

PPGQ-UFRN_ prova de doutorado (2016.1-2)

Expectativas de resposta

Físico-Química

Problema 1 (termodinâmica)

- 1) Em uma época, o gás doméstico utilizado para cozinhar, chamado gás de água (gás de síntese), era preparado como se segue:



A termodinâmica química tem como um dos objetivos determinar a espontaneidade dos processos químicos através dos valores de ΔG . Além disso, prever qual o sentido da reação é mais favorável a partir dos valores de pressão, temperatura, etc.

- (a) A partir dos dados termodinâmicos listadas abaixo, calcule $\Delta_R G^0$ a 298K e diga se a reação acima ocorrerá espontaneamente nessa temperatura. (b) Se não, a partir de que temperatura a reação ocorrerá espontaneamente? Apresente os cálculos. (c) Como a temperatura afeta no deslocamento do equilíbrio segundo o princípio de Le Chatelier para essa reação. Justifique.

Dados: $\Delta_f H^0 (\text{CO}) = -110,5 \text{ KJ/mol}$, $\Delta_f H^0 (\text{H}_2\text{O (g)}) = -241,8 \text{ KJ/mol}$. $S_m^0 (\text{CO (g)}) = 197,9 \text{ J/K.mol}$, $S_m^0 (\text{H}_2 \text{ (g)}) = 130,6 \text{ J/K.mol}$, $S_m^0 (\text{H}_2\text{O (g)}) = 188,7 \text{ J/K.mol}$, $S_m^0 (\text{C (grafite)}) = 5,7 \text{ J/K.mol}$.

Expectativa de resposta:

1a. A partir das entalpias e entropias molares padrões de formação para os reagentes e produtos, calcula-se $\Delta_R G^0$ na temperatura de 25°C.

Para essa reação, pode-se escrever a entalpia padrão de reação como:

$$\begin{aligned}\Delta_R H^0 &= \Delta_f H_m^0 [\text{CO(g)}] + \Delta_f H_m^0 [\text{H}_2(\text{g})] - \Delta_f H_m^0 [\text{H}_2\text{O(g)}] - \Delta_f H_m^0 [\text{C(grafite)}] = \\ \Delta_R H^0 &= -110,5 \text{ KJ/mol} + 0 \text{ KJ/mol} - (-241,8 \text{ KJ/mol}) - 0 \text{ KJ/mol} = \\ \Delta_R H^0 &= 131,3 \text{ KJ/mol}\end{aligned}$$

Para essa reação, pode-se escrever a entropia padrão de reação como:

$$\begin{aligned}\Delta_R S^0 &= S_m^0 [\text{CO(g)}] + S_m^0 [\text{H}_2(\text{g})] - S_m^0 [\text{H}_2\text{O(g)}] - S_m^0 [\text{C(grafite)}] = \\ \Delta_R S^0 &= 197,9 \text{ J/mol} + 130,6 \text{ J/mol} - 188,7 \text{ J/mol} - 5,7 \text{ J/mol} = \\ \Delta_R S^0 &= 134,1 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Partindo da relação abaixo é possível calcular $\Delta_R G^0$, usando o $\Delta_R H^0$ e $\Delta_R S^0$ calculados anteriormente ;

$$\Delta_R \overline{G}^0 = \Delta_R H^0 - T\Delta_R S^0$$

$$\Delta_R \overline{G}^0 = 131,3 \text{ KJ} / \text{mol} - (298 \text{ K})(134,1 \times 10^{-3} \text{ KJ} / \text{mol})$$

$$\Delta_R \overline{G}^0 = 91,3 \text{ KJ} / \text{mol}$$

Portanto, a 25°C a reação não ocorrerá espontaneamente, visto que $\Delta_R G^0 > 0$.

1b. De forma similar, a partir das entalpias e entropias molares padrões de formação para os reagentes e produtos, calcula-se a partir de que temperatura a reação começa a ocorrer de forma espontânea.

Parte da mesma relação matemática do item (a) e considera para uma reação ser espontânea o $\Delta_R G^0 < 0$:

$$\Delta_R \overline{G}^0 < 0 \text{ (i)}$$

$$\Delta_R \overline{G}^0 = \Delta_R H^0 - T\Delta_R S^0 \text{ (ii)}$$

Combinando as relações (i) e (ii), temos

$$\Delta_R H^0 - T\Delta_R S^0 < 0$$

Isolando T, temos

$$T > \frac{\Delta_R H^0}{\Delta_R S^0}$$

$$T > \frac{131,3 \text{ KJ} / \text{mol}}{134,1 \times 10^{-3} \text{ KJ} / \text{mol}}$$

$$T > 979,1 \text{ K}$$

Portanto, a temperatura mínima para a reação ser espontânea seria em torno de 979,1 K, assumindo que $\Delta_R H^0$ e $\Delta_R S^0$ sejam independentes da temperatura. Ou seja, a partir dessa temperatura $\Delta_R G^0$ será menor que zero.

1c. Segundo o princípio de Le Chatelier para uma reação endotérmica ($\Delta_R H^0 > 0$), como para a reação acima, o aumento da temperatura favorece o sentido direto (de reagentes a produtos), tornando a reação mais espontânea ($\Delta_R G^0$ mais negativo) com o aumento da temperatura, o qual está de acordo com os cálculos dos itens a e b.

Problema 2 (Cinética Química)

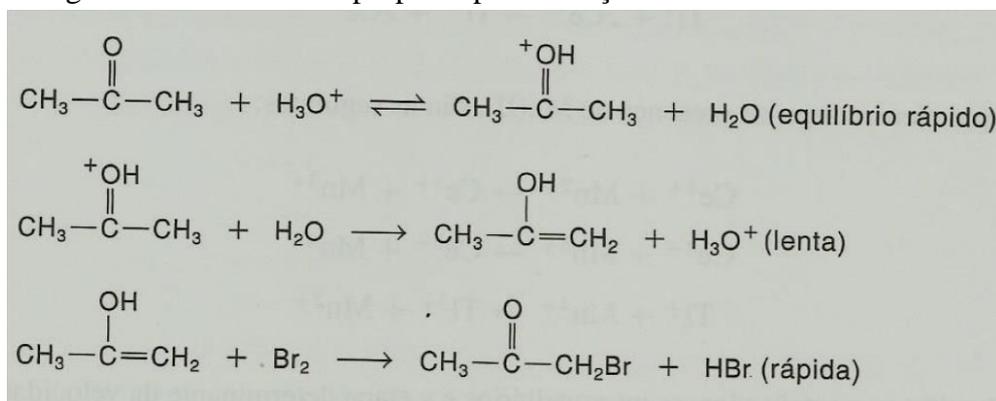
2. A bromação da acetona é catalisada por ácido de acordo com a seguinte reação:



A velocidade de desaparecimento do bromo foi medida para várias concentrações diferentes de acetona, bromo e íons H^+ em determinada temperatura com mostra a Tabela abaixo:

	$[\text{CH}_3\text{COCH}_3]/M$	$[\text{Br}_2]/M$	$[\text{H}^+]/M$	Velocidade de desaparecimento de $\text{Br}_2/M \cdot \text{s}^{-1}$
(1)	0,30	0,050	0,050	$5,7 \times 10^{-5}$
(2)	0,30	0,10	0,050	$5,7 \times 10^{-5}$
(3)	0,30	0,050	0,10	$1,2 \times 10^{-4}$
(4)	0,40	0,050	0,20	$3,1 \times 10^{-4}$
(5)	0,40	0,050	0,050	$7,6 \times 10^{-5}$

- (a) Com base nos dados experimentais acima encontre qual é a lei de velocidade para essa reação, especificando a ordem de reação e a constante de velocidade experimental- k_{obs} .
- (b) O seguinte mecanismo foi proposto para a reação:



Mostre que o mecanismo é condizendo com os valores experimentais (lei de velocidade experimental) encontrada no item (a).

Expectativa de resposta:

2a. A lei de velocidade experimental é apresentada da seguinte forma

$$v = k_{obs} [CH_3COCH_3]^m [H^+]^n [Br_2]^k$$

O primeiro e o quinto ponto na Tabela dos dados experimentais a concentração de Br_2 e H^+ não varia, permitindo determinar a ordem de reação para o CH_3COCH_3

$$\frac{v_1}{v_5} = \frac{k_{obs} [0,3]^m [0,05]^n [0,05]^k}{k_{obs} [0,4]^m [0,05]^n [0,05]^k} = \frac{5,7 \times 10^{-5}}{7,6 \times 10^{-5}}$$

$m=1$ (primeira ordem em relação ao CH_3COCH_3)

O primeiro e o segundo ponto na Tabela dos dados experimentais a concentração de CH_3COCH_3 e H^+ não varia, permitindo determinar a ordem de reação para o Br_2

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{k_{obs} [0,3]^m [0,05]^k [0,05]^n}{k_{obs} [0,3]^m [0,1]^k [0,05]^n} = \frac{5,7 \times 10^{-5}}{5,7 \times 10^{-5}}$$

$k=0$ (ordem zero em relação ao Br_2)

O primeiro e o terceiro ponto na Tabela dos dados experimentais a concentração de CH_3COCH_3 e Br_2 não varia, permitindo determinar a ordem de reação para o H^+

$$\frac{v_1}{v_3} = \frac{k_{obs} [0,3]^m [0,05]^n [0,05]^k}{k_{obs} [0,3]^m [0,1]^n [0,05]^k} = \frac{5,7 \times 10^{-5}}{5,7 \times 10^{-5}}$$

$n=1$ (primeira ordem em relação ao H^+)

Portanto, a lei de velocidade experimental é.

$$v = k_{obs} [CH_3COCH_3]^1 [H^+]^1 [Br_2]^0$$

$$v = k_{obs} [CH_3COCH_3] [H^+] \quad (\text{ordem global } 2)$$

Com base na lei de velocidade experimental e partindo dos dados experimentais da Tabela, pode-se calcular a constante de velocidade experimental (k_{obs})

$$v = k_{obs} [0,3 \text{ mol/L}] [0,05 \text{ mol/L}] = 5,7 \times 10^{-5} \text{ Mol/L.s}$$

$$k_{obs} = 3,8 \times 10^{-3} \text{ mol/L.s}$$

2b. Tendo em vista que a etapa determinante da velocidade é a etapa lenta, temos que a lei de velocidade é escrita em função da etapa 2 conforme mostra abaixo

$$v = k_2[CH_3COHCH_3^+] [H_2O] \quad (i)$$

O intermediário, $CH_3COHCH_3^+$ pode ser escrito em termo dos reagente usando rápido equilíbrio da etapa 1, ou seja, escrevendo a constante de equilíbrio da etapa 1 conforme apresentado abaixo

$$\begin{aligned} v_1 &= v_2 \\ k_1[CH_3COCH_3] [H_3O^+] &= k_{-1}[CH_3COHCH_3^+] [H_2O] \\ [CH_3COHCH_3^+] [H_2O] &= \frac{k_1}{k_{-1}} [CH_3COCH_3] [H_3O^+] \quad (ii) \end{aligned}$$

Substituindo a equação (ii) na (i), temos

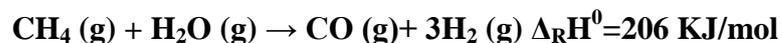
$$v = \frac{k_2 k_1}{k_{-1}} [CH_3COCH_3] [H_3O^+] = \frac{k_2 k_1}{k_{-1}} [CH_3COCH_3] [H^+]$$

$$k_{obs} = \frac{k_2 k_1}{k_{-1}}$$

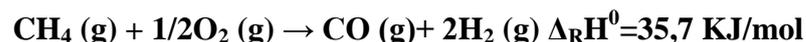
Confirmando que o mecanismo é condizendo com os dados experimentais da Tabela acima.

Problema 3 (Termodinâmica)

3. Cerca de 75% do hidrogênio produzido para uso industrial é preparado pelo processo de *reforma a vapor do metano*. Esse processo é realizada em dois estágios chamados de reforma primária e secundária. No estágio primário, uma mistura de vapor de água e metano a aproximadamente 30 atm é aquecida sobre um catalisador de níquel a 800 °C gerando hidrogênio e monóxido de carbono:



O estágio secundário é realizado a cerca de 1000 °C, na presença de ar, para converter o metano remanescente em hidronênio:



A constante de equilíbrio, K_c , para o estágio primário é 18 a 800 °C.

- Calcule o valor de K_p para esse estágio.
- Se as pressões parciais de metano e de vapor de água fossem de 15 atm no início, quais seriam as pressões de todos os gases no equilíbrio do primeiro estágio ?

- (c) Que condições de temperatura e pressão favoreceriam o aumento de K_p ?

Expectativa de resposta:

3b. Segundo a termodinâmica a relação entre K_p e K_c é:

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n} (P^0)^{-\Delta n}$$

Para essa equação, se P^0 for representado em bar, R deve ser em $LbarK^{-1}mol^{-1}$

$$R = (0,082LatmK^{-1}mol^{-1})\left(\frac{1,01325bar}{1atm}\right) = 0,08315LbarK^{-1}mol^{-1}$$

$$\Delta n = (1 + 3) - (1 + 1) = 2$$

Portanto,

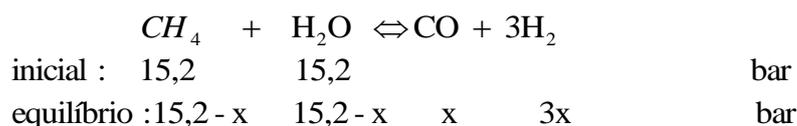
$$K_p = (18)[(0,08315)(1073)]^2 (1)^{-2}$$

$$K_p = 1,43 \times 10^5$$

3b. Inicialmente, a pressão precisa ser convertida em bar para ser usada na expressão de K_p , no qual $P^0 = 1bar$. A pressão parcial da reação é

$$(15atm)\left(\frac{1,013bar}{1atm}\right) = 15,2bar$$

A pressão inicial e do equilíbrio são representadas no esquema abaixo



A constante de equilíbrio é representado da seguinte forma para essa reação

$$K_p = \frac{\left(\frac{P_{CO}}{P^0}\right)\left(\frac{P_{H_2}}{P^0}\right)^3}{\left(\frac{P_{CH_4}}{P^0}\right)\left(\frac{P_{H_2O}}{P^0}\right)}$$

$$1,43 \times 10^5 = \frac{x(3x)^3}{(15,2 - x)^2} = \frac{27x^4}{(15,2 - x)^2}$$

Trabalhando a expressão matematicamente, temos

$$378 = \frac{5,20x^2}{15,2 - x}$$

$$5,20x^2 + 378x - 5745,6 = 0$$

$$x = 12,9 \quad \text{ou} \quad x = -85,6$$

O valor de x negativo não tem sentido físico.

Portanto, no equilíbrio

$$P_{CH_4} = (15,2 - x)bar = 2bar \cong 2atm$$

$$P_{H_2O} = (15,2 - x)bar = 2bar \cong 2atm$$

$$P_{CO} = xbar = 13bar \cong 13atm$$

$$P_{CO} = 3xbar = 39bar \cong 38atm$$

3c. Com trata-se de uma reação endotérmica ($\Delta H > 0$) e com base no princípio de Le Chatelier, a formação dos produtos produtos serão favorecidas a altas temperaturas assim como o K_p . Para essa reação, observa-se um número maior de mols dos produtos que dos reagentes. Portanto, os produtos serão favorecidos a baixas pressões assim como o K_p .

Inorgânica

1. Sobre os complexos responda:

- Quais são os planos de simetria que existem nos isômeros cis- e trans- $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]^+$? Identifique-os.
- Analise a possibilidade de isomeria ótica para espécies do tipo cis- e trans- $[\text{M}(\text{L-L})_2\text{A}_2]$, em que L-L é um ligante bidentado.

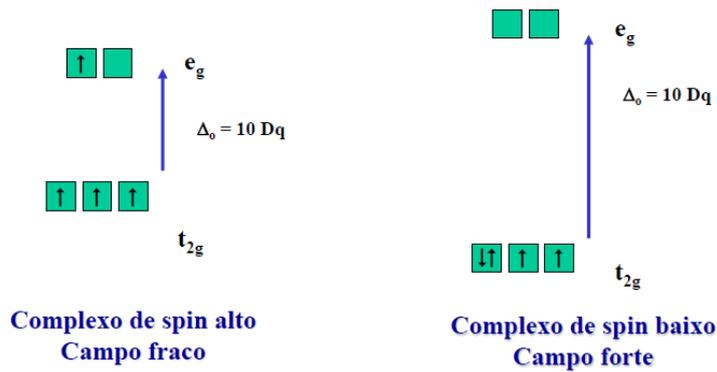
Expectativa da resposta: Espera-se que o candidato consiga identificar os tipos de simetria e o conhecimento sobre os tipos de isomeria, conseguindo diferencia-las, assim como identificar os isômeros óticos do complexo apresentado. Desta forma podem ser consideradas respostas do tipo:

- cis- $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]^+$: um plano vertical, passando por $\text{NH}_3\text{-Co-NH}_3$ e dividindo ao meio o ângulo Cl-Co-Cl ; trans- $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]^+$: um plano vertical passando por $\text{NH}_3\text{-Co-NH}_3$ ainda contendo os dois íons cloreto; outro plano vertical passando por $\text{NH}_3\text{-Co-NH}_3$, contendo ainda as duas moléculas de amônia.*
- trans- $[\text{M}(\text{L-L})_2\text{A}_2]$: não há possibilidade de isomeria ótica, pois admite 2 planos de simetria- um horizontal, passando por $(\text{L-L})\text{-M-(L-L)}$ e 2 verticais, mutuamente perpendiculares, passando por A-M-A ; cis- $[\text{M}(\text{L-L})_2\text{A}_2]$: é possível a isomeria ótica, pois não há nenhum plano de simetria.*

2. Explique em termos da TCC:

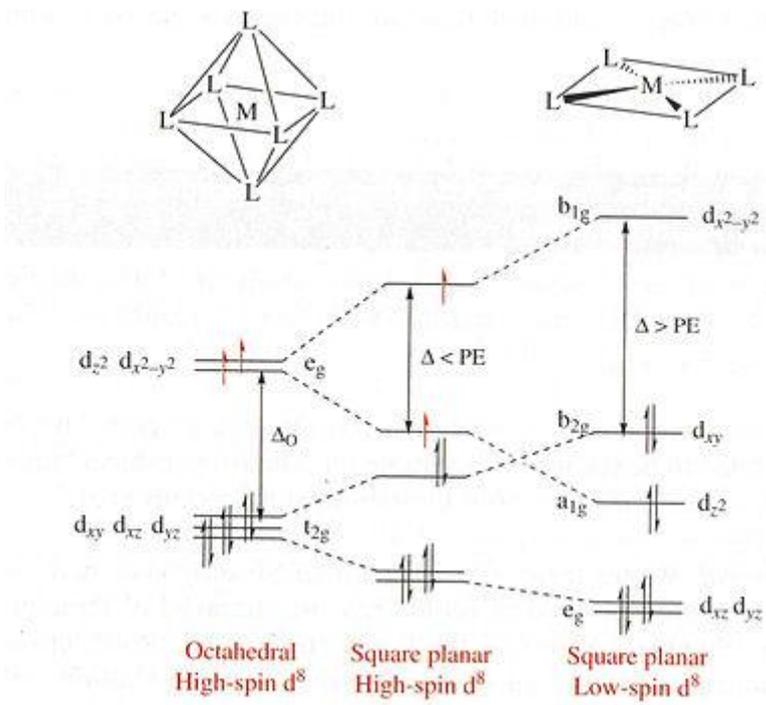
- O íon complexo $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ é diamagnético, ao passo que $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ é paramagnético;
- O íon complexo $[\text{Ti}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ absorve luz de frequência mais alta do que $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$;
- $[\text{Mn}(\text{CN})_6]^{4-}$ exibe um paramagnetismo muito menor do que $[\text{Mn}(\text{Py})_6]^{2+}$.

Expectativa da resposta: Espera-se que o candidato tenha o conhecimento sobre a teoria do campo cristalino, conseguindo identificar as diferenças de energia existente entre os ligantes segundo a série espectroquímica. Como exemplificado na figura abaixo para um metal com configuração d^4 .



- a) O Co^{3+} tem um número de oxidação maior que Fe^{2+} e, portanto tem um campo mais forte.
- b) O ligante NH_3 é mais forte que H_2O , portanto irá absorver em uma frequência maior.
- c) O CN^- é um ligante de campo mais forte do que Py .
3. O níquel e a platina pertencem a mesma família na classificação periódica. Entretanto os complexos $[\text{NiCl}_4]^{2-}$ e $[\text{PtCl}_4]^{2-}$ possuem geometria, cores e propriedades magnéticas diferentes. Explique essas observações através da TCC.

Expectativa da resposta: Espera-se que o candidato tenha o conhecimento sobre a teoria do campo cristalino, conseguindo correlaciona-las com as propriedades magnéticas, cores exibidas pelos dois complexos, a geometria e a força do ligante. A figura abaixo ilustra algumas dessas diferenças.



[NiCl₄]²⁻ apresenta uma geometria tetraédrica e comportamento paramagnético, enquanto [PtCl₄]²⁻ é quadrado planar e diamagnético. A geometria quadrado planar é favorecido com uma configurações d^8 e campo forte, isso só ocorre no íon complexo [PtCl₄]²⁻. As cores e as propriedades magnéticas diferentes são provocadas pelos desdobramentos diferentes do campo cristalino. A coordenação tetraédrica é favorecida para o complexo de níquel devido o tamanho relativamente grande do íon Cl⁻.

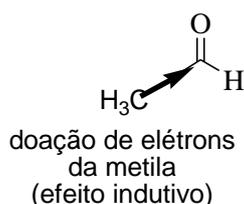
Orgânica

Questão 1

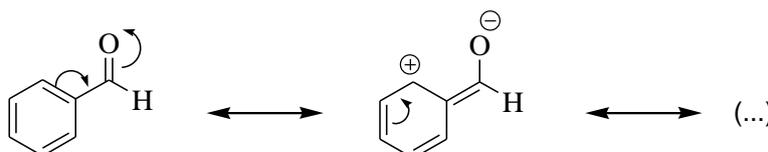
I) K (reação 2) > K (reação 1) > K (reação 3)

O formaldeído é o substrato mais eletrofílico dentre os aldeídos apresentados, uma vez que só possui hidrogênios ligados ao carbono carbonílico.

O acetaldeído possui um grupo metila vizinho à carbonila, que doa densidade eletrônica por meio de efeito indutivo, deixando o carbono carbonílico menos eletrofílico que o do formaldeído.



O substrato menos reativo e, conseqüentemente, com o equilíbrio menos favorável no sentido de formação do hidrato, é o benzaldeído. Neste caso, o anel benzênico adjacente ao carbono carbonílico possibilita um efeito de ressonância que acarreta na diminuição da eletrofilicidade.

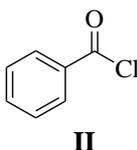
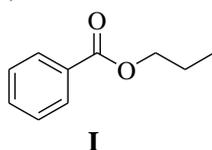


II)

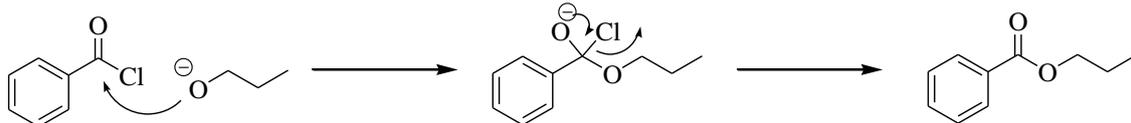
a) Ao sofrer ação do alcóxido, o ácido ascórbico é desprotonado, gerando o ânion benzoato. Este por sua vez, não possui um grupo de saída em potencial (O^{2-} é um péssimo grupo de saída), não levando à formação do éster mesmo que na presença de excesso de nucleófilo.

b) i) O ácido benzoico deve ser transformado em um derivado de ácido carboxílico mais reativo, especialmente pela presença de um grupo de saída em potencial. Este composto seria o cloreto de benzoíla, o qual foi formado a partir da reação de ácido benzoico com cloreto de tionila, em presença de piridina.

ii)



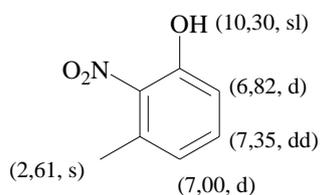
iii)



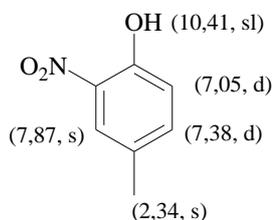
Questão 2

I)

A



B



II)

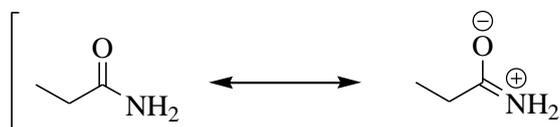
(A) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$

(B) 1670 cm^{-1}

(B) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CONH}_2$

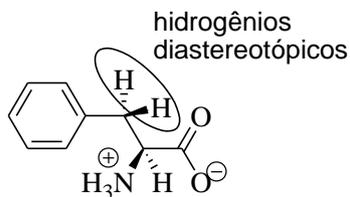
(A) 1725 cm^{-1}

A energia relacionada ao estiramento da ligação $\text{C}=\text{O}$ é menor para a amida em relação ao aldeído, devido à considerável contribuição da espécie dipolar da amida. Em ambos os compostos, existe um grupo etila adjacente ao carbono carbonílico, com contribuição similar para a eletrofilicidade da carbonila.



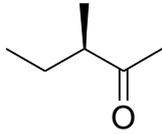
III)

Os hidrogênios metilênicos da (*L*)-fenilalanina são diastereotópicos. Tal fato emerge de vizinhas distintas para cada hidrogênio, como consequência do grupo metilênico ser adjacente a um centro estereogênico.

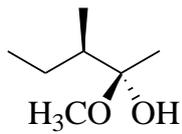
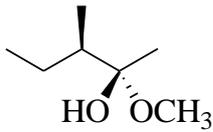


Questão 3

a)



b)



c) O carbono carbonílico, de hibridização sp^2 , pode receber um ataque nucleofílico por ambas as faces. Dessa forma, o novo centro estereogênico poderá possuir configuração *S* ou *R*.

d) Não, pois não seria gerado um novo centro estereogênico, uma vez que o carbono, agora sp^3 , teria dois grupos CH_3 ligados ao mesmo.

Química Analítica

1) O ozônio não é encontrado somente em sua forma natural na atmosfera, mas também é usado como um forte agente oxidante no tratamento de água. Uma maneira de medir a concentração de ozônio na água é por meio de sua absorção da luz ultravioleta. Uma solução de ozônio dissolvido em água fornece um percentual de transmitância de 83,4 por cento quando medido a 258 nm e usando-se um recipiente de amostra que tenha um caminho óptico de 5,00 cm. A absorvidade molar do ozônio em 258 nm é conhecida como 2.950 L/mol.cm.

a) Qual é a absorbância da amostra e qual é a concentração de ozônio na amostra?

b) Se nenhuma outra espécie absorvente estiver presente na amostra, qual concentração de ozônio poderíamos esperar que fornecesse uma absorbância de 0,250 nessas condições?

RESPOSTAS

a) $T = 0,834$

$$A = -\log T \Rightarrow A = -\log 0,834 \Rightarrow A = 0,0788$$

$$A = \epsilon b C \Rightarrow C = A/(\epsilon b)$$

$$C = 0,0788/[(5,00 \text{ cm})(2950 \text{ L/mol.cm})]$$

$$C = 5,34 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$

b) $C = 0,0250/[(5,00 \text{ cm})(2950 \text{ L/mol.cm})]$

$$C = 1,69 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

2) Uma proveta em temperatura ambiente (25 °C) contém uma solução aquosa de íons cálcio e íons carbonato em contato direto com carbonato de cálcio sólido. É constatado que as atividades dos íons cálcio e íons carbonato são $7,0 \times 10^{-5}$, e sabe-se que a atividade do carbonato de cálcio sólido é igual a 1,0. Se essas substâncias estão em equilíbrio, (a) Escreva a reação; (b) qual é a constante de equilíbrio (K^0) dessa reação?(c) Qual é a mudança de energia livre padrão de Gibbs na reação?



b) $K^0 = (7,0 \times 10^{-5}) \times (7,0 \times 10^{-5})/1 \Rightarrow K^0 = 4,9 \times 10^{-9}$

c) $\Delta G^0 = -RT \ln K^0$

$$\Delta G^0 = -(8,314 \text{ J/mol.K}) \times (298 \text{ K}) \times \ln (4,9 \times 10^{-9})$$

$$\Delta G^0 = 4,74 \times 10^4 \text{ J/mol}$$

3) A Potenciometria é uma técnica de análise eletroquímica que se baseia na medição de um potencial de célula com corrente essencialmente zero que passa através do sistema. O potencial medido está relacionado com a composição química dos dois eletrodos e as soluções nas quais estão colocados. Considerando os componentes de uma célula em potenciometria discorra sobre: a) Eletrodos de referência e seus principais tipos; b) Eletrodos indicadores e seus principais tipos.

a) Eletrodos de referência: Tem como objetivo fornecer um potencial reprodutível, conhecido e constante em relação ao qual o potencial de outro eletrodo é medido.

Entre os principais eletrodos encontram-se:

- ✓ **Eletrodo padrão de hidrogênio (EPH): Eletrodo de platina inerte em que a semirreação envolve a redução de íons hidrogênio para formar gás hidrogênio, ao qual se atribui um valor de referência de exatamente 0,000 V para determinar os potenciais de redução padrão de todas as outras semirreações.**
- ✓ **Eletrodo de calomelano: Eletrodo baseado em um eletrodo de mercúrio/cloreto de mercúrio.**
- ✓ **Eletrodo de calomelano saturado: Eletrodo de calomelano que contém uma solução saturada de KCl.**
- ✓ **Eletrodo de prata/cloreto de prata: Eletrodo que consiste de um fio de prata revestido com cloreto de prata.**

b) Eletrodo Indicador: Eletrodo que fornece um potencial relacionado com a atividade e a concentração do analito. Dentre eles:

- ✓ **Eletrodo de pH: seletivo para a determinação de íons H^+ ;**
- ✓ **Eletrodo indicador metálico: o qual é feito de um metal inerte que é usado em uma célula eletroquímica para oxidar ou reduzir outra substância e geralmente é feito utilizando platina, paládio ou ouro.**
- ✓ **Eletrodo classe um: Eletrodo de metal em contato com uma solução que contém íons metálicos do mesmo elemento;**
- ✓ **Eletrodo classe dois: Eletrodo de metal em contato com um sal levemente solúvel desse metal e em uma solução contendo o ânion desse sal;**
- ✓ **Eletrodo classe três: Um eletrodo de metal em contato com um sal do íon metálico (ou um complexo desse íon metálico) e uma segunda reação**

acoplada, envolvendo um sal semelhante (ou complexo), com um fio metálico diferente.