

**ESCOLA POLITÉCNICA DA USP**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS**  
**PQI 3131 – QUÍMICA DOS MATERIAIS APLICADA A ENGENHARIA ELÉTRICA**

**2ª. Lista de exercícios – 2017**

**Ligações metálicas**

1. Quais as principais propriedades dos materiais metálicos e como elas podem ser explicadas?

**V. apostila**

2. Cite algumas diferenças entre materiais metálicos e cristais covalentes.

**Materiais metálicos: policristalinos, fáceis de deformar, condutores elétricos, bons condutores térmicos, apresentam brilho metálico. Cristais covalentes: não se deformam facilmente, não são condutores elétricos e são monocristalinos, brilham após clivagem ou polimento.**

3. Explique o efeito da temperatura sobre a condutividade elétrica de metais.

**Com o aumento da temperatura, aumenta a vibração do cristal e os choques na movimentação média dos elétrons. Assim, seu caminho livre diminui. Diminuindo a condutividade.**

4. Quais os mecanismos de condução de calor nos metais?

**A) Movimento dos elétrons com alta energia cinética do lado em temperatura mais alta para o lado de temperatura menor, e vice-versa, redistribuindo-se ou homogeneizando a temperatura. B) Transmissão por vibração dos átomos da rede cristalina.**

5. As ligações químicas presentes em um pedaço de ferro e em um cristal de NaCl têm caráter não-direcional e formam arranjos cristalinos compactos. Entretanto, o ferro é dúctil e o cristal de NaCl é frágil. Explique.

**A fragilidade dos compostos iônicos está associada à presença de cargas iguais que se deparam quando se força a deformação do cristal. No caso dos metais, isso não acontece porque são formados por átomos sem carga líquida.**

6. Discuta o papel dos dopantes em um semicondutor extrínseco. Que vantagem imediata você pode visualizar nestes tipos de semi-condutores com relação a um semi-condutor intrínseco?

**O semicondutor extrínseco possui um “gap” de energia entre a camada de valência e a de condução menor que o intrínseco, conduzindo com maior facilidade. Além disso, ele conduz ou cargas negativas (elétrons) ou cargas positivas (vazios de elétrons), de modo que sua combinação permite a fabricação de diodos, triodos, etc. A dopagem também permite ter um maior controle sobre a semicondutividade já que basicamente esta será equivalente ao teor de dopante.**

7. Diferencie um semicondutor tipo-p de um tipo-n. Como você produziria um semicondutor do tipo-n a partir de um semicondutor intrínseco, explique o mecanismo de condução para este condutor.

**Diferenciação, dopagem e conexão: ver material da aula.**

**Mecanismo de condução – com a aplicação do estímulo elétrico elétrons do nível doador do semicondutor irão ser promovidos para a banda de condução.**

8. Esquematize uma junção n-p conectada a uma pilha de modo que haja condução, explique o mecanismo.

**Esquema da conexão, ver material da aula.**

**No mecanismo de condução, elétrons são introduzidos no semicondutor do tipo-n a partir do polo negativo da pilha. Estes elétrons se direcionam ao polo positivo. Ao chegarem à junção com o semicondutor do tipo-p estes elétrons ocupam buracos eletrônicos e irão se deslocar através do semicondutor “pulando” de buraco em buraco que estão sendo gerados continuamente na extremidade do semicondutor ligada ao polo positivo. Nesta extremidade os elétrons deixam o semicondutor do tipo-p, gerando novos buracos eletrônicos, e ingressam no circuito metálico que os conduzirá até o polo positivo da pilha. Assim, no semicondutor do tipo-n elétrons são continuamente introduzidos na conexão com o polo negativo da pilha e deixam o semicondutor na junção com o semicondutor do tipo-p. Já neste último, buracos eletrônicos são continuamente gerados na junção com o polo positivo e são consumidos por elétrons provenientes do semicondutor do tipo-n na junção com este último.**

9. Explique por que o efeito da temperatura na condutividade de um semicondutor é diferente daquele verificado para um condutor metálico.

**Ver material de aula.**

10. O raio atômico da prata é 144 pm e sua densidade  $10,5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Sua estrutura cristalina é CFC ou CCC?

**A densidade do material pode ser entendida como a massa de uma célula unitária dividida por seu volume, que é dado por  $a^3$  (onde  $a$  é o parâmetro de rede). No caso do CFC, a massa corresponderia a *quatro* átomos, e o parâmetro de rede seria dado por  $a = 4r/\sqrt{2} = 407 \text{ pm}$ . No caso CCC, teríamos *dois* átomos e  $a = 4r/\sqrt{3} = 457 \text{ pm}$  (v. pg. 23). Assim, para CFC obteríamos  $d = (4 \cdot 107,9) / (407^3 \cdot 6,03 \cdot 10^{23}) = 1,06 \cdot 10^{-29} \text{ g/pm}^3$  e para CCC obteríamos  $d = (2 \cdot 107,9) / (457^3 \cdot 6,03 \cdot 10^{23}) = 3,75 \cdot 10^{-30} \text{ g/pm}^3$ . Convertendo pm para cm, vemos que a estrutura é CFC.**

11. Bandas de energia só existem em metais? Discuta.

**Não. Elas têm a ver com energia e com proximidade entre átomos e com a formação de orbitais moleculares. Por exemplo, as bandas de energia no silício (que tem ligações covalentes) é que determinam seu caráter semicondutor.**

12. Indique a condutividade e mostre o mecanismo de condução dos seguintes compostos: a) NaCl (fundido) b) NaCl (solução aquosa) c) NaCl (sólido) d) Cu (sólido) e)  $\text{CCl}_4$  (líquido)  
a) Condutor, condução iônica; b) Idem ao a); c) dielétrico ou não condutor d) Condutor, condução metálica ou eletrônica; e) não condutor

### **Eletroquímica**

13. Como você define um eletrodo?

### Associação entre um condutor eletrônico e um condutor iônico

14. Como é possível fazer a medida do potencial de um eletrodo? Esquematize.

**Com um voltímetro de alta impedância interna e um eletrodo de referência num dado eletrólito de interesse.**

**Para o esquema ver slides apresentados em aula.**

15. Explique porque o potencial de um eletrodo é sempre uma grandeza relativa.

**Só é possível medir a diferença de potencial através de uma associação entre duas interfaces eletroquímicas (dois eletrodos). Assim, o voltímetro mede a diferença de potencial entre dois eletrodos (duas interfaces) associados.**

16. Podemos afirmar que o potencial desenvolvido em um eletrodo será sempre o potencial de equilíbrio em qualquer situação? Por quê?

**Não. O potencial de equilíbrio só se configura quando apenas uma e somente uma reação interfacial ocorre na superfície do eletrodo e estas devem ocorrer com a mesma intensidade. O potencial não será o de equilíbrio de mais de uma reação estiver ocorrendo na interface e também quando o eletrodo se encontra polarizado.**

17. O que representa a densidade de corrente de troca e qual sua importância da densidade de corrente de troca?

**A densidade de corrente de troca,  $i_0$ , é um parâmetro cinético definido na situação de equilíbrio de um eletrodo representando a velocidade da reação interfacial (igual nos dois sentidos). Ele é importante, pois indica a cinética do eletrodo mesmo quando este se encontra fora do equilíbrio (polarizado), quando é atravessado por uma corrente líquida.**

18. A velocidade de uma reação no equilíbrio corresponde a  $i_0$ , que por sua vez demonstra a importância da cinética sobre a velocidade das reações eletroquímicas. Com base nos valores de densidade de corrente de troca ( $i_0$ ), que são apresentados a seguir, para a reação de evolução de hidrogênio sobre alguns metais, e supondo que para produzir  $H_2$  seja aplicado sobre cada um desses eletrodos uma sobretensão catódica de 0,5V, pergunta-se: a) Qual seria a densidade de corrente gerada em cada um destes nesta sobretensão? b) Como você determinaria a corrente total gerada.

Dados: Área superficial de cada eletrodo:  $5\text{cm}^2$ ;  $b_c = 0,12\text{ V/década}$  logarítmica



Para o paládio  $\rightarrow i_0 = 10^{-3}\text{A/cm}^2$ ; Para o ferro  $\rightarrow i_0 = 10^{-7}\text{A/cm}^2$ ;

Para o Chumbo  $\rightarrow i_0 = 10^{-12}\text{A/cm}^2$

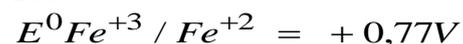
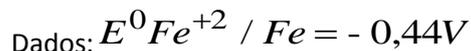
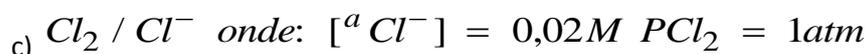
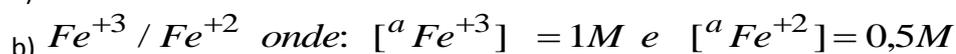
Equação de Tafel:

$$\eta = b \log \frac{i}{i_0}$$

**Dicas para a solução: lembrar que a sobretensão catódica é sempre negativa. Lembrar que na resposta a corrente catódica também será negativa, e que esta é operada em módulo na equação de Tafel.**

**A corrente total é calculada multiplicando a densidade de corrente pela área do eletrodo.**

19. Sabendo-se que o potencial do eletrodo de calomelano saturado em relação ao eletrodo padrão de hidrogênio é de 0,242V, calcule os potenciais de equilíbrio, em relação ao eletrodo de calomelano saturado, dos seguintes eletrodos:



**R: A equação de transformação dos potenciais na escala do eletrodo padrão de hidrogênio, EPH, e do eletrodo de calomelano saturado, ECS, é dada pela equação:  $EPH = ECS + 0,242$  (Volts). Se os valores dados estão na escala EPH, a transformação será:  $ECS = EPH - 0,242$  V.**

**Aplicar a equação de Nernst para corrigir cada um dos potenciais de equilíbrio.**

20. Uma pilha foi construída através da associação dos seguintes eletrodos - eletrodo  $E_1$ : constituído por um fio de platina imerso em solução de  $H^+$  com  $pH=3$ , onde no interior da solução é borbulhado hidrogênio ( $H_2$ ) a uma pressão  $P_1$ ; um eletrodo  $E_2$ , constituído também, por um fio de platina imerso em solução de  $pH=3$ , em cujo interior da solução é borbulhado hidrogênio ( $H_2$ ) a uma pressão  $P_2 > P_1$ . Considere que as duas soluções são desaeradas. Para o sistema apresentado acima pede-se:

a) Escreva as equações que permitem calcular os potenciais de equilíbrio de cada um dos eletrodos descritos acima.

b) Sabendo-se que o potencial de equilíbrio do eletrodo ( $E_1$ ) é maior que o potencial de equilíbrio do eletrodo ( $E_2$ ), escreva a equação global da pilha e também a equação que permite calcular a força eletromotriz (fem) desta pilha?

c) Qual eletrodo fará o papel de anodo na pilha?

d) Se aumentarmos a pressão de  $H_2$  no eletrodo com a maior pressão de  $H_2$  ( $P_2$ ), o que ocorrerá com a fem da pilha?

**R: O  $E_2$  fará o papel de anodo, porque se  $P_2$  é maior que  $P_1$ , o potencial de equilíbrio do eletrodo  $E_2$  será mais negativo que o potencial do  $E_1$ .**

**Aplicar Nernst para os dois eletrodos e chegar nas expressões pedidas. Se  $P_2$  ficar maior, a fem da pilha aumentará.  $Fem = (0,059/2) \log P_2/P_1$ .**

**Aumentando a pressão da pilha aumenta a ddp.**

21. Uma pilha foi formada por dois eletrodos de zinco imersos em solução de seus próprios íons, isto é  $ZnSO_4$ . O eletrodo  $E_1$  foi imerso em solução de  $ZnSO_4$  0,2M e o eletrodo  $E_2$  em solução de  $ZnSO_4$  1,5M. Pede-se:

a) Qual desses eletrodos formará o anodo da pilha? Justifique sua resposta.

b) Determine a f.e.m. da pilha.

$$E = E^o + \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_{oxi}}{a_{red}} ; \quad E^o_{Zn^{+2}/Zn} = -0,763V$$

**R: Aplicar Nernst e calcular os potenciais de equilíbrio dos dois eletrodos. O anodo é aquele que apresentar o menor Eeq. Neste caso será o eletrodo imerso na solução com menor concentração de zinco.**

22. Uma pilha foi construída por um eletrodo de ferro e um eletrodo de zinco, imersos em uma solução aerada contendo  $10^{-2}$  M de  $Fe^{+2}$  e pH igual a 6,0. Para essas condições pede-se:

a) Qual o tipo de pilha formado por este sistema?

b) Com base em seus conhecimentos sobre pilhas, explique sua resposta dada no ítem "a".

c) Agora suponha que os mesmos eletrodos, isto é, ferro e zinco, estão imersos em solução de seus próprios íons, com atividade unimolar, cuja f.e.m. formada é igual a 1,1V. Supondo que os eletrodos sejam polarizados mostre graficamente o que ocorre com a d.d.p.

Dados:

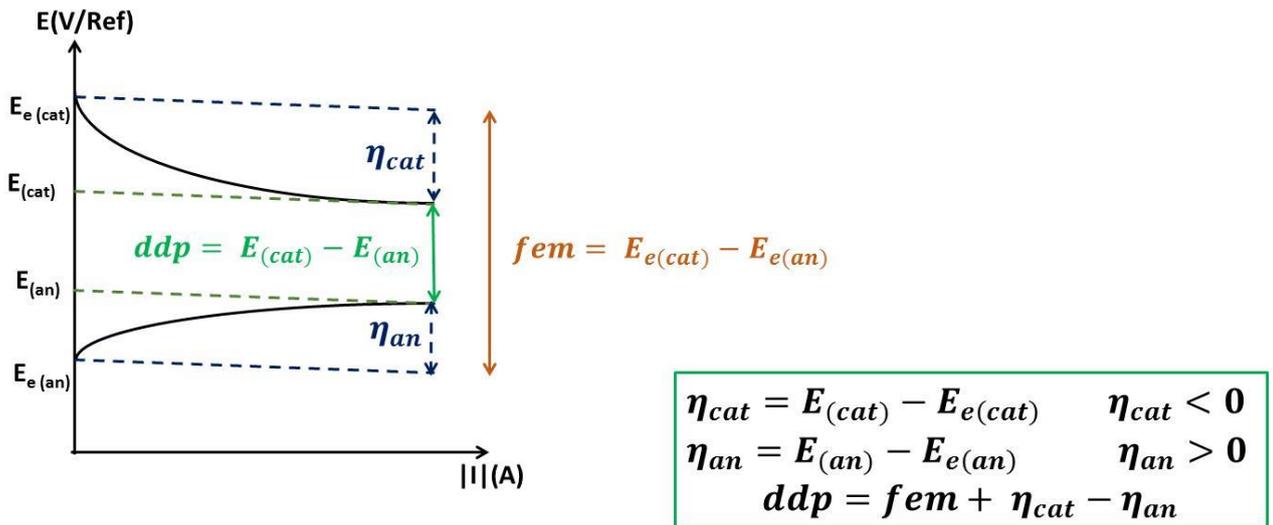
$$E^o_{Fe^{+2}/Fe} = -0,44V ; \quad E^o_{Zn^{+2}/Zn} = -0,763V ; \quad E^o_{O_2/OH^-} = 0,401V ; \\ E^o_{H^+/H_2} = 0,0V$$

$$E = E^o + \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_{ox}}{a_{red}} ; \quad R = 8,3147J / mol.K ; \quad T = 25^\circ C ; \quad F = 96500C$$

**R: Forma-se uma pilha galvânica pois é formada por eletrodos constituídos por metais diferentes e imersos em um mesmo eletrólito. Comparando os potenciais de equilíbrio dos dois eletrodos conclui-se que o ferro será o cátodo (maior Eeq - aplicar Nernst para determiná-lo) e o zinco será o ânodo da pilha (menor Eeq - aplicar Nernst para determiná-lo).**

Com a polarização nos eletrodos da pilha, quando está for usada para acionar algum dispositivo, ocorrerá o que é mostrado no gráfico abaixo. Devido à polarização, o potencial do catodo será diminuído em relação ao seu potencial de equilíbrio e o potencial do anodo será aumentado, diminuindo a ddp da pilha. Só se usa fem quando os eletrodos da pilha estão no equilíbrio. Por isso a fem é a máxima diferença de potencial de uma pilha.

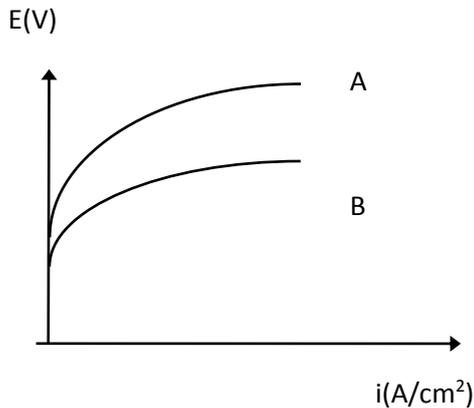
Verifique que a medida que cada um dos eletrodos é desviado de sua condição de equilíbrio uma corrente líquida (identificada no eixo das abscissas) é gerada em cada uma das interfaces. Durante o funcionamento da pilha a corrente no catodo e no anodo deve ser sempre igual, de modo a manter a eletroneutralidade na solução que compõe a pilha.



13) Suponha uma célula eletrolítica formada por eletrodos de cobre puro imersos em uma solução eletrolítica contendo íons de  $Fe^{2+}$  (0,25M). O pH da solução é igual a 7. Com base nessas informações pede-se: a) Quais as possíveis reações que iriam ocorrer no anodo e no catodo? b) Qual deve ser a força contraeletromotriz mínima a ser aplicada para a realização dessa eletrólise?

Dados:  $pH = -\log a_{H^+}$  ;  $T = 25^{\circ}C$  ;  $E^{\circ}H^+/H_2 = 0,0V$  ;  $E^{\circ}Fe^{2+}/Fe = -0,44V$  ;  $E^{\circ}O_2/OH^- = 0,401V$  ;  $E^{\circ}Cu^{2+}/Cu = 0,34V$ .

23. A Figura dada a seguir apresenta duas curvas de polarização anódica para os metais A e B. Faça uma análise das curvas e responda: Qual dos metais aqui representados possui uma cinética de dissolução mais rápida? Justifique



**R:** O metal B deve ter a cinética mais rápida, porque para uma mesma densidade de corrente ( $i$ ) de resposta, o eletrodo B deve ter seu potencial menos desviado em relação ao potencial de equilíbrio (ou seja o eletrodo é menos polarizado). A polarização do metal A é maior do que a polarização do metal B conforme pode ser visto na figura abaixo.

