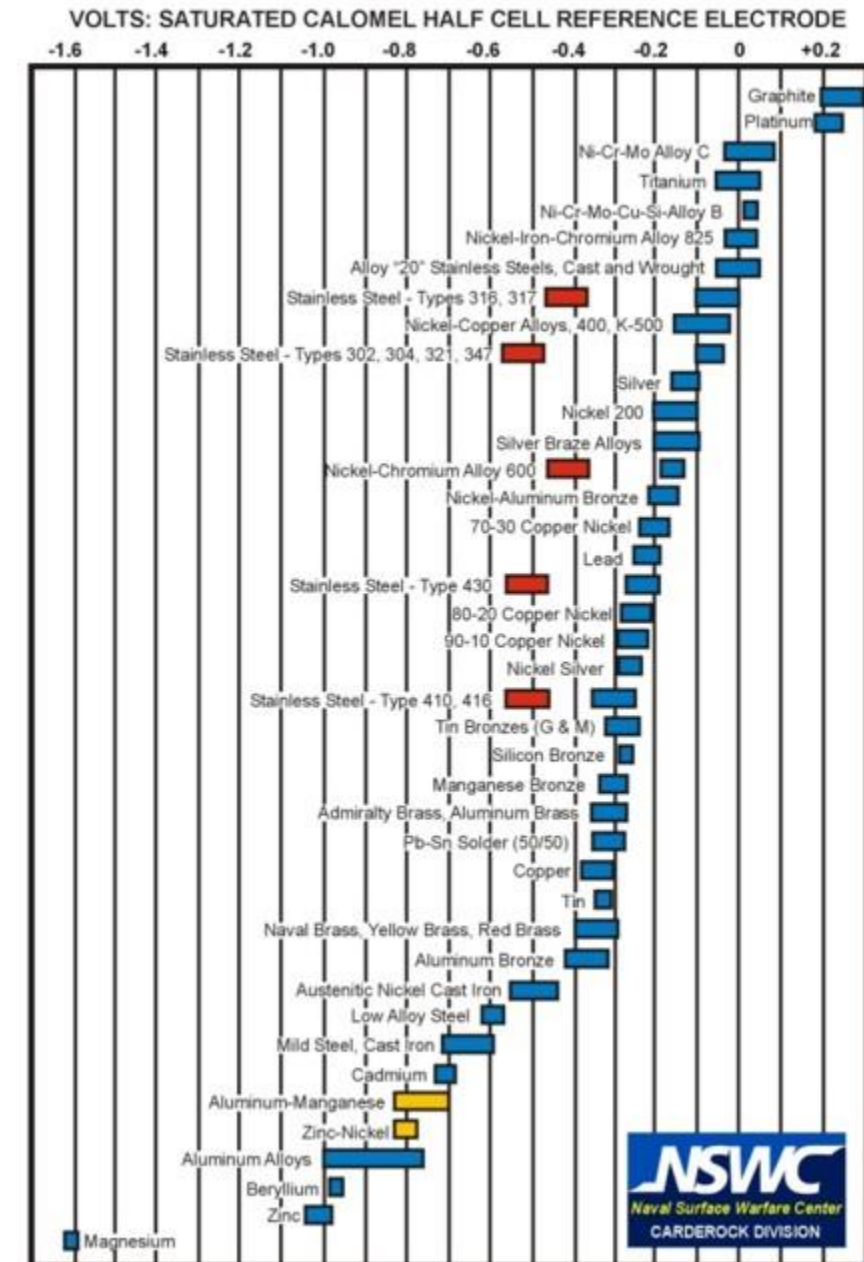
Série Galvânica em Água do Mar

(escala de nobreza prática)

Séries Galvânicas em água do mar

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1. Magnésio (mais ativo) | 12. 316 inoxidável (ativo) | 23. Ligas cupro-níquel |
| 2. Ligas de magnésio | 13. Hastelloy C | 24. Titânio |
| 3. Zinco. | 14. Solda Chumbo-estanho | 25. Monel |
| 4. Alumínio 100 | 15. Chumbo | 26. Solda prata |
| 5. Cádmio | 16. Estanho | 27. Níquel (passivo) |
| 6. Alumínio 2017 | 17. Níquel (ativo) | 28. Inconel (passivo) |
| 7. Aços (não ligados) | 18. Inconel (ativo) | 29. Ferro cromo (passivo) |
| 8. Ferro fundido | 19. Hastelloy B | 30. 304 inoxidável (passivo) |
| 9. Ferro cromo (ativo) | 20. Latão | 31. 316 inoxidável (passivo) |
| 10. Ferro níquel fundido | 21. Cobre | 32. Prata |
| 11. 304 inoxidável (ativo) | 22. Bronze | 33. Grafite (menos ativo) |

http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6348-corrosao-em-agua-salgada#.VUggbvldVB8



Velocidade de corrosão de metais sem e com acoplamento

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 ₄	0.00	-0.04	-0.05	+0.02
0.05 M Na ₂ SO ₄	-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

Fontana, M.G. Corrosion Engineering, McGraw-Hill International Editions, 3rd ed., pag. 45

Tabela 2.2.: Corrosão de ferro acoplado a outros metais em solução de NaCl 1% + O₂
(perda de massa Δm em mg)

2º Metal	Δm Fe	Δm 2º Metal
Mg	0,0	3 104,3
Zn	0,4	688,0
Cd	0,4	307,9
Al	9,8	105,9
Sb	153,1	13,8
W	176,0	5,2
Pb	183,2	3,6
Sn	171,1	2,5
Ni	181,1	0,2
Cu	183,1	0,0

$$\Delta E^\circ (\text{Fe/Zn}) = +0,323 \text{ V}$$

$$\Delta E^\circ (\text{Fe/Al}) = + 1,222 \text{ V}$$

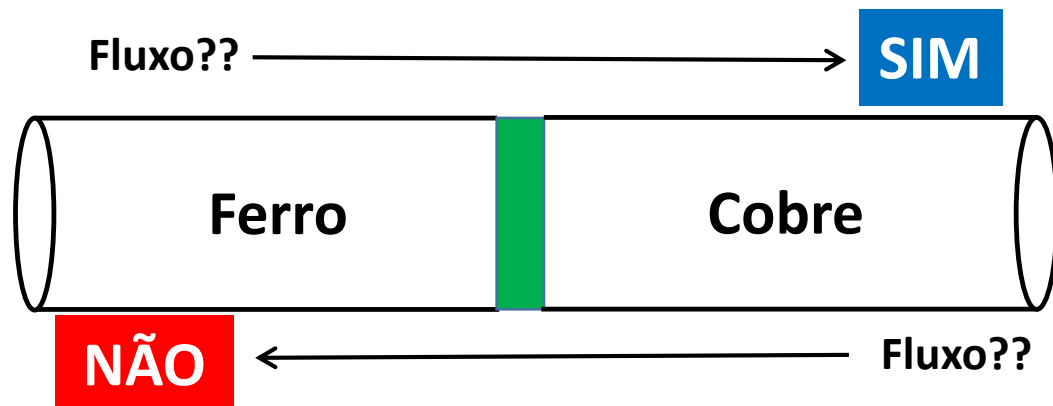
Se usássemos a previsão da série eletroquímica o Al deveria ser mais ativo que o Zn quando em contato elétrico com o Fe!!

Técnicas para medir a intensidade da corrosão galvânica

- ✓ **Gravimétrica** com os metais acoplados – perda de massa em função do tempo (ASTM);
- ✓ Medida da **corrente galvânica entre os dois metais** com auxílio de um circuito especial – amperímetro de resistência nula.

Casos Práticos

- ✓ Acoplamento de metais com nobrezas diferentes;
- ✓ Presença no eletrólito de íons de um metal mais nobre (deslocamento galvânico) – o metal mais nobre irá se depositar sobre o menos nobre formando uma pilha galvânica.



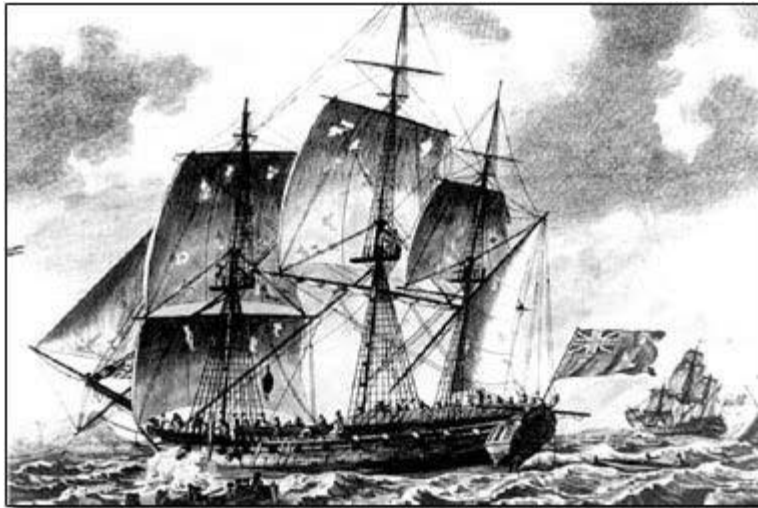
Fluxo errado:

- Deslocamento galvânico do Fe pelo Cu^{2+} ;
- Formação de pilha galvânica entre o Cu depositado e o Fe podendo levar à perfuração deste último – problema mais grave.

Fatores importantes a considerar

- ✓ Área anódica >>> Área catódica – **um rebite NUNCA pode ser menos nobre que a chapa!**
EXEMPLO - Rebites de aço devem ser cadmiados se forem usados para dar sustentação mecânica a chapas de alumínio.

Caso clássico – Marinha Real
Britânica (século XVII)



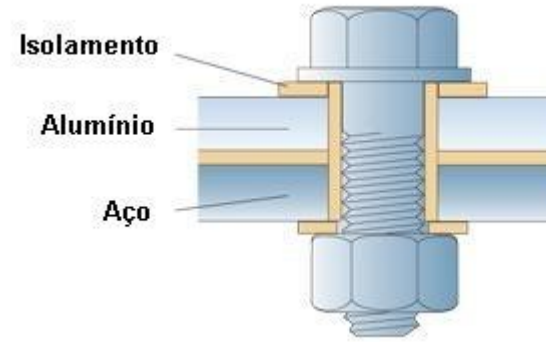
- Remoção do revestimento de Pb dos navios para evitar a **“severa desintegração”** de cabeças de parafusos de Fe e também do leme;
- **Substituição do Pb por Cu** - cobre protetor sobre a fragata “HMS Royal Navy” separou-se do casco de madeira em muitos lugares, porque os **pregos de ferro que tinha sido utilizados para fixar o cobre na madeira tinham ficado fragilizados ao extremo. Alguns pregos tinham mantido sua integridade pois haviam sido isolados do cobre por um papel de coloração marrom que foi preso sob a cabeça do prego.** Este papel marrom era proveniente do material usado para embalar os pregos e que não havia sido removido.

<https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/corrosao/corrosao-galvanica>

- ✓ Inversão de polaridade – **presença de complexantes** (EDTA para o par Sn/Fe, CN^- para o par Cu/Zn), **formação de películas passivas** (par Fe/Al em exposição atmosférica, par Fe/Zn em água quente e pH aproximadamente neutro).

Formas de proteção

- ✓ Uso de metais com nobrezas próximas – **consultar séries galvânicas;**
- ✓ Área anódica >>> área catódica – relação favorável de áreas;
- ✓ Promover o isolamento elétrico entre os metais;



www.aluminiumdesign.net

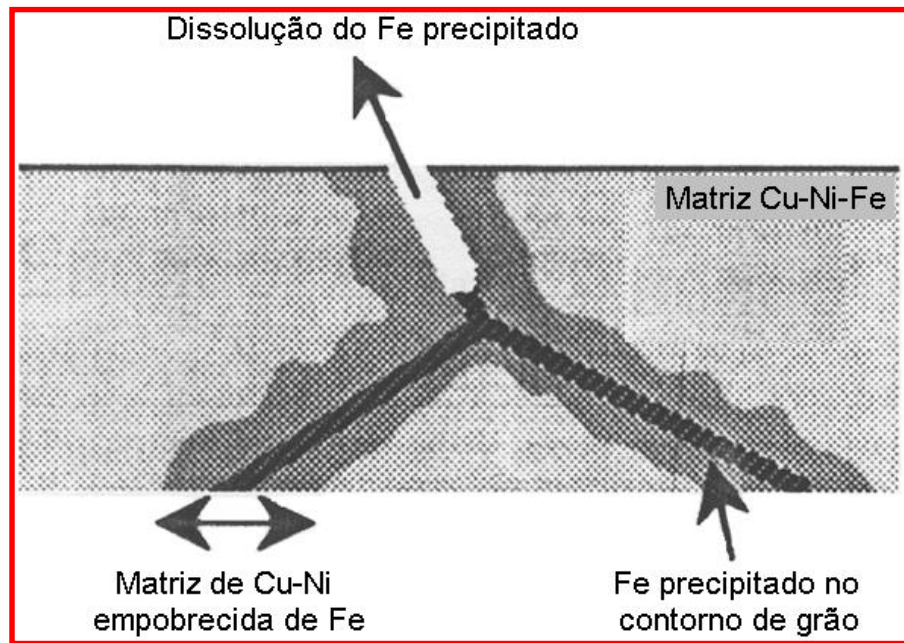
- ✓ Usar um terceiro metal de sacrifício – **Qual a nobreza deste metal relativa aos metais do par? Como este metal agiria?**
- ✓ Aplicação de pinturas – **Vamos refletir! Como efetuar este procedimento?**

Se possível pintar os dois metais que formam o par galvânico, se for pintar apenas um deles, que seja o mais nobre!

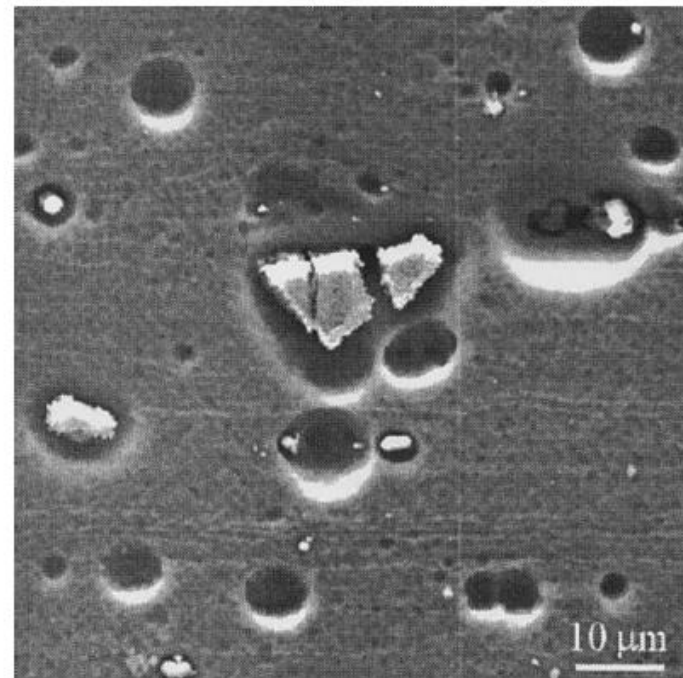
- ✓ Evitar o contato dos metais acoplados galvanicamente com um eletrólito ou regiões com elevada umidade.

Corrosão Galvânica associada a fatores microestruturais

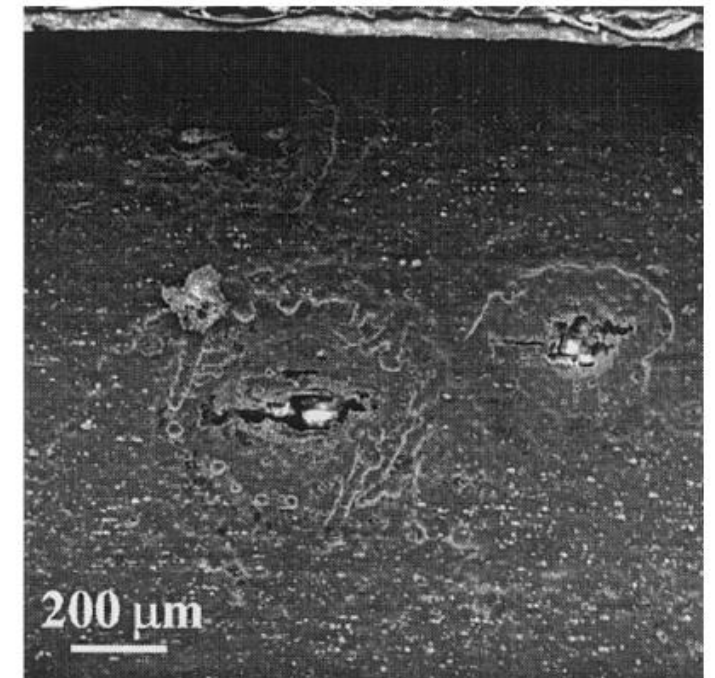
- Ligas apresentam composição heterogênea – microcélulas galvânicas podem se estabelecer entre a matriz e intermetálicos, em zonas de segregação, entre zonas empobrecidas e enriquecidas em um determinado elemento de liga, etc.



Referência: LIBERTO, R.C. N. Doutorado, EPUSP, 2009.



(a)



(b)

Fig. 1. Two classes of pitting morphology: (a) general pitting and (b) severe pitting.

Proteção catódica

PRINCÍPIO - alterar o potencial do metal que se deseja proteger de modo que o novo potencial se situe abaixo do potencial de equilíbrio do metal (**idealmente**) – região de **imunidade do diagrama de Pourbaix**.

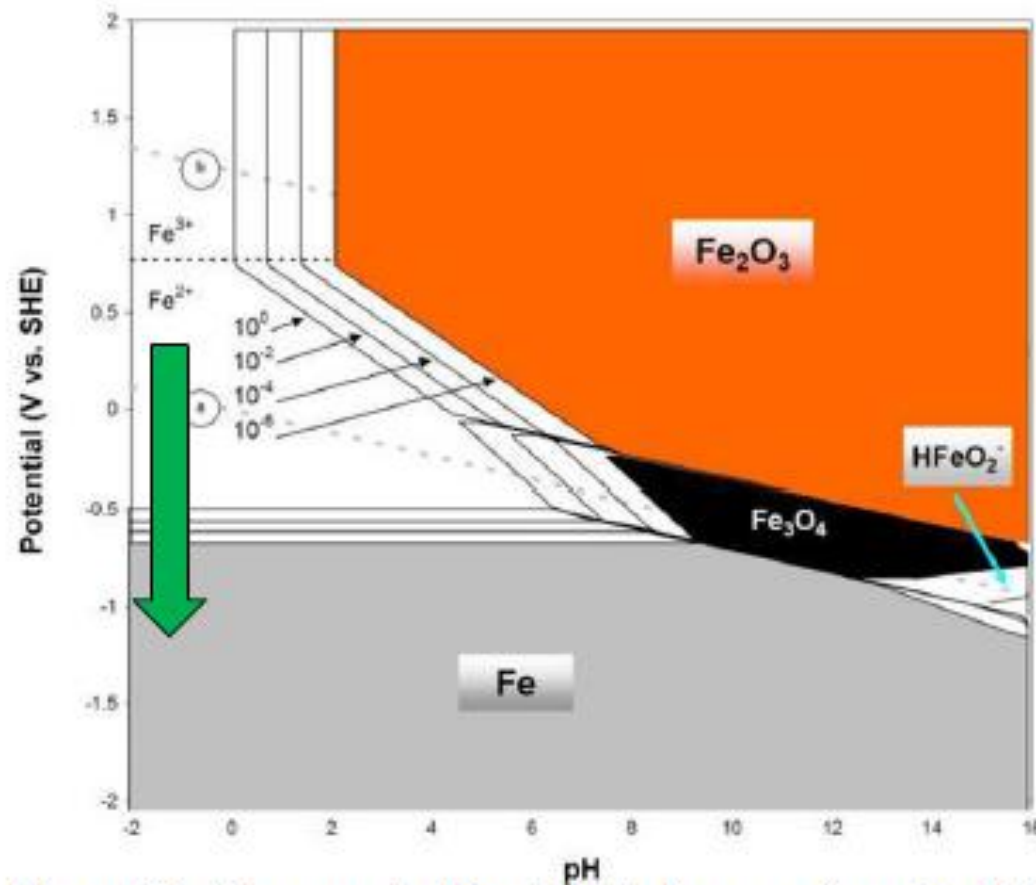
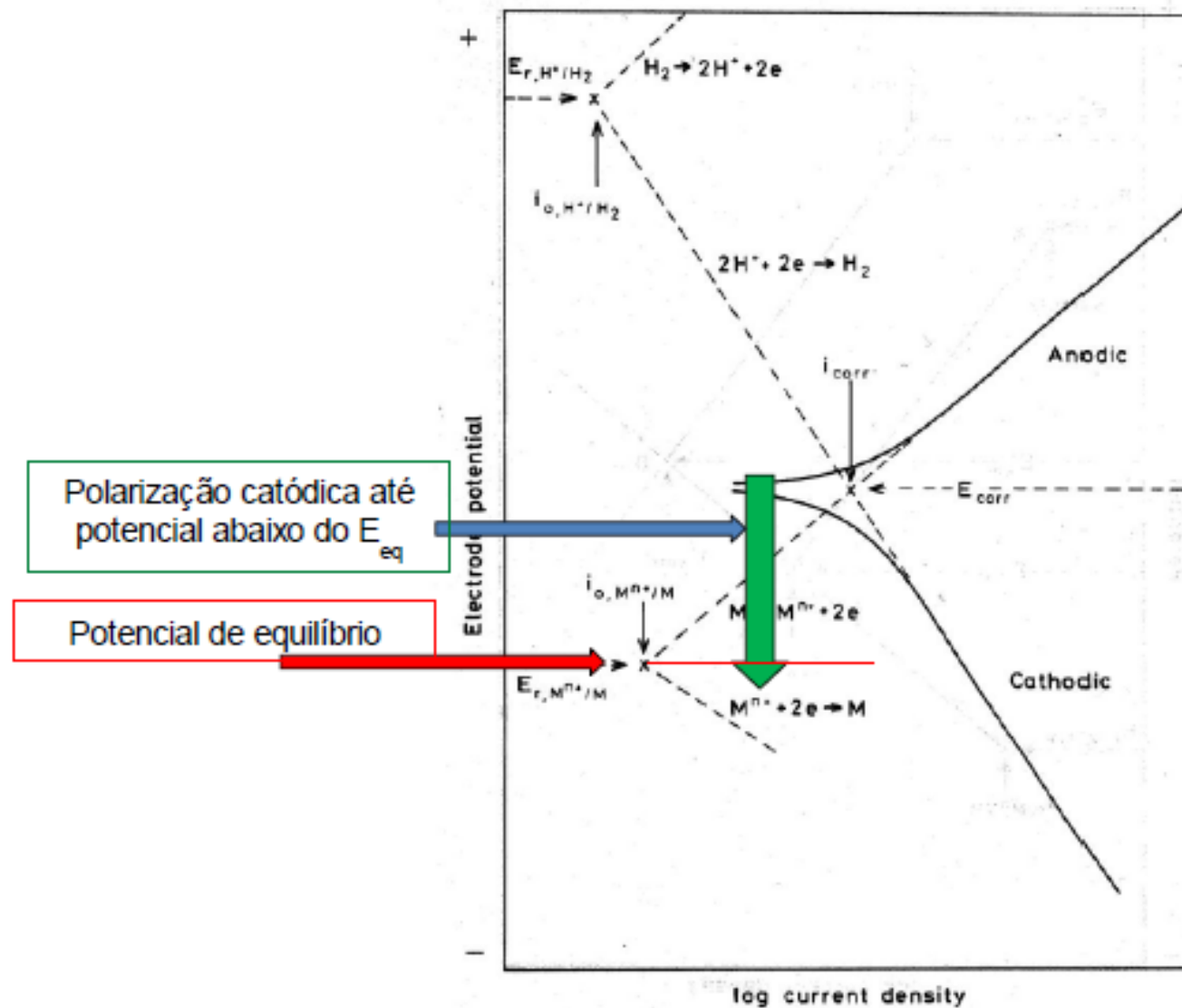


Figura 18 - Diagrama de Pourbaix do ferro em água destilada.

Proteção catódica



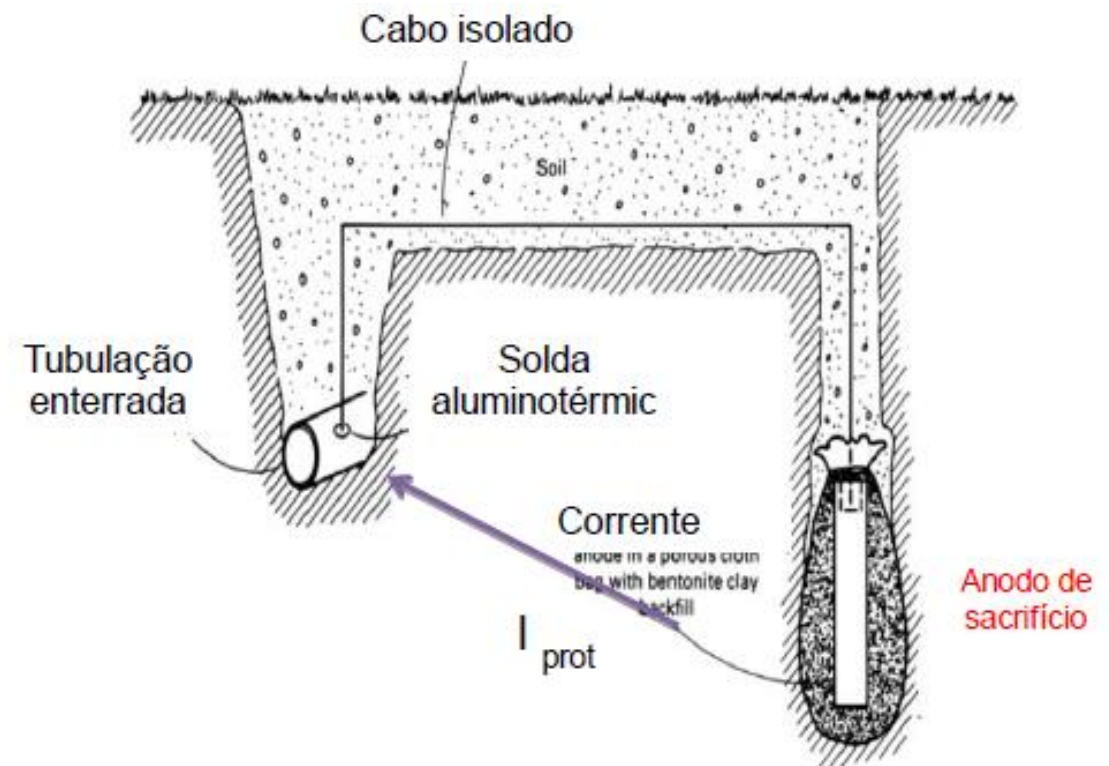
Tipos de Proteção catódica

- ✓ Galvânica ou por anodo de sacrifício.
- ✓ Por corrente impressa.

Proteção Catódica por Anodo de Sacrifício

- ✓ Princípio da proteção – diferença de potencial entre o metal a ser protegido (**mais nobre**) e o metal que irá protegê-lo (**menos nobre**).
- ✓ Anodos mais utilizados – Al, Zn e Mg.

Instalação



Instalação de Anodos de Sacrifício para Proteção de Hélices de Navio



<http://www.mundoeducacao.com/quimica/protecao-dos-metais-contra-corrosao.htm>

Proteção Catódica por Anodo de Sacrifício

- ✓ O material a ser protegido recebe elétrons do metal menos nobre;
- ✓ Corrente é injetada na peça a ser protegida a partir do solo;
- ✓ O metal a ser protegido fica com excesso de cargas negativas (polarizado catodicamente) e sobre a superfície ocorrerão reações de redução (H^+ e O_2) – **eventuais problemas com alcalinização e fragilização por hidrogênio!**
- ✓ Como a diferença de potencial é pequena existe limitação no emprego desta metodologia!
- ✓ Meios tem que ter baixa resistividade – **é comum o uso de enchimentos condutores.**
- ✓ Para garantir proteção, anodos tem que ser distribuídos ao longo de toda a estrutura.

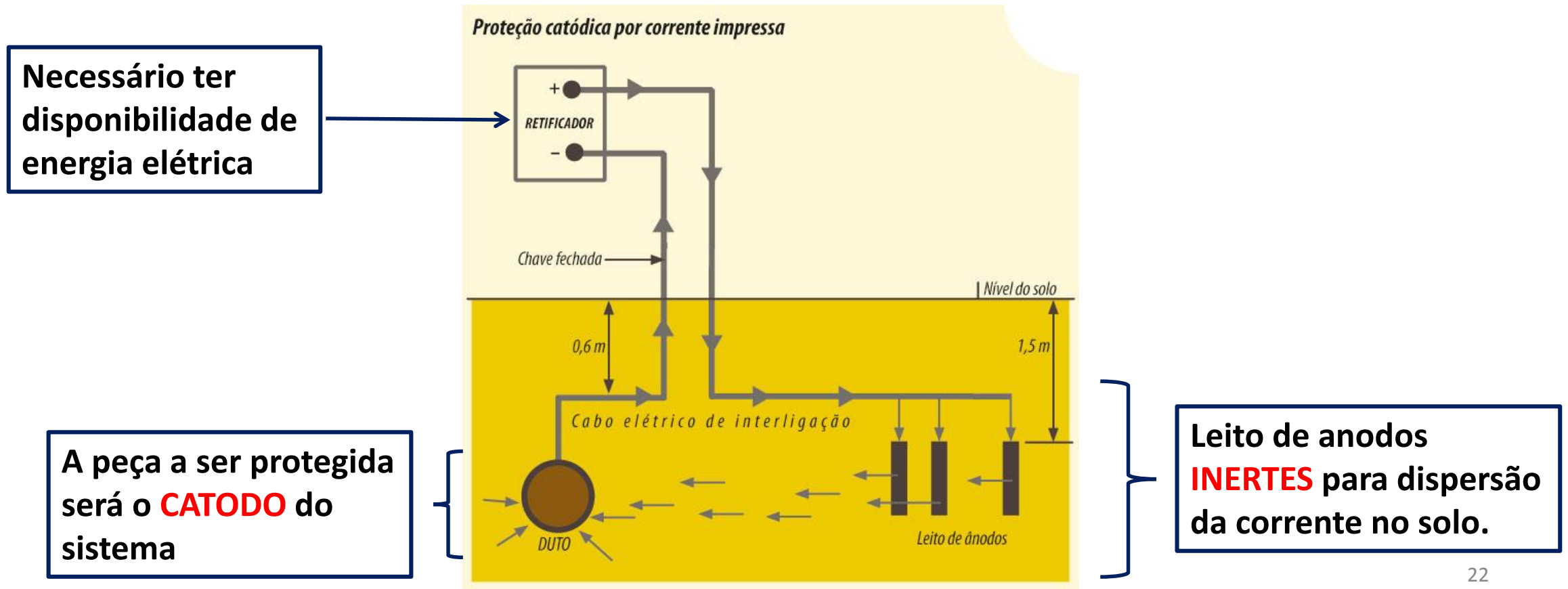
Desvantagens

- ✓ Os anodos têm que ser substituídos regularmente;
- ✓ Não permitem regulagem de corrente;
- ✓ Não funcionam quando há corrente de interferência.
- ✓ Fornecem correntes de até 5 A.

Proteção Catódica por Corrente Impressa

- ✓ A corrente para a proteção é proveniente de uma fonte externa geradora de corrente contínua.

Funcionamento da Proteção Catódica por Corrente Impressa

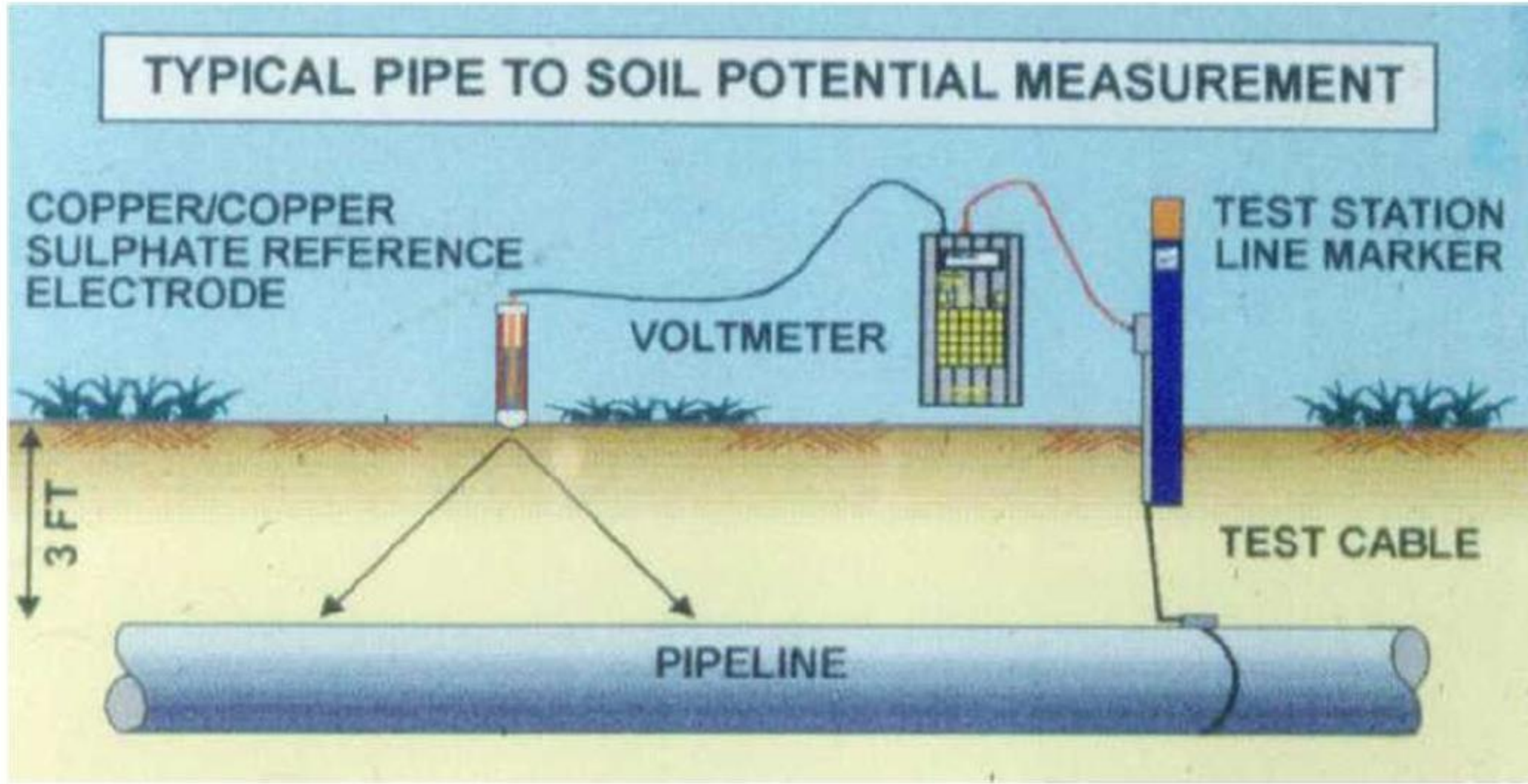


Características dos anodos inertes

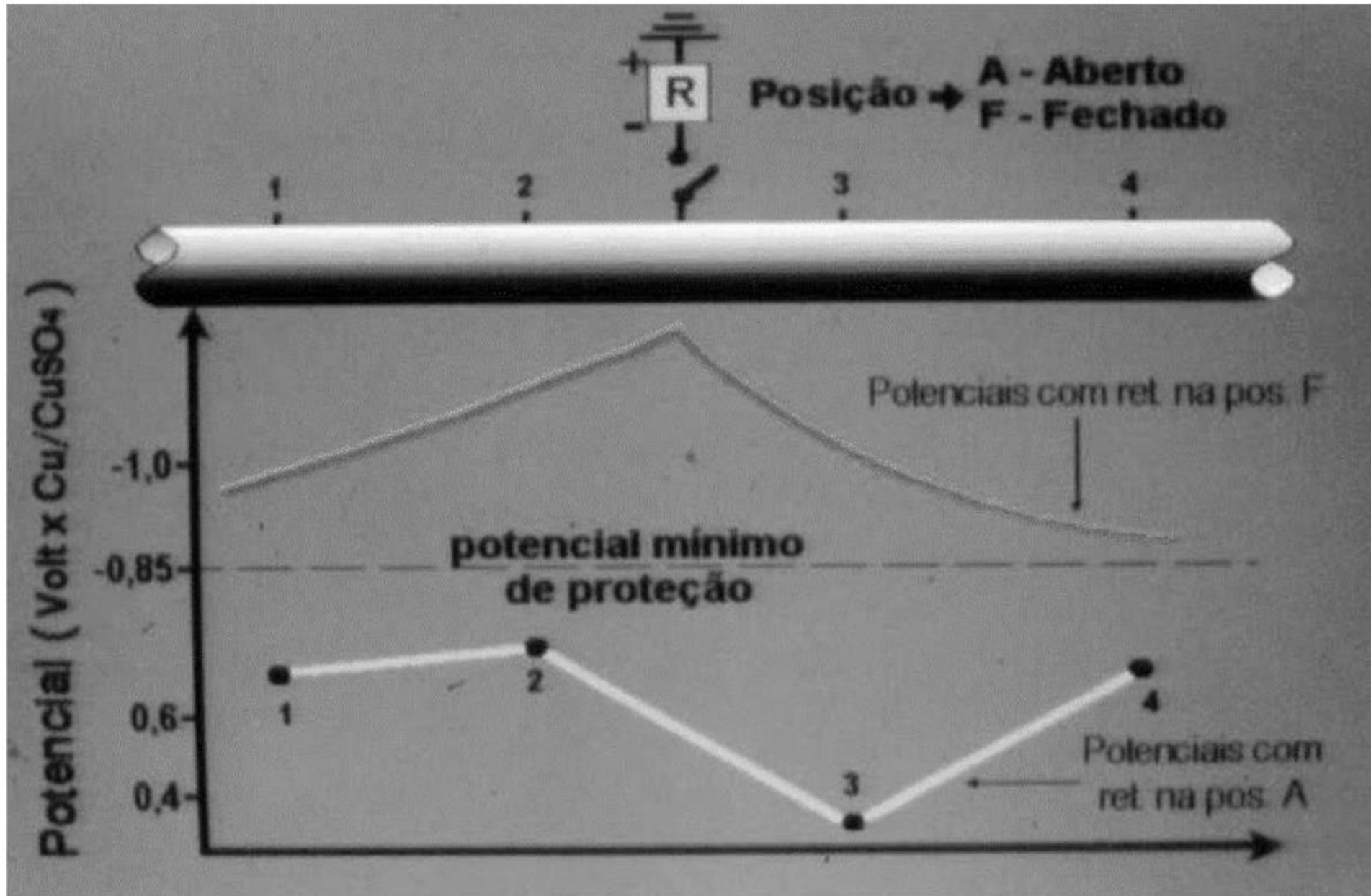
Características dos anodos inertes

Material do Anodo	Para uso em	Densidade de Corrente drenada pelo anodo (A/ m^2)	Desgaste (kg/ A. ano)
Grafite	Solos, água doce e água do mar.	3 – 5	0,4
Fe-Si	Solos e água doce.	10 – 15	0,2
Fe-Si-Cr	Solos, água doce e água do mar.	10 – 15	0,4
Pb-Sb-Ag	Água do mar	50 – 100	0,1
Ti platinizado	Água do mar	Ampla faixa	Desprezível
Nióbio platinizado	Água do mar	Ampla faixa	Desprezível

Acompanhamento do potencial da estrutura



Distribuição de potencial com retificador ligado ou desligado



Características da PC por corrente impressa

- ✓ A resistividade do meio não é entrave;
- ✓ Utilizado para peças de grande e médio porte;
- ✓ Recomendado quando houver corrente de interferência;
- ✓ Permite regulagem e necessita de acompanhamento operacional;
- ✓ Custo inicial maior;
- ✓ Sujeito a interrupção por falta de energia elétrica.

Comparação entre os dois tipos de proteção

Proteção catódica galvânica	Proteção por corrente impressa
Simple	Complexa
Pouca manutenção	Requer manutenção
Atua bem em meios condutores	Pode atuar em meios resistivos
Anodos próximos à estrutura	Anodos podem ficar longe (remotos)
Grande capital de investimetno para grandes estruturas	Pouco capital de investimento para grandes estruturas
	Pode causar: <ul style="list-style-type: none">- Correntes de fuga que interferem em outras estruturas próximas- Descolamento de revestimento da tubulação- Fragilização por hidrogênio (excesso de proteção)