



Capítulo 29 - O Potencial Elétrico

Instrutor: Prof. Carlos Eduardo Souza - Cadu

**Sala: A2-15 (IF, andar 1P)
Email: carloseduardosouza@id.uff.br**



O Potencial elétrico

Em linhas gerais...

Se vc for na wikipédia:



WIKIPEDIA

Potencial elétrico é a capacidade que um corpo energizado tem de realizar trabalho, ou seja, atrair ou repelir outras cargas elétricas...

Uma boa maneira de introduzir o conceito.



Em linhas gerais...

Se vc for na wikipédia:

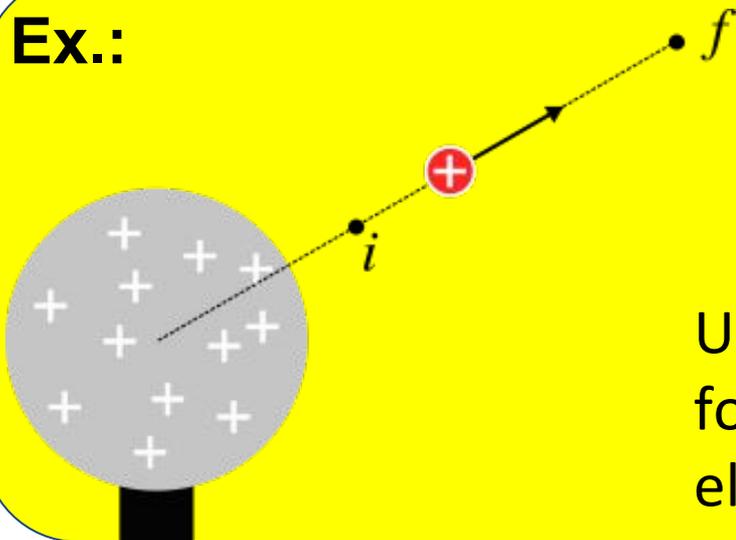


WIKIPEDIA

Potencial elétrico é a capacidade que um corpo energizado tem de realizar trabalho, ou seja, atrair ou repelir outras cargas elétricas...

Uma boa maneira de introduzir o conceito.

Ex.:



Uma partícula positiva é acelerada (sujeita a uma força elétrica) entre os pontos i e f . O campo elétrico é o agente responsável pela força elétrica.



O Potencial elétrico

Em linhas gerais...

$$\vec{E} \Rightarrow \vec{F}$$

$$V(x) \Rightarrow \textit{Energia}$$



O Potencial elétrico

Em linhas gerais...

$$\vec{E} \Rightarrow \vec{F}$$

$$V(x) \Rightarrow \textit{Energia}$$



**O Potencial elétrico não é a Energia
Potencial elétrica!!**



O Potencial elétrico

Objetivos

- Rediscutir o conceito de Energia potencial elétrica ($E_p \equiv U$)
- Definir a grandeza Potencial elétrico (V), a partir de U
- Calcular o Potencial elétrico de alguns sistemas de cargas



O Potencial elétrico

Objetivos

- Rediscutir o conceito de Energia potencial elétrica ($E_p \equiv U$)
- Definir a grandeza Potencial elétrico (V), a partir de U
- Calcular o Potencial elétrico de alguns sistemas de cargas



O Potencial elétrico

Energia potencial: E_p ou U

O conceito de *energia potencial* vem da análise de *sistemas conservativos*...

$$E_{mec} = K + U = cte$$

$U \equiv$ energia de interação do sistema

$$\Delta U = -W_{forças\ de\ interação}$$

Ex.:



Ao longo da evolução, as forças do sistema realizam trabalho.

O Potencial elétrico

Vejamos no quadro a analogia entre os casos elétrico e gravitacional

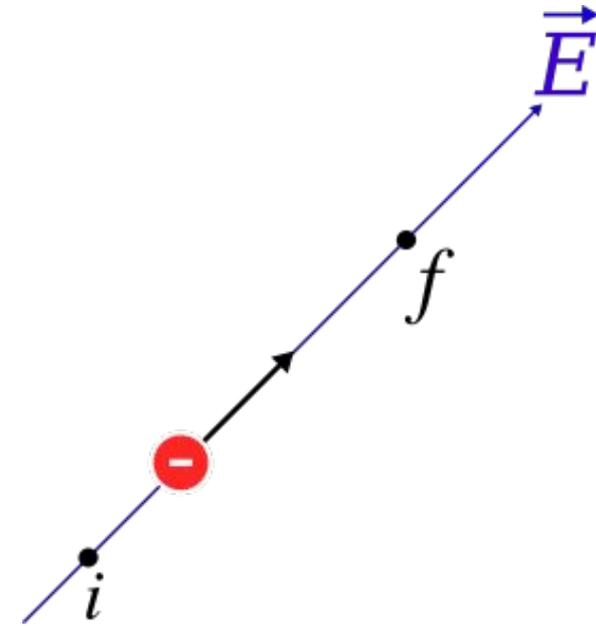




O Potencial elétrico

Teste Conceitual

Um elétron se move de $i \rightarrow f$, na direção de um campo elétrico uniforme.



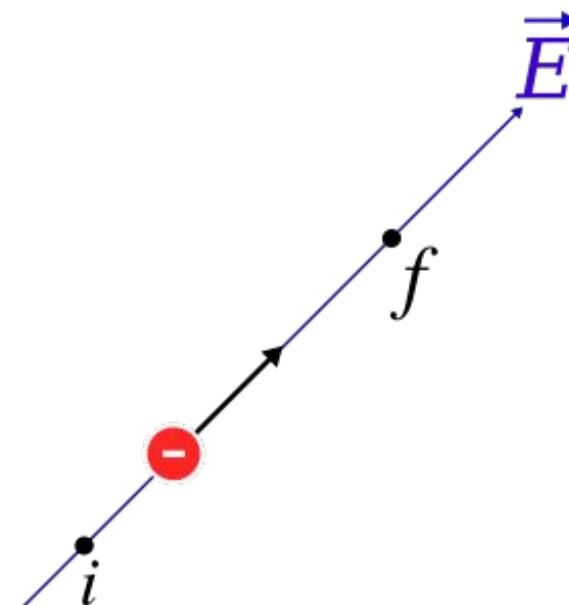
- A) O trabalho feito pelo campo é positivo e a energia potencial do sistema elétron-campo aumenta.
- B) O trabalho feito pelo campo é negativo e a energia potencial do sistema elétron-campo aumenta.
- C) O trabalho feito pelo campo é positivo e a energia potencial do sistema elétron-campo diminui.
- D) O trabalho feito pelo campo é negativo e a energia potencial do sistema elétron-campo diminui.



O Potencial elétrico

Teste Conceitual

Um elétron se move de $i \rightarrow f$, na direção de um campo elétrico uniforme.

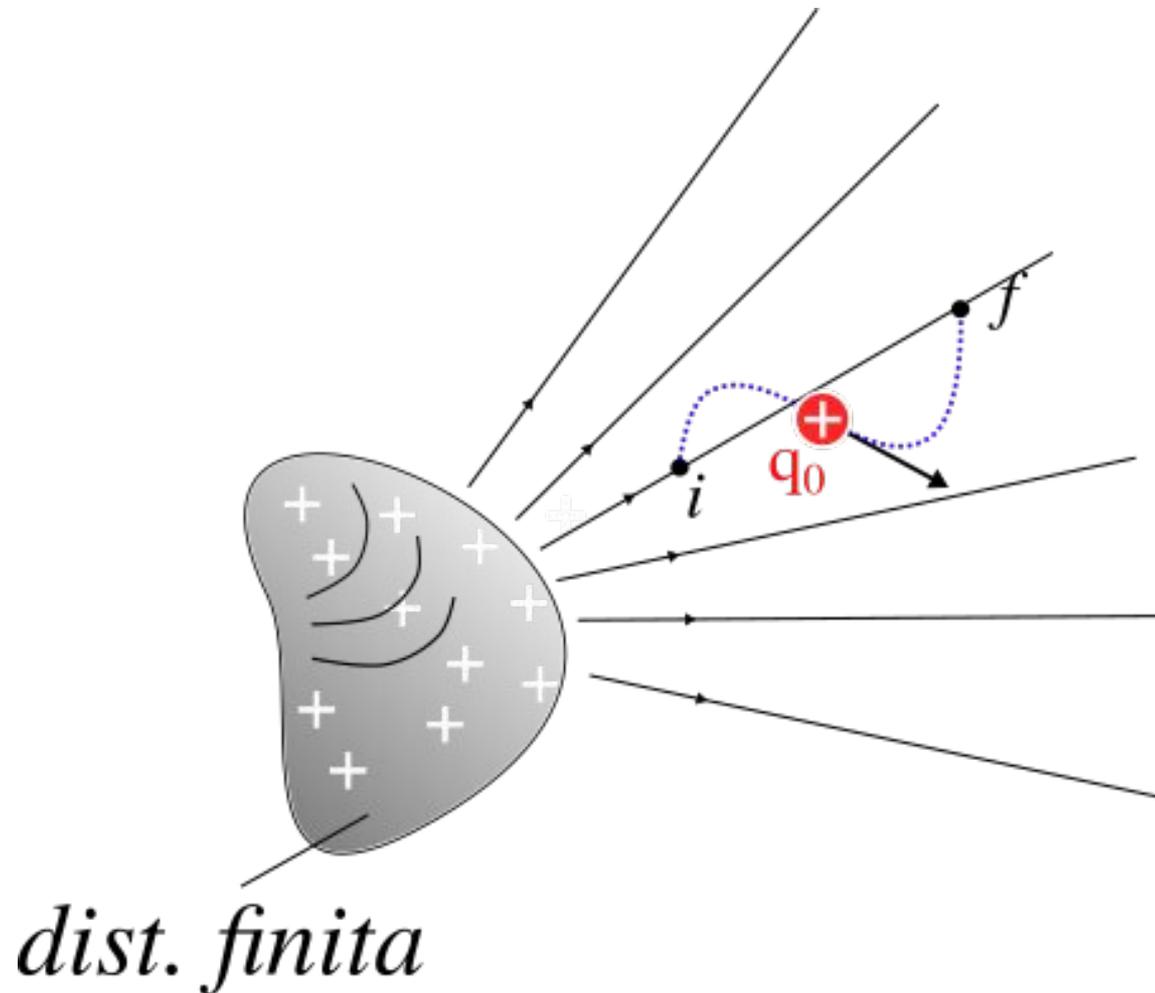


- A) O trabalho feito pelo campo é positivo e a energia potencial do sistema elétron-campo aumenta.
- B) O trabalho feito pelo campo é negativo e a energia potencial do sistema elétron-campo aumenta.**
- C) O trabalho feito pelo campo é positivo e a energia potencial do sistema elétron-campo diminui.
- D) O trabalho feito pelo campo é negativo e a energia potencial do sistema elétron-campo diminui.



O Potencial elétrico

O Potencial elétrico em distribuições contínuas de carga.



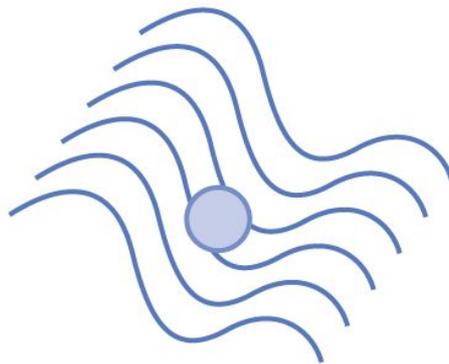


O Potencial elétrico

Trabalhando com uma abordagem de **energia...**

O potencial elétrico

Definição: $V \equiv \frac{U_{q+\text{fontes}}}{q}$



Se a carga q encontra-se sob a ação do potencial, sua energia potencial elétrica é igual a $U_{q+\text{fontes}} = qV$.

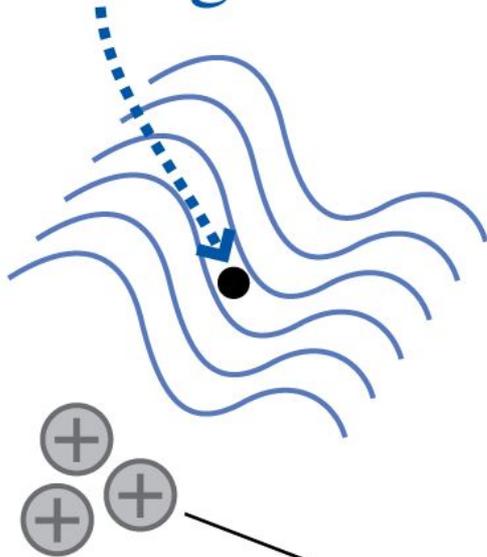
Na prática, queremos saber quanto vale a energia potencial de uma partícula que se encontra na região do espaço com V .



O Potencial elétrico

Trabalhando com uma abordagem de **energia**...

O potencial nesse ponto é igual a V .



Cargas-fonte

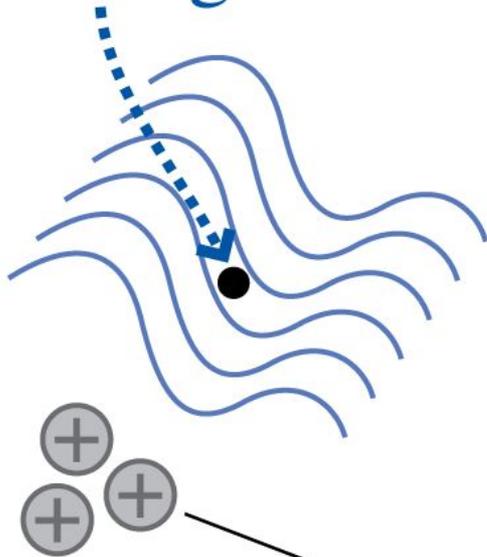
Qdo se fala que o potencial em L vale $V_L=10V$, entende-se que neste ponto o sistema consegue dotar de $10J$ de energia uma partícula de $1C$.



O Potencial elétrico

Trabalhando com uma abordagem de **energia**...

O potencial nesse ponto é igual a V .



Cargas-fonte

Qdo se fala que o potencial em L vale $V_L=10V$, entende-se que neste ponto o sistema consegue dotar de $10J$ de energia uma partícula de $1C$.

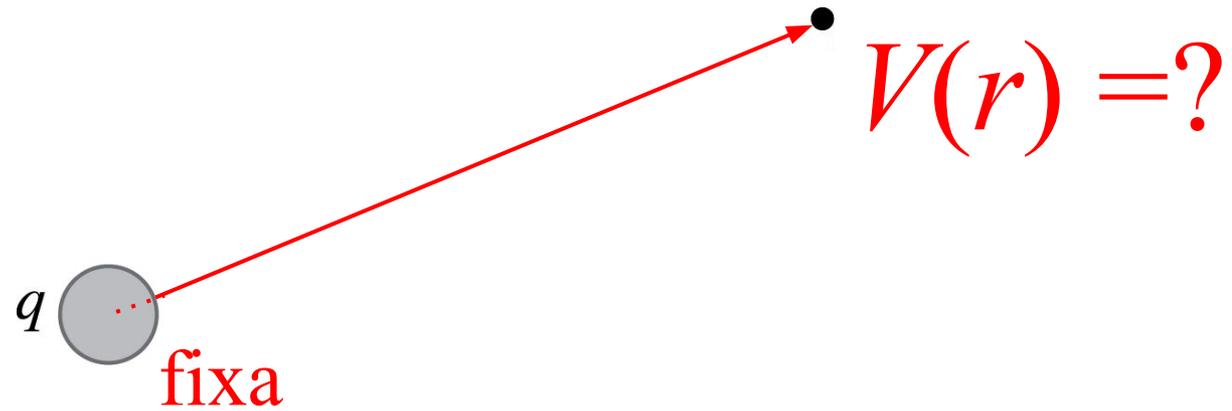


O potencial elétrico é uma grandeza que quantifica a capacidade de um sistema realizar trabalho.



O Potencial elétrico

Potencial de uma carga puntiforme





O Potencial elétrico

Representando o Potencial de uma carga puntiforme

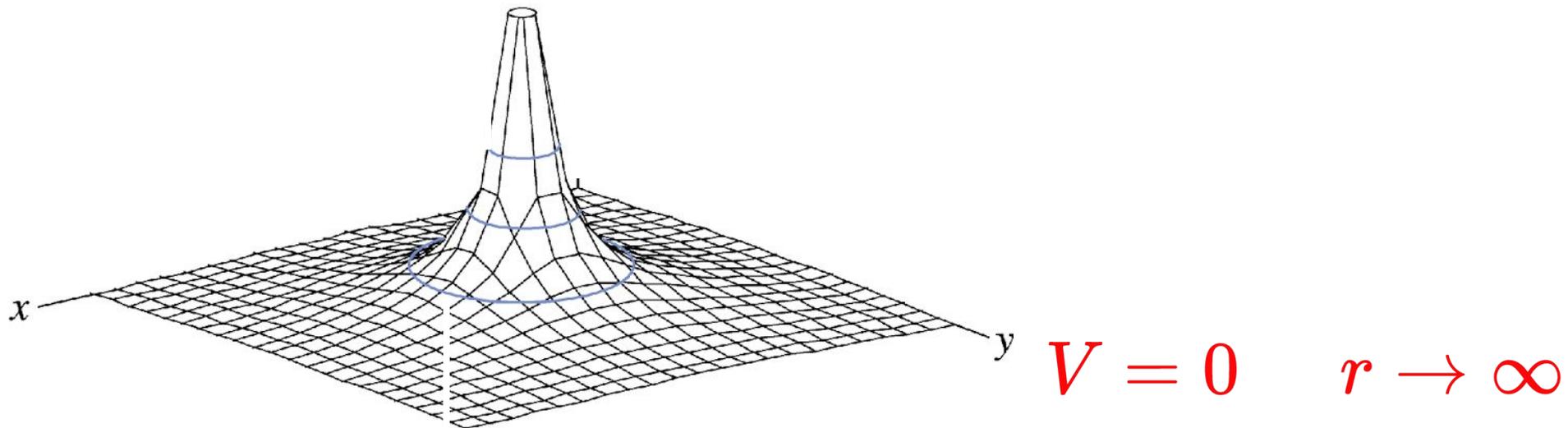
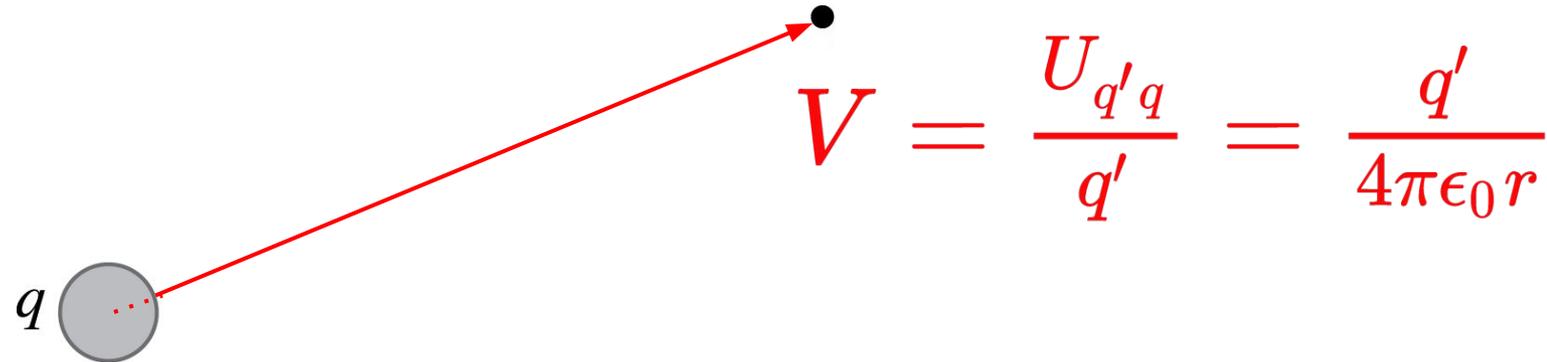
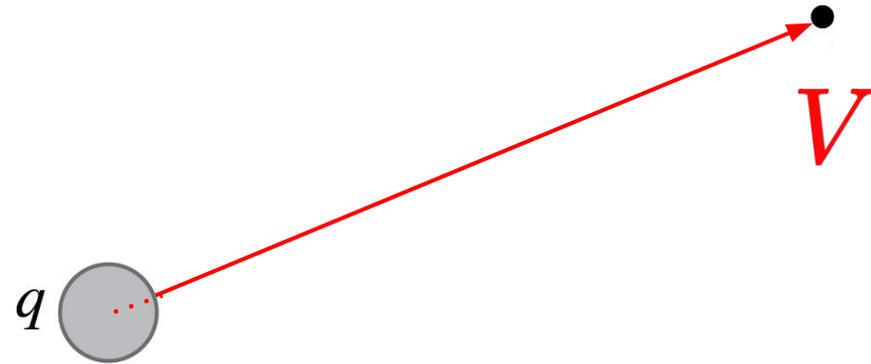


Gráfico de elevação



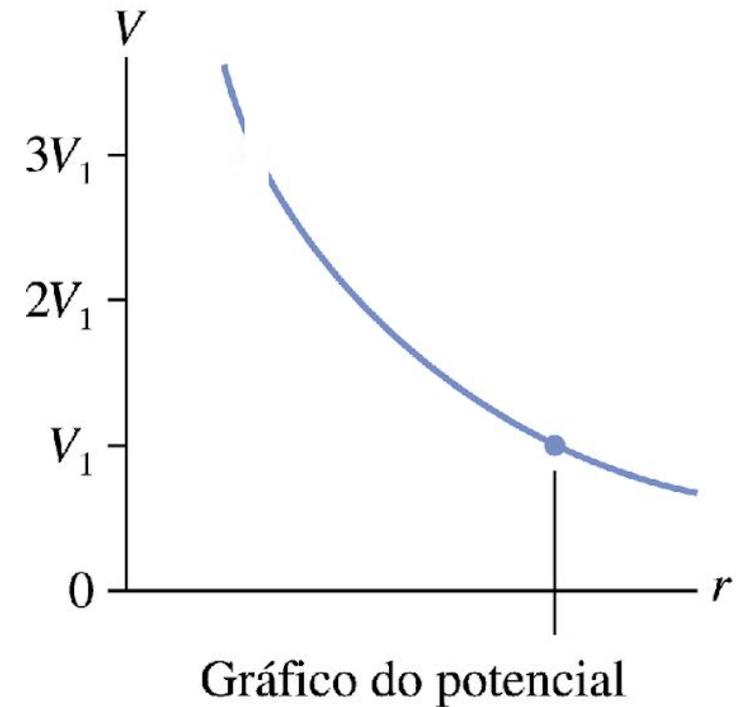
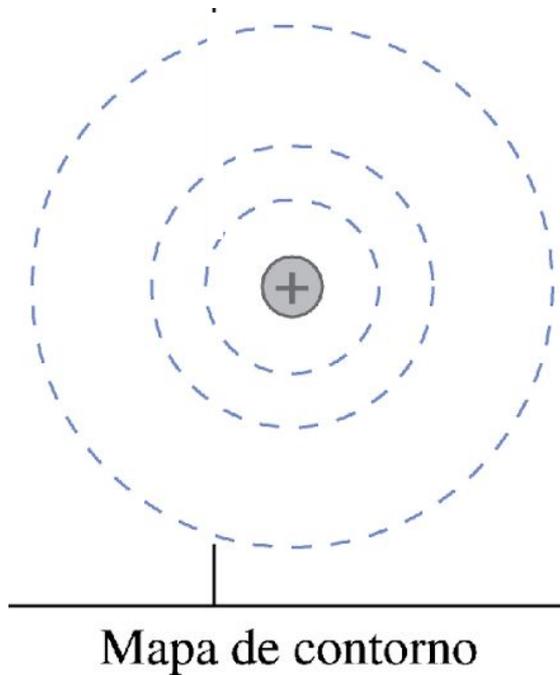
O Potencial elétrico

Representando o Potencial de uma carga puntiforme



A diagram showing a gray circle representing a point charge q . A red arrow points from the center of the charge to a black dot representing a point at distance r . The potential at this point is labeled V .

$$V = \frac{U_{q'q}}{q'} = \frac{q'}{4\pi\epsilon_0 r}$$



O Potencial elétrico

A energia potencial se deve a interação da carga q com as outras partículas carregadas do sistema.

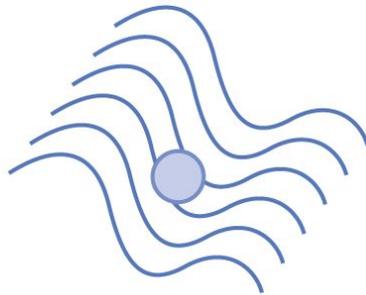


Se a carga q encontra-se sob a ação do potencial, sua energia potencial elétrica é igual a $U_{q+\text{fontes}} = qV$.

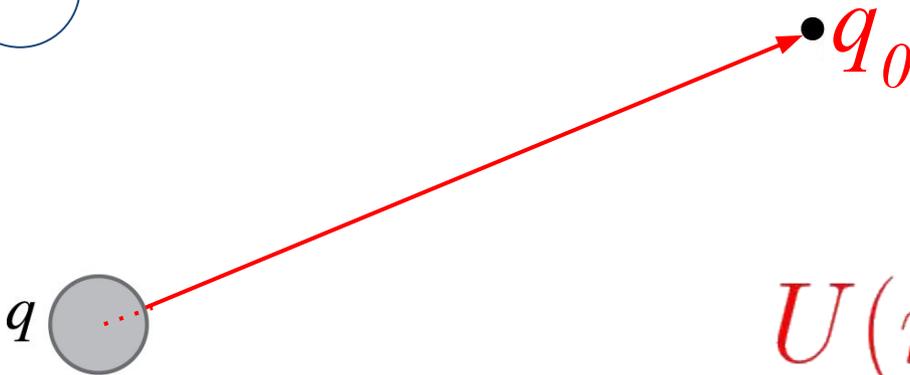


O Potencial elétrico

A energia potencial se deve a interação da carga q com as outras partículas carregadas do sistema.



Energia potencial de um sistema de duas cargas separadas por r



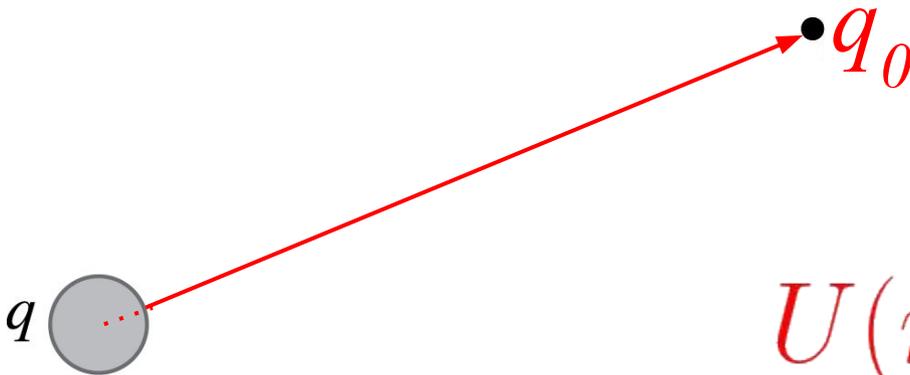
$$U(r) = q_0 V(r) = k \frac{qq_0}{r}$$



O Potencial elétrico

q e q_0 de mesmos sinais: $U(r) > 0 \rightarrow$ sistema livre
 q e q_0 de sinais opostos: $U(r) < 0 \rightarrow$ sistema ligado

Energia potencial de um sistema de duas cargas separadas por r



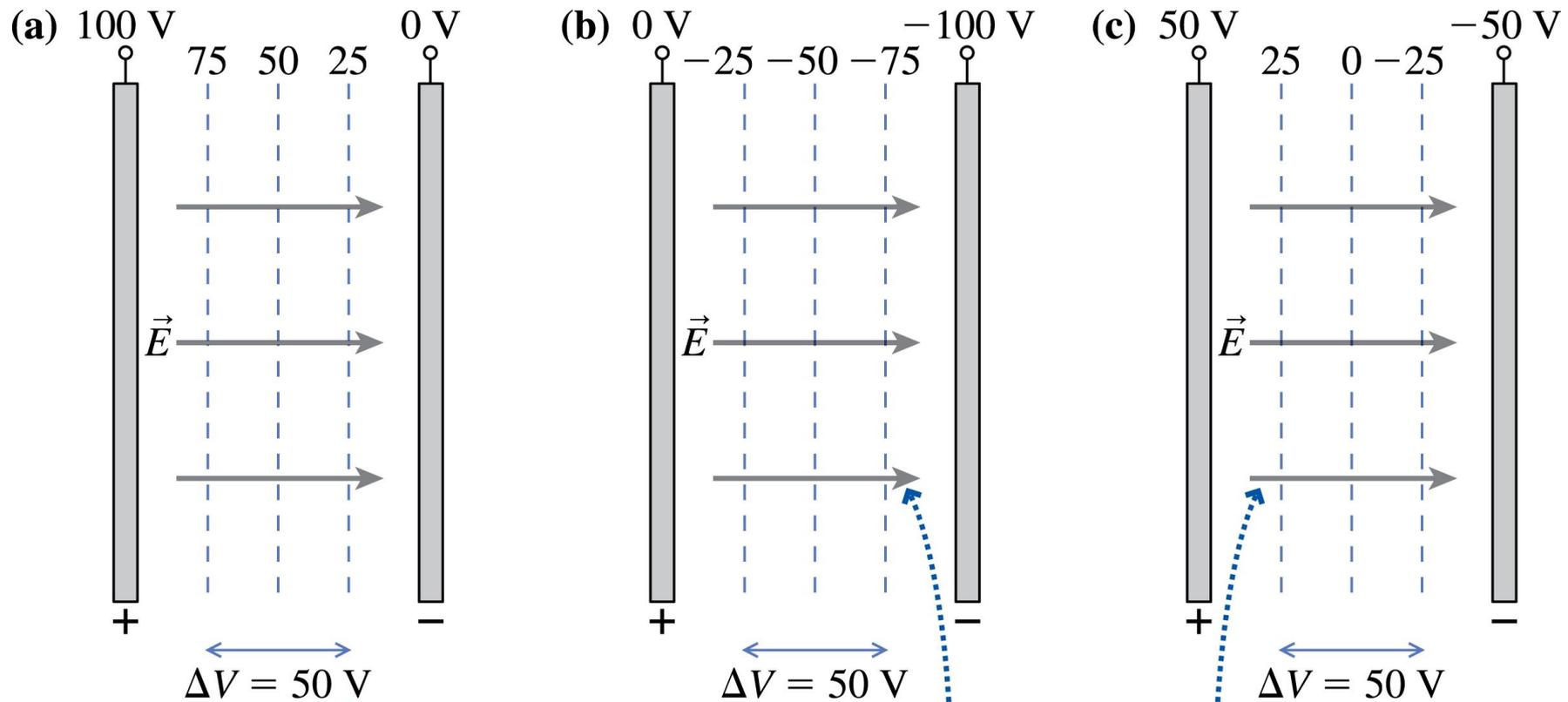
$$U(r) = q_0 V(r) = k \frac{qq_0}{r}$$



O Potencial elétrico

Capacitor de placas paralelas

Mapa de Contorno



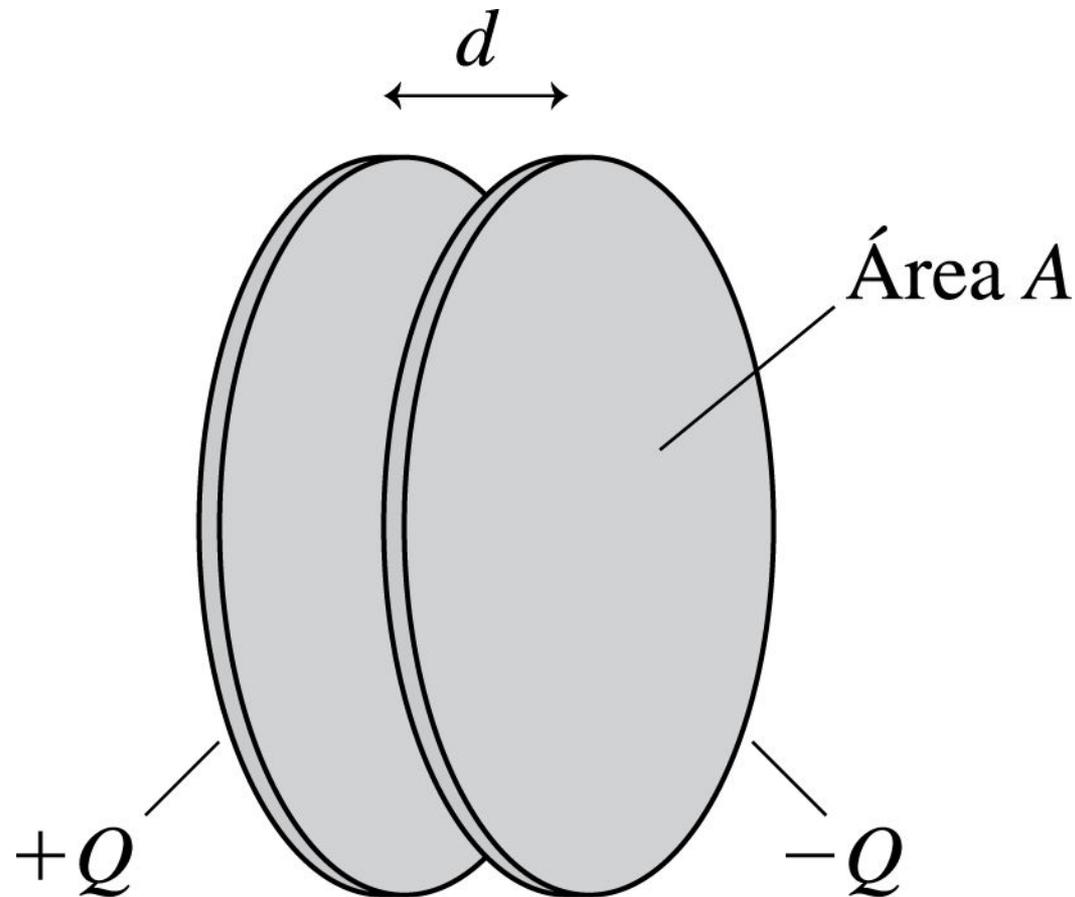
A diferença de potencial entre dois pontos é a mesma nos três casos.

O campo elétrico interior é o mesmo em todos os casos.



O Potencial elétrico

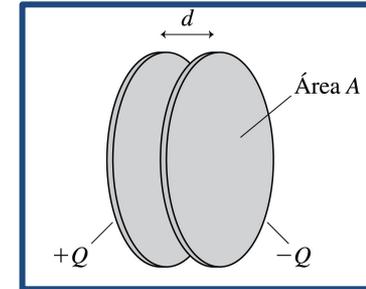
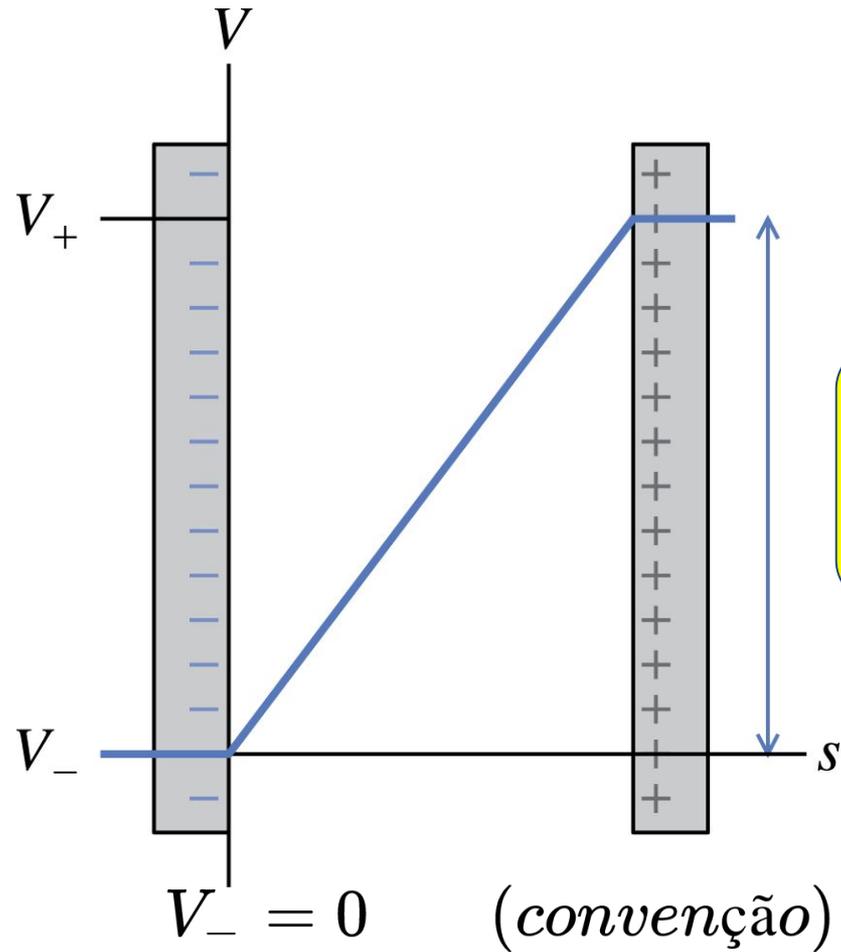
Vamos agora obter uma expressão matemática para o potencial no *interior de um capacitor de placas planas...*



O Potencial elétrico

Potencial em um capacitor de placas paralelas

Vista frontal

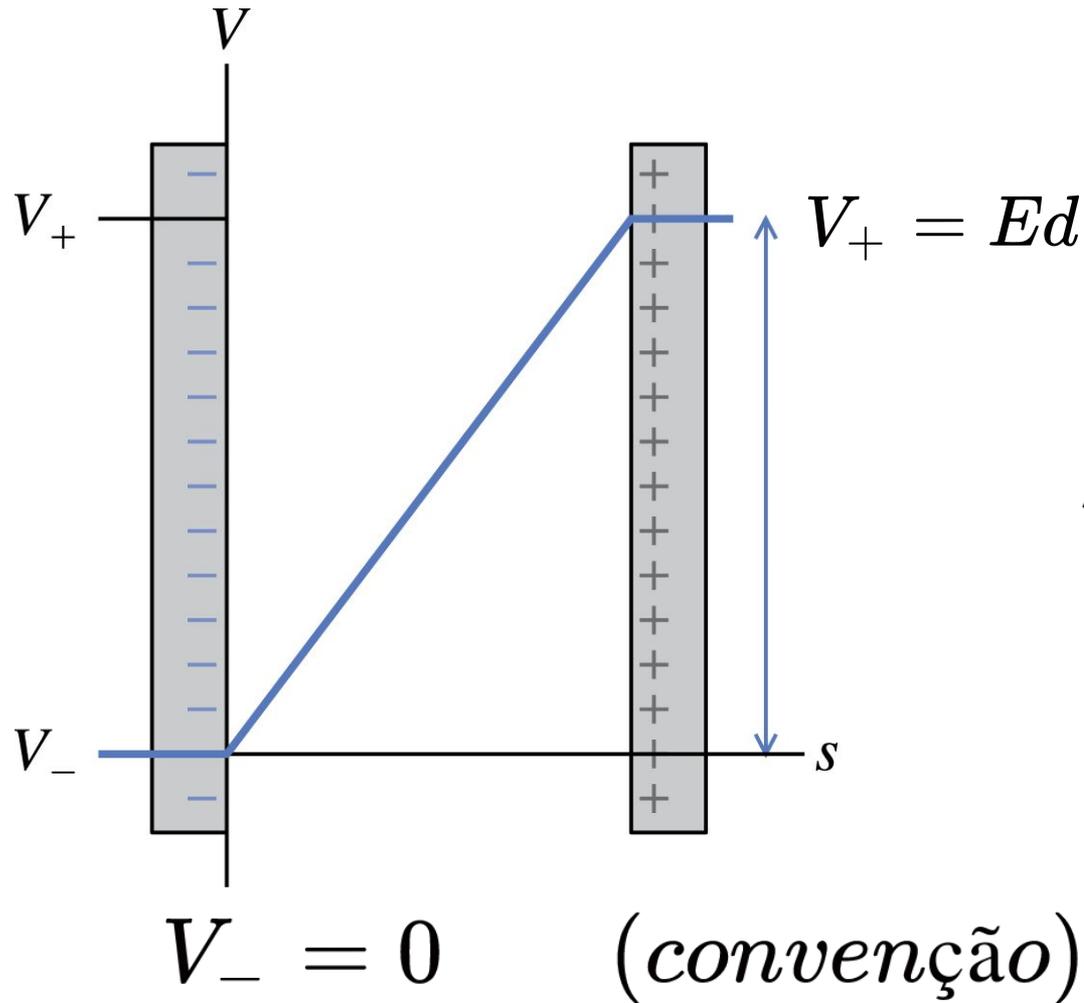


Vista em perspectiva

$$\Delta V_C = V_f - V_i = - \int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{l} = ?$$

O Potencial elétrico

Potencial em um capacitor de placas paralelas

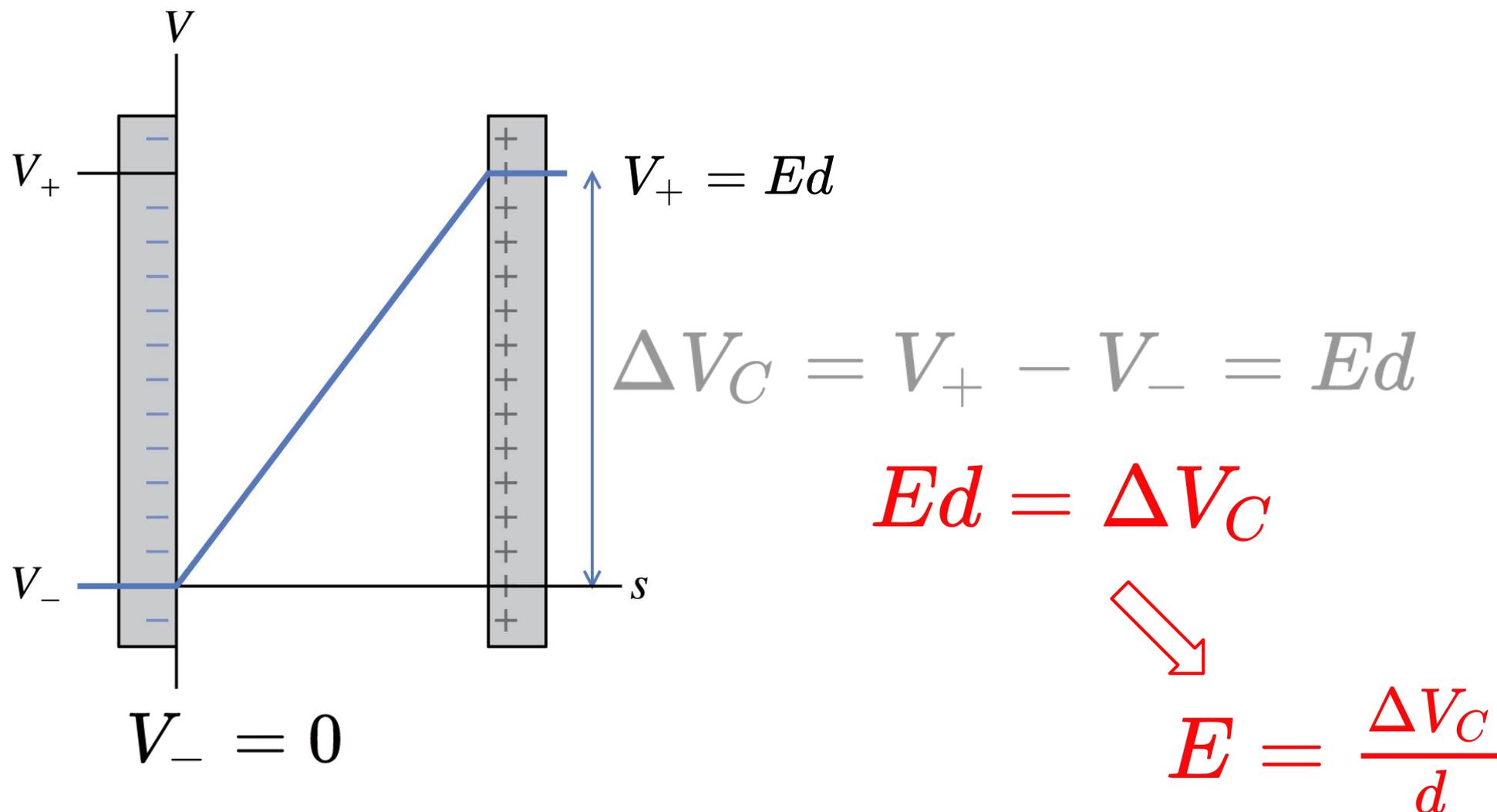


$$\Delta V_C = V_+ - V_- = Ed$$

Em geral, medimos o campo elétrico através de ΔV_C , que pode ser facilmente realizada por meio de um voltímetro.

O Potencial elétrico

Potencial em um capacitor de placas paralelas

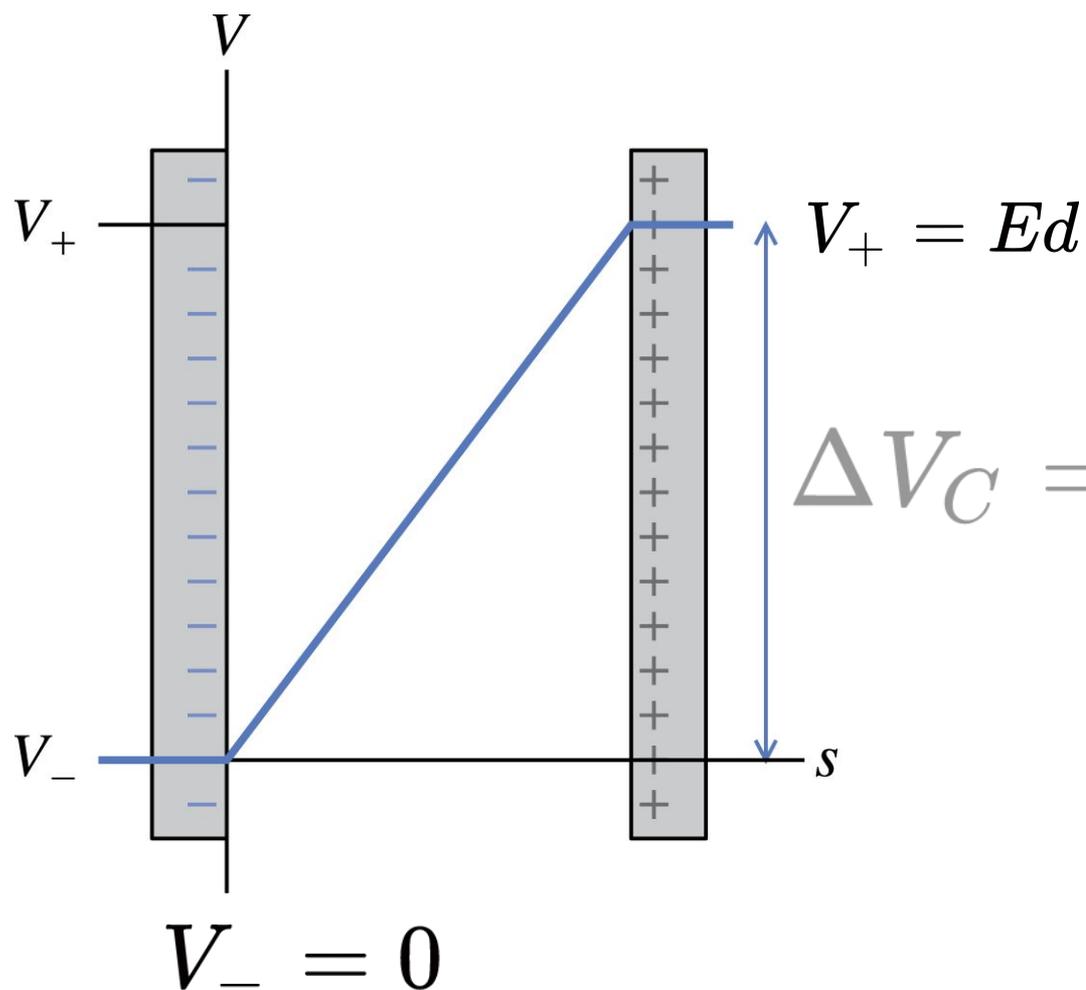


Em geral, medimos o campo elétrico através de ΔV_C , que pode ser facilmente realizada por meio de um voltímetro.



O Potencial elétrico

Potencial em um capacitor de placas paralelas



Unidade:

$$\frac{N}{C} = \frac{N \cdot m}{C \cdot m} = \frac{V}{m}$$

$$\Delta V_C = V_+ - V_- = Ed$$

$$Ed = \Delta V_C$$

$$E = \frac{\Delta V_C}{d}$$

Em geral, medimos o campo elétrico através de ΔV_C , que pode ser facilmente realizada por meio de um voltímetro.



O Potencial elétrico

Superfícies equipotenciais



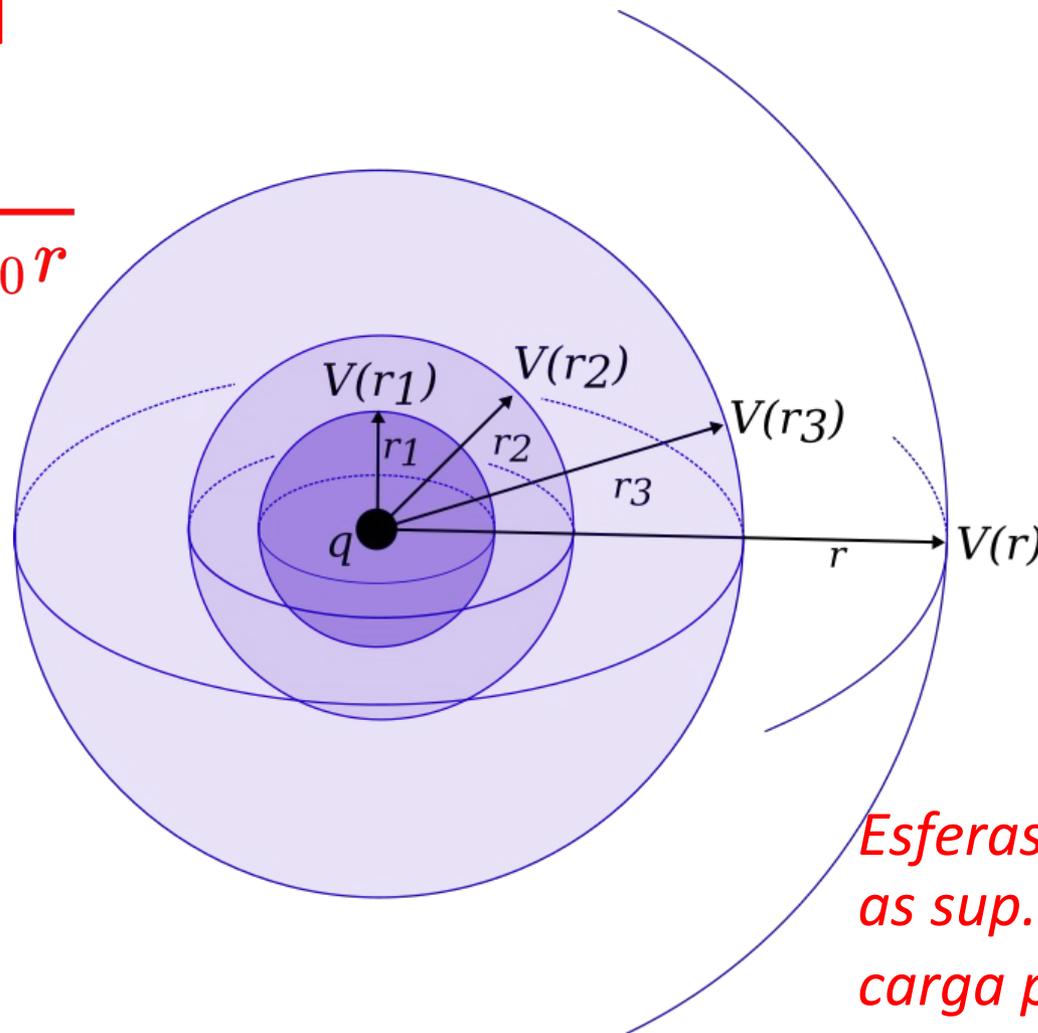
O Potencial elétrico

Superfícies equipotenciais

Superfícies em que todos os pontos têm o mesmo potencial

Carga pontual

$$V(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$



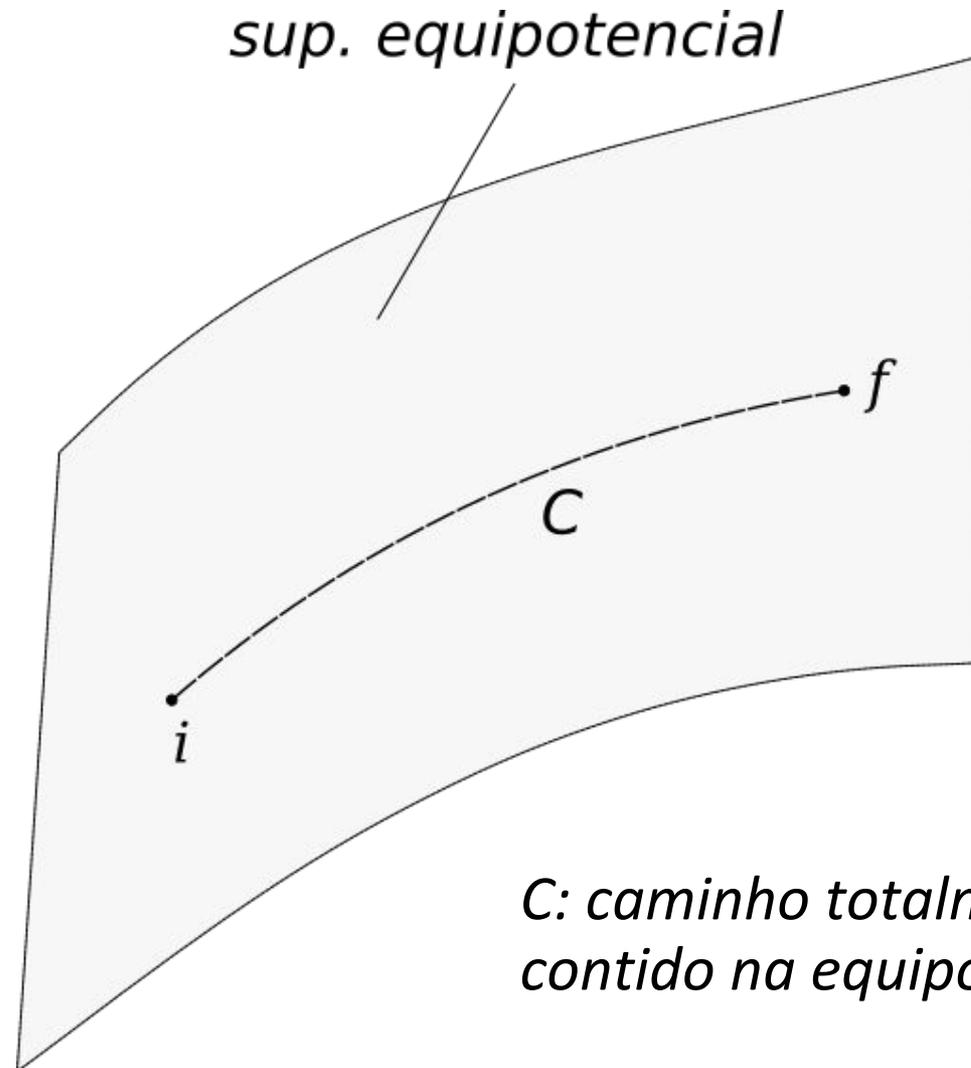
Esferas concêntricas são as sup. equip. de uma carga pontual



O Potencial elétrico

Superfícies equipotenciais

Superfícies em que todos os pontos têm o mesmo potencial





O Potencial elétrico

Superfícies equipotenciais

Superfícies em que todos os pontos têm o mesmo potencial

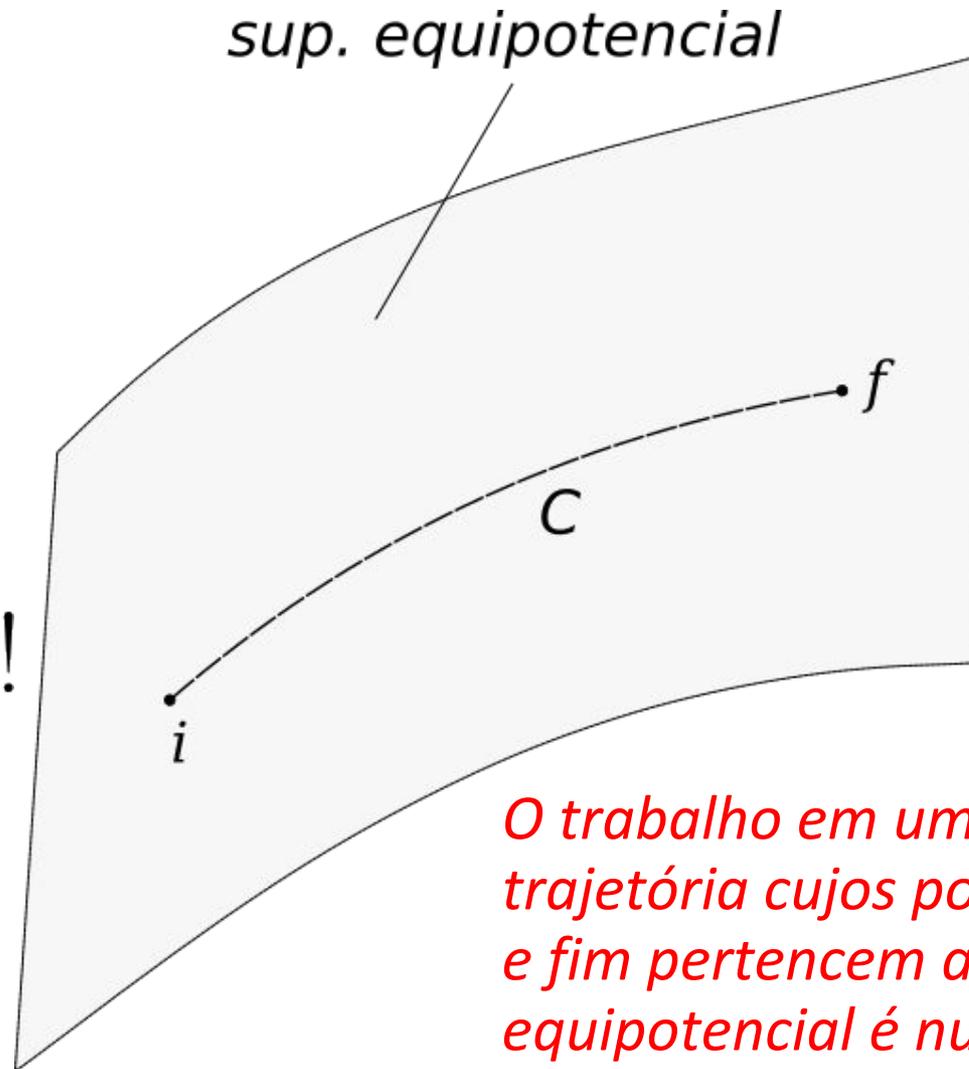
$$U_i = U_f$$



$$\Delta U = 0$$



$$W^{equip} = 0!$$

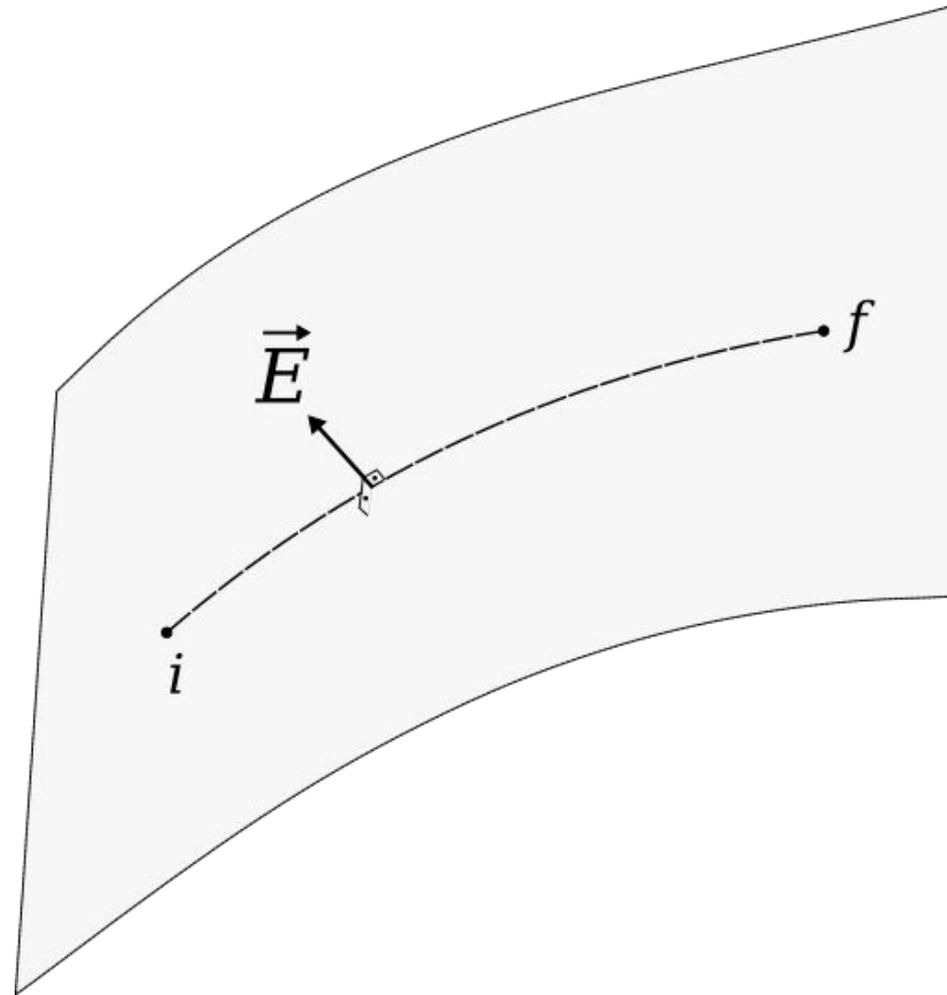


O trabalho em uma trajetória cujos pontos início e fim pertencem a uma sup. equipotencial é nulo.



O Potencial elétrico

Superfícies equipotenciais

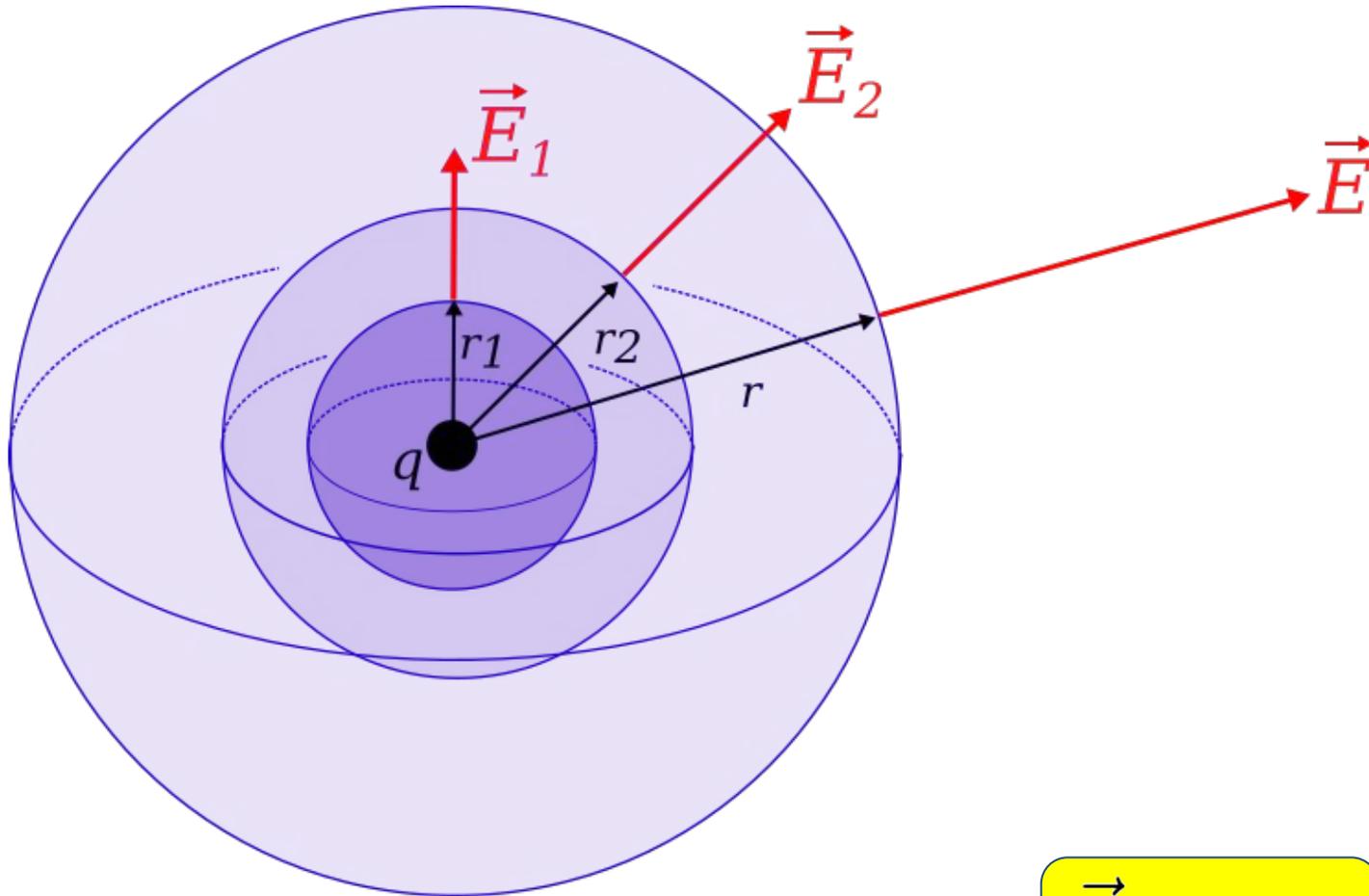


$$W^{equip} = - \int_i^f q_0 \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0 \Rightarrow \vec{E} \perp d\vec{s}$$



O Potencial elétrico

Superfícies equipotenciais carga pontual

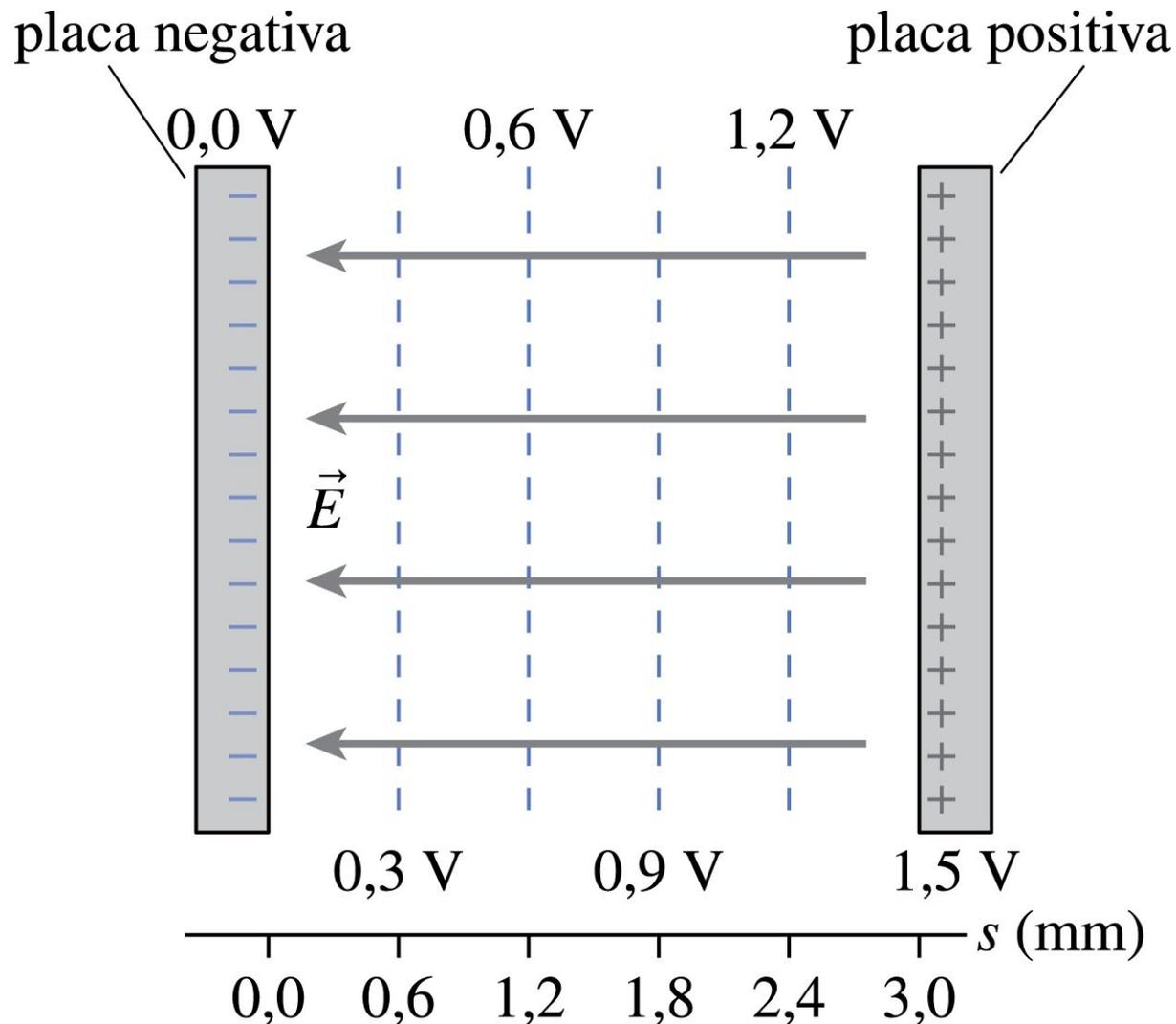


$$\Rightarrow \vec{E} \perp d\vec{s}$$



O Potencial elétrico

Superfícies equipotenciais Capacitor



$$\Rightarrow \vec{E} \perp d\vec{s}$$



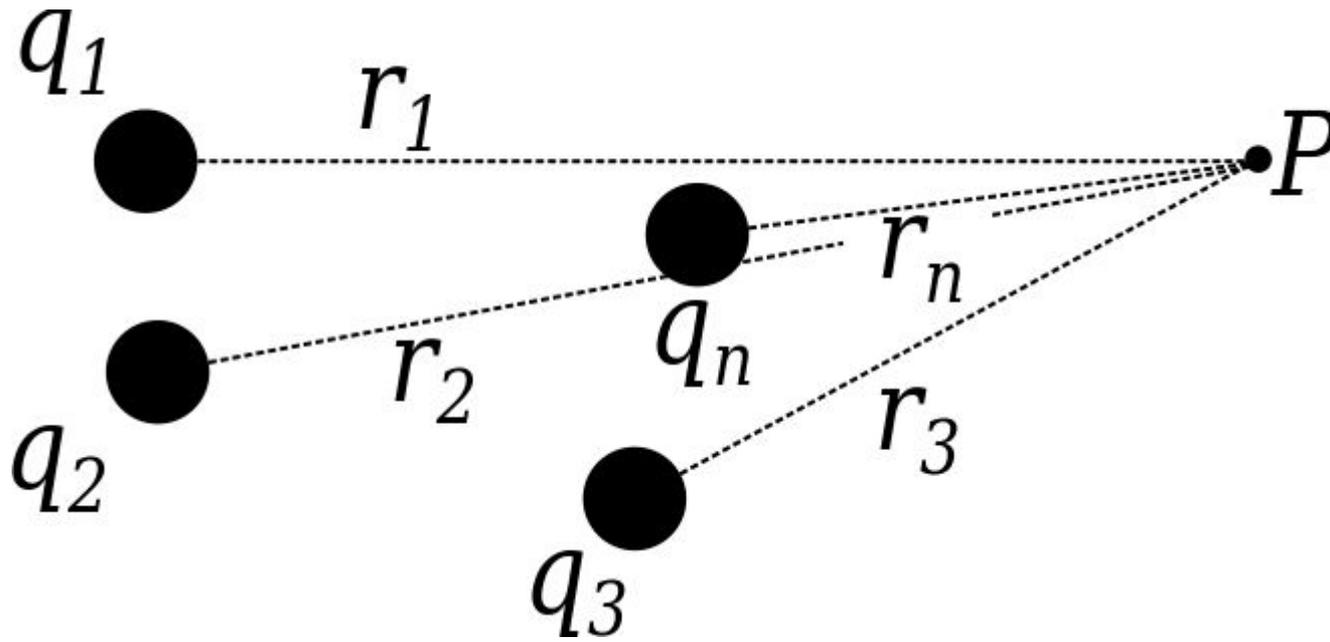
O Potencial elétrico

Vamos agora obter uma expressão matemática para o Potencial elétrico de um *sistema de cargas pontuais*...



O Potencial elétrico

Potencial de múltiplas cargas pontuais



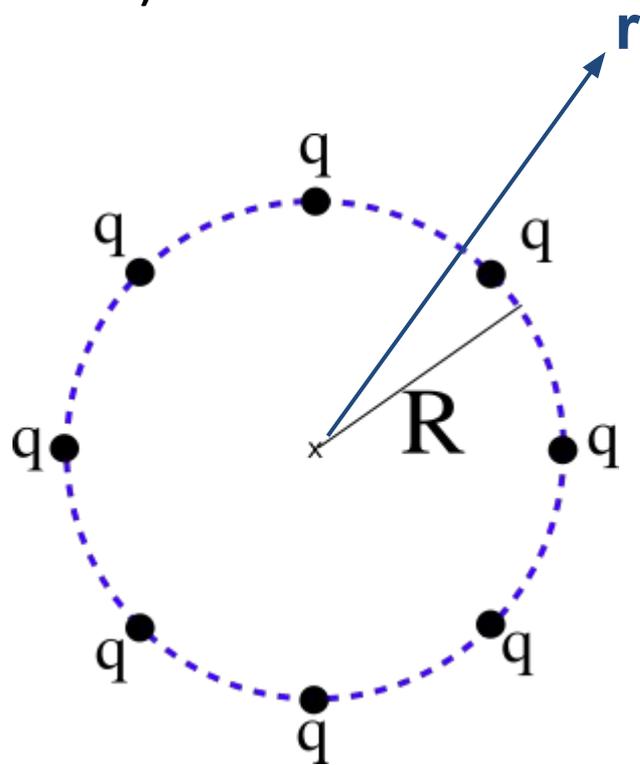
$$V = \sum_i^n \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i}$$

O Potencial elétrico (EXTRA)

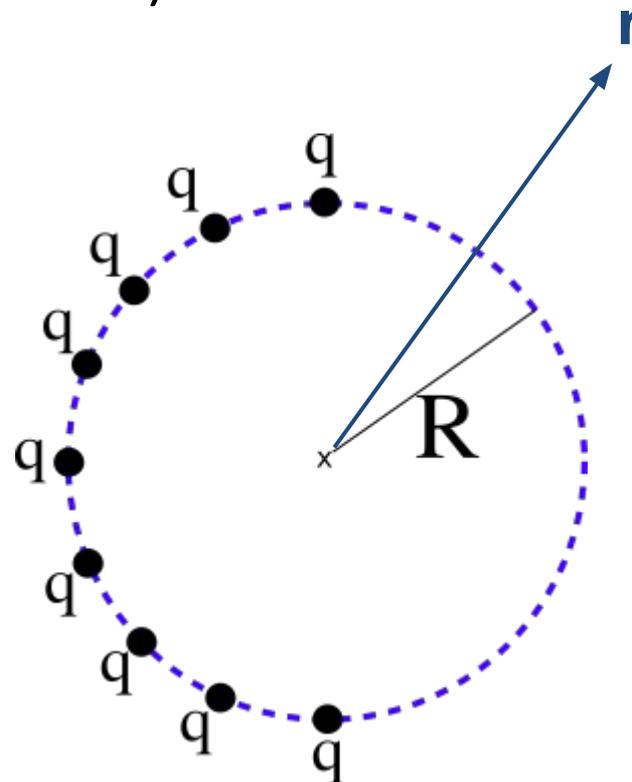
Exercício:

Determine $V(\mathbf{r}=0)$ e se $\mathbf{E}(\mathbf{r}=0)$ é nulo

caso a)



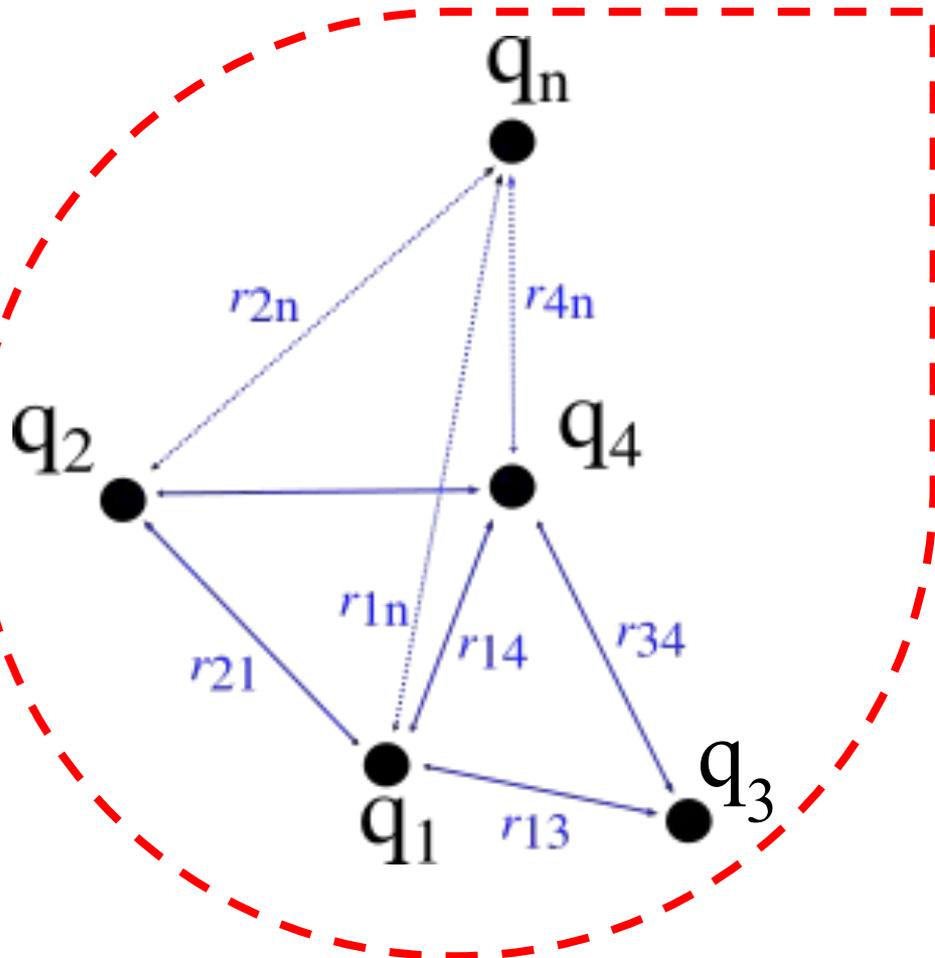
caso b)



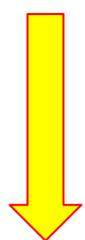
O Potencial elétrico

Energia potencial de um sistema de n cargas pontuais

Qual o trabalho gasto para juntar as n partículas neste sistema?



W



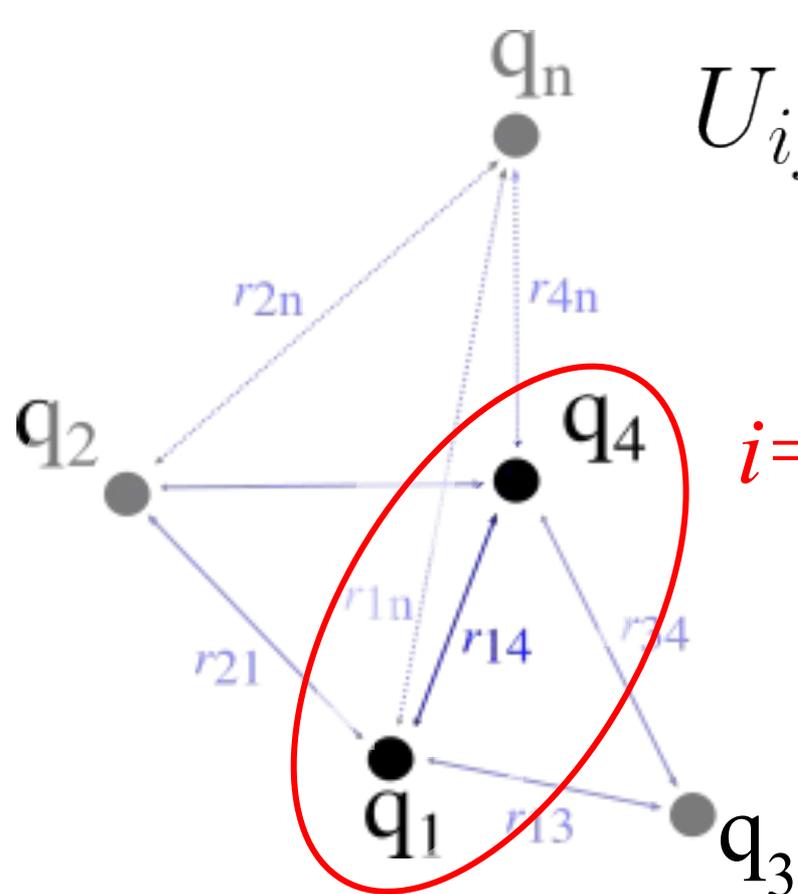
U_{systema}



O Potencial elétrico

Energia potencial de um sistema de n cargas pontuais

U é o trabalho executado por um agente externo para trazer as partículas "do infinito" até a configuração desejada.



$$U_{ij} = k \frac{q_1 q_2}{|r_i - r_j|} \quad : \text{ pares de cargas}$$

$$i=1; j=4 \rightarrow |r_1 - r_4| = r_{14}$$

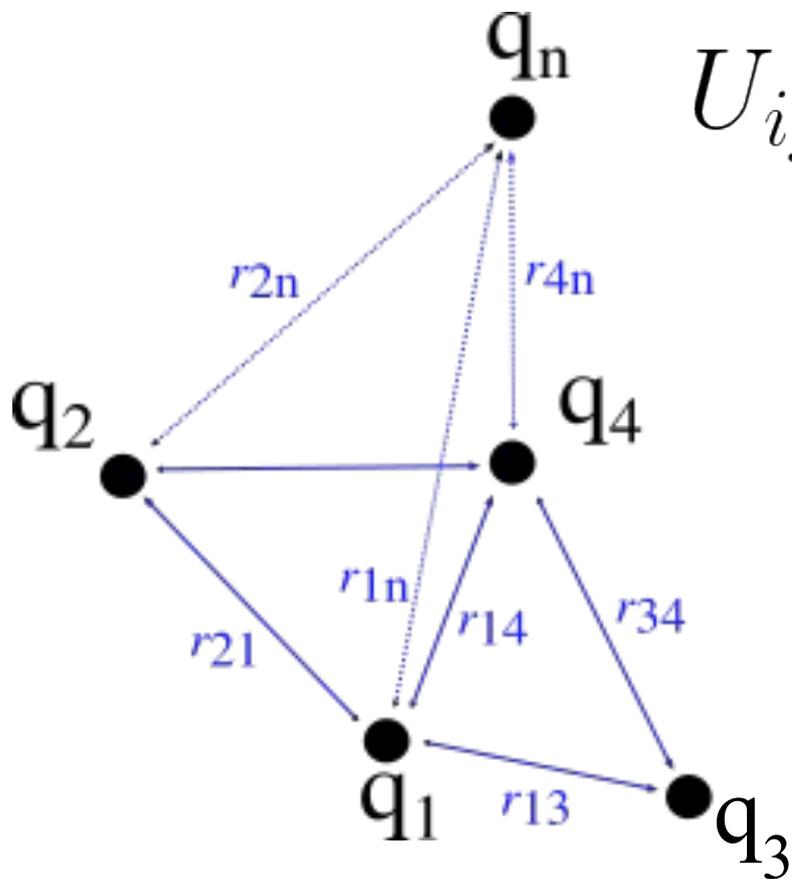
$$U_{14} = k q_1 q_2 / r_{14}$$



O Potencial elétrico

Energia potencial de um sistema de n cargas pontuais

U é o trabalho executado por um agente externo para trazer as partículas "do infinito" até a configuração desejada.



$$U_{ij} = k \frac{q_1 q_2}{|r_i - r_j|}$$



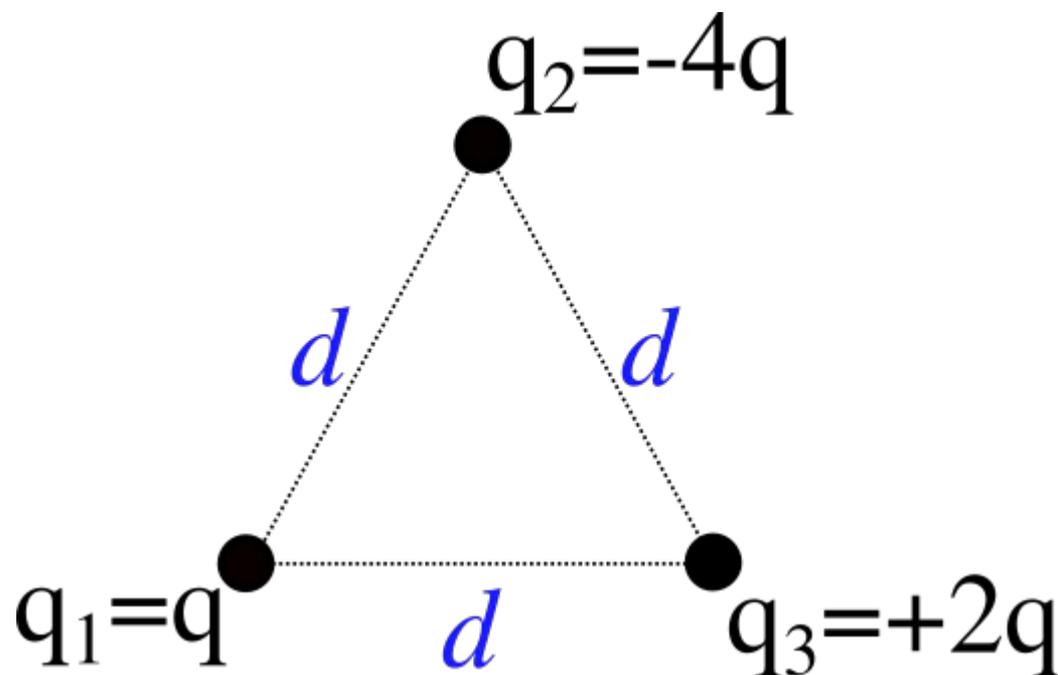
$$U = \sum_{i < j}^n k \frac{q_1 q_2}{|r_i - r_j|}$$



O Potencial elétrico (EXTRA)

Problema 1: Determine $U(r)$ para o sistema abaixo dado que

$$U = \sum_{i < j}^n k \frac{q_i q_j}{|r_i - r_j|}$$

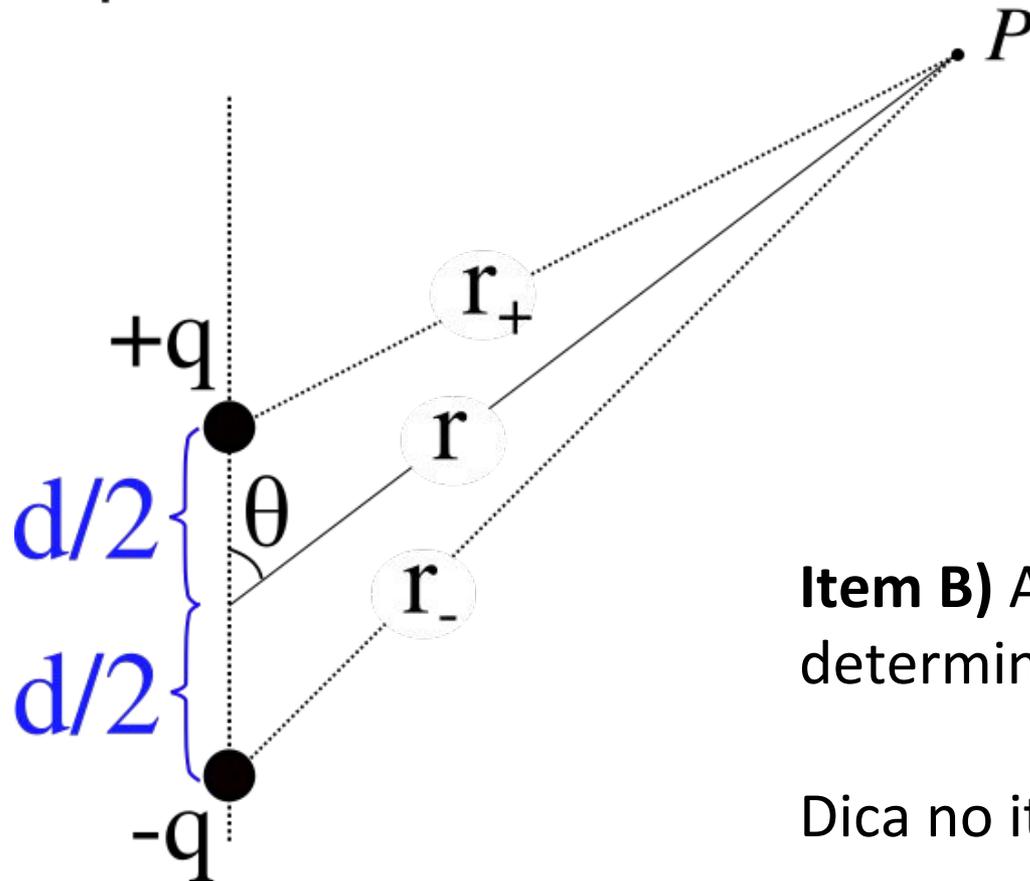




O Potencial elétrico (Extra)

Problema 2: Determine $V(P)$ para o sistema abaixo

Dipolo elétrico



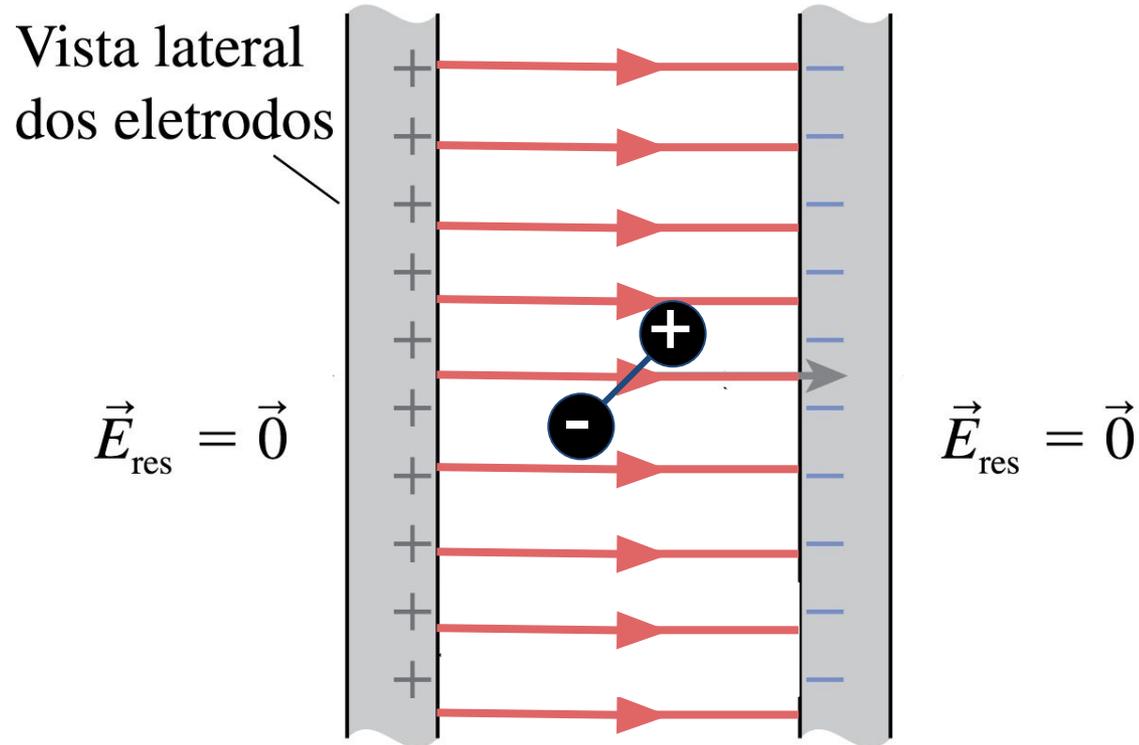
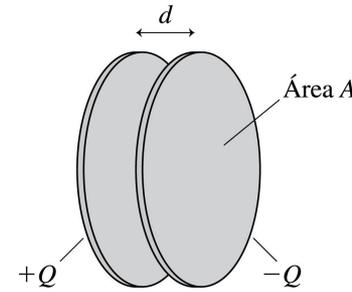
Item B) Após responder a equação acima, determine $V(P)$ para situações nas quais $r \gg d$.

Dica no item B): Assumir que $r_+ \parallel r_- \parallel r$.



O Potencial elétrico

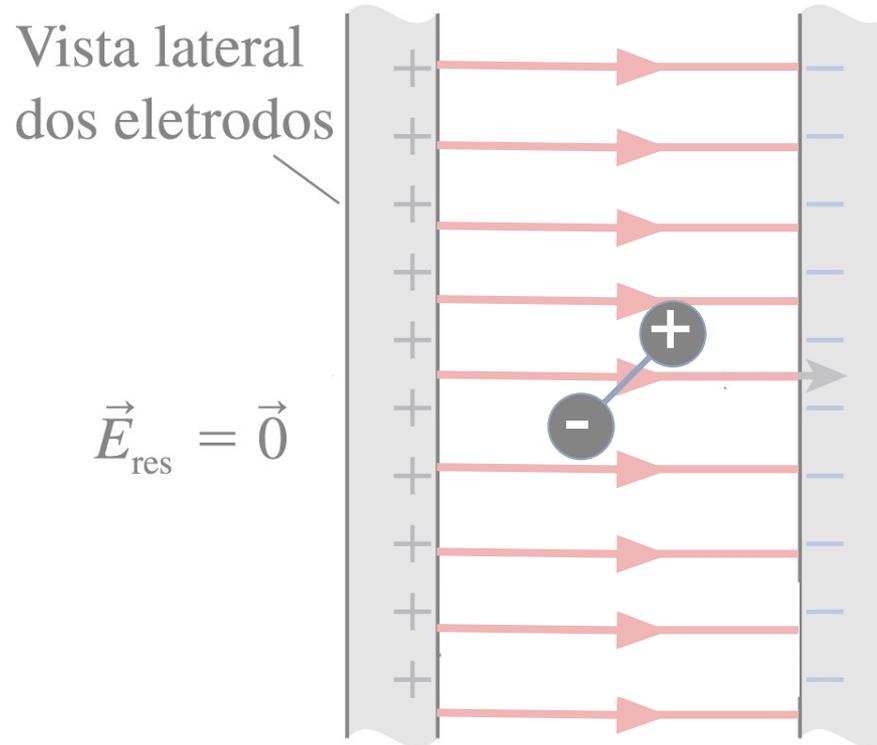
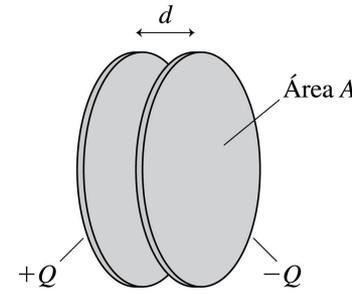
A energia de um dipolo elétrico em presença de um campo uniforme...



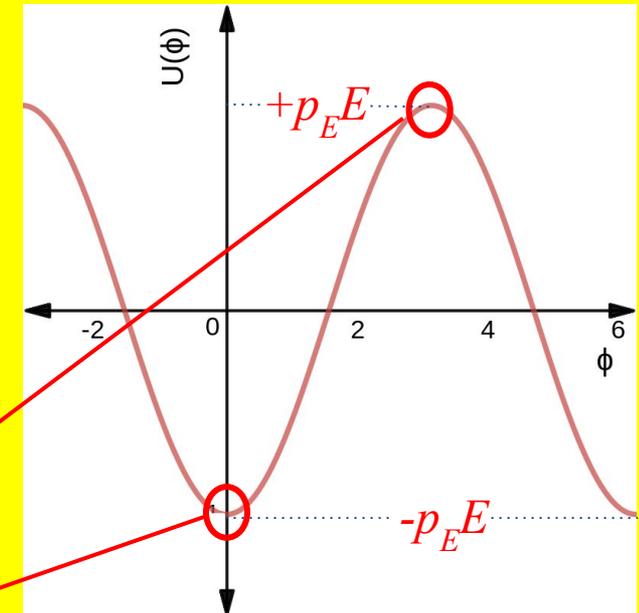


O Potencial elétrico

A energia de um dipolo elétrico em presença de um campo uniforme...



$$U_E = -\vec{p}_E \cdot \vec{E}$$



Equilíbrio instável

Equilíbrio estável

O Potencial elétrico

Potencial elétrico de uma *distribuição contínua de cargas...*

O Potencial elétrico

Potencial elétrico de uma *distribuição contínua de cargas...*

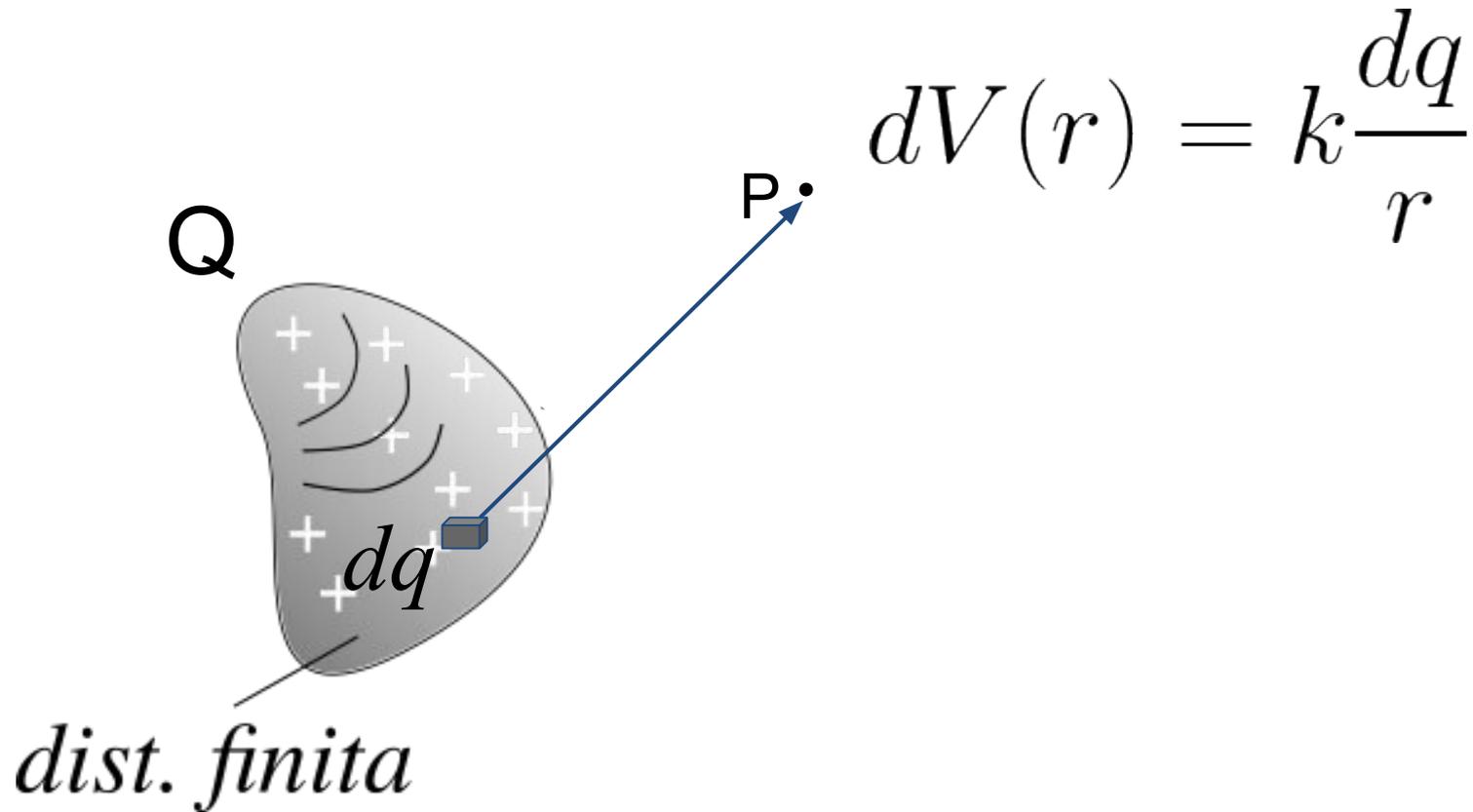


P. $V_P = ?$



O Potencial elétrico

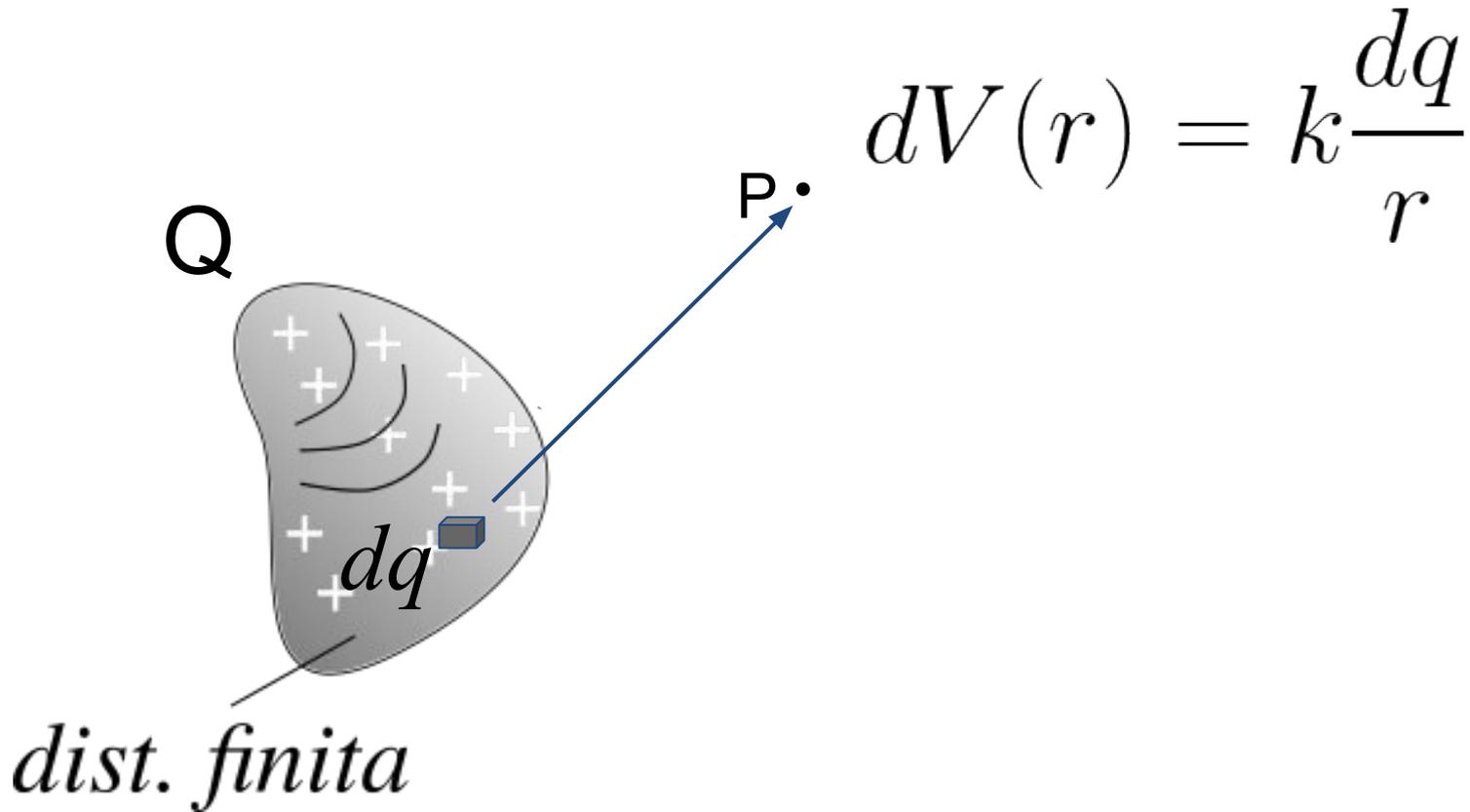
Potencial elétrico de uma *distribuição contínua de cargas...*





O Potencial elétrico

Potencial elétrico de uma *distribuição contínua de cargas...*



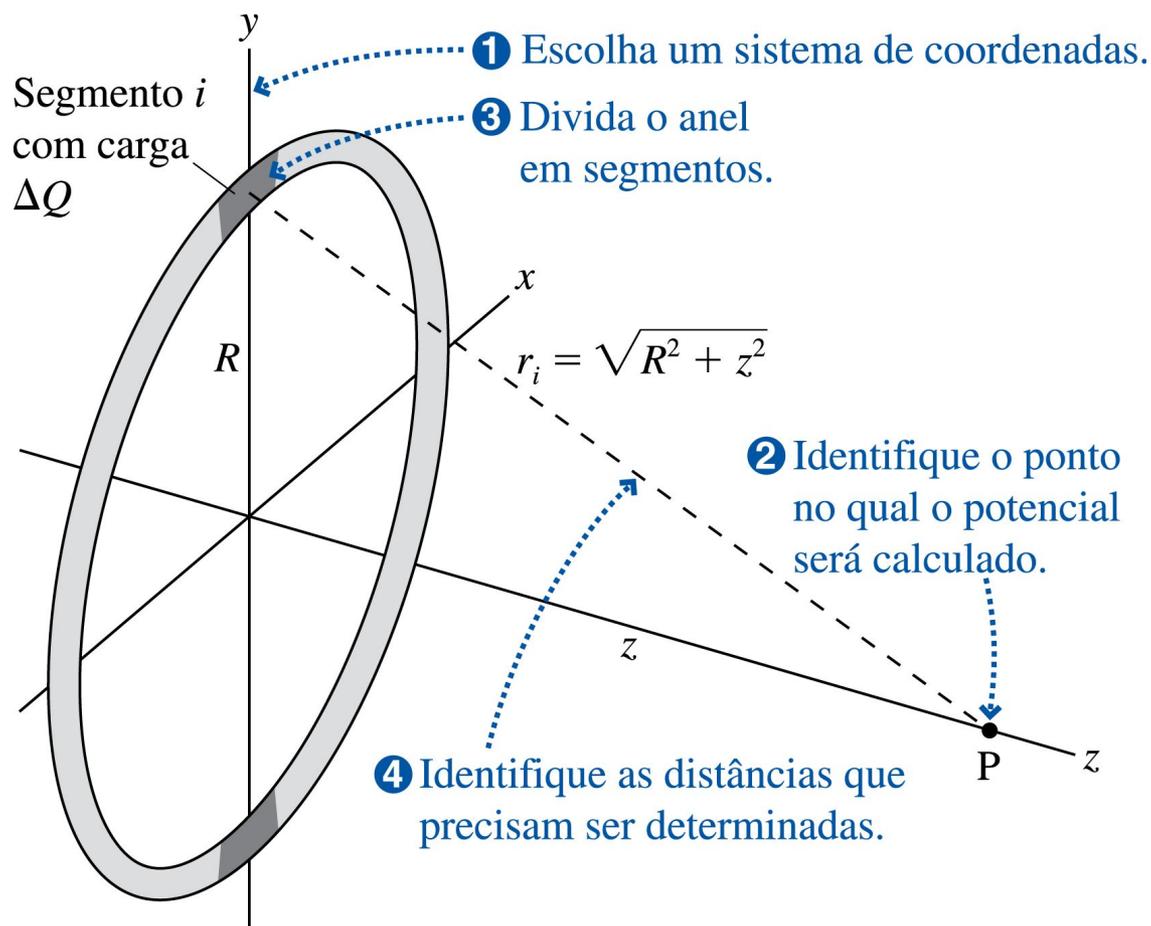
$$V(r) = \int_{Dist} dV = \int_{Dist} k \frac{dq}{r}$$



O Potencial elétrico

Potencial elétrico de uma *distribuição contínua de cargas*...

Ex.: Anel de cargas



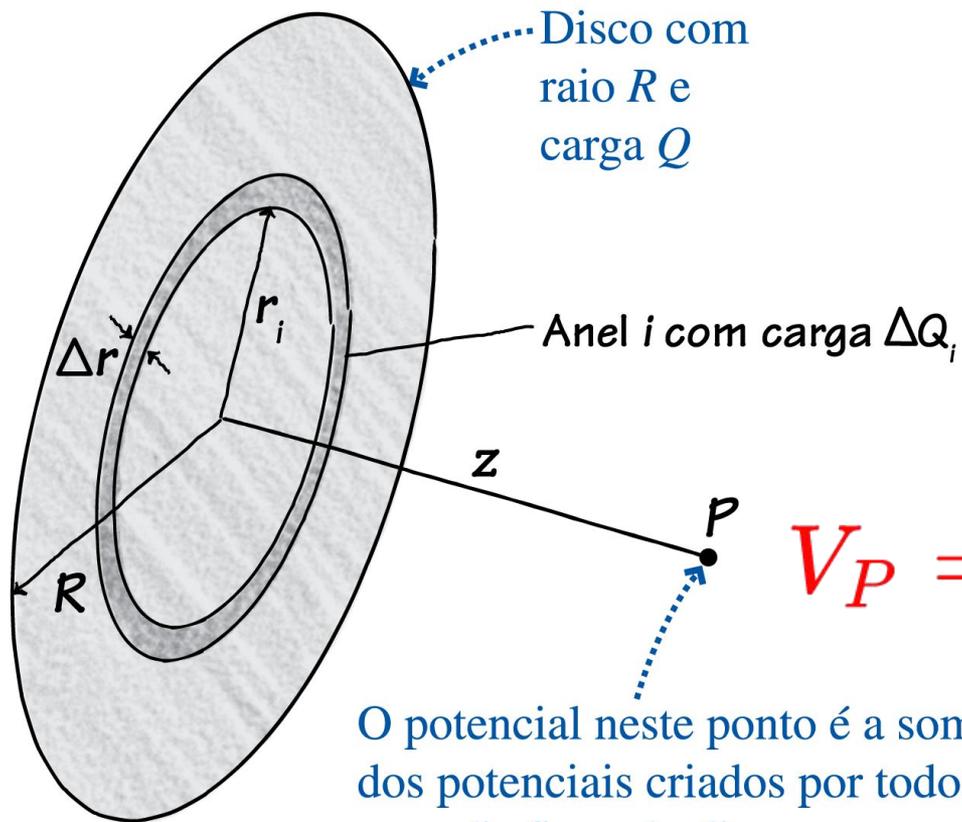
$$V_P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{\sqrt{R^2 + z^2}}$$



O Potencial elétrico

Potencial elétrico de uma *distribuição contínua de cargas*...

Ex.: Disco de cargas



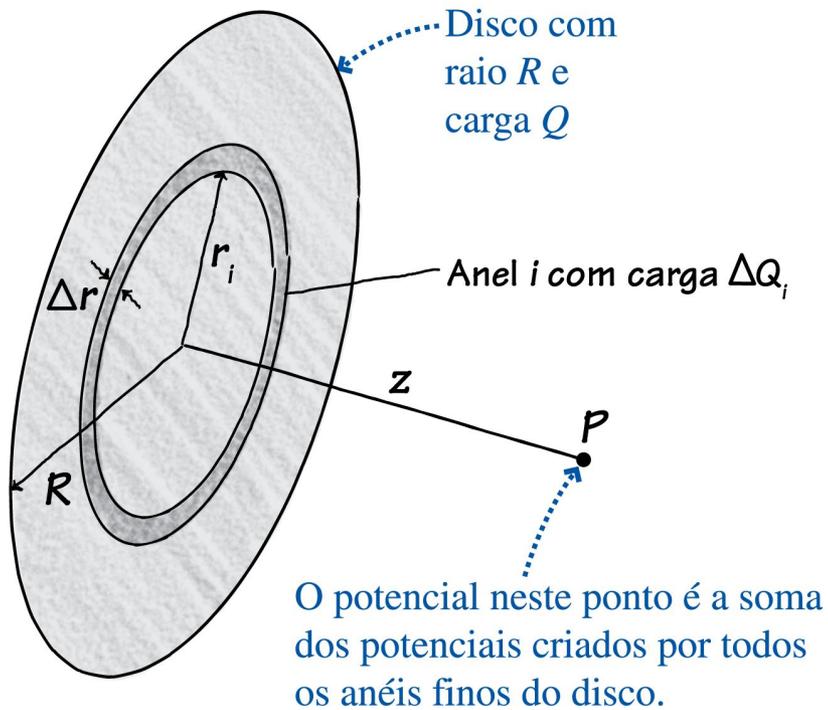
O potencial neste ponto é a soma dos potenciais criados por todos os anéis finos do disco.

$$V_P = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} (\sqrt{R^2 + z^2} - |z|)$$

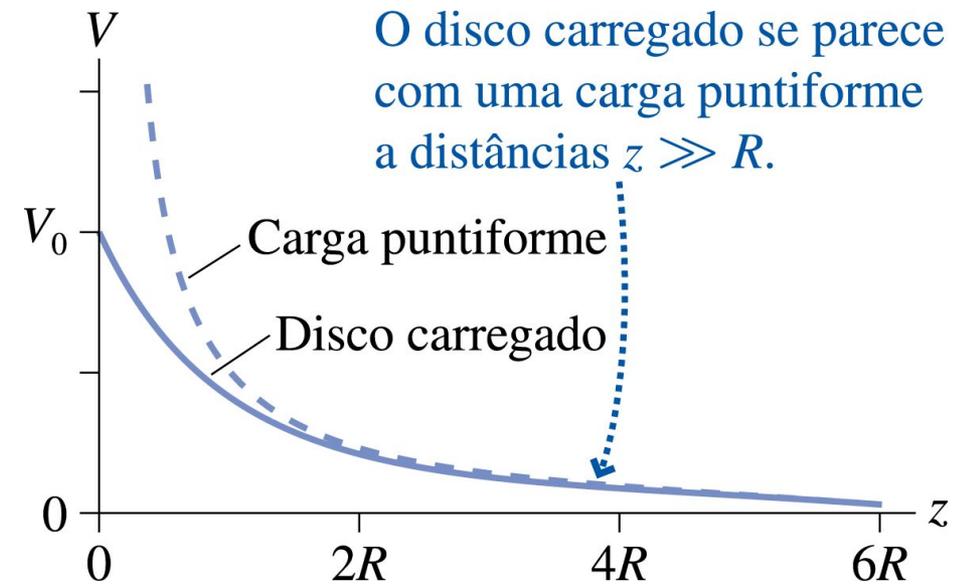
O Potencial elétrico

Potencial elétrico de uma *distribuição contínua de cargas*...

Ex.: Disco de cargas



$$V_P = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} (\sqrt{R^2 + z^2} - |z|)$$





O potencial elétrico

Teste Conceitual -2

Se 500J de trabalho são necessários para transportar uma carga de 40C através de uma distância de 1m, a diferença de potencial entre os pontos inicial e final vale:

- A) 12,5V
- B) 20.000V
- C) 0,08V
- D) depende da trajetória

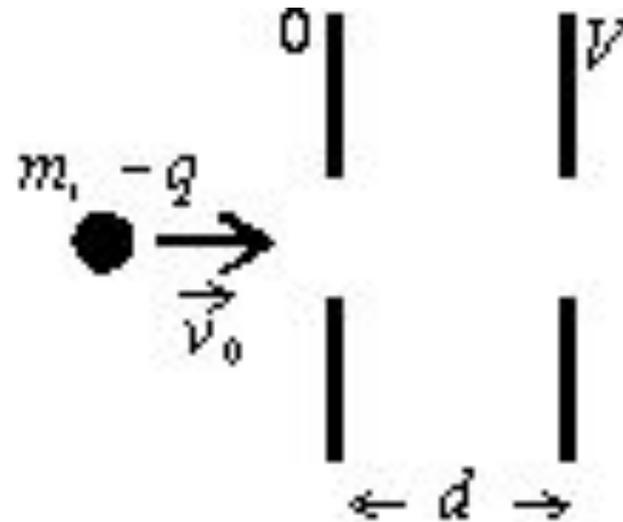


O potencial elétrico

Teste Conceitual -3

Uma partícula de massa m e carga $-q$ é lançada através de um capacitor furado, conforme ilustra a figura. A variação da energia cinética da partícula após a travessia vale:

- A) qV/d
- B) $2qV/mv_0^2$
- C) qV
- D) $mv_0^2/2$

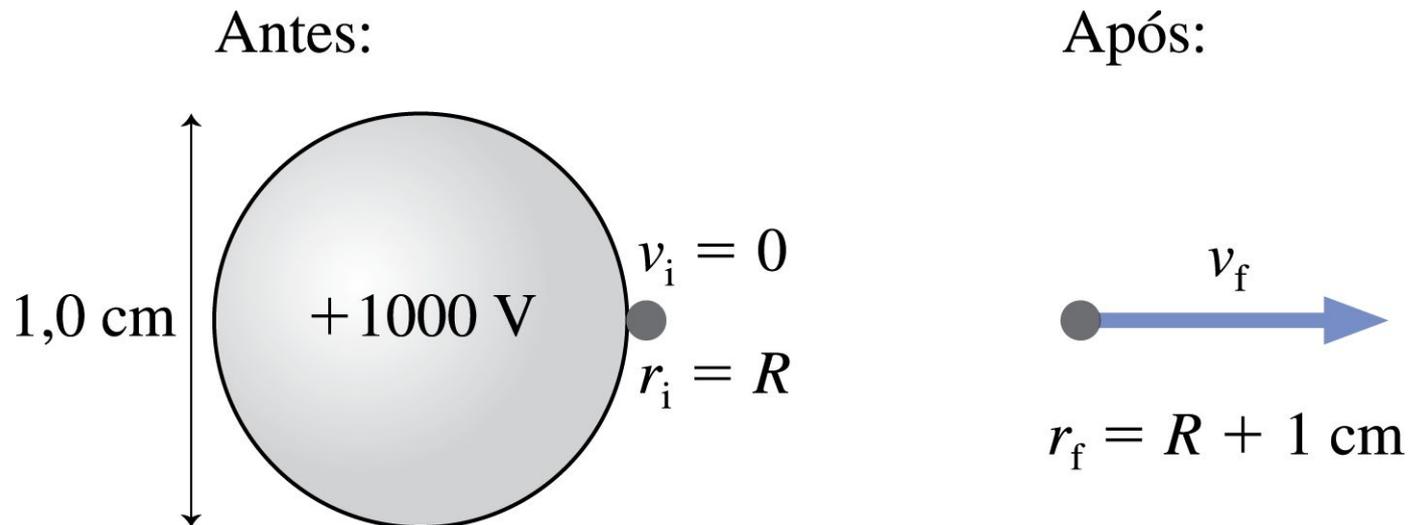




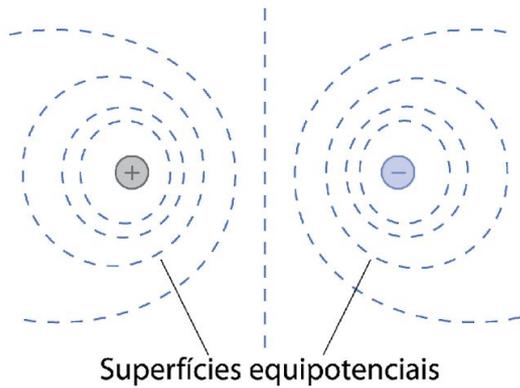
O potencial elétrico (Extra)

Problema:

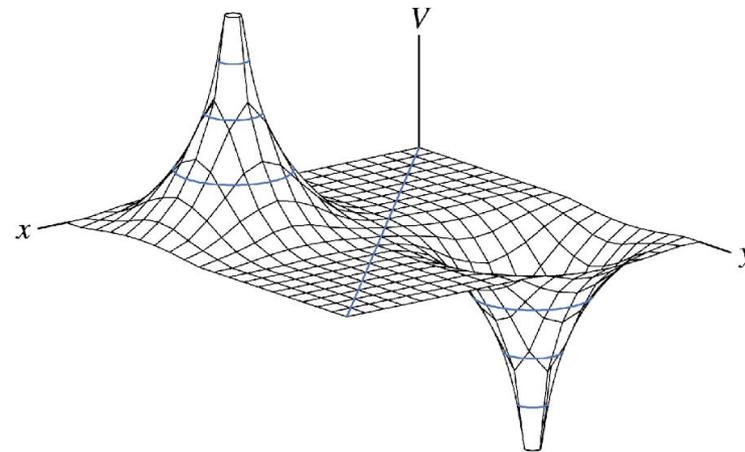
Um próton parte do repouso da superfície de uma esfera carregada. Qual a velocidade dele a 1cm da esfera?



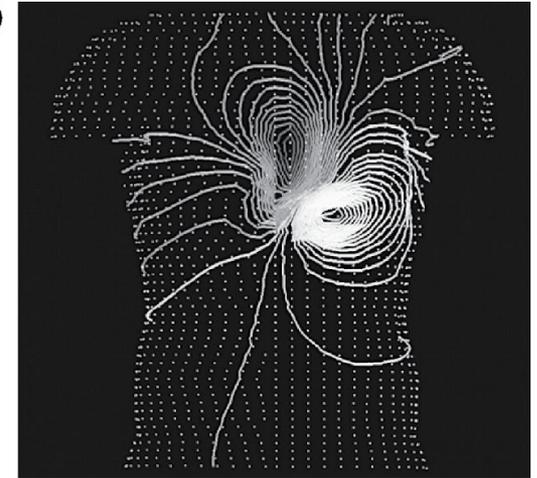
(a) Mapa de contorno



(b) Gráfico de elevação



(c)



Sobre o tórax de uma pessoa, as equipotenciais são parecidas com as criadas por um dipolo elétrico ligeiramente deformado.