

Capítulo 24 - Capacitância e Dielétricos

RODRIGO ALVES DIAS

Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

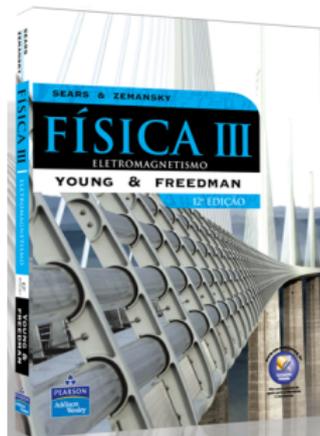
Livro texto: Física 3 - Eletromagnetismo

Autores: Sears e Zemansky

Edição: 12^a

Editora: Pearson - Addison and Wesley

27 de abril de 2010



Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ A natureza dos capacitores e como calcular a grandeza que mede a sua capacidade de armazenar energia.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ A natureza dos capacitores e como calcular a grandeza que mede a sua capacidade de armazenar energia.
- ▶ Como analisar capacitores conectados em rede.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ A natureza dos capacitores e como calcular a grandeza que mede a sua capacidade de armazenar energia.
- ▶ Como analisar capacitores conectados em rede.
- ▶ Como calcular a quantidade de energia armazenada em um capacitor.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ A natureza dos capacitores e como calcular a grandeza que mede a sua capacidade de armazenar energia.
- ▶ Como analisar capacitores conectados em rede.
- ▶ Como calcular a quantidade de energia armazenada em um capacitor.
- ▶ O que são dielétricos e como eles aumentam a eficácia dos capacitores.

- ▶ Quando comprimimos uma mola armazenamos energia mecânica sob a forma de energia potencial.

- ▶ Quando comprimimos uma mola armazenamos energia mecânica sob a forma de energia potencial.
- ▶ Um capacitor é um dispositivo que armazena energia potencial elétrica e carga elétrica.

- ▶ Quando comprimimos uma mola armazenamos energia mecânica sob a forma de energia potencial.
- ▶ Um capacitor é um dispositivo que armazena energia potencial elétrica e carga elétrica.

Como fazer um capacitor?

- ▶ Quando comprimimos uma mola armazenamos energia mecânica sob a forma de energia potencial.
- ▶ Um capacitor é um dispositivo que armazena energia potencial elétrica e carga elétrica.

Como fazer um capacitor?

1. Coloque um isolante entre dois condutores.

- ▶ Quando comprimimos uma mola armazenamos energia mecânica sob a forma de energia potencial.
- ▶ Um capacitor é um dispositivo que armazena energia potencial elétrica e carga elétrica.

Como fazer um capacitor?

1. Coloque um isolante entre dois condutores.
2. Para armazenar energia transfira cargas de condutor para outro de modo que fiquem com cargas iguais porém de sinais opostos.

- ▶ Quando comprimimos uma mola armazenamos energia mecânica sob a forma de energia potencial.
- ▶ Um capacitor é um dispositivo que armazena energia potencial elétrica e carga elétrica.

Como fazer um capacitor?

1. Coloque um isolante entre dois condutores.
2. Para armazenar energia transfira cargas de condutor para outro de modo que fiquem com cargas iguais porém de sinais opostos.
3. O trabalho realizado para deslocar essas cargas é armazenado sob a forma de energia potencial elétrica. (Diferença de potencial resultante).

- ▶ Quando comprimimos uma mola armazenamos energia mecânica sob a forma de energia potencial.
- ▶ Um capacitor é um dispositivo que armazena energia potencial elétrica e carga elétrica.

Como fazer um capacitor?

1. Coloque um isolante entre dois condutores.
2. Para armazenar energia transfira cargas de condutor para outro de modo que fiquem com cargas iguais porém de sinais opostos.
3. O trabalho realizado para deslocar essas cargas é armazenado sob a forma de energia potencial elétrica. (Diferença de potencial resultante).
4. A razão entre a carga acumulada em um capacitor e a diferença de potencial resultante é uma constante. (Capacitância).

- ▶ Quando comprimimos uma mola armazenamos energia mecânica sob a forma de energia potencial.
- ▶ Um capacitor é um dispositivo que armazena energia potencial elétrica e carga elétrica.

Como fazer um capacitor?

1. Coloque um isolante entre dois condutores.
2. Para armazenar energia transfira cargas de condutor para outro de modo que fiquem com cargas iguais porém de sinais opostos.
3. O trabalho realizado para deslocar essas cargas é armazenado sob a forma de energia potencial elétrica. (Diferença de potencial resultante).
4. A razão entre a carga acumulada em um capacitor e a diferença de potencial resultante é uma constante. (Capacitância).
5. A (Capacitância) depende das dimensões, da forma e do material (caso exista) entre os condutores.

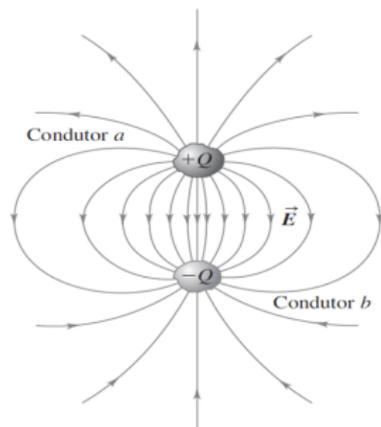
- ▶ Quando comprimimos uma mola armazenamos energia mecânica sob a forma de energia potencial.
- ▶ Um capacitor é um dispositivo que armazena energia potencial elétrica e carga elétrica.

Como fazer um capacitor?

1. Coloque um isolante entre dois condutores.
2. Para armazenar energia transfira cargas de condutor para outro de modo que fiquem com cargas iguais porém de sinais opostos.
3. O trabalho realizado para deslocar essas cargas é armazenado sob a forma de energia potencial elétrica. **(Diferença de potencial resultante)**.
4. A razão entre a carga acumulada em um capacitor e a diferença de potencial resultante é uma constante. **(Capacitância)**.
5. A **(Capacitância)** depende das **dimensões**, da **forma** e do **material** (caso exista) entre os condutores.
6. Caso exista um material isolante (ou dielétrico) entre os condutores a **capacitância será maior**, devido a uma redistribuição de cargas **(polarização)**.

Um capacitor é um sistema constituído por dois condutores separados por um isolante.

1. Inicialmente os condutores possuem carga líquida igual a zero. (Descarregado)
2. Quando elétrons são transferidos de um condutor para outro, dizemos que o capacitor está sendo carregado.

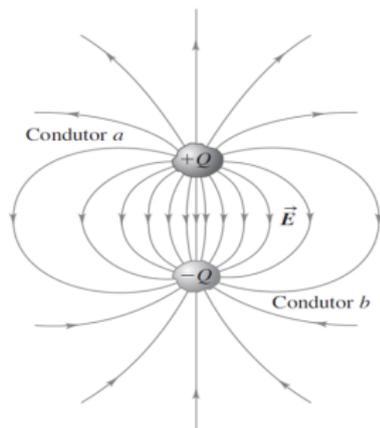


Um capacitor é um sistema constituído por dois condutores separados por um isolante.

1. Inicialmente os condutores possuem carga líquida igual a zero. (Descarregado)
2. Quando elétrons são transferidos de um condutor para outro, dizemos que o capacitor está sendo carregado.
3. No equilíbrio os condutores possuem cargas iguais mais de sinais opostos e a carga líquida no capacitor permanece nula.

Quando afirmamos que um capacitor possui carga Q queremos dizer que:

1. O condutor que está em um potencial mais elevado possui carga $+Q$.

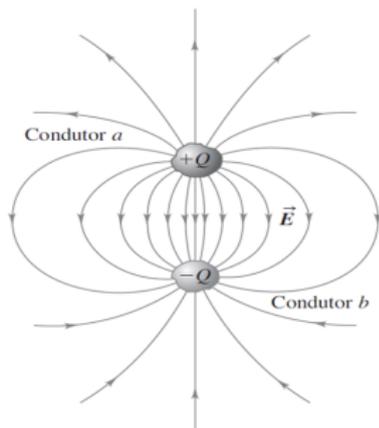


Um capacitor é um sistema constituído por dois condutores separados por um isolante.

1. Inicialmente os condutores possuem carga líquida igual a zero. (Descarregado)
2. Quando elétrons são transferidos de um condutor para outro, dizemos que o capacitor está sendo carregado.
3. No equilíbrio os condutores possuem cargas iguais mais de sinais opostos e a carga líquida no capacitor permanece nula.

Quando afirmamos que um capacitor possui carga Q queremos dizer que:

1. O condutor que está em um potencial mais elevado possui carga $+Q$.
2. O condutor que está em um potencial mais baixo possui carga $-Q$.



- ▶ Em diagramas de circuito os capacitores são representados pelos símbolos: $\text{—}||\text{—}$ ou $\text{—}\epsilon\text{—}$.

- ▶ Em diagramas de circuito os capacitores são representados pelos símbolos: $\text{—}||\text{—}$ ou $\text{—}|\epsilon\text{—}$.
- ▶ Para carregar capacitores conectamos este aos terminais de uma bateria.

- ▶ Em diagramas de circuito os capacitores são representados pelos símbolos: $\text{—}||\text{—}$ ou $\text{—}|\epsilon\text{—}$.
- ▶ Para carregar capacitores conectamos este aos terminais de uma bateria.
- ▶ Quando as cargas $+Q$ e $-Q$ estão sobre os condutores, os fios são desconectados.

- ▶ Em diagramas de circuito os capacitores são representados pelos símbolos: —|—|— ou —|— .
- ▶ Para carregar capacitores conectamos este aos terminais de uma bateria.
- ▶ Quando as cargas $+Q$ e $-Q$ estão sobre os condutores, os fios são desconectados.
- ▶ Isso fornece uma *diferença de potencial* fixa, V_{ab} entre os condutores que é precisamente igual a voltagem da bateria.

- ▶ Em diagramas de circuito os capacitores são representados pelos símbolos: $\text{—}||\text{—}$ ou $\text{—}|\epsilon\text{—}$.
- ▶ Para carregar capacitores conectamos este aos terminais de uma bateria.
- ▶ Quando as cargas $+Q$ e $-Q$ estão sobre os condutores, os fios são desconectados.
- ▶ Isso fornece uma *diferença de potencial* fixa, V_{ab} entre os condutores que é precisamente igual a voltagem da bateria.
- ▶ O campo elétrico em qualquer ponto da região entre os condutores é proporcional à carga Q . ($E \sim Q$)

- ▶ Em diagramas de circuito os capacitores são representados pelos símbolos: ⊥ ou $\text{⊥} \in$.
- ▶ Para carregar capacitores conectamos este aos terminais de uma bateria.
- ▶ Quando as cargas $+Q$ e $-Q$ estão sobre os condutores, os fios são desconectados.
- ▶ Isso fornece uma *diferença de potencial* fixa, V_{ab} entre os condutores que é precisamente igual a voltagem da bateria.
- ▶ O campo elétrico em qualquer ponto da região entre os condutores é proporcional à carga Q . ($E \sim Q$)
- ▶ Como a diferença de potencial é dada por $V_{ab} = \int \vec{E} \cdot d\vec{l}$, então $V_{ab} \sim Q$.

- ▶ Em diagramas de circuito os capacitores são representados pelos símbolos: ⊥ ou $\text{⊥} \epsilon$.
- ▶ Para carregar capacitores conectamos este aos terminais de uma bateria.
- ▶ Quando as cargas $+Q$ e $-Q$ estão sobre os condutores, os fios são desconectados.
- ▶ Isso fornece uma *diferença de potencial* fixa, V_{ab} entre os condutores que é precisamente igual a voltagem da bateria.
- ▶ O campo elétrico em qualquer ponto da região entre os condutores é proporcional à carga Q . ($E \sim Q$)
- ▶ Como a diferença de potencial é dada por $V_{ab} = \int \vec{E} \cdot d\vec{l}$, então $V_{ab} \sim Q$.
- ▶ Logo, $\frac{V_{ab}}{Q} \sim \text{Constante}$, que é independente da carga.

A **capacitância** do capacitor é definida por:

$$C = \frac{Q}{V_{ab}}$$

A **capacitância** do capacitor é definida por:

$$C = \frac{Q}{V_{ab}}$$

No S.I. a unidade de capacitância é um **fadad**, ($1\text{F}=1\text{fadad}=1\text{Coulomb/Volt}$) :

A **capacitância** do capacitor é definida por:

$$C = \frac{Q}{V_{ab}}$$

No S.I. a unidade de capacitância é um **fadad**, ($1\text{F}=1\text{fadad}=1\text{Coulomb/Volt}$) :

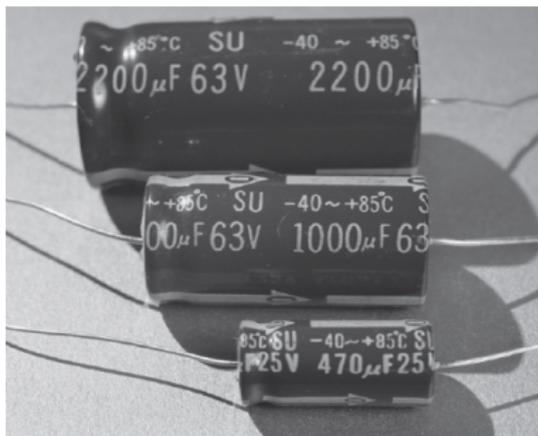
- ▶ Quanto maior a capacitância C maior o modulo de Q para uma dada diferença de potencial V_{ab} , portanto, maior energia armazenada.

A **capacitância** do capacitor é definida por:

$$C = \frac{Q}{V_{ab}}$$

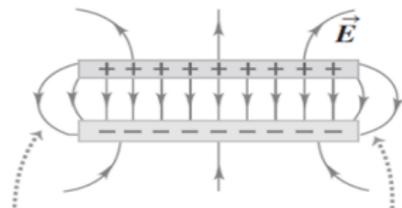
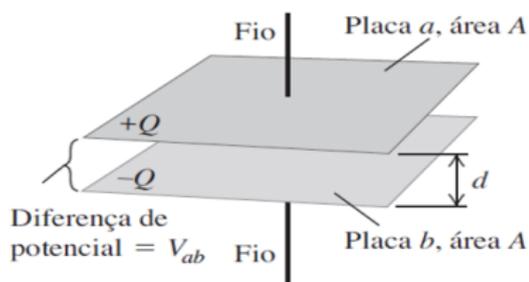
No S.I. a unidade de capacitância é um **fadad**, ($1\text{F}=1\text{fadad}=1\text{Coulomb/Volt}$) :

- ▶ Quanto maior a capacitância C maior o modulo de Q para uma dada diferença de potencial V_{ab} , portanto, maior energia armazenada.
- ▶ **A capacitância é a medida da capacidade de armazenar energia de um dado capacitor.**



Capacitor com placas paralelas.

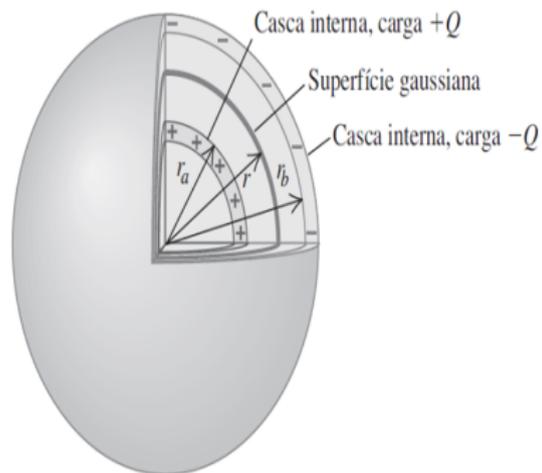
$$C = \frac{Q}{V_{ab}}$$



Quando a distância entre as placas é menor do que as dimensões das placas, a distorção do campo elétrico nas bordas do capacitor é desprezível.

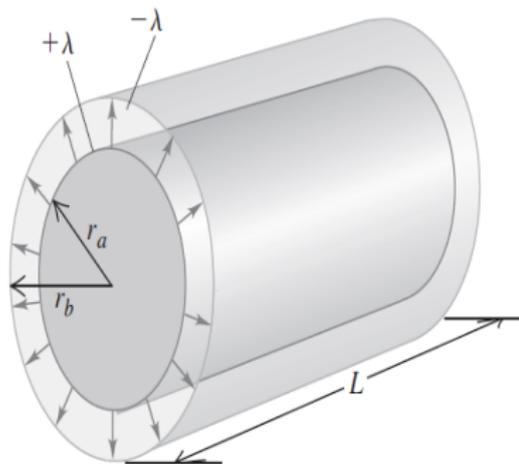
Capacitor Esférico.

$$C = \frac{Q}{V_{ab}}$$



Capacitor Cilíndrico.

$$C = \frac{Q}{V_{ab}}$$



Capacitores em Série

Em uma ligação em série, o módulo de cada carga em todas as placas é sempre o mesmo.

Capacitores em Série

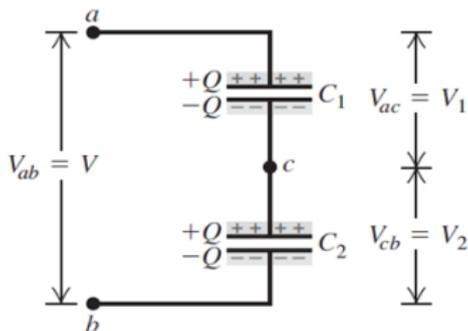
Em uma ligação em série, o módulo de cada carga em todas as placas é sempre o mesmo.

$$V_{ac} = V_1 = \frac{Q}{C_1}$$

Capacitores em série:

- Os capacitores possuem a mesma carga Q .
- A soma das diferenças de potencial é:

$$V_{ac} + V_{cb} = V_{ab}$$



Capacitores em Série

Em uma ligação em série, o módulo de cada carga em todas as placas é sempre o mesmo.

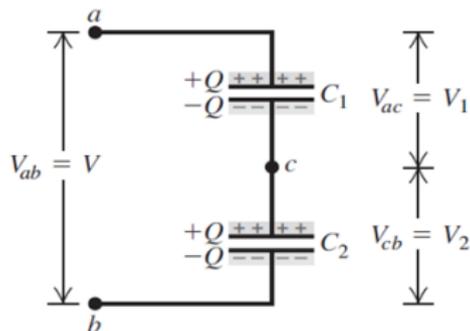
$$V_{ac} = V_1 = \frac{Q}{C_1}$$

$$V_{cb} = V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

Capacitores em série:

- Os capacitores possuem a mesma carga Q .
- A soma das diferenças de potencial é:

$$V_{ac} + V_{cb} = V_{ab}$$



Capacitores em Série

Em uma ligação em série, o módulo de cada carga em todas as placas é sempre o mesmo.

$$V_{ac} = V_1 = \frac{Q}{C_1}$$

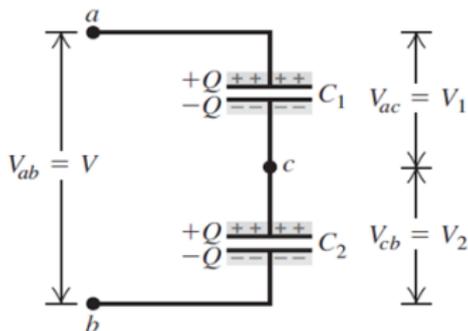
$$V_{cb} = V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$V_{ab} = V = V_1 + V_2 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

Capacitores em série:

- Os capacitores possuem a mesma carga Q .
- A soma das diferenças de potencial é:

$$V_{ac} + V_{cb} = V_{ab}$$



Capacitores em Série

Em uma ligação em série, o módulo de cada carga em todas as placas é sempre o mesmo.

$$V_{ac} = V_1 = \frac{Q}{C_1}$$

$$V_{cb} = V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

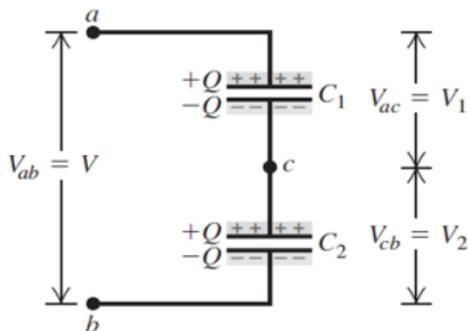
$$V_{ab} = V = V_1 + V_2 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

$$\frac{V}{Q} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

Capacitores em série:

- Os capacitores possuem a mesma carga Q .
- A soma das diferenças de potencial é:

$$V_{ac} + V_{cb} = V_{ab}$$



Capacitores em Série

Em uma ligação em série, o módulo de cada carga em todas as placas é sempre o mesmo.

$$V_{ac} = V_1 = \frac{Q}{C_1}$$

$$V_{cb} = V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$V_{ab} = V = V_1 + V_2 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

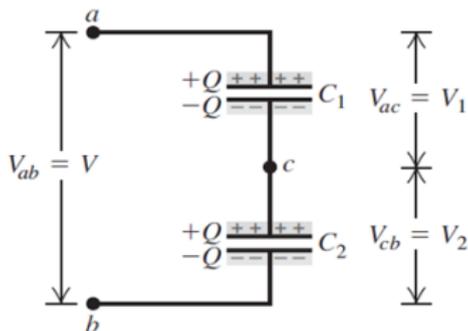
$$\frac{V}{Q} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

$$C_{eq} = \frac{Q}{V} \rightarrow \frac{1}{C_{eq}} = \frac{V}{Q}$$

Capacitores em série:

- Os capacitores possuem a mesma carga Q .
- A soma das diferenças de potencial é:

$$V_{ac} + V_{cb} = V_{ab}$$



Capacitores em Série

Em uma ligação em série, o módulo de cada carga em todas as placas é sempre o mesmo.

$$V_{ac} = V_1 = \frac{Q}{C_1}$$

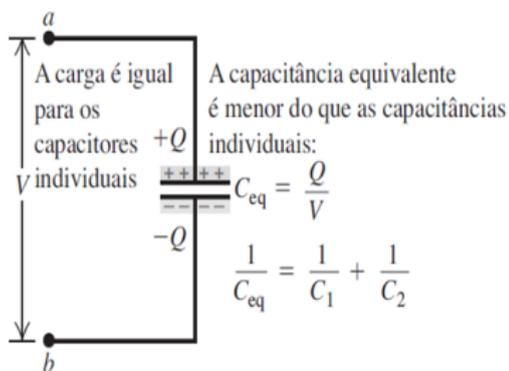
$$V_{cb} = V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$V_{ab} = V = V_1 + V_2 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

$$\frac{V}{Q} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

$$C_{eq} = \frac{Q}{V} \rightarrow \frac{1}{C_{eq}} = \frac{V}{Q}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$



Capacitores em Série

Em uma ligação em série, o módulo de cada carga em todas as placas é sempre o mesmo.

$$V_{ac} = V_1 = \frac{Q}{C_1}$$

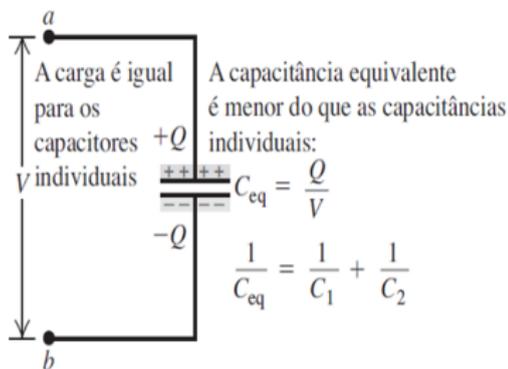
$$V_{cb} = V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$V_{ab} = V = V_1 + V_2 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

$$\frac{V}{Q} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

$$C_{eq} = \frac{Q}{V} \rightarrow \frac{1}{C_{eq}} = \frac{V}{Q}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$



Para um número qualquer de capacitores em série temos:

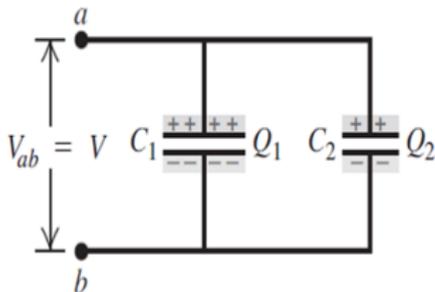
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Capacitores em Paralelo

Em uma ligação em paralelo, a diferença de potencial é a mesma através de todos os capacitores.

Capacitores em paralelo:

- Os capacitores possuem o mesmo potencial V .
- A carga em cada capacitor depende da sua capacitância: $Q_1 = C_1V$, $Q_2 = C_2V$.



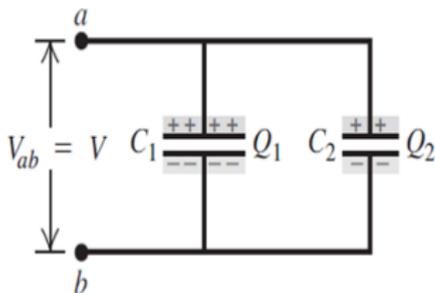
Capacitores em Paralelo

Em uma ligação em paralelo, a diferença de potencial é a mesma através de todos os capacitores.

$$Q_1 = VC_1$$

Capacitores em paralelo:

- Os capacitores possuem o mesmo potencial V .
- A carga em cada capacitor depende da sua capacitância: $Q_1 = C_1V$, $Q_2 = C_2V$.



Capacitores em Paralelo

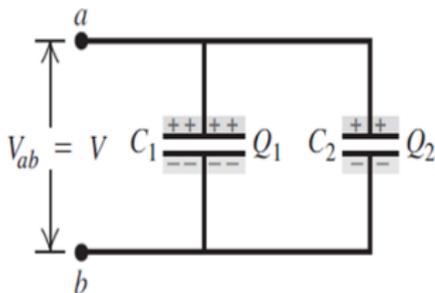
Em uma ligação em paralelo, a diferença de potencial é a mesma através de todos os capacitores.

$$Q_1 = VC_1$$

$$Q_2 = VC_2$$

Capacitores em paralelo:

- Os capacitores possuem o mesmo potencial V .
- A carga em cada capacitor depende da sua capacitância: $Q_1 = C_1V$, $Q_2 = C_2V$.



Capacitores em Paralelo

Em uma ligação em paralelo, a diferença de potencial é a mesma através de todos os capacitores.

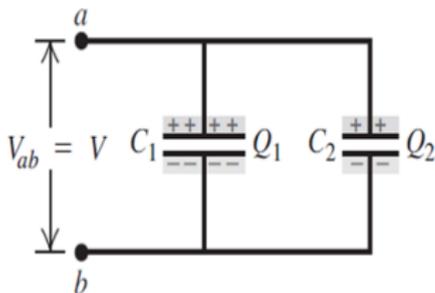
$$Q_1 = VC_1$$

$$Q_2 = VC_2$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = (C_1 + C_2)V$$

Capacitores em paralelo:

- Os capacitores possuem o mesmo potencial V .
- A carga em cada capacitor depende da sua capacitância: $Q_1 = C_1V$, $Q_2 = C_2V$.



Capacitores em Paralelo

Em uma ligação em paralelo, a diferença de potencial é a mesma através de todos os capacitores.

$$Q_1 = VC_1$$

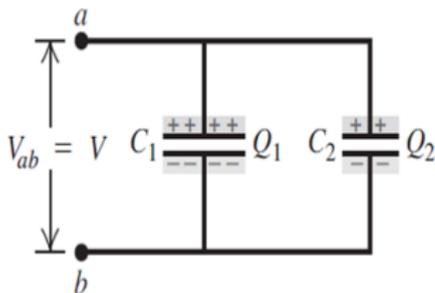
$$Q_2 = VC_2$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = (C_1 + C_2)V$$

$$\frac{Q}{V} = C_{eq} = C_1 + C_2$$

Capacitores em paralelo:

- Os capacitores possuem o mesmo potencial V .
- A carga em cada capacitor depende da sua capacitância: $Q_1 = C_1V$, $Q_2 = C_2V$.



Capacitores em Paralelo

Em uma ligação em paralelo, a diferença de potencial é a mesma através de todos os capacitores.

$$Q_1 = VC_1$$

$$Q_2 = VC_2$$

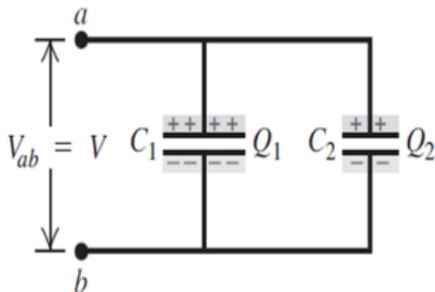
$$Q = Q_1 + Q_2 = (C_1 + C_2)V$$

$$\frac{Q}{V} = C_{eq} = C_1 + C_2$$

Para um número qualquer de capacitores em paralelo temos:

Capacitores em paralelo:

- Os capacitores possuem o mesmo potencial V .
- A carga em cada capacitor depende da sua capacitância: $Q_1 = C_1V$, $Q_2 = C_2V$.



Capacitores em Paralelo

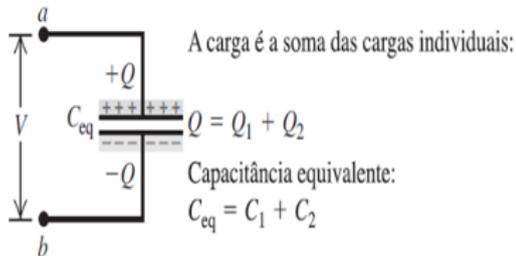
Em uma ligação em paralelo, a diferença de potencial é a mesma através de todos os capacitores.

$$Q_1 = VC_1$$

$$Q_2 = VC_2$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = (C_1 + C_2)V$$

$$\frac{Q}{V} = C_{eq} = C_1 + C_2$$



Para um número qualquer de capacitores em paralelo temos:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Trabalho para carregar um capacitor

A energia potencial elétrica armazenada em um capacitor carregado é exatamente igual ao trabalho necessário para separar cargas opostas e depositá-las em diferentes condutores.

Como o trabalho é dado por, $W_{a \rightarrow b} = qV_{ab}$ então para uma dada diferença de potencial:

Trabalho para carregar um capacitor

A energia potencial elétrica armazenada em um capacitor carregado é exatamente igual ao trabalho necessário para separar cargas opostas e depositá-las em diferentes condutores.

Como o trabalho é dado por, $W_{a \rightarrow b} = qV_{ab}$ então para uma dada diferença de potencial:

$$dW = Vdq$$

Trabalho para carregar um capacitor

A energia potencial elétrica armazenada em um capacitor carregado é exatamente igual ao trabalho necessário para separar cargas opostas e depositá-las em diferentes condutores.

Como o trabalho é dado por, $W_{a \rightarrow b} = qV_{ab}$ então para uma dada diferença de potencial:

$$dW = Vdq$$

$$C = q/V$$

Trabalho para carregar um capacitor

A energia potencial elétrica armazenada em um capacitor carregado é exatamente igual ao trabalho necessário para separar cargas opostas e depositá-las em diferentes condutores.

Como o trabalho é dado por, $W_{a \rightarrow b} = qV_{ab}$ então para uma dada diferença de potencial:

$$dW = Vdq$$

$$C = q/V$$

$$dW = \frac{qdq}{C}$$

Trabalho para carregar um capacitor

A energia potencial elétrica armazenada em um capacitor carregado é exatamente igual ao trabalho necessário para separar cargas opostas e depositá-las em diferentes condutores.

Como o trabalho é dado por, $W_{a \rightarrow b} = qV_{ab}$ então para uma dada diferença de potencial:

$$dW = Vdq$$

$$C = q/V$$

$$dW = \frac{qdq}{C}$$

$$W = \frac{1}{C} \int_0^Q qdq = \frac{Q^2}{2C}$$

Esse trabalho é igual ao trabalho total realizado pelo campo elétrico sobre a carga quando o capacitor é descarregado.

Definindo como zero a energia potencial de um capacitor *descarregado* então o trabalho W é igual a energia potencial U do capacitor carregado. Como a carga acumulada é dada por $Q = CV$, então:

Trabalho para carregar um capacitor

A energia potencial elétrica armazenada em um capacitor carregado é exatamente igual ao trabalho necessário para separar cargas opostas e depositá-las em diferentes condutores.

Como o trabalho é dado por, $W_{a \rightarrow b} = qV_{ab}$ então para uma dada diferença de potencial:

$$dW = Vdq$$

$$C = q/V$$

$$dW = \frac{q dq}{C}$$

$$W = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq = \frac{Q^2}{2C}$$

Esse trabalho é igual ao trabalho total realizado pelo campo elétrico sobre a carga quando o capacitor é descarregado.

Definindo como zero a energia potencial de um capacitor *descarregado* então o trabalho W é igual a energia potencial U do capacitor carregado. Como a carga acumulada é dada por $Q = CV$, então:

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CV^2}{2} = \frac{QV}{2}$$

Energia do campo elétrico

Gastamos energia para transferir elétrons de um condutor para outro.

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CV^2}{2} = \frac{QV}{2}$$

Energia do campo elétrico

Gastamos energia para transferir elétrons de um condutor para outro.

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CV^2}{2} = \frac{QV}{2}$$

Podemos imaginar que a energia gasta ficou armazenado na forma de um campo elétrico, \vec{E} entre os condutores.

Energia do campo elétrico

Gastamos energia para transferir elétrons de um condutor para outro.

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CV^2}{2} = \frac{QV}{2}$$

Podemos imaginar que a energia gasta ficou armazenado na forma de um campo elétrico, \vec{E} entre os condutores.

Para um capacitor de placas paralelas com área A e separado por uma distância d , a **densidade de energia**, u_E , armazenada no campo elétrico será a **energia por unidade de volume**. Assim,

$$u_E = \text{densidade de energia} = \frac{U}{Vol} = \frac{\frac{CV^2}{2}}{Ad}$$

Energia do campo elétrico

Gastamos energia para transferir elétrons de um condutor para outro.

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CV^2}{2} = \frac{QV}{2}$$

Podemos imaginar que a energia gasta ficou armazenado na forma de um campo elétrico, \vec{E} entre os condutores.

Para um capacitor de placas paralelas com área A e separado por uma distância d , a **densidade de energia**, u_E , armazenada no campo elétrico será a **energia por unidade de volume**. Assim,

$$u_E = \text{densidade de energia} = \frac{U}{\text{Vol}} = \frac{\frac{CV^2}{2}}{Ad}$$
$$V = Ed$$

Energia do campo elétrico

Gastamos energia para transferir elétrons de um condutor para outro.

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CV^2}{2} = \frac{QV}{2}$$

Podemos imaginar que a energia gasta ficou armazenado na forma de um campo elétrico, \vec{E} entre os condutores.

Para um capacitor de placas paralelas com área A e separado por uma distância d , a **densidade de energia**, u_E , armazenada no campo elétrico será a **energia por unidade de volume**. Assim,

$$u_E = \text{densidade de energia} = \frac{U}{\text{Vol}} = \frac{CV^2}{Ad}$$

$$V = Ed$$

$$u_E = \frac{CE^2d^2}{2d} = \frac{Cd}{A} \frac{E^2}{2}$$

Energia do campo elétrico

Gastamos energia para transferir elétrons de um condutor para outro.

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CV^2}{2} = \frac{QV}{2}$$

Podemos imaginar que a energia gasta ficou armazenado na forma de um campo elétrico, \vec{E} entre os condutores.

Para um capacitor de placas paralelas com área A e separado por uma distância d , a **densidade de energia**, u_E , armazenada no campo elétrico será a **energia por unidade de volume**. Assim,

$$u_E = \text{densidade de energia} = \frac{U}{\text{Vol}} = \frac{\frac{CV^2}{2}}{Ad}$$

$$V = Ed$$

$$u_E = \frac{CE^2 d^2}{2d} = \frac{Cd}{A} \frac{E^2}{2}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \rightarrow \frac{Cd}{A} = \epsilon_0$$

Energia do campo elétrico

Gastamos energia para transferir elétrons de um condutor para outro.

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CV^2}{2} = \frac{QV}{2}$$

Podemos imaginar que a energia gasta ficou armazenado na forma de um campo elétrico, \vec{E} entre os condutores.

Para um capacitor de placas paralelas com área A e separado por uma distância d , a **densidade de energia**, u_E , armazenada no campo elétrico será a **energia por unidade de volume**. Assim,

$$u_E = \text{densidade de energia} = \frac{U}{\text{Vol}} = \frac{CV^2}{Ad}$$

$$V = Ed$$

$$u_E = \frac{CE^2d^2}{2d} = \frac{Cd}{A} \frac{E^2}{2}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \rightarrow \frac{Cd}{A} = \epsilon_0$$

$$u_E = \frac{\epsilon_0 E^2}{2}$$

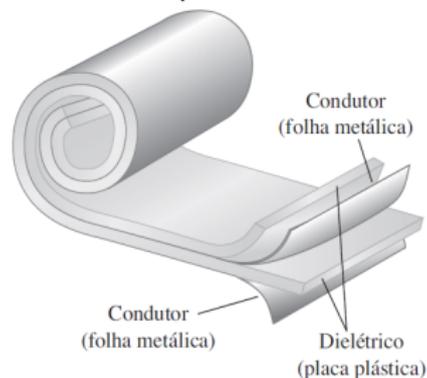
Essa relação é válida para qualquer configuração de campo elétrico no vácuo.

Dielétricos

Um **dielétrico** é geralmente um **material isolante** colocado entre as placas condutoras de um capacitor.

Um dielétrico sólido entre as placas de um condutor possui 3 objetivos:

1. Manter duas grandes placas metálicas separadas por uma distância d pequena.
2. Tornar possível aumentar a diferença de potencial máxima entre as placas.
3. A capacitância de um capacitor com dimensões fixas com um dielétrico é maior que o mesmo no vácuo.



Dielétricos

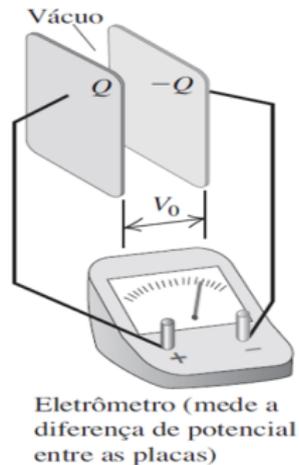
Um **dielétrico** é geralmente um **material isolante** colocado entre as placas condutoras de um capacitor.

Um dielétrico sólido entre as placas de um condutor possui 3 objetivos:

1. Manter duas grandes placas metálicas separadas por uma distância d pequena.
2. Tornar possível aumentar a diferença de potencial máxima entre as placas.
3. A capacitância de um capacitor com dimensões fixas com um dielétrico é maior que o mesmo no vácuo.

Observamos experimentalmente que:

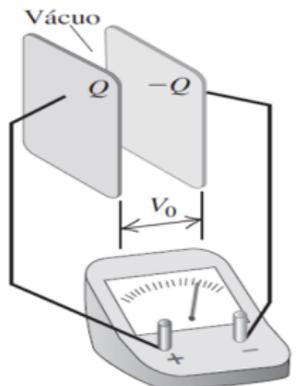
- ▶ inserindo o dielétrico a diferença de potencial **diminui**, $V_0 \rightarrow V$.



Um **dielétrico** é geralmente um **material isolante** colocado entre as placas condutoras de um capacitor.

Um dielétrico sólido entre as placas de um condutor possui 3 objetivos:

1. Manter duas grandes placas metálicas separadas por uma distância d pequena.
2. Tornar possível aumentar a diferença de potencial máxima entre as placas.
3. A capacitância de um capacitor com dimensões fixas com um dielétrico é maior que o mesmo no vácuo.



Eletrometro (mede a diferença de potencial entre as placas)

Observamos experimentalmente que:

- ▶ inserindo o dielétrico a diferença de potencial **diminui**, $V_0 \rightarrow V$.
- ▶ retirando o dielétrico a diferença de potencial **retorna**, $V \rightarrow V_0$.
- ▶ mostrando que as cargas originais do capacitor não se alteram.

Observamos experimentalmente que:

- ▶ inserindo o dielétrico a diferença de potencial **diminui**, $V_0 \rightarrow V$.
- ▶ retirando o dielétrico a diferença de potencial **retorna**, $V \rightarrow V_0$.
- ▶ mostrando que as cargas originais do capacitor não se alteram.
- ▶ A capacitância inicial é $C_0 = Q/V_0 \rightarrow V_0 = Q/C_0$.

Observamos experimentalmente que:

- ▶ inserindo o dielétrico a diferença de potencial **diminui**, $V_0 \rightarrow V$.
- ▶ retirando o dielétrico a diferença de potencial **retorna**, $V \rightarrow V_0$.
- ▶ mostrando que as cargas originais do capacitor não se alteram.
- ▶ A capacitância inicial é $C_0 = Q/V_0 \rightarrow V_0 = Q/C_0$.
- ▶ A capacitância com o dielétrico é $C = Q/V \rightarrow V = Q/C$.

Observamos experimentalmente que:

- ▶ inserindo o dielétrico a diferença de potencial **diminui**, $V_0 \rightarrow V$.
- ▶ retirando o dielétrico a diferença de potencial **retorna**, $V \rightarrow V_0$.
- ▶ mostrando que as cargas originais do capacitor não se alteram.
- ▶ A capacitância inicial é $C_0 = Q/V_0 \rightarrow V_0 = Q/C_0$.
- ▶ A capacitância com o dielétrico é $C = Q/V \rightarrow V = Q/C$.
- ▶ Como $V < V_0$ e Q é constante, então $C > C_0$.

Observamos experimentalmente que:

- ▶ inserindo o dielétrico a diferença de potencial **diminui**, $V_0 \rightarrow V$.
- ▶ retirando o dielétrico a diferença de potencial **retorna**, $V \rightarrow V_0$.
- ▶ mostrando que as cargas originais do capacitor não se alteram.
- ▶ A capacitância inicial é $C_0 = Q/V_0 \rightarrow V_0 = Q/C_0$.
- ▶ A capacitância com o dielétrico é $C = Q/V \rightarrow V = Q/C$.
- ▶ Como $V < V_0$ e Q é constante, então $C > C_0$.

Quando o espaço entre as placas está completamente preenchido pelo dielétrico, a **Constante dielétrica**, é definida por:

$$K = \frac{C}{C_0}$$

Observamos experimentalmente que:

- ▶ inserindo o dielétrico a diferença de potencial **diminui**, $V_0 \rightarrow V$.
- ▶ retirando o dielétrico a diferença de potencial **retorna**, $V \rightarrow V_0$.
- ▶ mostrando que as cargas originais do capacitor não se alteram.
- ▶ A capacitância inicial é $C_0 = Q/V_0 \rightarrow V_0 = Q/C_0$.
- ▶ A capacitância com o dielétrico é $C = Q/V \rightarrow V = Q/C$.
- ▶ Como $V < V_0$ e Q é constante, então $C > C_0$.

Quando o espaço entre as placas está completamente preenchido pelo dielétrico, a **Constante dielétrica**, é definida por:

$$K = \frac{C}{C_0}$$

Quando a carga, Q , é constante podemos escrever:

$$K = \frac{C}{C_0} = \frac{Q/V}{Q/V_0} = \frac{V_0}{V} \rightarrow V = \frac{V_0}{K}$$

Quando o dielétrico está presente, a diferença de potencial para uma carga fixa Q é **reduzida** de um fator igual a K .

Quando o espaço entre as placas está completamente preenchido pelo dielétrico, a **Constante dielétrica**, é definida por:

$$K = \frac{C}{C_0}$$

Quando a carga, Q , é constante podemos escrever:

$$K = \frac{C}{C_0} = \frac{Q/V}{Q/V_0} = \frac{V_0}{V} \rightarrow V = \frac{V_0}{K}$$

Quando o dielétrico está presente, a diferença de potencial para uma carga fixa Q é **reduzida** de um fator igual a K .

- ▶ A constante dielétrica K é um número puro.

Quando o espaço entre as placas está completamente preenchido pelo dielétrico, a **Constante dielétrica**, é definida por:

$$K = \frac{C}{C_0}$$

Quando a carga, Q , é constante podemos escrever:

$$K = \frac{C}{C_0} = \frac{Q/V}{Q/V_0} = \frac{V_0}{V} \rightarrow V = \frac{V_0}{K}$$

Quando o dielétrico está presente, a diferença de potencial para uma carga fixa Q é **reduzida** de um fator igual a K .

- ▶ A constante dielétrica K é um número puro.
- ▶ Como $C > C_0$ então $K > 1$ sempre!

Quando o espaço entre as placas está completamente preenchido pelo dielétrico, a **Constante dielétrica**, é definida por:

$$K = \frac{C}{C_0}$$

Quando a carga, Q , é constante podemos escrever:

$$K = \frac{C}{C_0} = \frac{Q/V}{Q/V_0} = \frac{V_0}{V} \rightarrow V = \frac{V_0}{K}$$

Quando o dielétrico está presente, a diferença de potencial para uma carga fixa Q é **reduzida** de um fator igual a K .

- ▶ A constante dielétrica K é um número puro.
- ▶ Como $C > C_0$ então $K > 1$ sempre!
- ▶ Por definição, no vácuo temos $C = C_0$ então $K = 1$ para o vácuo.

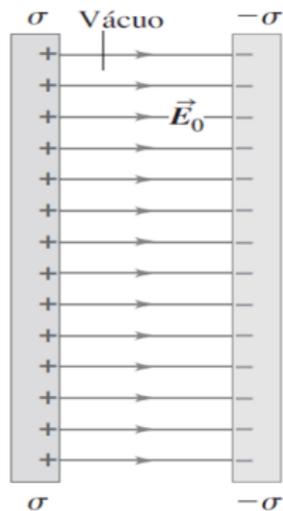
Carga induzida e polarização

Vimos que quando a carga, Q , é constante podemos escrever:

$$V = \frac{V_0}{K}$$

Como o campo elétrico está relacionado com a diferença de potencial pela equação,

$$V = \int \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{V_0}{K}$$
$$V_0 = \int K\vec{E} \cdot d\vec{l} = \int \vec{E}_0 \cdot d\vec{l}$$



Carga induzida e polarização

Vimos que quando a carga, Q , é constante podemos escrever:

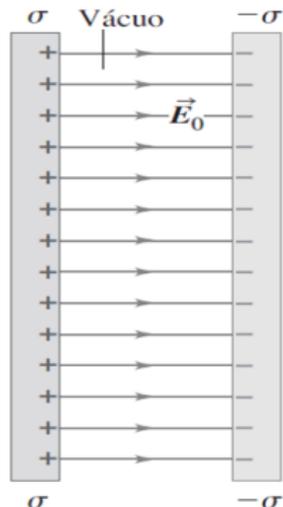
$$V = \frac{V_0}{K}$$

Como o campo elétrico está relacionado com a diferença de potencial pela equação,

$$V = \int \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{V_0}{K}$$

$$V_0 = \int K\vec{E} \cdot d\vec{l} = \int \vec{E}_0 \cdot d\vec{l}$$

$$E = \frac{E_0}{K}$$



Carga induzida e polarização

$$V = \int \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{V_0}{K}$$

$$V_0 = \int K\vec{E} \cdot d\vec{l} = \int \vec{E}_0 \cdot d\vec{l}$$

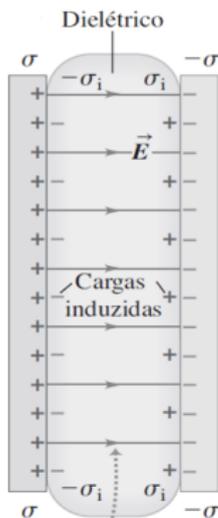
$$E = \frac{E_0}{K}$$

Como o campo elétrico entre duas placas condutoras sem o dielétrico é dado por: $E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$, então:

$$E = \frac{\sigma}{K\epsilon_0} \rightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Onde denomina-se como a **permissividade** do dielétrico por:

$$\epsilon = K\epsilon_0$$



Para uma dada densidade de carga σ , as cargas induzidas sobre as superfícies dielétricas reduzem o campo elétrico entre as placas.

Carga induzida e polarização

Como o campo elétrico entre duas placas condutoras sem o dielétrico é dado por: $E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$, então:

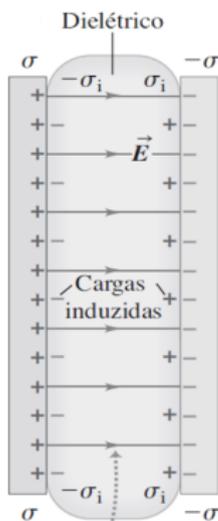
$$E = \frac{\sigma}{K\epsilon_0} \rightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Onde denomina-se como a **permissividade** do dielétrico por:

$$\epsilon = K\epsilon_0$$

A capacitância de um capacitor com um material dielétrico entre as placas será,

$$C = KC_0 = K\epsilon_0 \frac{A}{d} \rightarrow C = \epsilon \frac{A}{d}$$



Para uma dada densidade de carga σ , as cargas induzidas sobre as superfícies dielétricas reduzem o campo elétrico entre as placas.

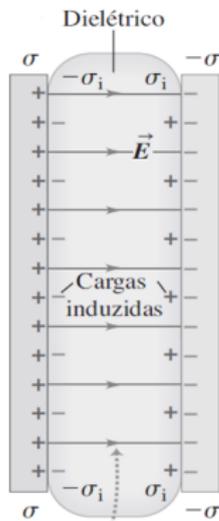
Carga induzida e polarização

A capacitância de um capacitor com um material dielétrico entre as placas será,

$$C = KC_0 = K\epsilon_0 \frac{A}{d} \rightarrow C = \epsilon \frac{A}{d}$$

A densidade de energia u_E com um material dielétrico entre as placas será,

$$u_E = \frac{K\epsilon_0 E^2}{2} \rightarrow u_E = \frac{\epsilon E^2}{2}$$

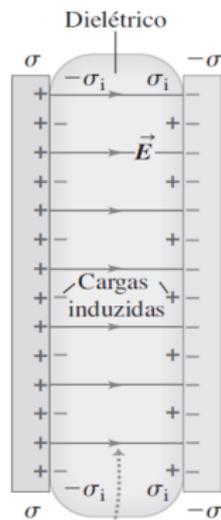


Para uma dada densidade de carga σ , as cargas induzidas sobre as superfícies dielétricas reduzem o campo elétrico entre as placas.

Carga induzida e polarização

Por outro lado, como o **módulo do campo elétrico** é **menor** quando o dielétrico está presente, então a **densidade de carga** que gera o campo elétrico também deve ser **menor**. Como,

$$E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} ; E = \frac{\sigma - \sigma_i}{\epsilon_0} ; E = \frac{E_0}{K}$$



Para uma dada densidade de carga σ , as cargas induzidas sobre as superfícies dielétricas reduzem o campo elétrico entre as placas.

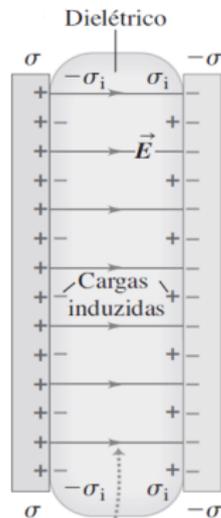
Carga induzida e polarização

Por outro lado, como o **módulo do campo elétrico é menor** quando o dielétrico está presente, então a **densidade de carga** que gera o campo elétrico também deve ser **menor**. Como,

$$E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} ; E = \frac{\sigma - \sigma_i}{\epsilon_0} ; E = \frac{E_0}{K}$$

A densidade de carga induzida será,

$$\sigma_i = \sigma \left(1 - \frac{1}{K} \right)$$



Para uma dada densidade de carga σ , as cargas induzidas sobre as superfícies dielétricas reduzem o campo elétrico entre as placas.

Ruptura dielétrica

Quando um dielétrico é submetido a um **campo elétrico suficientemente forte** ocorre uma **ruptura dielétrica** e o dielétrico se transforma em um condutor.

Ruptura dielétrica

Quando um dielétrico é submetido a um **campo elétrico suficientemente forte** ocorre uma **ruptura dielétrica** e o dielétrico se transforma em um condutor.

O **modulo do campo elétrico máximo** que um material pode suportar sem que ocorra ruptura dielétrica se denomina-se **rigidez dielétrica**.

Ruptura dielétrica

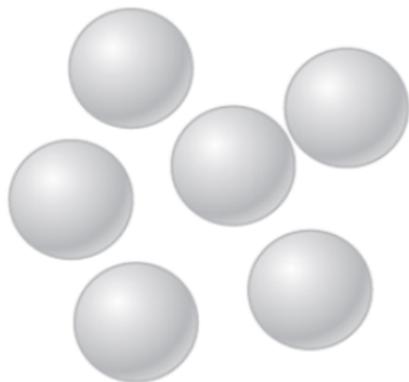
Quando um dielétrico é submetido a um **campo elétrico suficientemente forte** ocorre uma **ruptura dielétrica** e o dielétrico se transforma em um condutor.

O **modulo do campo elétrico máximo** que um material pode suportar sem que ocorra ruptura dielétrica se denomina-se **rigidez dielétrica**.

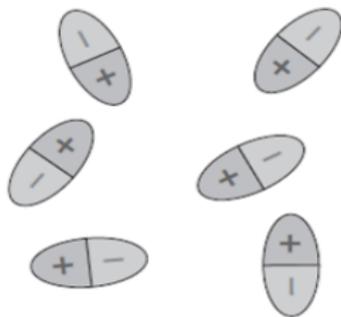


Um campo elétrico extremamente forte produziu ruptura dielétrica neste bloco de plexiglas. O escoamento resultante das cargas gravou esta configuração no bloco.

Modelo molecular da carga induzida

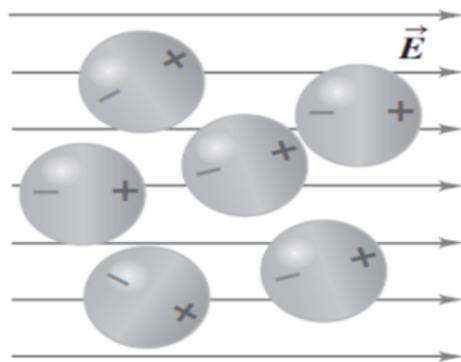


Na ausência de um campo elétrico, as moléculas não-polares não são dipolos elétricos

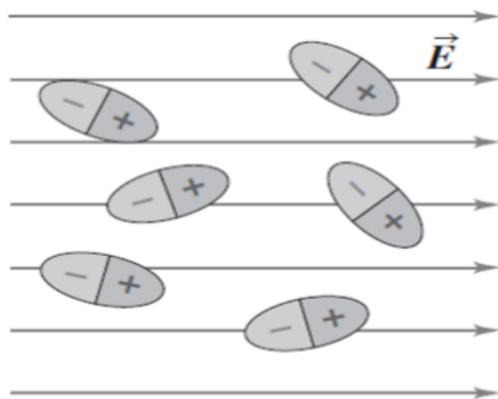


As moléculas polares possuem orientações caóticas, quando não existe nenhum campo elétrico aplicado

Modelo molecular da carga induzida

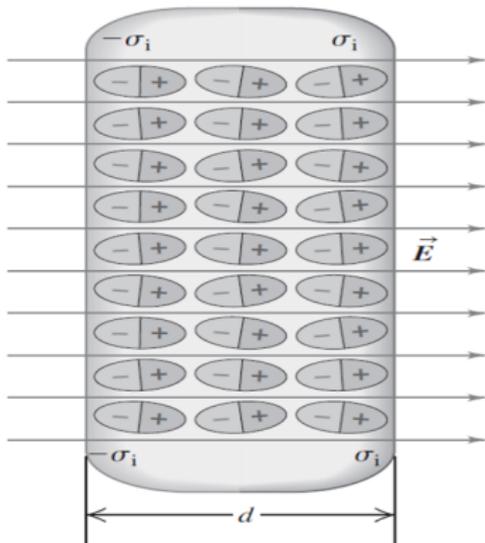


Um campo elétrico provoca uma ligeira separação entre as cargas negativa e positiva da molécula, tornando-a efetivamente polar

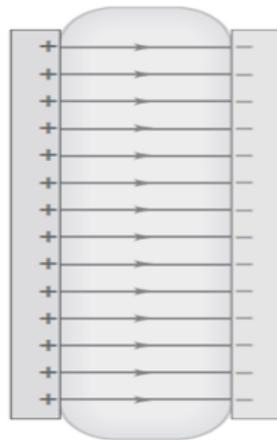


As moléculas tendem a se alinhar quando há um campo elétrico aplicado

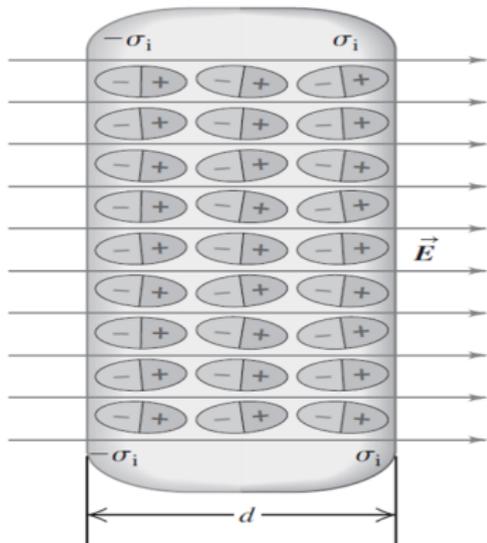
Modelo molecular da carga induzida



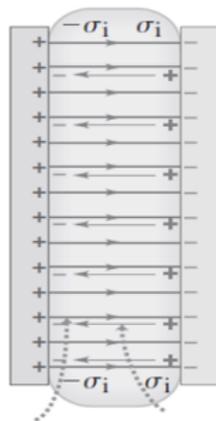
Após inserção
do dielétrico



Modelo molecular da carga induzida



Cargas induzidas
criam campo elétrico



Campo elétrico
original

Campo mais fraco no
dielétrico, devido a cargas
induzidas (ligadas)

Modelo molecular da carga induzida

