

AULA 9

Condutividade elétrica

OBJETIVOS

- ▶ Reconhecer materiais que são condutores elétricos e entender porque uns conduzem corrente elétrica e outros não;
- ▶ Compreender as condições para que haja condução de eletricidade;
- ▶ Comprovar, experimentalmente, que algumas substâncias, em soluções aquosas ou no estado líquido e fundidas, conduzem a corrente elétrica.

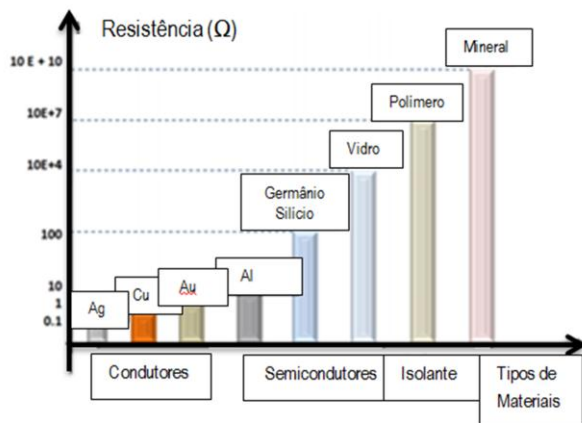
Porque os diversos materiais podem ter usos e comportamentos tão diferentes? A partir das propriedades macroscópicas, chegamos à idealização de modelos (propriedades microscópicas) que melhor expliquem os diferentes comportamentos dos compostos químicos. Através destas propriedades macroscópicas abaixo destacadas podemos explicar as ligações químicas nos compostos.



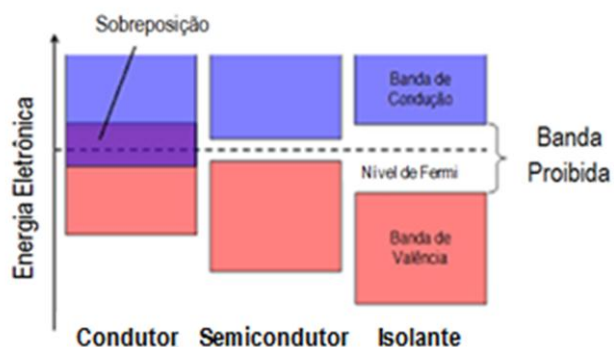
Nesta aula, vamos apenas analisar a **condutividade elétrica**, uma propriedade físico-química importante, observada para alguns compostos químicos.



As propriedades elétricas dos materiais constituem importantes características que determinam suas aplicações. A eletricidade ligada à matéria tem a ver com a propriedade de um determinado material em conduzir a corrente elétrica. A manifestação desta eletricidade pode ser verificada pela medida da condutividade elétrica que difere de um material para outro. Alguns materiais são bons condutores elétricos, outros não, e podem ser classificados como **condutores**, **semicondutores** ou **isolantes**, Figura 1.



(a)



(b)

Fonte: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRHGfOegUu8sMh3zG3KE74FJDoB04ASZxpFHBSbndgmlzPjHil5zA>

Figura 1: (a) Classificação geral dos materiais, (b) Bandas de energia.

A condutividade elétrica (σ) é, portanto, usada para especificar o caráter elétrico de um material.

1ª Lei de Ohm: a intensidade da corrente elétrica que percorre um circuito é diretamente proporcional à força eletromotriz aplicada e inversamente proporcional à resistência total do circuito.

$$I = \frac{V}{R}$$

Onde “I” é a intensidade de corrente elétrica, medida em ampère – A (C/s), “V” é a tensão elétrica aplicada, medida em volt – V (J/C) e “R” a resistência elétrica do circuito, medida em ohm – (V/A).

2ª Lei de Ohm: a resistividade apesar de independente da geometria da amostra está relacionada a R :

$$\rho = \frac{RA}{\ell} \quad \text{ou} \quad \rho = \frac{VA}{I\ell}$$

“ ℓ ” é a distância entre os dois pontos onde é medida a voltagem e “A” é a área da seção reta perpendicular à direção da corrente e é expresso em [Ω.m]. Para Ω leia-se ohm ou mho.

Condutividade elétrica (σ): é o inverso da resistividade, ou seja:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (\Omega.m)^{-1}$$

O siemens (S) é uma unidade do Sistema Internacional de Unidades (SI) que mede a condutividade elétrica. O siemens equivale ao inverso do ohm (Ω). Portanto a unidade de condutividade elétrica pode também ser expressa como S.m⁻¹.

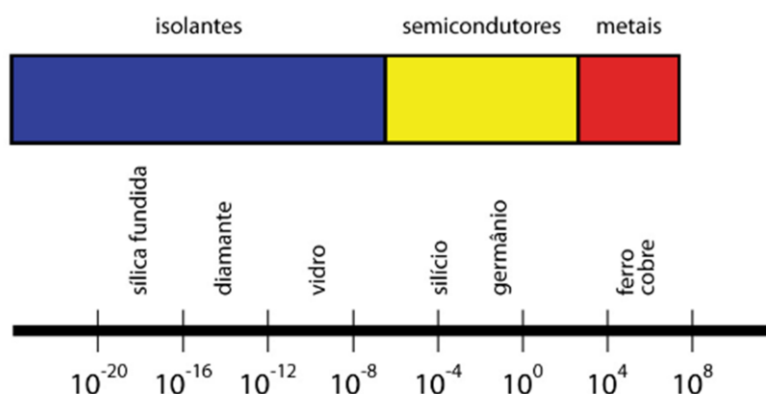


Figura 2: Classificação de alguns materiais em função da condutividade elétrica ($\Omega \cdot m$)⁻¹

Fonte: http://www.pontociencia.org.br/galeria/content/pictures3/ligacao_quimica/isolantes_condutores.jpg

Para o entendimento da condutividade elétrica será utilizado alguns materiais. A condutividade elétrica será observada pelo acendimento ou não da lâmpada. Mas para isso é importante que se saiba o que é corrente elétrica. A corrente elétrica pode ser entendida como o movimento ordenado de **partículas eletricamente carregadas** que circulam por um condutor, quando entre as extremidades desse condutor há uma diferença de potencial, ou seja, tensão. Em outras palavras, a tensão elétrica pode ser entendida como uma "força" responsável pela movimentação de elétrons. Os elétrons e a corrente elétrica não são visíveis a olho nu, mas podemos comprovar sua existência conectando, por exemplo, uma lâmpada a um terminal de geração de corrente elétrica. Entre os terminais do filamento da lâmpada caso exista uma diferença de potencial, com circulação de uma corrente elétrica, a lâmpada irá brilhar.

As partículas eletricamente carregadas são os eletrólitos, substâncias que em um meio de elevada constante dielétrica, como a água, dissociam-se em íons cátions e ânions que se movem na solução, simultaneamente em direções opostas, estabelecendo a corrente elétrica. O íon positivo (cátion) é atraído pelo polo negativo (catodo) e o íon negativo (ânion) é atraído pelo polo positivo (anodo). A dissociação iônica pode ser total ou parcial.

Condutividade em soluções iônicas

A condutividade de soluções iônicas tem importância prática e fundamental. Prática para o desenvolvimento de dispositivos eletroeletrônicos e, fundamental no estudo das propriedades dos íons em solução.

Na Figura 3 vemos uma representação simplificada de uma célula eletrolítica. Uma diferença de potencial é aplicada em um circuito que é fechado em algum ponto pela solução eletrolítica. Para todos os efeitos práticos, a solução eletrolítica tem condutividade bastante menor que os outros componentes do circuito, de forma que a corrente circulante é determinada pelas propriedades da solução.

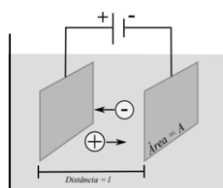
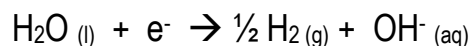
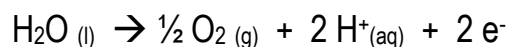


Figura 3: Representação simplificada de uma célula eletrolítica

Nos eletrodos positivo e negativo temos, respectivamente, reações de oxidação e redução. Em soluções aquosas de sais, geralmente as reações são as da hidrólise da água.



A formação de íons de carga positiva nas vizinhanças do eletrodo positivo, e de íons de carga negativa nas vizinhanças do eletrodo negativo, rapidamente neutraliza o potencial aplicado. Enquanto não há difusão de íons de carga oposta aos gerados para neutralizar as cargas dos íons em formação, a reação fica impedida. Desta forma, a condutividade da reação depende da velocidade com que os íons da solução se aproximam dos eletrodos e neutralizam as cargas emergentes. Por esta razão, soluções de eletrólitos, que possuem grandes concentrações de íons, conduzem corrente efetivamente. O estudo da condutividade da solução responde à pergunta: Dada a diferença de potencial aplicada entre os eletrodos, qual a corrente que emerge na solução? Esta corrente depende das características da célula eletrolítica, da natureza do solvente, da concentração da solução e da natureza dos íons da solução.

Condutividade e concentração

A condutividade de uma solução eletrolítica depende, naturalmente, da concentração da solução. Uma solução que não tenha nenhum íon não conduz eletricidade. A água pura tem íons e, portanto tem uma certa condutividade, que é pequena. Quando eletrólitos são adicionados, a condutividade naturalmente aumenta. A condutividade não aumenta sempre na mesma proporção da concentração devido às interações entre íons na solução. Por exemplo, o fluxo de íons de carga positiva na direção do eletrodo negativo tende a aumentar a concentração de íons próximos ao eletrodo. Este aumento repele os próprios íons, diminuindo o fluxo, portanto a corrente. A dependência da condutividade com a concentração, portanto, geralmente tem um perfil semelhante ao apresentado na Figura 4.

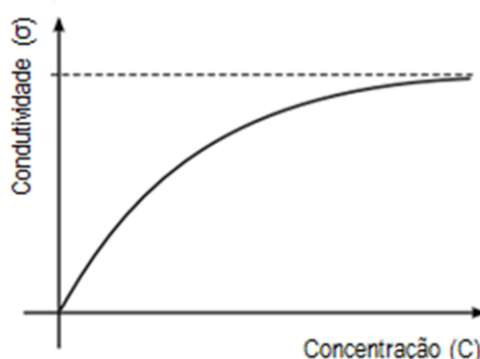
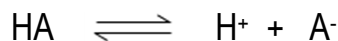


Figura 4: Perfil típico da condutividade em função da concentração

Eletrólito

Existem dois tipos de eletrólitos, o **eletrólito forte**, que corresponde a uma substância completamente dissociada/ionizada em solução, caso do KCl e do HCl, e o **eletrólito fraco**, caso do CH₃COOH, que corresponde a uma substância parcialmente ionizada em solução.

Quando a condutividade é medida para eletrólitos fracos, o **grau de ionização** é determinante. Um eletrólito fraco monoprotico participa de um equilíbrio de ionização do tipo



Defini-se o grau de ionização por

$$\alpha = \frac{[A^-]}{[HA] + [A^-]}$$

onde $[HA] + [A^-] = C_A$ é a concentração total do eletrólito.

Quanto maior o grau de ionização, mais forte é o ácido.

Ácidos fortes	Ácidos moderados	Ácidos fracos
<ul style="list-style-type: none"> • HCl ($\alpha = 92 \%$) • HNO₃ ($\alpha = 92 \%$) • H₂SO₄ ($\alpha = 61 \%$) 	<ul style="list-style-type: none"> • H₂SO₃ ($\alpha = 30 \%$) • H₃PO₄ ($\alpha = 27 \%$) • HF ($\alpha = 8,5 \%$) 	<ul style="list-style-type: none"> • H₂S ($\alpha = 0,076 \%$) • H₃BO₃ ($\alpha = 0,075 \%$) • HCN ($\alpha = 0,008 \%$)

Para entender a condutividade elétrica devemos conhecer o estado físico das substâncias, ou seja: sólido, líquido ou em soluções aquosas, Figura 6 e, ainda, a natureza das substâncias, se iônica, molecular ou metálica, Figura 7.

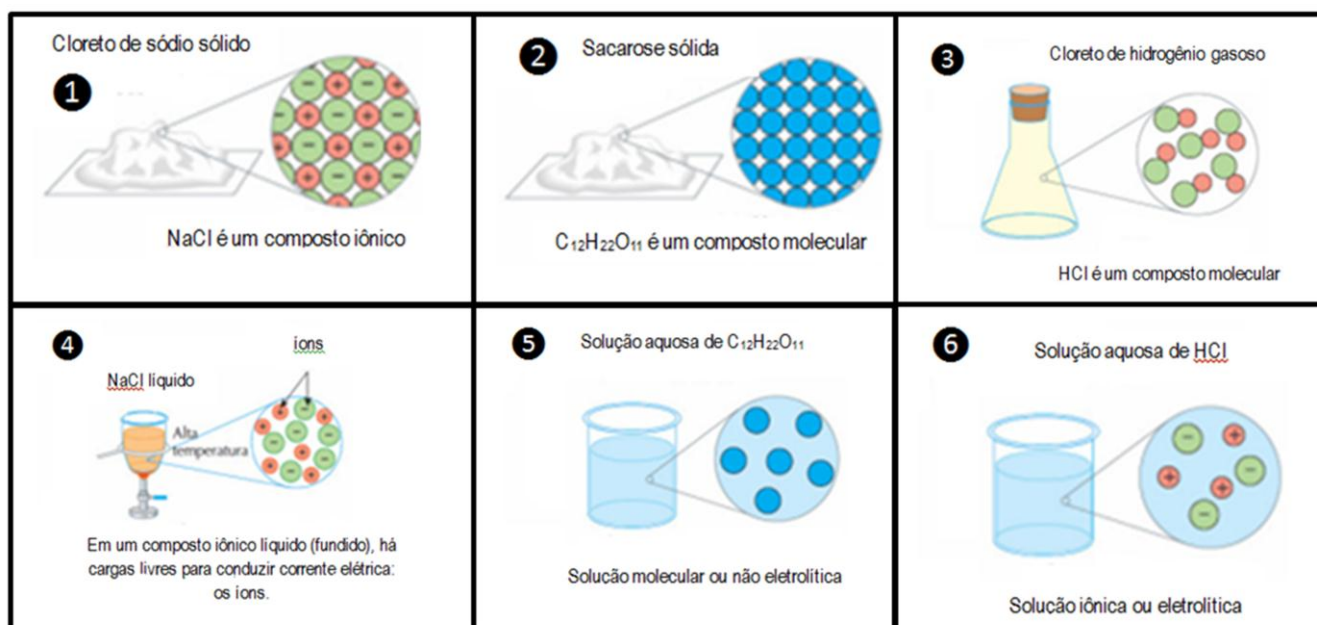


Figura 6: Condições de estudo de condutividade elétrica de substâncias e soluções.

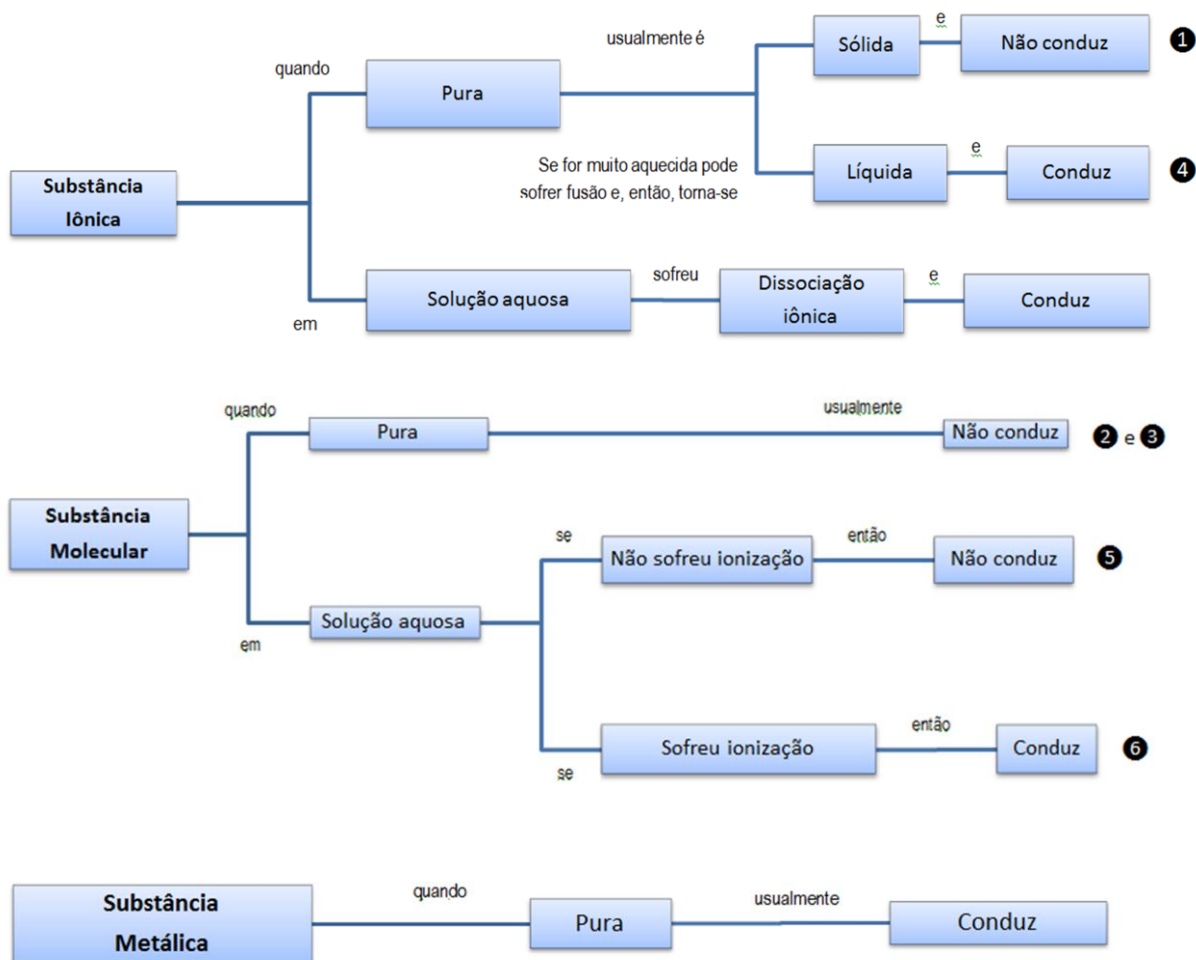


Figura 7: Esquema geral de condutividade elétrica de substâncias, a pressão constante.

No laboratório o aparelho utilizado para medida da condutividade é o **condutímetro**, muito utilizado, por exemplo, na análise da qualidade da água, já que é possível relacionar a presença de minerais na água através da condutividade que ela apresenta. Vários tipos de montagens podem ser construídas para estudar, experimentalmente, a condutividade elétrica das soluções. A Figura 8 mostra um tipo de montagem, com dois fios elétricos, uma lâmpada, um suporte para a lâmpada, dois eletrodos, um plug e um recipiente para colocar as soluções a serem analisadas.

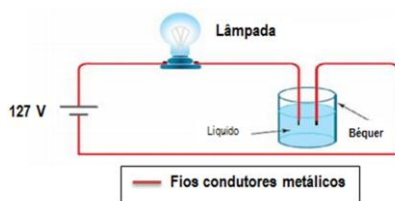


Figura 8: Montagem para verificação da condutividade elétrica

Na "água destilada" ou "água deionizada", conceito de água isenta de outros componentes que não seja H₂O, a condutividade é praticamente zero, o que indica que a água é um isolante elétrico. O mais comum é utilizarmos água destilada (processo de condensação) ou deionizada (quando os sais são removidos), onde a condutividade está em valores entre 0,5 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ a 5 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$.

PARTE PRÁTICA**Procedimento 1: Verificando a condutividade elétrica em materiais SÓLIDOS****Materiais:**

- ✓ 01 “condutímetro”
- ✓ 01 espátula de metal
- ✓ 01 prego
- ✓ 01 pedaço de madeira
- ✓ 01 pedaço de plástico
- ✓ 01 lâmpada incandescente 7 W

Reagentes:

- ✓ Sacarose (C₁₂H₂₂O₁₁)
- ✓ Cloreto de sódio (NaCl)

Vidrarias:

- ✓ 02 vidros de relógio

- a) De acordo com a montagem da Figura 8, para verificação da condutividade, conectar uma lâmpada incandescente 7 W e ligar o aparelho na tomada numa corrente de 127 V. É importante que não se deixe uma ponta do eletrodo encostar na outra ponta.
- b) Colocar os fios metálicos em contato com os extremos opostos da porção do material sólido (Tabela 1) deixando-os afastados por aproximadamente 3 cm um do outro. Anote os resultados na Tabela 1.

À medida que se testa a condutividade de materiais diferentes é conveniente que seja feita a limpeza dos eletrodos. Sempre que for limpar os eletrodos, deve-se desligar o dispositivo.

Tabela 1: Condutividade elétrica em materiais sólidos.

MATERIAIS	CONDUZ CORRENTE ELÉTRICA?	EXPLICAÇÃO DOS RESULTADOS
Prego		
Madeira		
Plástico		
NaCl		
C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁		

Procedimento 2: Verificando a condutividade elétrica em materiais LÍQUIDOS**Materiais:**

- ✓ 01 “condutímetro”
- ✓ 01 espátula de metal
- ✓ 01 lâmpada incandescente 7 W

Vidrarias:

- ✓ 04 béqueres (50 mL)

Reagentes:

- ✓ Água destilada
- ✓ Etanol P.A
- ✓ Sacarose
- ✓ Cloreto de sódio

- a) Adicionar em cada um dos 4 béqueres, disponíveis sobre sua bancada, as seguintes substâncias:
- Béquer 1: 20 mL de água destilada
 - Béquer 2: 20 mL de etanol P.A.
 - Béquer 3: uma ponta de espátula com sacarose em 20 mL de água destilada
 - Béquer 4: uma ponta de espátula com cloreto de sódio em 20 mL de água destilada

- b) Em seguida, conectar uma lâmpada incandescente 7 W e ligar o aparelho na tomada numa corrente de 127 V.
 c) Após, mergulhar os fios em cada um dos materiais, deixando-os afastados por aproximadamente 3 cm um do outro. Anote os resultados na Tabela 2.

Tabela 2: Condutividade elétrica em materiais líquidos

MATERIAIS	CONDUZ CORRENTE ELÉTRICA?	EXPLICAÇÃO DOS RESULTADOS
Água destilada		
Etanol P.A		
$C_{12}H_{22}O_{11}$		
NaCl		

OBS: Descartar os materiais líquidos, conforme orientação do professor. Lavar os béqueres com água destilada para uso posterior.

Procedimento 3: Verificando a força de ácidos através da condutividade elétrica

Materiais:

- ✓ 01 "condutímetro"
- ✓ 01 lâmpada incandescente de 7 W
- ✓ 01 lâmpada incandescente halógena 60 W

Reagentes:

- ✓ Água destilada
- ✓ Solução de CH_3COOH 0,5 mol/L
- ✓ Solução de HCl 0,1 mol/L

Vidrarias:

- ✓ 03 béqueres (50 mL)

- a) Inserir no aparelho duas lâmpadas: uma de potência 7 W e outra de potência 60 W.
 b) Em seguida, adicionar em cada um dos 3 béqueres, disponíveis sobre sua bancada, as seguintes soluções:
 - Béquer 1: 40 mL de solução de ácido acético 0,5 mol/L
 - Béquer 2: 40 mL de solução de ácido clorídrico 0,1 mol/L
 c) Verificar a condutividade, conectando o aparelho na tomada numa corrente de 127 V e anotar os resultados na Tabela 3.

Tabela 3: Força ácida através da condutividade

ÁCIDOS	LÂMPADAS		CONDUZ CORRENTE ELÉTRICA?	EXPLICAÇÃO
	Incandescente 7 W	Incandescente halógena 60 W		
CH_3COOH 0,5 mol/L				
HCl 0,1 mol/L				

Procedimento 4: Verificando a condutividade elétrica em função da concentração**Materiais:**

- ✓ 01 “condutímetro”
- ✓ 01 lâmpada incandescente halógena 60 W

Reagentes:

- ✓ Água destilada
- ✓ Solução de NaCl 0,5 mol/L

Vidrarias:

- ✓ 03 béqueres (50 mL)
- ✓ 01 pipeta graduada (10 mL)
- ✓ 02 balões volumétricos (50 mL)

- a) Para todos os itens abaixo, verificar a condutividade com uma lâmpada incandescente halógena 60W e conectar o aparelho na tomada numa corrente de 127 V.
- b) Adicionar em um béquer de 50 mL, 40 mL de solução de NaCl 0,5 mol/L e verificar a condutividade.
- c) Com o auxílio de uma pipeta graduada, transferir 10 mL da solução contida no béquer do item “a” para um balão volumétrico de 50 mL e completar o volume com água destilada (**1ª diluição**). Verificar a condutividade.
- d) Com o auxílio de uma pipeta graduada, transferir 10 mL da solução diluída 1 para um balão volumétrico de 50 mL e completar o volume com água destilada (**2ª diluição**). Verificar a condutividade.
- e) Anotar na tabela 4 a intensidade da luminosidade da lâmpada: (+++) – intensidade mais forte, (++) – intensidade média, (+) – intensidade mais fraca.

Tabela 4: Condutividade elétrica em função da concentração.

SOLUÇÃO DE NaCl	CONCENTRAÇÃO (mol/L)	INTENSIDADE DA LUMINOSIDADE DA LÂMPADA	EXPLICAÇÃO DOS RESULTADOS
Mais concentrada			
1ª diluição			
2ª diluição			

Procedimento 5: Verificando a condutividade elétrica após reação química**Materiais:**

- ✓ 01 aparelho para verificar a condutividade elétrica
- ✓ 01 lâmpada halógena 60 W

Reagentes:

- ✓ Solução de NH_4OH 0,5 mol/L
- ✓ Solução de ácido acético 0,5 mol/L
- ✓ **Indicador azul de bromotimol**

Vidrarias:

- ✓ 01 béquer (50 mL)

- a) Adicionar em um béquer 5 mL de solução de hidróxido de amônio 0,5 mol/L. Pingar duas gotas de azul de bromotimol.
- b) Em seguida, com o uso do aparelho para verificação da condutividade contendo uma lâmpada incandescente halógena 60 W, inserir os fios metálicos na solução. Verificar.
- c) Logo após, sem retirar os eletrodos do béquer, adicionar algumas gotas de solução de ácido acético 0,5 mol/L e observar novamente.

Explique porque a lâmpada acendeu após adição de solução de ácido acético.

Referências Bibliográficas:

1. www.ufjf.br/quimicaead/files/2013/09/FQ_II_Condutividade.pdf
2. https://www.leonardo-energy.org.br/wp-content/uploads/2018/02/Doc-19-1-Cap-1_Condutores_apostila.pdf
3. gpquae.iqm.unicamp.br/experimentos/E1.pdf

Auto Avaliação

1. (EEM-SP) Uma substância “A” conduz corrente elétrica quando fundida ou em solução aquosa. Outra substância “B” só a conduz em solução de solvente apropriado e uma terceira “C” a conduz no estado sólido. Qual o tipo de ligação existente em cada uma das substâncias A, B e C?
2. A resistividade é a grandeza oposta à condutividade elétrica. Sendo assim, a partir dos valores de resistividade elétrica fornecidos abaixo, marque a alternativa correta:

MATERIAIS	RESISTIVIDADE ($\Omega \cdot m$)
Cobre	$1,7 \times 10^{-8}$
Alumínio	$2,8 \times 10^{-8}$
Ferro	$1,0 \times 10^{-7}$
Vidro	Entre 10^{10} e 10^{14}
Quartzo	$7,5 \times 10^{15}$

<https://exercicios.brasilecola.uol.com.br>

- a. O ferro é melhor condutor elétrico que o cobre;
- b. De todos os materiais listados, o vidro é o que apresenta maior resistência à passagem da corrente elétrica;
- c. Por ser excelente condutor, o quartzo é muito utilizado na fabricação de relógios;
- d. O cobre é o melhor condutor apresentado;
- e. A condutividade do alumínio é maior que a do cobre.