

# Circuitos Lógicos

Aula 2

[cruz@gta.ufrj.br](mailto:cruz@gta.ufrj.br) <http://gta.ufrj.br/~cruz>

# Na última aula

- Desenvolvimento de sistemas



# Na última aula

- Desenvolvimento de sistemas
  - Projeto
  - Implementação
  - Teste



# Na última aula

- Desenvolvimento de sistemas
  - Projeto
  - Implementação
  - Teste
- Álgebra booleana



# Na última aula

- Desenvolvimento de sistemas
  - Projeto
  - Implementação
  - Teste
- Álgebra booleana
  - Variáveis binárias
  - Operações binárias



# Na última aula

- Desenvolvimento de sistemas
  - Projeto
  - Implementação
  - Teste
- Álgebra booleana
  - Variáveis binárias
  - Operações binárias
    - NOT
    - AND
    - OR
    - XOR



# Nesta apresentação

- Semicondutores
  - Diodos
  - Transistores
  - MOSFET
  
- Avisos



# Avisos



# Página da disciplina

- Visitem a página da disciplina
  - Pelo menos 1 vez por semana
- Listas, material, links para outras páginas, circuitos e simulações

<https://www.gta.ufrj.br/~cruz/courses/eel280/>



# Lista 1

- Lista 1 disponível
- Entrega
  - 20 de abril (Próxima 5ª feira - 1 semana para fazer)
  - Individual
  - Para meu email [cruz@gta.ufrj.br](mailto:cruz@gta.ufrj.br)
- Resolução
  - Pode ser “em grupo”
  - Pode ser individual

<https://www.gta.ufrj.br/~cruz/courses/eel280/>

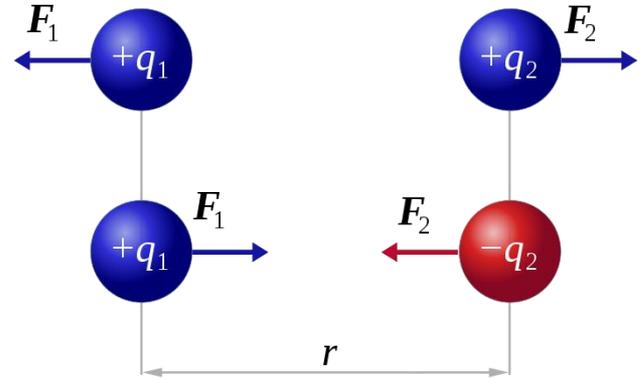


# Corrente elétrica



# Força elétrica

- Cargas iguais se repelem
  - Energia liberada se elas puderem se afastar
- Cargas opostas se atraem
  - Energia liberada se elas puderem se aproximar
- Carga: quantidade de elétrons ou lacunas
  - Geralmente medida em coulombs
    - 1 Coulomb =  $6,25 \times 10^{18}$  elétrons



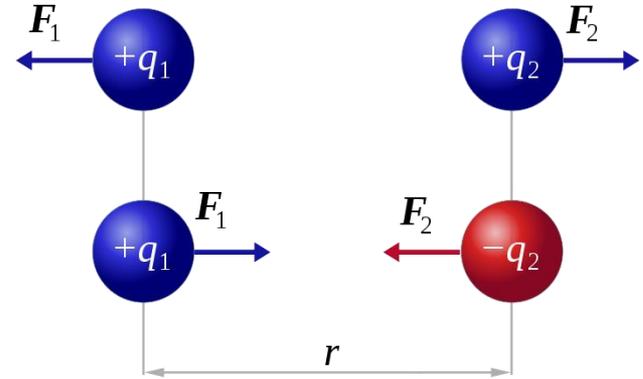
$$|\mathbf{F}_1| = |\mathbf{F}_2| = k_e \frac{|q_1 \times q_2|}{r^2}$$

Retirado de: Wikipedia



# Força elétrica

- Cargas iguais se repelem
  - Energia liberada se elas puderem se afastar
- Cargas opostas se atraem
  - Energia liberada se elas puderem se aproximar
- Carga: quantidade de elétrons ou lacunas
  - Geralmente medida em coulombs
    - 1 Coulomb =  $6,25 \times 10^{18}$  elétrons



$$|\mathbf{F}_1| = |\mathbf{F}_2| = k_e \frac{|q_1 \times q_2|}{r^2}$$

Retirado de: Wikipedia

**Portadores de carga:** elétrons e lacunas



# Resistência, tensão e corrente

- Tensão é a energia potencial elétrica entre dois pontos [Volts]
  - Tendência de elétrons irem de um ponto a outro
  - Energia por carga

$$V = \frac{\text{Energia}}{q}$$

- Corrente [Ampère]
  - Quantidade de carga que passa em um ponto, por tempo

$$i = \frac{q}{t}$$

- Resistência [Ohm]
  - Oposição à passagem de corrente por um corpo

$$V = Ri$$

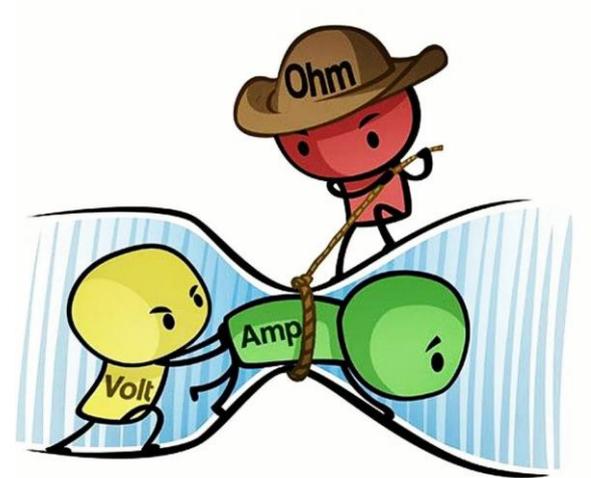
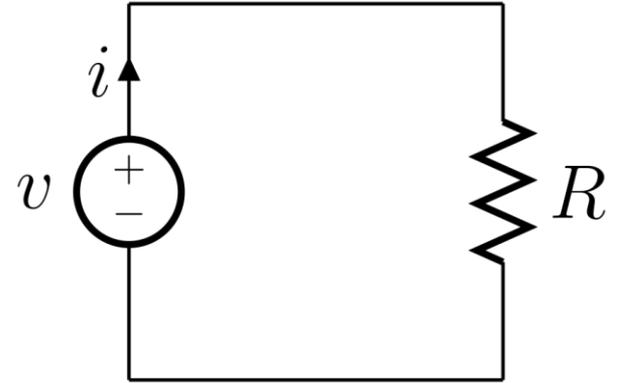


Imagem retirada de  
r/DamnUEngineering



# Corrente elétrica

- Se existir um meio condutor, elétrons vão se mover
- Movimento segue Lei de Ohm  $V = R i$ 
  - $V$  é a tensão (energia/carga)
    - 1 volt = 1 Joule/Coulomb
  - $i$  é a corrente (carga/tempo)
    - 1 Ampère = 1 Coulomb/segundo
  - $R$  é a resistência (dificuldade dos elétrons de passar pelo material)
    - 1 ohm = 1 ampère/volt

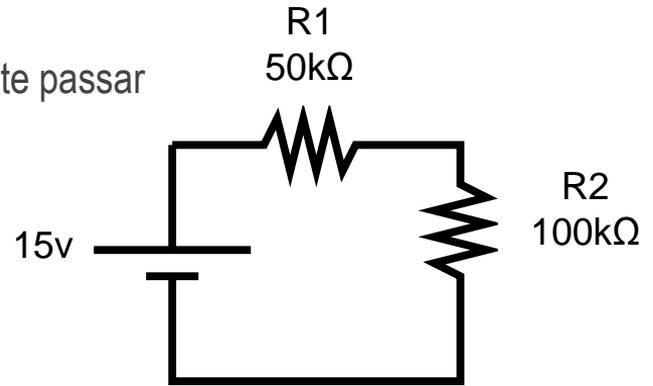


Retirado de: Wikipedia



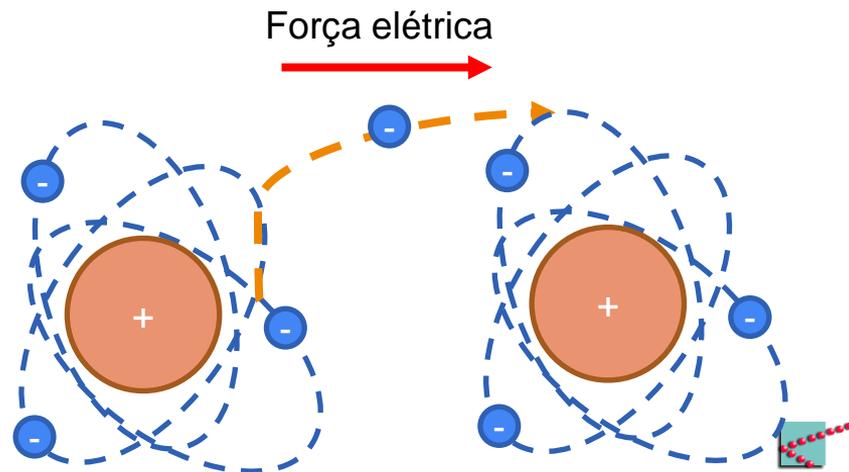
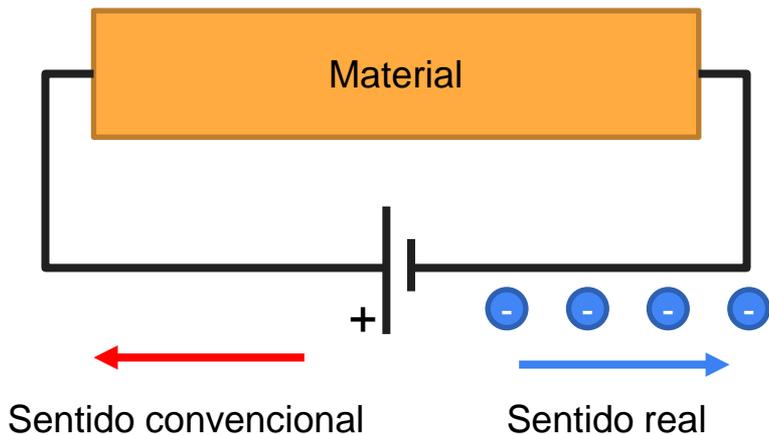
# Resistência, tensão e corrente

- Carga vai perdendo energia para completar um caminho
  - A cada resistência, perde energia
- Tensão é maior entre dois pontos onde é “difícil” pra corrente passar
  - Gasto maior de energia
- Tensão é zero quando não há resistência
- Se não há corrente
  - Tensão é máxima sobre a parte aberta do circuito
  - Tensão é zero em todo o resto



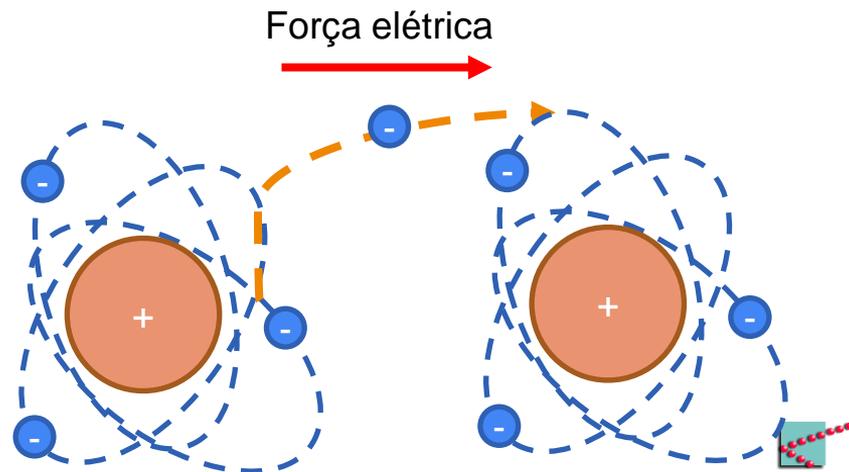
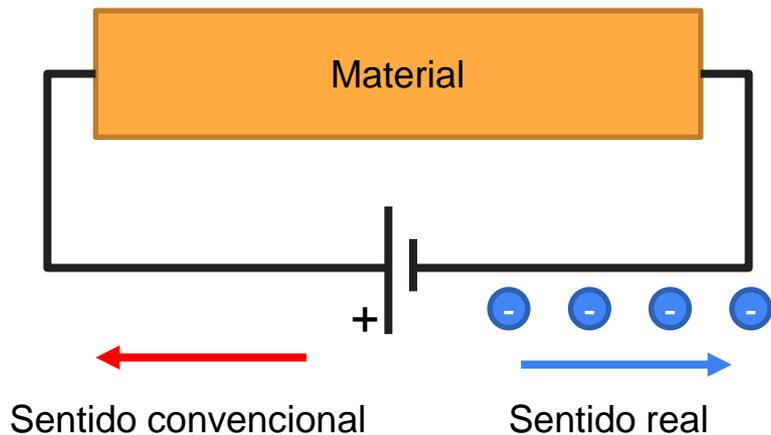
# O que é corrente elétrica?

- Elétrons são empurrados pela força elétrica
  - Recebe energia e se move
  - Ocupa lugar de elétron próximo
    - Elétron próximo fica livre e movimento continua



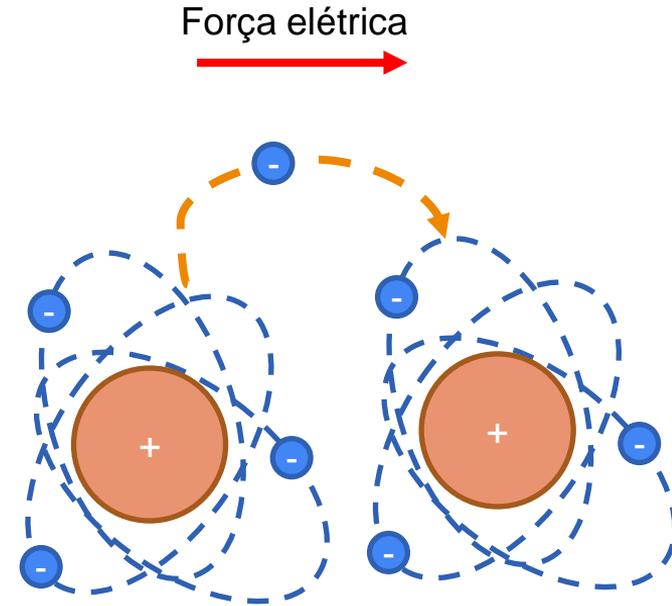
# O que é corrente elétrica?

- Tensão
  - Quantidade de energia de cada carga
- Resistência
  - Dificuldade de “empurrar” outros elétrons no material
- Corrente
  - Quantidade de cargas em movimento



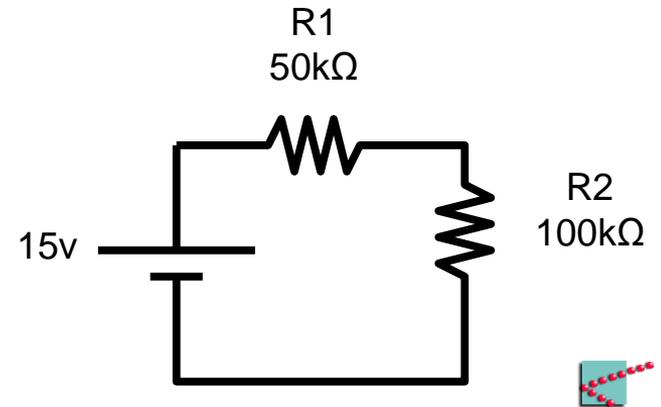
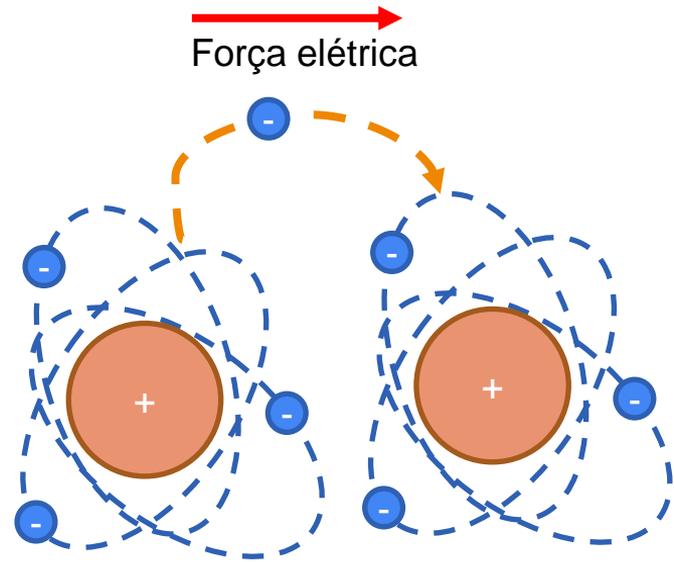
# O que é condução elétrica?

- Materiais condutores
  - Cargas livres
    - Propriedades físico-químicas
  - Facilidade de mover cargas
  - Corrente elétrica flui sem muita resistência
- Materiais isolantes
  - Cargas “presas”
    - Propriedades físico-químicas
  - Corrente elétrica flui com muita resistência (ou não flui)



# Efeito “ônibus cheio”

- Materiais possuem muitas cargas
- Efeito sobre uma carga se propaga para outras
  - Quase instantaneamente
    - Velocidade da luz no material



# Caso geral

- Condutores
  - Elementos com 1, 2 ou 3 elétrons na última camada
  - Misturas com íons livres
- Isolantes
  - Elementos com 5, 6 ou 7 ou 8 elétrons na última camada
  - Misturas sem íons



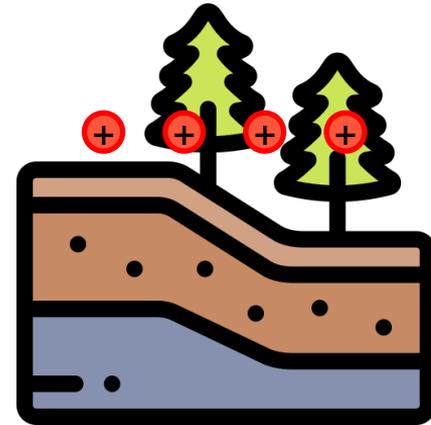
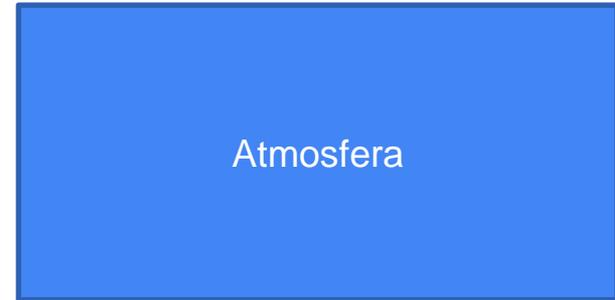
# Exemplo clássico: água

- Água pura
  - Elétrons bem presos aos átomos
  - Isolante
- Água com sal
  - Solução gera íons livres (ou seja, elétrons móveis)
  - Condutor



# Exemplo: ar

- Ar é uma mistura de gases
  - Elétrons bem presos aos átomos
  - Isolante
- Tempestade cria desbalanço de cargas
  - Elétrons se acumulam de um lado, lacunas de outro
    - Força elétrica
  - Quando desbalanço é grande o suficiente, ar é ionizado
    - Descarga acontece



# Semicondutores



# Silício e Germânio

- Possuem 4 elétrons na camada de valência
  - Não estão nem muito presos nem muito soltos
- Formam cristais
  - Estrutura cristalina bem organizada



# Silício e Germânio

- Possuem 4 elétrons na camada de valência
  - Não estão nem muito presos nem muito soltos
- Formam cristais
  - Estrutura cristalina bem organizada

## **Focaremos no Silício!**

Raciocínio válido pro Germânio,  
mas diferenças na magnitude das propriedades!



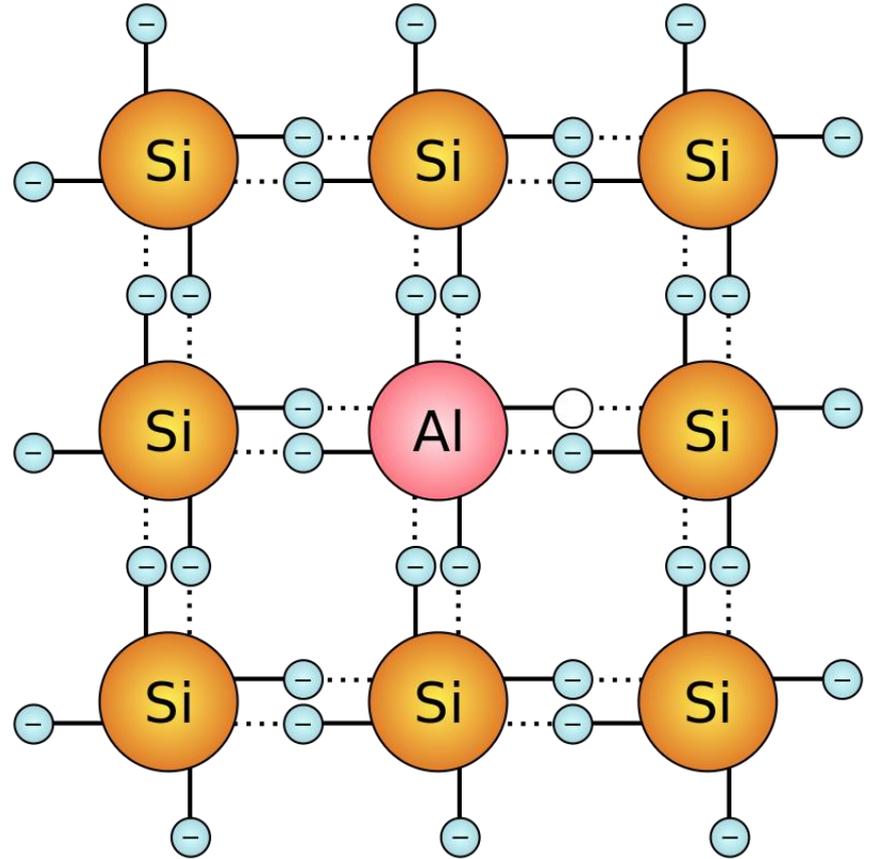
# Dopagem de um cristal

- Adição controlada de impurezas
  - Pode alterar propriedades físico-químicas
    - Condutividade
    - Ponto de fusão



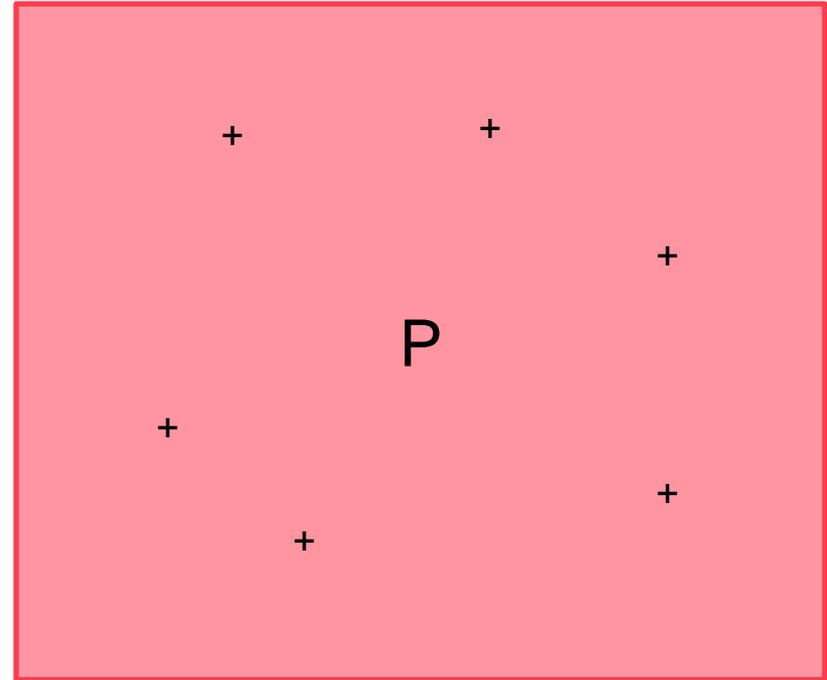
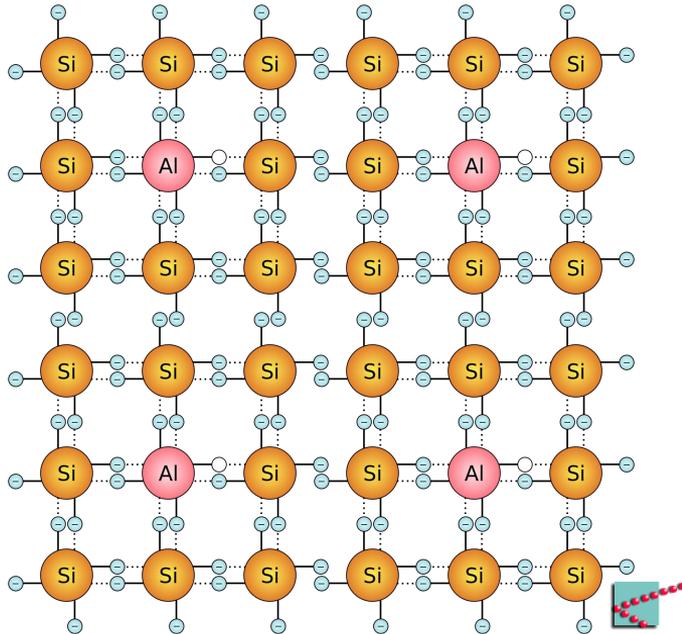
# Dopagem tipo P

- Adição a um cristal de silício de elemento capaz de ceder uma lacuna
  - Alumínio (Al)
  - Boro (B)



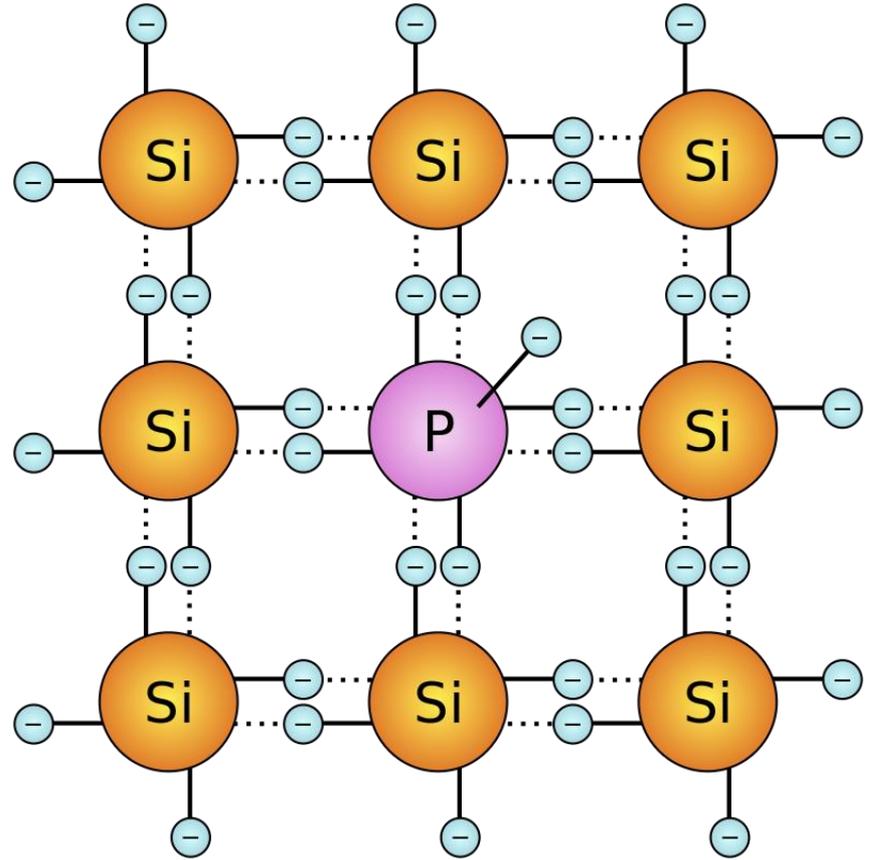
# Substrato tipo P

- Bolacha de silício com lacunas
  - Dopagem com Al, B...



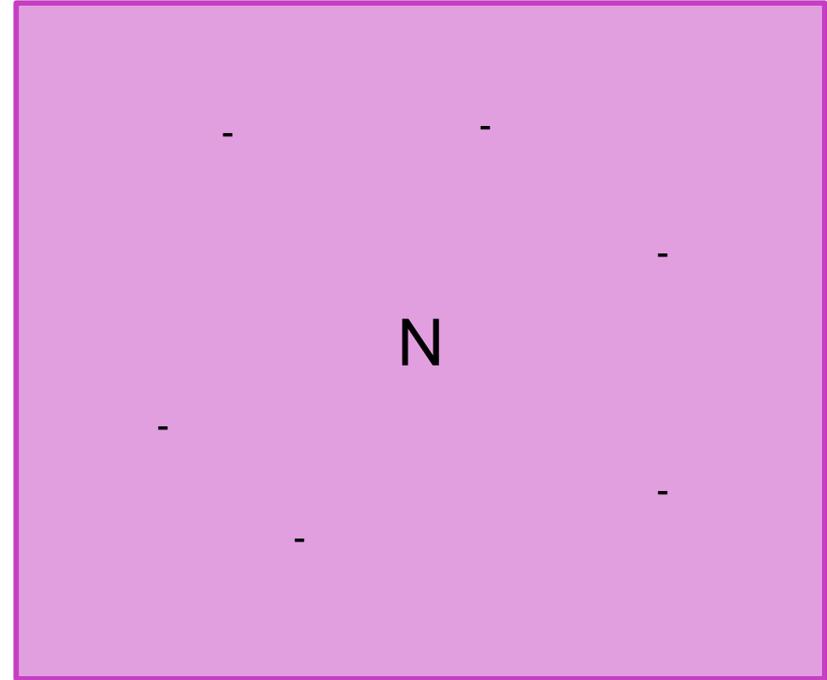
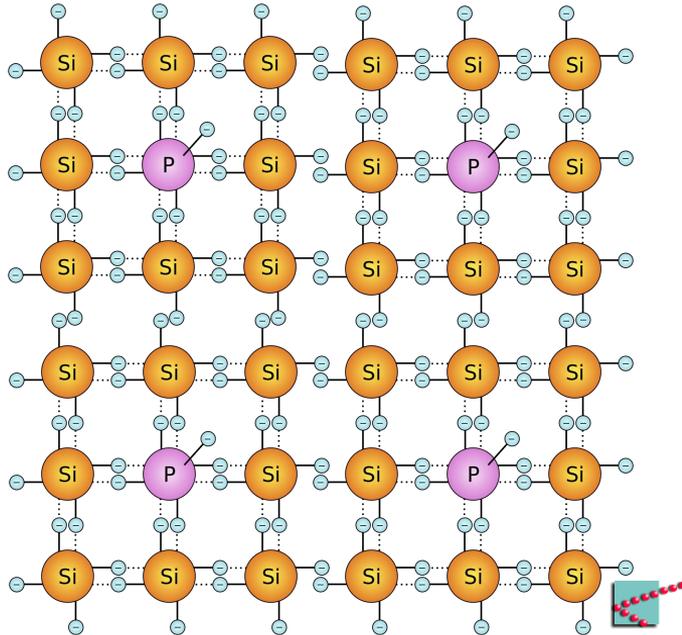
# Dopagem tipo N

- Adição a um cristal de silício de elemento capaz de ceder um elétron
  - Fósforo (P)
  - Arsênio (As)



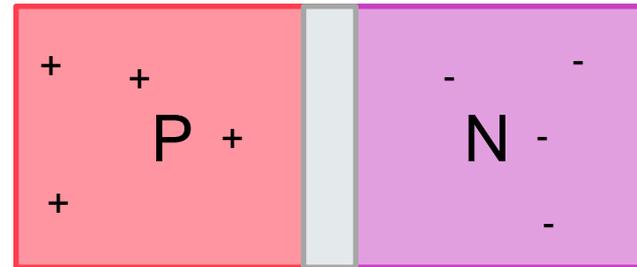
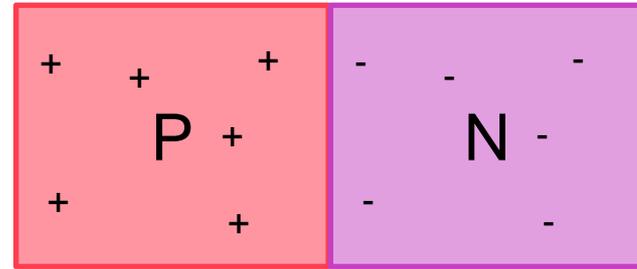
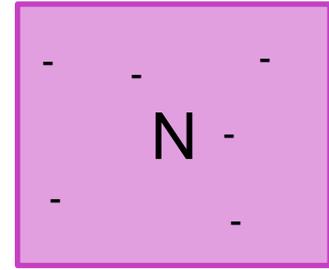
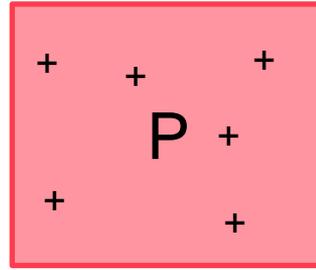
# Substrato tipo N

- Bolacha de silício com elétrons
- Dopagem com P, As...



# Junção P-N

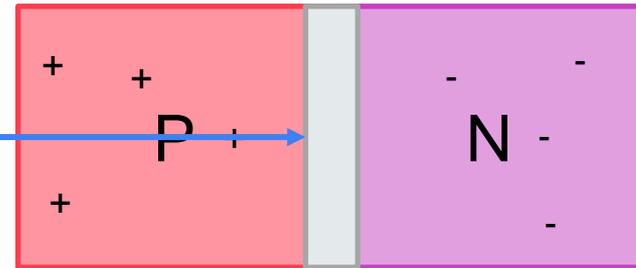
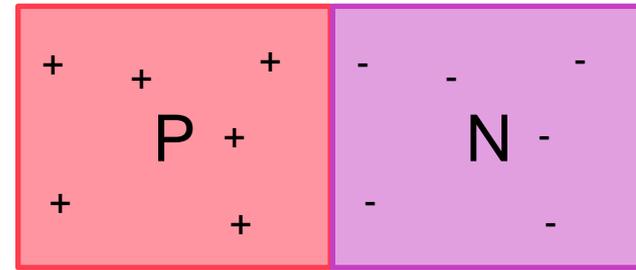
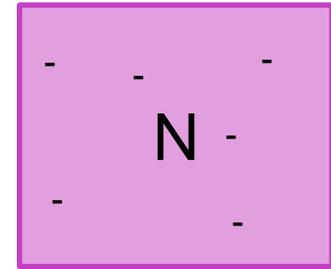
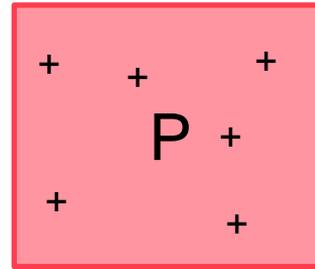
- União entre substrato P e substrato N
  - Elétrons livres do substrato N migram para lacunas livres do substrato P
  - Equilíbrio interrompe migração
  - Camada de *depleção*
    - Material não conduz
    - Até determinada tensão



# Junção P-N

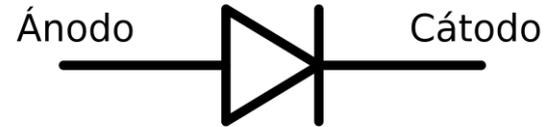
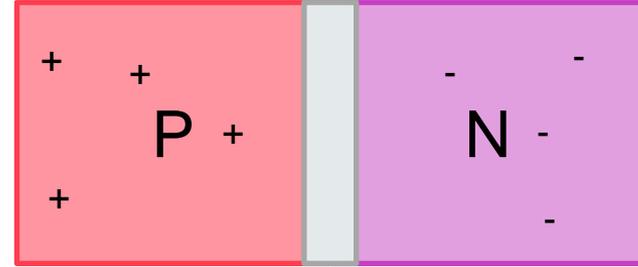
- União entre substrato P e substrato N
  - Elétrons livres do substrato N migram para lacunas livres do substrato P
  - Equilíbrio interrompe migração
  - Camada de *depleção*
    - Material não conduz
    - Até determinada tensão

O que é **tensão** mesmo?



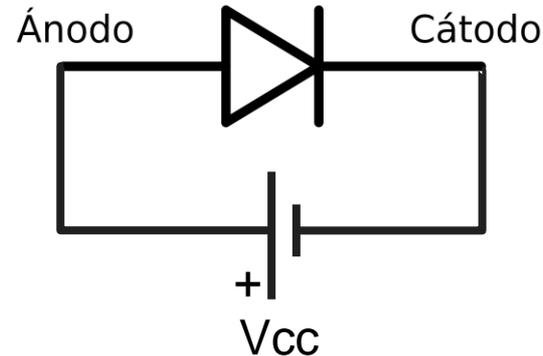
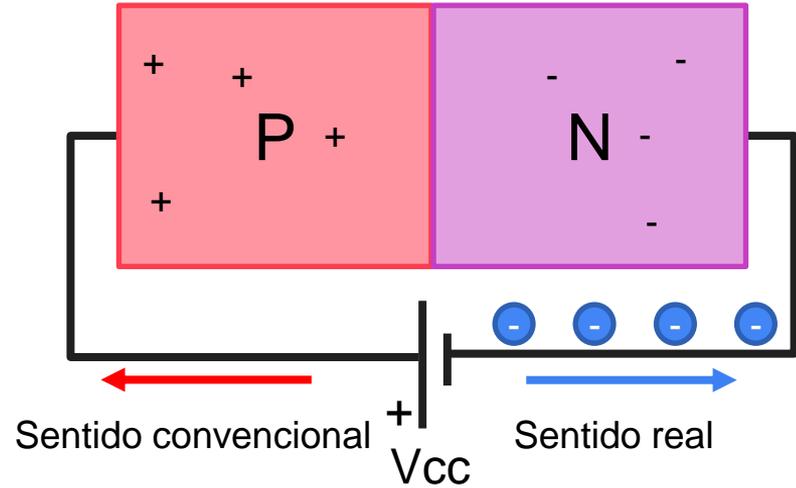
# Diodo

- Junção P-N
- Polarização direta permite corrente
- Polarização inversa bloqueia corrente



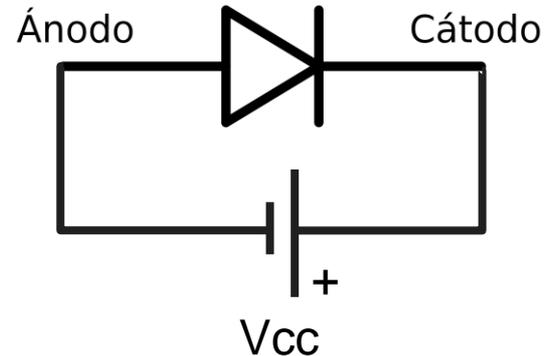
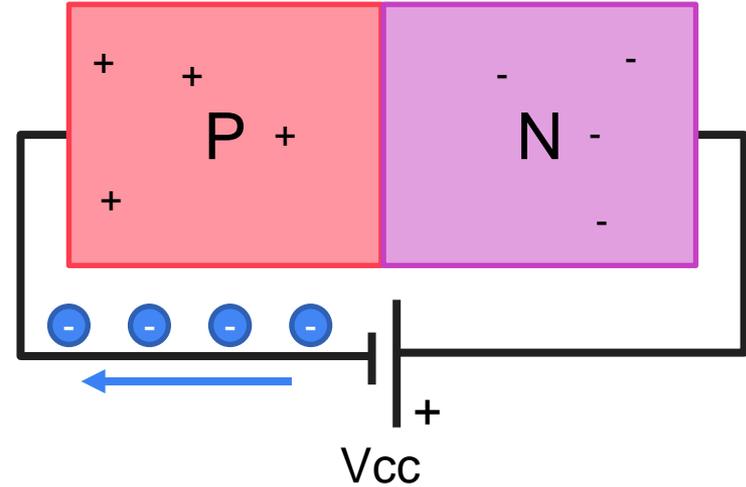
# Polarização direta

- Elétrons saem da fonte e encontram N
- Elétrons livres de N são repelidos em direção a P
- Lacunas de P são repelidas em direção a N
- Diodo se torna condutor
- Corrente é estabelecida, desde que  $V_{cc}$  seja capaz de “quebrar” a camada de depleção



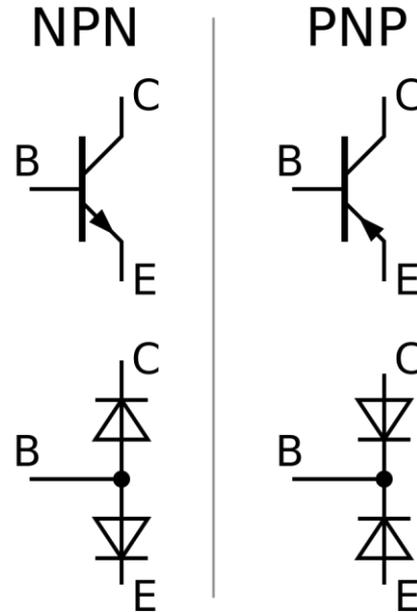
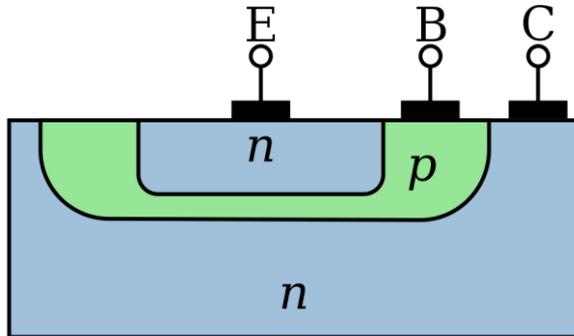
# Polarização inversa

- Elétrons saem da fonte e encontram lacunas de P
  - P se estabiliza
- Elétrons livres de N vão para a fonte
  - N se estabiliza
- Camada de depleção se estende por todo o diodo
  - Diodo se torna isolante
  - Não há corrente



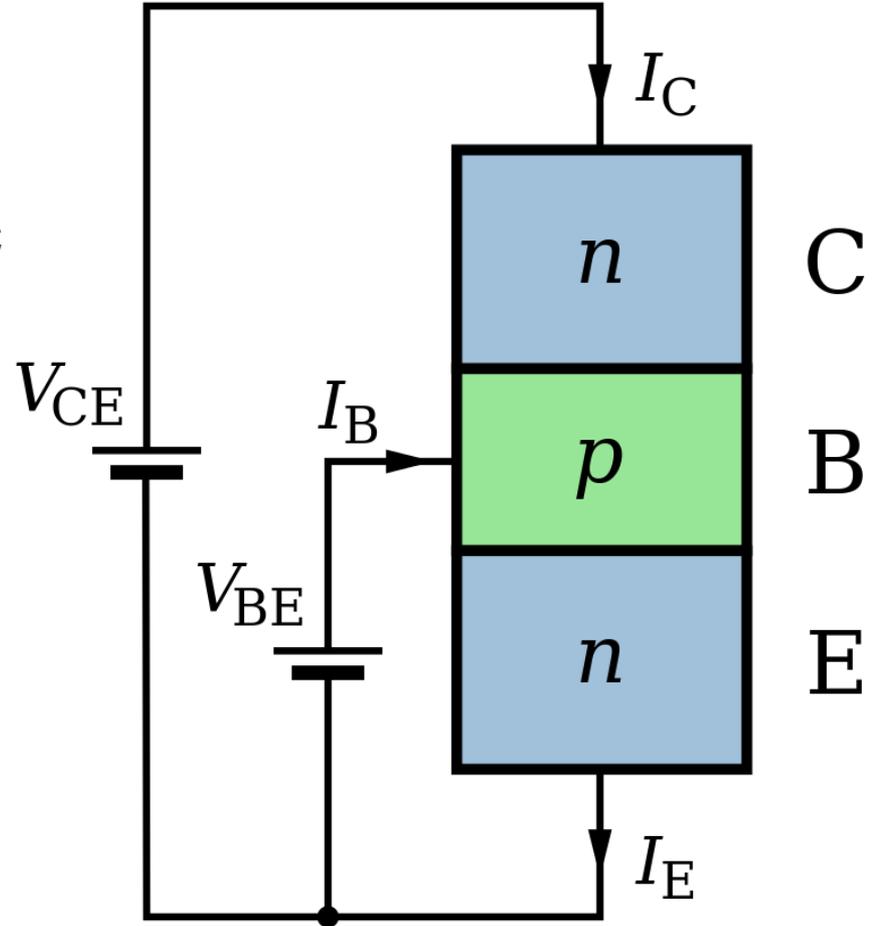
# Transistor Bipolar de Junção (BJT)

- Duas regiões do mesmo tipo separadas por uma região do outro tipo
  - PNP
  - NPN
- Coletor recebe dopagem mais forte
- Base é uma região fina
- Emissor é pouco dopado



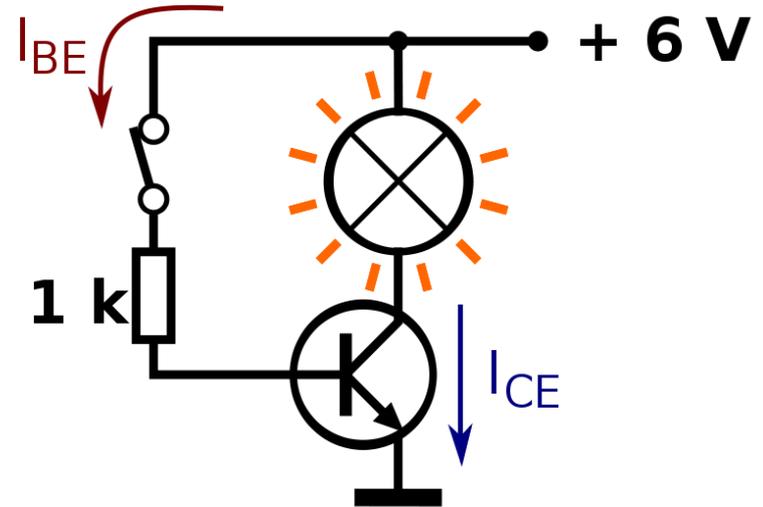
# BJT

- Se corrente sai da base para o Emissor
- Efeito de difusão força uma corrente entre C e E
  - Corrente é  $\beta$  vezes maior do que a corrente que sai de B para E
    - $\beta$  é um parâmetro de cada BJT



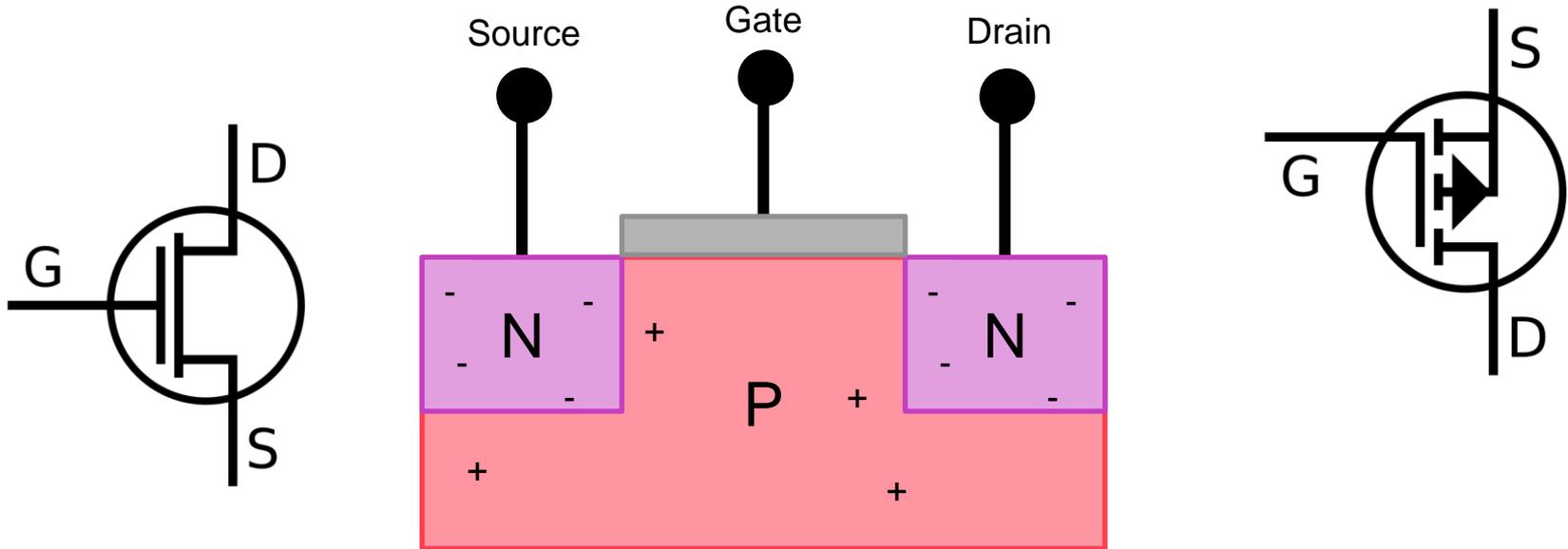
# Transistor enquanto chave

- Se a chave é fechada, uma corrente aparece entre B e E
- Se aparece uma corrente entre B e E, aparece uma corrente entre C e E
- Corrente entre C e E acende a luz

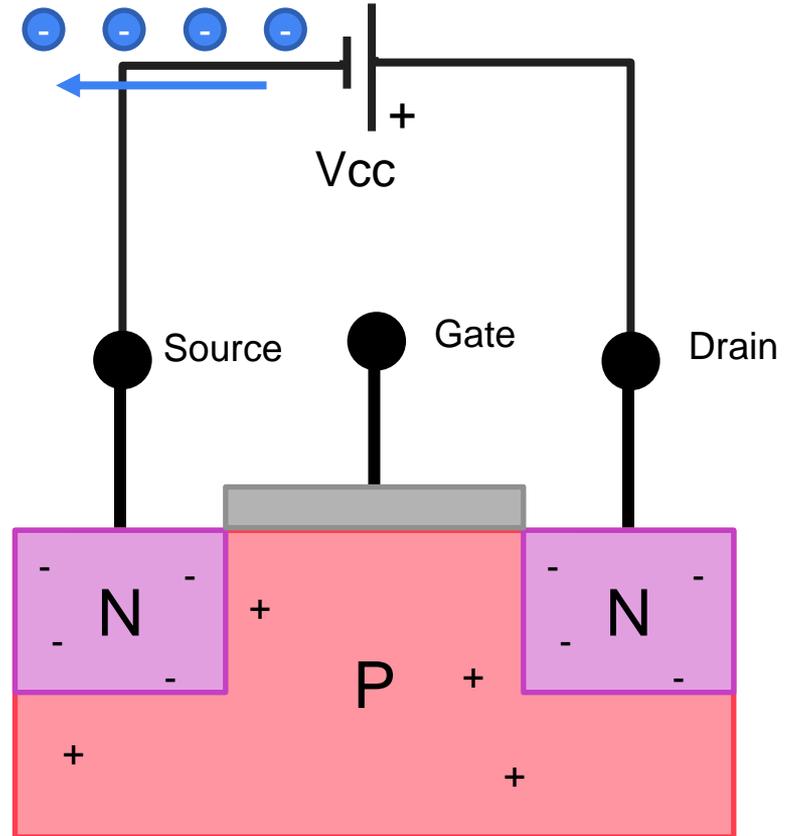


# MOSFET

- Dois substratos iguais separados por um diferente, menos dopado
- Um terminal separado por um isolante no caminho entre os substratos iguais

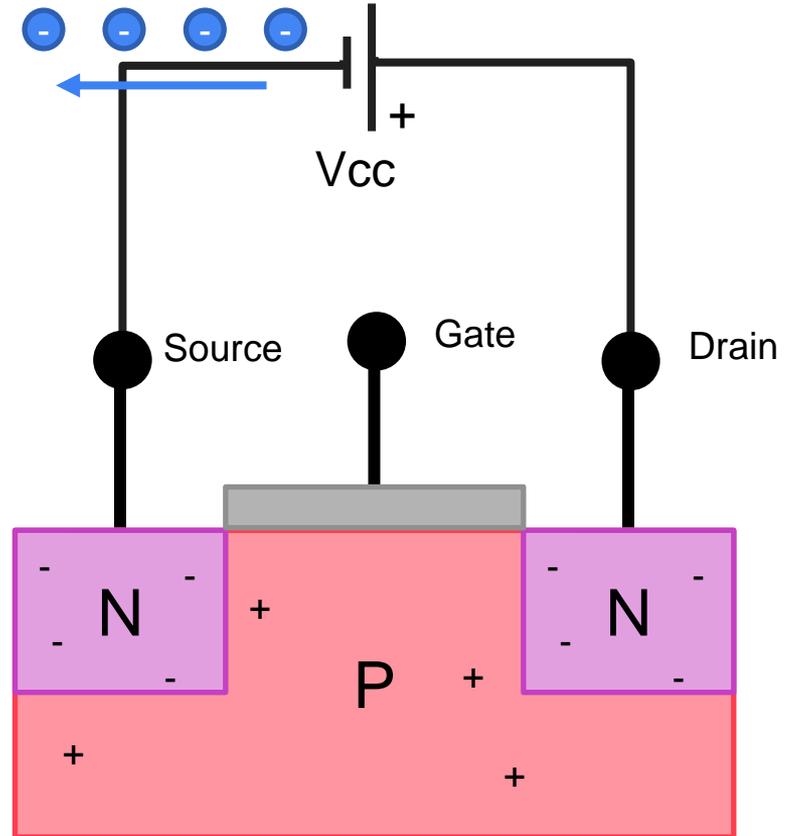


# Corrente entre *drain* e *source*



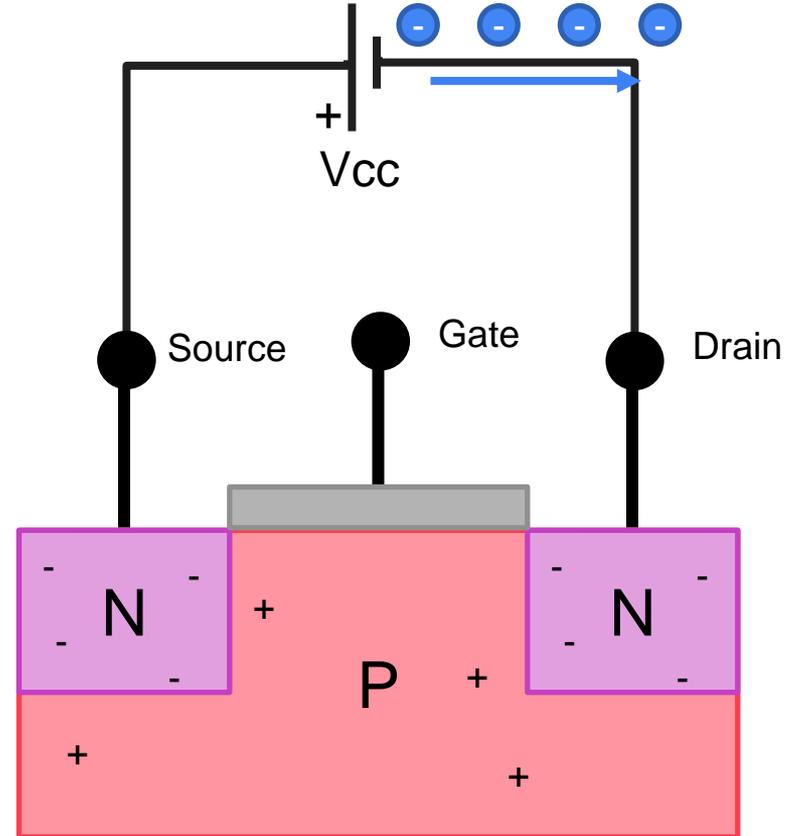
# Corrente entre *source* e *drain*

- Na hora de passar do P para o N, elétrons são bloqueados
- Não há corrente



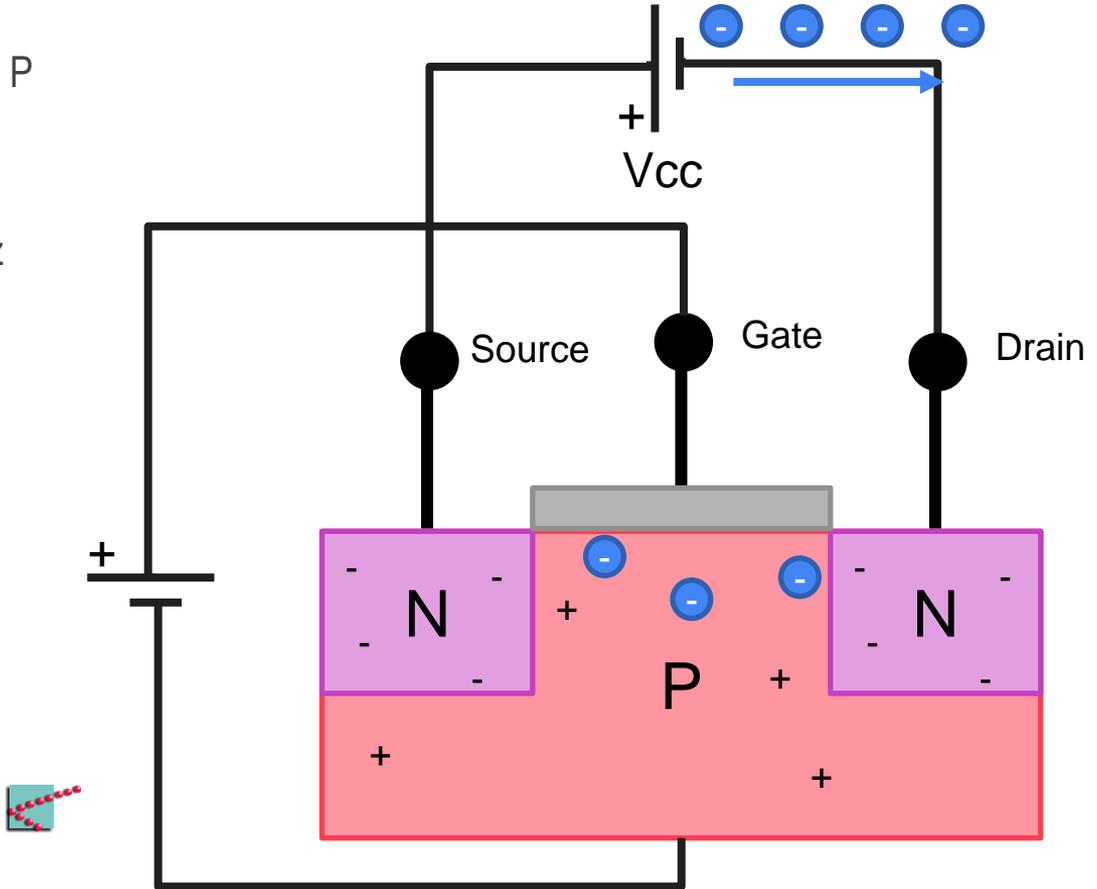
# Corrente entre *source* e *drain*

- Elétrons passam na junção N-P, mas ficam presos na junção P-N



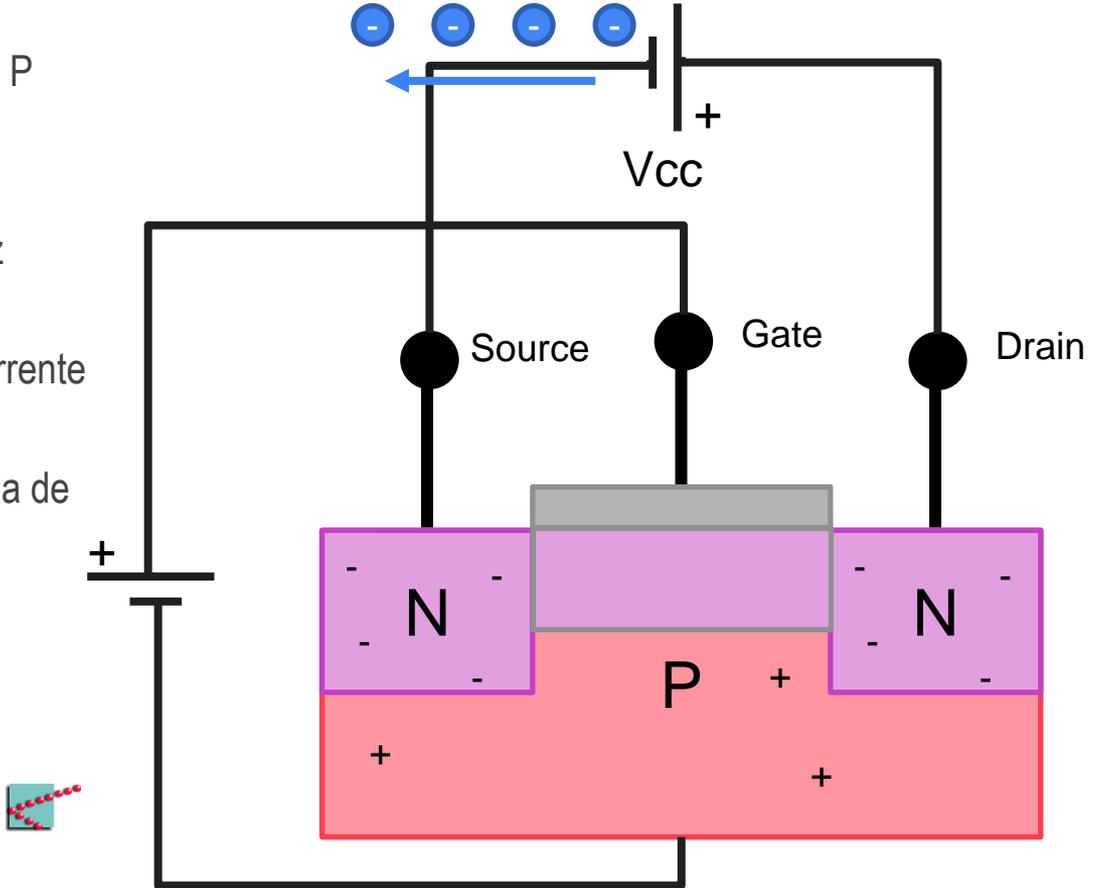
# Adicionando tensão ao *gate*

- Tensão positiva atrai elétrons de P
  - São poucos, mas existem
- Elétrons vão ficar “sobrando”
  - Elétron “sobrando” conduz corrente



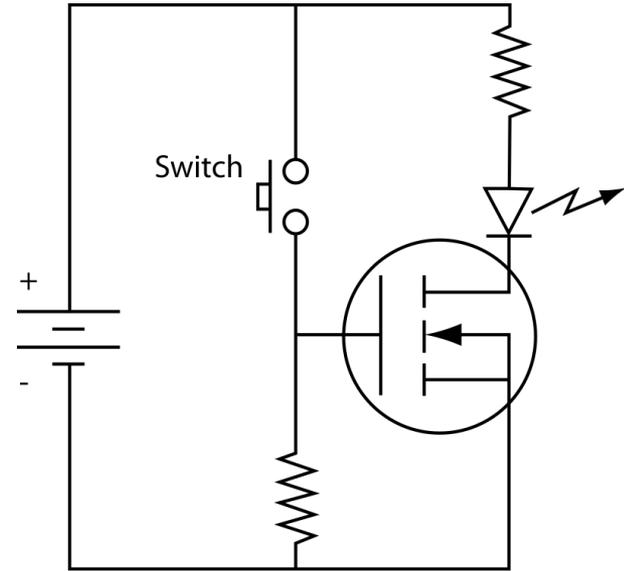
# Adicionando tensão ao *gate*

- Tensão positiva atrai elétrons de P
  - São poucos, mas existem
- Elétrons vão ficar “sobrando”
  - Elétron “sobrando” conduz corrente
- Criação de um “canal” para a corrente
  - Canal N
  - Camada de depleção muda de posição



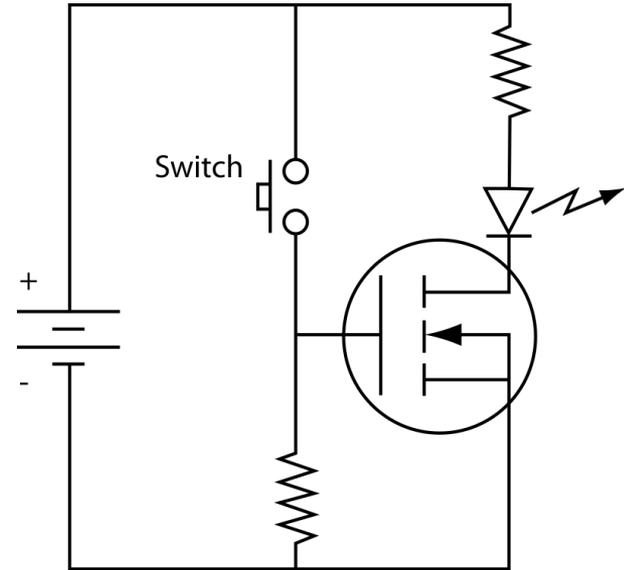
# Usando o MOSFET como chave

- Ao clicar no botão, o mosfet funciona como chave
  - Circuito “fecha”
  - Led acende



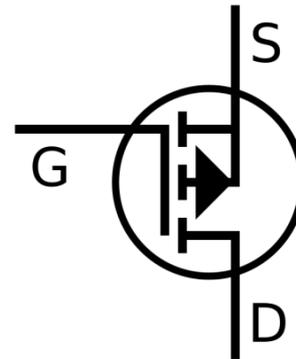
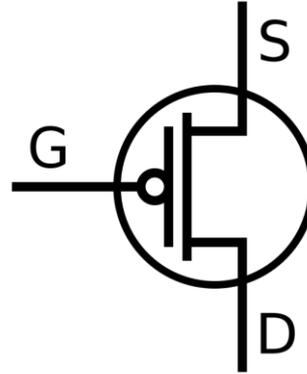
# Qual vantagem?

- Chave controlada de maneira elétrica
  - Dispositivo elétrico controla outro dispositivo elétrico
- Chave sem componente mecânico
  - Muito mais rápido
  - Muito menor



# E se...?

- Invertamos substrato N com substrato P?
  - MOSFET 'fecha' quando *gate* está baixo
  - Canal P



# E se...?

- Usar transistores como chave
  - Tensão entra e “abre” e “fecha” uma chave
  - Chave liga Vcc ou GND à saída
- Seria possível chamar Vcc = 1, GND = 0?
- Seria possível organizar MOSFET's/BJT's e implementar as funções lógicas da última aula?



# E se...?

- Usar transistores como chave
  - Tensão entra e “abre” e “fecha” uma chave
  - Chave liga Vcc ou GND à saída
- Seria possível chamar Vcc = 1, GND = 0?
- Seria possível organizar MOSFET's/BJT's e implementar as funções lógicas da última aula?

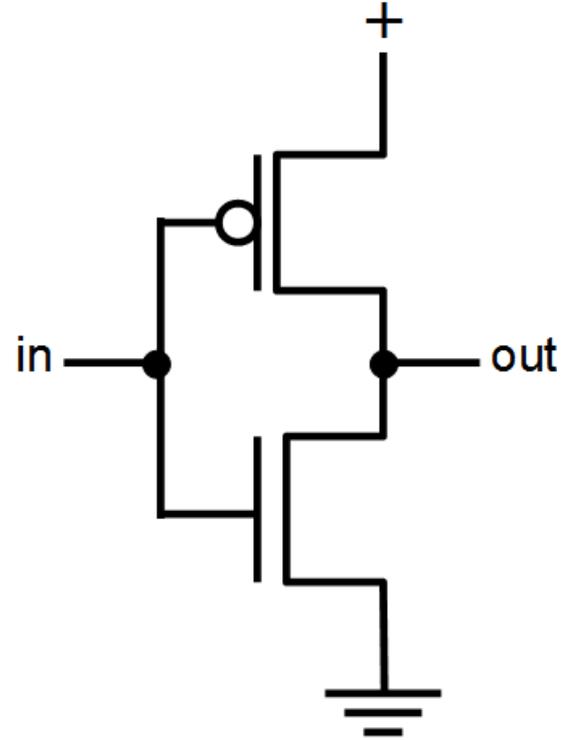


Imagem por Graham Cox



# Créditos

Os ícones desta apresentação foram feitos por Freepic e retirados de [www.flaticon.com](http://www.flaticon.com)

Imagens foram retiradas da wikipedia





**GTA / UFRJ**

GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

[www.gta.ufrj.br](http://www.gta.ufrj.br)