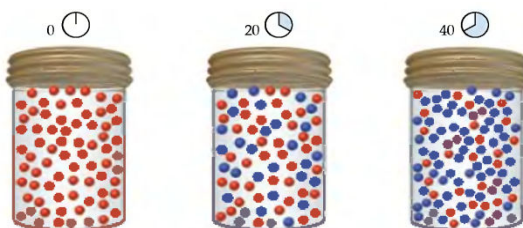


Físico-Química

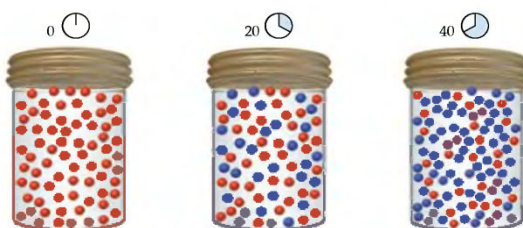
Prof. José Ginaldo Silva Jr.

Lista de Exercícios de Cinética Química

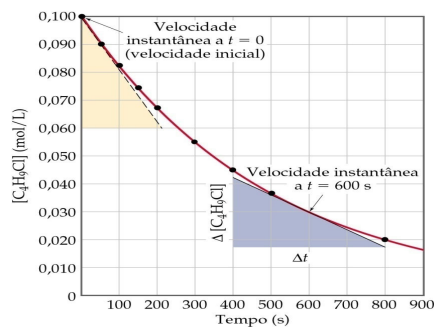
1 Calcule a velocidade média de desaparecimento de A (bolinhas vermelhas) durante o intervalo de tempo de 20 a 40 s. Reação: $A \rightarrow B$



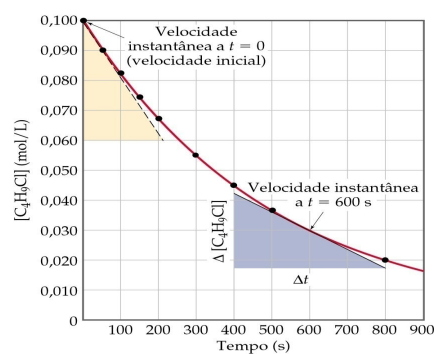
2 Calcule a velocidade média de aparecimento de B (bolinhas azuis) durante o intervalo de tempo de 0 a 40 s. Reação: $A \rightarrow B$



3 Calcule a velocidade instantânea de desaparecimento do C_4H_9Cl quando $t=0$ (velocidade inicial).



4 Determine a velocidade instantânea de desaparecimento do C_4H_9Cl quando $t = 300$ s.



5 Resolva:

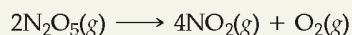
- (a) Como a velocidade de desaparecimento do ozônio relaciona-se com a velocidade de aparecimento do oxigênio na seguinte:



- (b) Se a velocidade de O_2 é $6,0 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$ em determinado instante, qual é o valor de desaparecimento do O_3 nesse instante?

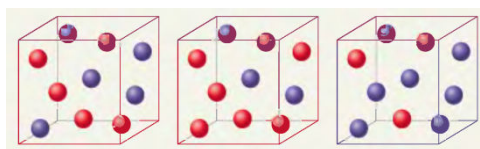
6 Resolva:

- (a) A decomposição de N_2O_5 ocorre de acordo com a seguinte equação:

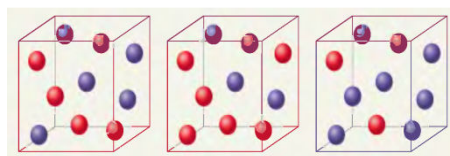


- (b) Se a velocidade de decomposição de N_2O_5 em determinado instante no recipiente de reação for $4,2 \times 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$, qual é a velocidade de aparecimento de (a) NO_2 ; (b) O_2 ?

7 Considere a reação $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C}$ para a qual a velocidade $= k [\text{A}][\text{B}]^2$. Cada uma das seguintes caixas representa uma mistura de reação na qual A é mostrado como esferas vermelhas e B como esferas azuis. Coloque essas misturas em ordem crescente de velocidade de reação.

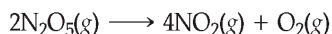


8 Supondo que a velocidade $= k[\text{A}][\text{B}]$, coloque as misturas representadas em ordem crescentes de velocidade.



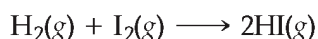
9 Resolva:

- (a) Quais são as ordens totais de reação para as reações descritas nas equações abaixo?
 (b) Qual é a unidade usual de constante de velocidade para a lei de velocidade para as equações abaixo?

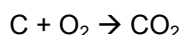


10 Resolva:

- (a) Qual é a ordem do reagente H_2 na equação abaixo?
 (b) Qual a unidade da constante de velocidade para equação abaixo?



11 De acordo com a tabela referente à equação



Tempo (s)	Número de mol de CO_2 existentes
0	0
3	1,5
5	2,5
8	4,0
10	6,0

Calcule a velocidade média nos seguintes intervalos:

- 12 Dada a reação

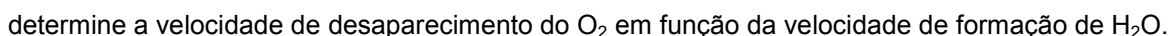


a) De 0 a 2 s
b) De 0 a 12 s
c) De 2 a 6 s

d) De 2 a 12 s
e) De 6 a 12 s

a) De 0 a 2 min
b) De 0 a 5 min
c) De 5 a 8 min
d) De 5 a 11 min
e) De 8 a 11 min

15 Dada a reação



calcule a velocidade de desaparecimento do SO_2 em função da velocidade de desaparecimento do O_2 .

a) $A + B \rightarrow C$
Energia das moléculas dos reagentes = 8 kJ
Energia das moléculas do produto = 7 kJ
Energia de ativação = 17 kJ

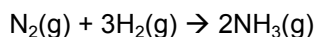
b) $A + B \rightarrow R + Q$

Energia das moléculas reagentes = 12 kcal
Energia das moléculas dos produtos = 7 kcal
Energia de ativação = 20 kcal

18 Escreva a equação da velocidade em função das concentrações e das pressões parciais dos reagentes para cada uma das seguintes reações:

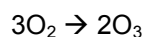
- | | |
|--|--|
| a) $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{SO}_3(\text{g})$ | f) $4\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ |
| b) $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$ | g) $\text{S}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{SO}_2(\text{g})$ |
| c) $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HCl}(\text{g})$ | h) $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$ |
| d) $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}(\text{l}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ | i) $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ |
| e) $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}_2(\text{g})$ | j) $\text{C}(\text{s}) + 2\text{S}(\text{s}) \rightarrow \text{CS}_2(\text{l})$ |

19 Considere a reação:



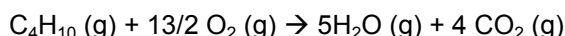
O que ocorrerá com a velocidade se reduzirmos à metade a pressão parcial do H_2 ?

20 Admita a transformação:



Descubra qual o aumento da velocidade previsto pela lei da ação das massas ao duplicarmos a concentração do O_2 .

21 Considere que um bujão com gás de cozinha de 15 Kg esteja presente exclusivamente o gás butano (C_4H_{10}) e que esse, ao queimar com o oxigênio do ar, numa combustão completa produza água e gás carbônico. Essa reação pode ser representada da seguinte maneira:



Considerando que ao deixar uma chama acesa do fogão até todo o gás contido no bujão se acabar tenham decorridos seis dias, calcule a velocidade média de consumo do butano, em gramas por hora e em mol por hora.

22 a) Qual o significado do termo velocidade de reação? b) Dê três fatores que afetam a velocidade de uma reação química. c) Qual a informação necessária para relacionar o desaparecimento dos reagentes na velocidade de aparecimento dos produtos?

23 a) Qual é a unidade geralmente usada para expressar as velocidades de reações que ocorrem em solução? b) A partir de sua experiência cotidiana, dê dois exemplos dos efeitos da temperatura nas velocidades de reações. c) Qual a diferença entre velocidade média e instantânea?

24 Considere a seguinte reação hipotética em solução aquosa: $\text{A}(\text{aq}) \rightarrow \text{B}(\text{aq})$. Um frasco é carregado com 0,065 mol de A em um volume total de 100 mL. Os seguintes dados são coletados:

Tempo (min)	0	10	20	30	40
Quantidade de matéria de A	0,065	0,051	0,042	0,036	0,031

- a) Calcule a quantidade de matéria de B em cada tempo na tabela, supondo que não existem moléculas de B quando o tempo for zero. b) Calcule a velocidade média de desaparecimento de A para cada intervalo de 10 min, qual é a velocidade média de aparecimento de B em unidade de $\text{mol.L}^{-1}\text{s}^{-1}$? Suponha que o volume da solução seja constante.

25 Um frasco é carregado com 0,100 mol de A e deixado reagir para formar B de acordo com a reação hipotética na fase gasosa $\text{A}(\text{g}) \rightarrow \text{B}(\text{g})$. Os seguintes dados foram coletados:

Tempo (s)	0	40	80	120	160
Quantidade de matéria de A	0,100	0,067	0,045	0,03	0,020

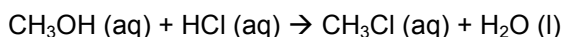
- a) Calcule a quantidade de matéria de B em cada tempo na tabela. b) Calcule a velocidade média de desaparecimento de A para cada intervalo de 40 s, em unidade de mol.s^{-1} .

26 A isomerização da isonitrila de metila (CH_3NC) à acetonitrila (CH_3CN) foi estudada na fase gasosa a 215°C , e os seguintes dados foram obtidos:

Tempo	$[\text{CH}_3\text{NC}] \text{ mol.L}^{-1}$
0	0,0165
2000	0,0110
5000	0,00591
8000	0,00314
12000	0,00137
15000	0,00074

Calcule a velocidade média da reação, em $\text{mol.L}^{-1}\text{s}^{-1}$, para o intervalo de tempo entre cada medida.

27 A velocidade de desaparecimento de HCl foi medida para a seguinte reação:



Os seguintes dados foram coletados:

Tempo (min)	$[\text{HCl}] \text{ (mol.L}^{-1}\text{)}$
0,0	1,85
54	1,58
107	1,36
215	1,02
430	0,580

Calcule a velocidade média da reação, em $\text{mol.L}^{-1}\text{s}^{-1}$, para o intervalo de tempo entre cada medida.

28 Para cada uma das seguintes reações em fase gasosa, indique como a velocidade de desaparecimento de cada reagente está relacionada à velocidade de aparecimento de cada produto:

- $\text{H}_2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$
- $2\text{N}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 2\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$
- $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$

29 Para cada uma das seguintes reações na fase gasosa, escreva a expressão da velocidade em termos de aparecimento de cada produto ou desaparecimento de cada reagente:

- $2\text{HBr}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g})$
- $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{SO}_3(\text{g})$
- $2\text{NO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$

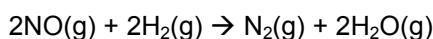
30 Considere a combustão de $\text{H}_2(\text{g})$: $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$. Se o hidrogênio é queimado à velocidade de $0,85 \text{ mol.s}^{-1}$, qual é a velocidade de consumo de oxigênio? Qual é a velocidade de formação de vapor d'água?

31 Uma reação $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C}$ obedece à seguinte lei de reação: velocidade = $k[\text{A}]^2[\text{B}]$. Se $[\text{A}]$ é dobrada, como variará a velocidade? A constante de velocidade variará a velocidade? A constante de velocidade variará? Quais são as ordens de reação para A e B? Qual é a ordem de reação total? Qual a unidade da constante de velocidade?

32 Uma reação $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C}$ obedece à seguinte lei de velocidade: velocidade = $k[\text{B}]^2$. a) Se $[\text{A}]$ é dobrado, a velocidade variará? A constante de velocidade reação? Qual a unidade da constante de velocidade?

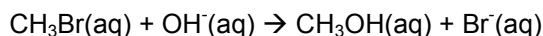
33 A decomposição de N_2O_5 em tetracloreto de carbono acontece como segue: $2\text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$. A lei de velocidade é de primeira ordem em N_2O_5 . A 64°C a constante de velocidade é $4,82 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. a) Escreva a lei de velocidade para a reação. b) Qual é a velocidade de reação quando $[\text{N}_2\text{O}_5] = 0,0240 \text{ mol.L}^{-1}$? c) O que acontece à velocidade quando a concentração de N_2O_5 é dobrada para $0,0480 \text{ mol.L}^{-1}$?

34 Considere a seguinte reação:



- A lei de velocidade para essa reação é de primeira ordem em H_2 e de segunda ordem em NO . Escreva a lei de velocidade. b) Se a constante de velocidade para essa reação a 1000 K é $6,0 \times 10^4 \text{ mol}^{-2}.\text{L}^2.\text{s}^{-1}$, qual é a velocidade de reação quando $[\text{NO}] = 0,050 \text{ mol.L}^{-1}$ e $[\text{H}_2] = 0,01 \text{ mol.L}^{-1}$? c) Qual é a velocidade de reação a 1000 K quando a concentração de H_2 é $0,010 \text{ mol.L}^{-1}$?

35 Considere a seguinte reação:



A lei de velocidade para essa reação é de primeira ordem em CH_3Br e de primeira ordem em OH^- . Quando $[\text{CH}_3\text{Br}]$ é $5,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ e $[\text{OH}^-]$ é $0,050 \text{ mol.L}^{-1}$, a velocidade de reação é $0,0432 \text{ mol.L}^{-1}\text{s}^{-1}$. a) Qual é o valor da constante de velocidade? c) O que aconteceria à velocidade se a concentração de OH^- fosse triplicada?

36 O íon iodeto reage com o íon hipoclorito (o ingrediente ativo de alvejantes clorados) da seguinte forma: $\text{OCl}^- + \text{I}^- \rightarrow \text{OI}^- + \text{Cl}^-$. Essa reação rápida fornece os seguintes dados de velocidade:

$[\text{OCl}^-], \times 10^{-3}, \text{ mol.L}^{-1}$	$\text{I}^-, \times 10^{-3}, \text{ mol.L}^{-1}$	Velocidade, $\times 10^{-4}, \text{ mol.L}^{-1}\text{s}^{-1}$
1,5	1,5	1,32
3,0	1,5	2,72
1,5	3,0	2,72

a) Escreva a lei de velocidade para essa reação. b) Calcule a constante de velocidade. c) Calcule a velocidade quando $[\text{OCl}^-] = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ e $[\text{I}^-] = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$.

37 Os seguintes dados foram coletados para a velocidade de desaparecimento de NO na reação $2\text{NO(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{NO}_2\text{(g)}$:

Experimento	$[\text{NO}], \text{ mol.L}^{-1}$	$[\text{O}_2], \text{ mol.L}^{-1}$	Velocidade inicial, $\text{mol.L}^{-1}\text{s}^{-1}$
1	0,0126	0,0125	$1,41 \times 10^{-2}$
2	0,0252	0,0250	$1,13 \times 10^{-1}$
3	0,0252	0,0125	$5,64 \times 10^{-2}$

a) Qual é a lei de velocidade para a reação? b) Qual a unidade de constante de velocidade? c) Qual é o valor médio da constante de velocidade calculada a partir dos três conjuntos de dados?

38 Considere a reação na fase gasosa entre o óxido nítrico e o bromo a 273°C : $2\text{NO(g)} + \text{Br}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{NOBr(g)}$. Os seguintes dados para a velocidade inicial de aparecimento de NOBr foram obtidos:

Experimento	$[\text{NO}], \text{ mol.L}^{-1}$	$[\text{Br}_2], \text{ mol.L}^{-1}$	Velocidade inicial, $\text{mol.L}^{-1}\text{s}^{-1}$
1	0,10	0,20	24
2	0,25	0,20	150
3	0,10	0,50	60
4	0,35	0,50	735

a) Determine a lei de velocidade. b) Calcule o valor médio da constante de velocidade para o aparecimento de NOBr a partir dos quatro conjuntos de dados. c) Como a velocidade de aparecimento de NOBr relaciona-se com a velocidade de desaparecimento de Br_2 ? d) Qual é a velocidade de desaparecimento de Br_2 quando $[\text{NO}] = 0,075 \text{ mol.L}^{-1}$ e $[\text{Br}_2] = 0,25 \text{ mol.L}^{-1}$?

39 a) Qual é o significado do termo etapas elementares? b) Qual é a diferença entre uma etapa elementar unimolecular e uma bimolecular? O que é mecanismo de reação?

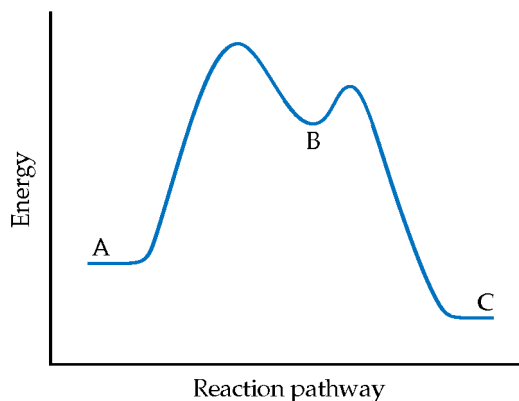
40 Qual é a molecularidade de cada um dos seguintes processos elementares? Escreva a lei de velocidade para cada um.

- a) $\text{Cl}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{Cl(g)}$
- b) $\text{OCl}^-\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(g)} \rightarrow \text{HOCl(g)} + \text{OH}^-\text{(g)}$
- c) $\text{NO(g)} + \text{Cl}_2\text{(g)} \rightarrow \text{NOCl}_2\text{(g)}$

41 Qual é a molecularidade de cada um dos seguintes processos elementares? Escreva a lei de velocidade de velocidade para cada um.

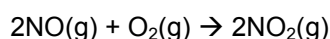
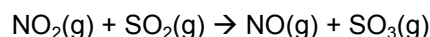
- a) $2\text{NO(g)} \rightarrow \text{N}_2\text{O}_2\text{(g)}$
- b) $\text{SO}_3\text{(g)} \rightarrow \text{SO}_2\text{(g)} + \text{O(g)}$

42 Com base no seguinte perfil de reação, quantos intermediários são formados na reação $\text{A} \rightarrow \text{C}$. Quantos estados de transição existem? Qual etapa é a mais rápida? A reação $\text{A} \rightarrow \text{C}$ é exotérmica ou endotérmica?



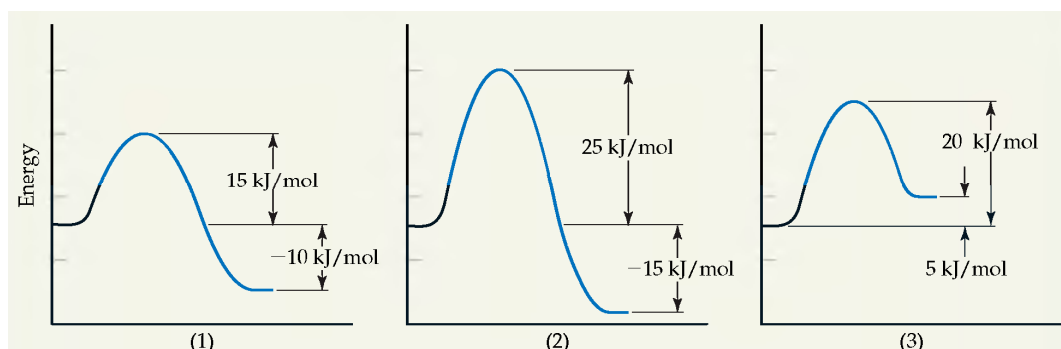
43 a) Qual parte do perfil de energia de uma reação é afetada por um catalisador? b) Qual é a diferença entre um catalisador homogêneo e um heterogêneo?

44 A oxidação de SO_2 a SO_3 é catalisada por NO_2 . A reação procede como a seguir:



- a) Mostre que as duas reações podem ser somadas para fornecer a oxidação total de SO_2 por O_2 para dar SO_3 .
b) Por que consideramos NO_2 um catalisador, e não um intermediário nessa reação? Esse exemplo é um exemplo de catálise homogênea ou heterogênea.

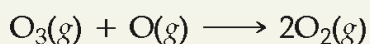
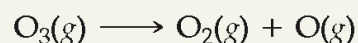
45 Considere uma série de reações tendo os seguintes perfis de energia:



Supondo que as três reações têm aproximadamente os mesmos fatores de frequência, coloque as reações em ordem da mais lenta para a mais rápida.

46 Imagine que as reações anteriores sejam inversas. Coloque essas reações reversas em ordem da mais lenta para a mais rápida.

47 Tem sido proposto que a conversão do ozônio em O_2 prossegue por duas etapas elementares:



- a) Descreva a molecularidade de cada etapa nesse mecanismo. b) Escreva a equação para a reação total. c) Identifique que os intermediários.

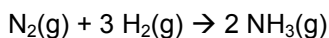
48 Dê as velocidades relativas de desaparecimento de reagentes e formação de produtos para cada uma das seguintes reações:

- a) $2\text{O}_3(\text{g}) \rightarrow 3\text{O}_2(\text{g})$
b) $2\text{HOF}(\text{g}) \rightarrow 2\text{HF}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$
c) $2\text{NO}(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NOBr}(\text{g})$
d) $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$

- e) $2\text{NOCl(g)} \rightarrow 2\text{NO(g)} + \text{Cl}_2\text{(g)}$
 f) $4\text{PH}_3\text{(g)} \rightarrow \text{P}_4\text{(g)} + 6\text{H}_2\text{(g)}$

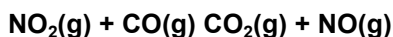
49 a) Na reação $2\text{O}_3\text{(g)} \rightarrow 3\text{O}_2\text{(g)}$, a velocidade de formação de O_2 é $1,5 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$. Qual é a velocidade de decomposição do O_3 ?

b) Na síntese da amônia se $-\Delta[\text{H}_2]/\Delta t = 4,5 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}.\text{min}^{-1}$, qual é a $\Delta[\text{NH}_3]/\Delta t$?



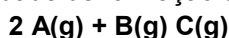
50 O que é cinética química? Como podemos expressar a taxa de rapidez de uma reação química? O que é energia de ativação? Qual é a influência da superfície de contato na rapidez de uma reação química?

51 A reação:



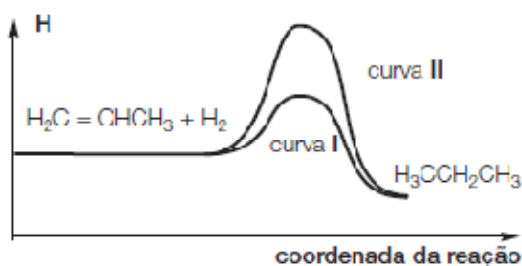
é de segunda ordem em relação ao $\text{NO}_2\text{(g)}$ e de ordem zero em relação ao CO(g) . Em determinadas condições de pressão e temperatura, essa reação ocorre com velocidade v . Se triplicarmos a concentração de $\text{NO}_2\text{(g)}$ e duplicarmos a concentração de CO(g) , a nova velocidade de reação v_1 será igual a:

52 Experimentalmente, observou-se que a velocidade de formação da substância C, através da reação:



é independente da concentração de B e quadruplica quando a concentração de A é dobrada. A expressão de velocidade (v) da reação, admitindo-se que k é a velocidade específica, é:

53 As curvas I e II representam caminhos possíveis para a reação de hidrogenação do propeno.



- Indique a curva que corresponde ao caminho da reação mais rápida.
- Escreva o fator responsável por essa diferença de velocidade.
- Compare as energias dos complexos ativados formados nos dois caminhos da reação.

54 Qual é a expressão da velocidade (lei de Guldberg-Waage) para as reações que seguem:

- $2\text{NH}_3\text{(g)} \rightarrow \text{N}_2\text{(g)} + 3\text{H}_2\text{(g)}$
- $\text{N}_2\text{(g)} + 3\text{H}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{NH}_3\text{(g)}$
- $\text{Fe(s)} + 2\text{HCl(aq)} \rightarrow \text{FeCl(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$

55 Para a reação de decomposição do N_2O_5 , verificou-se que $v = k[\text{N}_2\text{O}_5]$. O que acontece com a velocidade quando:

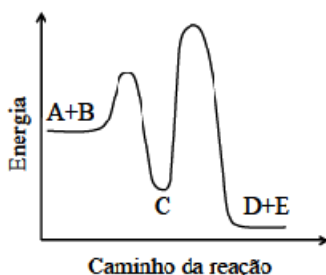
- Duplicamos a concentração, em mol.L^{-1} , de N_2O_5 ?
- Triplamos a concentração, em mol.L^{-1} , de N_2O_5 ?

56 Foi adicionado 0,50 g de magnésio metálico a uma solução diluída de ácido clorídrico. Após 10 s, resta 0,40 g de magnésio sem reagir. A interação se dá segundo a reação:



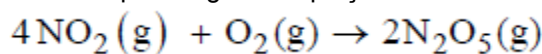
Calcule a rapidez média dessa reação no intervalo de tempo

57 Considere a curva de variação da energia potencial das espécies A, B, C, D e E, envolvidas em uma reação química genérica, em função do caminho da reação, apresentada na figura ao lado. Suponha que a reação tenha sido acompanhada experimentalmente, medindo-se as concentrações de A, B e C em função do tempo.



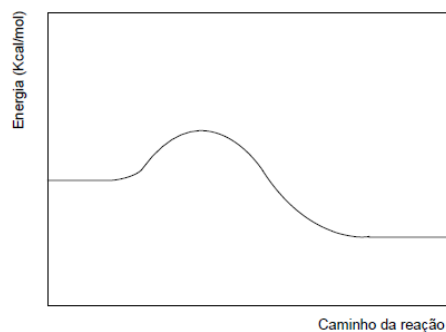
- a) Proponha um mecanismo de reação para o processo descrito na figura, indicando a reação global.
 b) Indique a etapa lenta do processo e escreva a lei de velocidade da reação.
 c) Baseado na sua resposta ao item b) e conhecendo as concentrações de A, B e C em função do tempo, explique como determinar a constante de velocidade desta reação.

58 Considere a reação química representada pela seguinte equação:



Num determinado instante de tempo t da reação, verifica-se que o oxigênio está sendo consumido a uma velocidade de $2,4 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Nesse tempo t , a velocidade de consumo de NO_2 será de:

59 A reação de combustão $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{SO}_3(\text{g})$ é lenta e pode ser representada pela figura abaixo:



Esta mesma reação pode ser catalisada pelo $\text{NO}_2(\text{g})$ em duas etapas, sendo que a primeira é bem mais lenta que a segunda. Numa mesma figura, esboce o perfil da curva da reação não-catalisada e da reação catalisada pelo $\text{NO}_2(\text{g})$.

60 A equação química hipotética $\text{A} \rightarrow \text{D}$ ocorre por um mecanismo que envolve as três reações unimoleculares abaixo (I, II e III). Nestas reações, ΔH_i representa as variações de entalpia, e E_{a_i} , as energias de ativação.

- I. $\text{A} \rightarrow \text{B}$; rápida, ΔH_{I} , $E_{a\text{I}}$
 II. $\text{B} \rightarrow \text{C}$; lenta, ΔH_{II} , $E_{a\text{II}}$
 III. $\text{C} \rightarrow \text{D}$; rápida, ΔH_{III} , $E_{a\text{III}}$

Trace a curva referente à energia potencial em função do caminho da reação $\text{A} \rightarrow \text{D}$, admitindo que a reação global $\text{A} \rightarrow \text{D}$ seja exotérmica e considerando que: $\Delta H_{\text{II}} > \Delta H_{\text{I}} > 0$; $E_{a\text{I}} < E_{a\text{III}}$.