

BC0307 - TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS

Principais Tópicos Abordados

Mineração

Obtenção de compostos de interesse econômico: alumínio, ferro, entre outros;
Estequiometria.

AULA 04



GRANDEZAS QUÍMICAS

QUANTIDADE DE MATÉRIA → uma das sete grandezas de base do Sistema Internacional (SI) → unidade: **MOL**

MOL → One mole contains exactly $6,02214076 \times 10^{23}$ elementary entities. <https://iupac.org/new-definition-mole-arrived/>

Um mol contém exatamente $6,02214076 \times 10^{23}$ entidades elementares.

ENTIDADES ELEMENTARES?

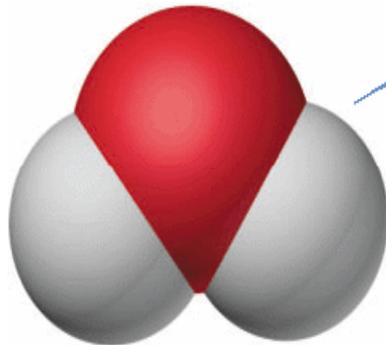
Devem ser especificadas: átomos, moléculas, elétrons, outras partículas....

Constante de Avogadro: $6,02214 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

GRANDEZAS QUÍMICAS

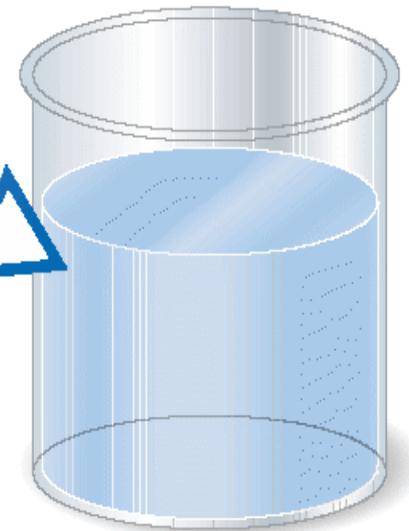
Amostra de
escala laboratorial

Molécula única



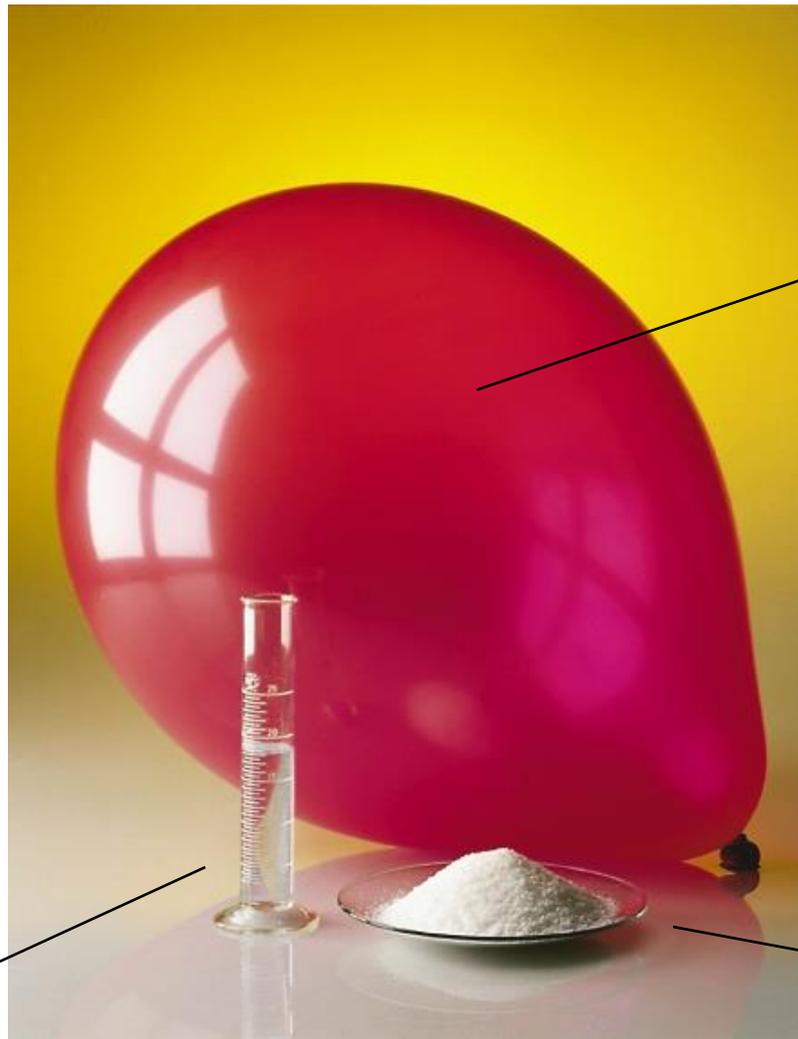
1 molécula de H₂O

Número de
Avogadro
de moléculas
($6,02 \times 10^{23}$)



1 mol H₂O
(18,0 g)

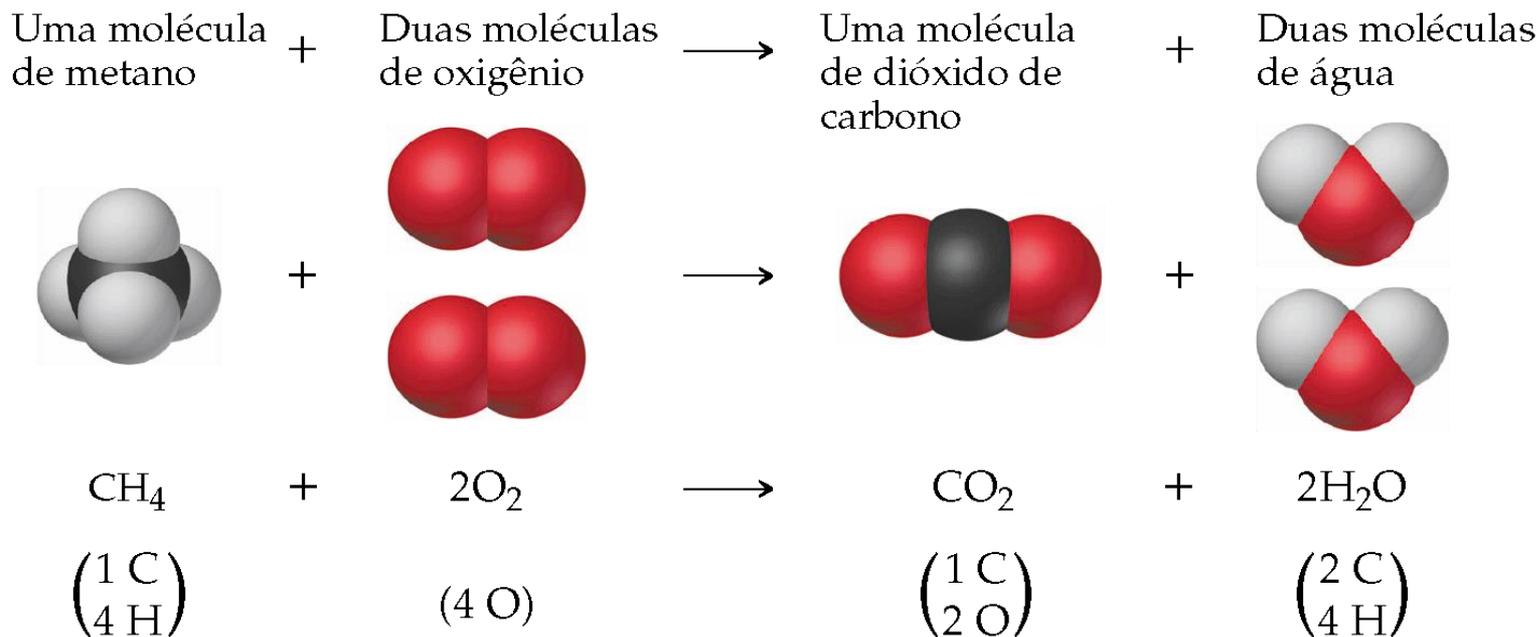
GRANDEZAS QUÍMICAS



um mol de um gás (CO_2)
44 gramas

um mol de um líquido (H_2O)
18 gramas

um mol de um sólido (NaCl)
58,5 gramas



LEI DA CONSERVAÇÃO DA MASSA

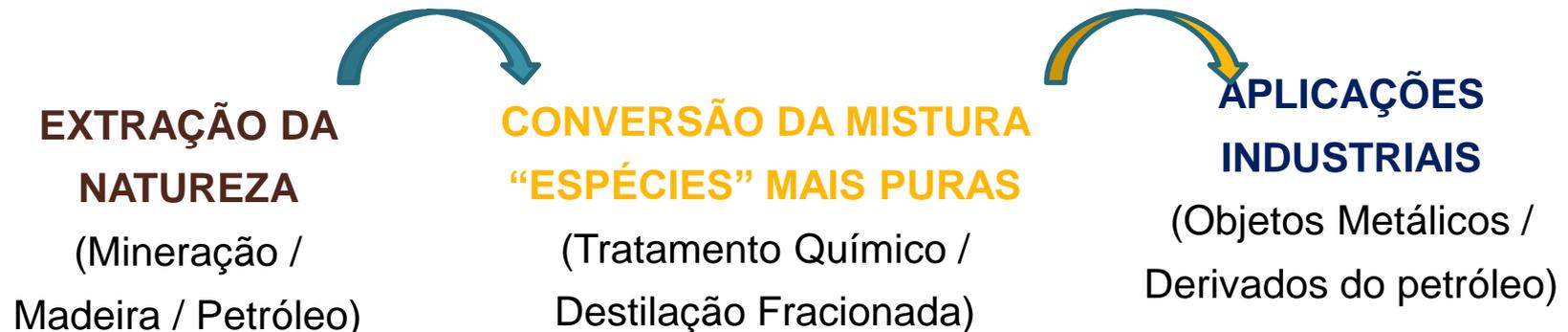
A matéria não se perde em nenhuma reação química.



TQ VS. SOCIEDADE MODERNA

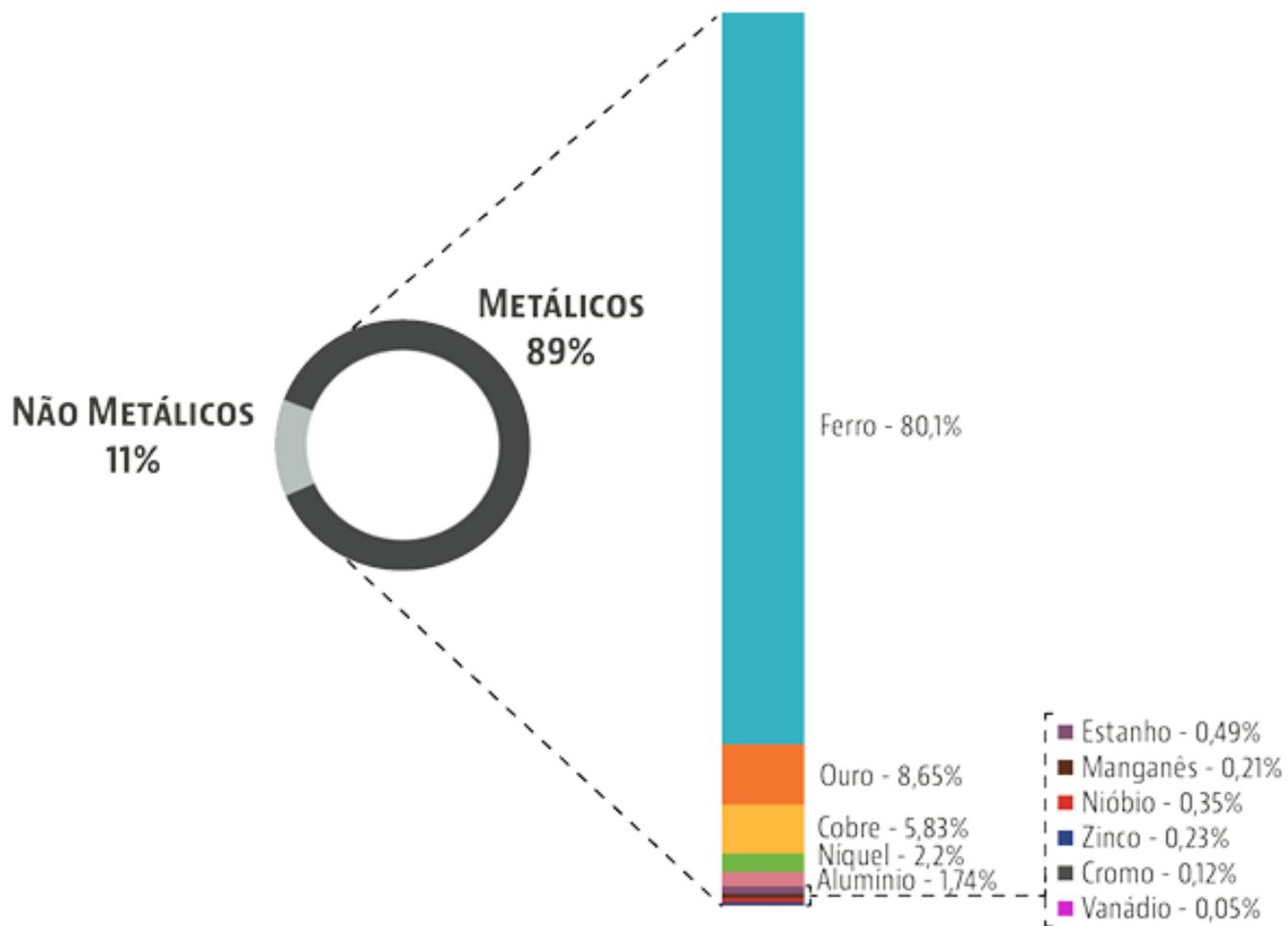
- Qual a composição de um giz? Como se produz um objeto tão simples (e tão presente em nossa sociedade) quanto este? Encontramos uma “jazida de giz” na natureza e a modelamos em bastões?
- E uma latinha de alumínio? Encontramos alumínio puro na natureza, o retiramos, transformamos em chapas e fazemos uma lata?
- Nesta sala, quais objetos foram produzidos sem nenhum componente derivado de:

MADEIRA, FERRO/ALUMÍNIO ou de DERIVADO DE PETRÓLEO?



No Brasil em 2021...

PARTICIPAÇÃO DAS PRINCIPAIS SUBSTÂNCIAS METÁLICAS NO VALOR DA PRODUÇÃO MINERAL COMERCIALIZADA - 2021



<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/PreviaAMB2022.pdf> acesso em 29/09/23

PRINCIPAIS SUBSTÂNCIAS METÁLICAS - ANO BASE 2021

ALUMÍNIO, COBRE, CROMO, ESTANHO, FERRO, MANGANÊS, NIÓBIO, NÍQUEL, OURO, VANÁDIO E ZINCO



312,9

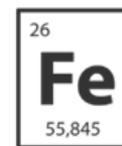
R\$ BILHÕES

valor da produção das 11 principais substâncias metálicas, correspondendo a 89 % do valor da produção total

**MG
PA**

88,1%

do valor da produção se refere aos estados do Pará e de Minas Gerais



80,1%

do valor total da produção das 11 principais substâncias metálicas corresponde ao ferro



9,77

R\$ BILHÕES

Arrecadados em CFEM para as 11 principais substâncias metálicas, perfazendo 95% da arrecadação total em 2021



75,4

US\$ BILHÕES

Em exportações

15,7

US\$ BILHÕES

Em importações



4.871

TÍTULOS OUTORGADOS

Pesquisa: 4.632 - 29,2% no Centro-Oeste

Lavra: 77 - 59,7% na região Sudeste

Lavra Garimpeira: 162 - 55,5% no Centro-Oeste



227

MINAS EM PRODUÇÃO

76 com produção ROM
> 1.000.000 t/ano

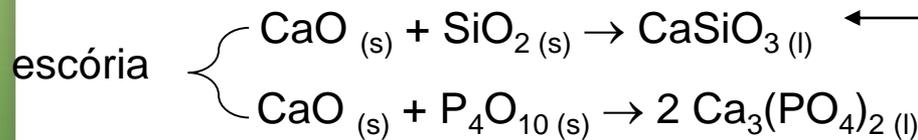
<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/PreviaAMB2022.pdf> acesso em 29/09/23

SIDERURGIA

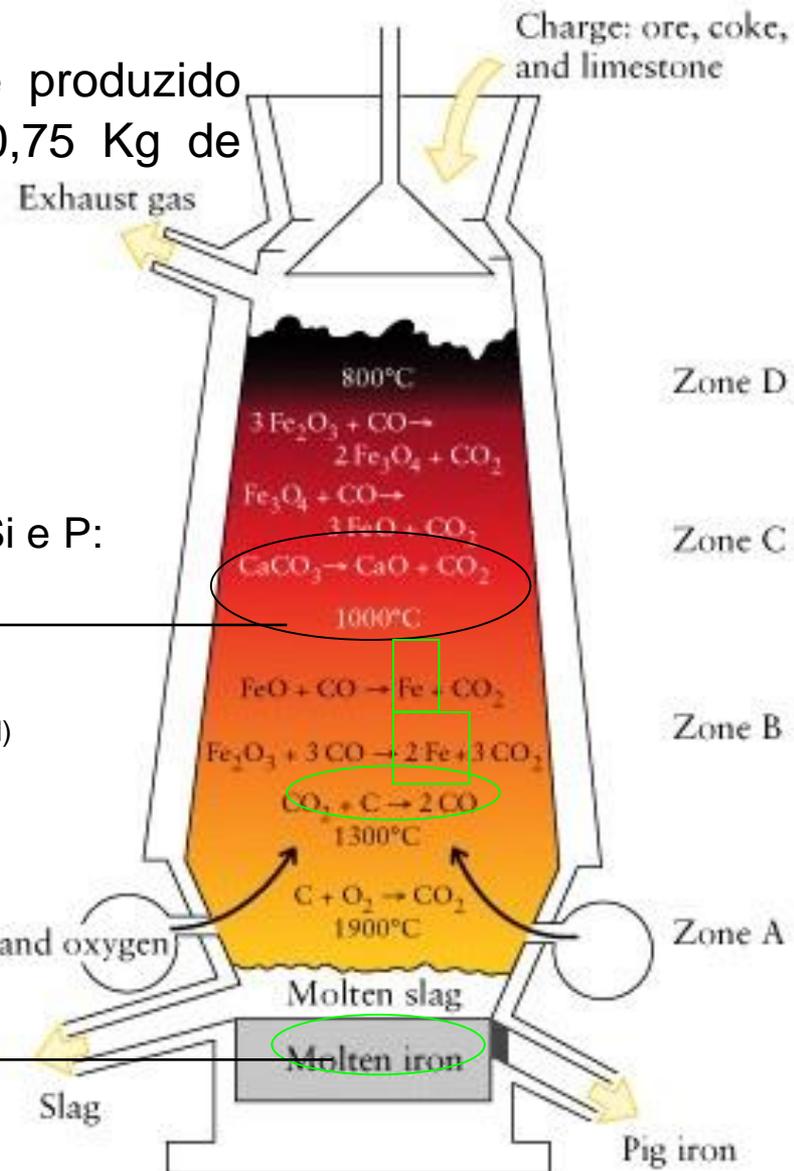
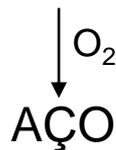
FERRO

Aço: na produção, cada Kg de Fe produzido exige 1,75 Kg de minério de ferro, 0,75 Kg de carvão coque e 0,25 Kg de calcário.

CaO retira impurezas do minério como Al, Si e P:



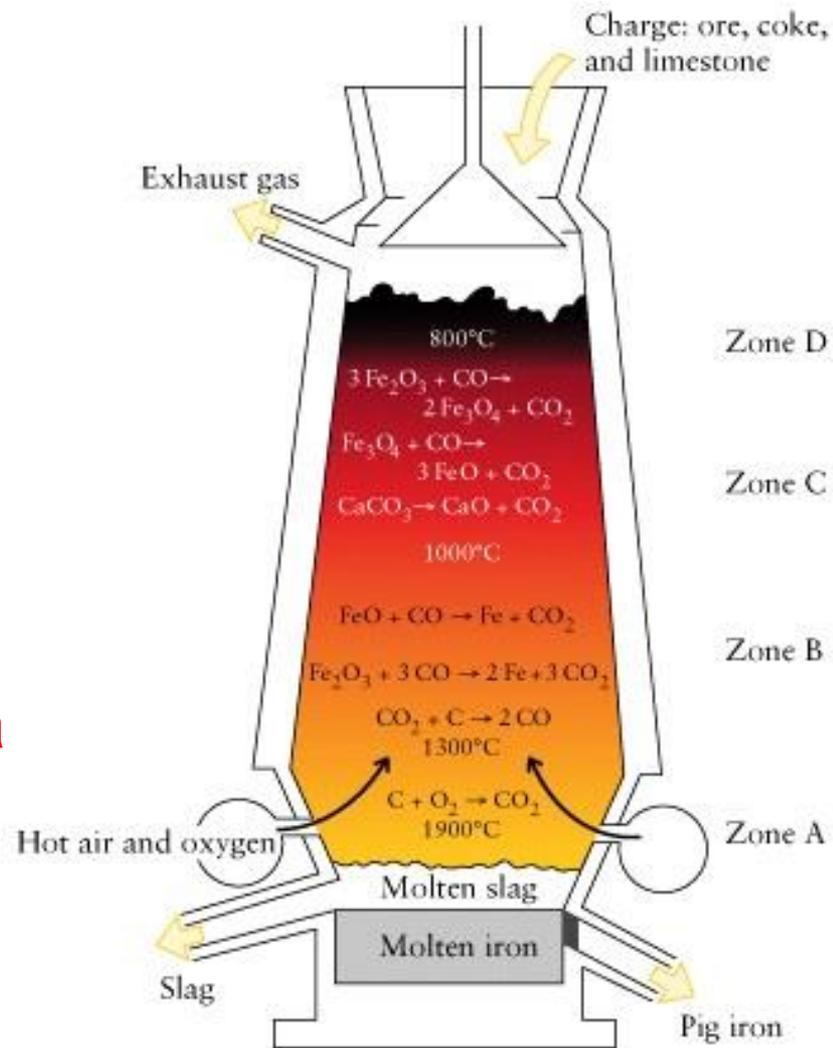
Ferro gusa: 90-95% Fe; 3-5% C; 2% Si

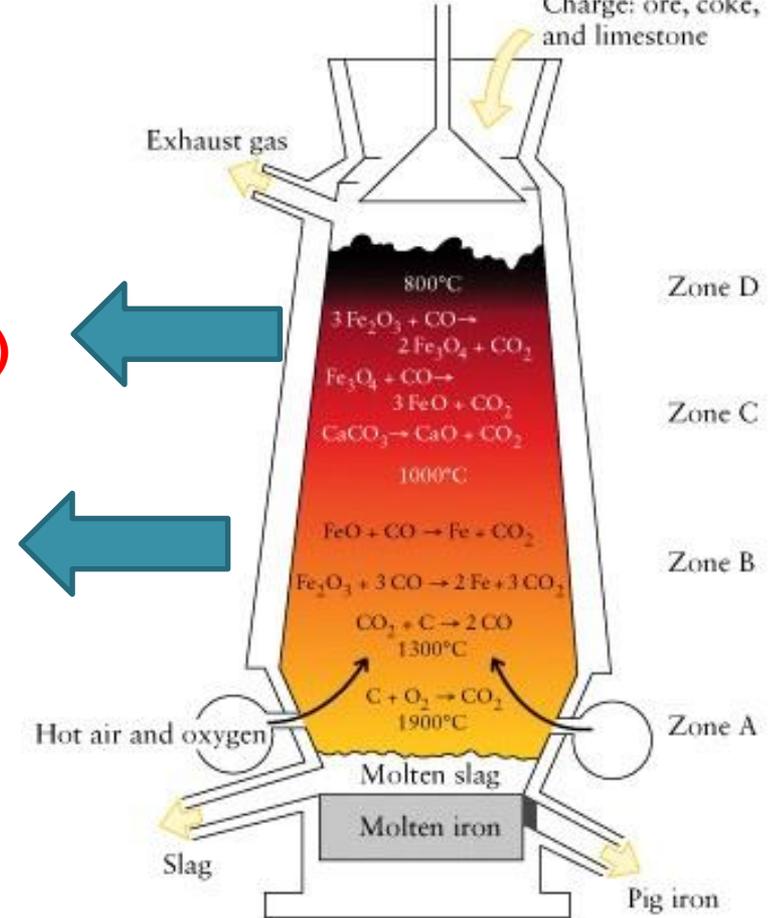
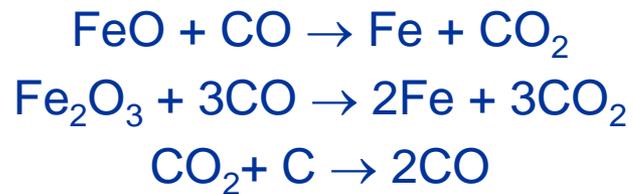
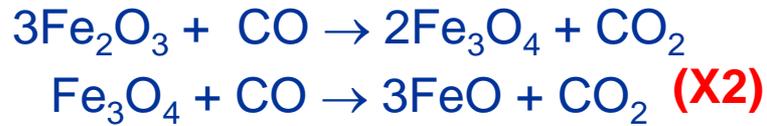


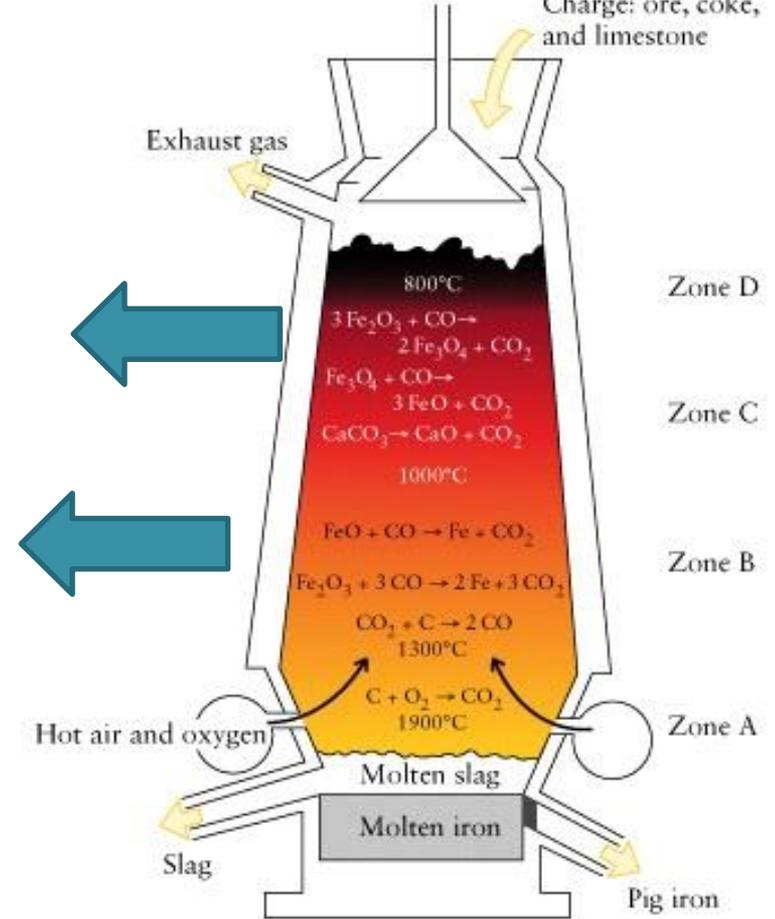
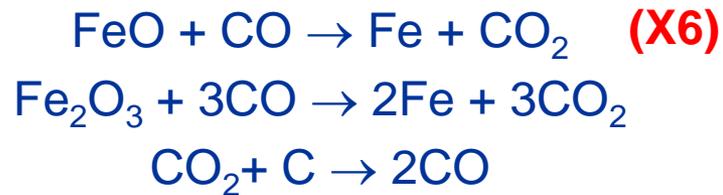
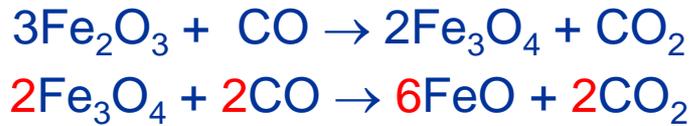
Qual a importância de conhecer uma reação química, representá-la corretamente e calcular as quantidades das espécies envolvidas?

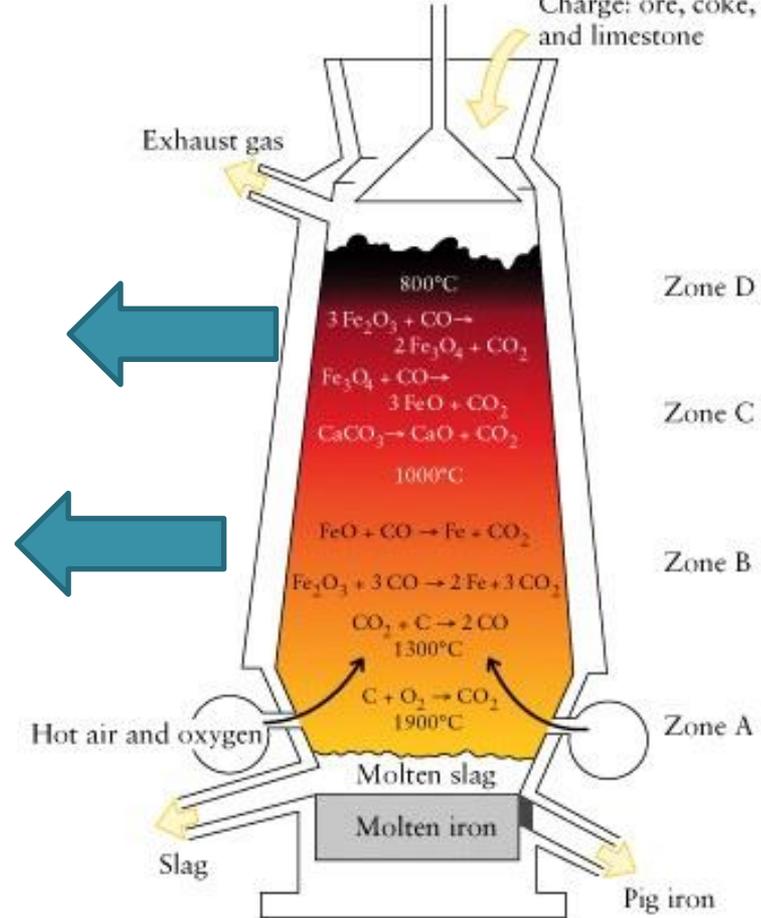
Dado o processo de obtenção de Ferro metálico a partir da Hematita (Fe_2O_3), qual a massa de carvão (C) necessária para a produção de uma tonelada de Fe?

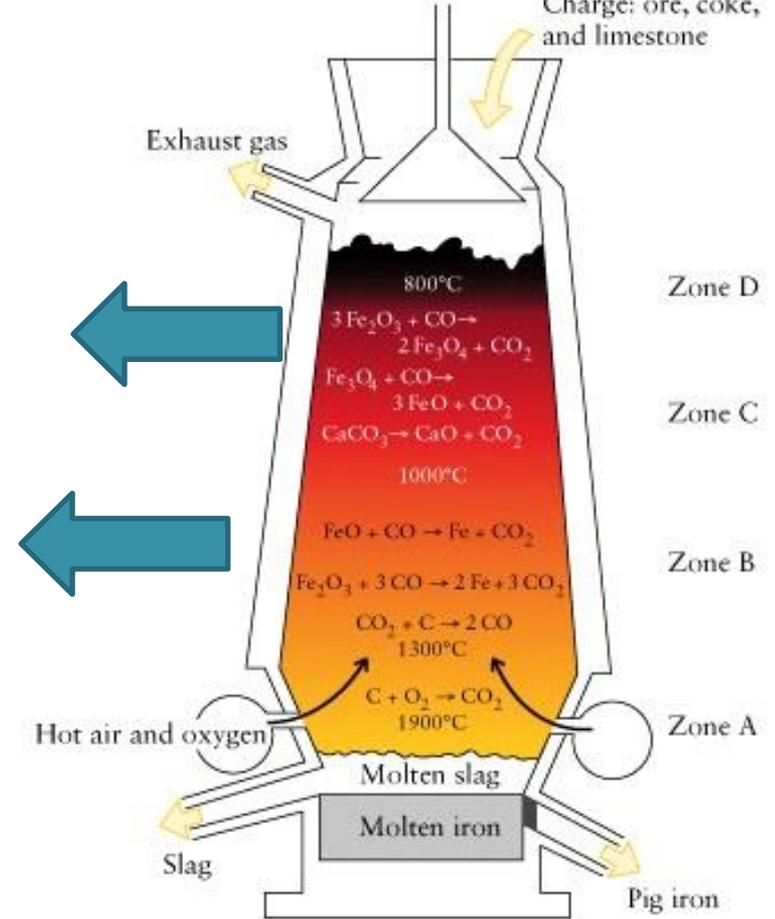
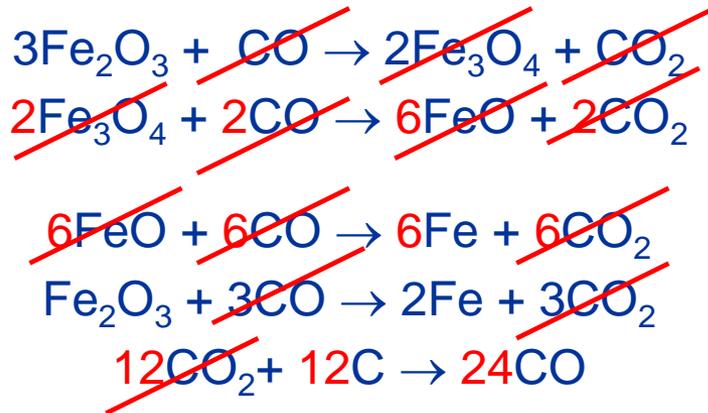
Qual a equação química que representa o processo?

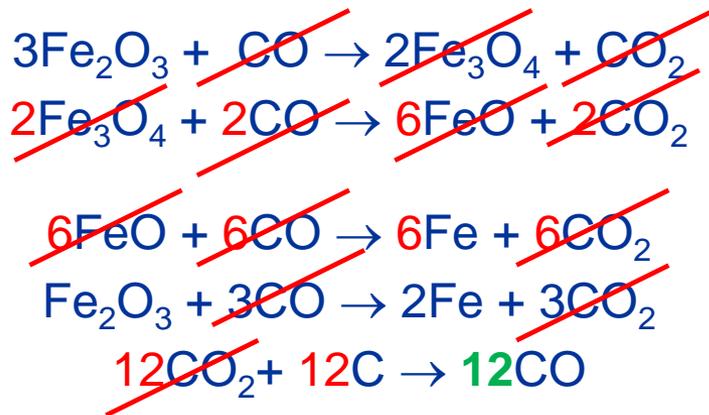












12 mol C ----- 8 mol Fe

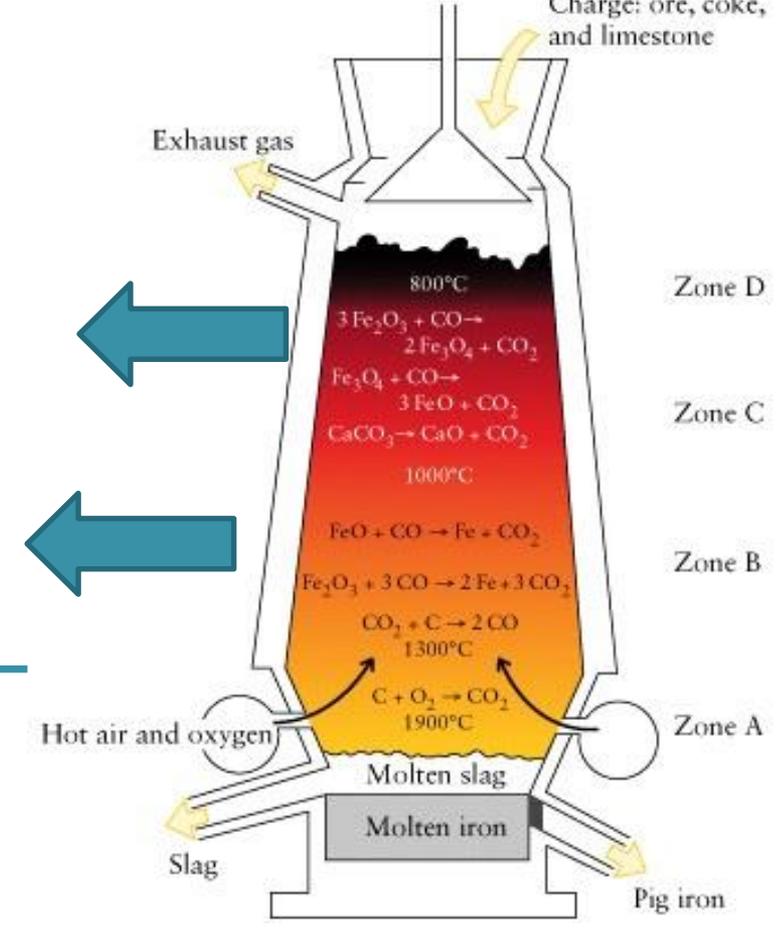


massa

$$12 \cdot 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ ----- } 8 \cdot 56 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$X \text{ ----- } 1 \text{ ton } (10^6 \text{ g})$$

$$\begin{aligned}
 X &= 0,32 \cdot 10^6 \text{ g} \\
 &\text{ou} \\
 X &= 0,32 \text{ ton}
 \end{aligned}$$



Dado o processo de obtenção de Ferro metálico a partir da Hematita (Fe_2O_3), qual a massa de carvão (C) necessária para a produção de uma tonelada de Fe?

Redução química a altas temperaturas – com Carbono

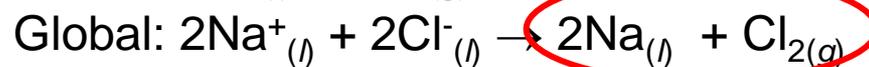
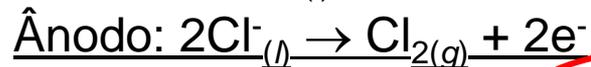
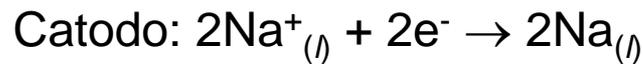
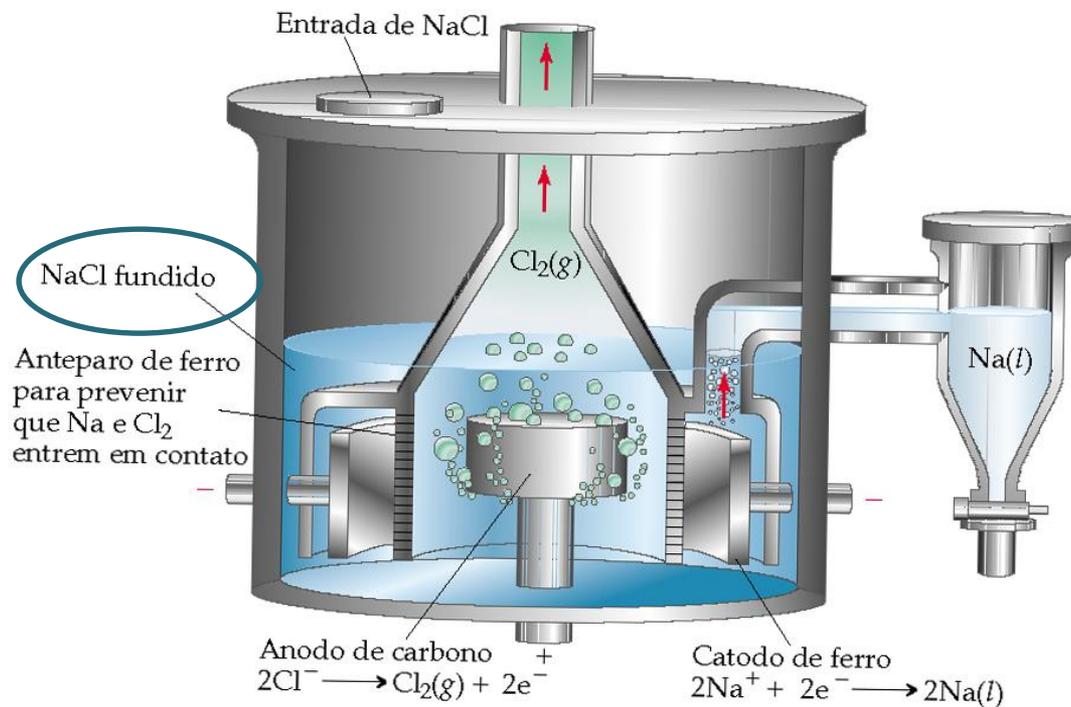
Redução química a altas temperaturas – com Hidrogênio

Outros processos

Table 18.1 Mineral sources and methods of recovery of some commercially important metals

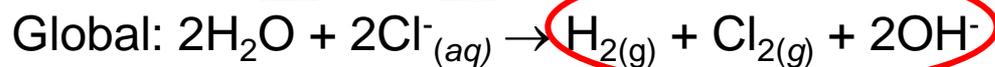
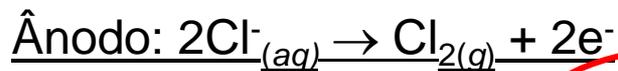
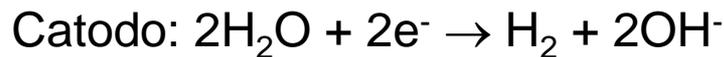
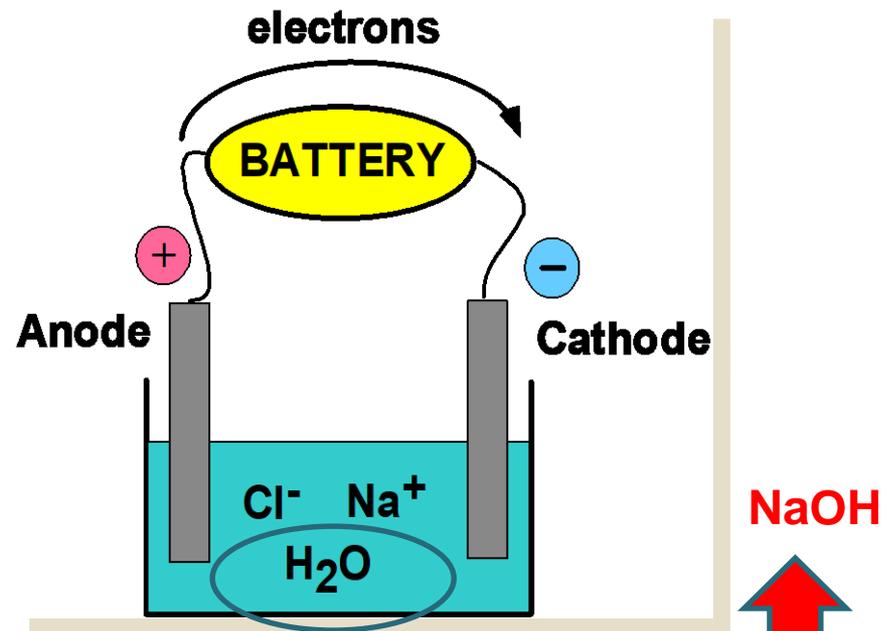
Metal	Principal minerals	Method of recovery
Titanium	Ilmenite, FeTiO_3 Rutile, TiO_2	$\text{TiO}_2 + 2 \text{C} + 2 \text{Cl}_2 \rightarrow \text{TiCl}_4 + 2 \text{CO}$ followed by reduction of TiCl_4 with Na or Mg
Chromium	Chromite, FeCr_2O_4	$\text{FeCr}_2\text{O}_4 + 4 \text{C} \rightarrow \text{Fe} + 2 \text{Cr} + 4 \text{CO}$
Molybdenum	Molybdenite, MoS_2	$2 \text{MoS}_2 + 7 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{MoO}_3 + 4 \text{SO}_2$ followed by either $\text{MoO}_3 + 2 \text{Fe} \rightarrow \text{Mo} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ or $\text{MoO}_3 + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{Mo} + 3 \text{H}_2\text{O}$
Tungsten	Scheelite, CaWO_4 Wolframite, $\text{FeMn}(\text{WO}_4)_2$	$\text{CaWO}_4 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{WO}_3 + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ followed by $\text{WO}_3 + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{W} + 3 \text{H}_2\text{O}$
Manganese	Pyrolusite, MnO_2	$\text{MnO}_2 + 2 \text{C} \rightarrow \text{Mn} + 2 \text{CO}$
Iron	Haematite, Fe_2O_3	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{CO} \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$
Cobalt	Magnetite, Fe_3O_4 Limonite, $\text{FeO}(\text{OH})$	By-product of copper and nickel production
	CoAsS	
	Smaltite, CoAs_2 Linnaeite, Co_3S_4	
Nickel	Pentlandite, $(\text{Fe}, \text{Ni})_6\text{S}_8$	$\text{NiS} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Ni} + \text{SO}_2$
Copper	Chalcopyrite, CuFeS_2	$2 \text{CuFeS}_2 + 2 \text{SiO}_2 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Cu} + 2 \text{FeSiO}_3 + 4 \text{SO}_2$
	Chalcocite, Cu_2S	

ELETRÓLISE DE SOLUÇÕES AQUOSAS X ELETRÓLISE ÍGNEA



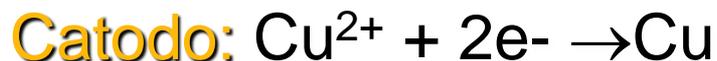
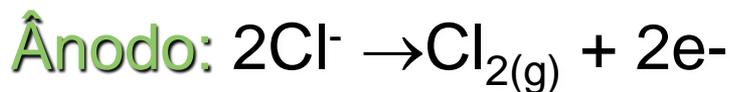
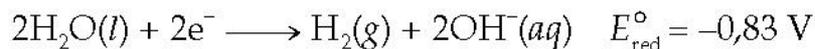
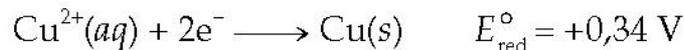
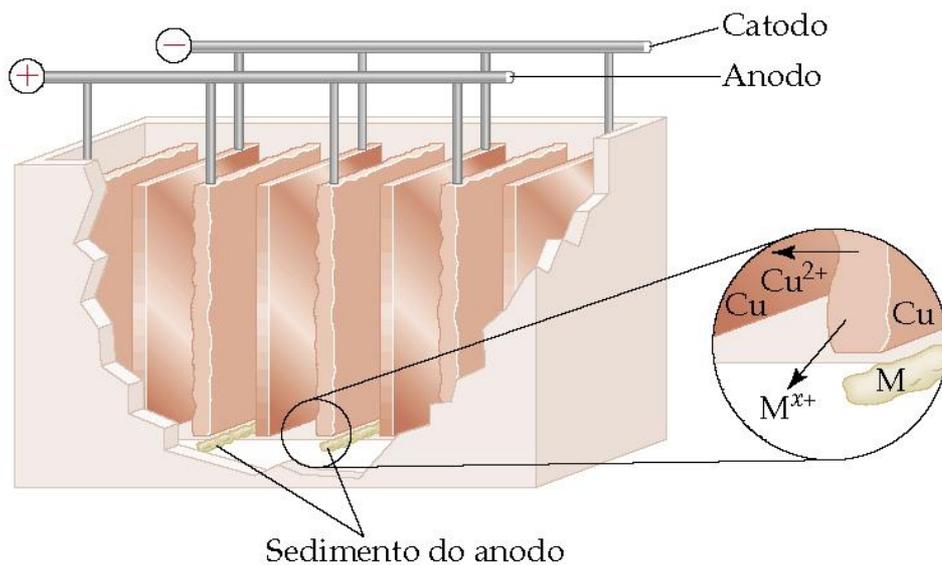
$$E^\circ = - 2.71 \text{ V} - (+1.36 \text{ V}) = - 4.07 \text{ V}$$

ELETRÓLISE DE SOLUÇÕES AQUOSAS X ELETRÓLISE ÍGNEA



$E^\circ = -2.19 \text{ V}$

ELETORREFINAMENTO DO COBRE



$$E^{\circ} = -1.02 \text{ V.}$$

Cu é mais facilmente reduzido que H₂O ou Na⁺.

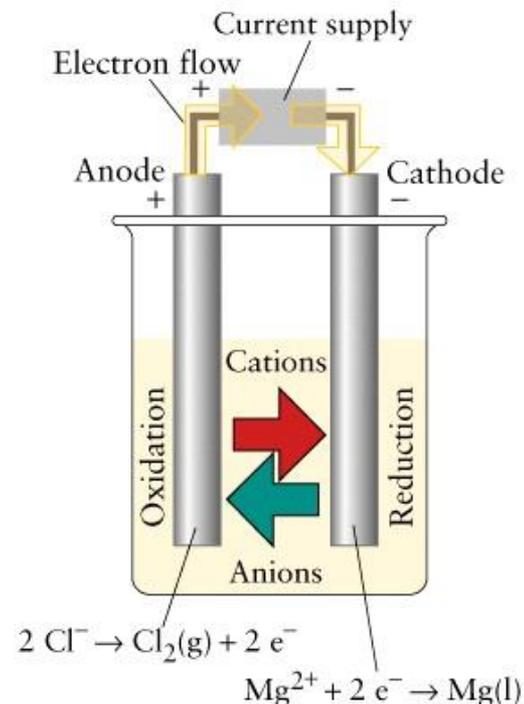
Como se determina o potencial padrão da reação para determinar se é espontânea ou não?

$\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$	$\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 8 \text{H}^+(\text{aq}) + 5 \text{e}^- \longrightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1.51
$\text{Cl}_2 / \text{Cl}^-$	$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2 \text{e}^- \longrightarrow 2 \text{Cl}^-(\text{aq})$	+1.36
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} / \text{Cr}^{3+}$	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14 \text{H}^+(\text{aq}) + 6 \text{e}^- \longrightarrow 2 \text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 7 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1.33
$\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}$	$\text{O}_2(\text{g}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 4 \text{e}^- \longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1.23
		-0.42
$\text{Al}^{3+} / \text{Al}$	$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{e}^- \longrightarrow \text{Al}(\text{s})$	-1.66
$\text{Mg}^{2+} / \text{Mg}$	$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \longrightarrow \text{Mg}(\text{s})$	-2.36
Na^+ / Na	$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \longrightarrow \text{Na}(\text{s})$	-2.71

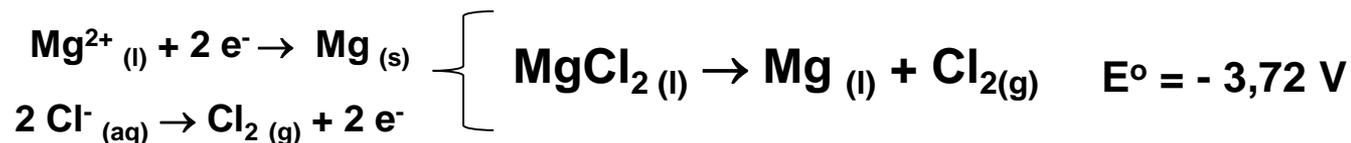


$$E^{\circ} = E^{\circ}_{(\text{cat})} - E^{\circ}_{(\text{anodo})} = (-2,36) - (+1,36) = - 3,72 \text{ V}$$

Não é espontâneo!!



Como se determina a quantidade de corrente necessária?



- UM FARADAY é a quantidade de carga elétrica transportada por um mol de elétrons.
(constante de Faraday (F) = $9,6485309 \cdot 10^4 \text{ J} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ou Coulombs)

- A corrente elétrica (Ampère) que atravessa um circuito é a quantidade de carga elétrica (em Coulombs) por unidade de tempo (s) \rightarrow
Corrente (A) = carga elétrica (Coulombs) / tempo (s)

Assim, qual a corrente necessária para produzir, por ex, 24,3 g de Mg em 30 minutos?



$$1 \text{ mol e}^{-} \quad - \quad 96500 \text{ C}$$

$$2 \text{ mols e}^{-} \quad - \quad x \text{ C}$$

$$x = 19300 \text{ C}$$

$$\text{Corrente} = 193000 \text{ C} / 1800 \text{ s}$$

$$\text{Corrente} = 107 \text{ A}$$



Por exemplo o **ALUMÍNIO**.....

A transformação da BAUXITA em ALUMINA

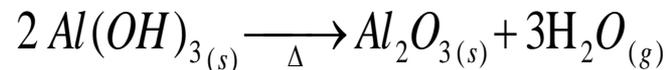
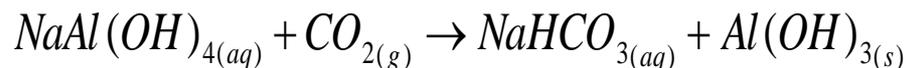
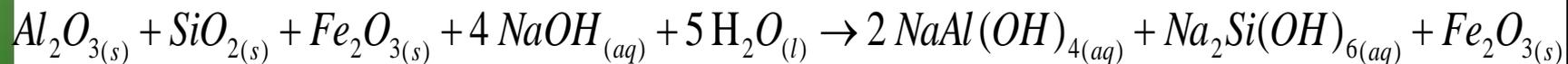
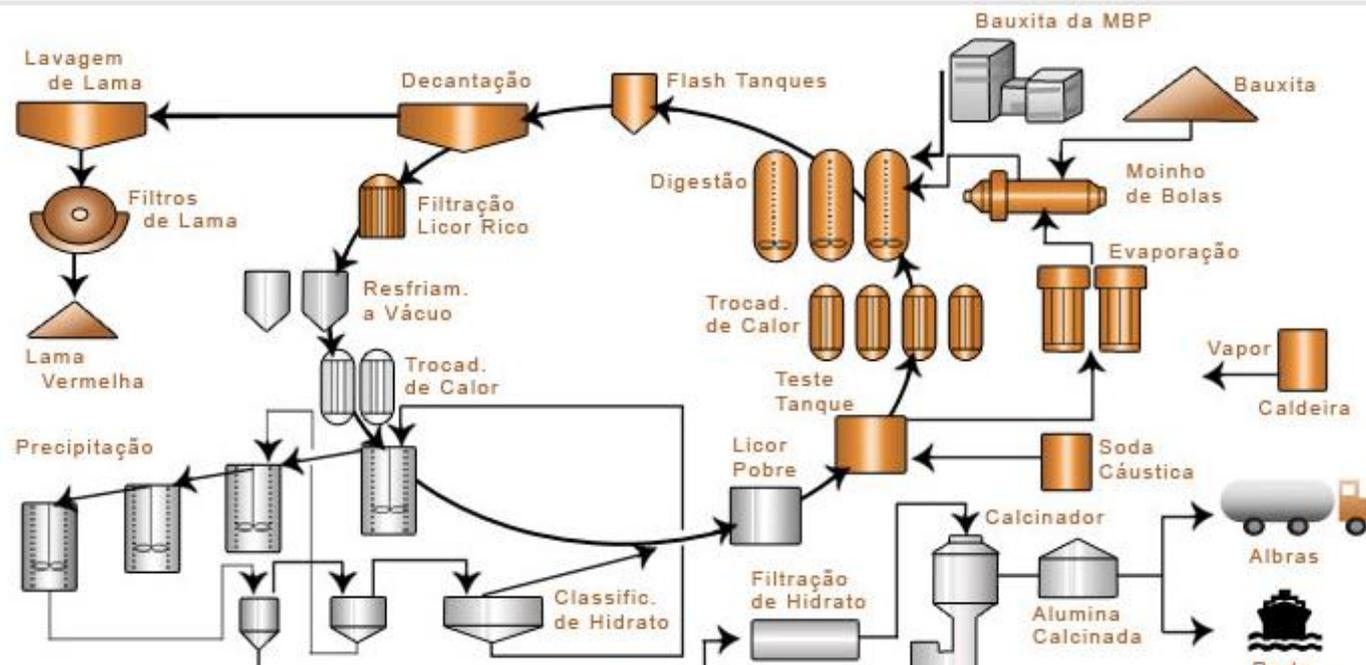
Processo Bayer

5t bauxita
2t alumina
1t alumínio



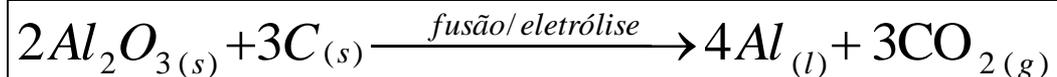
Empresa

- > Histórico
- > Localização
- > Acionistas
- > Processo

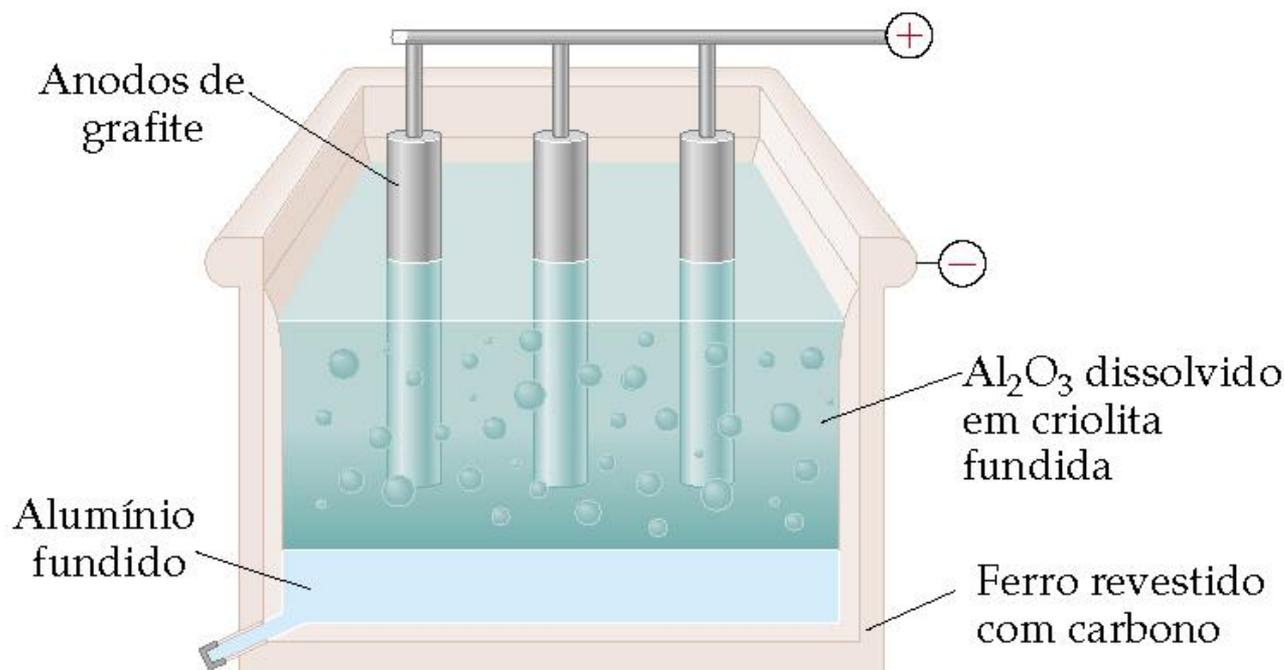
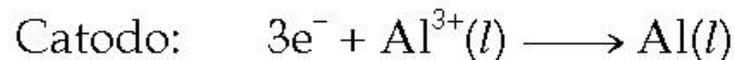
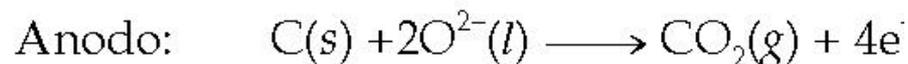


ELETROMETALURGIA DO ALUMÍNIO

A produção de ALUMÍNIO PURO por eletrólise (>99% pureza)



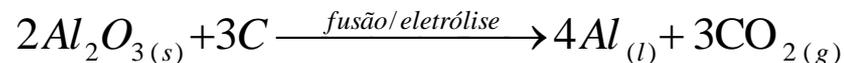
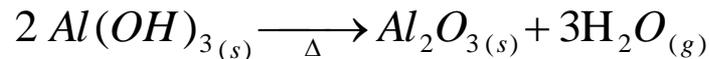
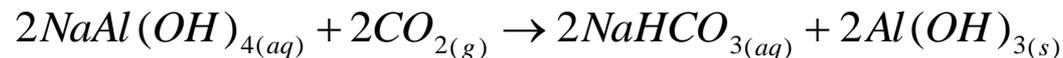
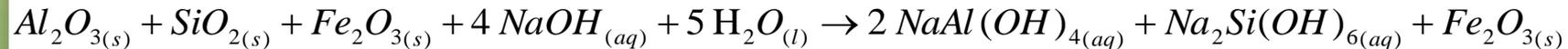
A célula de eletrólise do processo de Hall é usada para a produção do alumínio.

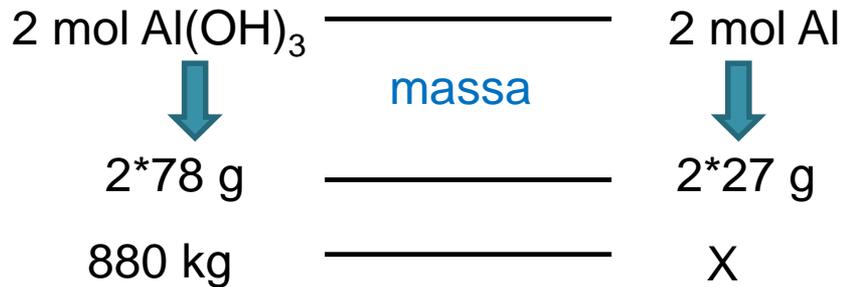
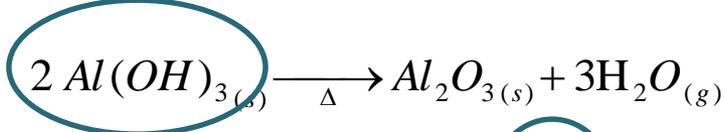


DESAFIO ESTEQUIOMÉTRICO

Determinação da pureza do reagente

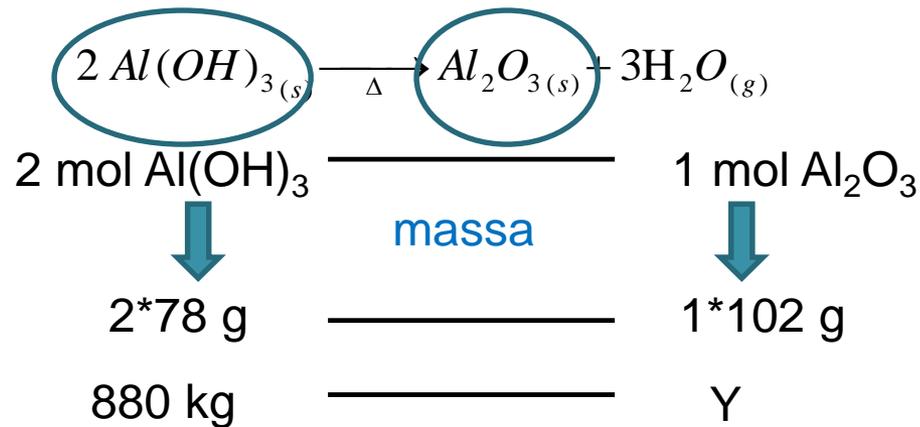
Se a partir de 1 tonelada de bauxita foram obtidos 880 kg de hidróxido de alumínio, quanto alumínio puro poderá ser obtido no processo? Qual a quantidade de óxido de alumínio nesta bauxita? Para produzir 1 tonelada de alumínio, qual a quantidade de CO₂ liberada?





X = 305 kg de Al puro

Qual a quantidade de óxido de alumínio nesta bauxita?



Y = 575 kg de Al_2O_3

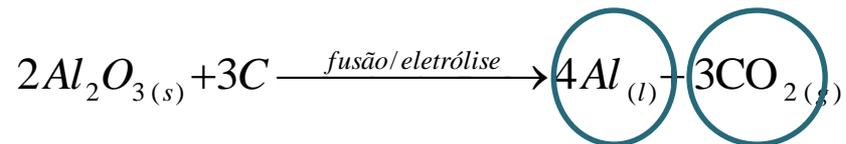
1 ton _____ 100%

0,575 ton _____ Z

Z = 57,7% de Al_2O_3 na bauxita



Para produzir 1 tonelada de alumínio, qual a quantidade de CO₂ liberada?

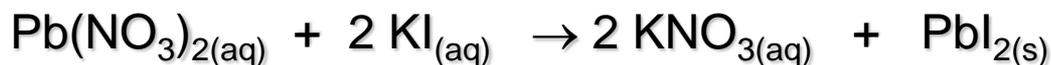
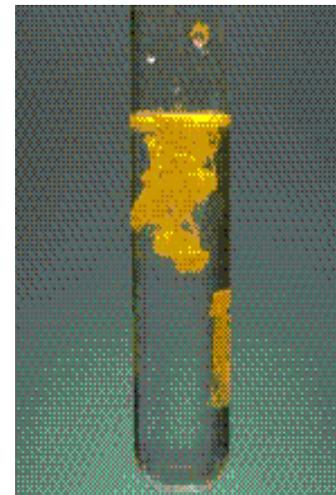


4 mol Al		3 mol CO ₂
↓	massa	↓
4*27 g	_____	3*44 g
1 ton	_____	T

T = 1,22 ton de CO₂ será liberada

RENDIMENTO DE REAÇÃO

Se 66,2 gramas de nitrato de chumbo(II) forem reagidos com excesso de iodeto de potássio, ambos em solução, qual seria a massa de precipitado formado?

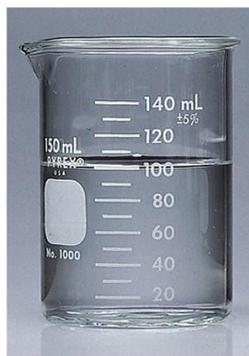


Como poderíamos determinar a massa do precipitado e calcular o **rendimento** da reação?

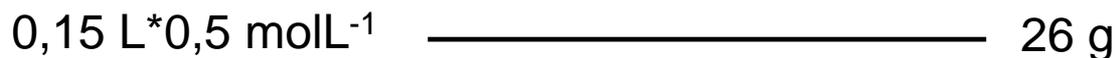
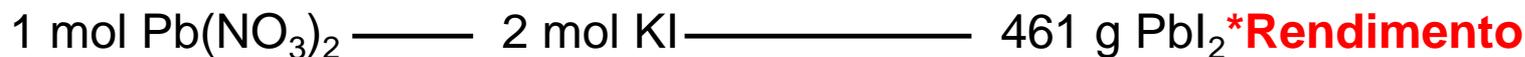
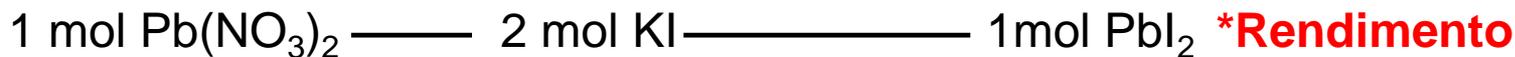
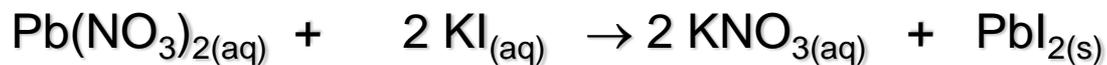
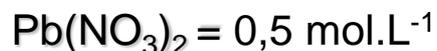
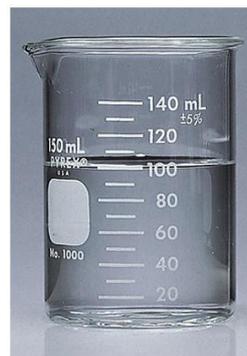
E se tivéssemos trabalhando com duas soluções já preparadas de nitrato de chumbo(II) e iodeto de potássio, como calcularíamos o rendimento e a massa de precipitado esperada?

RENDIMENTO DE REAÇÃO

Se reagirmos 150 mL de uma solução aquosa de nitrato de chumbo(II) 0,5 mol.L⁻¹ com 200 mL de uma solução aquosa de iodeto de potássio 0,75 mol.L⁻¹, qual seria o rendimento da reação se a massa de precipitado formado for 26,0 g?



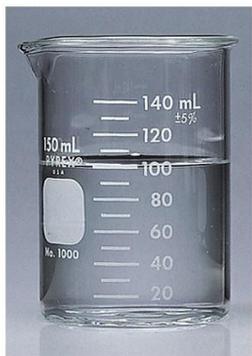
+



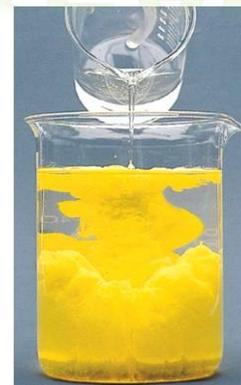
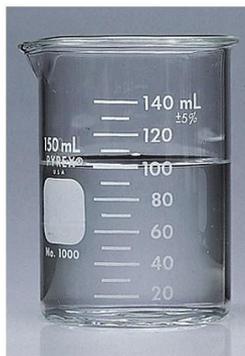
Rendimento = 75%

Hã?????????

RENDIMENTO DE REAÇÃO



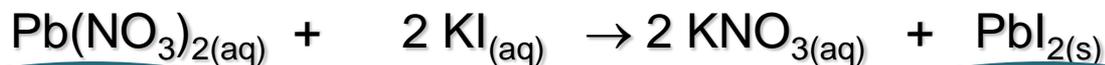
+



$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 = 0,5 \text{ mol.L}^{-1}$
150 mL

$\text{KI} = 0,75 \text{ mol.L}^{-1}$
200 mL

26 g



1 mol $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

2 mol KI

1 mol PbI_2

0,5 mol ——— 1L

x mol ——— 0,15 L

x = 0,075 mol

1 mol ——— 461 g

y mol ——— 26 g

y = 0,056 mol

0,075 mol ——— 100%

0,056 mol ——— Rendimento

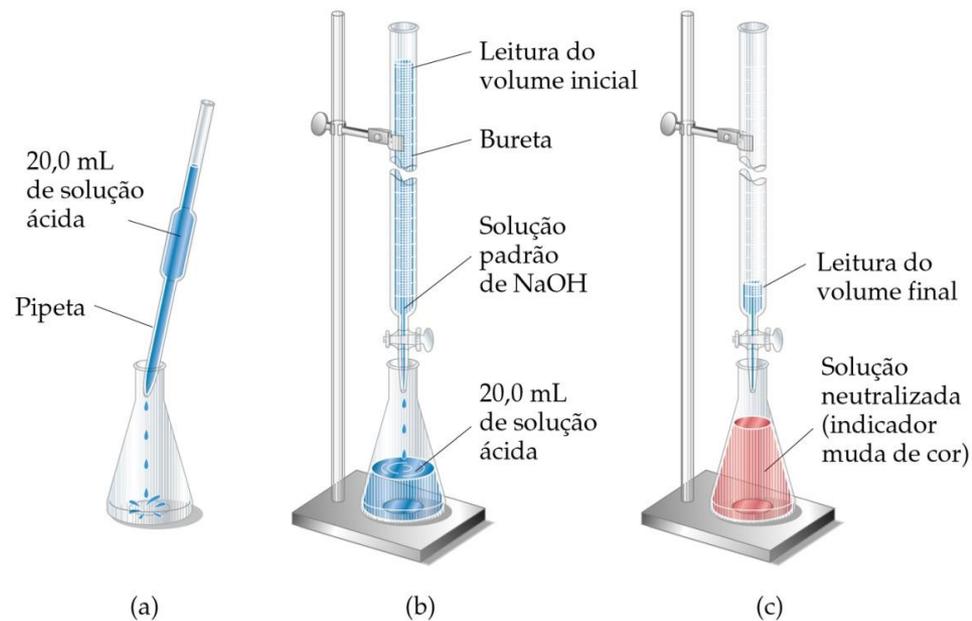
Rendimento = 75%

TITULAÇÃO – REAÇÃO ÁCIDO-BASE

E se o produto formado na reação não for um precipitado, como saber que a reação atingiu o equilíbrio? Como determinar a quantidade formada do produto e o rendimento da reação?

É preciso usar **INDICADORES!**

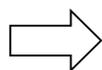
E deve-se calcular a **quantidade** de produto formado (ou reagente gasto) através do **volume** empregado na reação! (Precisa-se, portanto, de medidores de volume com alta precisão: pipetas e buretas)



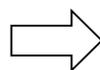
TITULAÇÃO – REAÇÃO ÁCIDO-BASE

Problema prático: em uma empresa, a água que sai de um determinado processo (aproximadamente 10.000 litros) tem pH muito baixo. Para não descartá-la assim, e até para reaproveitar, um empregado resolveu determinar a concentração de ácido na solução, para adicionar a quantidade exata de base e obter $\text{pH} \cong 7,0$. Para isso, decidiu titular esta solução com NaOH. Como deverá proceder?

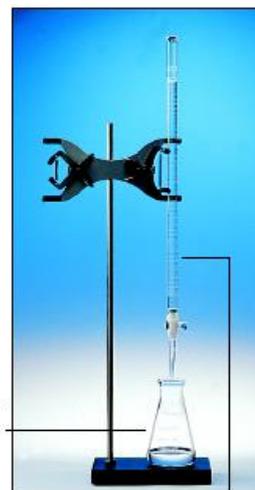
Preparar
uma
solução de
NaOH



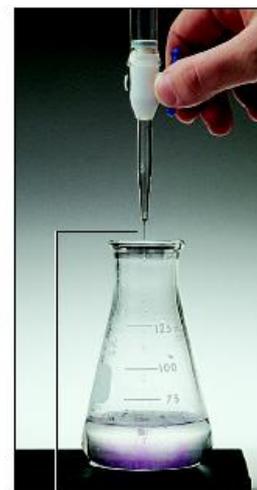
Padronizar esta
solução com
um padrão
primário



Flask containing aqueous solution of sample being analyzed



(a)
50-mL buret containing aqueous NaOH of accurately known concentration

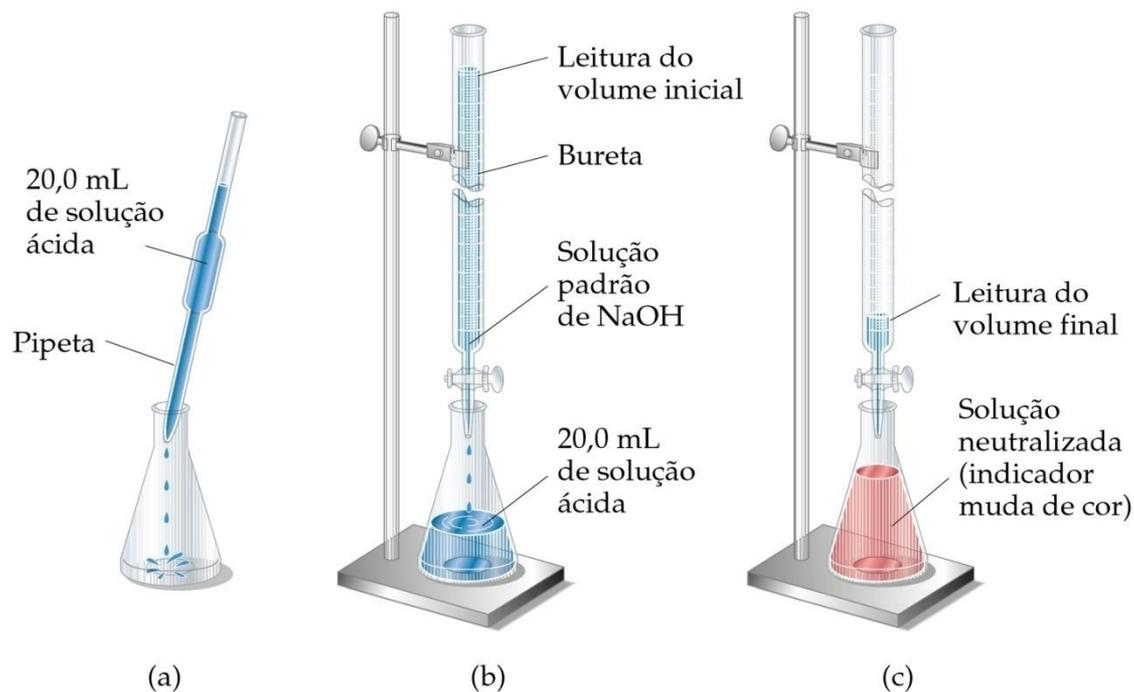


(b)
A solution of NaOH is added slowly to the sample being analyzed. The sample is mixed.



(c)
When the amount of NaOH added from the buret exactly equals the amount of H^+ supplied by the acid being analyzed, the dye (indicator) changes color.

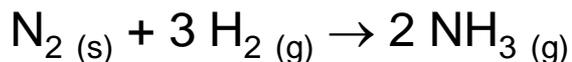
Transferiu-se com uma pipeta 20 mL da solução ácida para um erlenmeyer e titulou com a solução $0,04 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de NaOH, necessitando de 14,6 mL.



Qual a quantidade de NaOH que o funcionário deverá adicionar para neutralizar todo os 10.000 litros de solução ácida?

O mais importante processo comercial para converter N_2 do ar em compostos contendo nitrogênio é baseado na reação de N_2 e H_2 para formar NH_3 (gás).

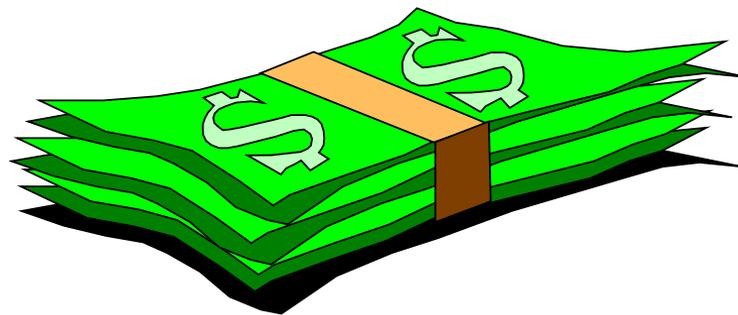
Processo Haber (Fritz Haber, 1868-1934)

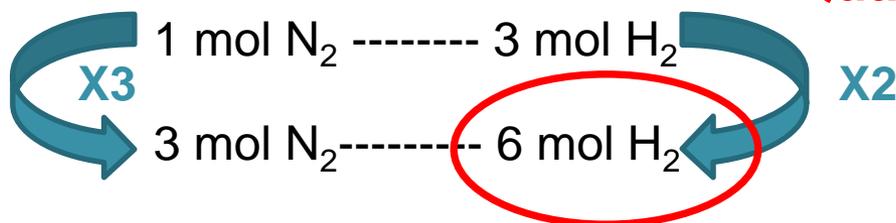
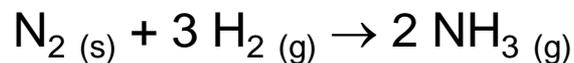


Qual a quantidade em massa de NH_3 que pode ser formada a partir de 3,0 mols de N_2 e 6,0 mols de H_2 ?



O reagente que está em menor quantidade LIMITA a quantidade de produto que pode ser formado





Qual é o reagente LIMITANTE?

Para 6 mol de H₂ são necessários apenas 2 mol de N₂ (1 mol de N₂ em excesso)

Portanto, 68 g de NH₃ poderá ser formada

Mas como fazemos para adicionar, por ex, os **2,0** mol de N₂ e 6,0 mol de H₂ no reator? Como medir a massa equivalente a estes mol se estas moléculas são gases?

$$\mathbf{P.V = n R.T}$$

Qual a quantidade em massa de NH₃ que pode ser formada a partir de 3,0 mols de N₂ e 6,0 mols de H₂?

Exercício: Termita é uma mistura de Al e Fe_2O_3 que quando aquecida a uma temperatura suficientemente alta, reage com uma exibição pirotécnica espetacular para formar ferro fundido e óxido de alumínio sólido.

Se uma mistura de 10,0 g de Al e 50,0 g de Fe_2O_3 são colocados para reagir, quantos gramas de Fe são produzidos? Qual o reagente limitante?

(Massas atômicas: Fe = 56; Al = 27 e O= 16).



R.: Al reagente limitante; 20,7 g de ferro



Onde estudar?

- 1) ATKINS, P., JONES, L., *Princípios de Química - Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente*, 3 ed., Porto Alegre: Bookman, 2006.
- 2) KOTZ, J. C., TREICHEL Jr., P., *Química Geral e Reações Químicas*, Vol. 1 e 2, 1 ed., São Paulo: Thomson Pioneira, 2005.
- 3) BRADY, J., HOLUM, J.R., RUSSELL, J.W., *Química - a Matéria e Suas Transformações*, V. 2, 3 ed., Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- 4) BROWN, T.L., Le MAY Jr., H.E.; BURSTEN, B.E., *Química - a Ciência Central*, 9 ed., São Paulo: Pearson, 2005.
- 5) BROWN, L. S., HOLMET.A., *Química Geral Aplicada à Engenharia*, São Paulo: Cengage, 2009.
- 6) HOLUM, J.R., RUSSELL, J.W., BRADY, J., *Química - a Matéria e Suas Transformações*, V. 1, 3 ed., Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- 7) MAHAN, B.M., MYERS, R.J., *Química – um Curso Universitário*, 4 ed., São Paulo: Ed. Blücher, 1996.
- 8) MASTERTON, W.L., *Princípios de Química*, 6 ed., Rio de Janeiro: LTC, 1990.

- **cálculo estequiométrico (pureza, rendimento, excesso de reagente), titulação, estequiometria da eletrólise**
- **Lista de exercícios: Estequiometria**