

Circuitos Lógicos

Aula 2

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
- Resolução
 - Pode ser “em grupo”
 - Pode ser individual

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

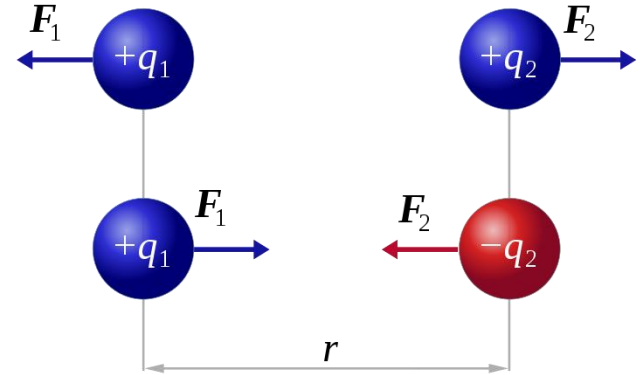


Corrente elétrica



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



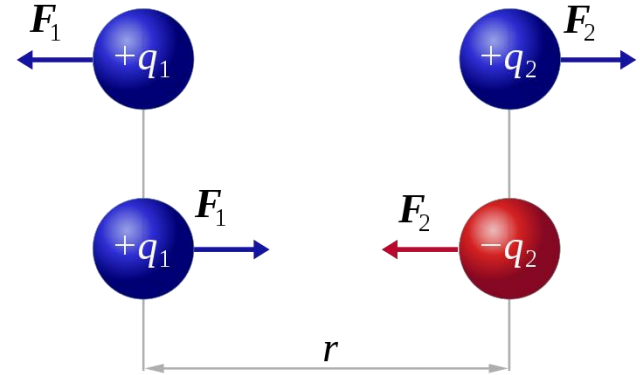
$$|\mathbf{F}_1| = |\mathbf{F}_2| = k_e \frac{|q_1 \times q_2|}{r^2}$$

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

$$V = Ri$$

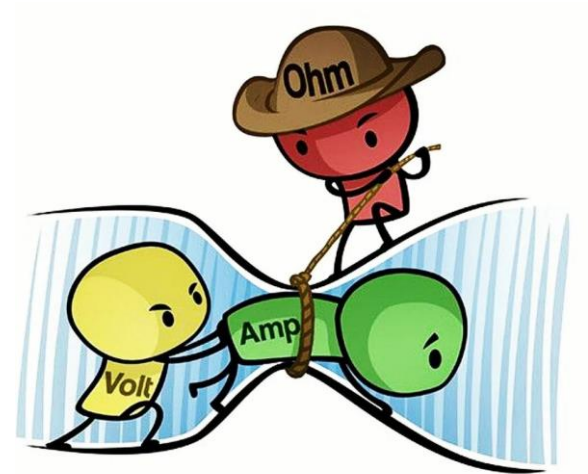
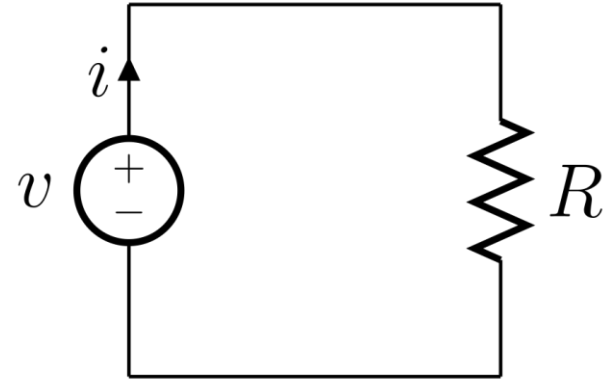


Imagem retirada de
r/DamnUEngineering



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

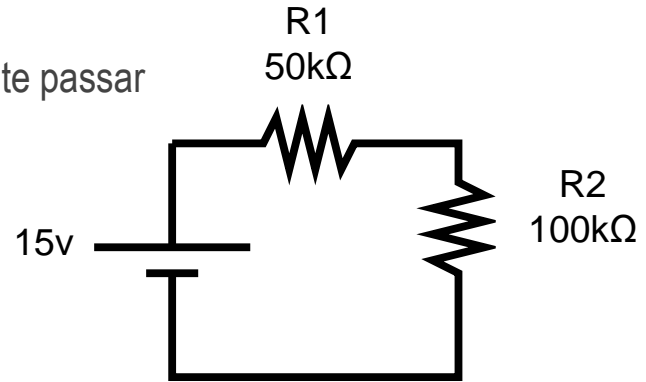


Retirado de: Wikipedia



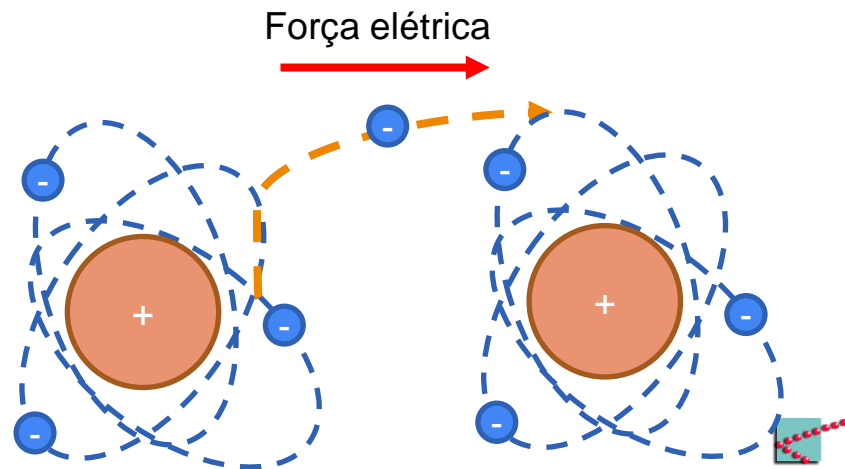
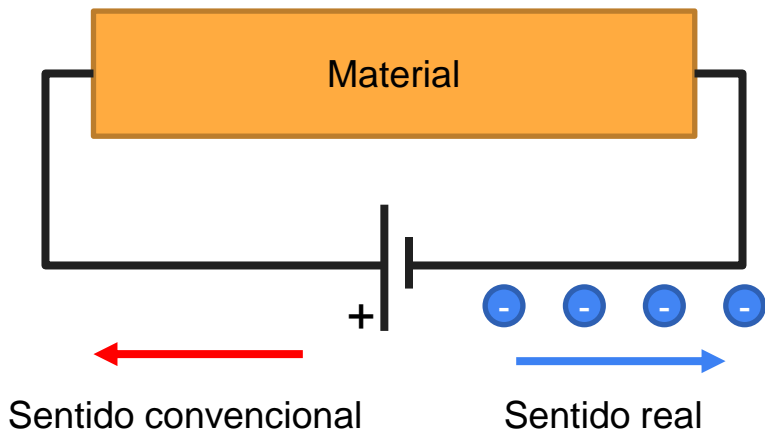
Resistência, tensão e corrente

- 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



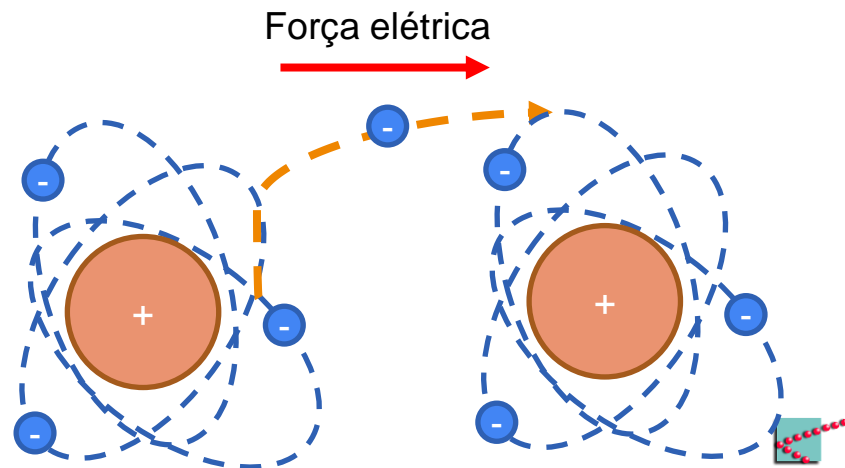
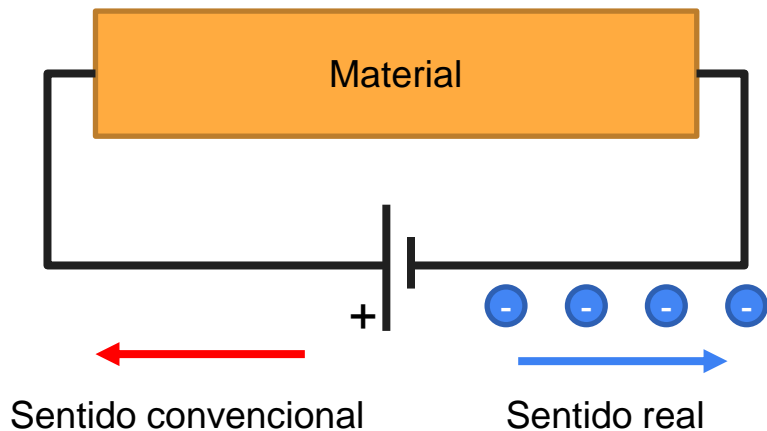
O que é corrente elétrica?

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



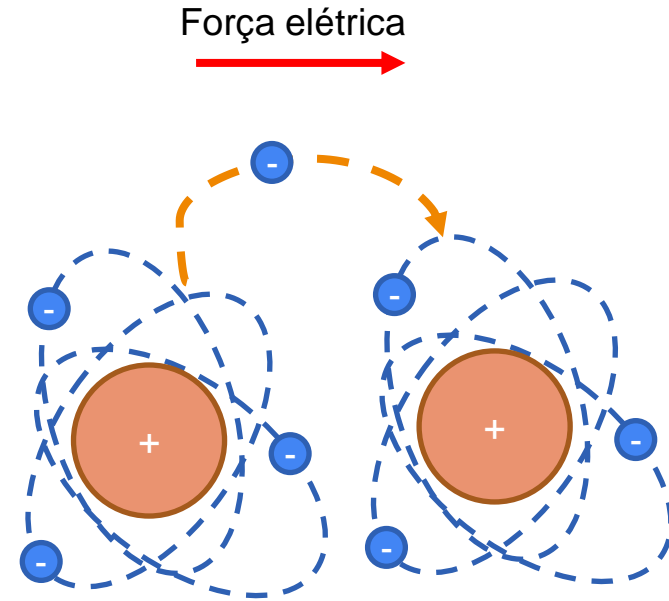
O que é corrente elétrica?

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



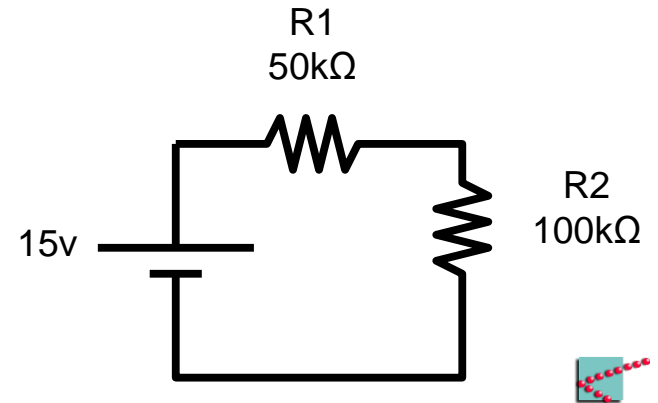
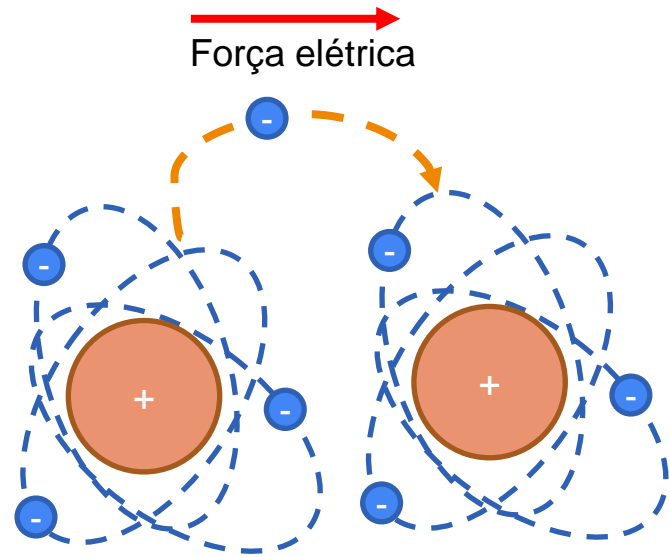
O que é condução elétrica?

- 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



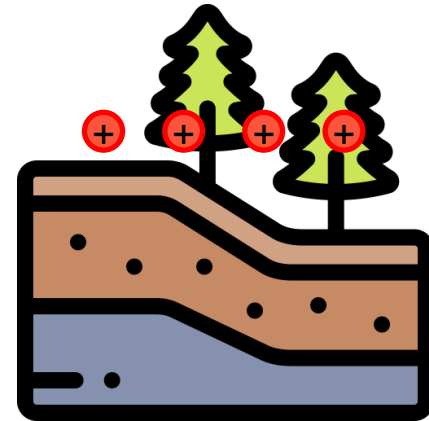
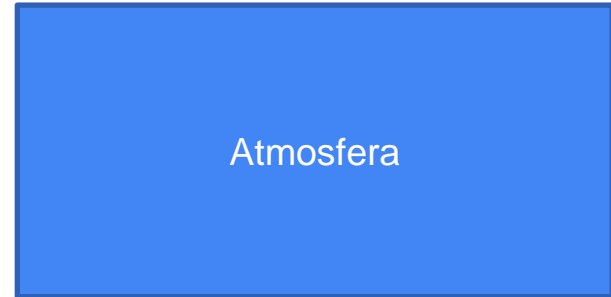
Exemplo clássico: água

- 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!



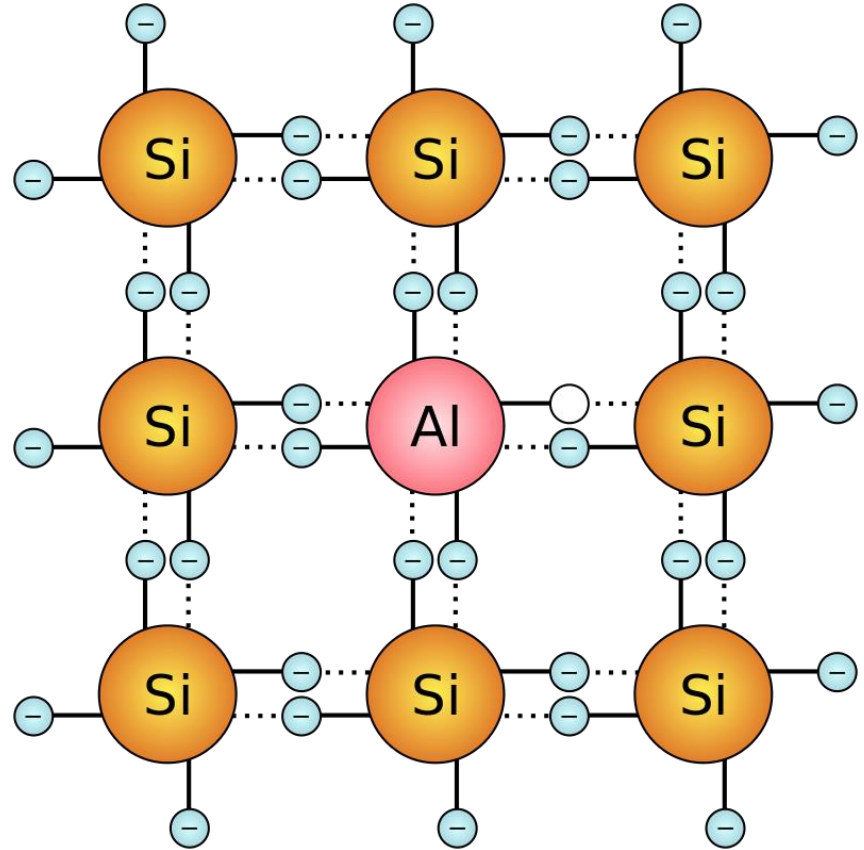
Dopagem de um cristal

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



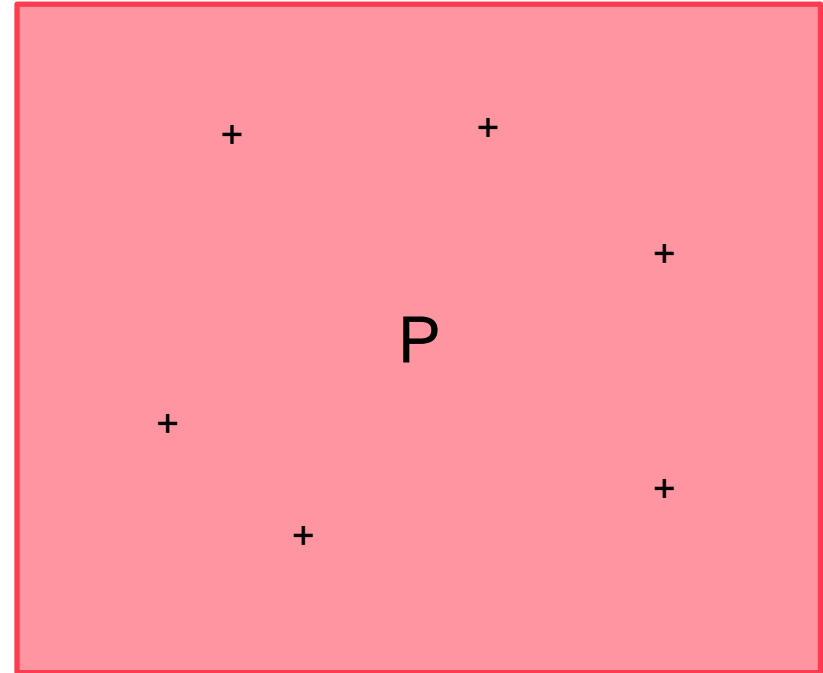
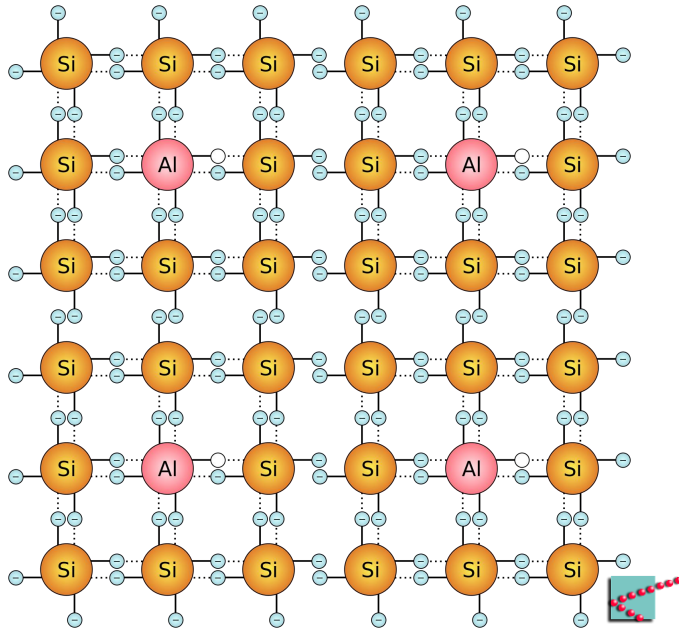
Dopagem tipo P

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



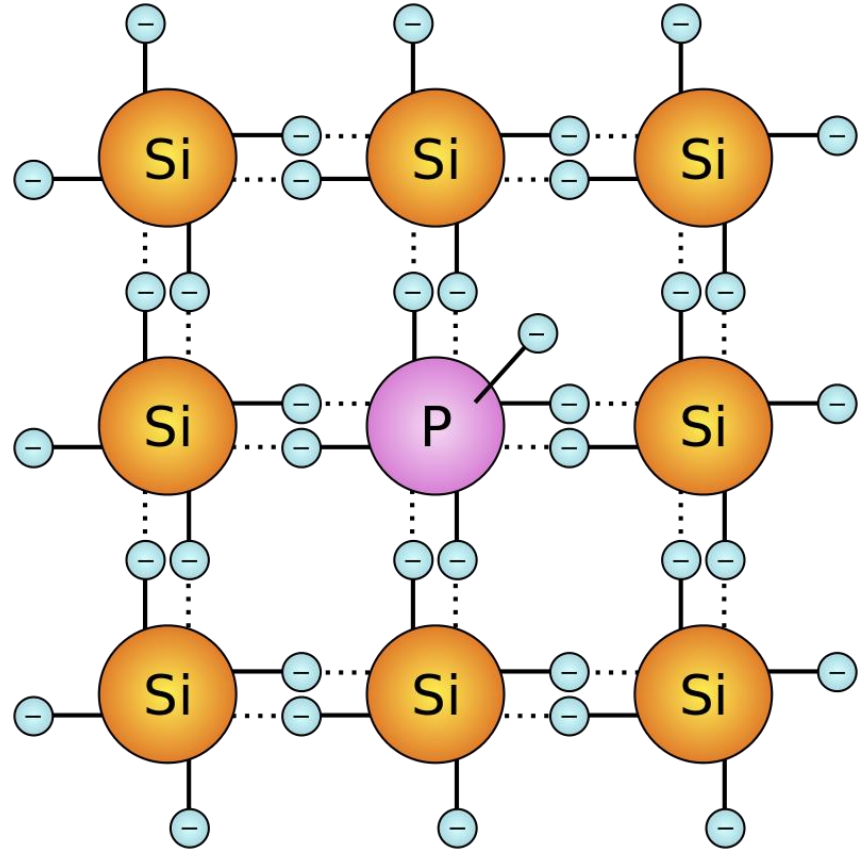
Substrato tipo P

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



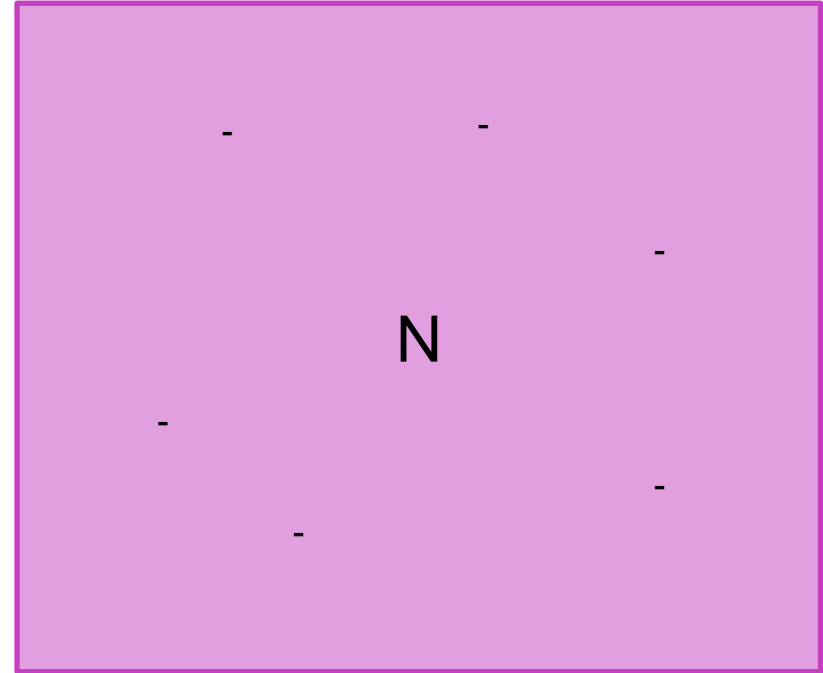
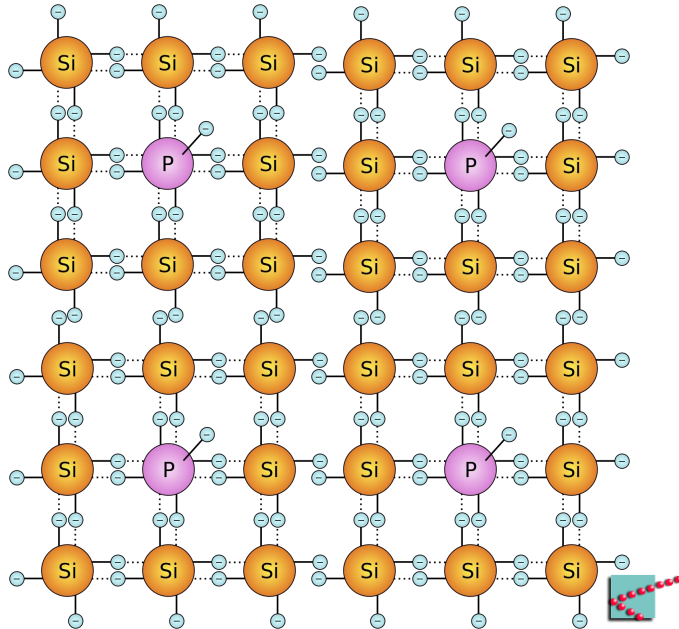
Dopagem tipo N

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



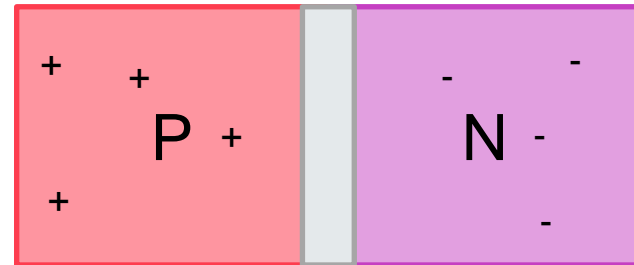
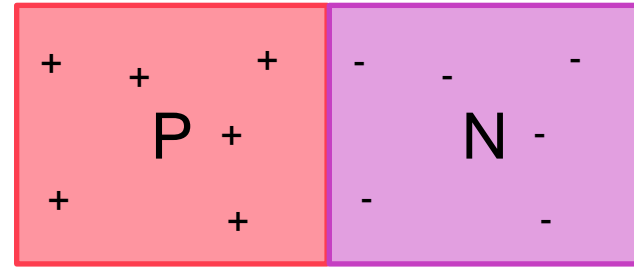
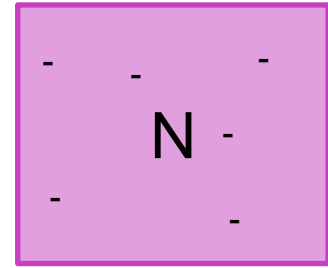
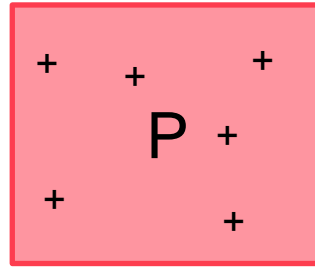
Substrato tipo N

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



Junção P-N

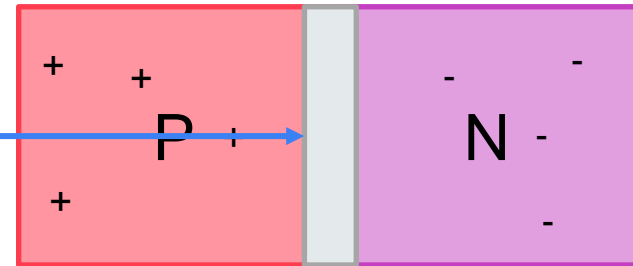
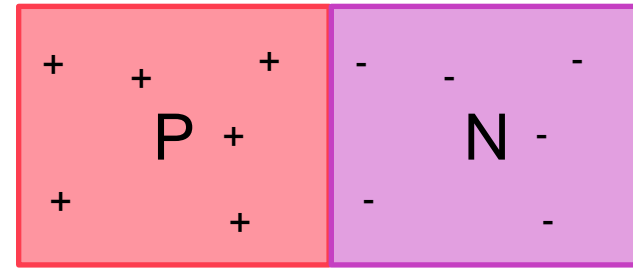
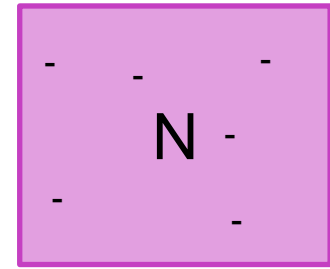
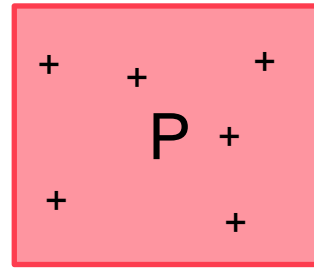
- União entre substrato P e substrato N
 - Elétrons livres do substrato N migram para lacunas livres do substrato P
 - Equilíbrio interrompe migração
 - Camada de *depleção*
 - Material não conduz
 - Até determinada tensão



Junção P-N

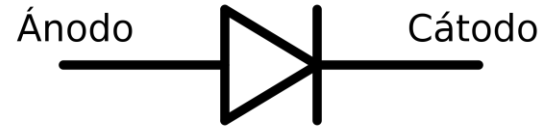
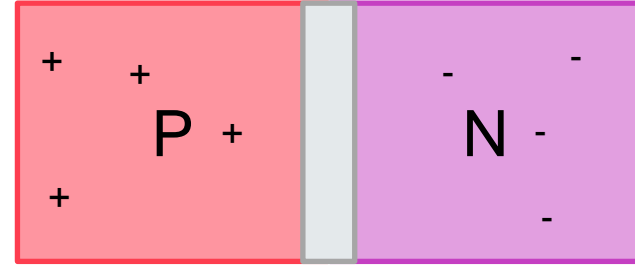
- União entre substrato P e substrato N
 - Elétrons livres do substrato N migram para lacunas livres do substrato P
 - Equilíbrio interrompe migração
 - Camada de *depleção*
 - Material não conduz
 - Até determinada tensão

O que é **tensão** mesmo?



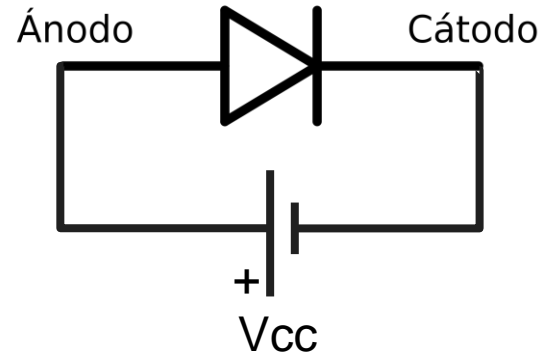
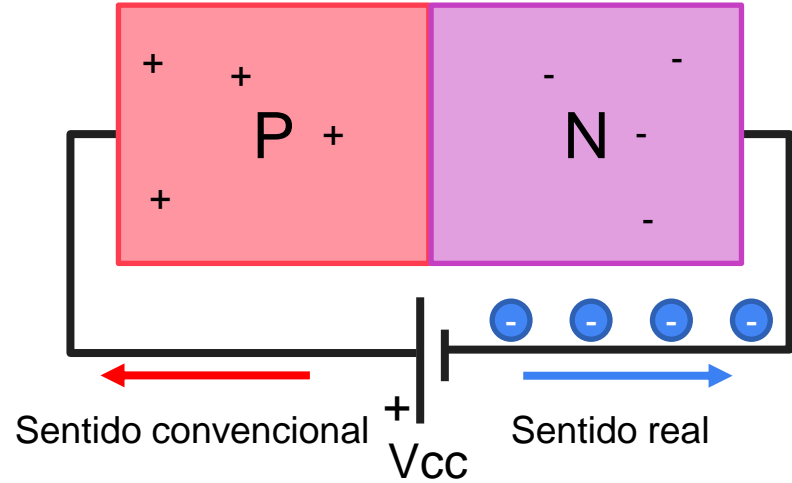
Diodo

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



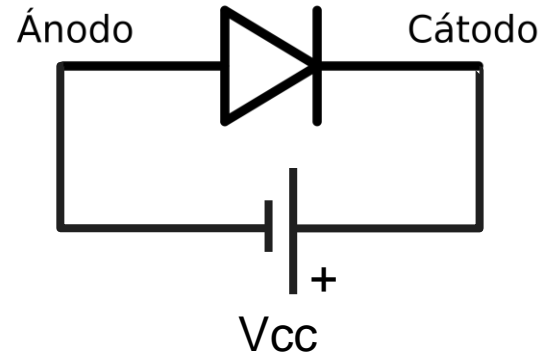
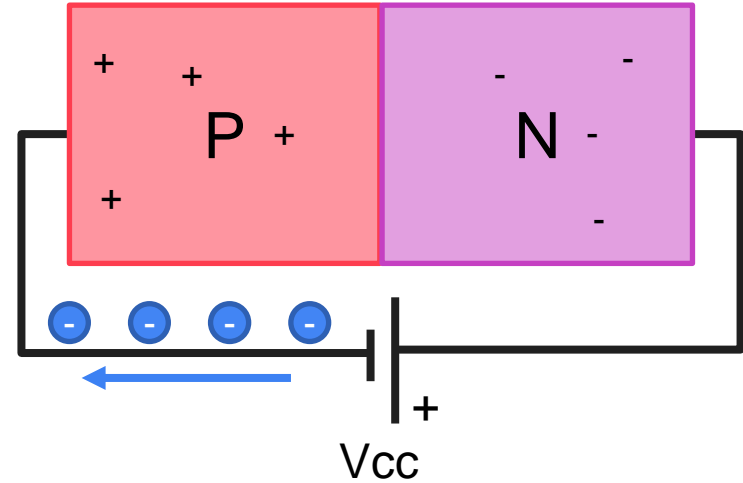
Polarização direta

- 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



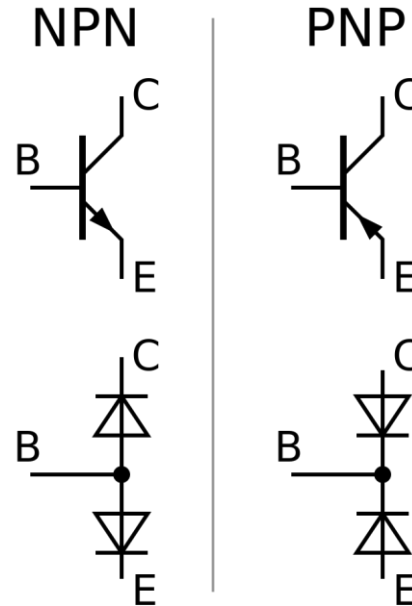
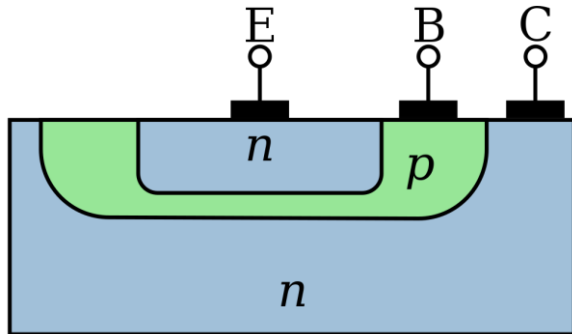
Polarização inversa

- 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



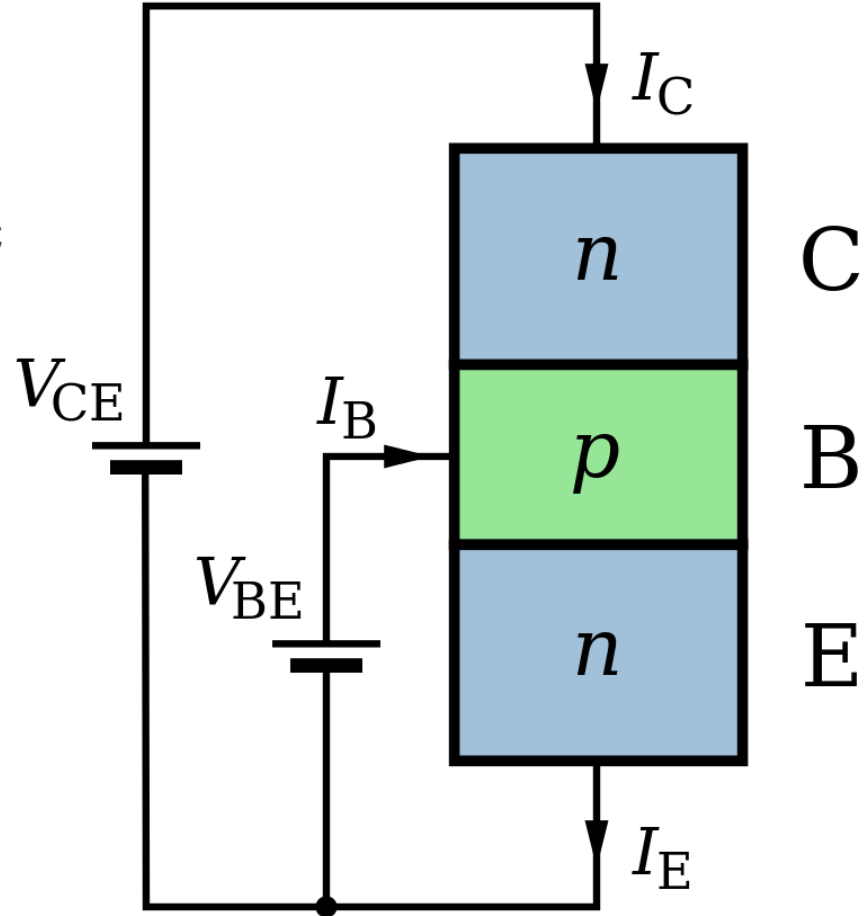
Transistor Bipolar de Junção (BJT)

- 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



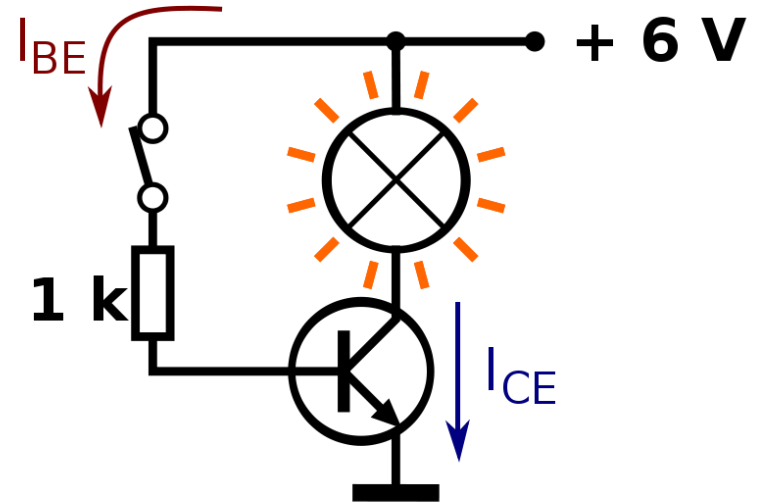
BJT

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



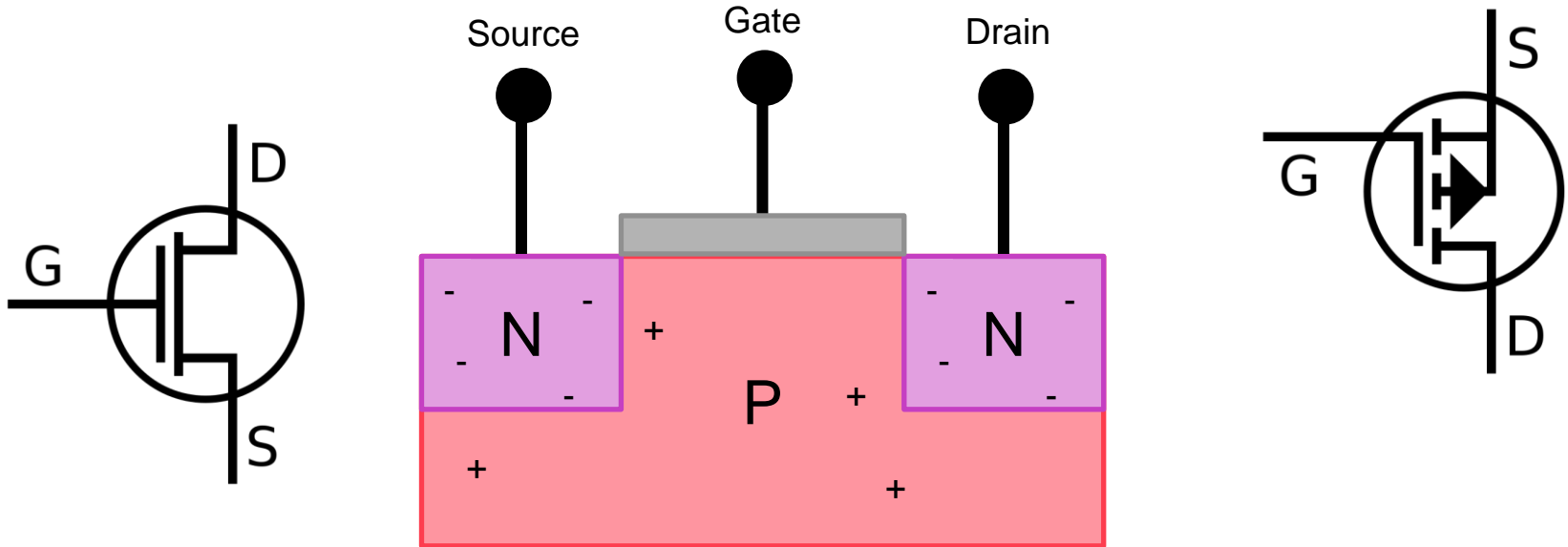
Transistor enquanto chave

- 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

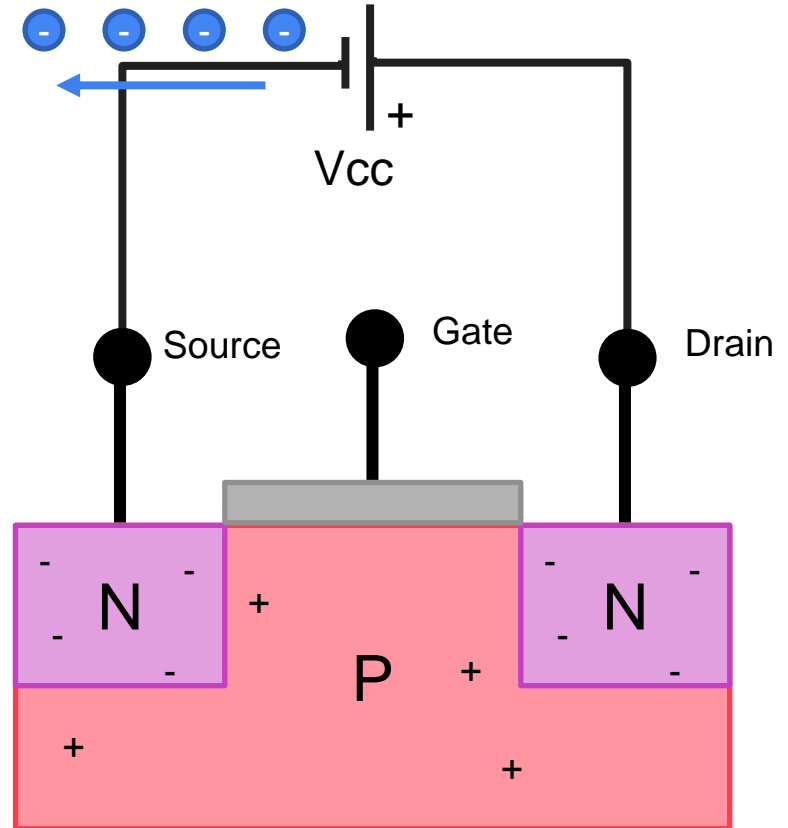


MOSFET

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

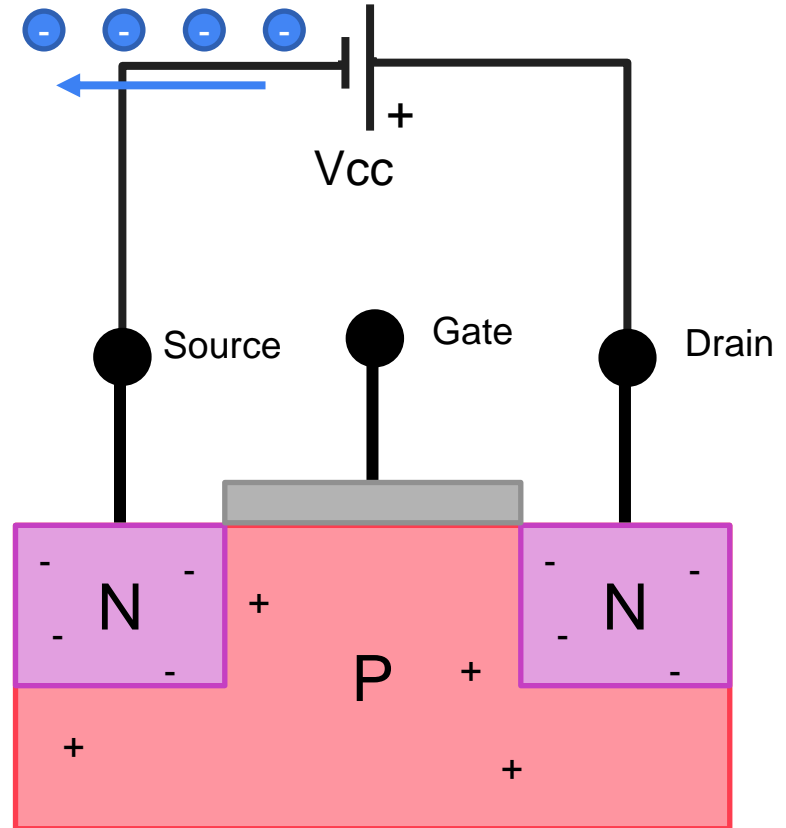


Corrente entre *drain* e *source*



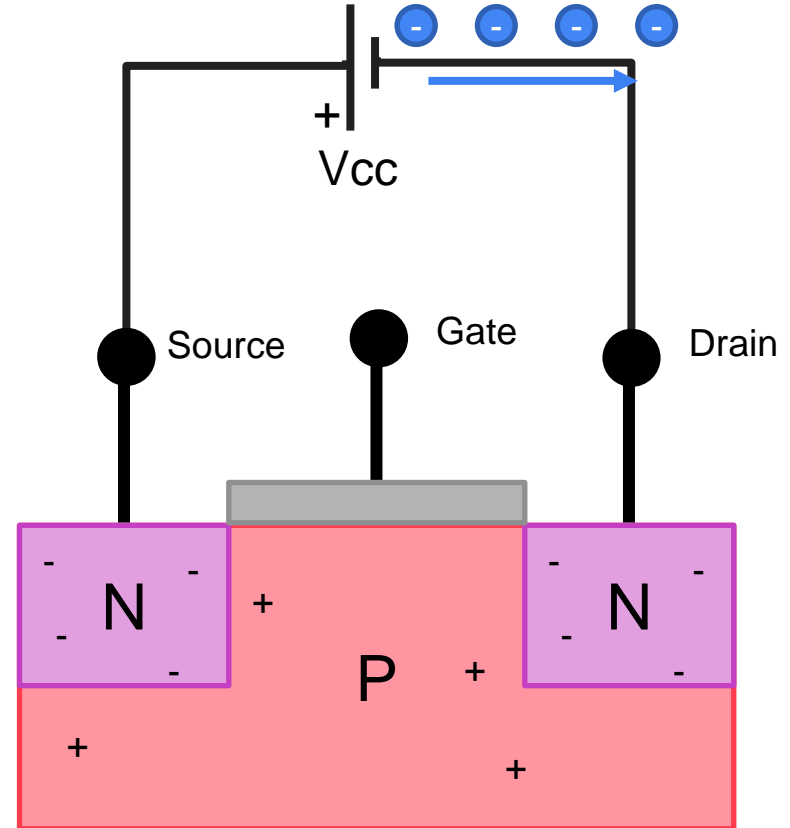
Corrente entre *source* e *drain*

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



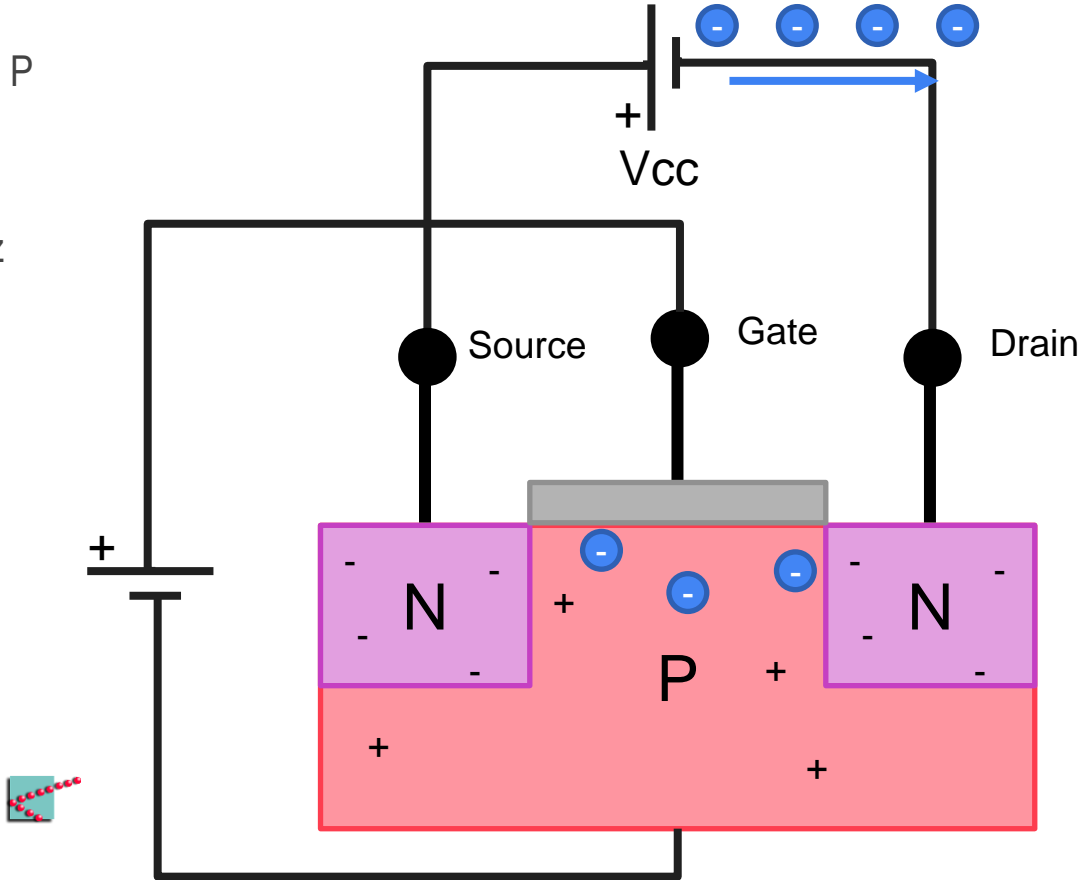
Corrente entre *source* e *drain*

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



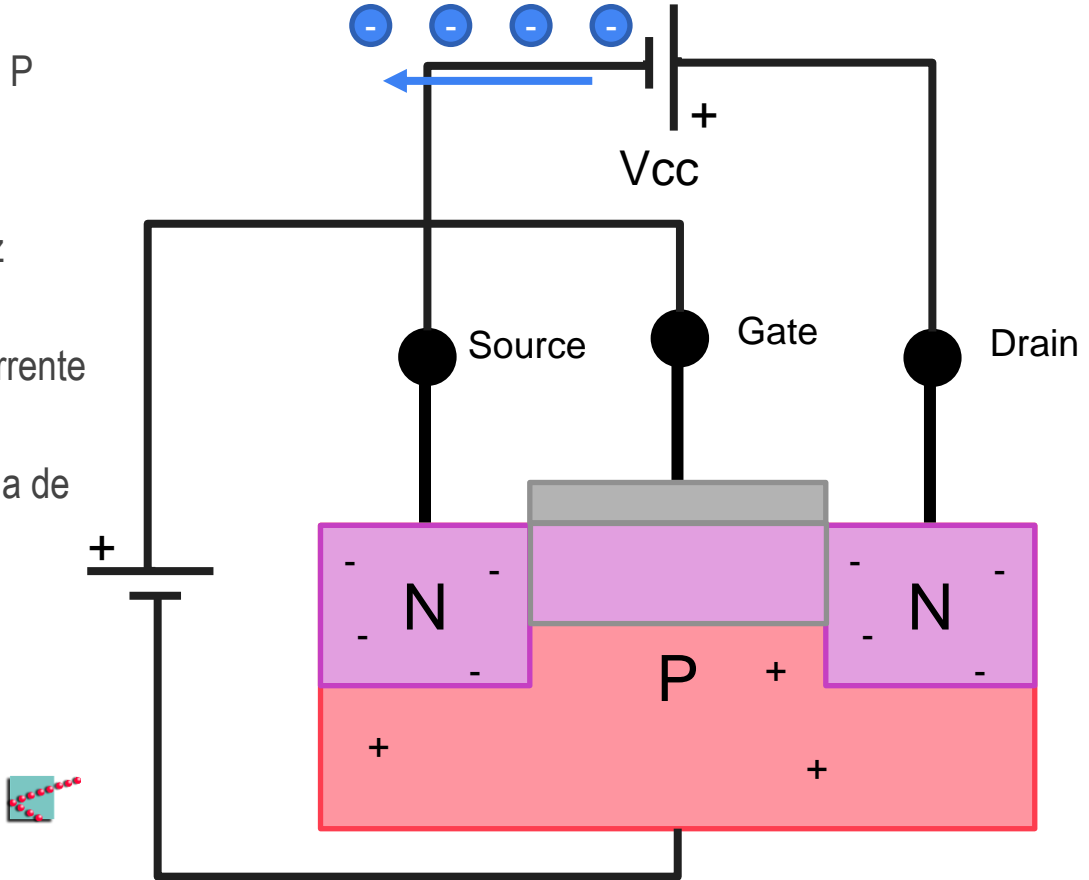
Adicionando tensão ao *gate*

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



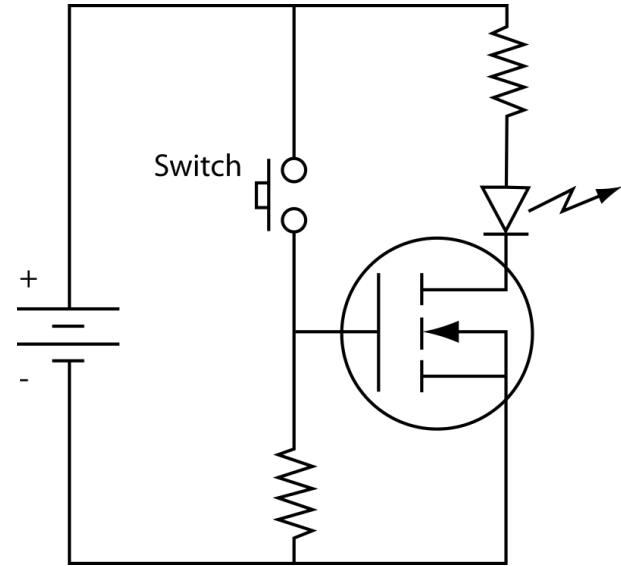
Adicionando tensão ao *gate*

- 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



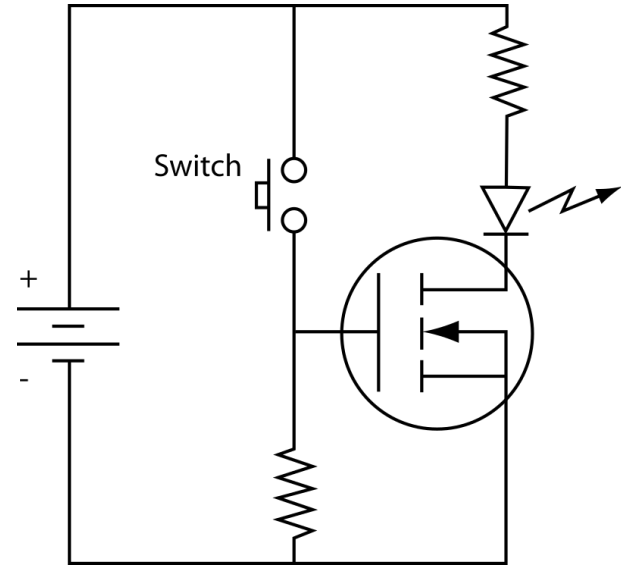
Usando o MOSFET como chave

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



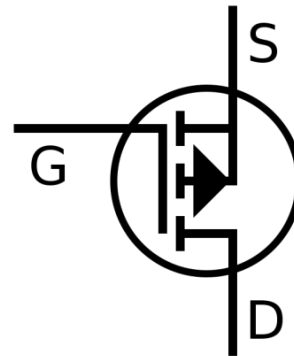
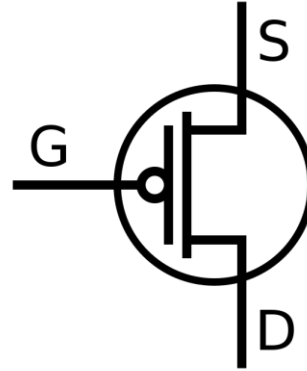
Qual vantagem?

- 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?

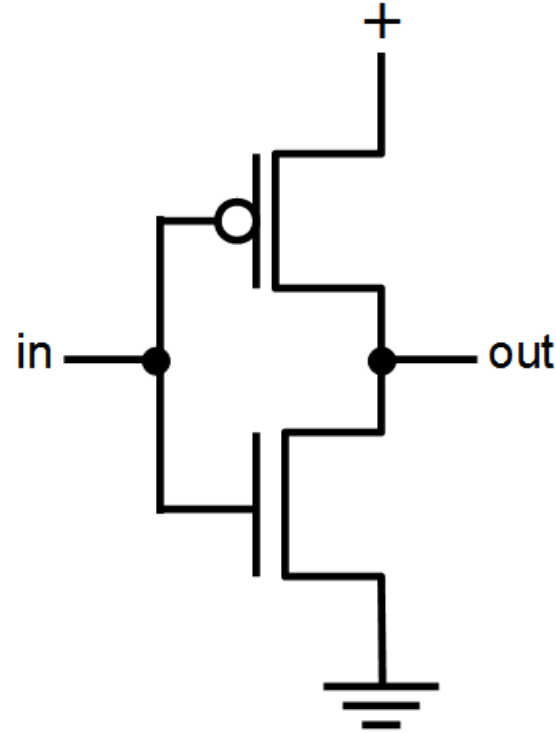


Imagem por Graham Cox



Créditos

Os ícones desta apresentação foram feitos por Freepic e retirados de www.flaticon.com

Imagens foram retiradas da wikipedia





GTA / UFRJ

GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

www.gta.ufrj.br