

Precipitação

Gabriel Braun

Colégio e Curso Pensí, Coordenação de Química



Sumário

1	Os íons em solução	1
1.1	Os eletrólitos	1
1.2	A migração dos íons	1
2	As reações de precipitação	2
2.1	Os precipitados	2
2.2	As equações iônicas e iônicas simplificadas	2
2.3	As regras de solubilidade	2
2.4	A dissolução de precipitados	3
2.5	A análise qualitativa	4
2.6	A análise quantitativa	4

1 Os íons em solução

1.1 Os eletrólitos

Uma **substância solúvel** dissolve-se em quantidade significativa em um determinado solvente. De modo geral, a menção da solubilidade sem indicação de um solvente significa *solúvel em água*. Uma **substância insolúvel** não se dissolve significativamente em um solvente especificado. Considera-se, normalmente, uma substância *insolúvel* quando ela não se dissolve mais do que cerca de $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. A menos que seja especificado o contrário, o termo insolúvel significa *insolúvel em água*. O carbonato de cálcio, CaCO_3 , por exemplo, que forma a pedra calcária e a pedra giz, dissolve-se para formar uma solução que contém somente $0,01 \text{ g L}^{-1}$ (que corresponde a $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$) e é considerado insolúvel. Essa insolubilidade é importante para o meio ambiente: morros e construções de pedras calcárias não são significativamente desgastados pela chuva.

Um soluto pode existir como íon ou como molécula. Você pode identificar a natureza do soluto descobrindo se a solução conduz uma corrente elétrica. Como a corrente é um fluxo de cargas, somente soluções que contêm íons conduzem eletricidade. Existe uma concentração muito pequena de íons na água pura (cerca de $1 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$) que não permite a condução significativa de eletricidade.

Um **eletrólito** é uma substância que conduz eletricidade mediante a migração de íons. As soluções de sólidos iônicos são eletrólitos porque os íons ficam livres para se mover após a dissolução. O termo **solução eletrolítica** é comumente utilizado para enfatizar que o meio é de fato uma solução. Alguns compostos, como os ácidos, formam íons quando se dissolvem e, por isso, produzem uma solução eletrolítica, ainda que não estejam presentes íons antes da dissolução. Por exemplo, o cloreto de hidrogênio é um gás formado por moléculas de HCl , mas, ao dissolver em água, reage com ela, formando o ácido clorídrico. Esta solução é formada por íons hidrogênio, H^+ , e íons cloro, Cl^- .

Um não eletrólito é uma substância que não conduz eletricidade, mesmo em solução. Uma solução não eletrolítica é aquela que, devido à ausência de íons, não conduz eletricidade. Soluções

de acetona e do açúcar ribose em água são soluções não eletrolíticas. Exceto pelos ácidos, a maior parte dos compostos orgânicos que se dissolvem em água forma soluções não eletrolíticas. Se você pudesse ver as moléculas de uma solução não eletrolítica, constataria as moléculas de soluto intactas e dispersas entre as moléculas de solvente.

Um eletrólito forte é uma substância que está presente quase totalmente na forma de íons em solução. Três tipos de solutos são eletrólitos fortes: ácidos fortes e bases fortes e compostos iônicos solúveis. O ácido clorídrico é um eletrólito forte, assim como o hidróxido de sódio e o cloreto de sódio. Um eletrólito fraco é uma substância incompletamente ionizada em solução. Em outras palavras, a maior parte das moléculas permanece intacta. O ácido acético é um eletrólito fraco: em água nas concentrações normais, somente uma pequena fração das moléculas de CH_3COOH se separa em íons hidrogênio, H^+ , e íons acetato, CH_3CO_2^- . Uma das formas de distinguir entre eletrólitos fortes e fracos é medir sua capacidade de conduzir eletricidade. Na mesma concentração molar de soluto, um eletrólito forte é um condutor melhor do que um ácido fraco.

EXEMPLO 1 Classificação de solutos como eletrólitos ou não eletrólitos

Identifique as substâncias como eletrólito ou não eletrólito e diga quais delas conduzem eletricidade quando dissolvidas em água:

- NaOH
- Br_2
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
- $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

O soluto em uma solução de eletrólito forte em água está na forma de íons que permitem a condução de eletricidade. Os solutos em soluções de não eletrólitos estão presentes como moléculas. Somente uma fração pequena de moléculas do soluto em soluções de eletrólitos fracos está presente como íons.

1.2 A migração dos íons

Íons se movem em solução, e o estudo do seu movimento na presença de uma diferença de potencial fornece uma indicação do seu tamanho, do efeito da solvatação e detalhes do tipo de movimento que sofrem. A migração dos íons em solução é estudada por intermédio da medida da resistência elétrica de uma solução de concentração conhecida.

- Balanco de cargas.
- Condutividade específica:

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RA}$$

3. Condutividade molar:

$$\Lambda_m^\circ = \frac{\kappa}{c}$$

4. Lei de migração independente:

$$\Lambda_m^\circ = \lambda_+^\circ + \lambda_-^\circ$$

5. Mobilidade iônica.

2 As reações de precipitação

Quando duas soluções são misturadas, o resultado pode ser, simplesmente, uma nova solução que contém ambos os solutos. Em alguns casos, porém, os solutos reagem um com o outro. Por exemplo, quando uma solução incolor de nitrato de prata em água é misturada a uma solução amarelada de cromato de potássio, forma-se um pó sólido de cor vermelha, indicando que uma reação química ocorreu.

2.1 Os precipitados

Vejamos o que acontece quando uma solução de cloreto de sódio (um eletrólito forte) é vertida em uma solução de nitrato de prata (outro eletrólito forte). A solução de cloreto de sódio contém cátions Na^+ e ânions Cl^- . De modo análogo, a solução de nitrato de prata, AgNO_3 , contém cátions Ag^+ e ânions NO_3^- . Quando as duas soluções se misturam em água, forma-se imediatamente um **precipitado**, um depósito de sólidos finamente divididos. A análise mostra que o precipitado é cloreto de prata, AgCl , um sólido branco insolúvel. A solução incolor que permanece acima do precipitado de nosso exemplo contém cátions Na^+ e ânions NO_3^- dissolvidos. Esses íons permanecem em solução porque o nitrato de sódio, NaNO_3 , é solúvel em água.

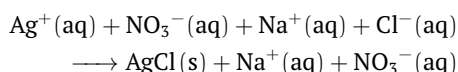
Em uma **reação de precipitação**, forma-se um produto sólido insolúvel quando duas soluções eletrolíticas são misturadas. Quando uma substância insolúvel forma-se em água, ela precipita imediatamente. Na equação química de uma reação de precipitação, (aq) é usado para indicar as substâncias que estão dissolvidas em água e (s) para indicar o sólido que precipitou:



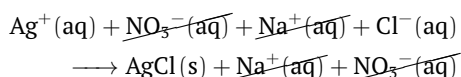
Ocorre uma reação de precipitação quando duas soluções de eletrólitos são misturadas e eles reagem para formar um sólido insolúvel.

2.2 As equações iônicas e iônicas simplificadas

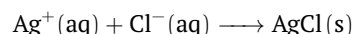
Uma **equação iônica completa** de uma reação de precipitação mostra todos os íons dissolvidos. Como os compostos iônicos dissolvidos existem como íons em água, eles são listados separadamente. Por exemplo, a equação iônica completa da precipitação do cloreto de prata, é:



Como os íons Na^+ e NO_3^- aparecem como reagentes e produtos, eles não influenciam diretamente a reação. Eles são **íons espectadores**, isto é, íons que estão presentes durante a reação, mas que permanecem inalterados, como espectadores em um evento esportivo. Como os íons espectadores permanecem inalterados, eles podem ser cancelados em cada lado da equação, simplificando-a:



O cancelamento dos íons espectadores leva à **equação iônica simplificada** da reação, a equação química que só mostra as trocas que ocorrem durante a reação:



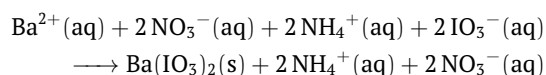
A equação iônica simplificada mostra que os íons Ag^+ se combinam com os íons Cl^- e precipitam como cloreto de prata, AgCl .

EXEMPLO 2 Escrever uma equação iônica simplificada

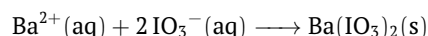
A adição de uma solução concentrada de iodato de amônio, $\text{NH}_4\text{IO}_3(\text{aq})$, a uma solução de nitrato de bário em água, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$, forma o iodato de bário, $\text{Ba}(\text{IO}_3)_2(\text{s})$, um precipitado insolúvel.

Determine a equação iônica simplificada da reação.

Etapas 1. Escreva a equação iônica completa, que mostra os íons dissolvidos.



Etapas 2. Cancele os íons espectadores.



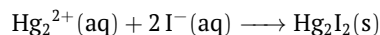
Uma equação iônica completa expressa uma reação em termos dos íons presentes em solução. Uma equação iônica simplificada é a equação química que permanece após a eliminação dos íons espectadores.

2.3 As regras de solubilidade

Uma das muitas aplicações das reações de precipitação utiliza duas soluções que, quando misturadas, formam o precipitado insolúvel que se deseja obter. Este composto insolúvel pode ser separado da mistura de reação por filtração. As reações de precipitação também são usadas na análise química. Na **análise qualitativa** – a identificação das substâncias presentes em uma amostra –, a formação de um precipitado é usada para confirmar a identidade de certos íons.

As regras de solubilidade resume os padrões de solubilidade observados em compostos iônicos comuns em água. Observe que todos os nitratos e todos os compostos comuns de metais do Grupo 1 são solúveis e, portanto, são úteis como soluções de partida em reações de precipitação. Pode-se usar quaisquer íons espectadores porque eles permanecem em solução e, em princípio, não reagem.

As regras de solubilidade, por exemplo, mostram que o iodeto de mercúrio(I), Hg_2I_2 , é insolúvel. Ele se forma por precipitação quando duas soluções que contêm íons Hg_2^{2+} e íons I^- são misturadas:



Como os íons espectadores não aparecem, a equação iônica simplificada será a mesma se qualquer composto solúvel de mercúrio(I) for misturado com qualquer iodeto solúvel.

TABELA 1 Regras de solubilidade de compostos inorgânicos

Compostos solúveis	Exceções insolúveis
Compostos dos elementos do Grupo 1	
Compostos de amônio NH ₄ ⁺	
Cloretos (Cl ⁻), brometos (Br ⁻), e iodetos (I ⁻)	Ag ⁺ , Hg ₂ ²⁺ , Pb ²⁺
Nitratos (NO ₃ ⁻), acetatos, (CH ₃ COO ⁻), cloratos, (ClO ₃ ⁻), e percloratos (ClO ₄ ⁻)	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	Ag ⁺ , Hg ₂ ²⁺ , Pb ²⁺ , Ca ²⁺ , Sr ²⁺ , Ba ²⁺

TABELA 2 Regras de solubilidade de compostos inorgânicos

Compostos insolúveis	Exceções solúveis
Carbonatos (CO ₃ ²⁻), cromatos (CrO ₄ ²⁻), oxalatos (C ₂ O ₄ ²⁻), fosfatos (PO ₄ ³⁻)	Elementos do Grupo 1 e NH ₄ ⁺
Sulfetos (S ²⁻)	Elementos dos Grupos 1 e 2 e NH ₄ ⁺
Hidróxidos (OH ⁻) e óxidos (O ²⁻)	Elementos do Grupo 1, e os dos elementos do Grupo 2 abaixo do Período 2

EXEMPLO 3 Predição do resultado de uma reação de precipitação

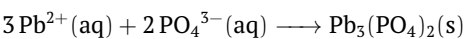
Soluções de fosfato de sódio e nitrato de chumbo(II) em água são misturadas.

Apresente a equação iônica simplificada da reação.

Etapa 1. As soluções misturadas contêm íons Na⁺, PO₄³⁻, Pb²⁺ e NO₃⁻. Todos os nitratos e compostos dos metais do Grupo 1 são solúveis, mas os fosfatos de outros elementos são geralmente insolúveis.

Por isso, os íons Pb²⁺ e PO₄³⁻ formam um composto insolúvel, e o fosfato de chumbo(II), Pb₃(PO₄)₂, precipita.

Etapa 2. Escreva a equação iônica simplificada. Os íons Na⁺ e NO₃⁻ são espectadores, logo, podem ser omitidos.



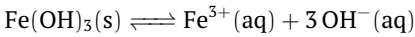
As regras de solubilidade são usadas para prever o resultado das reações de precipitação.

2.4 A dissolução de precipitados

Quando um precipitado se forma durante a análise qualitativa dos íons de uma solução, pode ser necessário redissolvê-lo para

identificar o cátion ou o ânion. Várias estratégias podem ser usadas.

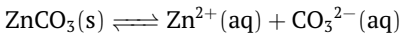
Uma estratégia é remover um dos íons do equilíbrio de solubilidade para que o precipitado continue a dissolver ao buscar inutilmente o equilíbrio. Suponha, por exemplo, que um hidróxido sólido, como o hidróxido de ferro(III), esteja em equilíbrio com seus íons em solução:



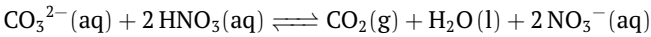
PONTO PARA PENSAR

Os íons prata podem ser dissolvidos a partir de Ag₂O sólido, adicionando-se HNO₃, mas não HCl. Por que o HCl não pode ser usado?

Muitos precipitados de carbonatos, sulfitos e sulfetos podem ser dissolvidos por adição de ácido, porque os ânions reagem com o ácido para formar um gás que borbulha para fora da solução. Por exemplo, em uma solução saturada de carbonato de zinco, ZnCO₃ sólido está em equilíbrio com seus íons:

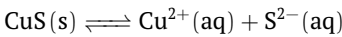


Os íons CO₃²⁻ reagem com ácido para formar CO₂:

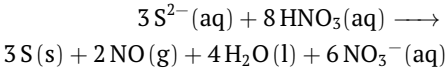


A dissolução de carbonatos por ácido é um resultado indesejado da chuva ácida, que já danificou muitos monumentos históricos de mármore e de pedra calcária — o mármore e a pedra calcária são formas de carbonato de cálcio.

Outro procedimento para remover um íon de uma solução é mudar sua identidade alterando seu estado de oxidação. Os íons de metal em precipitados muito insolúveis de sulfetos de metais pesados podem ser dissolvidos pela oxidação do íon sulfeto a enxofre elementar. Por exemplo, o sulfeto de cobre(II), CuS, participa do equilíbrio



A adição de ácido nítrico, porém, oxida os íons sulfeto a enxofre elementar:



Essa oxidação complicada remove os íons sulfeto do equilíbrio e os íons Cu²⁺ se dissolvem na forma de Cu(NO₃)₂.

Alguns precipitados dissolvem quando a temperatura é alterada, porque a constante de solubilidade depende da temperatura. Essa estratégia é usada para purificar precipitados em um processo chamado de recristalização. A mistura é aquecida para dissolver o sólido e filtrada para remover impurezas insolúveis. Quando a temperatura cai, o sólido precipita novamente e é removido da solução por uma segunda filtração. A formação de íons complexos também pode ser usada para dissolver íons de metais.

A solubilidade de um sólido pode ser aumentada pela remoção de um de seus íons da solução. Pode-se usar um ácido para dissolver hidróxidos, sulfetos, sulfitos ou carbonatos precipitados. Alguns sólidos podem ser dissolvidos por alteração da temperatura ou formação de um íon complexo.

2.5 A análise qualitativa

A formação de complexos, a precipitação seletiva e o controle do pH de uma solução desempenham um papel importante na análise qualitativa de misturas. Existem muitos esquemas diferentes de análise, mas eles seguem os mesmos princípios gerais. A discussão a seguir ilustra um procedimento simples para a identificação de cinco cátions em laboratório.

Imagine uma solução contendo os íons chumbo(II), mercúrio(I), prata, cobre(II) e zinco. Os cloretos são geralmente solúveis, logo a adição de ácido clorídrico à mistura de sais só provoca a precipitação de alguns cloretos. O cloreto de prata e o cloreto de mercúrio(I) são insolúveis e precipitam. Os íons hidrônio fornecidos pelo ácido não desempenham papel algum nesta etapa. Eles só acompanham os íons cloreto. Neste ponto, o precipitado pode ser separado da solução com o auxílio de uma centrífuga para compactar o sólido e a posterior decantação da solução. A solução contém, agora, os íons cobre(II) e zinco, e o sólido contém PbCl_2 , Hg_2Cl_2 e AgCl .

Para confirmar a presença de íons Zn^{2+} na solução que permanece após as duas primeiras etapas, adiciona-se H_2S seguido por amônia. A base remove o íon hidrônio do equilíbrio do H_2S e o desloca no sentido dos íons S^{2-} . A maior concentração de íons S^{2-} provoca a precipitação.

A análise qualitativa envolve a separação e a identificação de íons por precipitação seletiva, formação de complexos e controle de pH.

2.6 A análise quantitativa

Na **análise quantitativa**, o objetivo é determinar a quantidade de cada substância ou elemento presente na amostra. Em específico, na **análise gravimétrica**, que é utilizada no monitoramento ambiental, a quantidade da substância presente é determinada com base na medida da massa. Nessa aplicação, um composto insolúvel precipita, o depósito é filtrado e pesado, e a quantidade de substância em uma das soluções originais é calculada.

[EXEMPLO ANÁLISE QUANTITATIVA]

Problemas

PROBLEMA 1

Uma solução contém $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ de cátions sódio, $0,28 \text{ mol L}^{-1}$ de cloreto, $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de sulfato e cátions ferro(III).

Assinale a alternativa que mais se aproxima da concentração de cátions ferro(III) na solução.

- A** 16 mmol L^{-1} **B** 25 mmol L^{-1} **C** 39 mmol L^{-1}
D 60 mmol L^{-1} **E** 93 mmol L^{-1}

PROBLEMA 2

Uma solução contém $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ de brometo, $0,06 \text{ mol L}^{-1}$ de sulfato, $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de cátions cálcio e cátions prata.

Assinale a alternativa que mais se aproxima da concentração de cátions prata na solução.

- A** $0,21 \text{ mol L}^{-1}$ **B** $0,28 \text{ mol L}^{-1}$ **C** $0,37 \text{ mol L}^{-1}$
D $0,48 \text{ mol L}^{-1}$ **E** $0,63 \text{ mol L}^{-1}$

PROBLEMA 3

Considere uma solução $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ em sulfato de sódio, Na_2SO_4 .

Assinale a alternativa que mais se aproxima da condutividade da solução em 25°C .

- A** 14 mS m^{-1} **B** 21 mS m^{-1} **C** 31 mS m^{-1}
D 45 mS m^{-1} **E** 66 mS m^{-1}

Dados

$$\lambda(\text{Na}^+) = 5,0 \frac{\text{S}}{\text{mM}} \quad \lambda(\text{SO}_4^{2-}) = 16 \frac{\text{S}}{\text{mM}}$$

PROBLEMA 4

Uma solução saturada em cloreto de prata, AgCl , em 25°C tem condutividade $0,21 \text{ mS m}^{-1}$ acima da condutividade da água.

Assinale a alternativa que mais se aproxima da solubilidade do cloreto de prata em 25°C .

- A** $0,85 \text{ mg L}^{-1}$ **B** $1,1 \text{ mg L}^{-1}$ **C** $1,4 \text{ mg L}^{-1}$
D $1,7 \text{ mg L}^{-1}$ **E** $2,2 \text{ mg L}^{-1}$

Dados

$$\lambda(\text{Cl}^-) = 7,6 \frac{\text{S}}{\text{mM}} \quad \lambda(\text{Ag}^+) = 6,2 \frac{\text{S}}{\text{mM}}$$

PROBLEMA 5

Considere as substâncias.

- Hidróxido de sódio, NaOH .
- Bromo, Br_2 .
- Etanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$.
- Nitrato de chumbo, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

Assinale a alternativa que relaciona as substâncias que são eletrólitos e conduzem eletricidade em solução aquosa.

- A** 1 **B** 4 **C** 1 e 4
D 1, 2 e 4 **E** 1, 3 e 4

PROBLEMA 6

Considere as substâncias.

- Glicose, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.
- Cloreto de bário, BaCl_2 .
- Fluoreto de potássio, KF .
- Ácido sulfúrico, H_2SO_4 .

Assinale a alternativa que relaciona as substâncias que são eletrólitos e conduzem eletricidade em solução aquosa.

- A** 2 e 3 **B** 2 e 4 **C** 3 e 4
D 2, 3 e 4 **E** 1, 2, 3 e 4

PROBLEMA 7

Considere os compostos iônicos.

1. Fosfato de potássio, K_3PO_4 .
2. Cloreto de chumbo(II), $PbCl_2$.
3. Sulfeto de cádmio, CdS .
4. Sulfato de bário, $BaSO_4$.

Assinale a alternativa que relaciona os compostos solúveis em água.

- A** 2 e 3 **B** 2 e 4 **C** 3 e 4
D 2, 3 e 4 **E** 1, 2, 3 e 4

PROBLEMA 8

Considere os compostos iônicos.

1. Nitrato de cádmio, $Cd(NO_3)_2$.
2. Acetato de cobre(II), $Cu(CH_3CO_2)_2$.
3. Hidróxido de cobalto(III), $Co(OH)_3$.
4. Brometo de prata, $AgBr$.

Assinale a alternativa que relaciona os compostos solúveis em água.

- A** 3 **B** 4 **C** 3 e 4
D 1, 3 e 4 **E** 2, 3 e 4

PROBLEMA 9

Considere os pares de soluções aquosas contendo os solutos:

1. $Fe_3(SO_4)_2$ e $NaOH$.
2. $AgNO_3$ e K_2CO_3 .
3. $Pb(NO_3)_2$ e CH_3CH_2ONa .
4. $BaCl_2$ e K_2SO_4 .

Assinale a alternativa que relaciona os pares em que há formação de precipitado quando as soluções são misturadas.

- A** 1 e 2 **B** 1 e 4 **C** 2 e 4
D 1, 2 e 4 **E** 1, 2, 3 e 4

PROBLEMA 10

Considere os pares de soluções aquosas contendo os solutos:

1. $Ca(NO_3)_2$ e Na_2CO_3 .
2. $NiSO_4$ e $CuCl_2$.
3. Na_3PO_4 e $BaCl_2$.
4. $NaCl$ e K_2S .

Assinale a alternativa que relaciona os pares em que há formação de precipitado quando as soluções são misturadas.

- A** 1 **B** 3 **C** 1 e 3
D 1, 2 e 3 **E** 1, 3 e 4

PROBLEMA 11

Uma alíquota de 10 mL de uma solução de cloreto de sódio, $NaCl$, foi tratada com excesso de nitrato de prata, $AgNO_3$. Foram formados 0,43 g de um precipitado seco.

Assinale a alternativa que mais se aproxima da concentração da solução de cloreto de sódio.

- A** 0,18 mol L^{-1} **B** 0,23 mol L^{-1} **C** 0,3 mol L^{-1}
D 0,39 mol L^{-1} **E** 0,51 mol L^{-1}

PROBLEMA 12

No seu doutorado, Marie Curie estimou a massa molar do rádio, elemento que ela descobriu. Pela análise de suas propriedades químicas, ela sabia que o rádio era do mesmo grupo do bário na Tabela Periódica. Quando uma amostra de 90 mg de cloreto de rádio foi tratada com excesso de nitrato de prata são formados 86 mg de um precipitado.

Assinale a alternativa que mais se aproxima da massa molar do rádio.

- A** 82 g mol^{-1} **B** 140 g mol^{-1} **C** 230 g mol^{-1}
D 380 g mol^{-1} **E** 640 g mol^{-1}

PROBLEMA 13

Excesso de iodeto de sódio, NaI , foi adicionado a 50 mL de uma solução de nitrato de prata, $AgNO_3$ em água. Foram formados 1,76 g de um precipitado.

Assinale a alternativa que mais se aproxima da concentração da solução de nitrato de prata.

- A** 0,24 mol L^{-1} **B** 0,31 mol L^{-1} **C** 0,40 mol L^{-1}
D 0,51 mol L^{-1} **E** 0,65 mol L^{-1}

PROBLEMA 14

Excesso de nitrato de prata, $AgNO_3$, foi adicionado a 30 mL de uma solução 4,2 mol L^{-1} de K_2CrO_4 .

Assinale a alternativa que mais se aproxima da massa de precipitado formado.

- A** 7,8 g **B** 12 g **C** 18 g **D** 28 g **E** 42 g

PROBLEMA 15

Uma alíquota de 50 mL de uma solução de nitrato de prata, $AgNO_3$, foi titulada com 10 mL de uma solução 1 mol L^{-1} de cromato de potássio, K_2CrO_4 , formando um precipitado vermelho brilhante.

Assinale a alternativa que mais se aproxima da concentração da solução de nitrato de prata.

- A** 0,19 mol L^{-1} **B** 0,24 mol L^{-1} **C** 0,31 mol L^{-1}
D 0,40 mol L^{-1} **E** 0,51 mol L^{-1}

PROBLEMA 16

Uma amostra de 15 g do mineral eulitita, $2\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$, foi dissolvida em ácido até completar 500 mL de solução. O SiO_2 , pouco solúvel, foi removido por filtração. Uma alíquota de 100 mL dessa solução foi titulada com 20 mL de uma solução $0,08\text{ mol L}^{-1}$ de fosfato de sódio.

Assinale a alternativa que mais se aproxima da pureza da eulitita.

- A** 12 % **B** 19 % **C** 30 % **D** 48 % **E** 75 %

Problemas cumulativos

PROBLEMA 17

Apresente a equação iônica para as reações.

- $(\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4(\text{aq}) + \text{BaCl}_2(\text{aq}) \longrightarrow$
- $\text{CuSO}_4(\text{aq}) + \text{Na}_2\text{S}(\text{aq}) \longrightarrow$
- $\text{FeCl}_2(\text{aq}) + (\text{NH}_4)_3\text{PO}_4(\text{aq}) \longrightarrow$
- $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq}) + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) \longrightarrow$
- $\text{NiSO}_4(\text{aq}) + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) \longrightarrow$

PROBLEMA 18

Apresente a equação iônica para as reações.

- $\text{AgNO}_3(\text{aq}) + \text{NaCl}(\text{aq}) \longrightarrow$
- $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) + \text{NH}_4\text{I}(\text{aq}) \longrightarrow$
- $\text{BaCl}_2(\text{aq}) + \text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \longrightarrow$
- $\text{K}_2\text{S}(\text{aq}) + \text{Bi}(\text{NO}_3)_3(\text{aq}) \longrightarrow$
- $\text{Ba}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2(\text{aq}) + \text{Li}_2\text{CO}_3(\text{aq}) \longrightarrow$

PROBLEMA 19

Proponha uma síntese dos sólidos iônicos pela mistura de duas soluções de compostos iônicos solúveis.

- Ag_2CrO_4
- CaCO_3
- $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

PROBLEMA 20

Proponha uma síntese dos sólidos iônicos pela mistura de duas soluções de compostos iônicos solúveis.

- Ag_2CO_3
- $\text{Mg}(\text{OH})_2$
- $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

PROBLEMA 21

Considere os pares de misturas e substâncias.

- $\text{KCl}(\text{aq}, 1\text{ M})$ e $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq}, 1\text{ M})$.
- $\text{MgCl}_2(\text{aq}, 1\text{ M})$ e $\text{NaNO}_3(\text{aq}, 1\text{ M})$.
- $\text{AgCl}(\text{aq}, \text{saturado})$ e $\text{NaCl}(\text{aq}, \text{saturado})$.
- $\text{KNO}_3(\text{l})$ e $\text{KNO}_3(\text{aq})$.

Assinale a alternativa que relaciona os pares em que o primeiro elemento tem a *menor* condutividade elétrica.

- A** 1 **B** 3 **C** 1 e 3
D 1, 2 e 3 **E** 1, 3 e 4

PROBLEMA 22

Considere os pares de misturas e substâncias.

- $\text{NaOH}(\text{aq}, 1\text{ M})$ e $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4(\text{aq}, 1\text{ M})$.
- $\text{FeCl}_2(\text{aq}, 1\text{ M})$ e $\text{Al}(\text{NO}_3)_3(\text{aq}, 1\text{ M})$.
- $\text{MgSO}_4(\text{aq}, \text{saturado})$ e $\text{BaSO}_4(\text{aq}, \text{saturado})$.
- $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{l})$ e $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq})$.

Assinale a alternativa que relaciona os pares em que o primeiro elemento tem a *menor* condutividade elétrica.

- A** 1 **B** 2 **C** 1 e 2
D 1, 2 e 3 **E** 1, 2 e 4

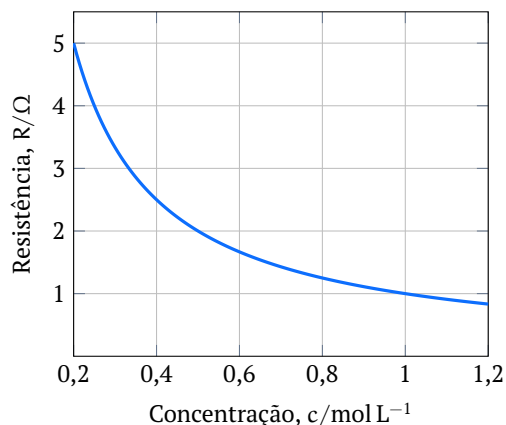
PROBLEMA 23

Considere uma porção de uma solução aquosa de concentração 10 mmol L^{-1} de um eletrólito em formato de um cilindro de 2 cm de diâmetro e 314 cm de comprimento. A resistência elétrica dessa porção é de 10 k.

Determine a condutividade molar do eletrólito.

PROBLEMA 24

Uma série de soluções aquosas de NaCl foram preparadas por diluições sucessivas de uma amostra e colocadas em uma célula de 0,13 cm de comprimento e 1 cm^2 de área transversal. A resistência da célula foi medida em função da concentração da solução.



Determine a condutividade molar do NaCl.

PROBLEMA 25

Para estudar a cinética da reação entre o acetato de etila, AcOEt , e o hidróxido de sódio:



uma solução foi preparada contendo, inicialmente, $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ de hidróxido de sódio e $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ de acetato de etila. A condutividade do meio reacional foi monitorada ao longo da reação.

Em um dado instante a condutividade da solução é $8,5 \text{ S m}^{-1}$.

- Determine** a concentração de íons acetato em solução nesse instante.
- Determine** a concentração de acetato de etila em solução nesse instante.

Dados

- $\lambda(\text{CH}_3\text{CO}_2^-) = 4,1 \frac{\text{S}}{\text{mM}}$
- $\lambda(\text{Na}^+) = 5,0 \frac{\text{S}}{\text{mM}}$
- $\lambda(\text{OH}^-) = 20 \frac{\text{S}}{\text{mM}}$

PROBLEMA 26

Para estudar a cinética da reação entre o iodometano, CH_3I , e o hidróxido de potássio:



uma solução foi preparada contendo, inicialmente, 2 mol L^{-1} de cianeto de potássio e 1 mol L^{-1} de iodometano. A condutividade do meio reacional foi monitorada ao longo da reação. A condutividade molar do hidróxido é $12 \text{ S m}^{-1} \text{ M}^{-1}$ maior que a condutividade do iodeto.

Em um dado instante a condutividade da solução é 46 S m^{-1} . Após um período muito longo de tempo, a condutividade da solução passa a 42 S m^{-1} .

- Determine** a concentração de iodometano em solução nesse instante.
- Determine** a concentração de íons iodeto em solução nesse instante.

PROBLEMA 27

Uma amostra de 2 g de hidróxido de sódio, NaOH , é adicionada a 80 mL de uma solução $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em nitrato de cobre(II), $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$.

- Apresente** a equação iônica para a reação que ocorre na solução.
- Determine** a massa de precipitado formada.
- Determine** a concentração do cátion sódio ao final da reação.

PROBLEMA 28

Uma amostra de 3 g de sulfeto de sódio, Na_2S , é adicionada a 65 mL de uma solução $0,62 \text{ mol L}^{-1}$ em nitrato de cobalto(III), $\text{Co}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$.

- Apresente** a equação iônica para a reação que ocorre na solução.
- Determine** a massa de precipitado formada.
- Determine** a concentração do cátion sódio ao final da reação.

PROBLEMA 29

Uma alíquota de 40 mL de uma solução $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de hidróxido de sódio, NaOH , foi adicionada a 10 mL de uma solução $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ de nitrato de cobre(II), $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.

- Apresente** a equação iônica para a reação que ocorre na solução.
- Determine** a massa de precipitado formada.
- Determine** a concentração do cátion sódio ao final da reação.

PROBLEMA 30

Uma alíquota de 20 mL de uma solução contendo 2,5 g de fosfato de amônio, $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$, foi adicionada a 20 mL de uma solução $0,125 \text{ mol L}^{-1}$ de cloreto de cálcio, CaCl_2 .

- Apresente** a equação iônica para a reação que ocorre na solução.
- Determine** a massa de precipitado formada.
- Determine** a concentração do cloreto ao final da reação.

PROBLEMA 31

Uma amostra de 0,24 g contendo apenas NaCl e BaCl_2 foi dissolvida em água e tratada com excesso de nitrato de prata, formando 0,46 g de um precipitado.

- Apresente** a equação iônica para a reação que ocorre em solução.
- Determine** a fração de NaCl na amostra.

PROBLEMA 32

Uma amostra de 0,87 g contendo apenas NaBr e KBr dissolvida em água e tratada com excesso de nitrato de prata, formando 1,50 g de um precipitado.

- Apresente** a equação iônica para a reação que ocorre em solução.
- Determine** a fração de KBr na amostra.

PROBLEMA 33

Uma amostra de 2,2 g minério de ferro foi dissolvida em ácido clorídrico concentrado. A solução resultante foi diluída em água precipitada como óxido de ferro(III) hidratado pela adição de amônia. O precipitado foi filtrado e calcinado a alta temperatura para formando 1,6 g de Fe_2O_3 puro.

- Apresente** a equação iônica para a reação que ocorre em solução.
- Determine** a fração mássica de ferro no minério.

PROBLEMA 34

O alumínio presente em uma amostra com 6,06 g de sulfato de alumínio e amônio foi precipitado com amônia aquosa como óxido de alumínio hidratado. O precipitado foi filtrado e calcinado a alta temperatura para formando 1,29 g de óxido de alumínio puro.

- Apresente** a equação iônica para a reação que ocorre em solução.
- Determine** a fórmula unitária do sal da amostra.

PROBLEMA 35

Uma alíquota de 25 mL de uma solução $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ de cromato de potássio, K_2CrO_4 , foi titulada com 15 mL de uma solução de nitrato de prata, AgNO_3 . Em outro experimento, uma amostra de 5 g de cloreto de sódio, NaCl , foi dissolvida em água e titulada com 45 mL da mesma solução de nitrato de prata.

- Apresente** a equação iônica para as reações de titulação.
- Determine** a pureza da amostra de cloreto de sódio

PROBLEMA 36

Uma alíquota de 100 mL de uma solução de sulfato de sódio, Na_2SO_4 , foi titulada com 20 mL de uma solução de cloreto de bário, BaCl_2 . Em outro experimento, 15 mL da mesma solução de cloreto de bário foi titulada com 5 mL de uma solução 1 mol L^{-1} de fosfato de amônio, $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$.

- Apresente** a equação iônica para as reações de titulação.
- Determine** a concentração da solução de sulfato de sódio.

PROBLEMA 37

Uma amostra de 1 g de um pesticida contendo DDT, $\text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5$, foi decomposta com sódio metálico em álcool e os íons cloreto liberados foram titulados com 10 mL nitrato de prata, AgNO_3 . Em outro experimento, 30 mL da mesma solução de nitrato de prata, foram titulados com 10 mL de uma solução 3 mol L^{-1} em cloreto de sódio, NaCl .

- Apresente** a equação iônica para as reações de titulação.
- Determine** a fração mássica de DDT no pesticida.

PROBLEMA 38

Uma amostra com 1,5 g de sulfato de sódio de pureza 94,6% foi dissolvida em água até completar 1 L de solução. Uma alíquota de 100 mL dessa solução foi titulada com 45 mL de uma solução de cloreto de bário. Em outro experimento, foram necessários 9 mL da mesma solução de cloreto de bário para titular 100 mL de uma solução de acetato de chumbo(II), $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2$.

- Apresente** a equação iônica para as reações de titulação.
- Determine** a concentração da solução de acetato de chumbo.

PROBLEMA 39

Uma amostra de 100 mL de água salobra contendo ácido sulfídrico foi alcalinizada com amoníaco e tratada com 30 mL de uma solução $0,02 \text{ mol L}^{-1}$ de nitrato de prata. O excesso de nitrato de prata foi retrotitulado com 6 mL de uma solução $0,04 \text{ mol L}^{-1}$ de tiocianato de potássio.

- Apresente** a equação iônica para as reações de titulação.
- Determine** a concentração ácido sulfídrico na água em partes por milhão.

PROBLEMA 40

O fósforo em 4 g de um alimento vegetal foi convertido a fosfato e tratado com 50 mL de uma solução $0,08 \text{ mol L}^{-1}$ em nitrato de prata. O excesso de nitrato de prata foi retrotitulado com 5 mL de tiocianato de potássio $0,06 \text{ mol L}^{-1}$.

- Apresente** a equação iônica para as reações de titulação.
- Determine** a fração mássica de fósforo no alimento vegetal.

PROBLEMA 41

Uma amostra com 17 g de nitrato de prata foi dissolvida em 500 mL de água destilada. Uma alíquota de 50 mL dessa solução foi titulada com 20 mL de uma solução de tiocianato de potássio. Uma amostra de 2 g de cloreto de bário dihidratado foi dissolvida em água destilada e tratada com 100 mL da solução de nitrato de prata. A solução resultante foi titulada com 25 mL da solução de tiocianato de potássio.

- Apresente** a equação iônica para as reações de titulação.
- Determine** a pureza da amostra de cloreto de bário.

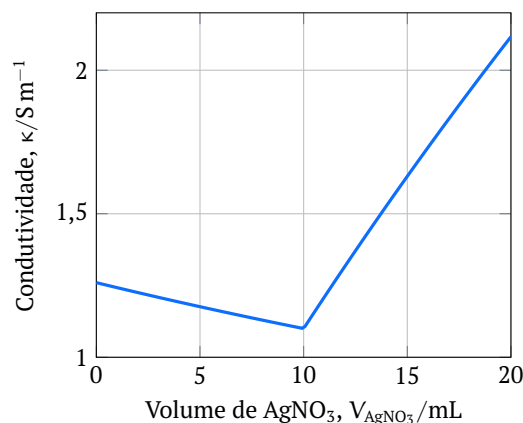
PROBLEMA 42

O ácido cloroacético, utilizado como conservante em 100 mL de uma bebida carbonatada, foi extraído em éter dietílico e então retornado à solução aquosa pela extração com $\text{NaOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$. O cloroacetato reage com o hidróxido de sódio liberando íons cloreto. Esse extrato aquoso foi acidificado e tratado com 50 mL de nitrato de prata $0,05 \text{ mol L}^{-1}$. Após a filtração do precipitado, a titulação do filtrado requereu 10 mL de uma solução de tiocianato de amônio. Em outro experimento, uma alíquota de 20 mL da mesma solução de tiocianato de amônio foi titulada com 50 mL da solução de nitrato de prata $0,05 \text{ mol L}^{-1}$.

- Apresente** a equação iônica para as reações de titulação.
- Determine** a massa de ácido cloroacético na solução.

PROBLEMA 43

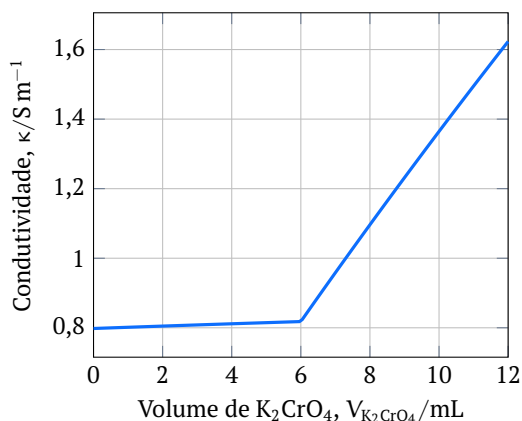
Uma alíquota de uma solução $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de cloreto de sódio, NaCl , foi titulada com uma solução 1 mol L^{-1} de nitrato de prata, AgNO_3 . A condutividade da solução foi monitorada ao longo da reação.



- Apresente** a equação iônica para a reação de titulação.
- Determine** o volume de nitrato de prata necessário para atingir o ponto de equivalência.
- Identifique** os íons responsáveis pela condutividade da solução ao longo da titulação.

PROBLEMA 44

Uma alíquota de 100 mL de uma solução de nitrato de prata, AgNO_3 , foi titulada com uma solução 1 mol L^{-1} de cromato de potássio, K_2CrO_4 . A condutividade da solução foi monitorada ao longo da reação.



- a. **Apresente** a equação iônica para a reação de titulação.
 b. **Determine** a concentração da solução de nitrato de prata.

PROBLEMA 45

Proponha um método para a separação de uma solução contendo os íons:

- a. Cátions chumbo(II) e cobre(II).
 b. Cátions amônio e magnésio.

PROBLEMA 46

Proponha um método para a separação de uma solução contendo os íons:

- a. Cátions cério e zinco.
 b. Cátions níquel(II) e bário.

PROBLEMA 47

Um químico recebeu uma solução para analisar os cátions Ag^+ , Ca^{2+} e Zn^{2+} . Quando ácido clorídrico foi adicionado a solução formou-se um precipitado branco. Após a filtração do sólido, ácido sulfúrico foi adicionado a solução e nada aconteceu. Quando sulfeto de hidrogênio foi borbulhado na solução um precipitado preto foi formado.

- a. **Identifique** os cátions presentes na solução.
 b. **Apresente** a equação iônica para as reações de análise.

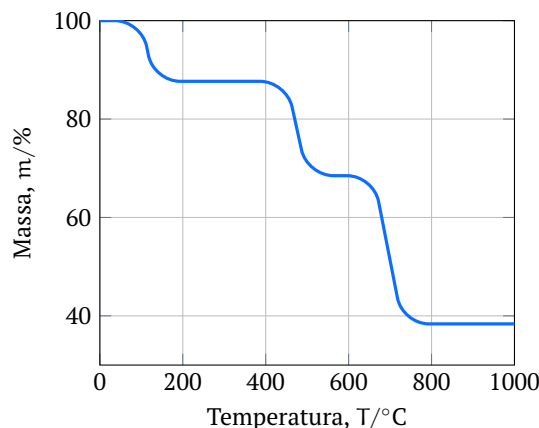
PROBLEMA 48

Um químico recebeu uma solução para analisar os cátions Ag^+ , Ca^{2+} e Hg^{2+} . Quando ácido clorídrico foi adicionado a solução nada aconteceu. Em seguida, ácido sulfúrico foi adicionado a solução, precipitando um sólido branco. Após a filtração do sólido, sulfeto de hidrogênio foi borbulhado na solução um precipitado preto foi formado.

- a. **Identifique** os cátions presentes na solução.
 b. **Apresente** a equação iônica para as reações de análise.

PROBLEMA 49

Uma amostra oxalato de cálcio monohidratado foi submetida à análise termogravimétrica.



Assinale a alternativa *incorreta*.

- A** A decomposição térmica do oxalato de cálcio ocorre em três etapas.
B A água de hidratação é eliminada da estrutura cristalina do oxalato de cálcio a temperatura maior que $100^{\circ}C$.
C A decomposição do oxalato de cálcio ocorre com formação de monóxido e de dióxido de carbono.
D O evento térmico que ocorre a $800^{\circ}C$ leva à formação de cal virgem.
E Na decomposição do oxalato de cálcio, praticamente 40% da amostra é perdida na forma de gases.

Gabarito

Problemas

- | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. D | 2. B | 3. B | 4. E | 5. C | 6. D |
| 7. D | 8. C | 9. D | 10. C | 11. C | 12. C |
| 13. C | 14. E | 15. D | 16. E | | |

Problemas cumulativos

17. a. $Ba^{2+}(aq) + CrO_4^{2-}(aq) \longrightarrow BaCrO_4(s)$
 b. $Cu^{2+}(aq) + S^{2-}(aq) \longrightarrow CuS(s)$
 c. $3Fe^{2+}(aq) + 2PO_4^{3-}(aq) \longrightarrow Fe_2(PO_4)_3(s)$
 d. $Ca^{2+} + C_2O_4^{2-}(aq) \longrightarrow CaC_2O_4(s)$
 e. $Ca^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) \longrightarrow BaSO_4(s)$
18. a. $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s)$
 b. $Hg_2^{2+}(aq) + 2I^-(aq) \longrightarrow Hg_2I_2(s)$
 c. $Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) \longrightarrow BaSO_4(s)$
 d. $2Bi^{2+}(aq) + 3S^{2-}(aq) \longrightarrow Bi_2S_3(s)$
 e. $Ba^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \longrightarrow BaCO_3(s)$

19. a. $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ e $\text{Na}_2\text{CrO}_4(\text{aq})$.
b. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ e (aq) .
c. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ e $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4(\text{aq})$.
20. a. $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ e $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$.
b. $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ e $\text{KOH}(\text{aq})$.
c. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ e $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4(\text{aq})$.
21. **C**
22. **C**
23. $1,0 \text{ kS cm}^2 \text{ mol}^{-1}$
24. $13 \text{ S m}^{-1} \text{ M}^{-1}$
25. a. $0,25 \text{ mol L}^{-1}$
b. $0,25 \text{ mol L}^{-1}$
26. a. $0,33 \text{ mol L}^{-1}$
b. $0,67 \text{ mol L}^{-1}$
27. a. $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{ OH}^{-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$
b. $2,44 \text{ g}$
c. $0,625 \text{ mol L}^{-1}$
28. a. $2 \text{ Co}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{ S}^{2-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Co}_2\text{S}_3(\text{s})$
b. $2,74 \text{ g}$
c. $0,6 \text{ mol L}^{-1}$
29. a. $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{ OH}^{-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$
b. 195 mg
c. $0,08 \text{ mol L}^{-1}$
30. a. $3 \text{ Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{PO}_4^{3-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s})$
b. 260 mg
c. $0,18 \text{ mol L}^{-1}$
31. a. $\text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{Cl}^{-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{AgCl}(\text{s})$
b. 55%
32. a. $\text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{Br}^{-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{AgBr}(\text{s})$
b. 45%
33. a. $2 \text{ Fe}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{ O}^{2-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$
b. 25%
34. a. $2 \text{ Al}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{ O}^{2-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$
b. $\text{Al}_2(\text{NH}_4)_4(\text{SO}_4)_5$
35. a. $2 \text{ Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s})$ e $\text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{Cl}^{-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{AgCl}(\text{s})$
b. 88%
36. a. $\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{BaSO}_4(\text{s})$ e $3 \text{ Ba}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{ PO}_4^{3-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s})$
b. $0,1 \text{ mol L}^{-1}$
37. a. $\text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{Cl}^{-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{AgCl}(\text{s})$
b. 70%
38. a. $\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{BaSO}_4(\text{s})$ e $\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{ Cl}^{-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{PbCl}_2(\text{s})$
b. $0,2 \text{ mol L}^{-1}$
39. 6 ppm
40. 3%
41. 92%
42. 118 mg
43. a. $\text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{Cl}^{-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{AgCl}(\text{s})$
b. Antes do ponto de equivalência, Na^{+} , Cl^{-} e NO_3^{-} . No ponto de equivalência, Na^{+} e NO_3^{-} . Após o ponto de equivalência, Na^{+} , Ag^{+} e NO_3^{-} .
44. a. $2 \text{ Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{Cr}_2\text{O}_4^{2-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s})$
b. $0,06 \text{ mol L}^{-1}$
45. a. Adição de H_2SO_4 .
b. Adição de H_2S
46. a. Adição de H_2CO_3 .
b. Adição de H_2SO_4
47. Ag^{+} e Zn^{2+}
48. Ca^{2+} e Hg^{2+}
49. **E**