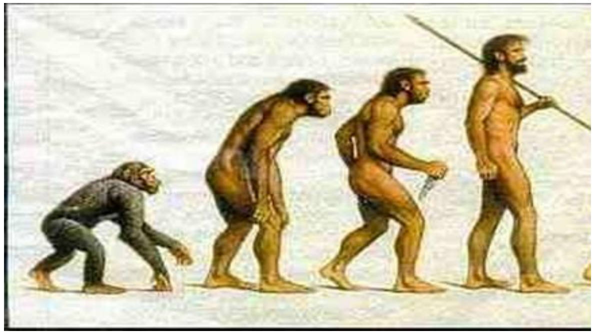
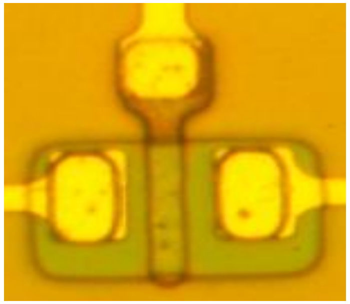
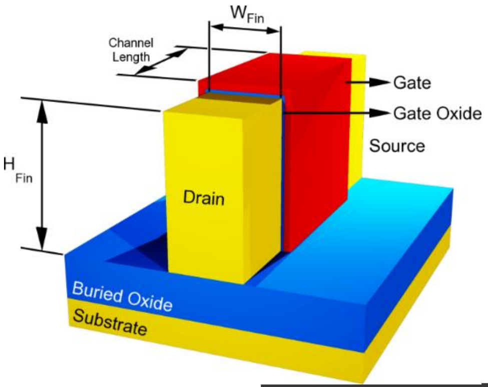
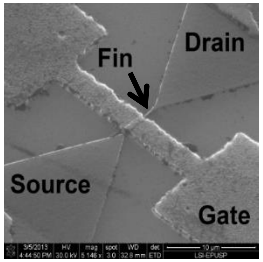
Universidade de São Paulo

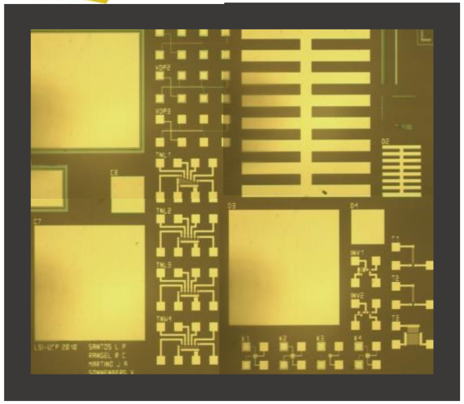
PSI3322 - ELETRÔNICA II (capítulos 4, 6, 7, 8)









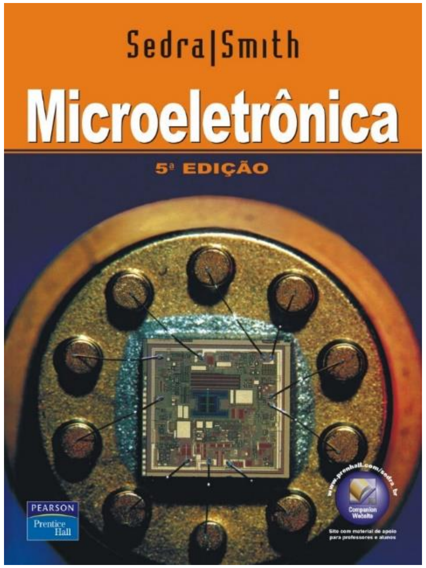


Universidade de São Paulo

PSI3322 - ELETRÔNICA II

Prof. João Antonio Martino

AULA 2

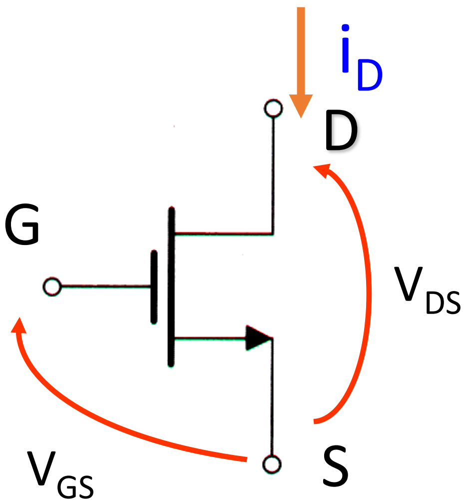


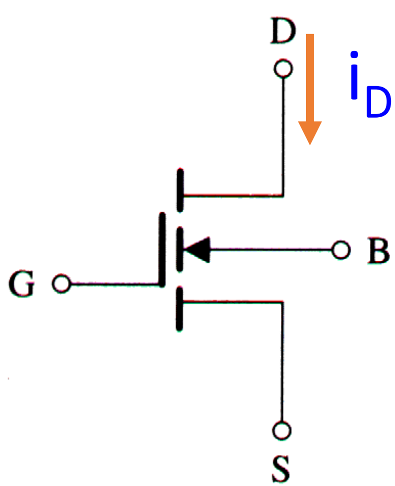
Estrutura e operação dos transistores de efeito de campo canal n, características tensão-corrente.	Sedra, Cap. 4 p. 141-146

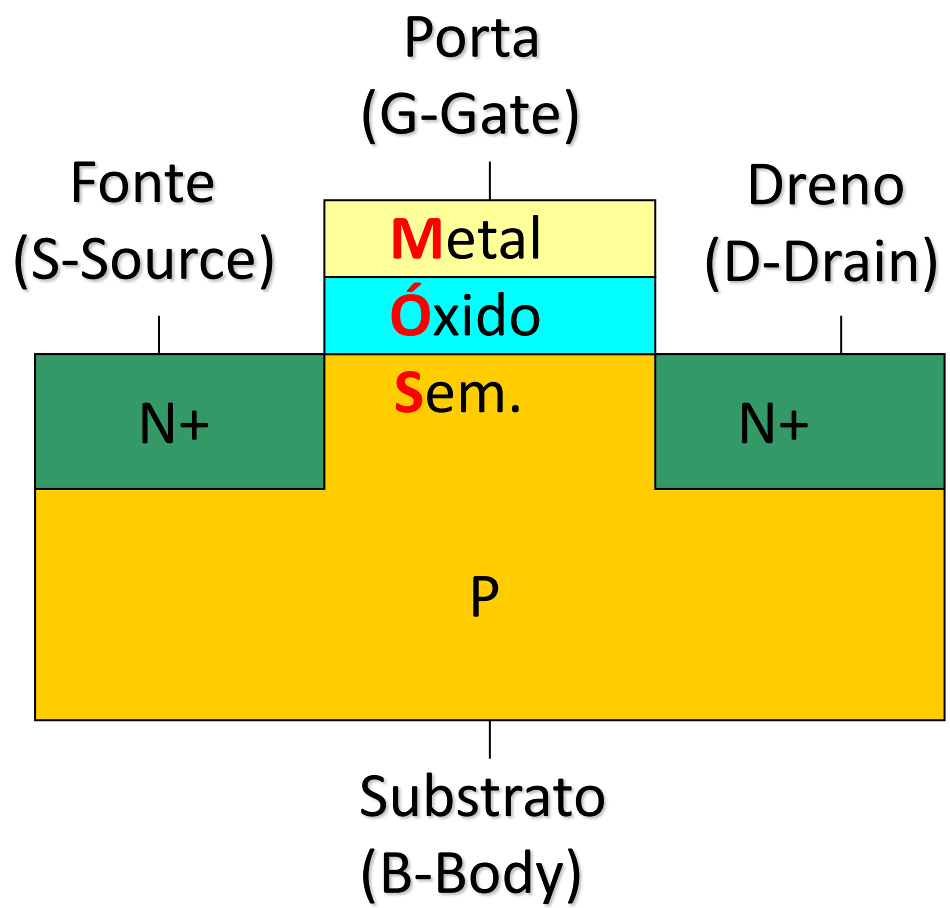
Universidade de São Paulo

Transistor NMOSFET

(Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor, canal N, tipo Enriquecimento)



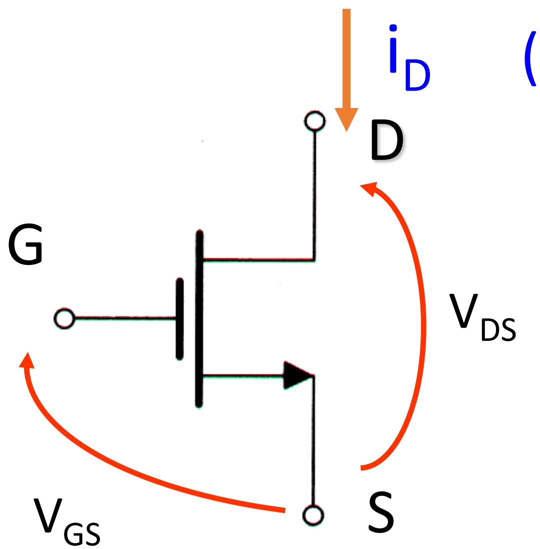


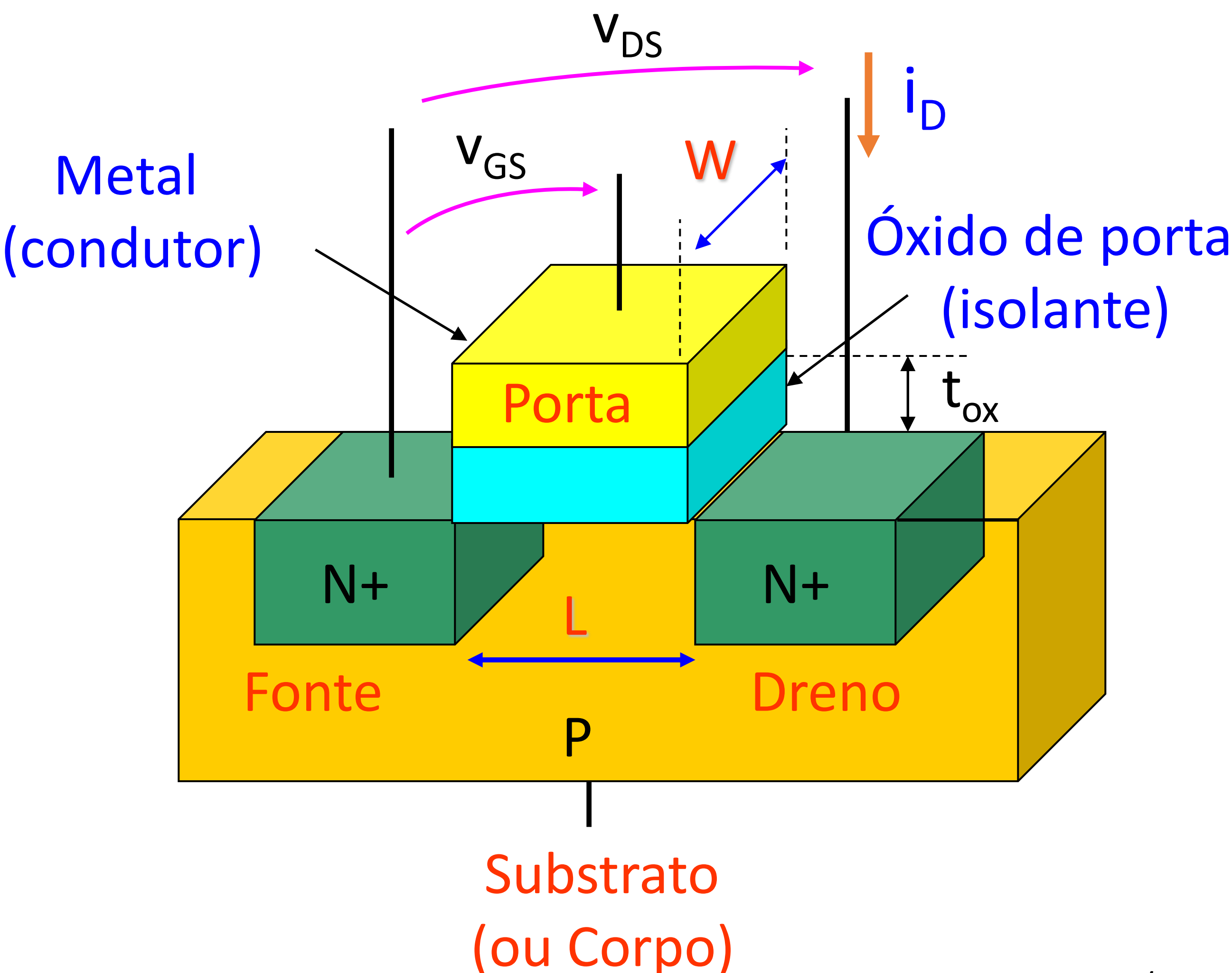


Universidade de São Paulo

Transistor NMOSFET

(Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor, canal N, tipo Enriquecimento)

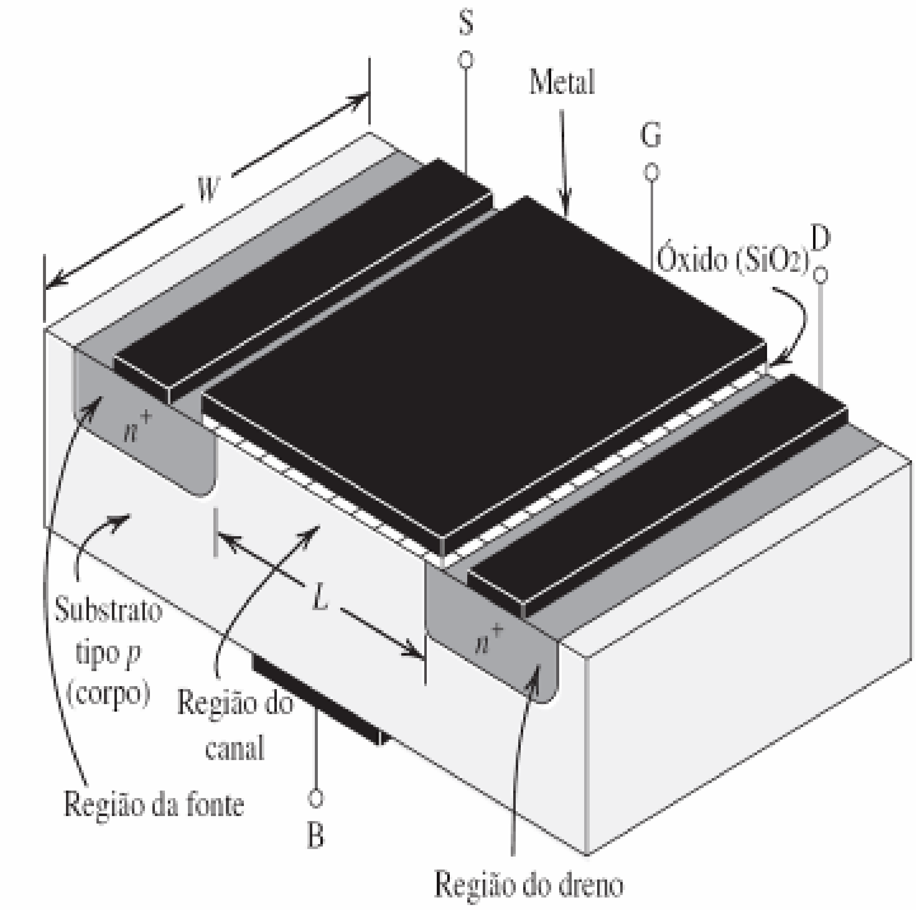


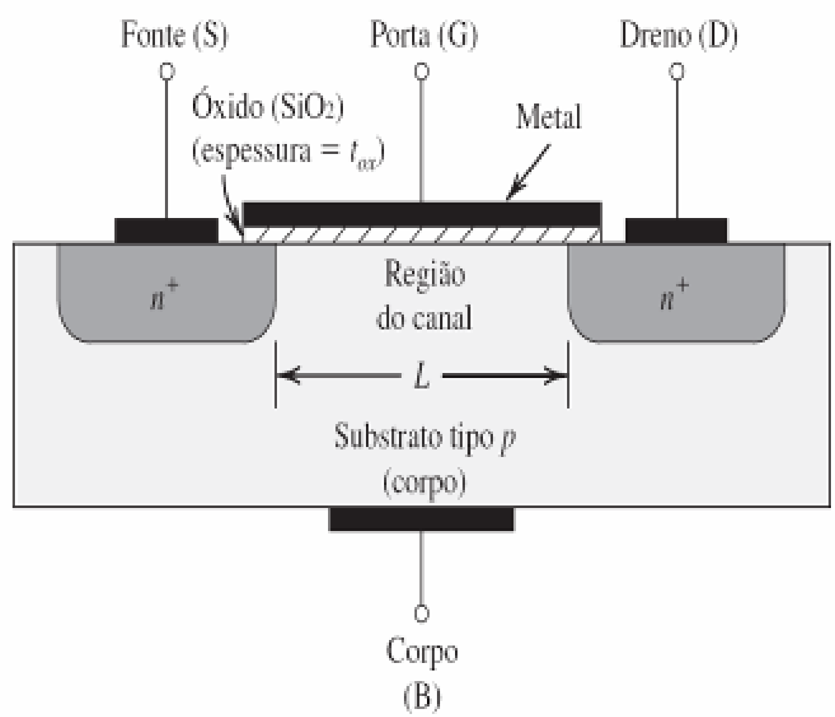


Universidade de São Paulo

Transistor NMOSFET

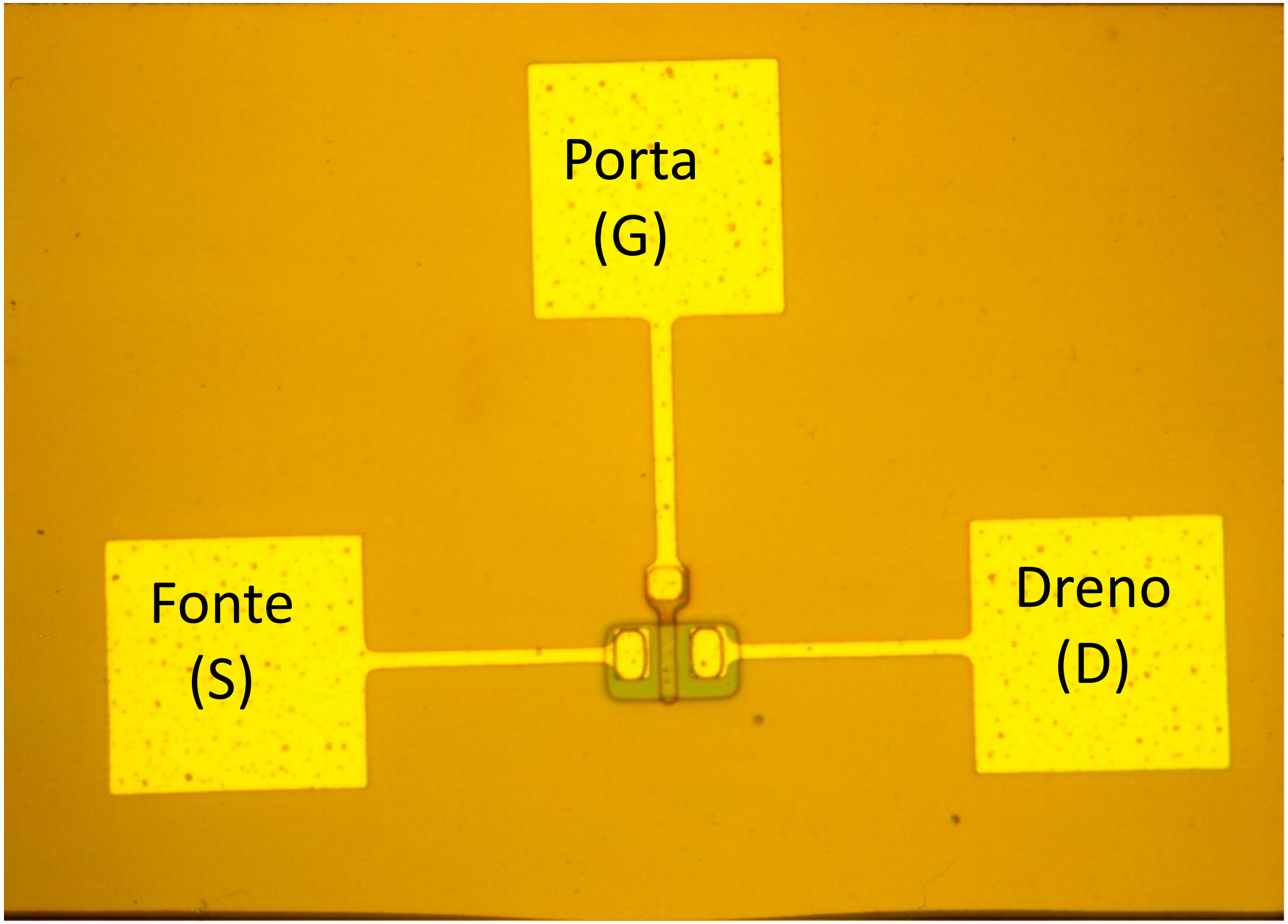
(Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor, canal N, tipo Enriquecimento)





Universidade de São Paulo

Transistor NMOS



Transistor projetado e fabricado na Escola Politécnica da USP

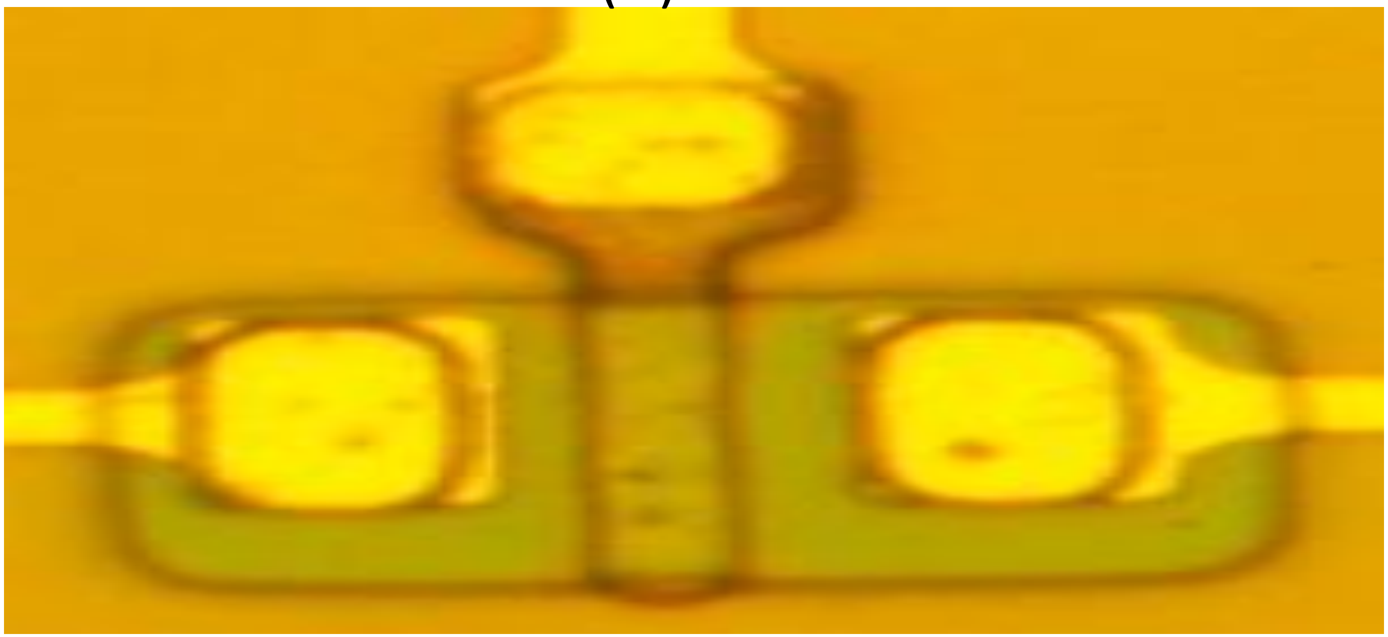
(Dissertação de Mestrado – João Antonio Martino - 1984)

Universidade de São Paulo

Transistor NMOS

Porta
(G)

Fonte
(S)

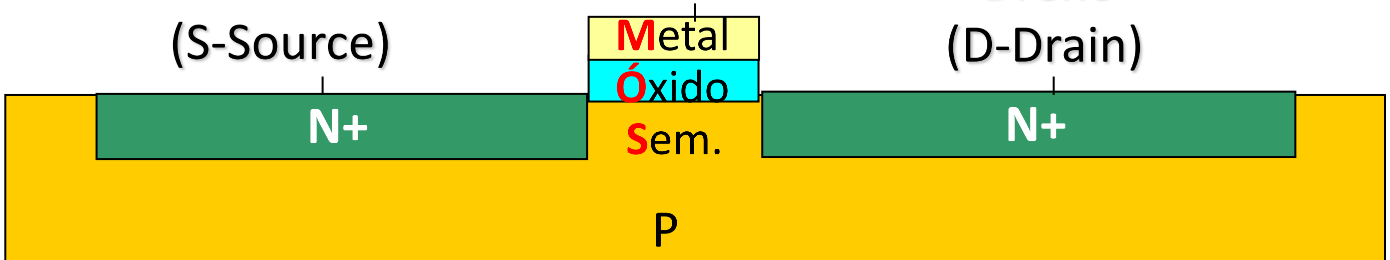


Dreno
(D)

Porta
(G-Gate)

Fonte
(S-Source)

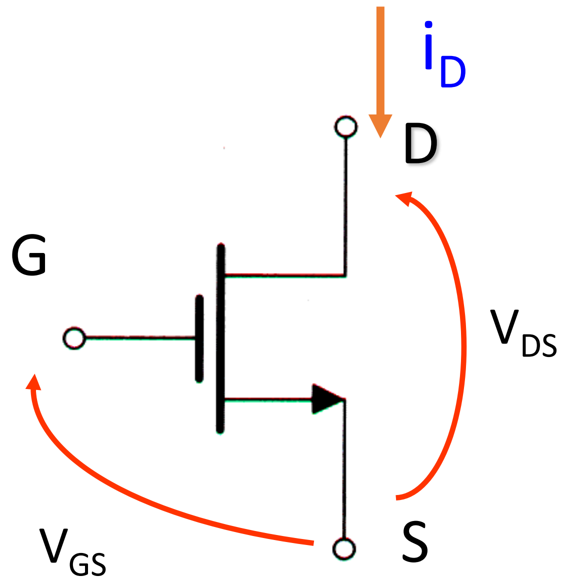
Dreno
(D-Drain)

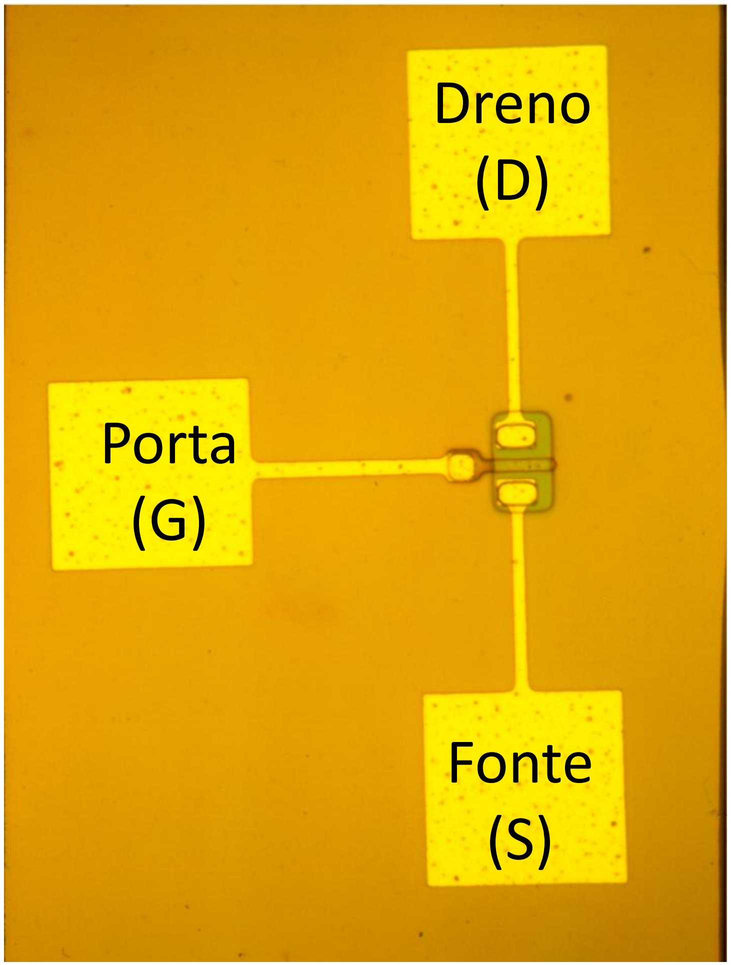


Substrato (B-Body)

Universidade de São Paulo

Transistor NMOS

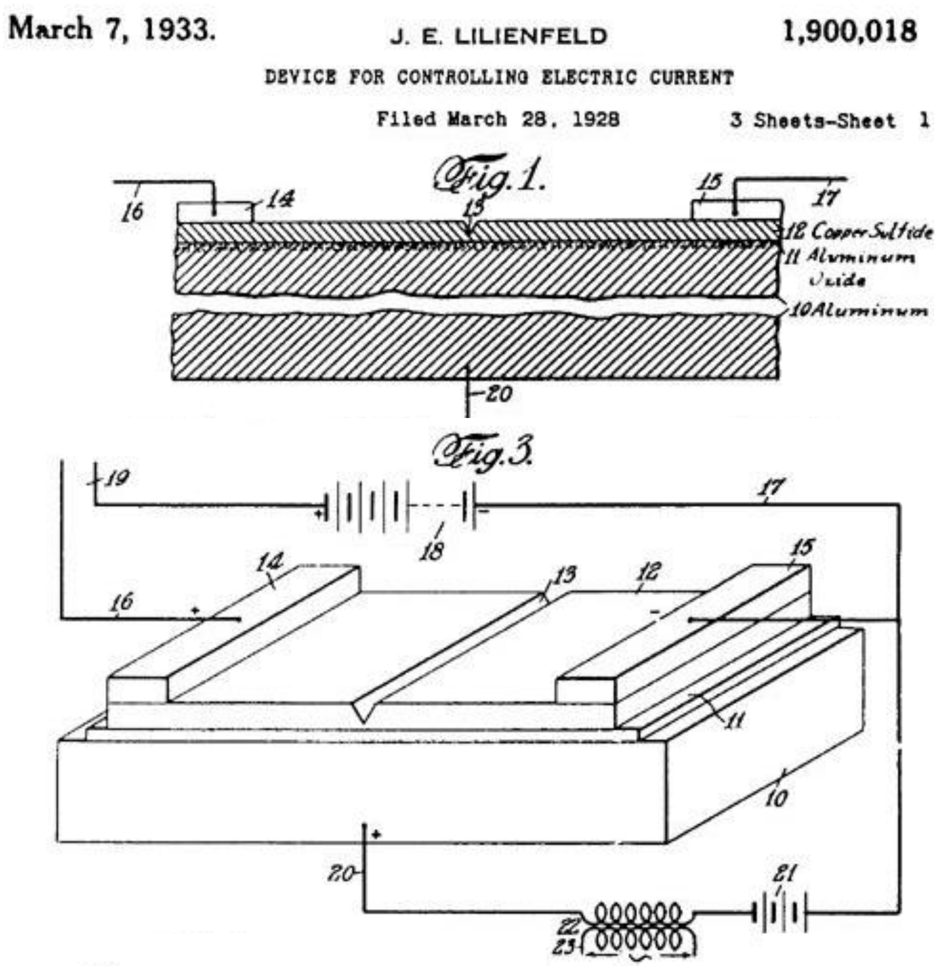




Transistor projetado e fabricado na Escola Politécnica da USP

(Dissertação de Mestrado – João Antonio Martino - 1984)

Primeira Patente do FET 1925 (Teórico)

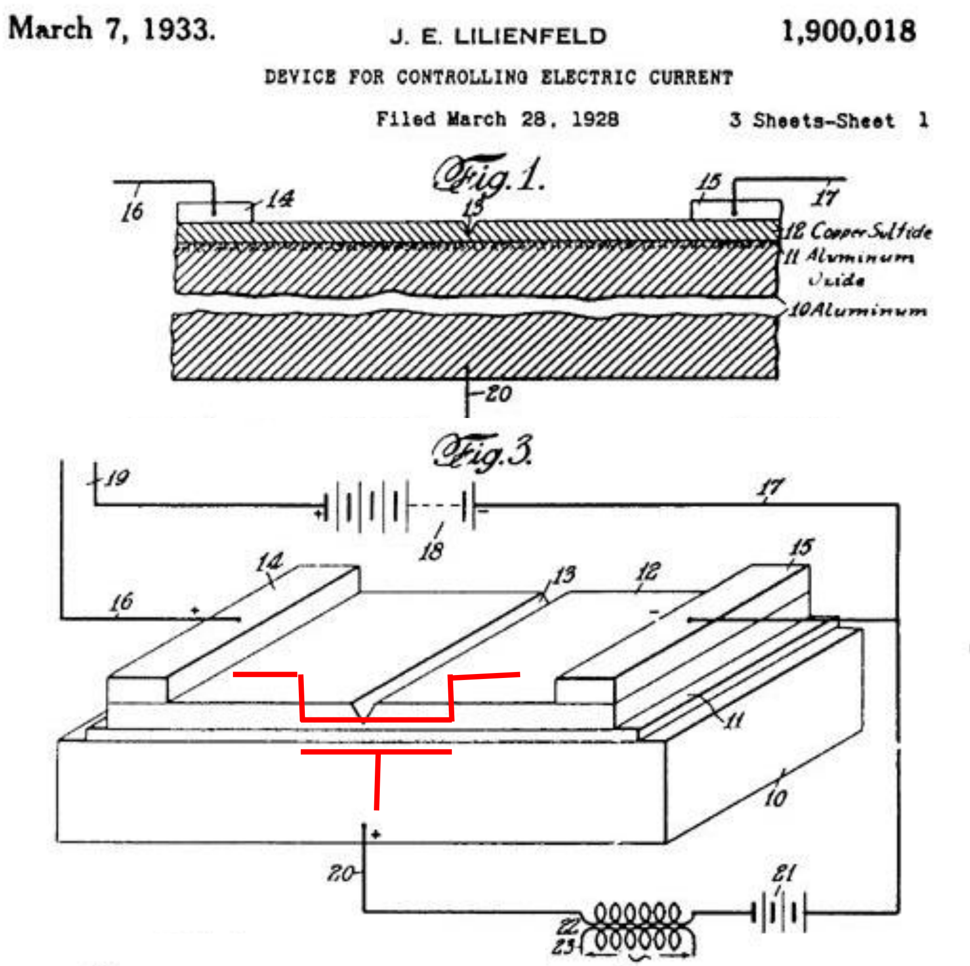


Julius Edgar Lilienfeld

J. E. Lilienfeld: "Method and apparatus for controlling electric current" US patent 1745175 first filed in Canada on 22nd October 1925

Universidade de São Paulo

Primeira Patente de um FET (1925) (nunca foi construído)



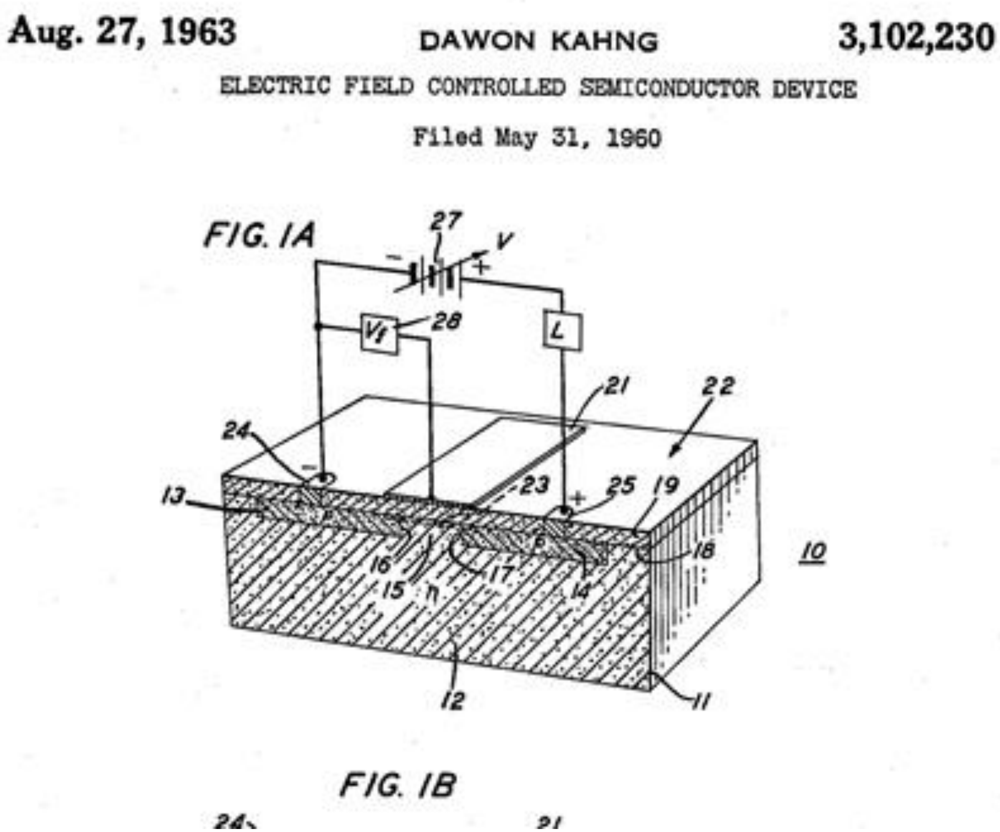
Julius Edgar Lilienfeld

J. E. Lilienfeld: "Method and apparatus for controlling electric current" US patent 1745175 first filed in Canada on 22nd October 1925

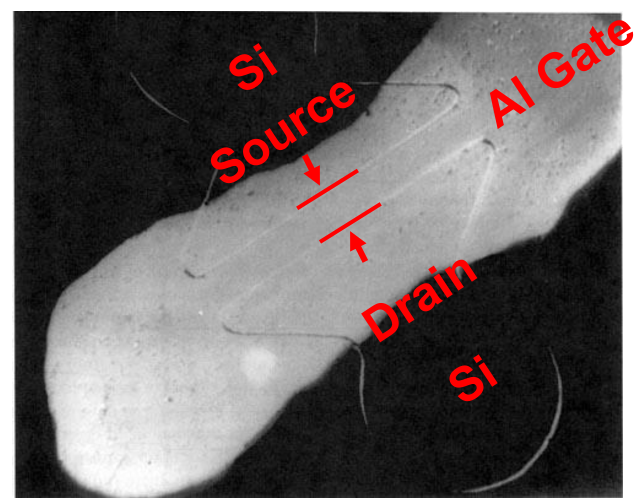
Universidade de São Paulo

Primeira Fabricação de um MOSFET(1960)

Metal Oxide Semiconductor (MOS) Field Effect Transistor (FET)

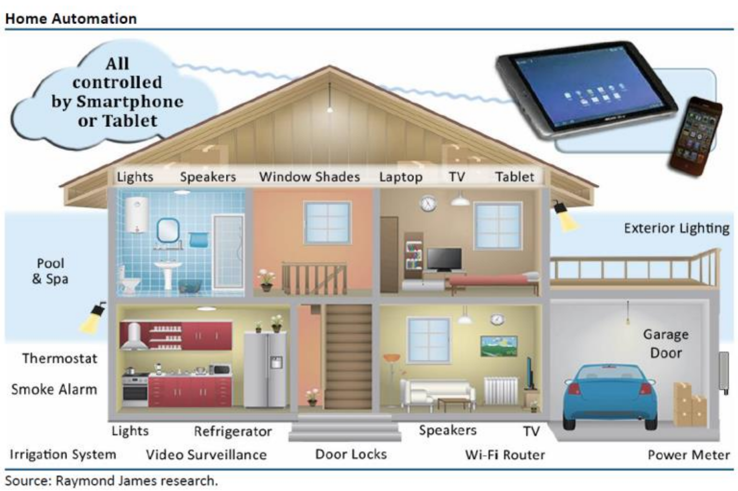


M. M. (John) Atalla and Dawon Kahng at Bell Labs achieved the first successful insulated-gate field-effect transistor (MOSFET),



Universidade de São Paulo

MOSFET
Muitas Aplicações



Universidade de São Paulo

MOSFET
Muitas Aplicações

Internet of Things (IoT)

Graças ao Circuito Integrado

Universidade de São Paulo

Algumas Ideias de Aplicação vieram da Ficção Científica

Jornada nas Estrelas – Star Trek (1966-1969)

Da ficção científica para a realidade

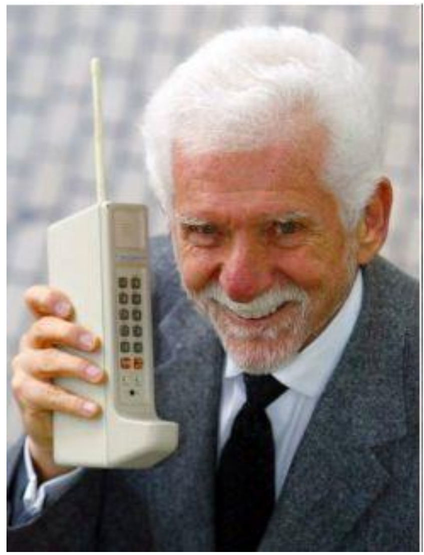
https://www.youtube.com/watch?v=zM3cPMINXho

Enterprise - Star Trek

Universidade de São Paulo

Telefone Celular

James T. Kirk
(1966)



Martin Cooper
(1973)

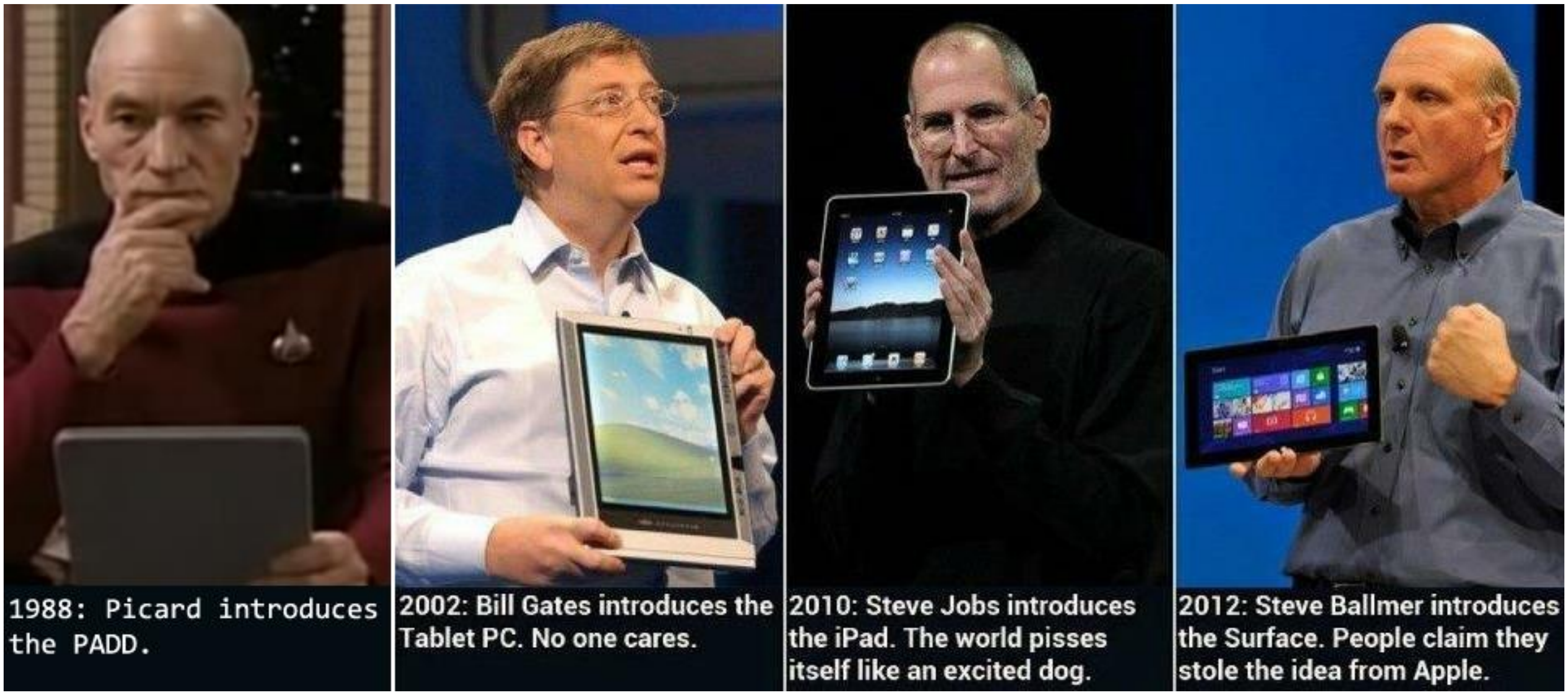
Motorola–StarTAC
(1996)

Iphone 7 (2016)

Universidade de São Paulo

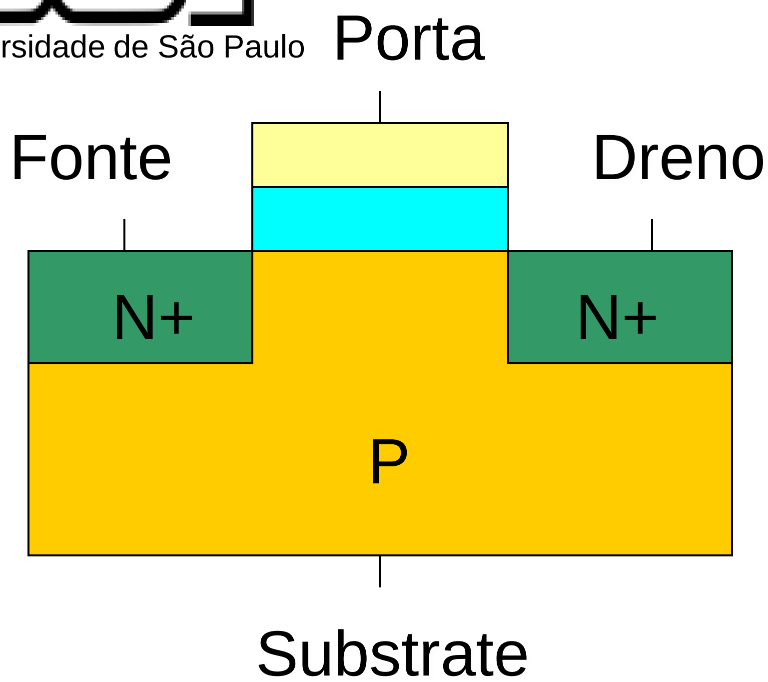
Tablets

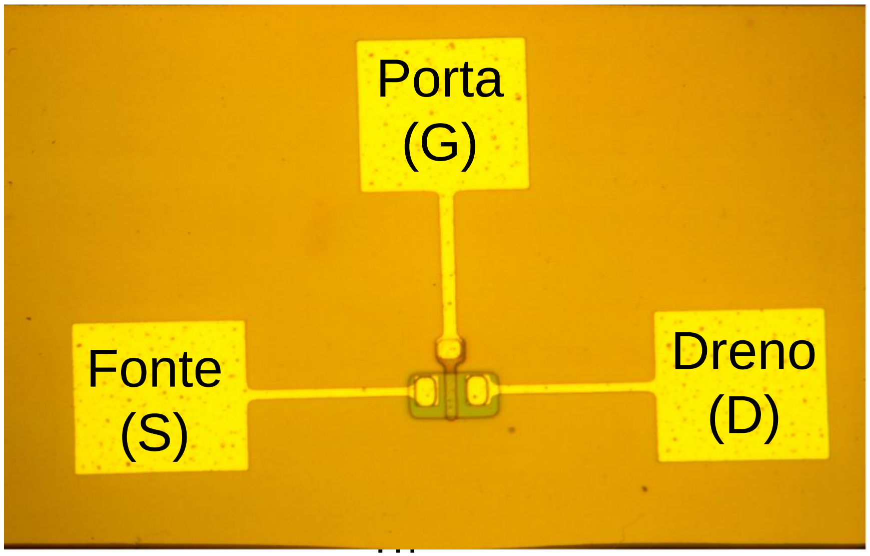
Star trek: The New Generation (1987-1994)
Jornada nas Estrelas: A Nova Geração



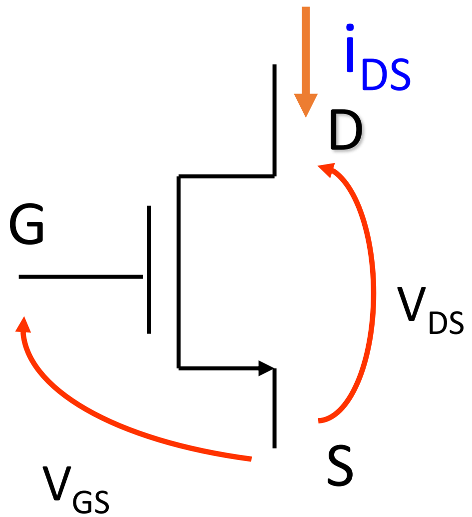
Universidade de São Paulo

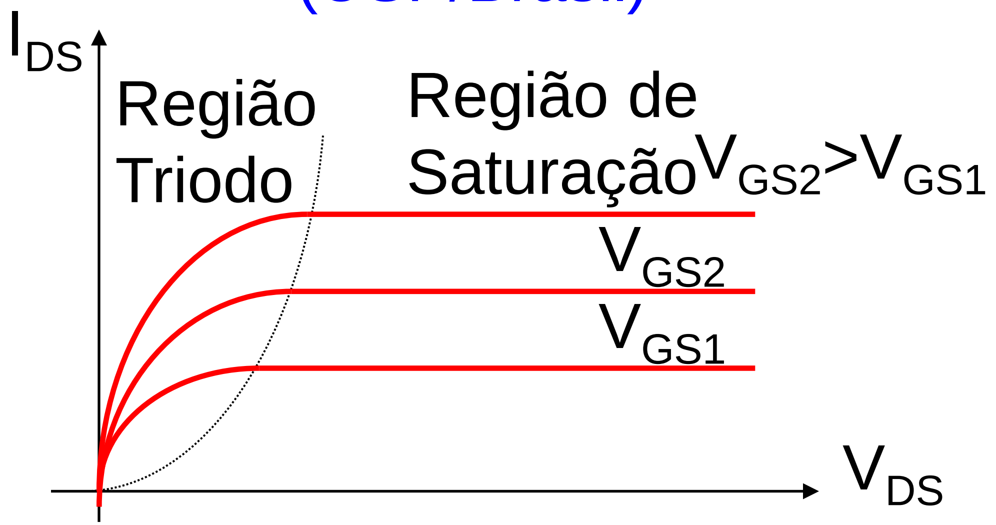
MOSFET canal N (NMOS)





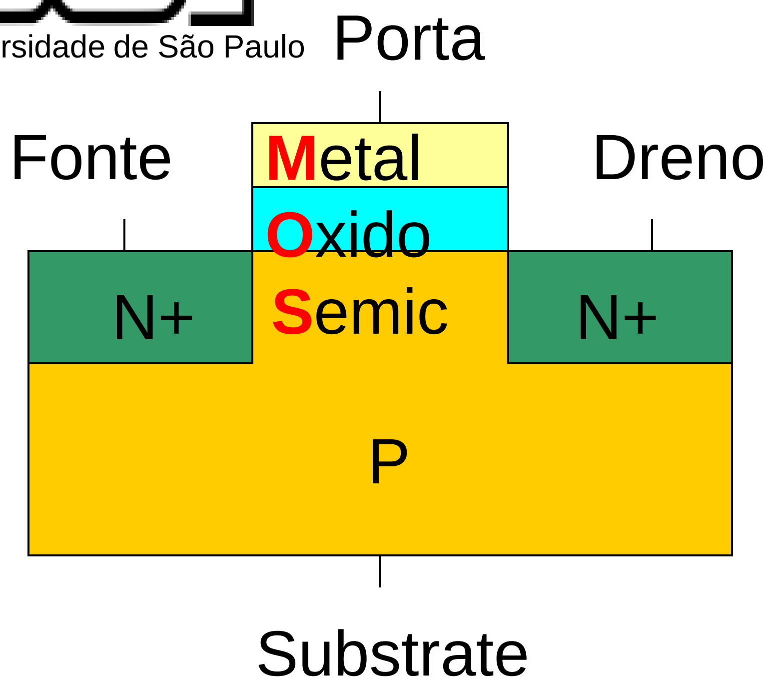
(USP/Brasil)

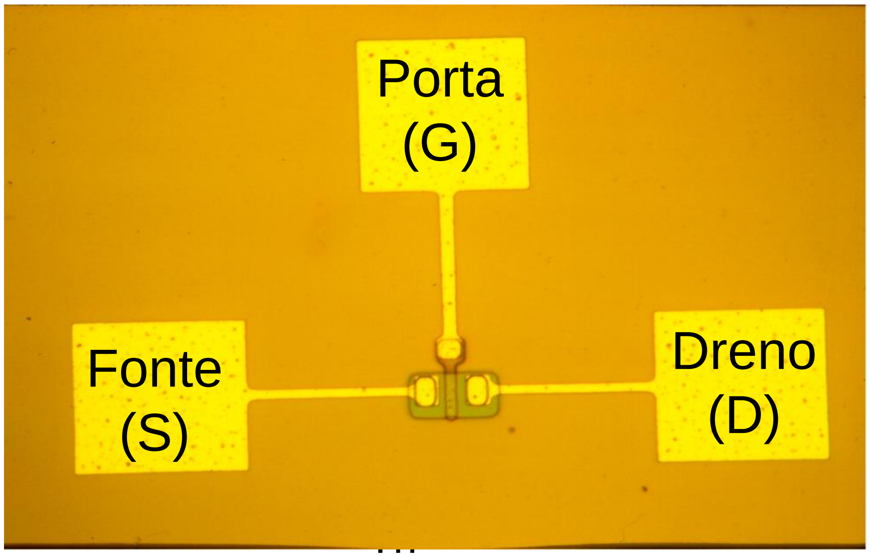




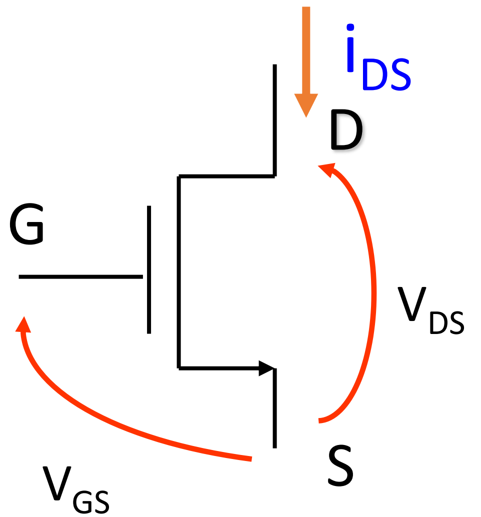
Universidade de São Paulo

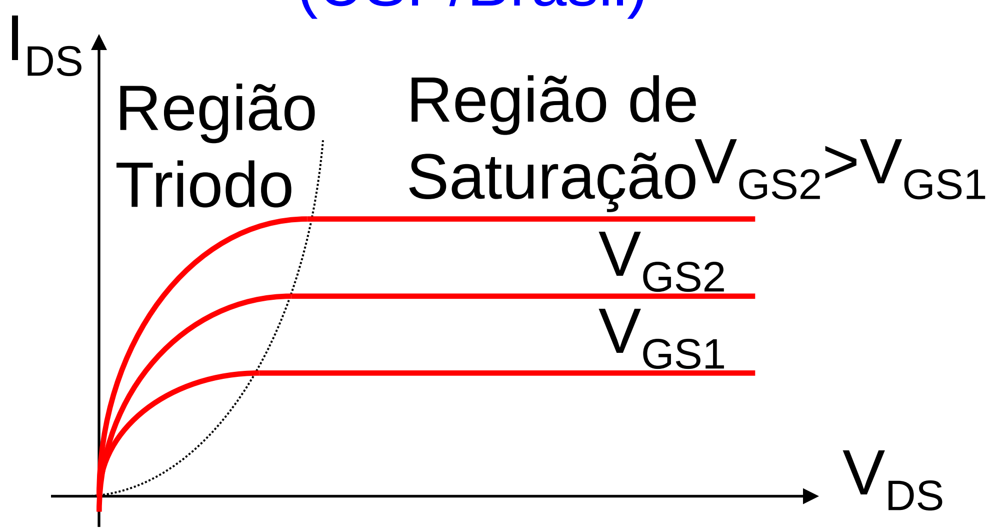
MOSFET canal N (NMOS)



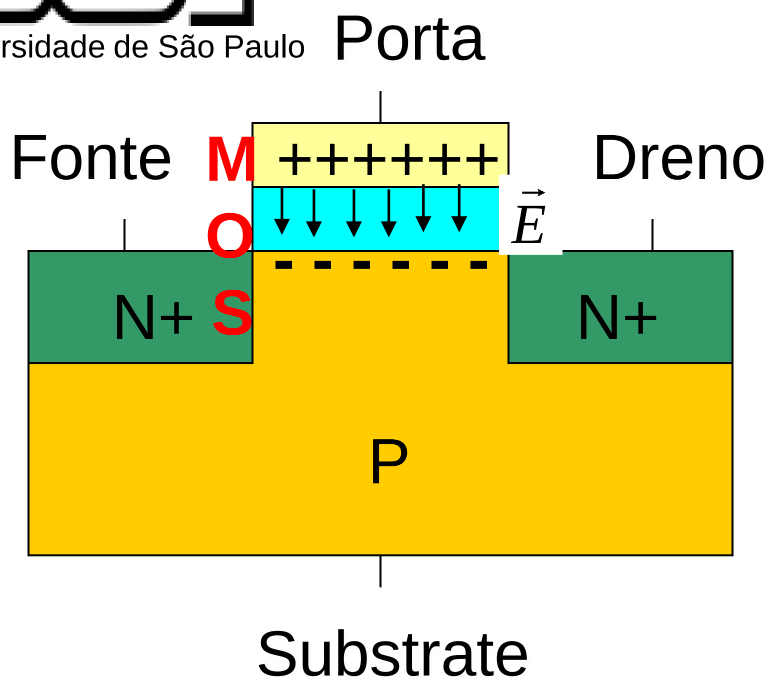


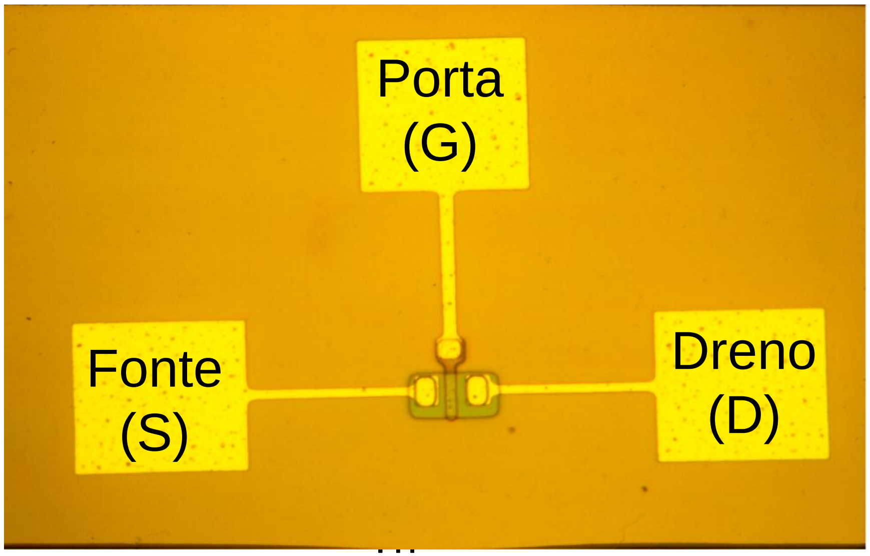
(USP/Brasil)



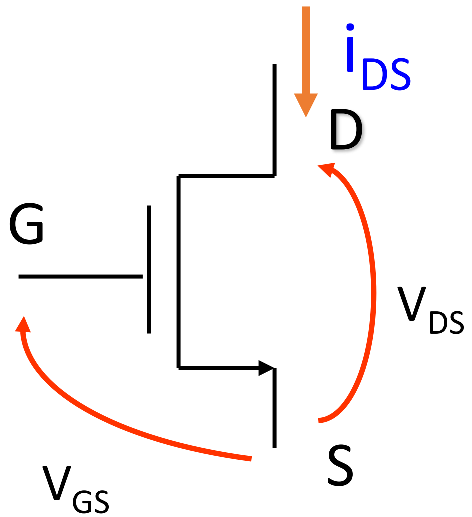


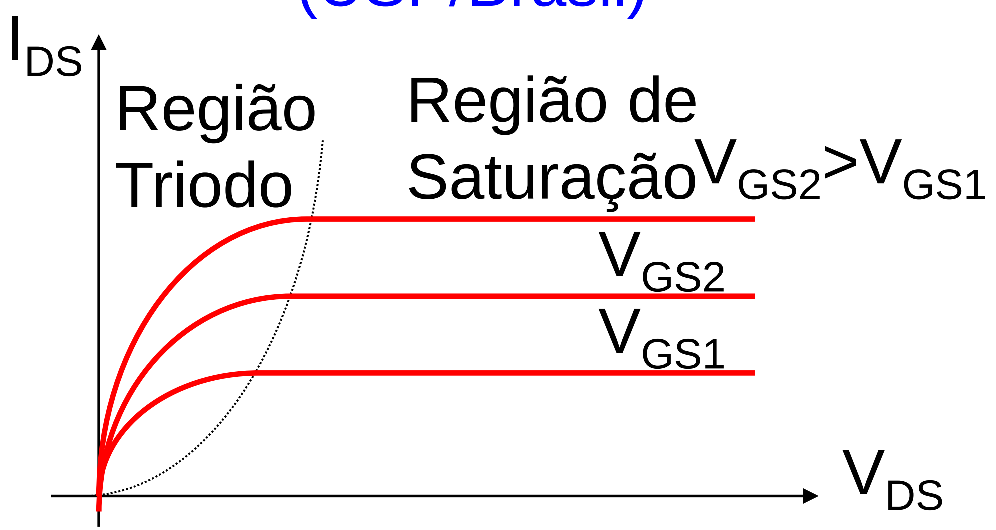
MOSFET canal N (NMOS)





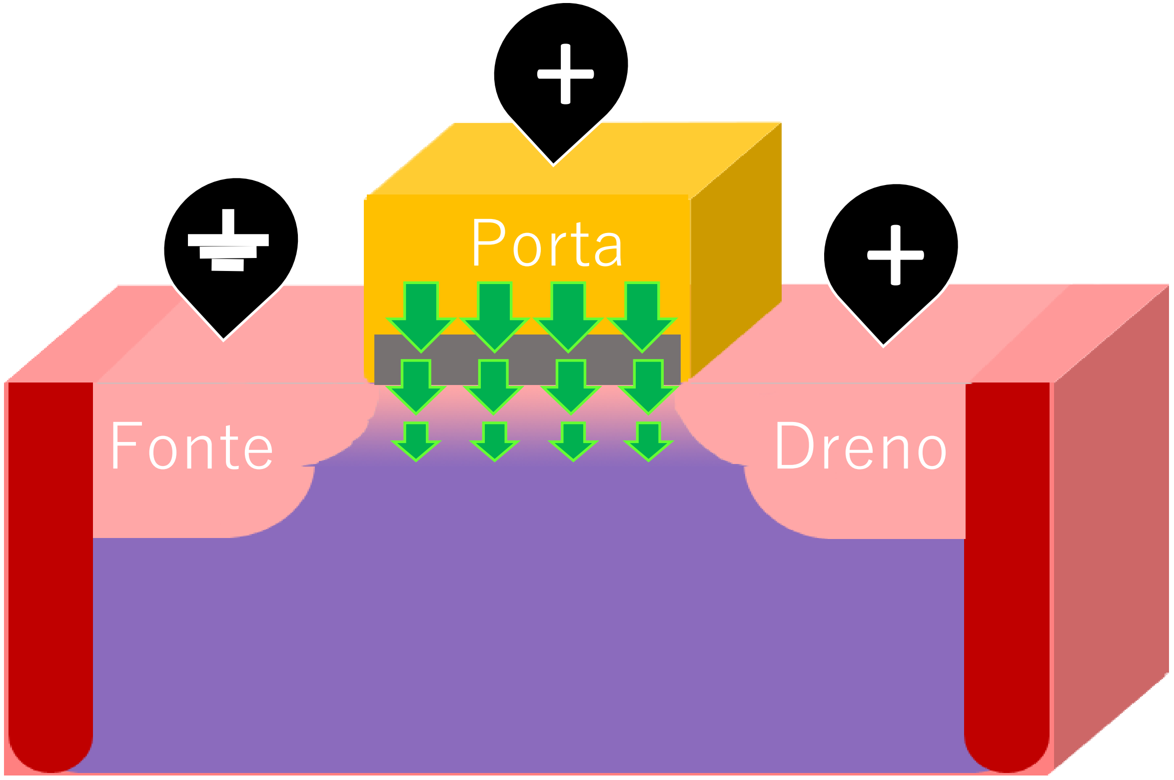
(USP/Brasil)





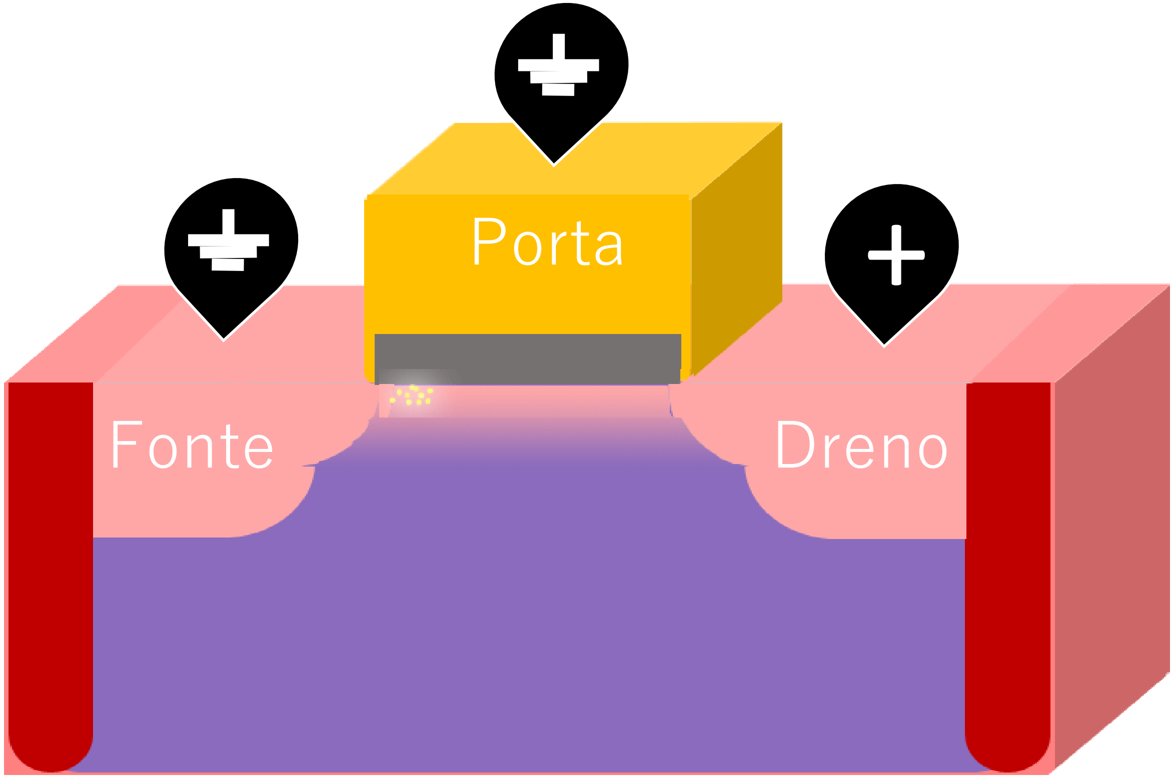
Universidade de São Paulo

Transistor MOS



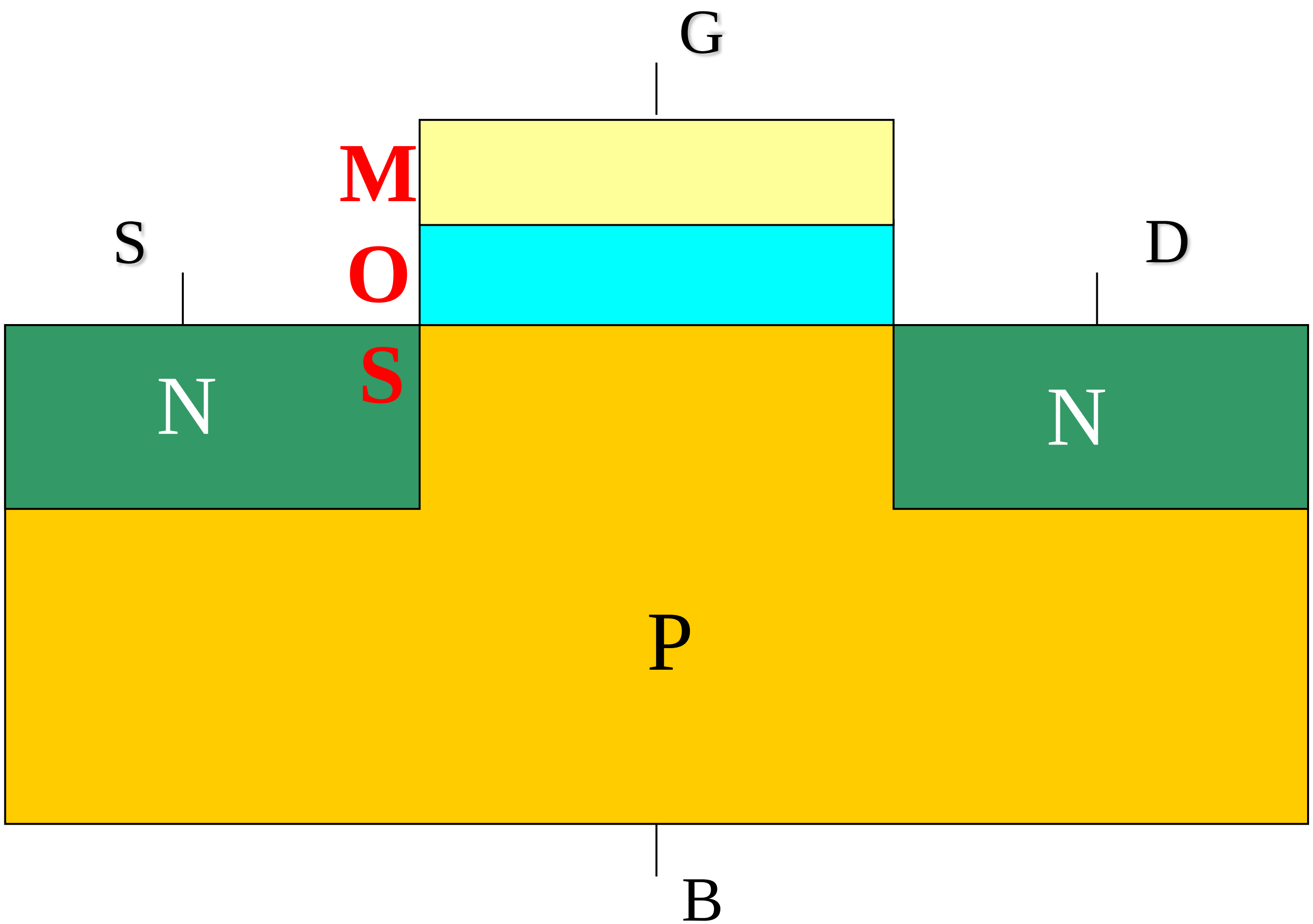
Universidade de São Paulo

Transistor MOS



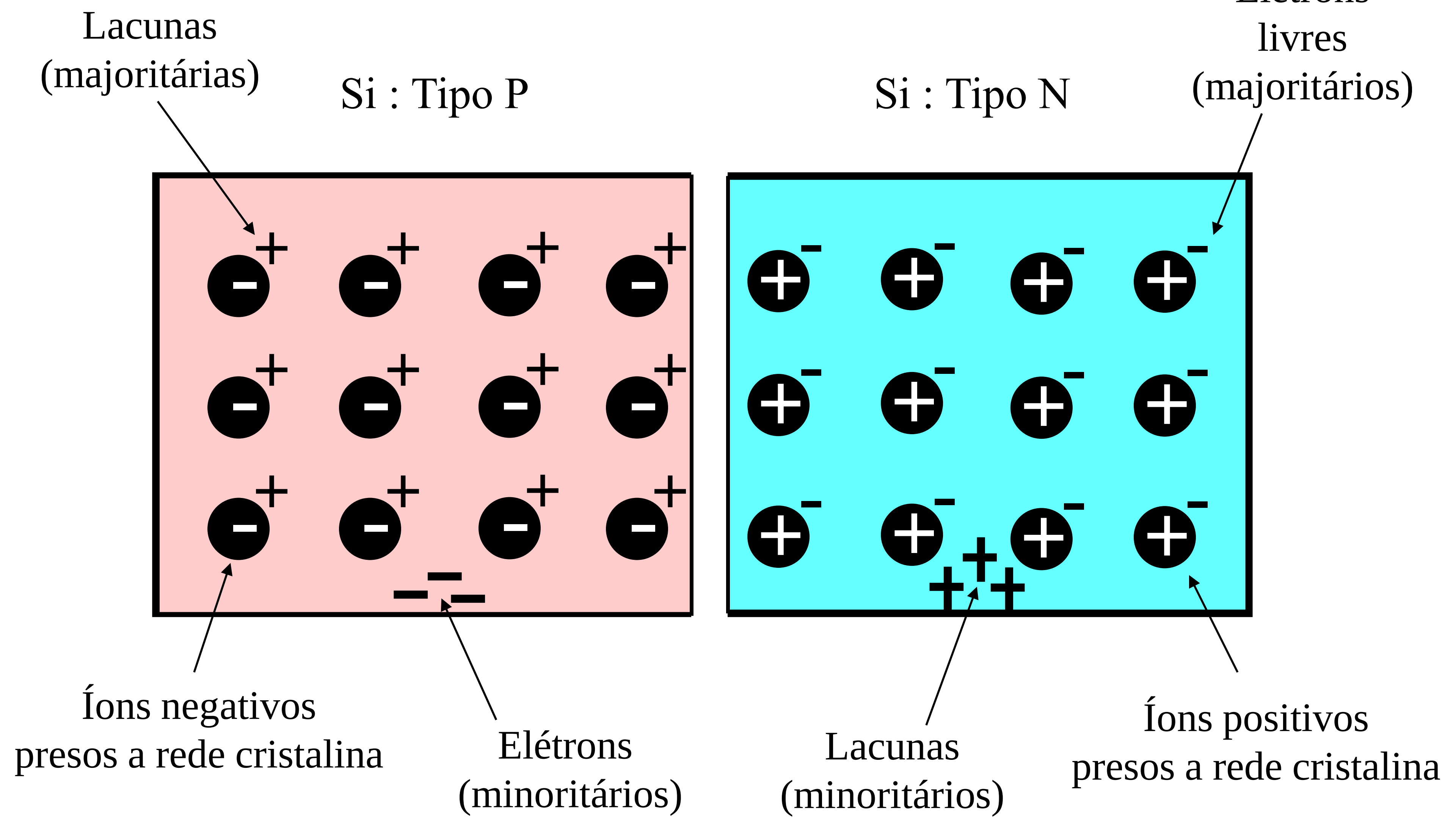
Universidade de São Paulo

Transistor NMOS



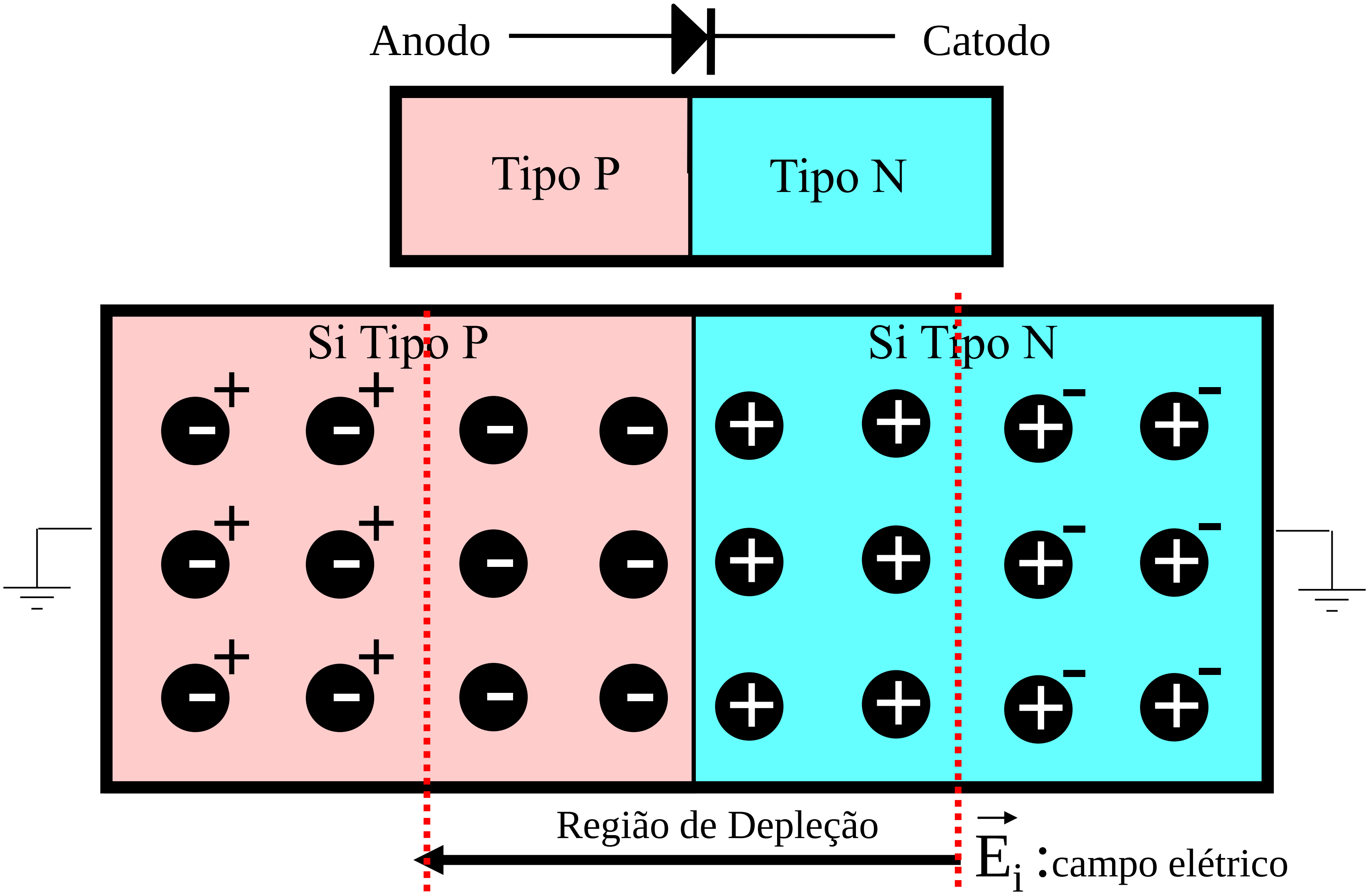
Universidade de São Paulo

JUNÇÃO PN antes do contato (Modelo de cargas)



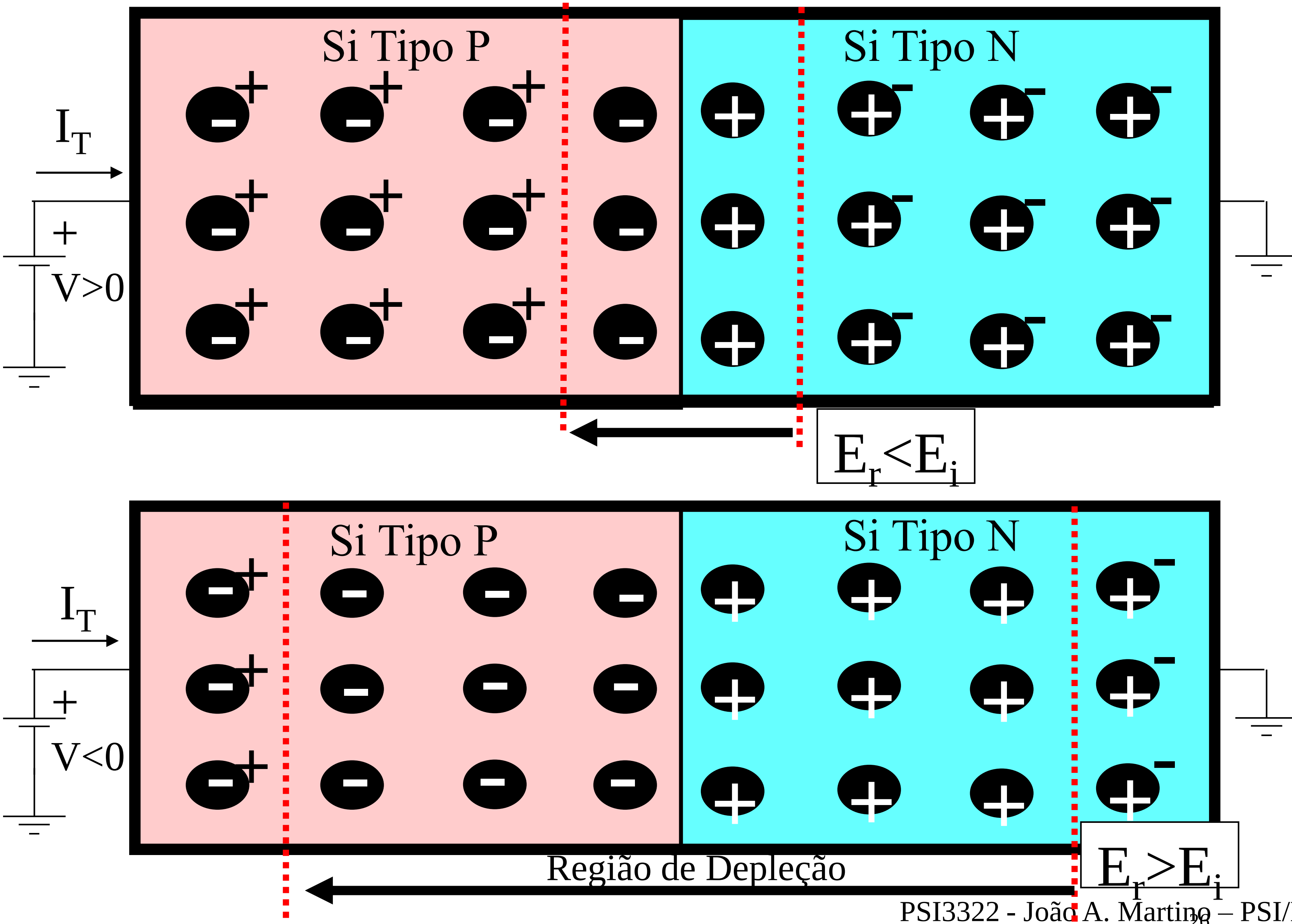
JUNÇÃO PN em equilíbrio térmico
(Modelo de cargas)

Universidade de São Paulo



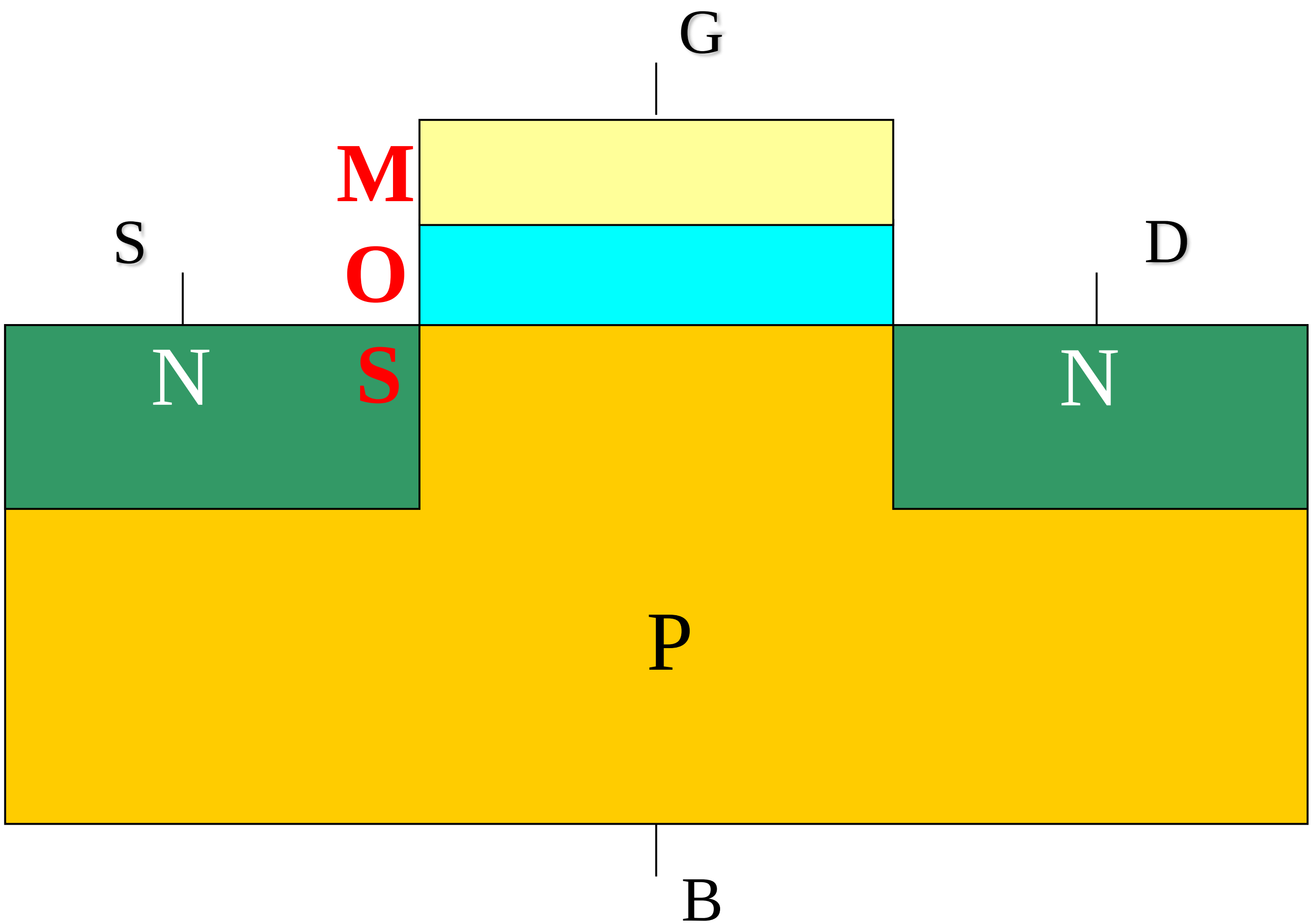
$\vec{E}_i$: campo elétrico interno de equilíbrio

JUNÇÃO PN polarizada diretamente e reversamente (Modelo de cargas)



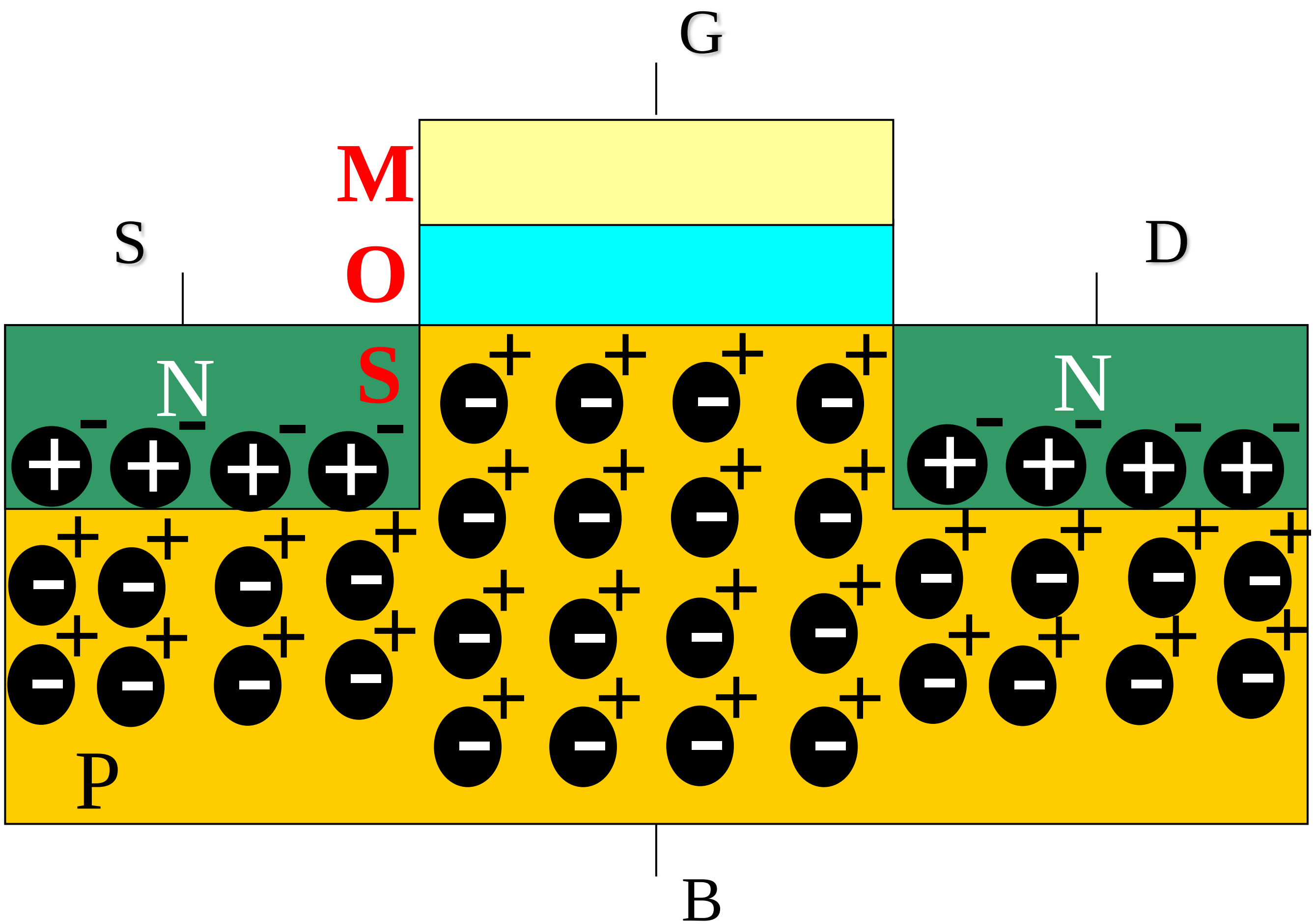
Universidade de São Paulo

Transistor NMOS



Universidade de São Paulo

Transistor NMOS
(antes do equilíbrio)

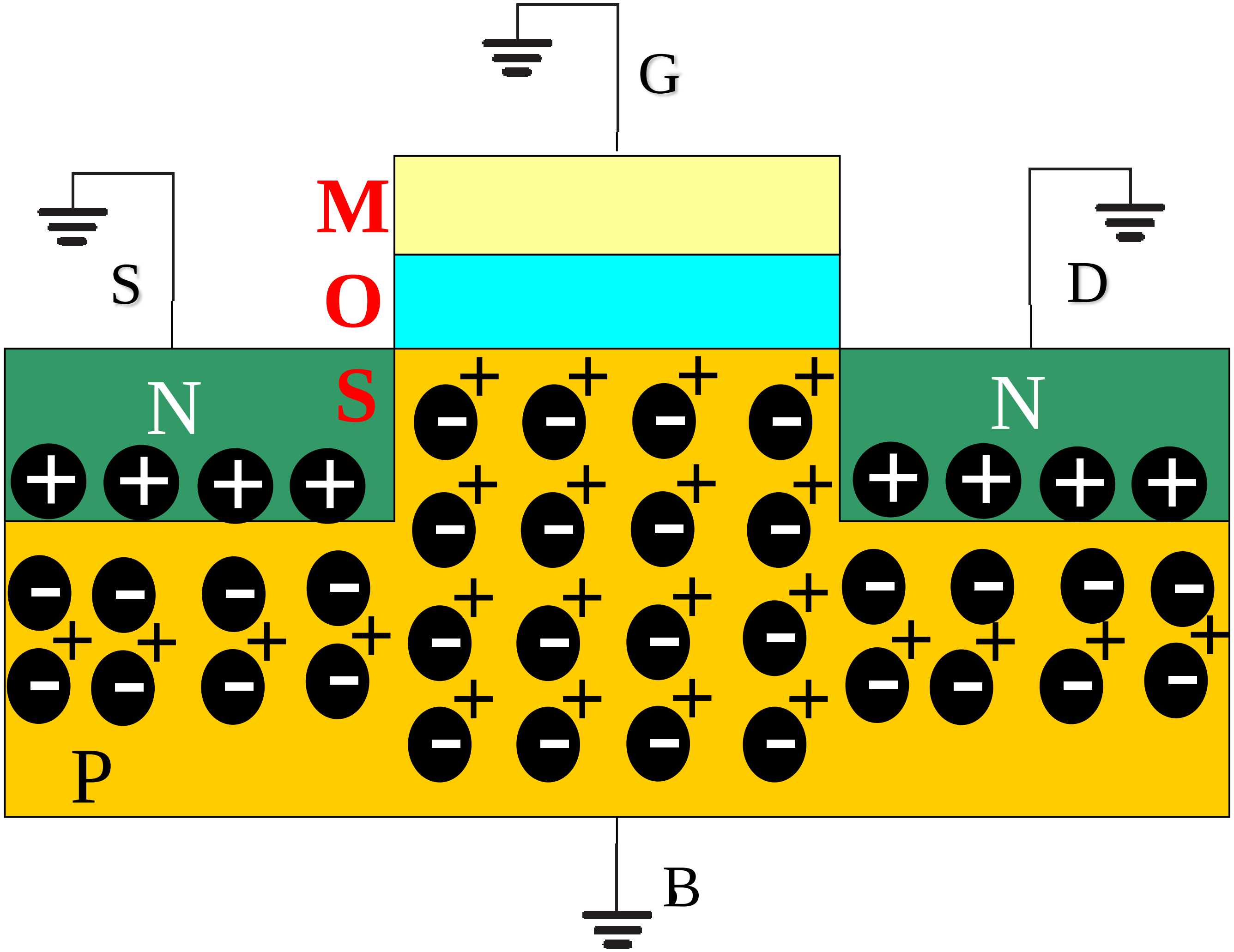


Universidade de São Paulo

Transistor NMOS

$V_{GS} = 0$ e $V_{DS} = 0$

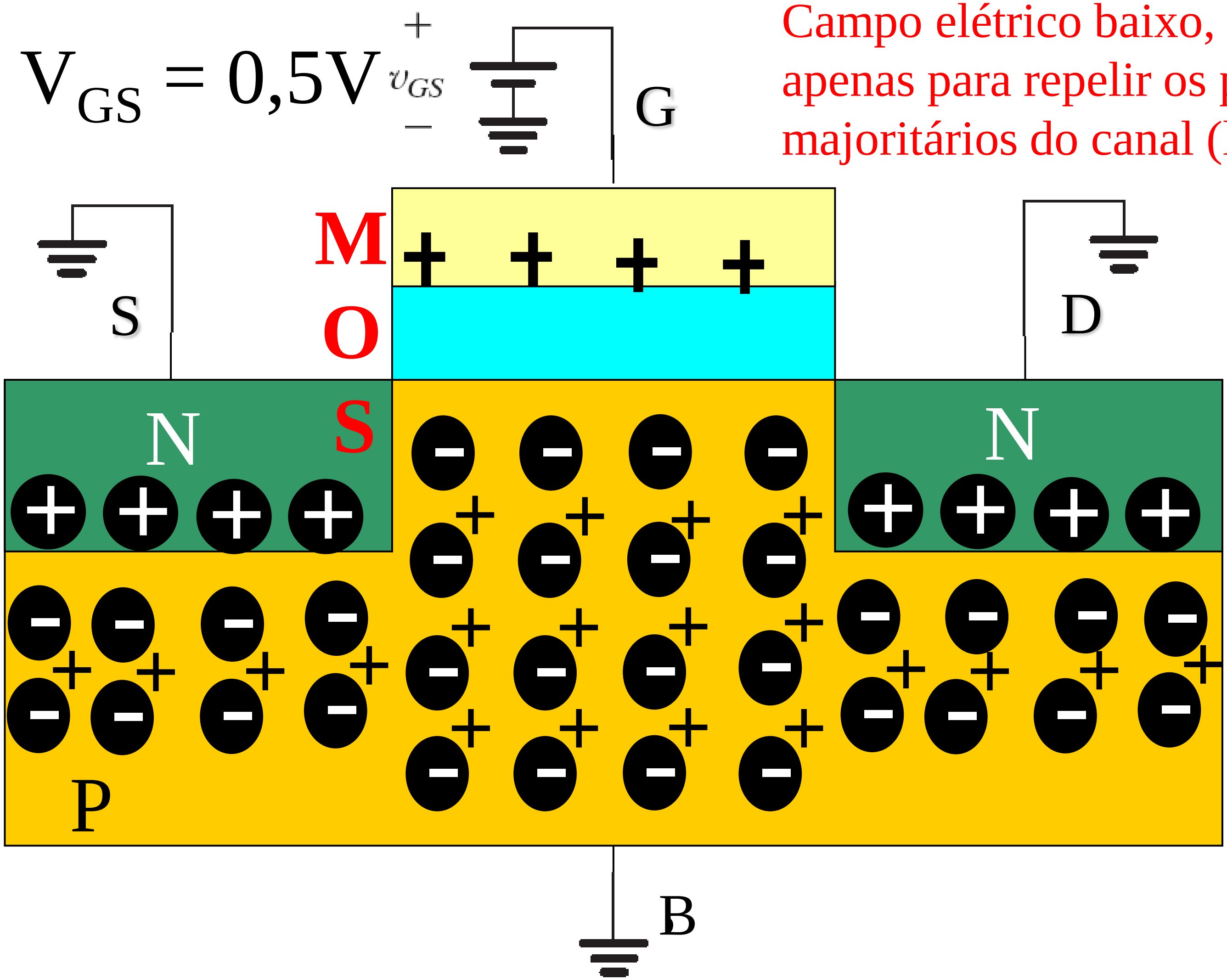
Desprezando cargas no óxido e diferença de função trabalho entre o metal e o semicondutor



Universidade de São Paulo

Transistor NMOS

$V_{GS} > 0$ e $V_{DS} = 0$

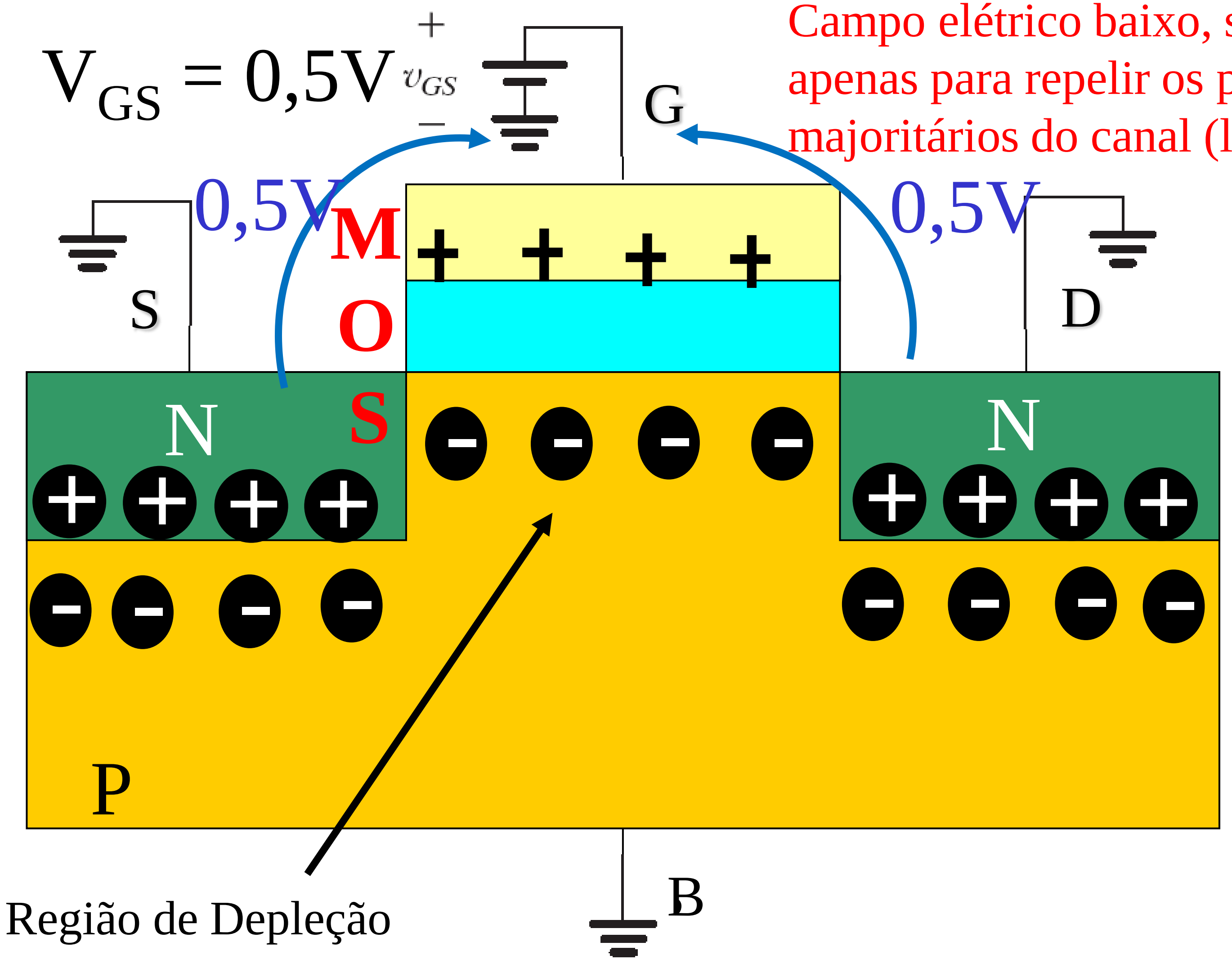


Campo elétrico baixo, suficiente apenas para repelir os portadores majoritários do canal (lacunas)

Universidade de São Paulo

Transistor NMOS

$V_{GS} > 0$ e $V_{DS} = 0$



Campo elétrico baixo, suficiente apenas para repelir os portadores majoritários do canal (lacunas)

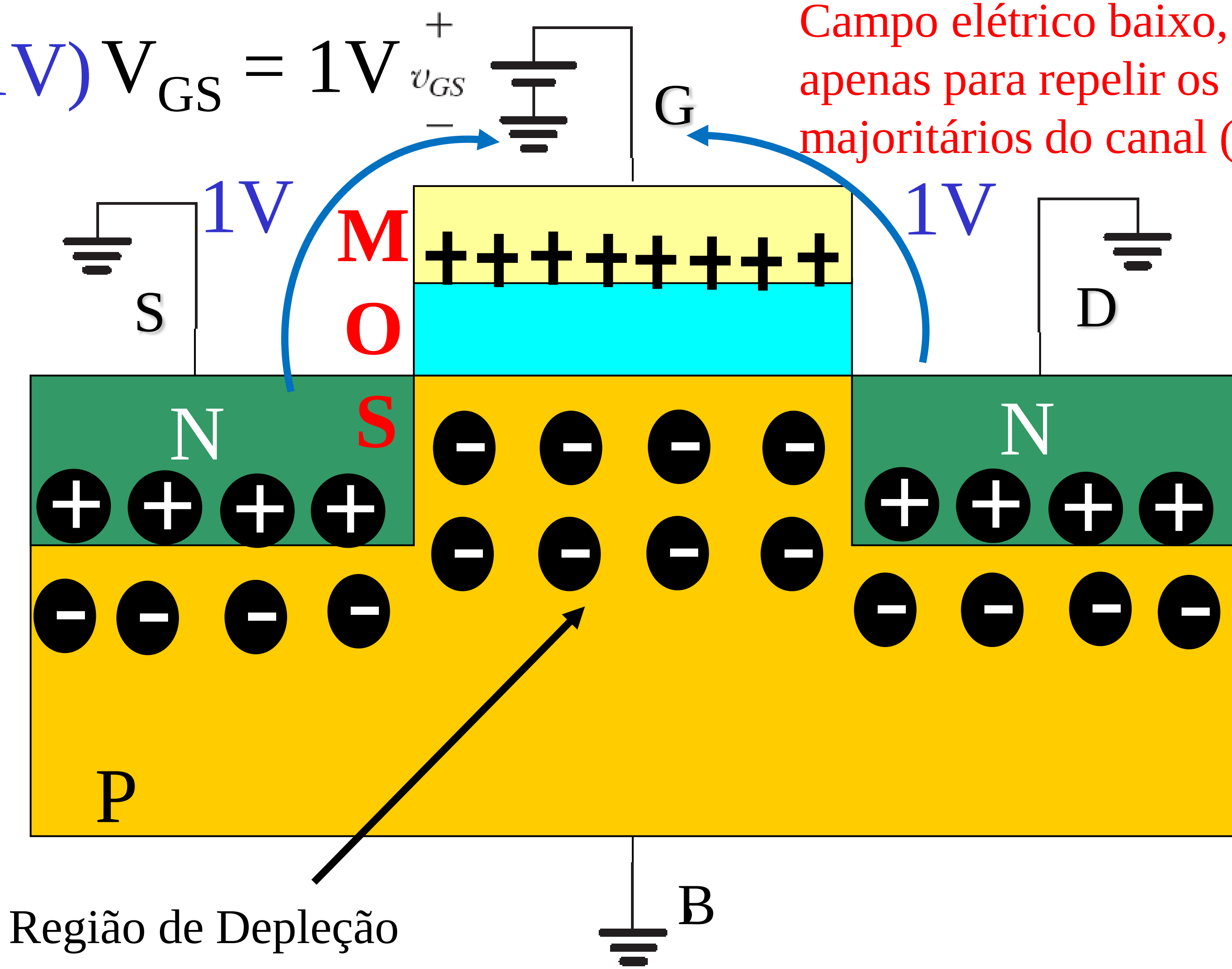
Universidade de São Paulo

Transistor NMOS

$V_{GS} > 0$ e $V_{DS} = 0$

$(V_t \cong 1V)$ $V_{GS} = 1V$

Campo elétrico baixo, suficiente apenas para repelir os portadores majoritários do canal (lacunas)

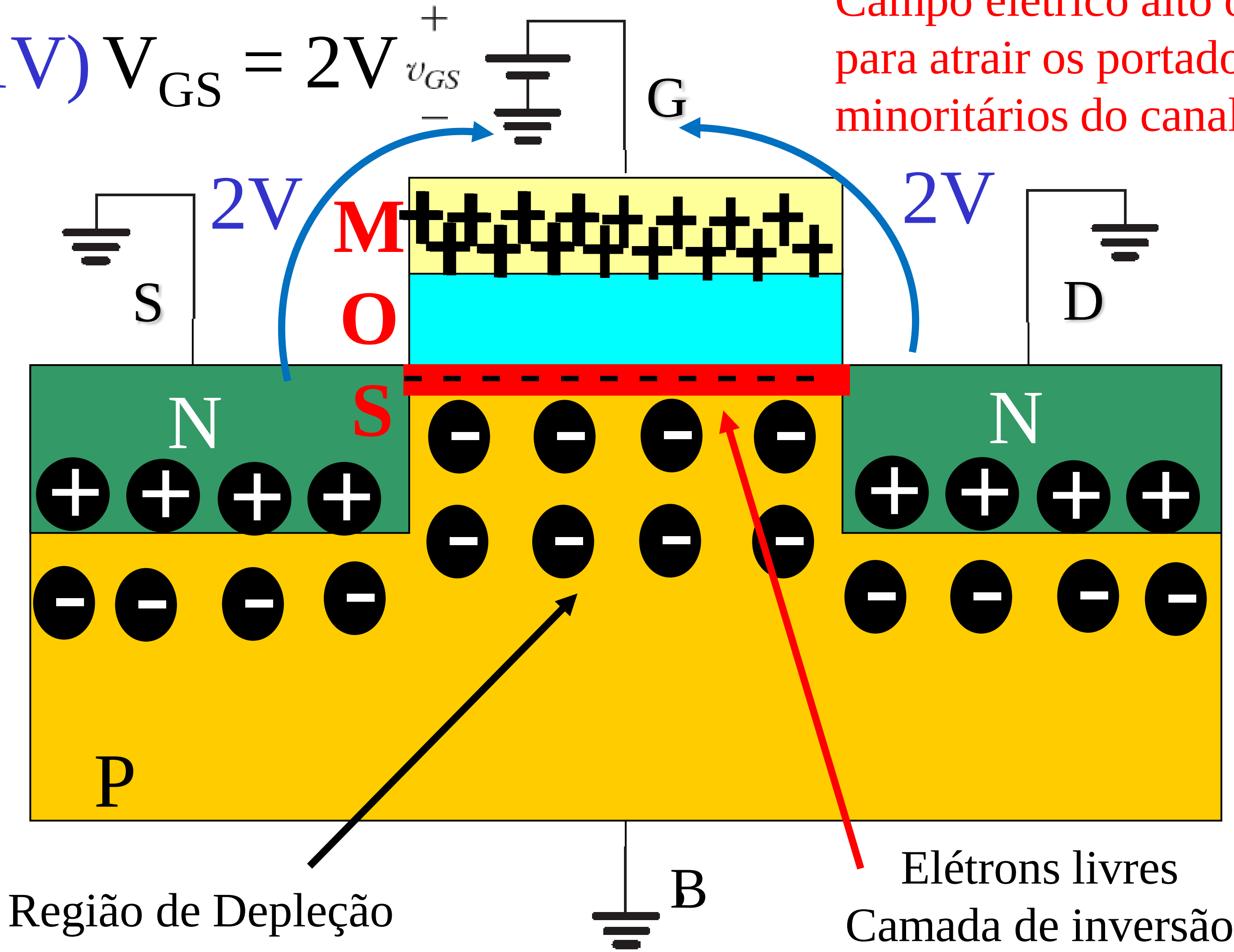


Transistor NMOS

V_{GS} > Vt (tensão de limiar) e $V_{DS} = 0$

(Vt ≅ 1V) $V_{GS} = 2V$

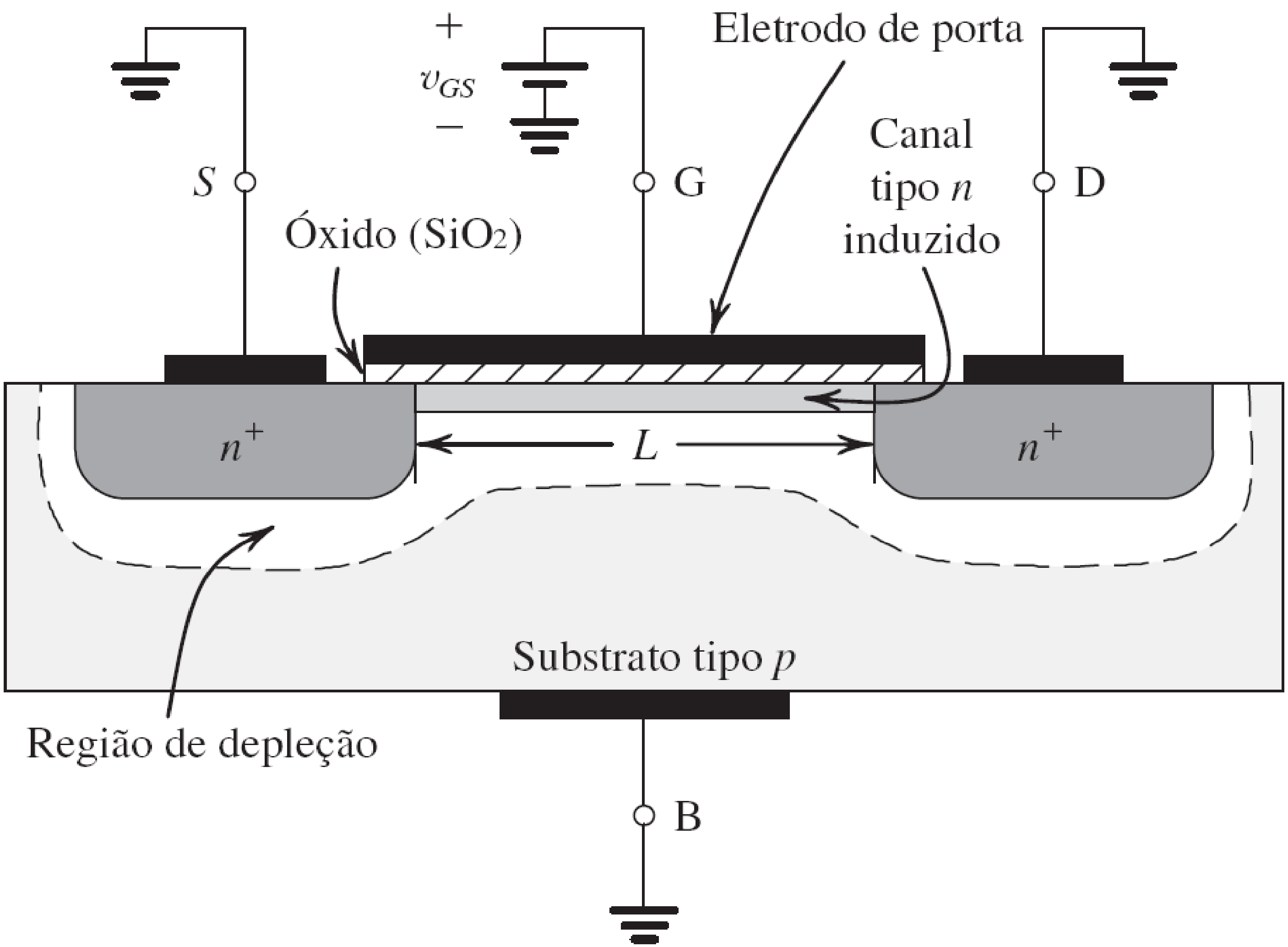
Campo elétrico alto o suficiente para atrair os portadores minoritários do canal (elétrons)



Universidade de São Paulo

Transistor NMOS

V_{GS} > Vt (tensão de limiar) e V_{DS} = 0



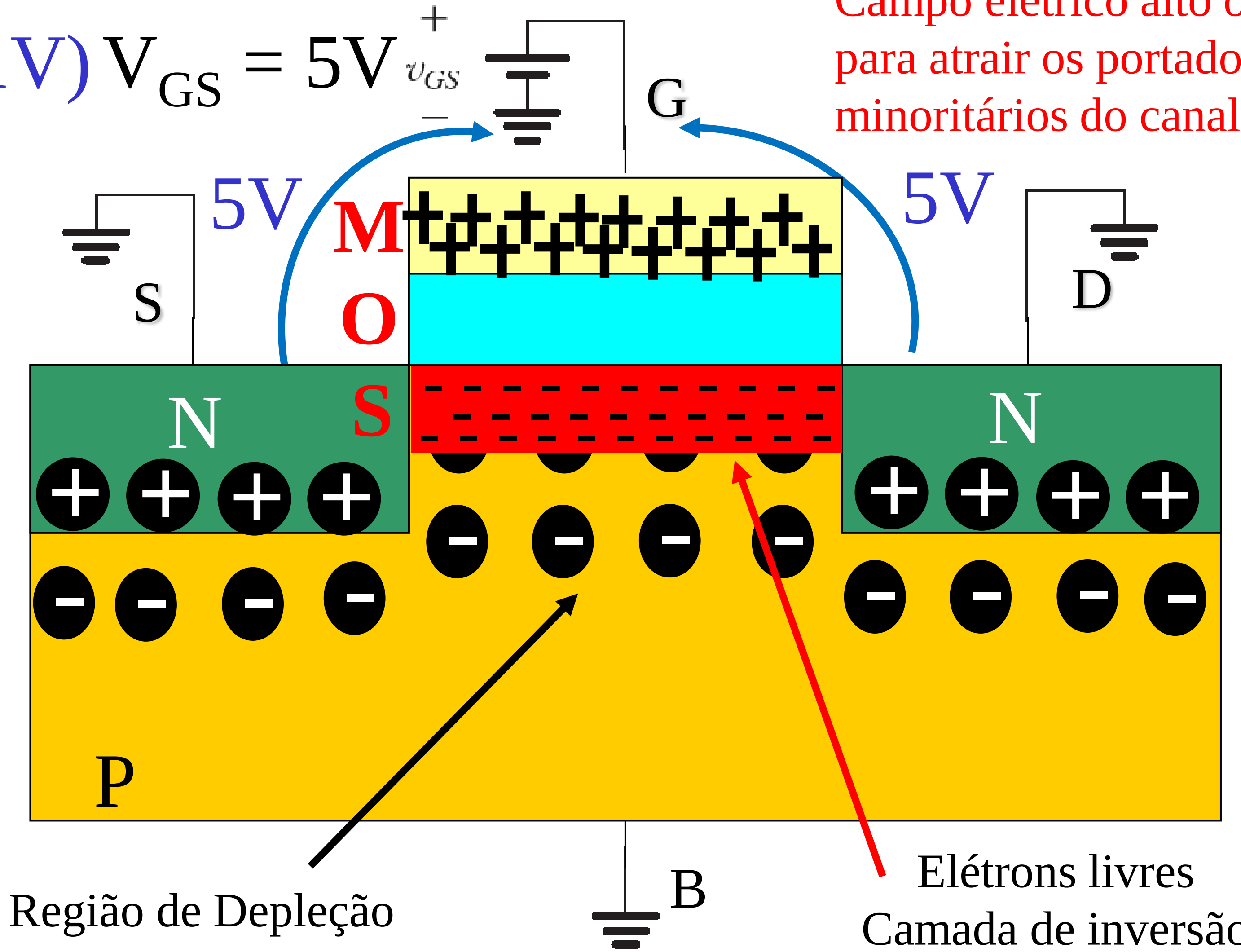
Universidade de São Paulo

Transistor NMOS

V_{GS} >> Vt (tensão de limiar) e $V_{DS} = 0$

Campo elétrico alto o suficiente para atrair os portadores minoritários do canal (elétrons)

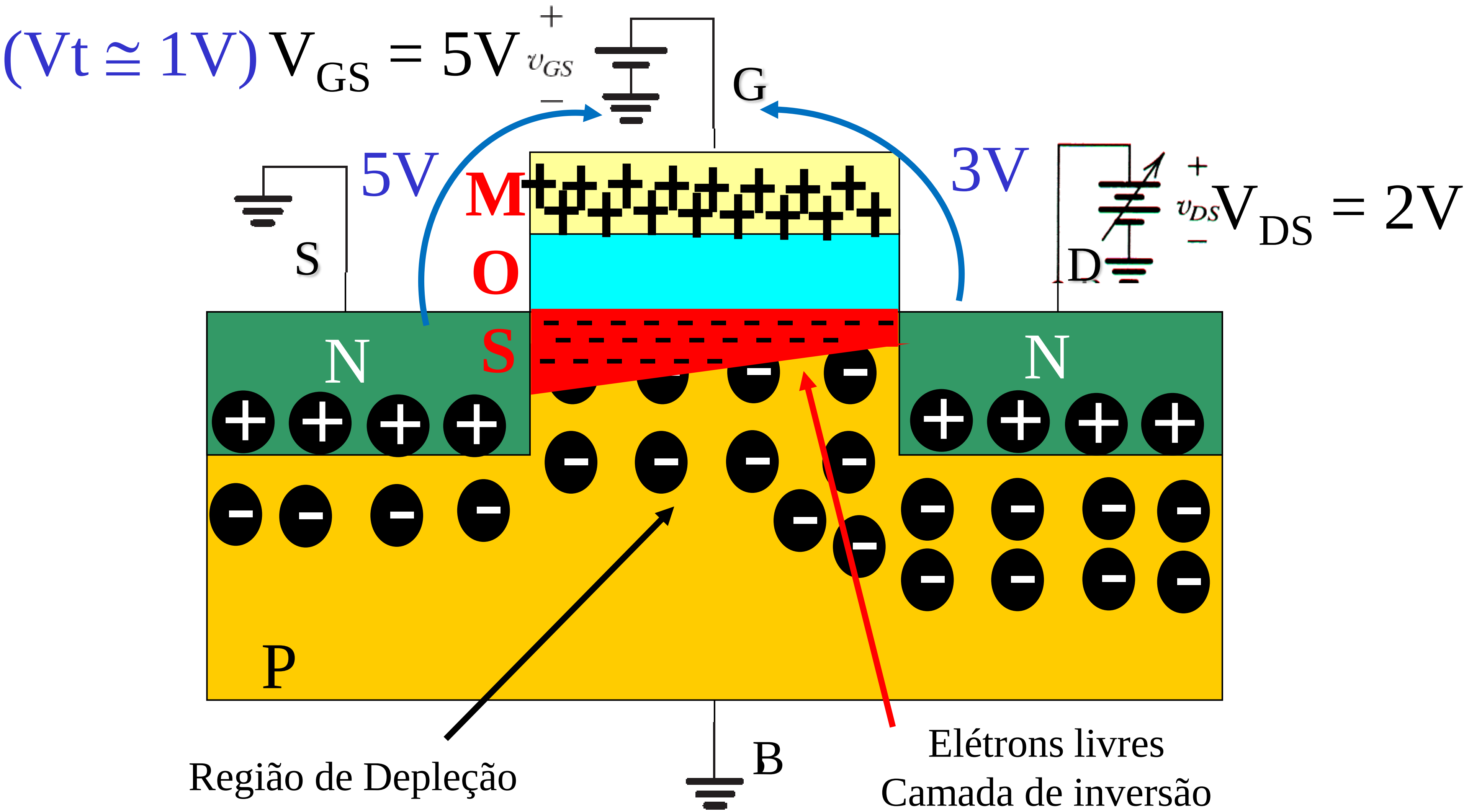
(Vt ≅ 1V) $V_{GS} = 5V$



Universidade de São Paulo

Transistor NMOS

$V_{DS} < V_{GS} - Vt$ (Região de tríodo)

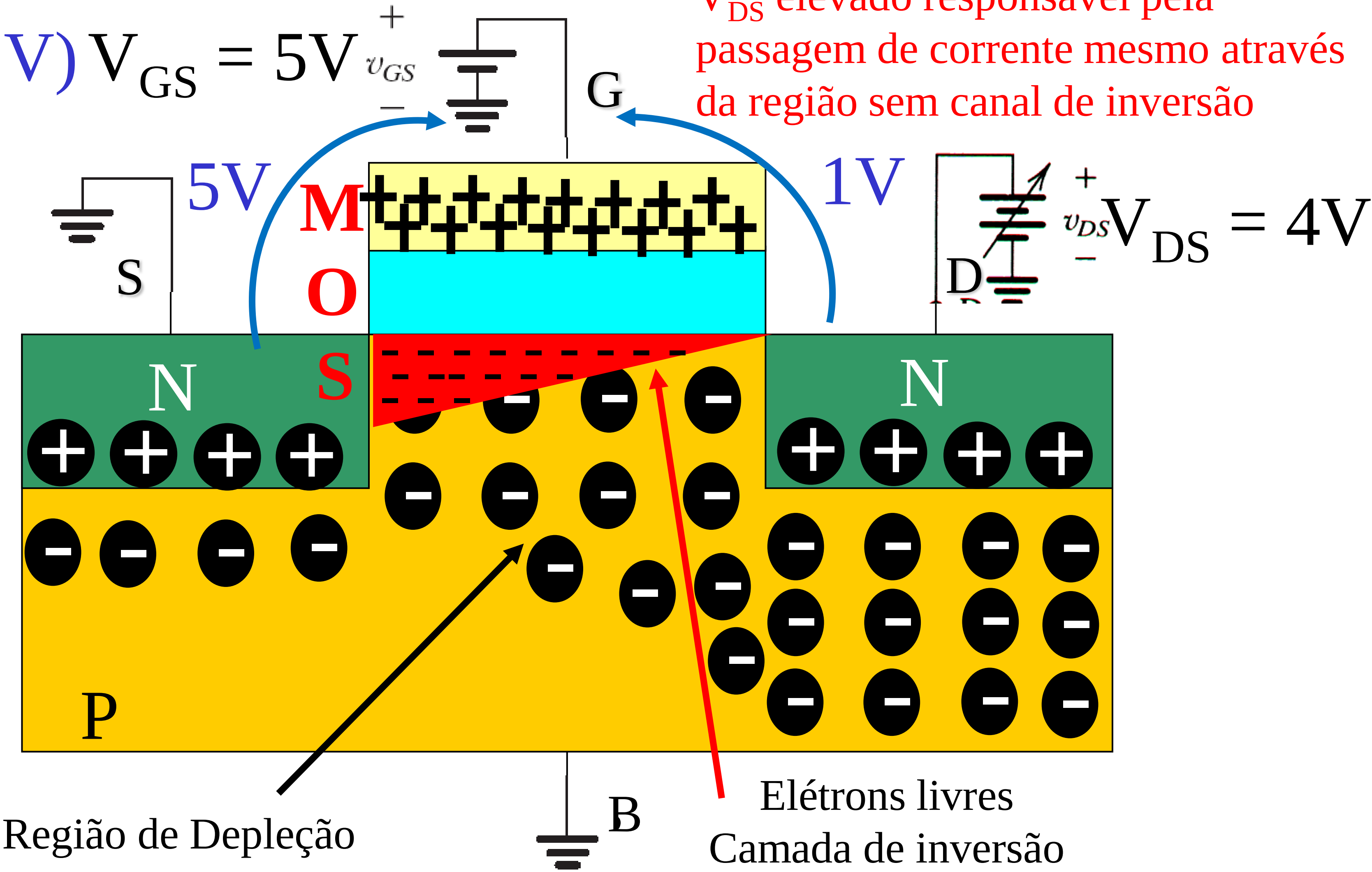


Transistor NMOS

$V_{DS} = V_{GS} - Vt$ (Triodo/Saturação)

V_{DS} elevado responsável pela passagem de corrente mesmo através da região sem canal de inversão

$(Vt \cong 1V)$ $V_{GS} = 5V$

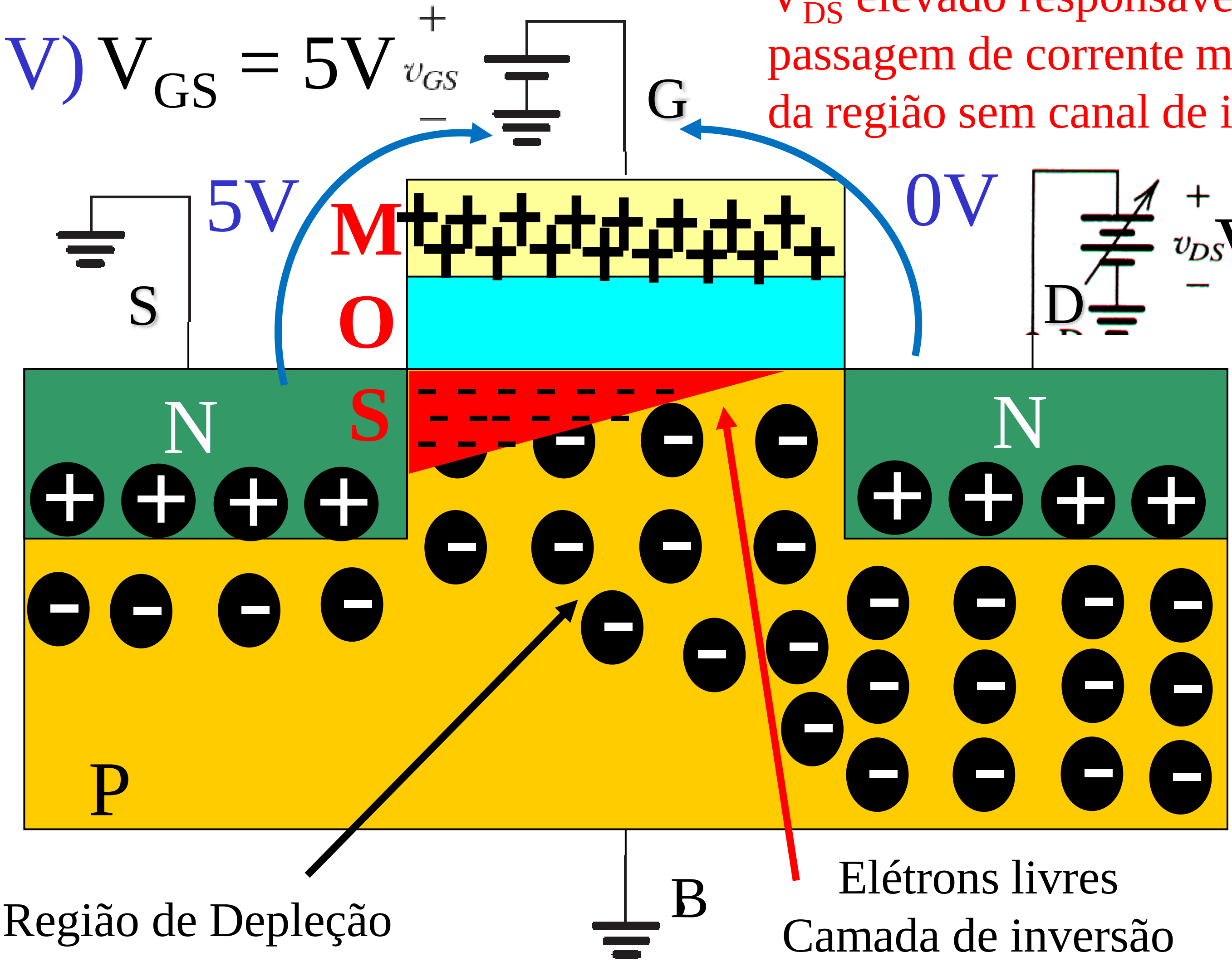


Transistor NMOS

$V_{DS} > V_{GS} - Vt$ (Região de Saturação)

V_{DS} elevado responsável pela passagem de corrente mesmo através da região sem canal de inversão

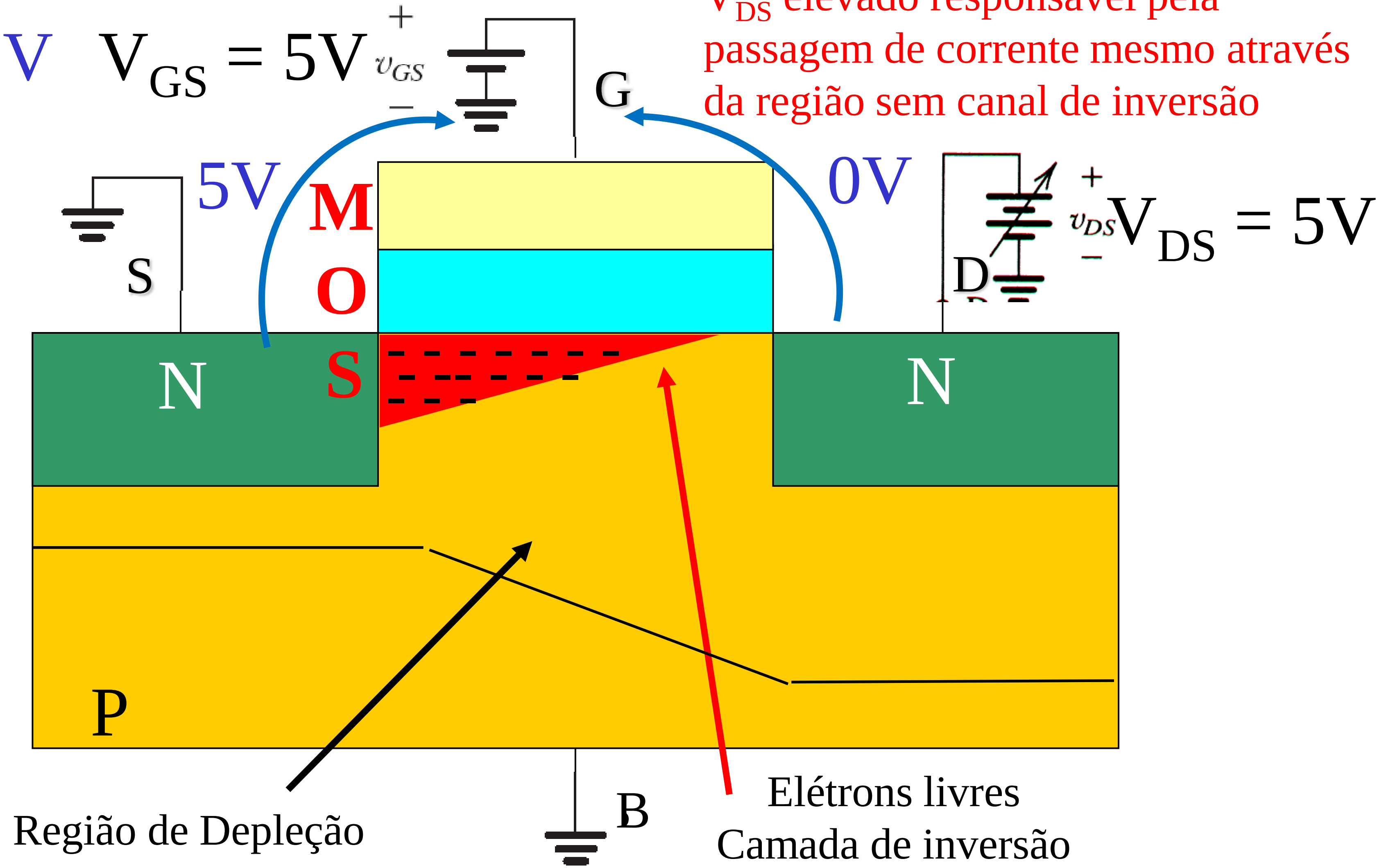
(Vt ≅ 1V) $V_{GS} = 5V$



Transistor NMOS

$V_{DS} > V_{GS} - Vt$ (Região de Saturação)

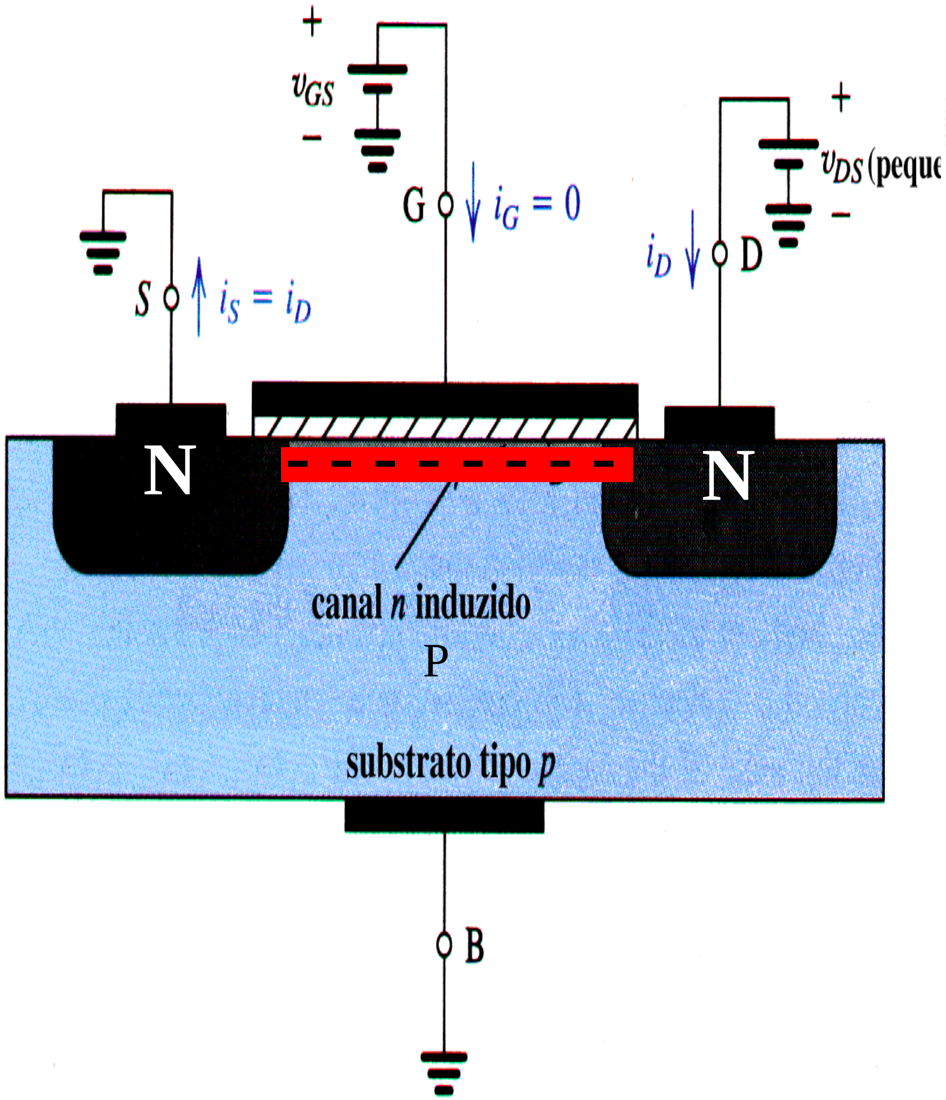
$Vt \cong 1V$

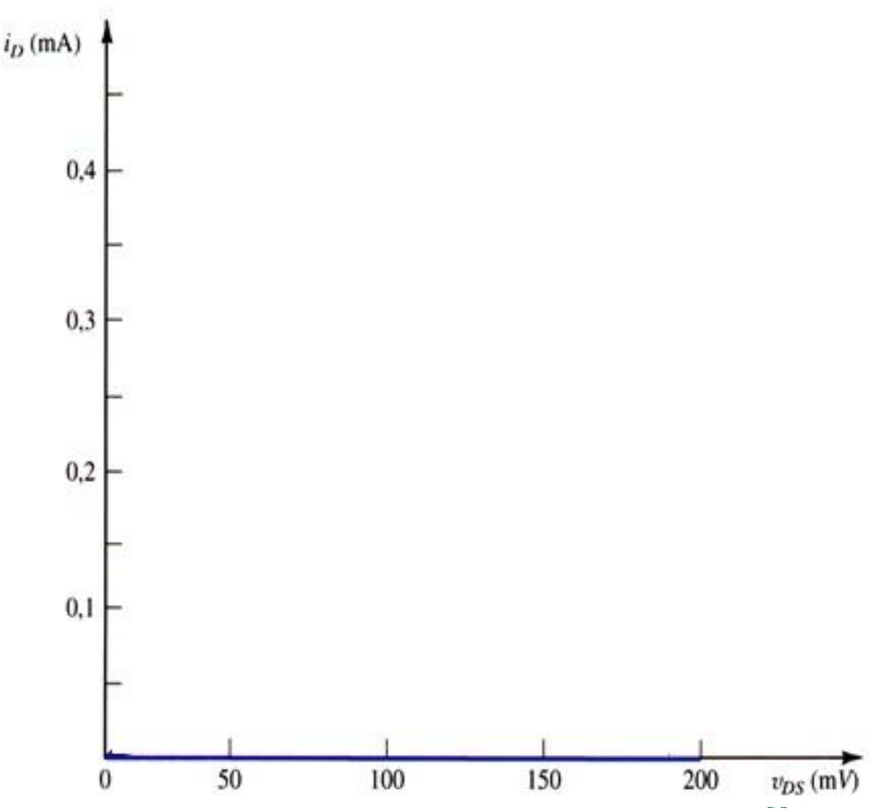


V_{DS} elevado responsável pela passagem de corrente mesmo através da região sem canal de inversão

Aplicando um pequeno valor de V_{DS} (comportamento ≈ resistivo)

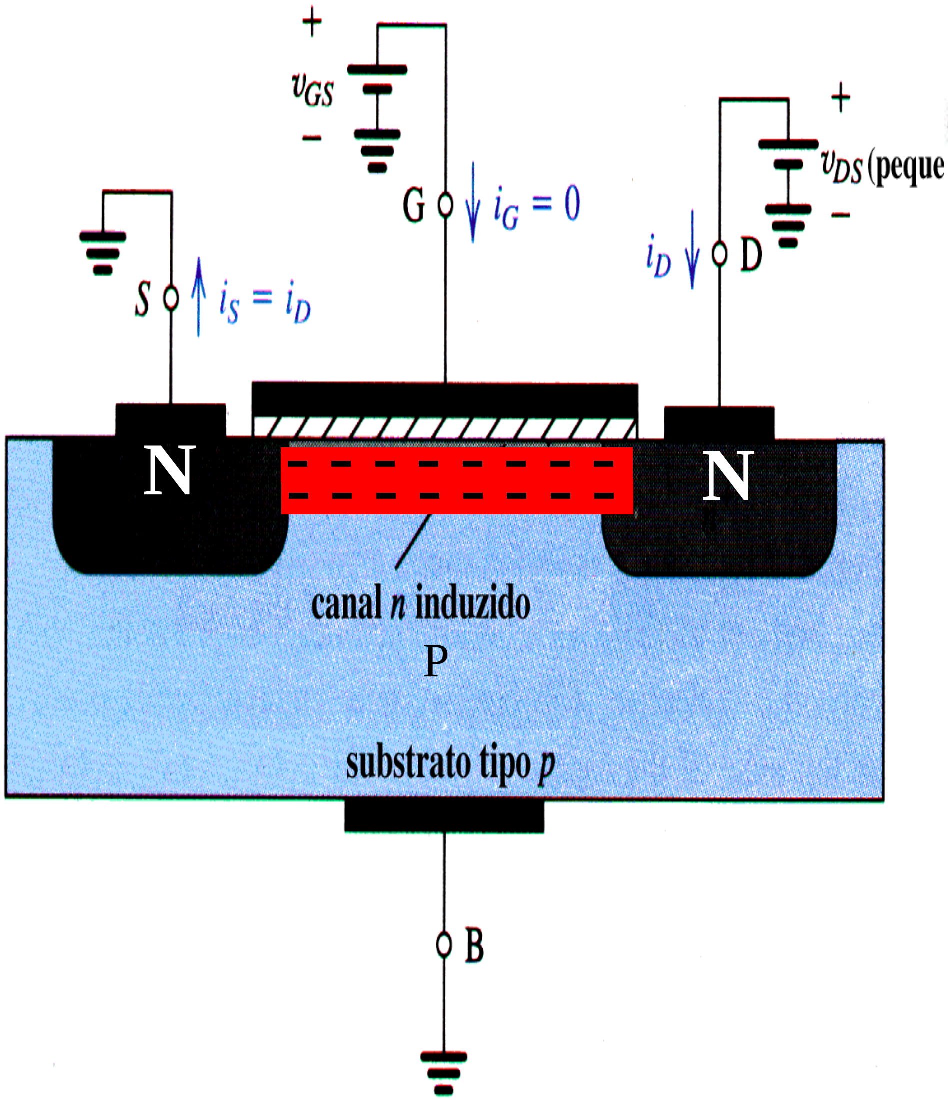
Universidade de São Paulo

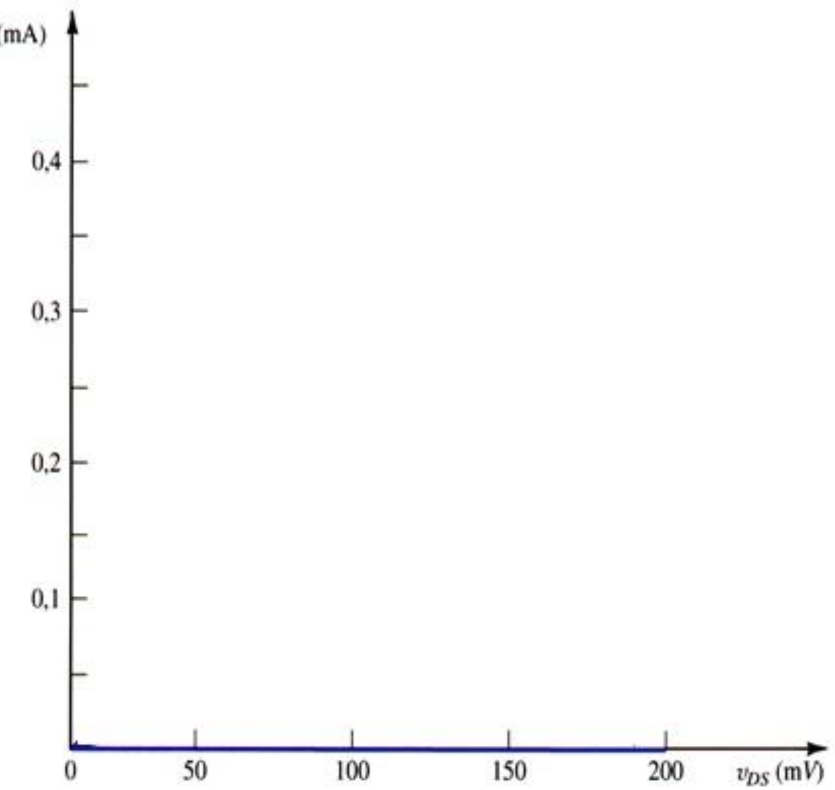




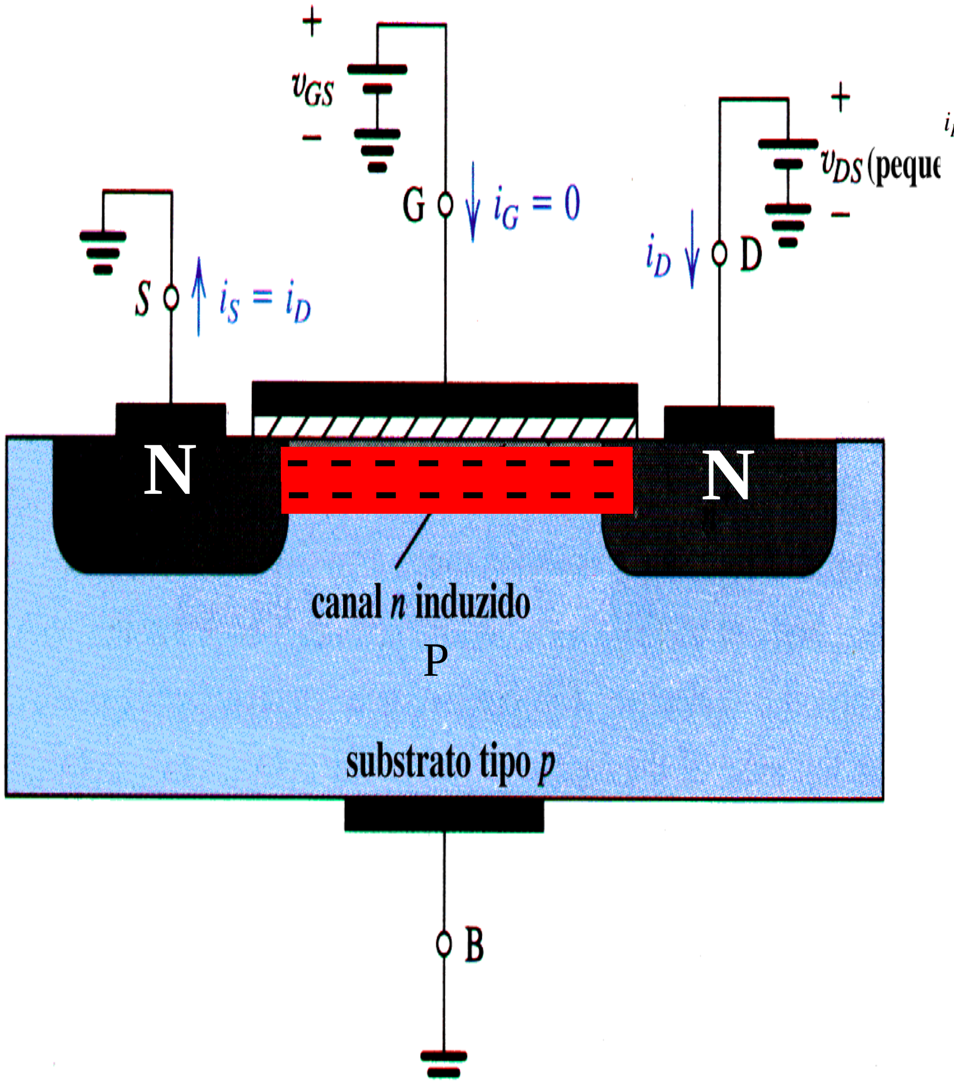
Universidade de São Paulo

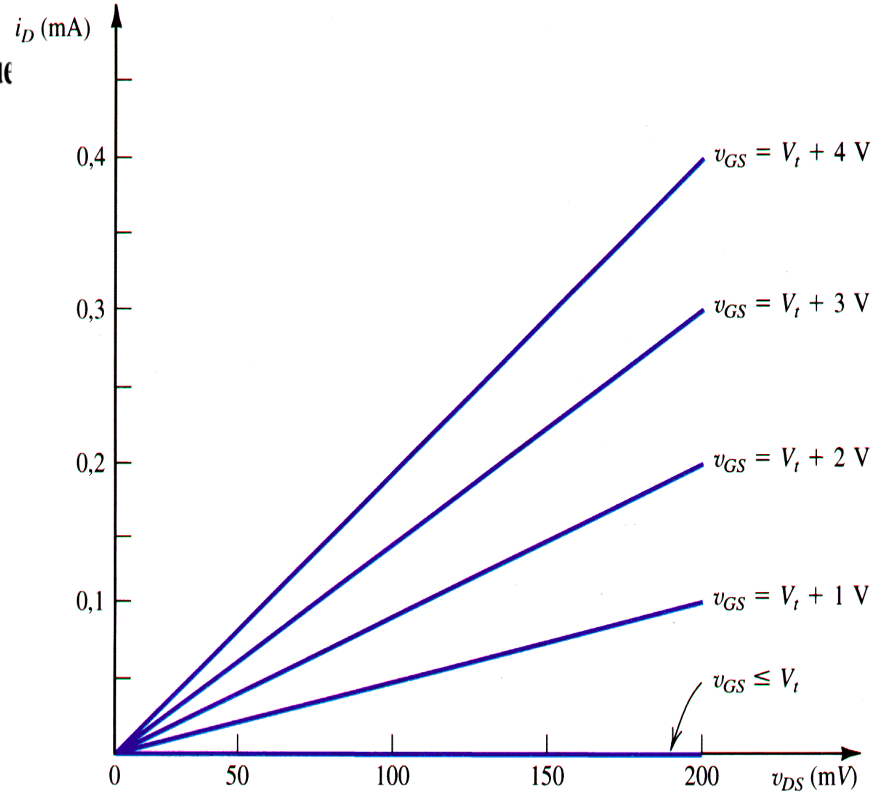
Aplicando um pequeno valor de V_{DS} (comportamento ≈ resistivo)





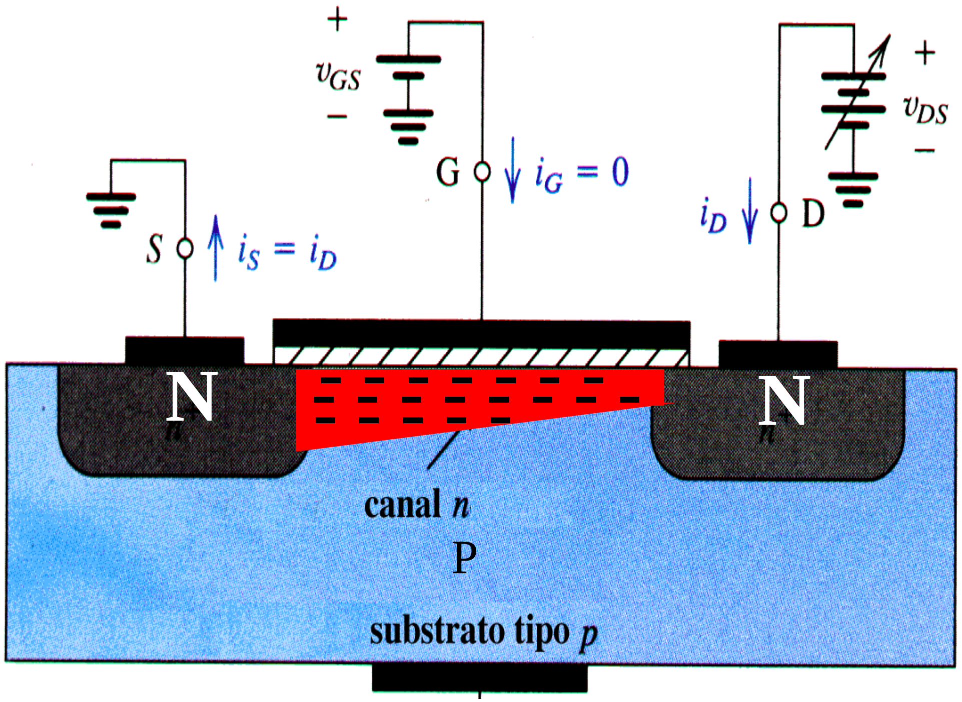
Aplicando um pequeno valor de V_{DS} (comportamento ≈ resistivo)



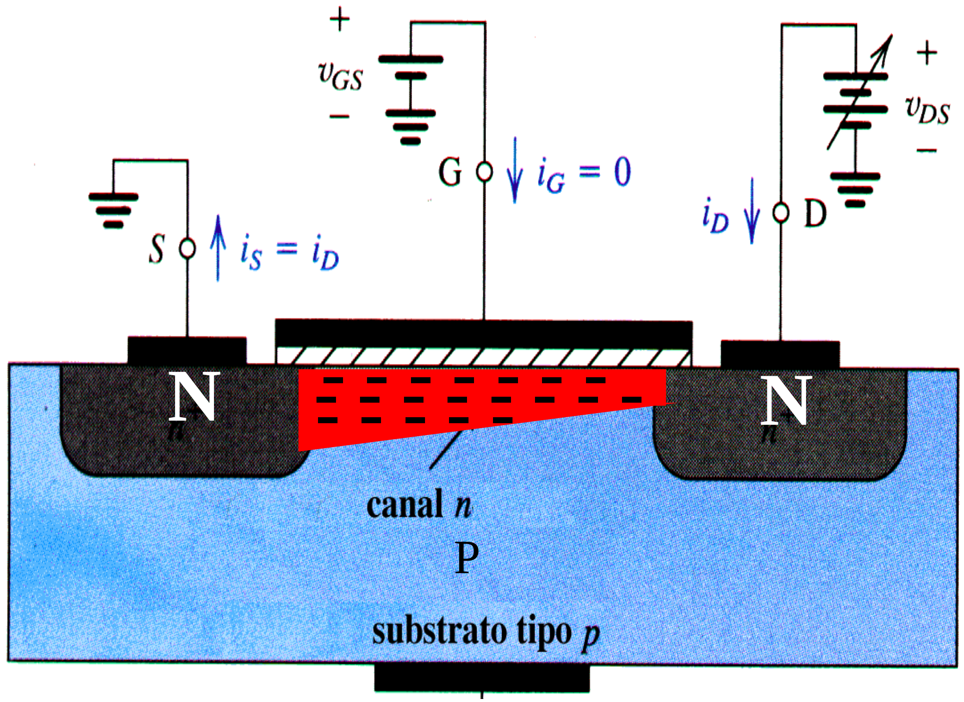


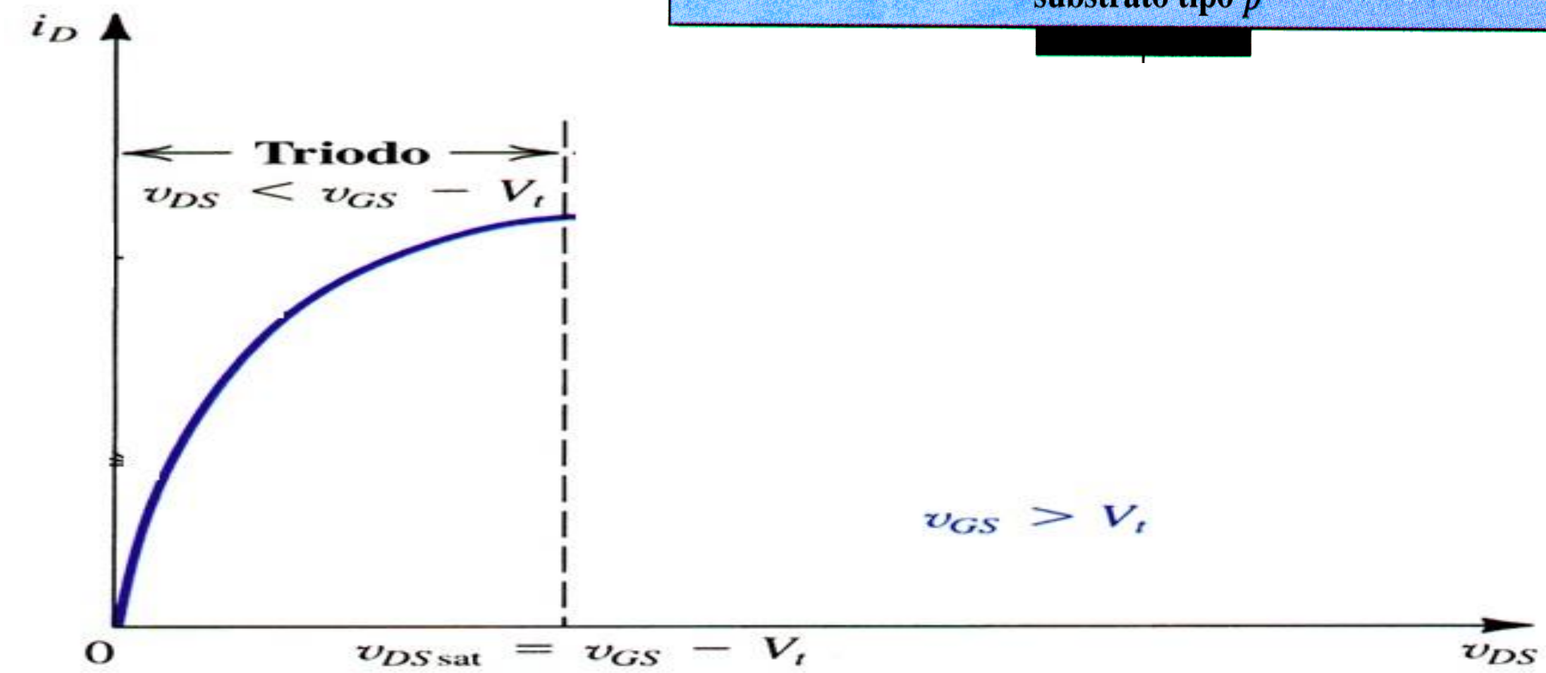
Universidade de São Paulo

A operação com o aumento de V_{DS}



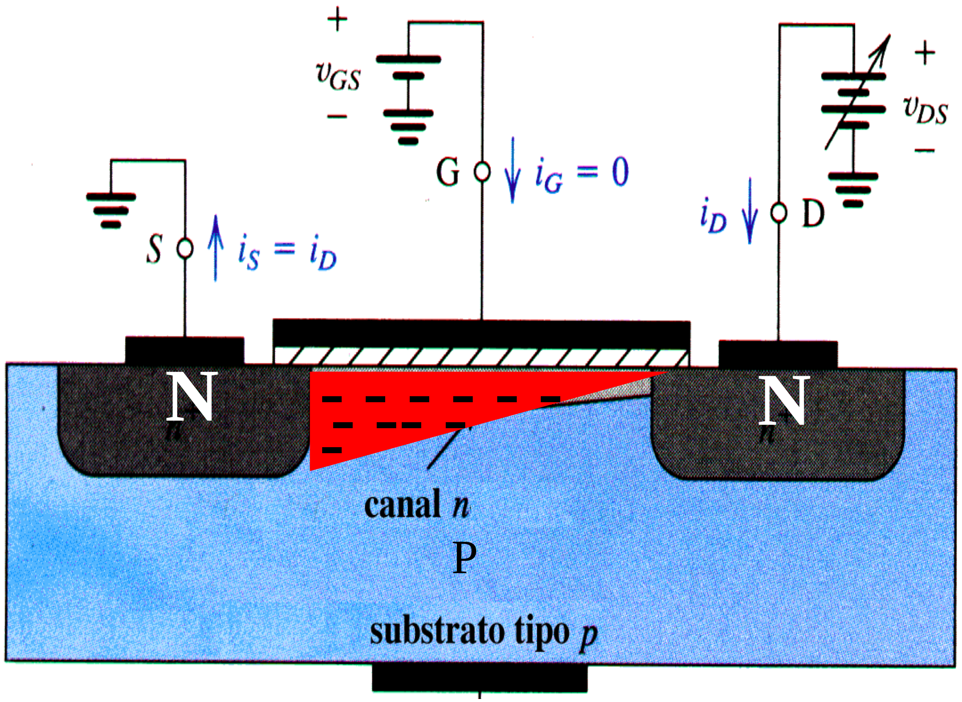
A operação com o aumento de V_{DS}

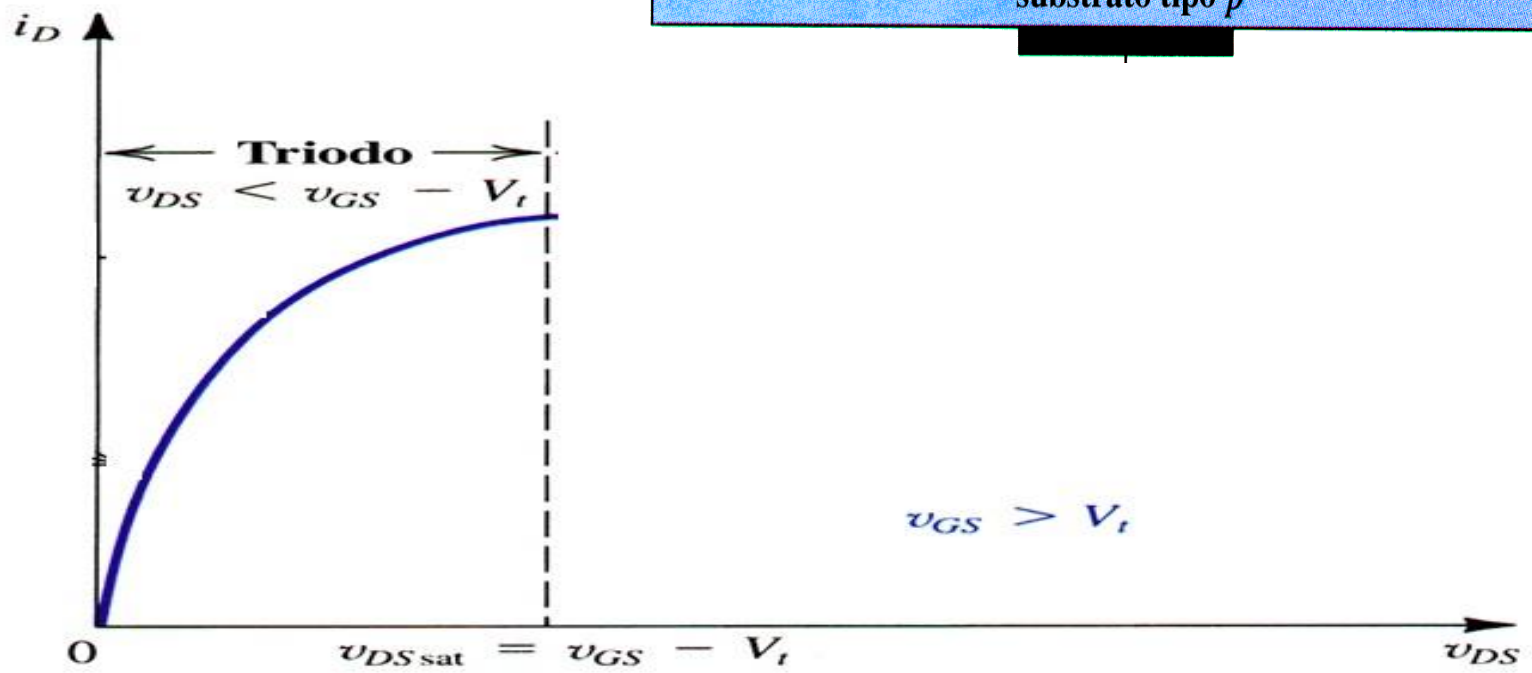




Universidade de São Paulo

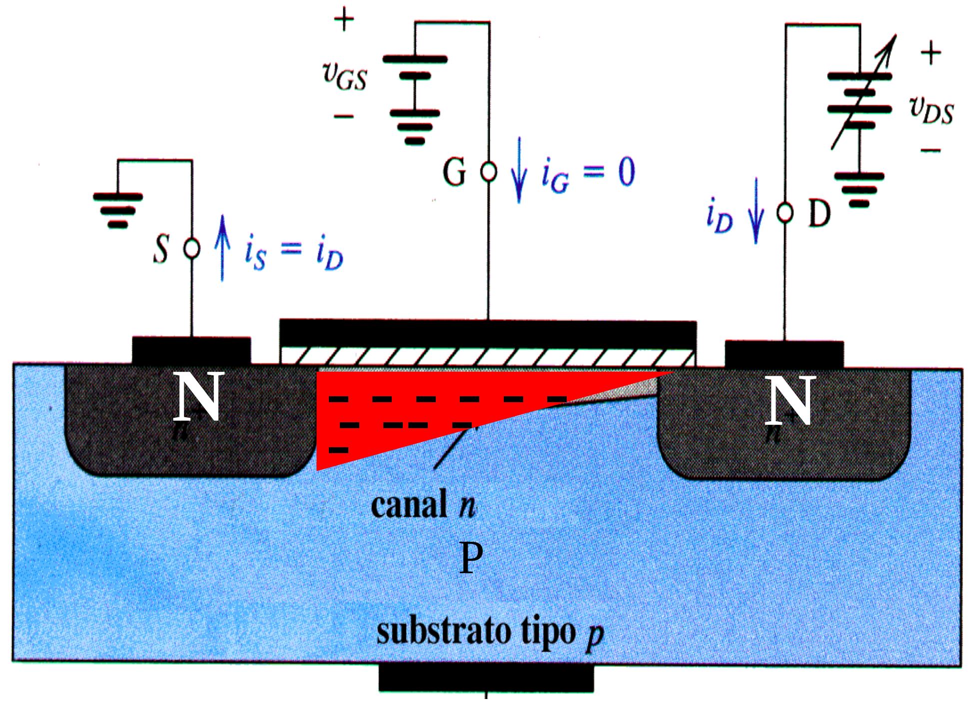
A operação com o aumento de V_{DS}

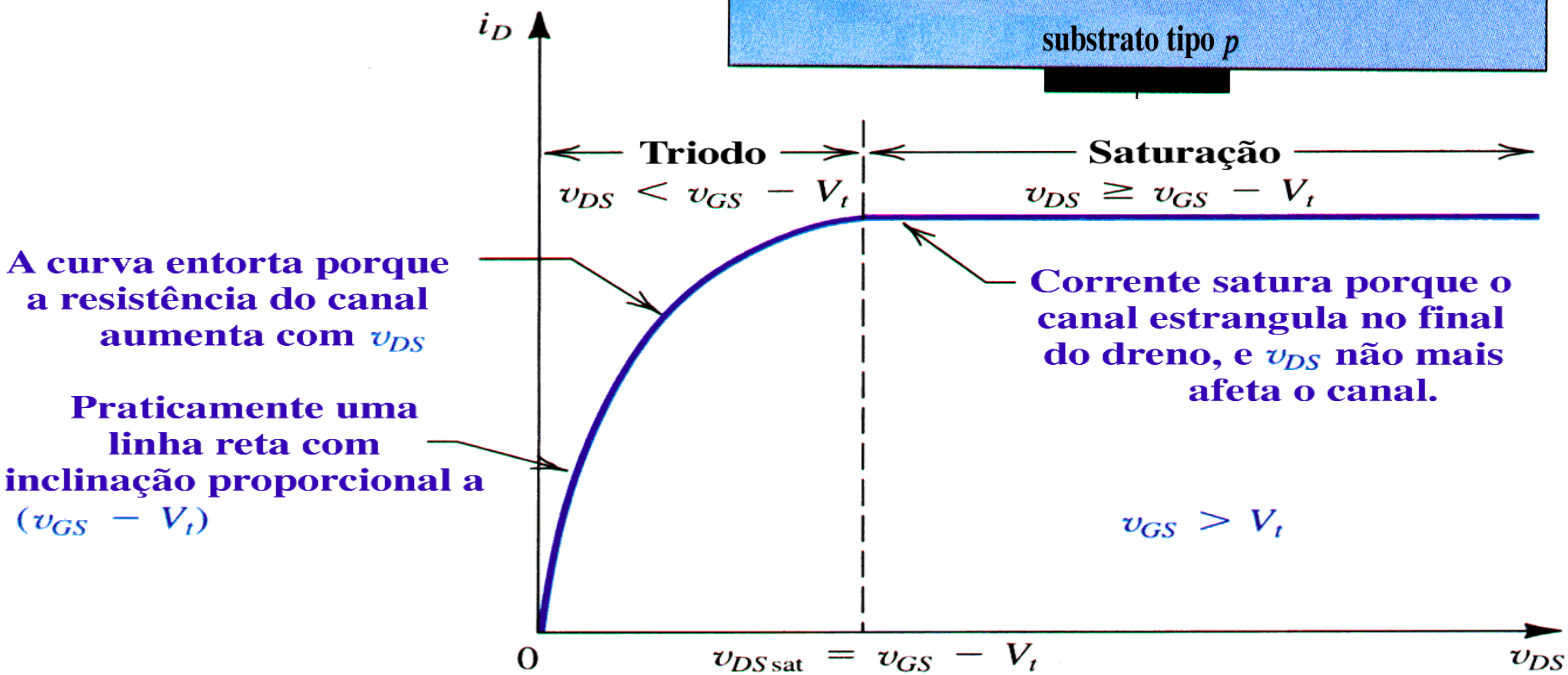




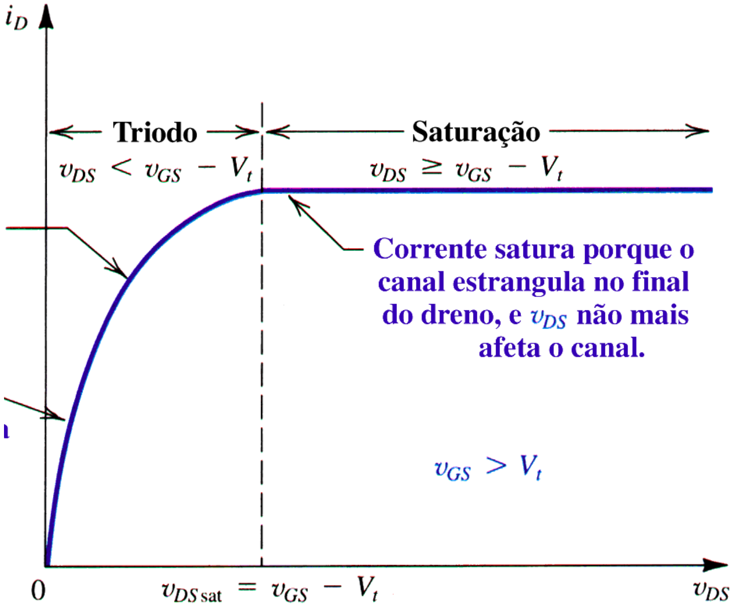
Universidade de São Paulo

A operação com o aumento de V_{DS}



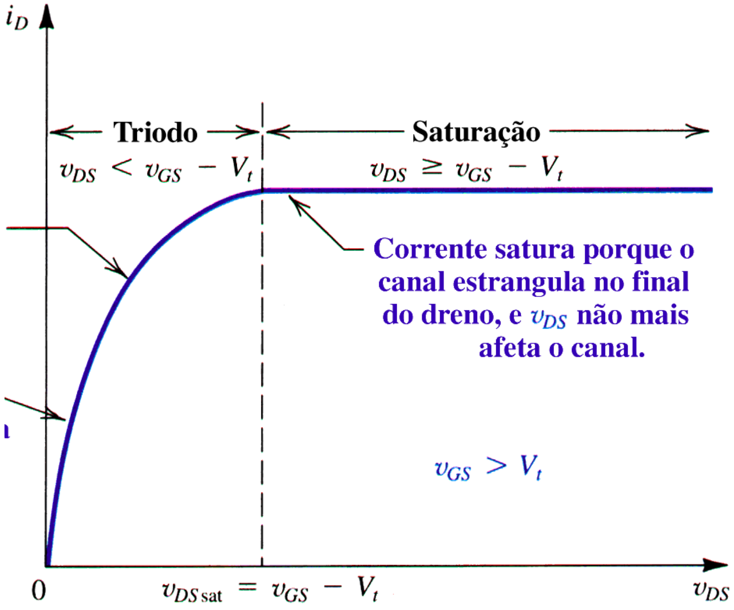


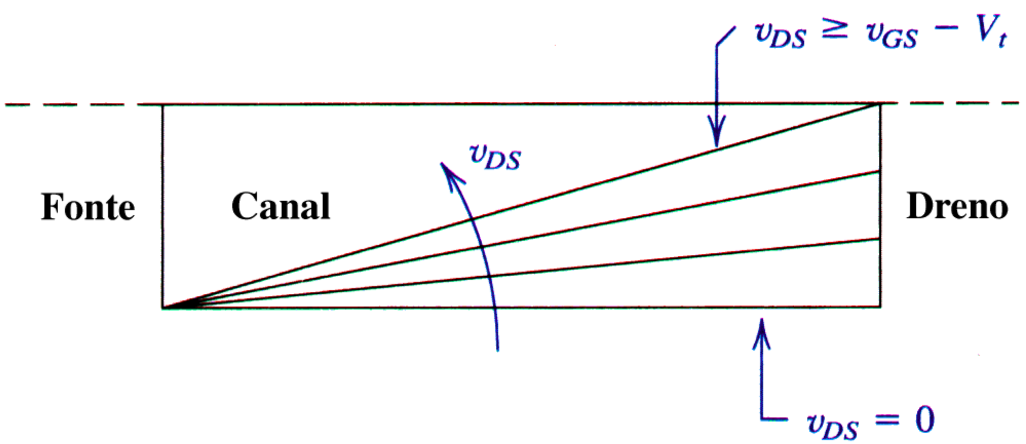
Perfil da camada de inversão no canal do transistor nMOS com aumento de V_{DS}



Universidade de São Paulo

Perfil da camada de inversão no canal do transistor nMOS com aumento de V_{DS}





Exercício 4.1 (pag. 145)

Para V_{DS} pequeno → $I_D = K.(V_{GS} – Vt).V_{DS}$

Determine K e a faixa de resistência entre dreno e fonte para V_{GS} – Vt de 0,5 a 2 V