

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Departamento Acadêmico de Eletrônica

Eletrônica de Potência



# Componentes Eletrônicos (Transistores)

Prof. Clovis Antonio Petry.

Florianópolis, março de 2026.

# Eletrônica de Potência

O material do curso está disponível em:

1. Moodle para os alunos matriculados na disciplina;
2. Página do professor;
3. Canal no youtube do professor.



<https://moodle.ifsc.edu.br>

ProfessorPetry  
Conhecimento para uma vida plena

PRINCIPAL PROJÉTOS PUBLICAÇÕES CONTATO



**Bem vindo ao Website pessoal de Clovis Antonio Petry**

O objetivo desta página é a divulgação de informações sobre eletrônica, em especial eletrônica de potência. Todos os materiais disponibilizados podem ser livremente utilizados, desde que citados os autores. As disciplinas do semestre corrente podem ser acessadas clicando na imagem da esquerda abaixo. Material didático pode ser encontrado clicando na imagem da direita abaixo.

**Eventos**

**Outubro, 2020**  
**SNCT 2020**  
Semana Nacional de Ciência e Tecnologia 2020, Florianópolis, SC.  
[Acesse...](#)

**Setembro, 2020**  
**COBENGE 2020**  
XLVIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE) e III Simpósio Internacional de Educação em Engenharia da ABENGE, Bento Gonçalves, RS. [Acesse...](#)



[www.ProfessorPetry.com.br](http://www.ProfessorPetry.com.br)



<https://www.youtube.com>

# Agenda

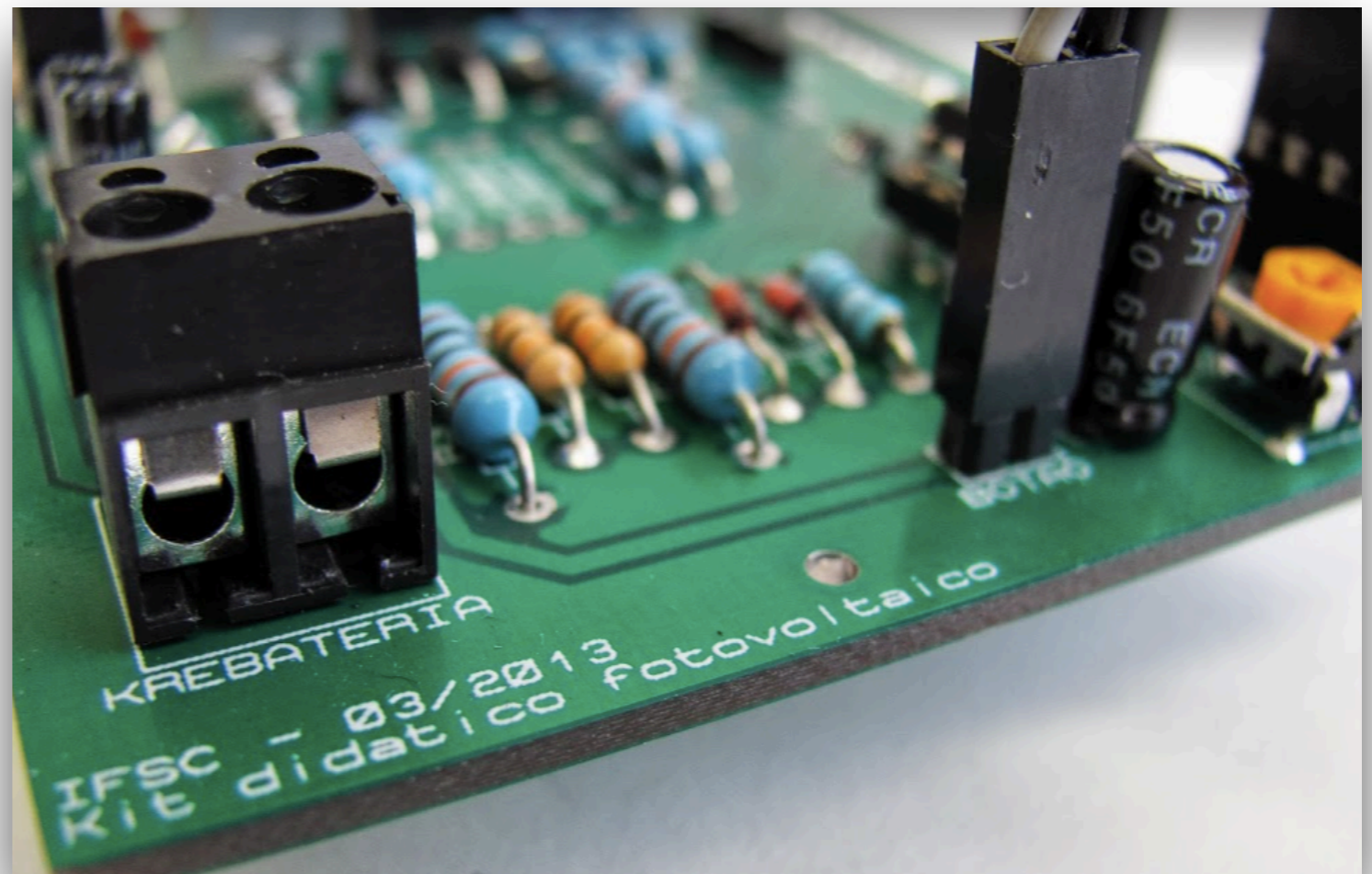
Esta aula está organizada em:

1. Componentes eletrônicos:
  1. Semicondutores para eletrônica de potência;
  2. Revisão de BJT;
  3. BJT x FET;
  4. FETs;
  5. MOSFETs;
  6. IGBTs.



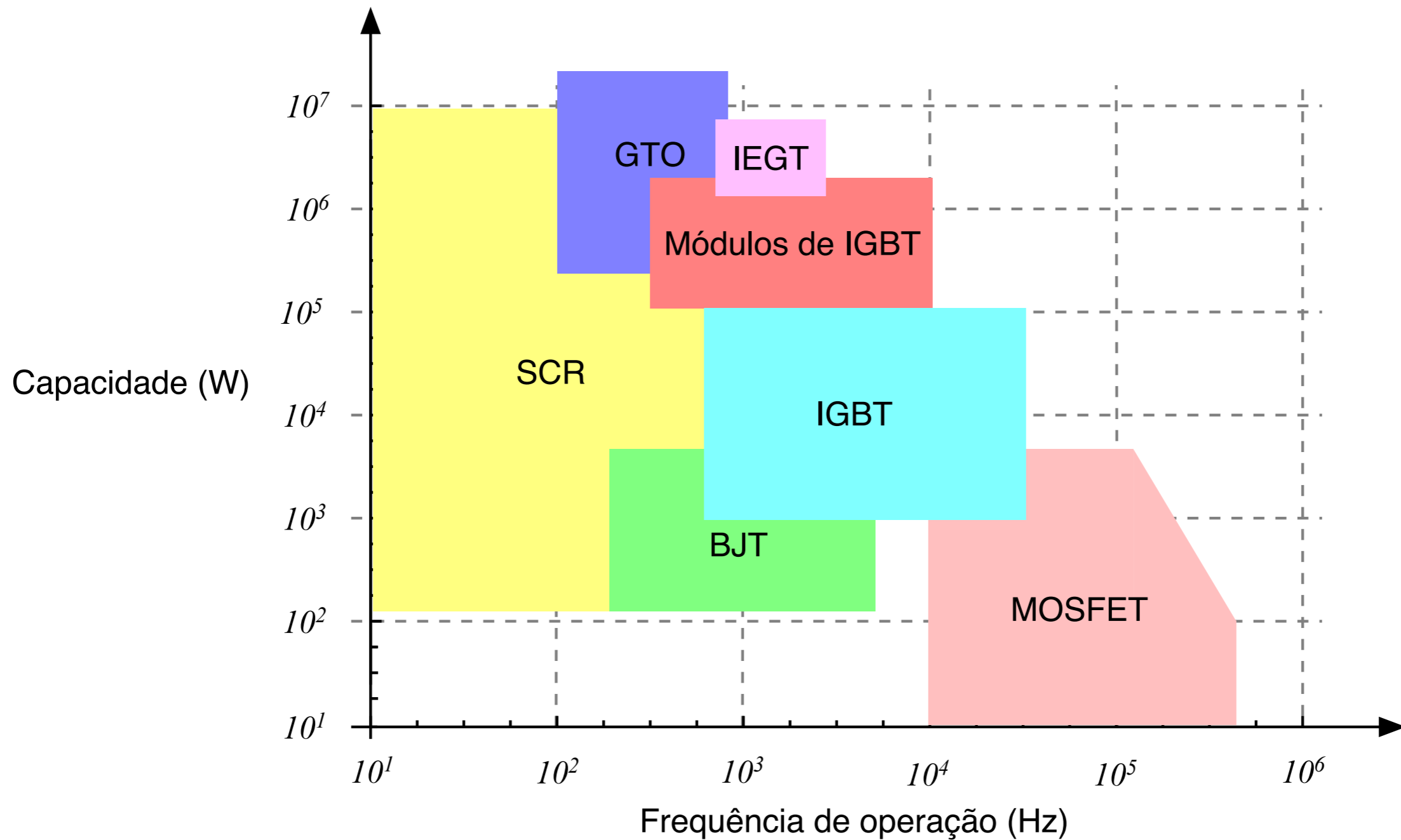
# Motivação

Os equipamentos eletrônicos são  
construídos a partir dos componentes  
passivos e ativos.



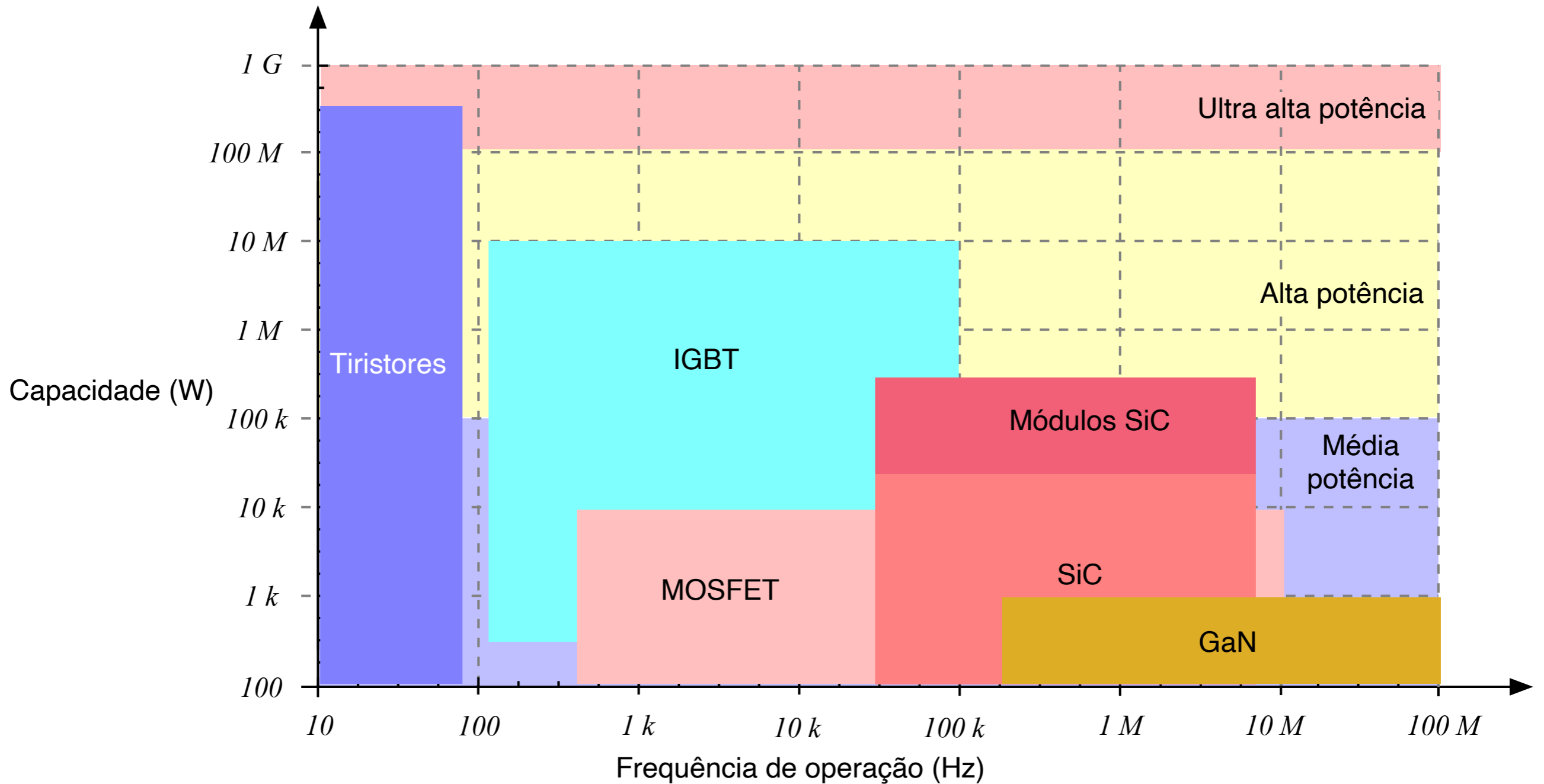
# Semicondutores de potência

Semicondutores aplicados à eletrônica de potência:



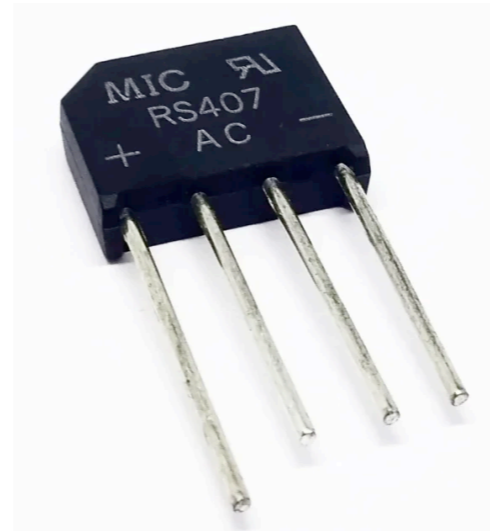
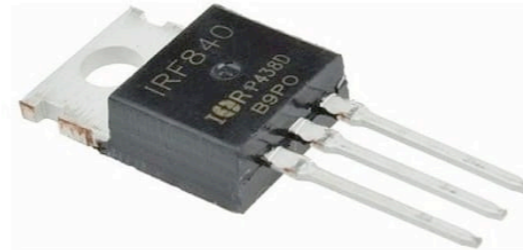
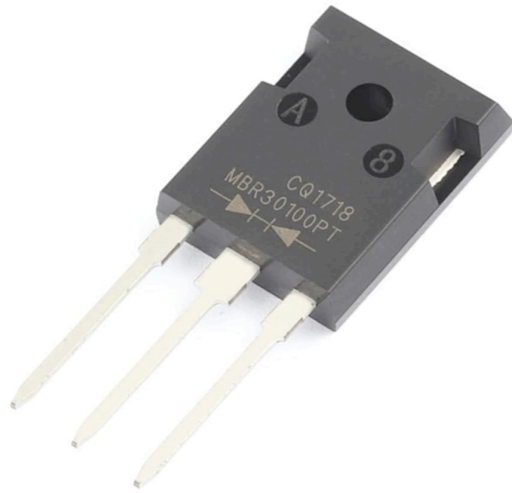
# Semicondutores de potência

Semicondutores aplicados à eletrônica de potência:



# Semicondutores de potência

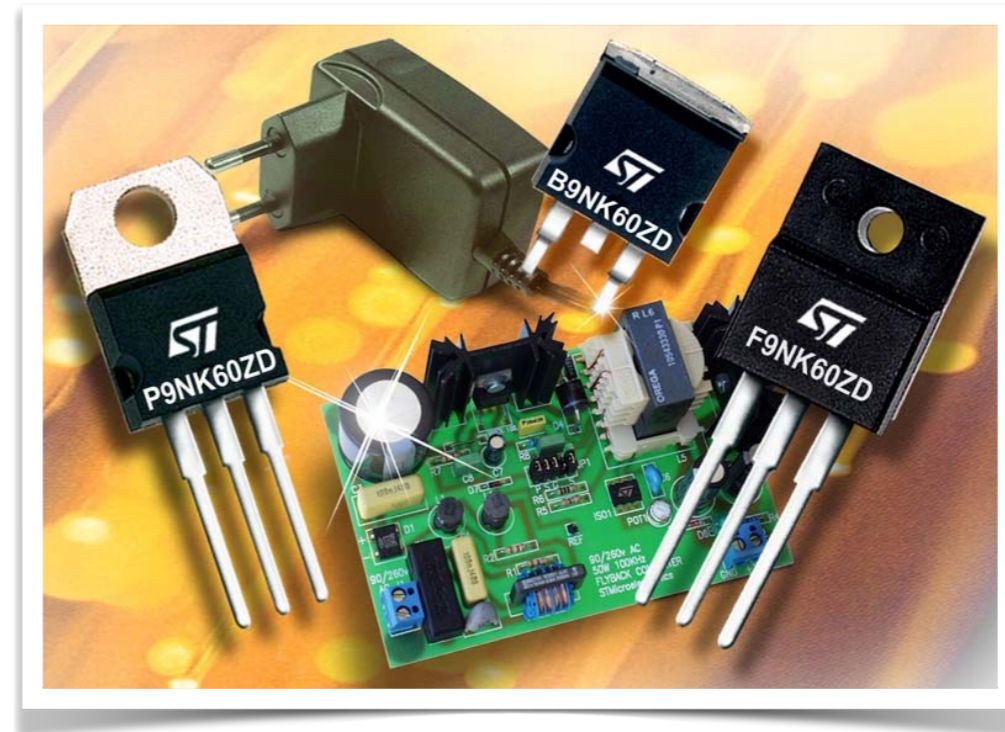
Semicondutores aplicados à eletrônica de potência:



# Transistores

## Regiões de operação dos transistores:

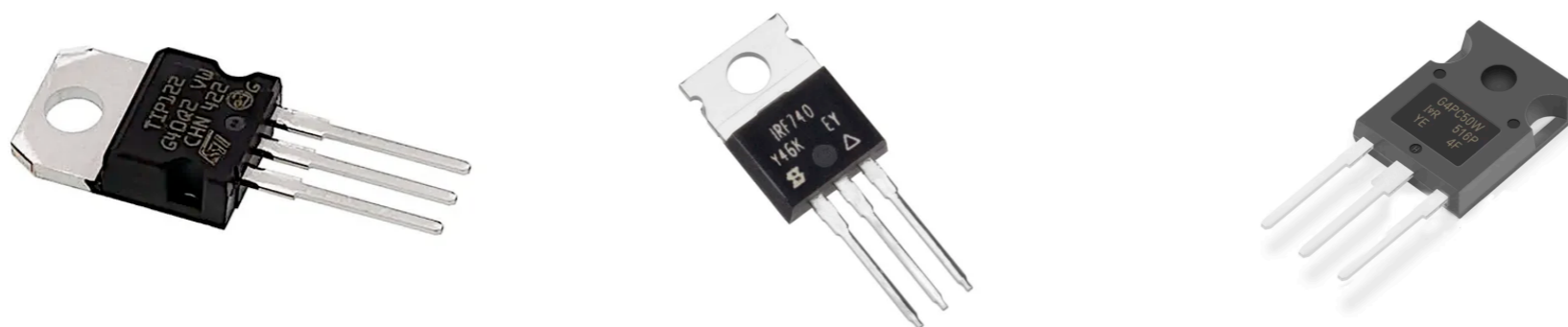
- Corte - é a região em que o transistor não está conduzindo, sua corrente é nula e a tensão sobre o mesmo, em geral, é igual a da fonte de alimentação. Nesta região de operação o transistor não tem perdas, isto é, não processa (dissipa) potência;
- Ativa - é a região de operação em que a corrente de saída varia linearmente com a corrente ou tensão de entrada, por isso é usada para amplificação. Nesta região se tem altas perdas, pois a potência no transistor é o produto da corrente pela queda de tensão no mesmo;
- Saturação - é a região onde o transistor está conduzindo plenamente, com alta corrente. Por outro lado, a queda de tensão é a menor possível, o que implica em perdas menores do que na região ativa.



# Transistores

## Tecnologias de transistores para eletrônica de potência:

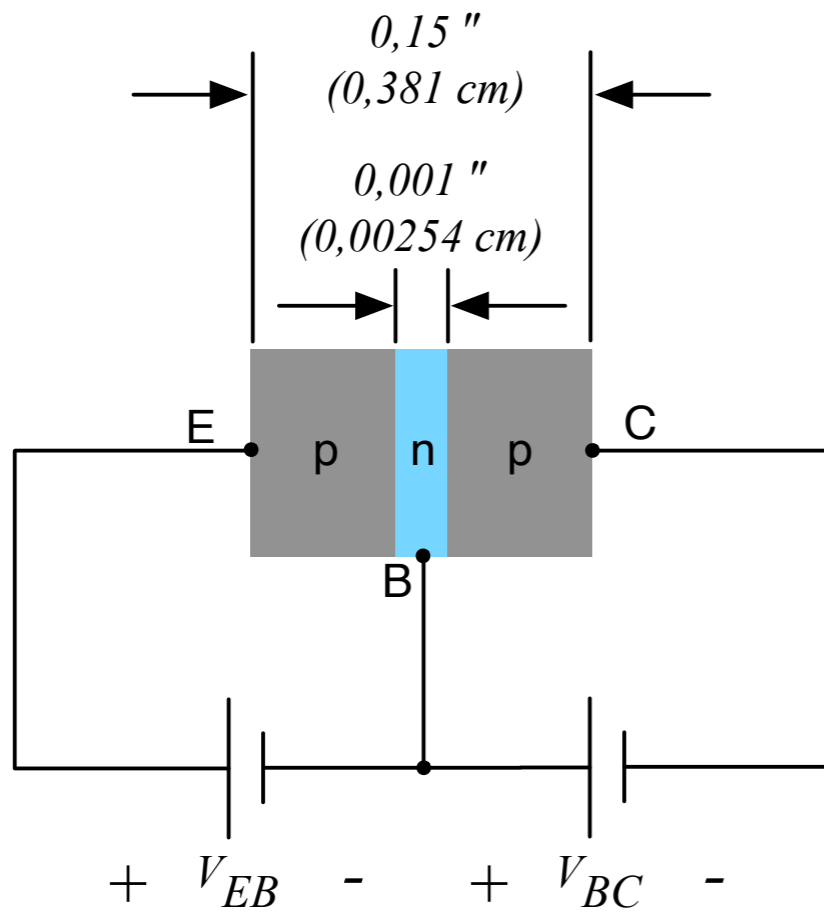
- BJT - transistor bipolar de junção. São os transistores clássicos do tipo NPN ou PNP, acionados pela corrente de base, isto é, a corrente de coletor depende diretamente (ganho) da corrente na base do transistor;
- MOSFET - são transistores mais rápidos, com diferentes tecnologias de fabricação e que conduzem ou não pela aplicação de uma tensão no gatilho (gate), que por intermédio do campo elétrico, proporcionará a abertura ou fechamento do canal e, portanto, a condução ou não do transistor;
- IGBT - são componentes construídos a partir da tecnologia BJT e MOSFET, incorporando características de ambos. São acionados por tensão como os MOSFETs, mas possuem perdas semelhantes ao BJT.
- Silicon Carbide FET - são transistores de efeito de campo, mas que utilizam a tecnologia de carbeto de silício para diminuir os problemas da recuperação reversa, permitindo a operação com frequências mais altas;
- GaN - transistores de nitreto de gálio (gallium nitride) que possuem características melhores que os transistores de silício, operando com frequências mais altas e tendo menores perdas, por possuírem resistência interna menor.



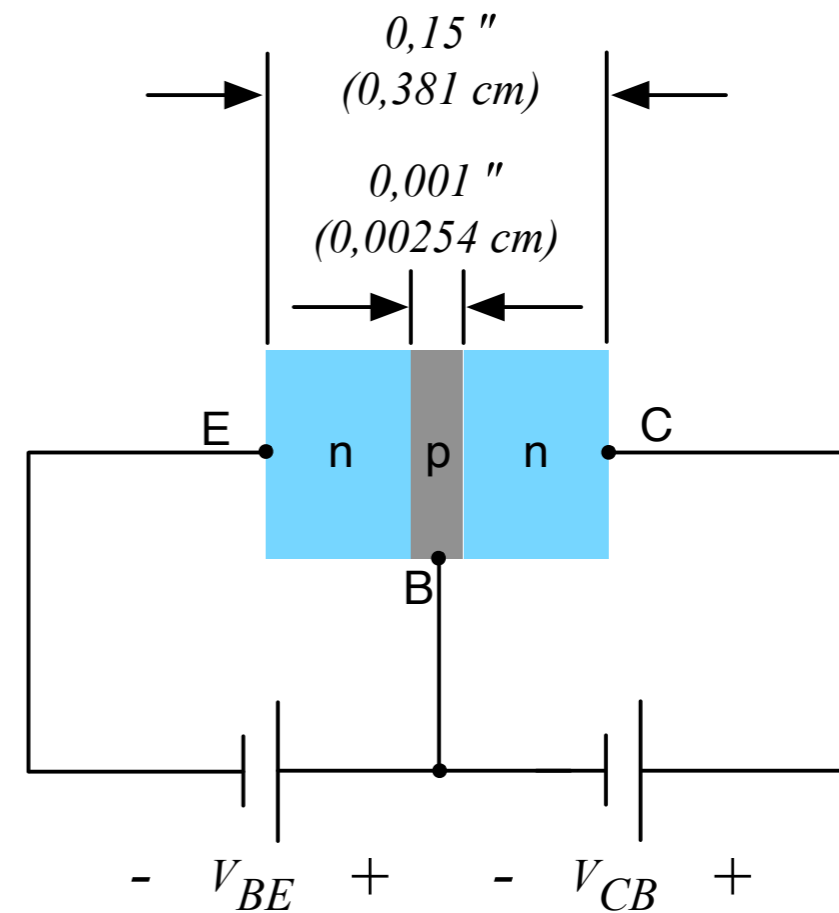
# BJT - Revisão

BJT - Transistor bipolar de junção:

Transistor PNP



Transistor NPN



# BJT - Revisão

## Regiões de operação de um transistor:

- Operação na região de corte:
  - Junção base-emissor polarizada reversamente;
  - Junção base-coletor polarizada reversamente.
- Operação na região linear (ativa):
  - Junção base-emissor polarizada diretamente;
  - Junção base-coletor polarizada reversamente.
- Operação na região de saturação:
  - Junção base-emissor polarizada diretamente;
  - Junção base-coletor polarizada diretamente.

Off

### Corte:

- $I_C = 0 \text{ A}$ ;
- $V_{CE} \gg 0 \text{ V}$ , próximo a  $V_{CC}$ .

On

### Ativa:

- $I_C > 0 \text{ A}$ ;
- $V_{CE} > 0 \text{ V}$ .

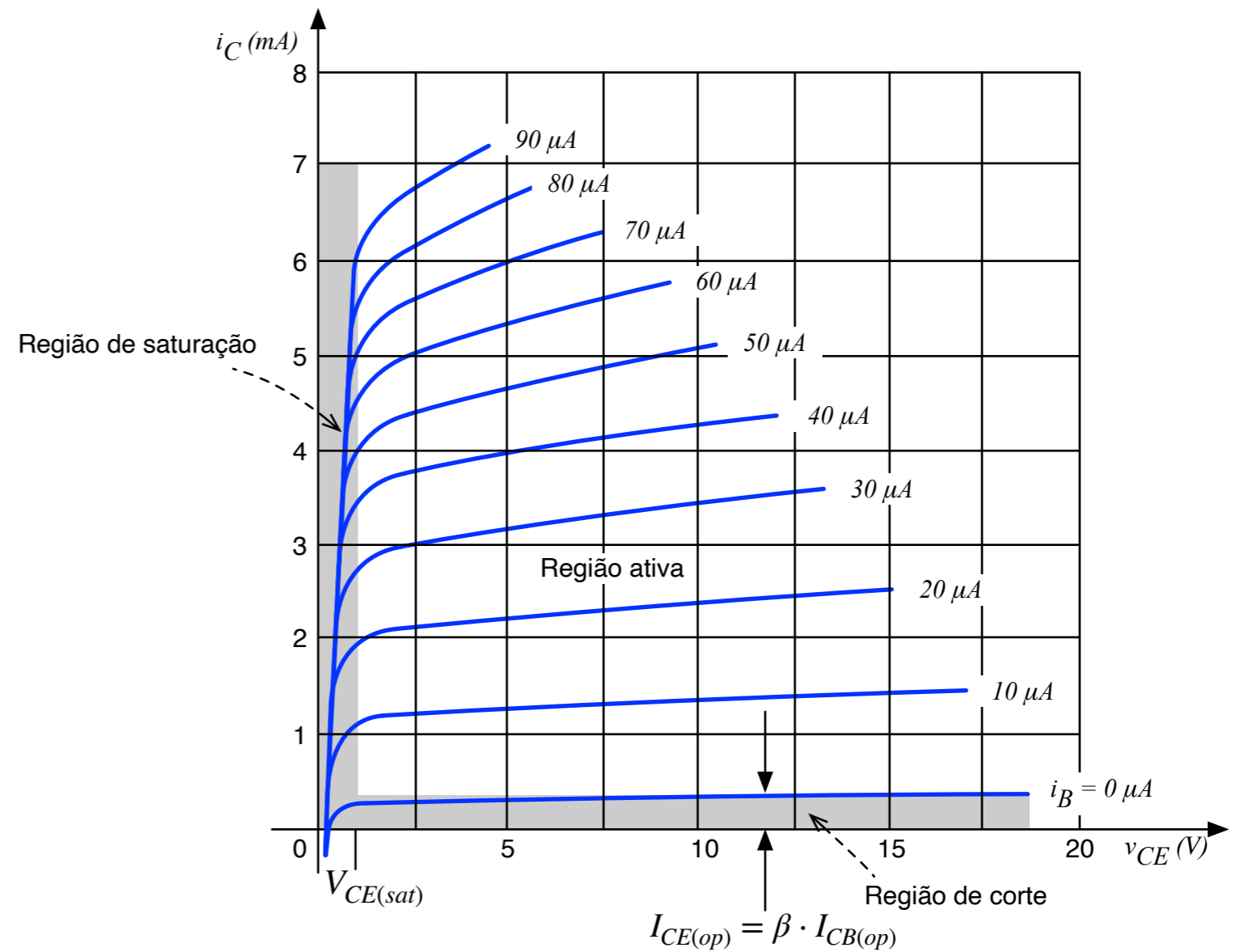
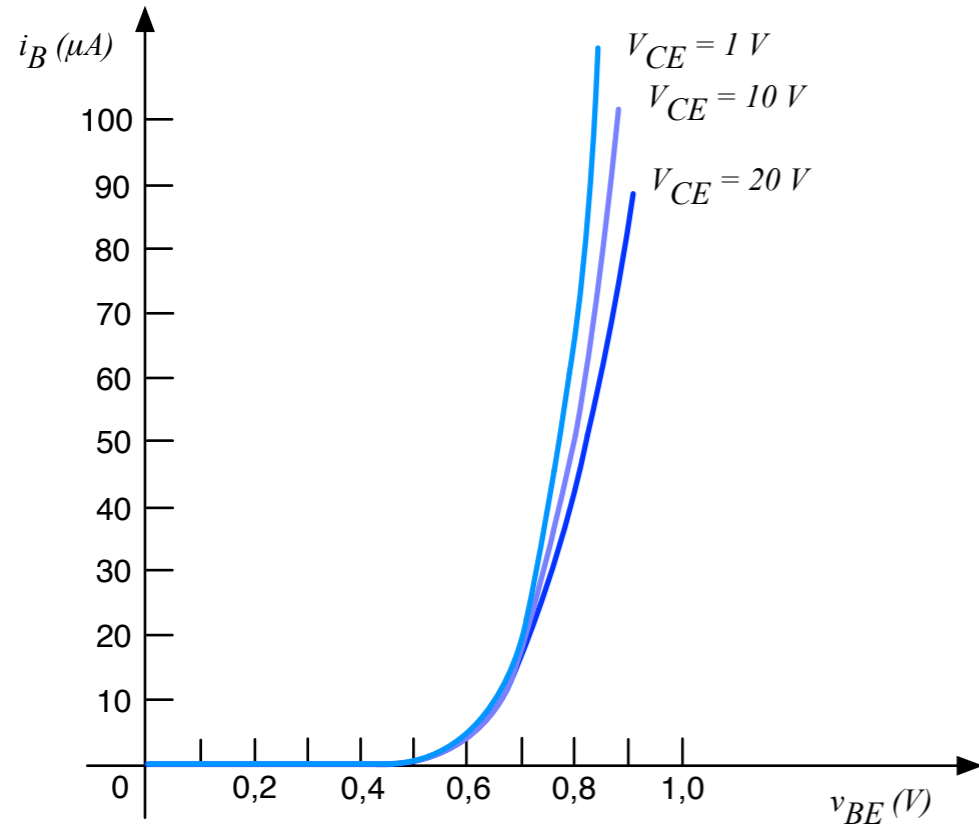
On

### Saturação:

- $I_C = I_{C(\text{sat})} \text{ A}$ ;
- $V_{CE} = V_{CE(\text{sat})} \cong 0 \text{ V}$ .

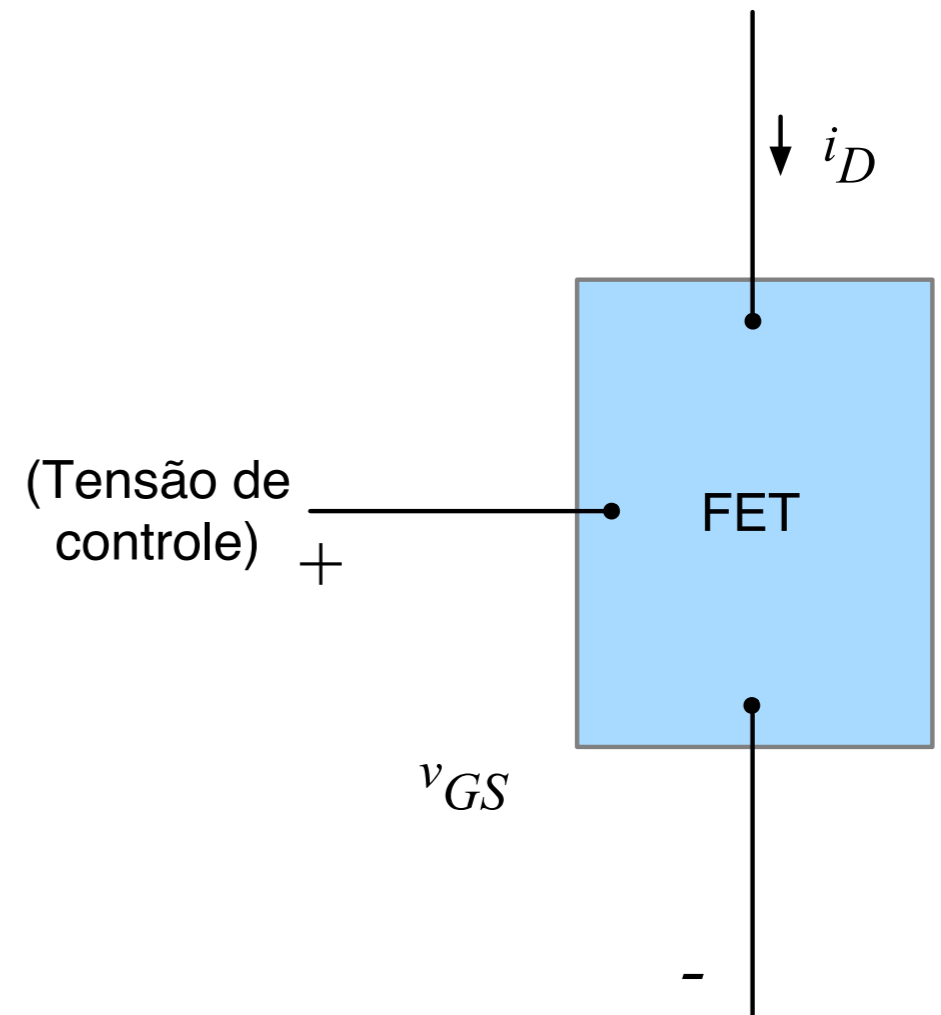
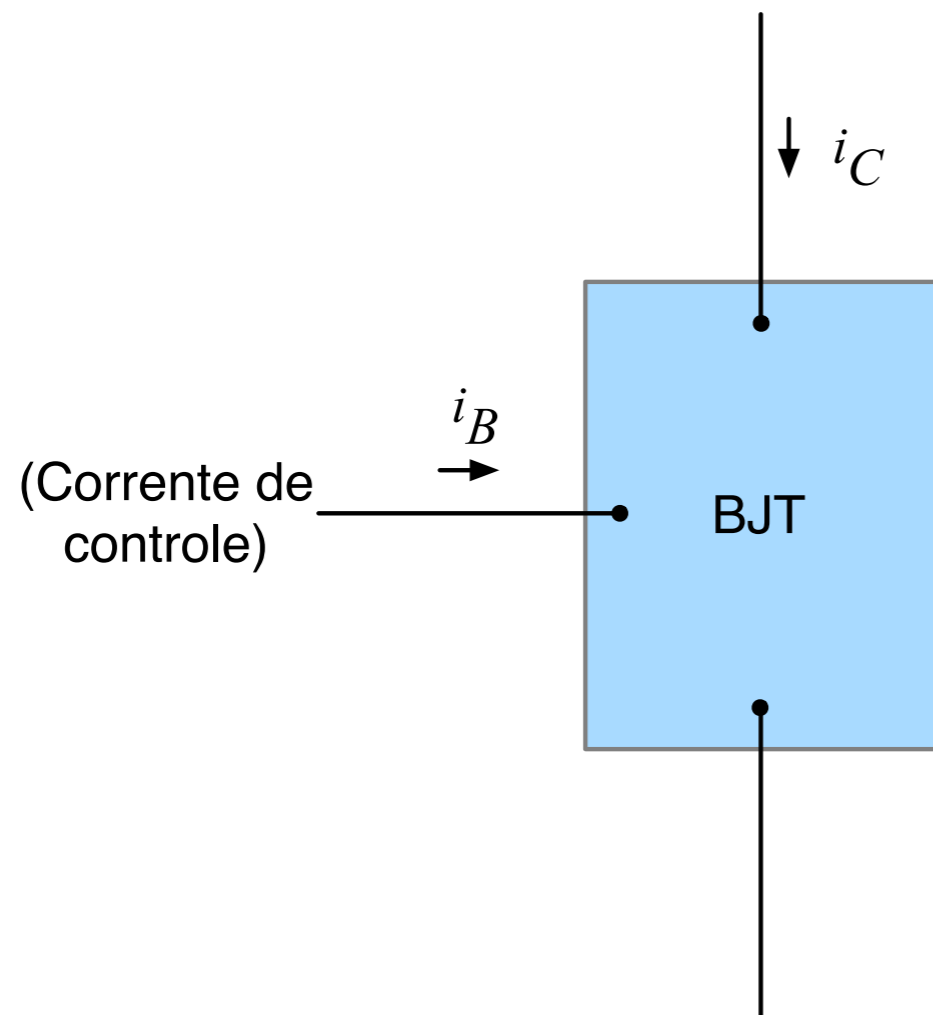
# BJT - Revisão

BJT - Transistor bipolar de junção:



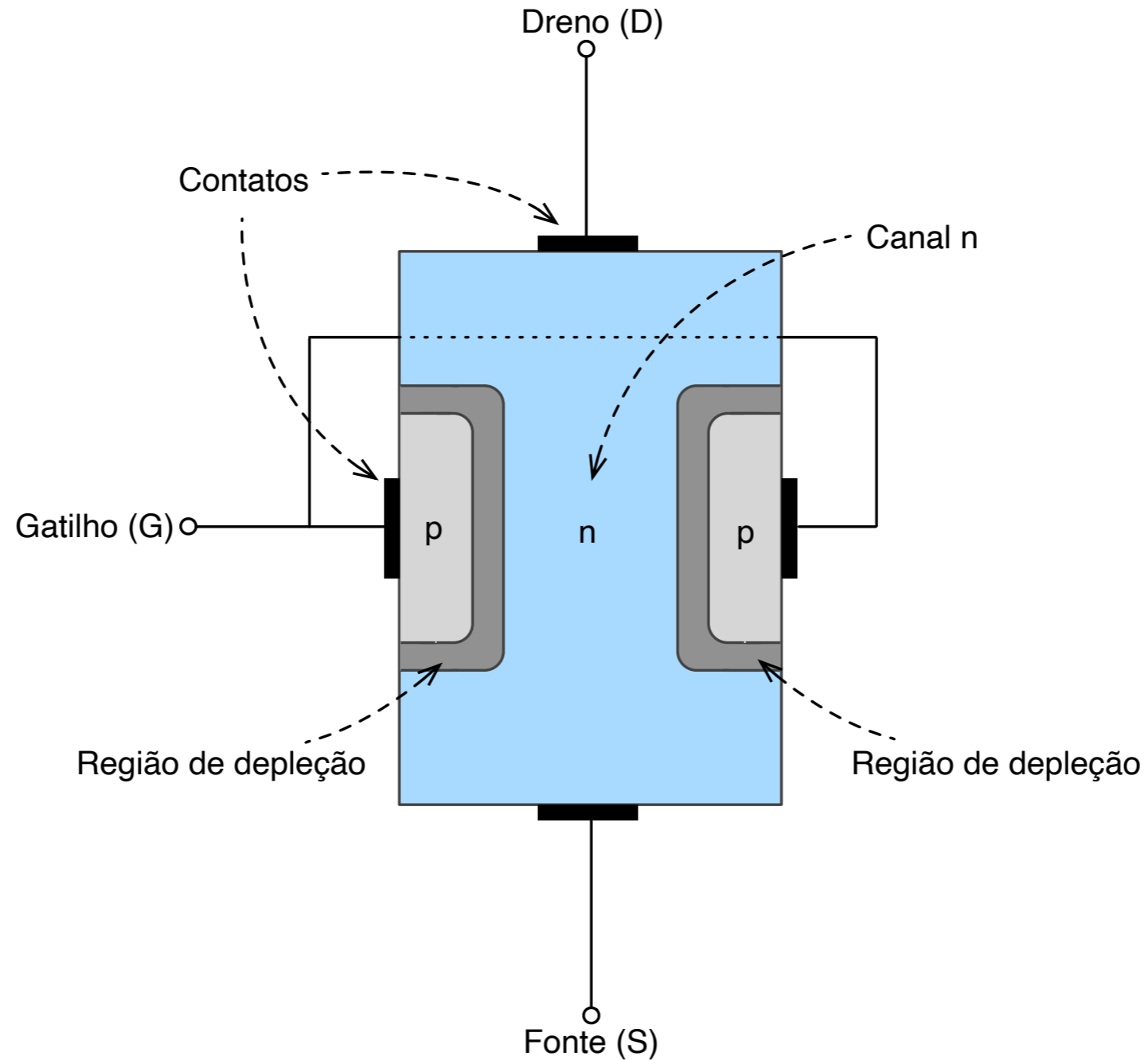
# BJT x MOSFET

FET - Transistor de efeito de campo:



# FET

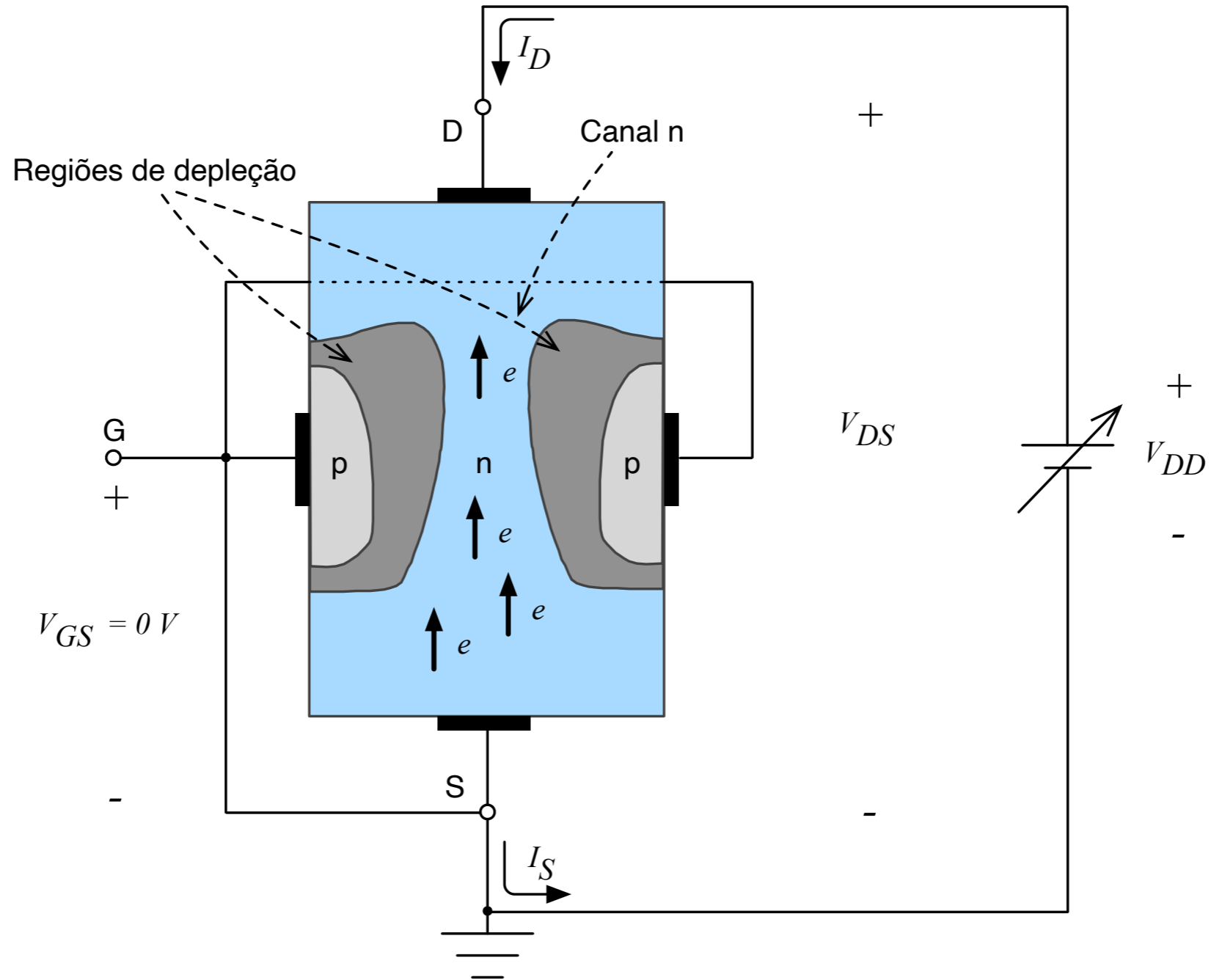
FET - Transistor de efeito de campo:



JFET: Operação básica

# FET

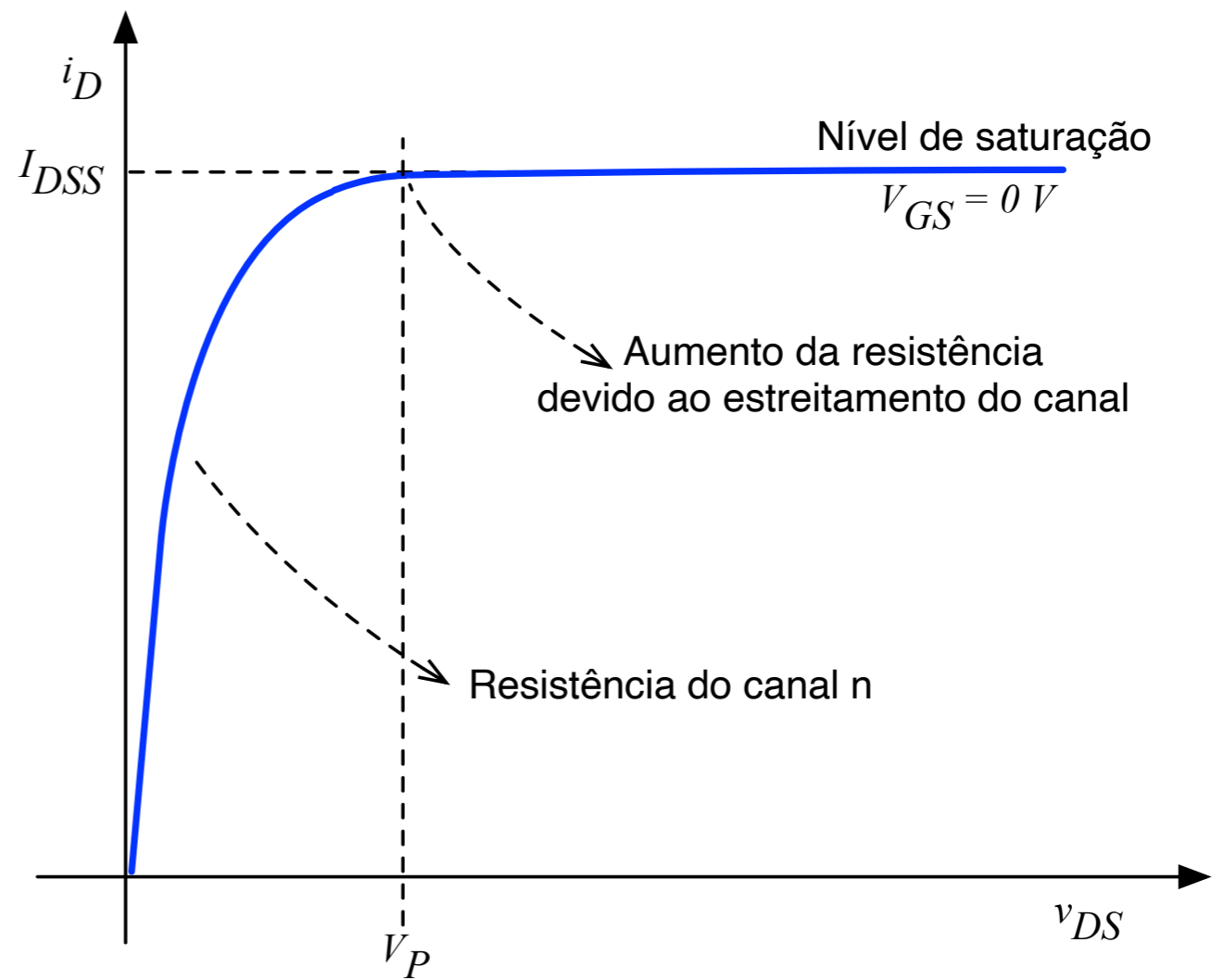
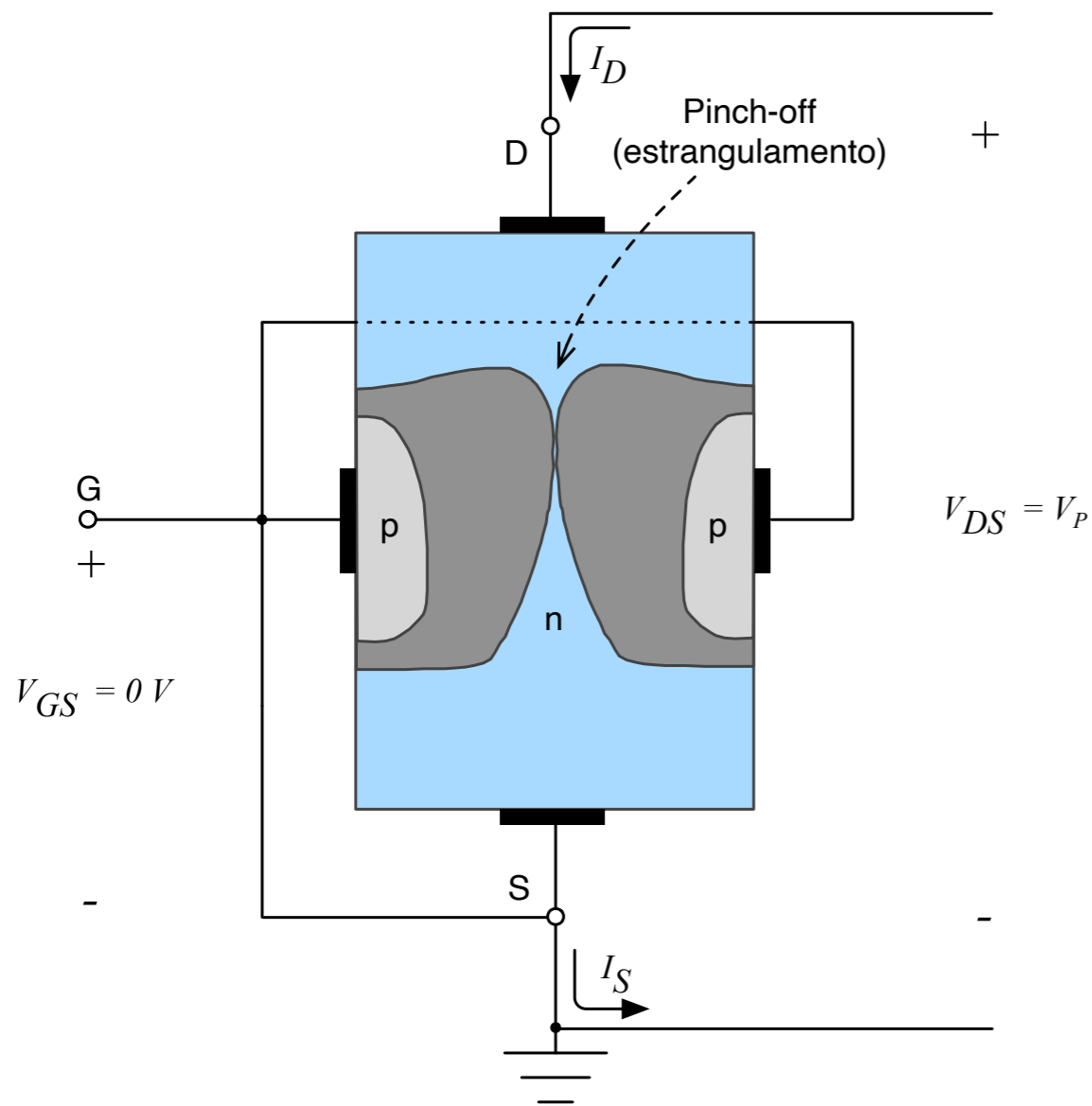
FET - Transistor de efeito de campo:



JFET: Operação básica

# FET

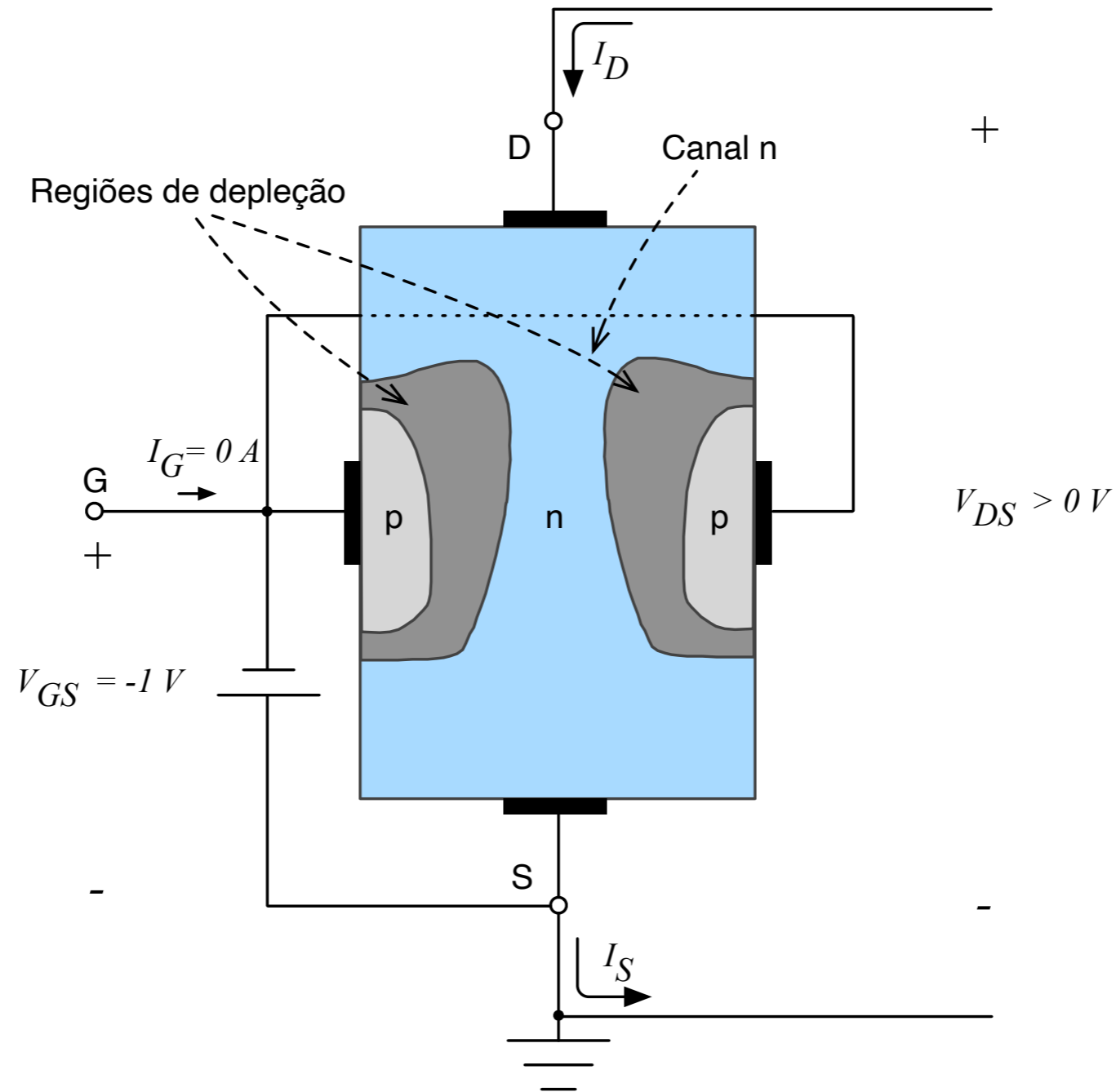
FET - Transistor de efeito de campo:



JFET: Operação básica

# FET

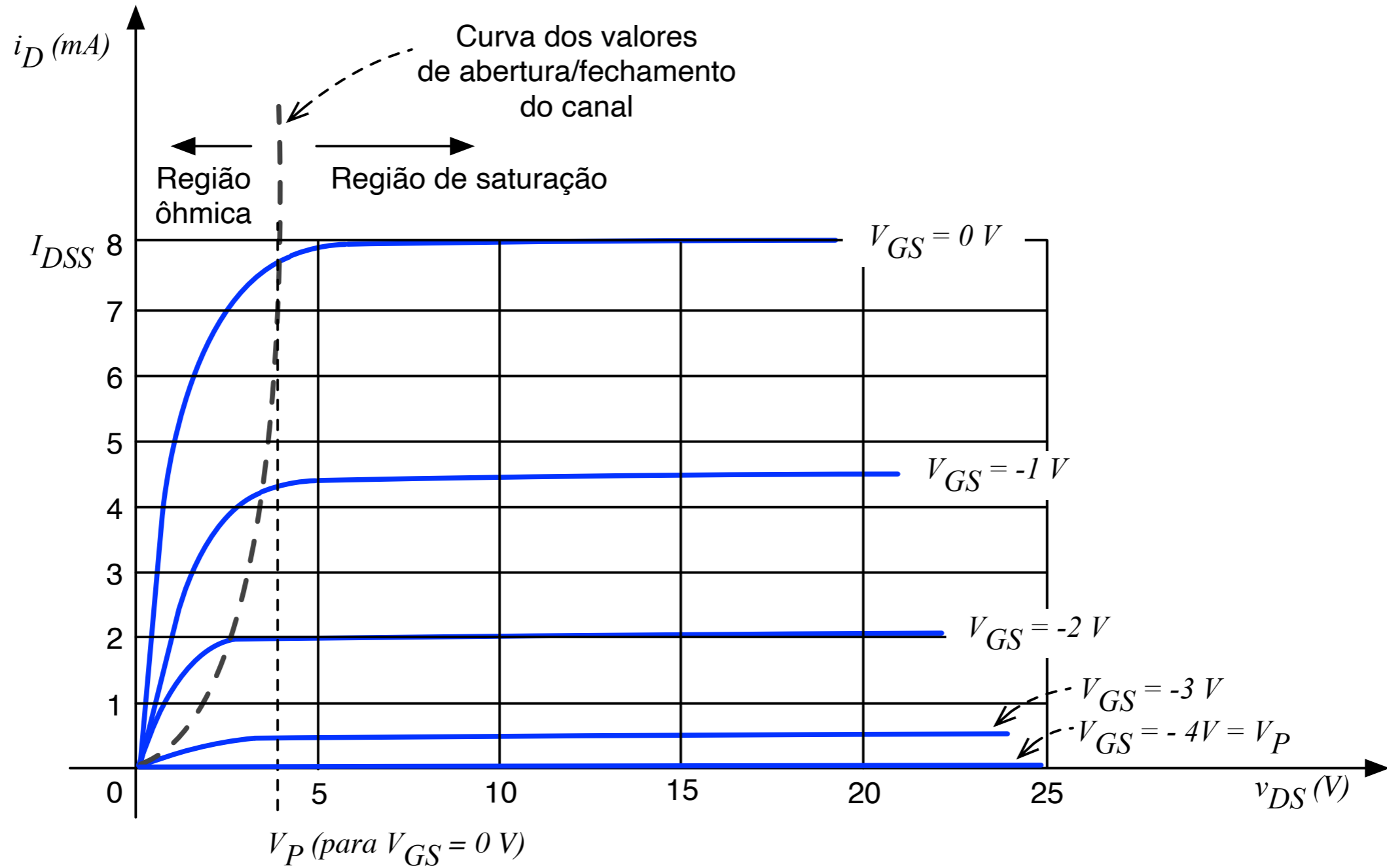
FET - Transistor de efeito de campo:



JFET: Operação básica

# FET

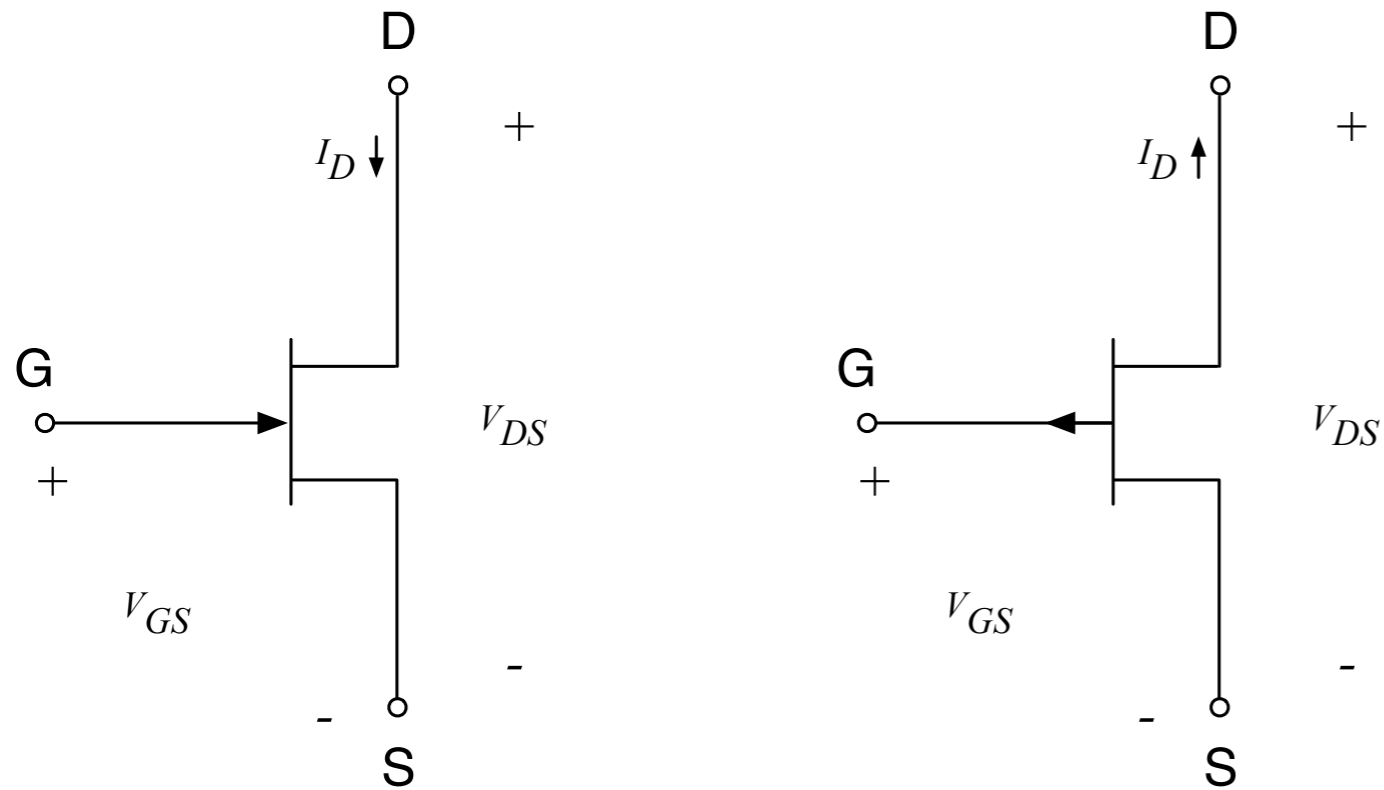
FET - Transistor de efeito de campo:



JFET: Operação básica

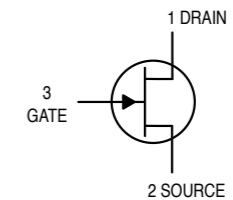
# FET

FET - Transistor de efeito de campo:



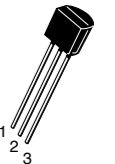
JFET canal n e canal p

## JFETs — General Purpose N-Channel — Depletion



**2N5457**

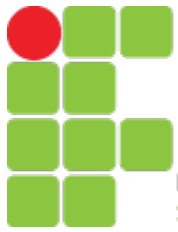
\*Motorola Preferred Device



CASE 29-04, STYLE 5  
TO-92 (TO-226AA)

### MAXIMUM RATINGS

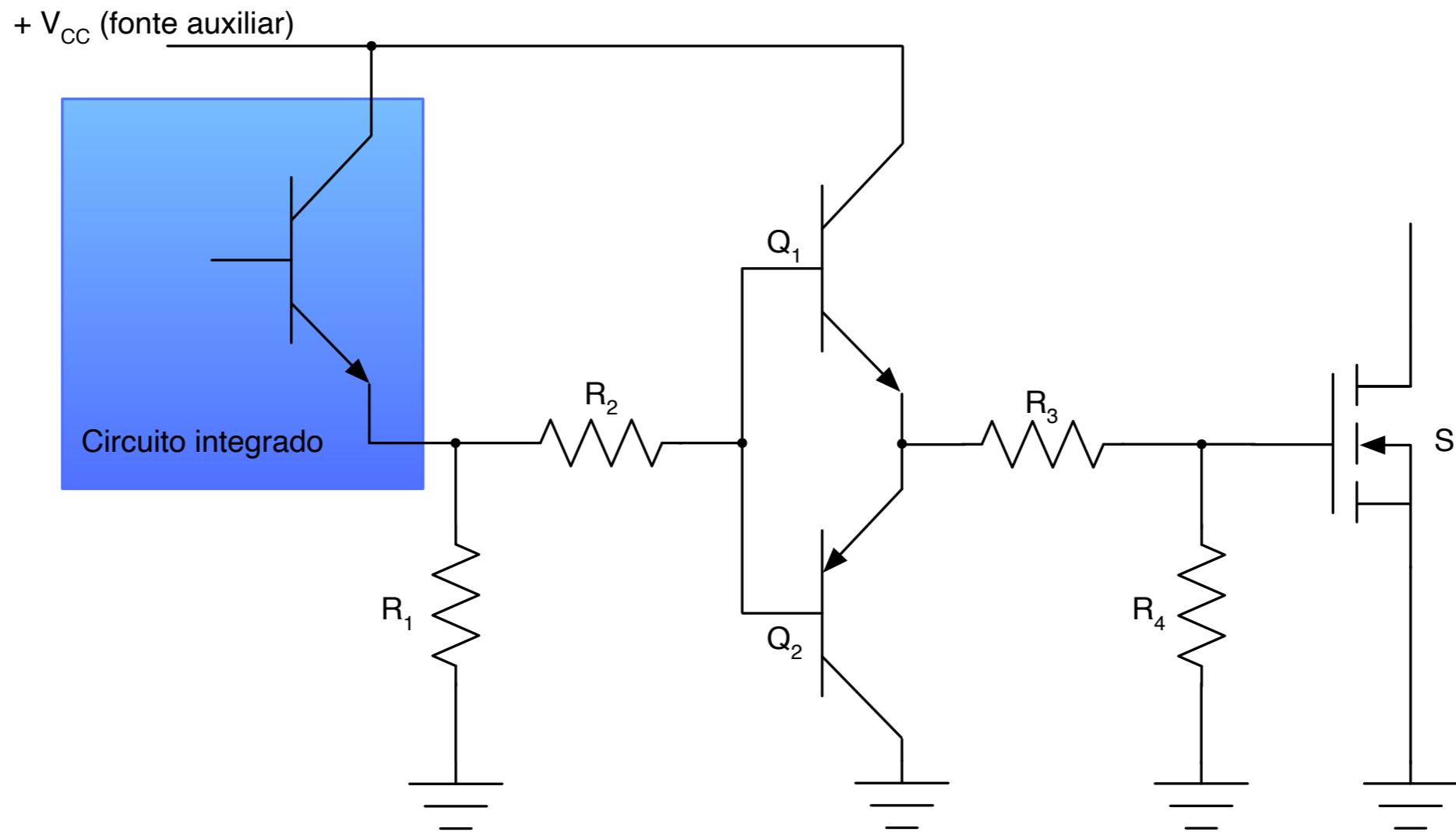
Rating	Symbol	Value	Unit
Drain-Source Voltage	$V_{DS}$	25	Vdc
Drain-Gate Voltage	$V_{DG}$	25	Vdc
Reverse Gate-Source Voltage	$V_{GSR}$	-25	Vdc
Gate Current	$I_G$	10	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	310 2.82	mW mW/°C
Junction Temperature Range	$T_J$	125	°C
Storage Channel Temperature Range	$T_{stg}$	-65 to +150	°C



INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# FET

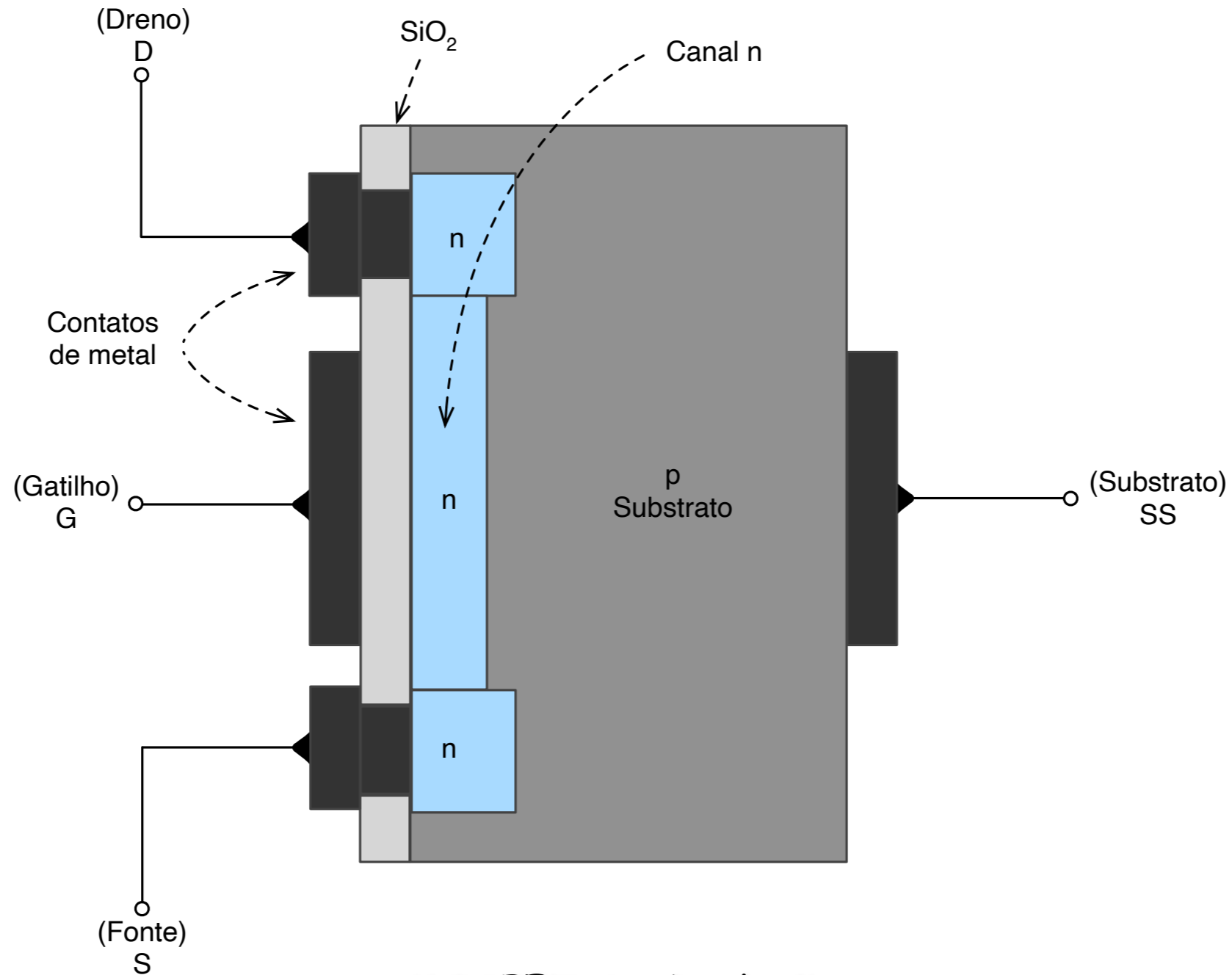
FET - Transistor de efeito de campo:



Aplicação do JFET

# MOSFET

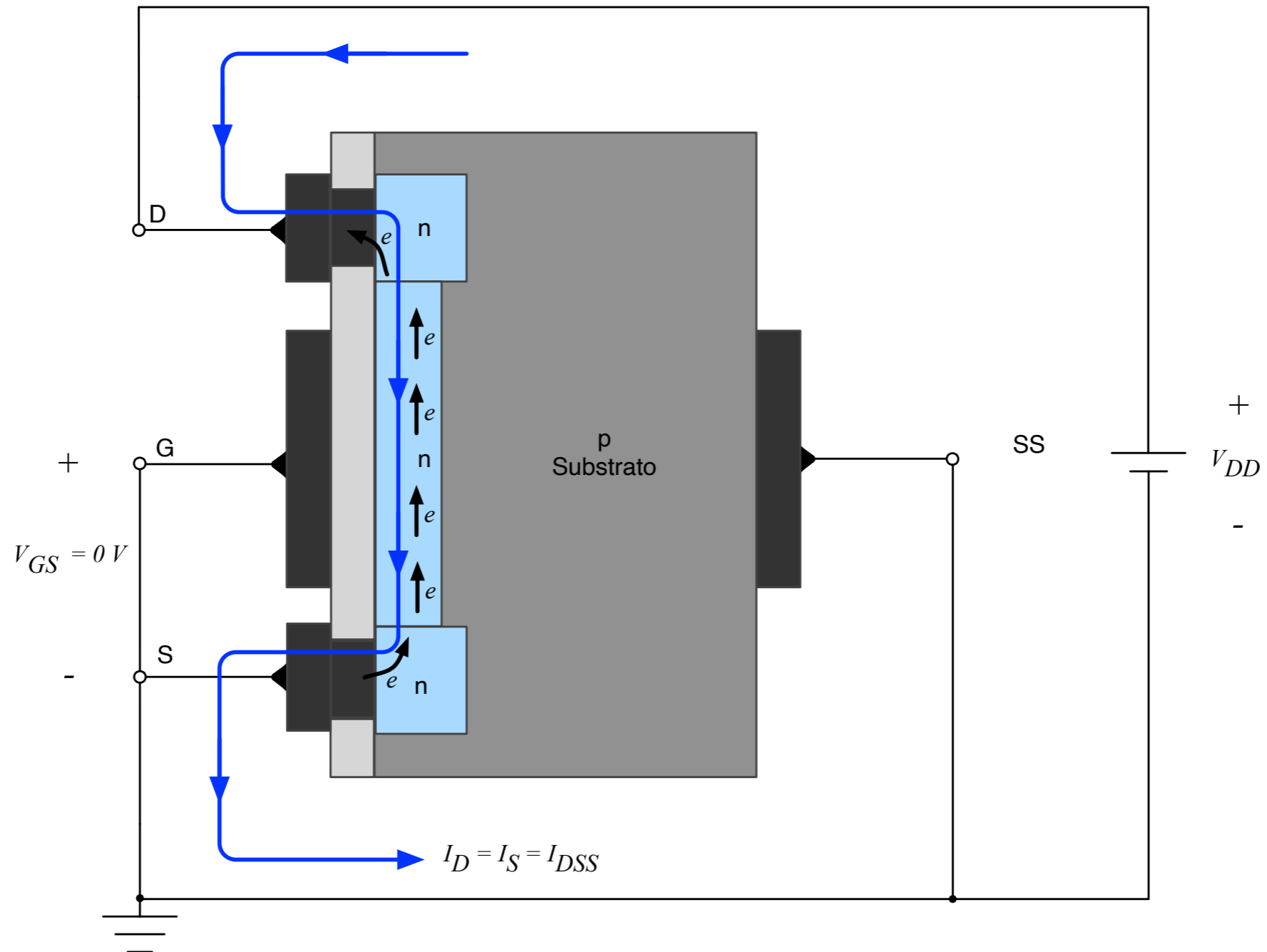
MOSFET - Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor:



MOSFET tipo Depleção

# MOSFET

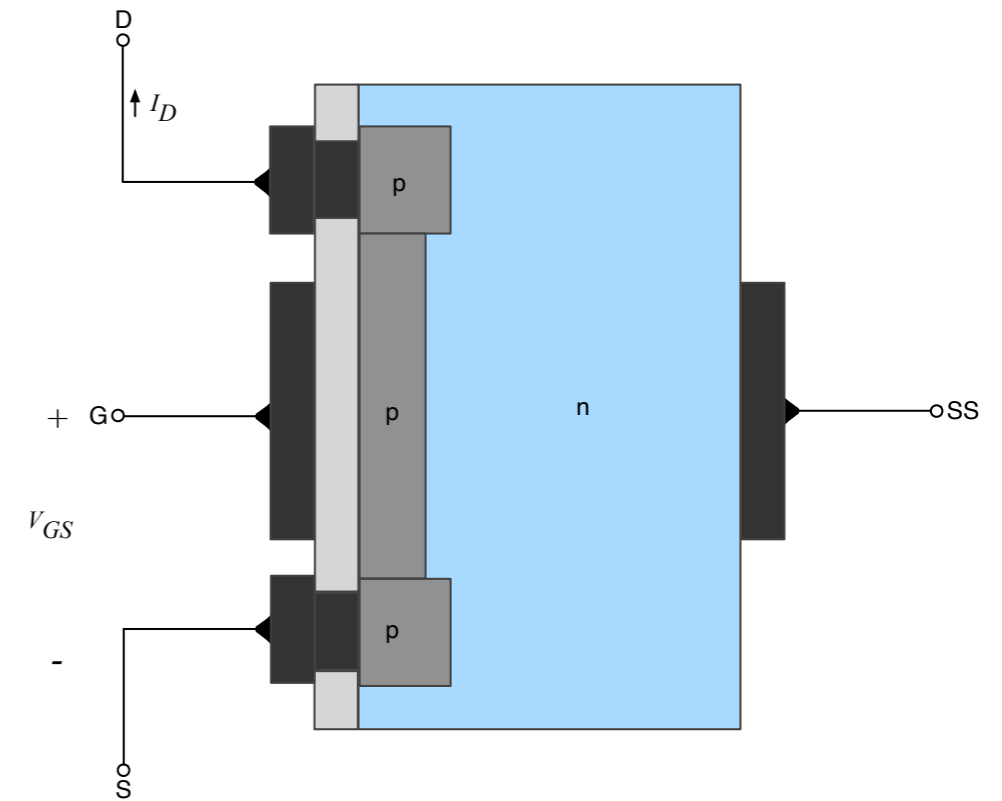
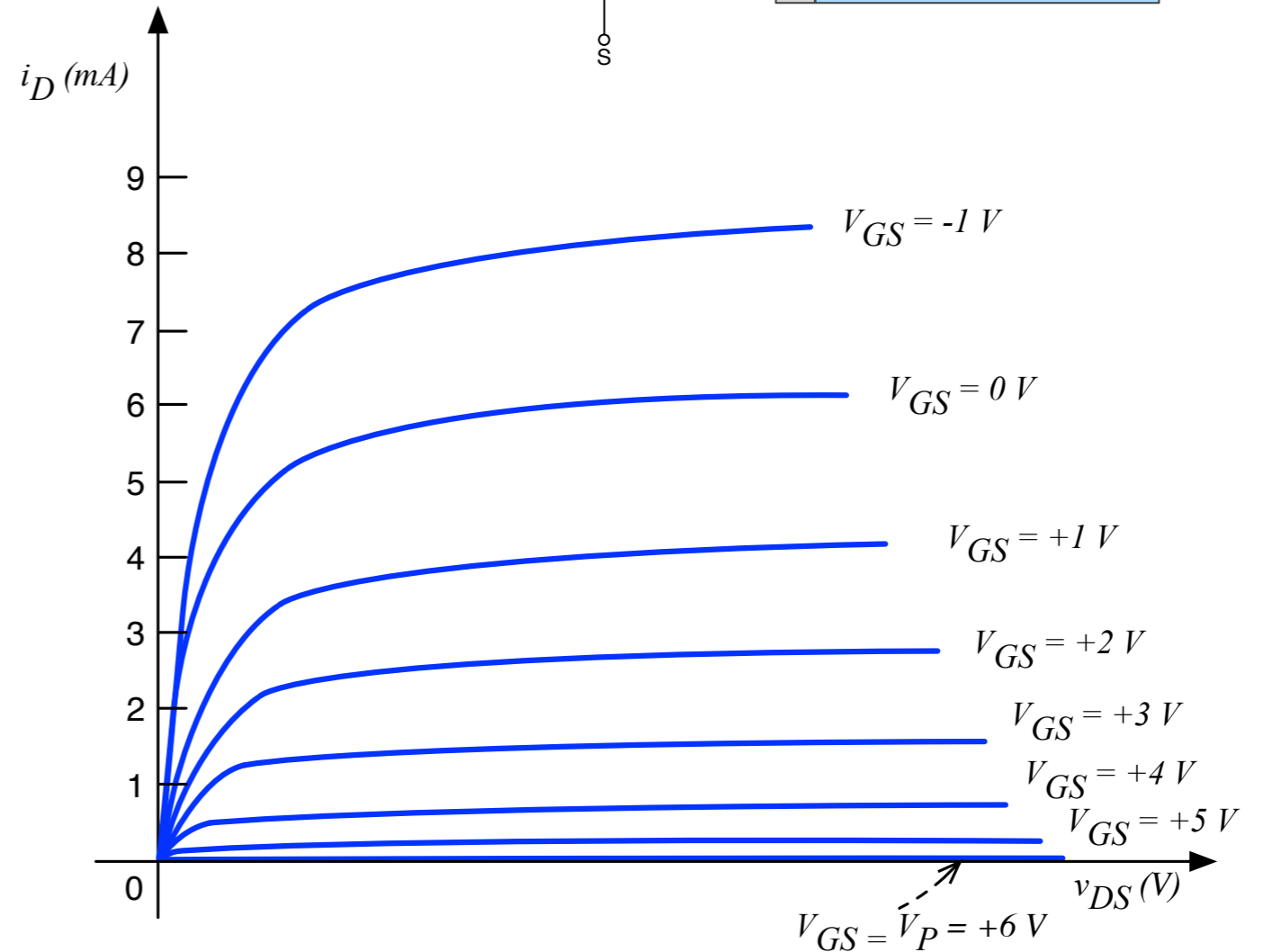
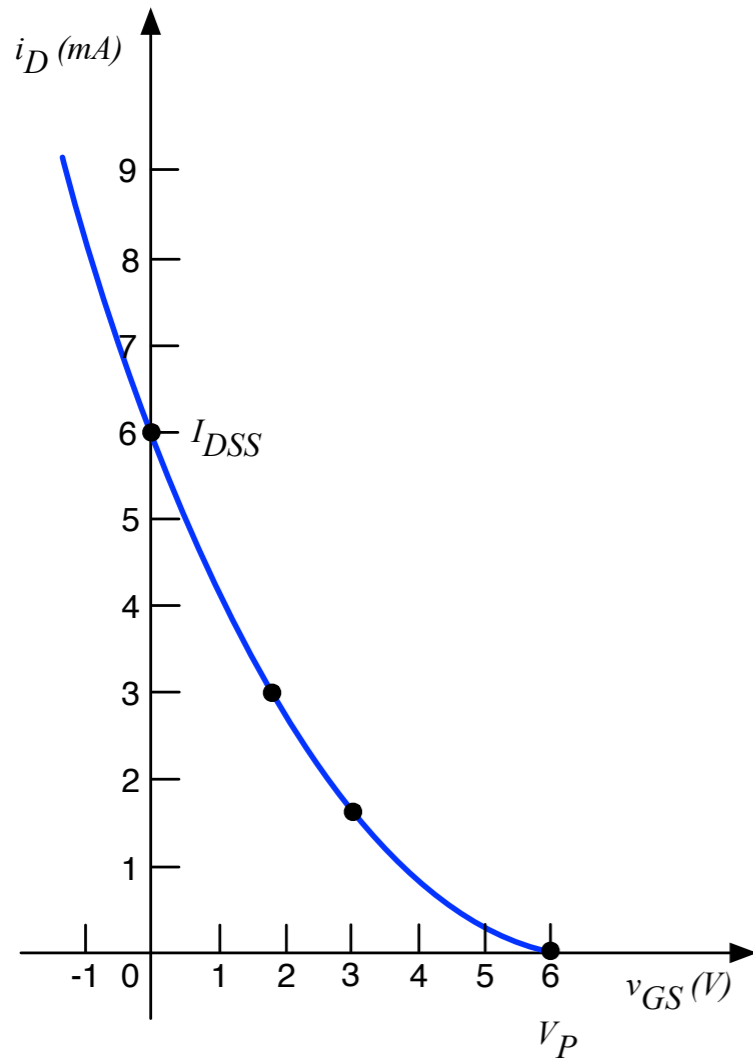
## MOSFET tipo Depleção:



MOSFET: Operação básica

# MOSFET

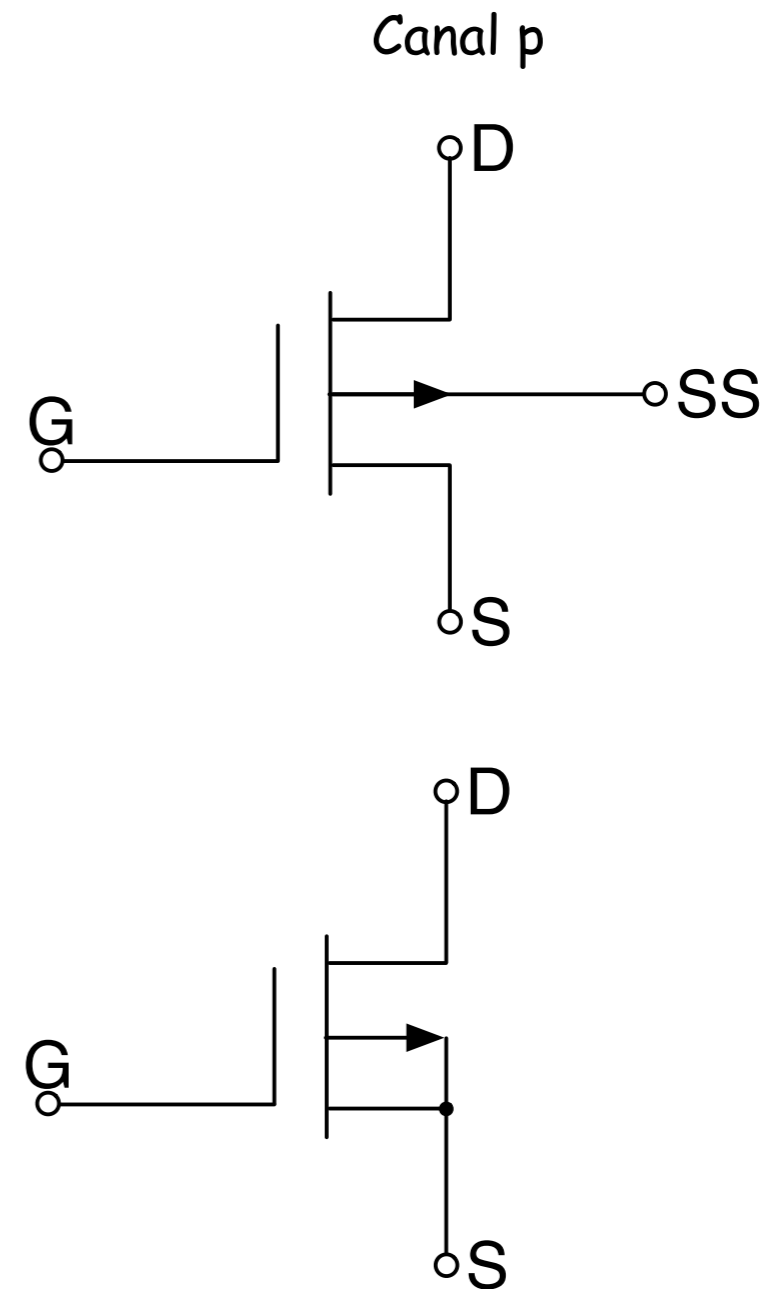
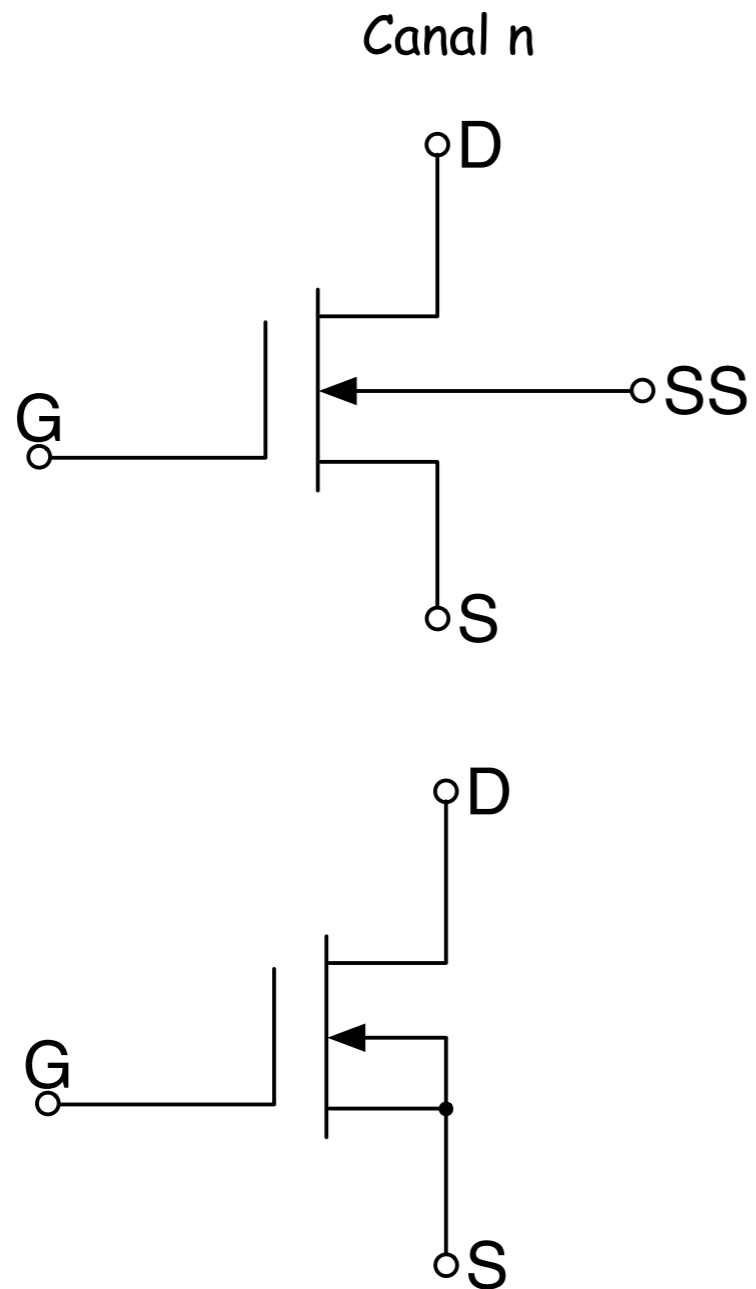
## MOSFET tipo Depleção:



MOSFET: Operação básica

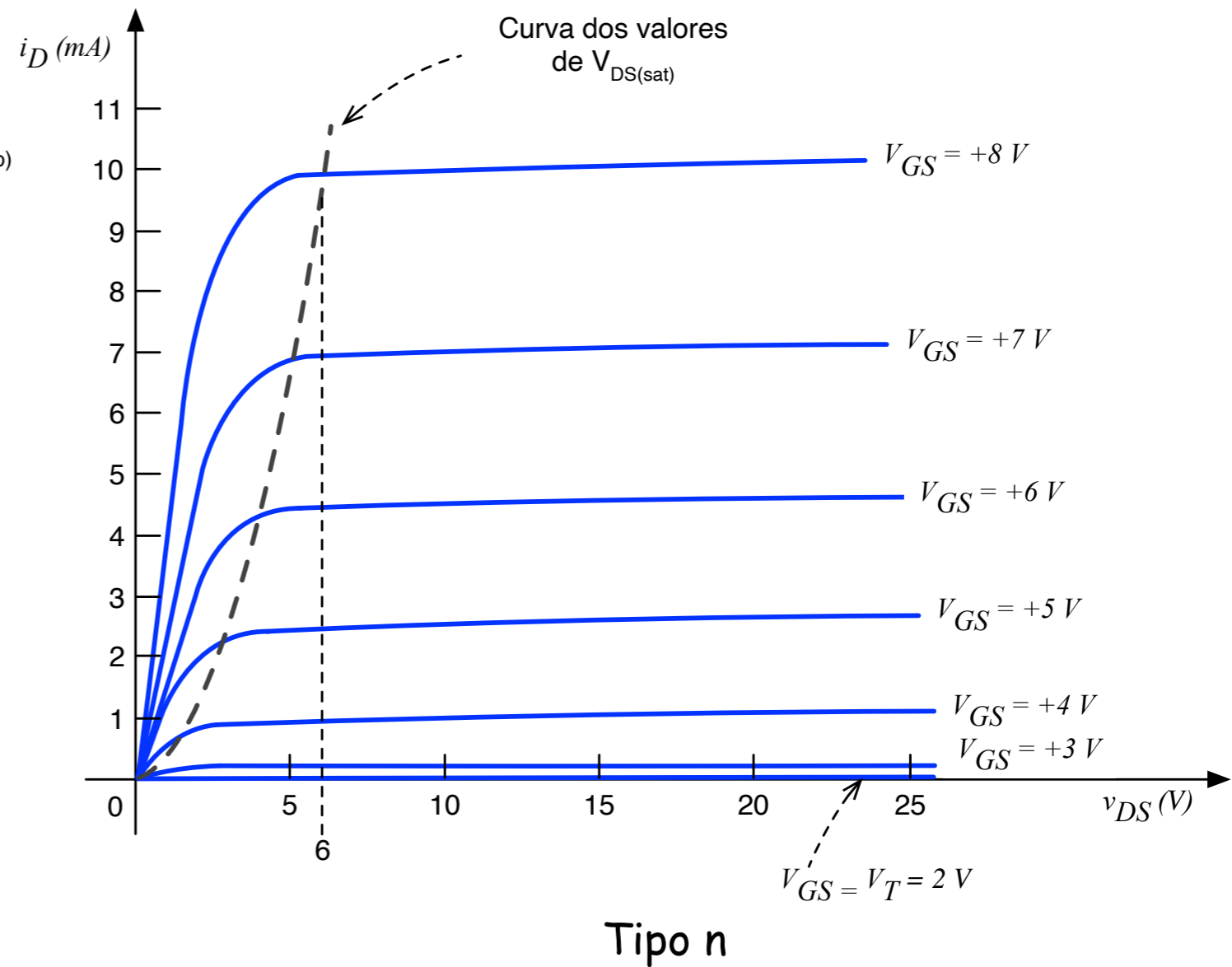
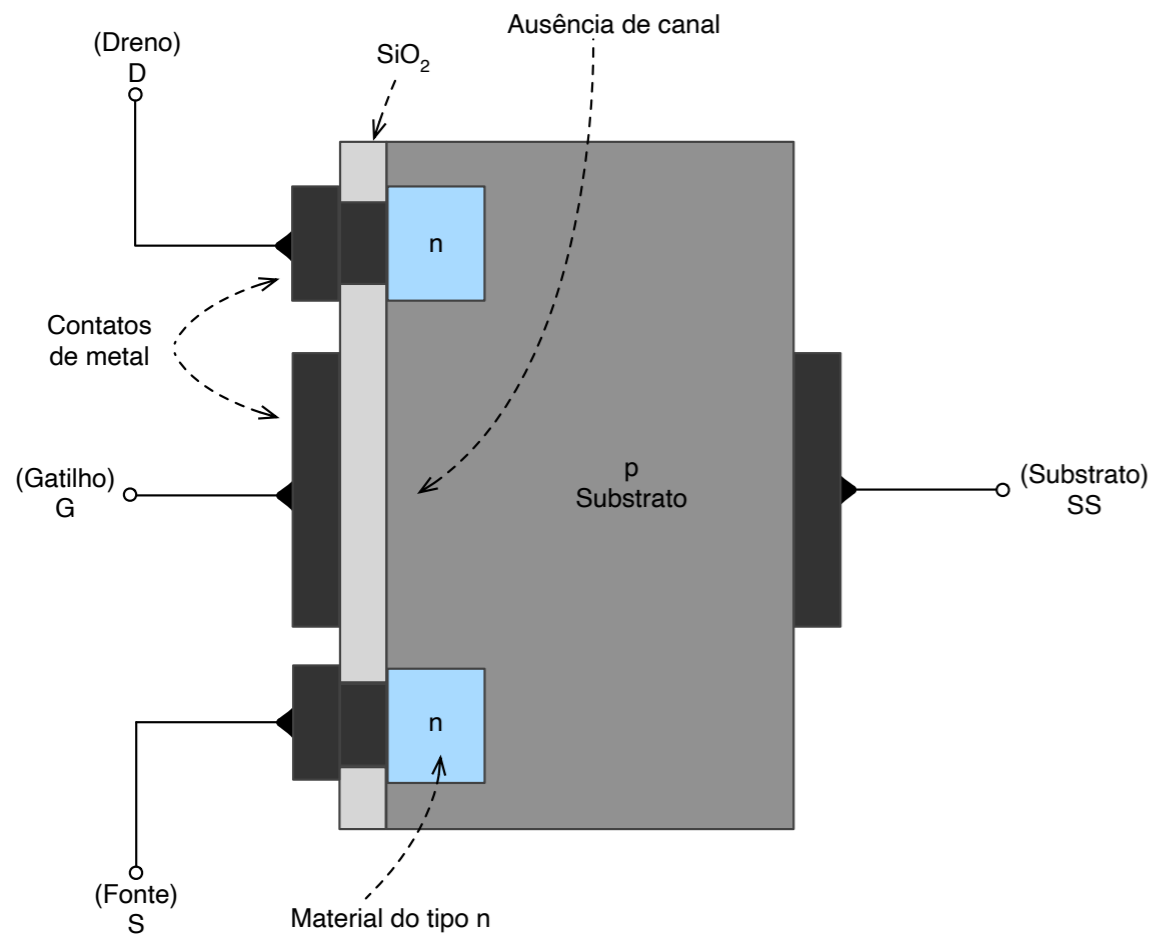
# MOSFET

## MOSFET tipo Depleção:



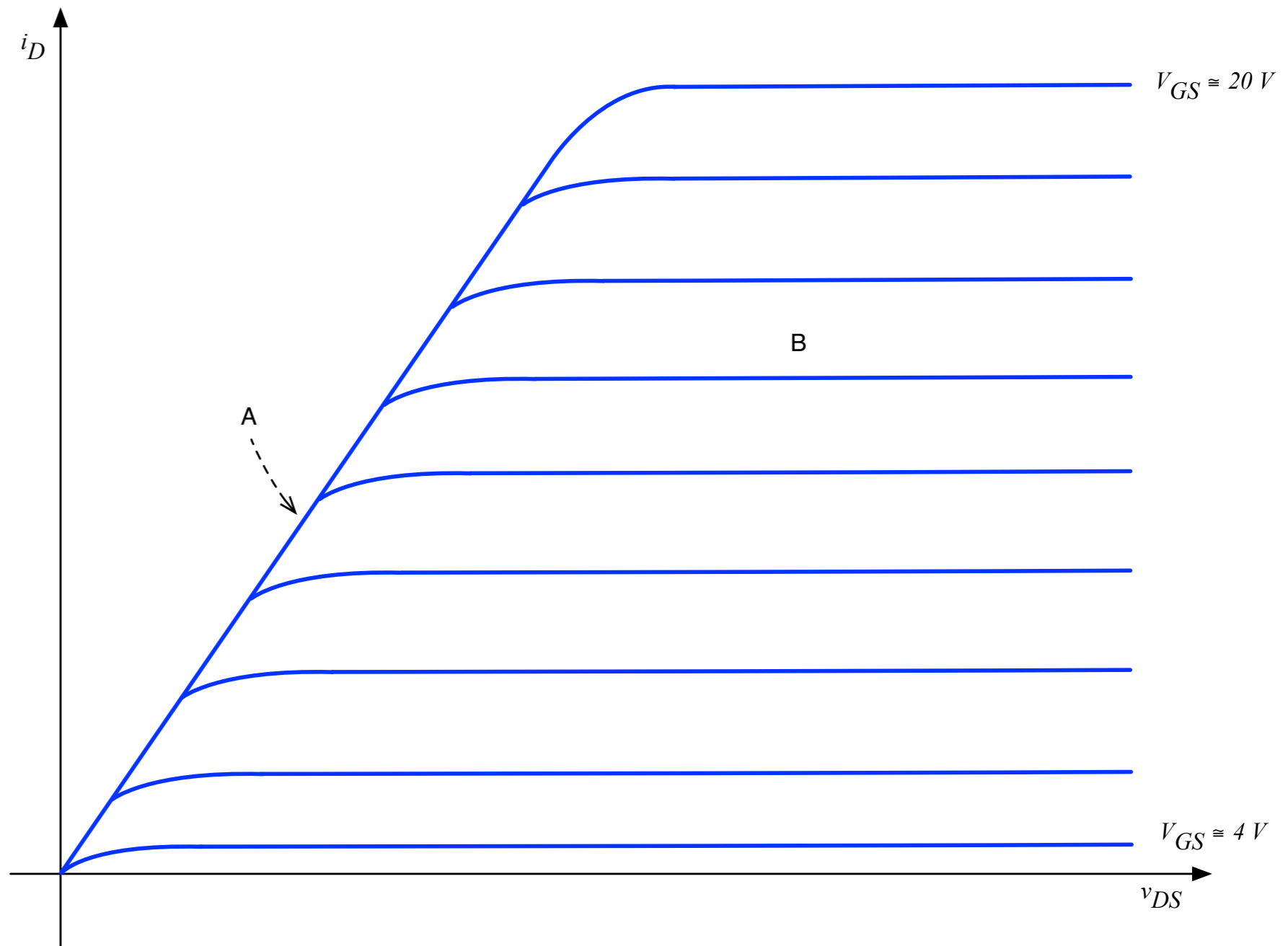
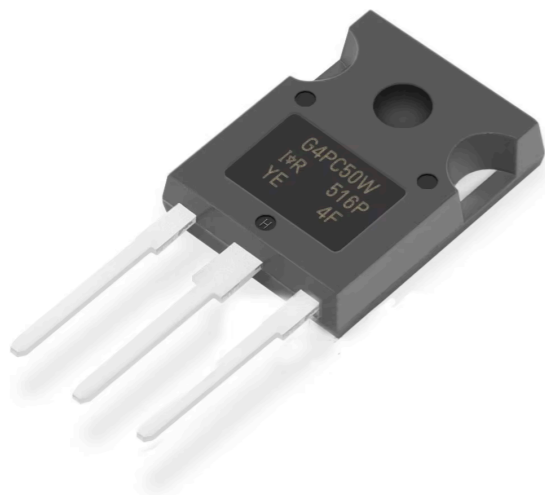
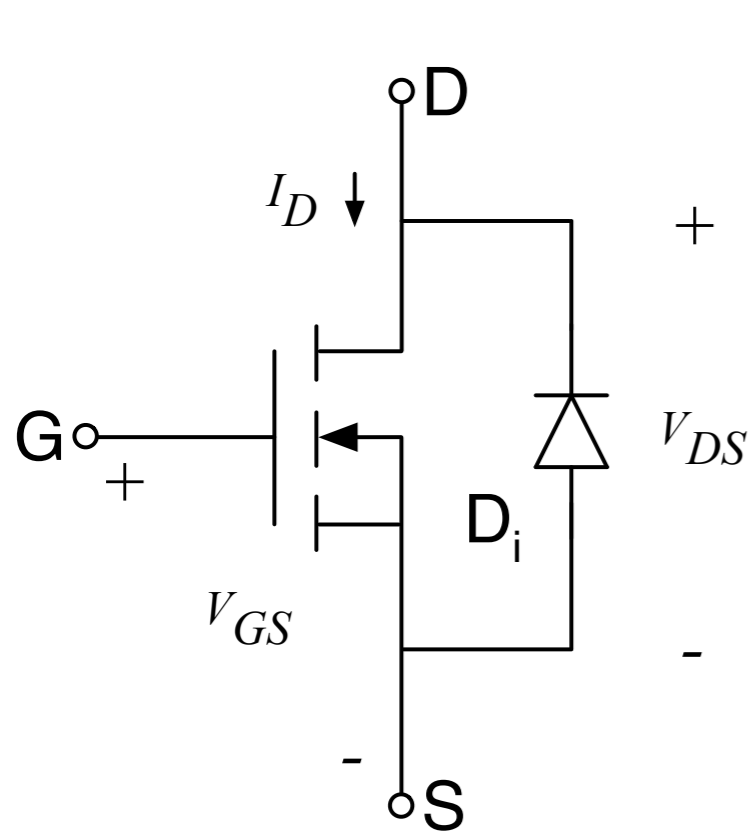
# MOSFET

## MOSFET tipo Intensificação:



# MOSFET

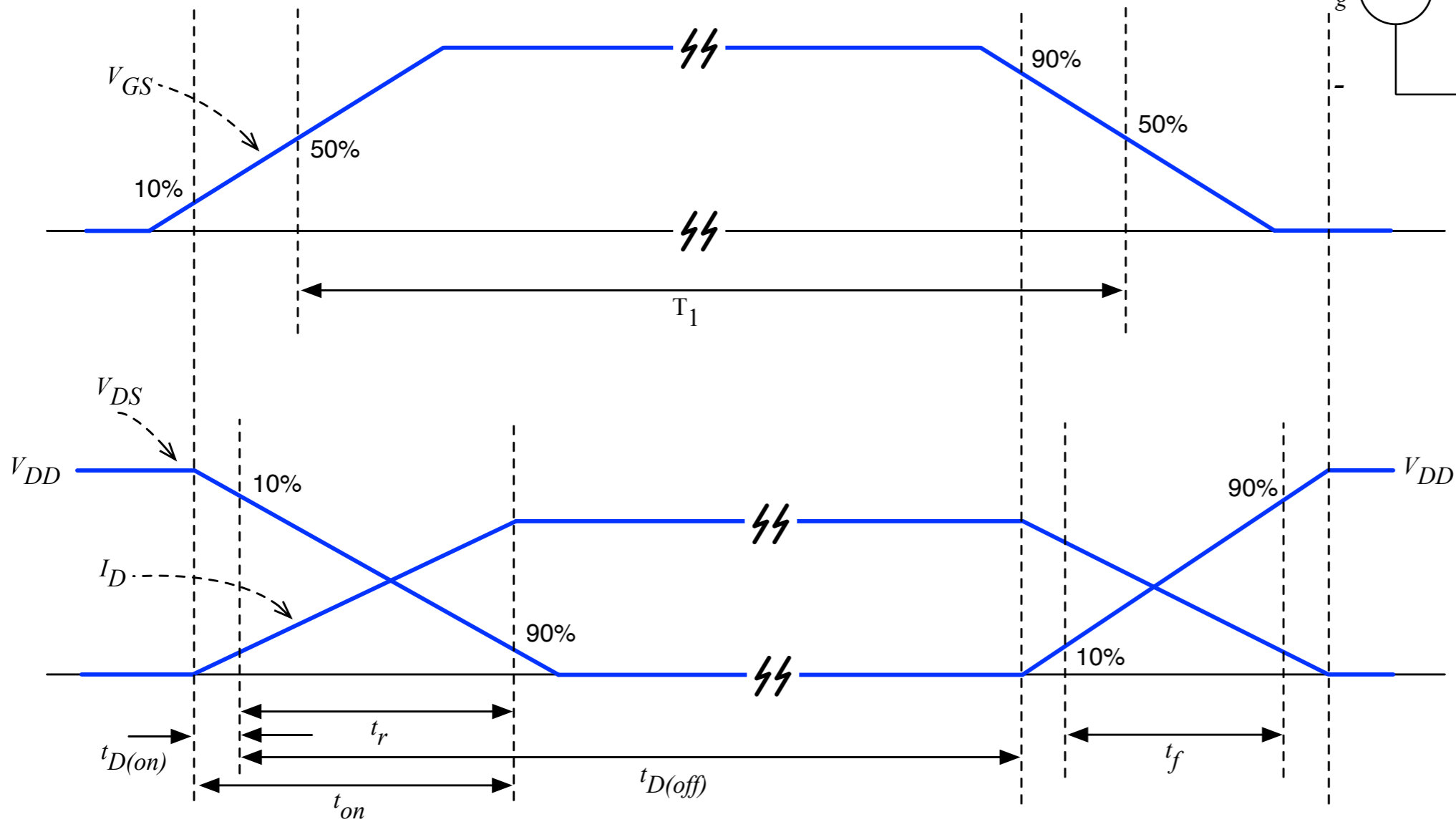
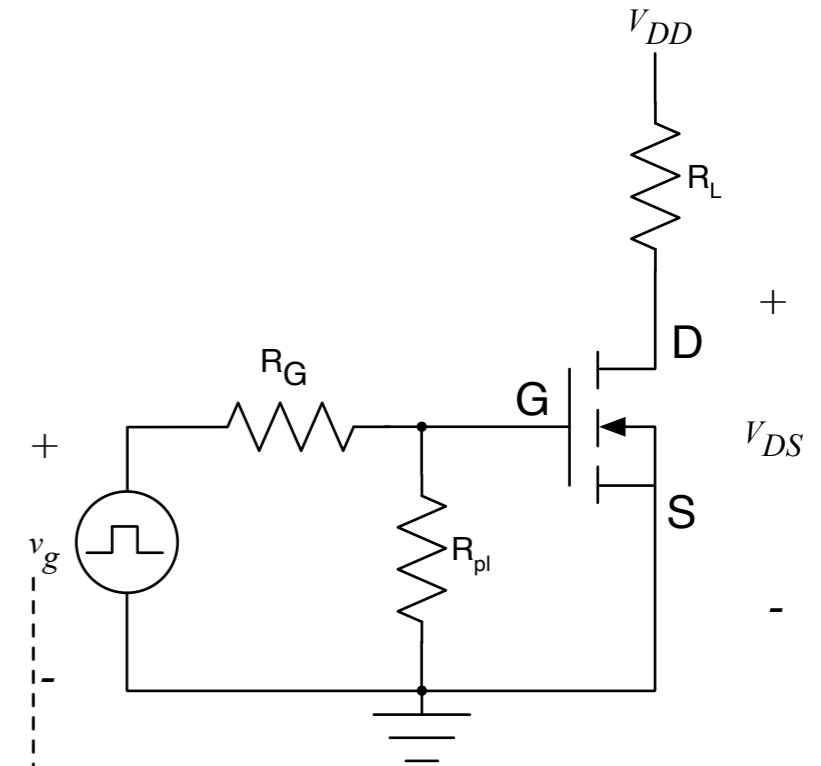
MOSFET de potência:



A - Região de resistência constante;  
B - Região de corrente constante.

# MOSFET

MOSFET de potência:



Comutação do MOSFET com carga resistiva

# MOSFET

## Classificação das perdas:

### 1. Condução:

$$P_{cond} = \frac{t_{on}}{T_s} \cdot r_{DS(on)} \cdot \left( i_{D(on)} \right)^2$$

### 2. Comutação:

- Entrada em condução e bloqueio.

- Onde:

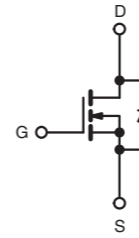
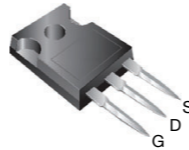
$$t_f \cong t_{on}$$

$$t_r \cong t_{off}$$

## Dados de catalogo:

### Power MOSFET

TO-247AC



N-Channel MOSFET

#### FEATURES

- Dynamic dV/dt rating
- Repetitive avalanche rated
- Isolated central mounting hole
- 175 °C operating temperature
- Fast switching
- Ease of paralleling
- Simple drive requirements
- Material categorization: for definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?99912](http://www.vishay.com/doc?99912)



#### Note

\* This datasheet provides information about parts that are RoHS-compliant and / or parts that are non RoHS-compliant. For example, parts with lead (Pb) terminations are not RoHS-compliant. Please see the information / tables in this datasheet for details

#### DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247AC package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220AB devices. The TO-247AC is similar but superior to the earlier TO-218 package because its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distances between pins to meet the requirements of most safety specifications.

#### PRODUCT SUMMARY

$V_{DS}$ (V)	100	
$R_{DS(on)}$ ( $\Omega$ )	$V_{GS} = 10\text{ V}$	0.055
$Q_g$ (max.) (nC)	140	
$Q_{gs}$ (nC)	29	
$Q_{gd}$ (nC)	68	
Configuration	Single	

#### ORDERING INFORMATION

Package	TO-247AC
Lead (Pb)-free	IRFP150PbF

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-source voltage	$V_{DS}$	100	V
Gate-source voltage	$V_{GS}$	$\pm 20$	
Continuous drain current	$V_{GS}$ at 10 V	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	41
		$T_C = 100\text{ }^\circ\text{C}$	29
Pulsed drain current <sup>a</sup>	$I_{DM}$	160	A
Linear derating factor		1.5	W/ $^\circ\text{C}$
Single pulse avalanche energy <sup>b</sup>	$E_{AS}$	830	mJ
Repetitive avalanche current <sup>a</sup>	$I_{AR}$	41	A
Repetitive avalanche energy <sup>a</sup>	$E_{AR}$	19	mJ
Maximum power dissipation	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	$P_D$	230
Peak diode recovery dV/dtc	$dV/dt$	5.5	V/ns
Operating junction and storage temperature range	$T_J, T_{stg}$	-55 to +175	$^\circ\text{C}$
Soldering recommendations (peak temperature)	for 10 s	300 <sup>d</sup>	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw	10	lbf · in
		1.1	N · m

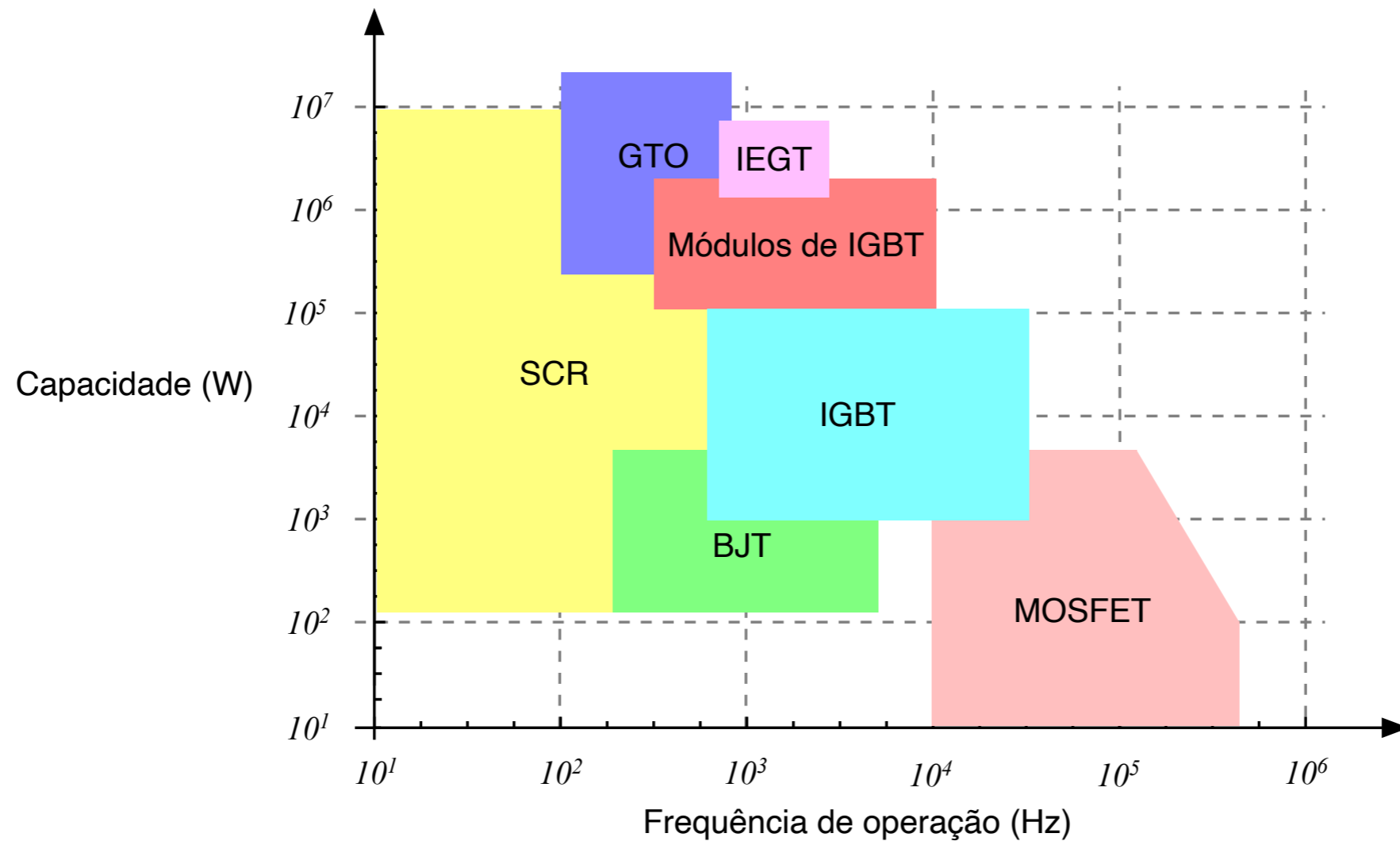
#### Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11)
- $V_{DD} = 25\text{ V}$ , starting  $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $L = 740\text{ }\mu\text{H}$ ,  $R_g = 25\text{ }\Omega$ ,  $I_{AS} = 41\text{ A}$  (see fig. 12)
- $I_{SD} \leq 41\text{ A}$ ,  $dI/dt \leq 300\text{ A}/\mu\text{s}$ ,  $V_{DD} \leq V_{DS}$ ,  $T_J \leq 175\text{ }^\circ\text{C}$
- 1.6 mm from case

# MOSFET

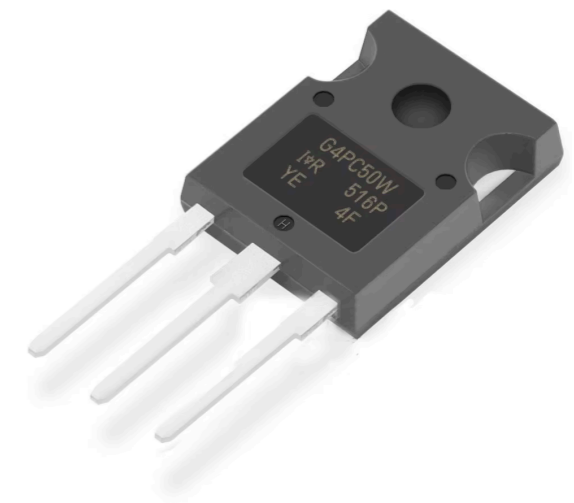
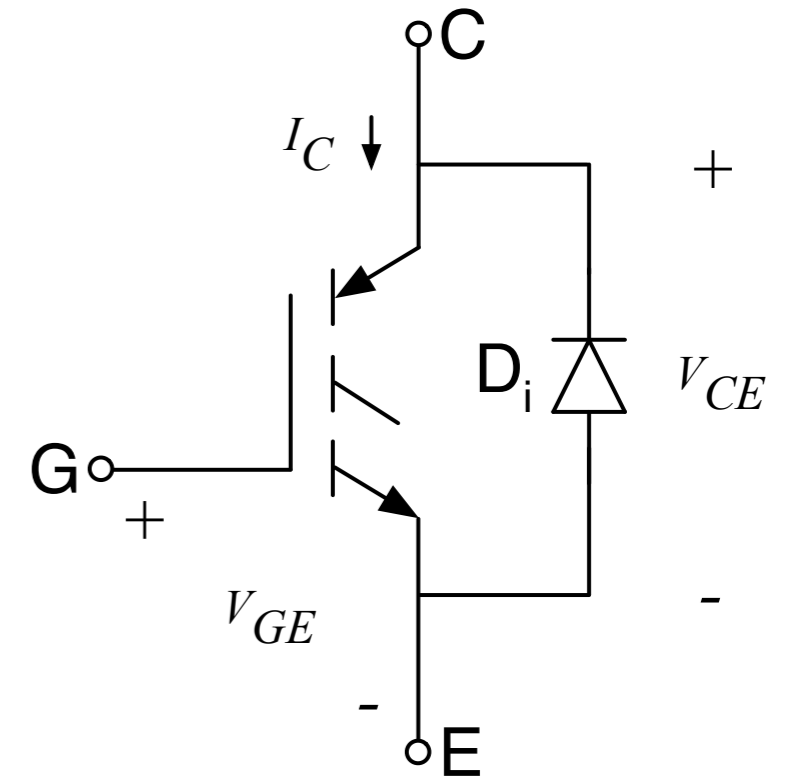
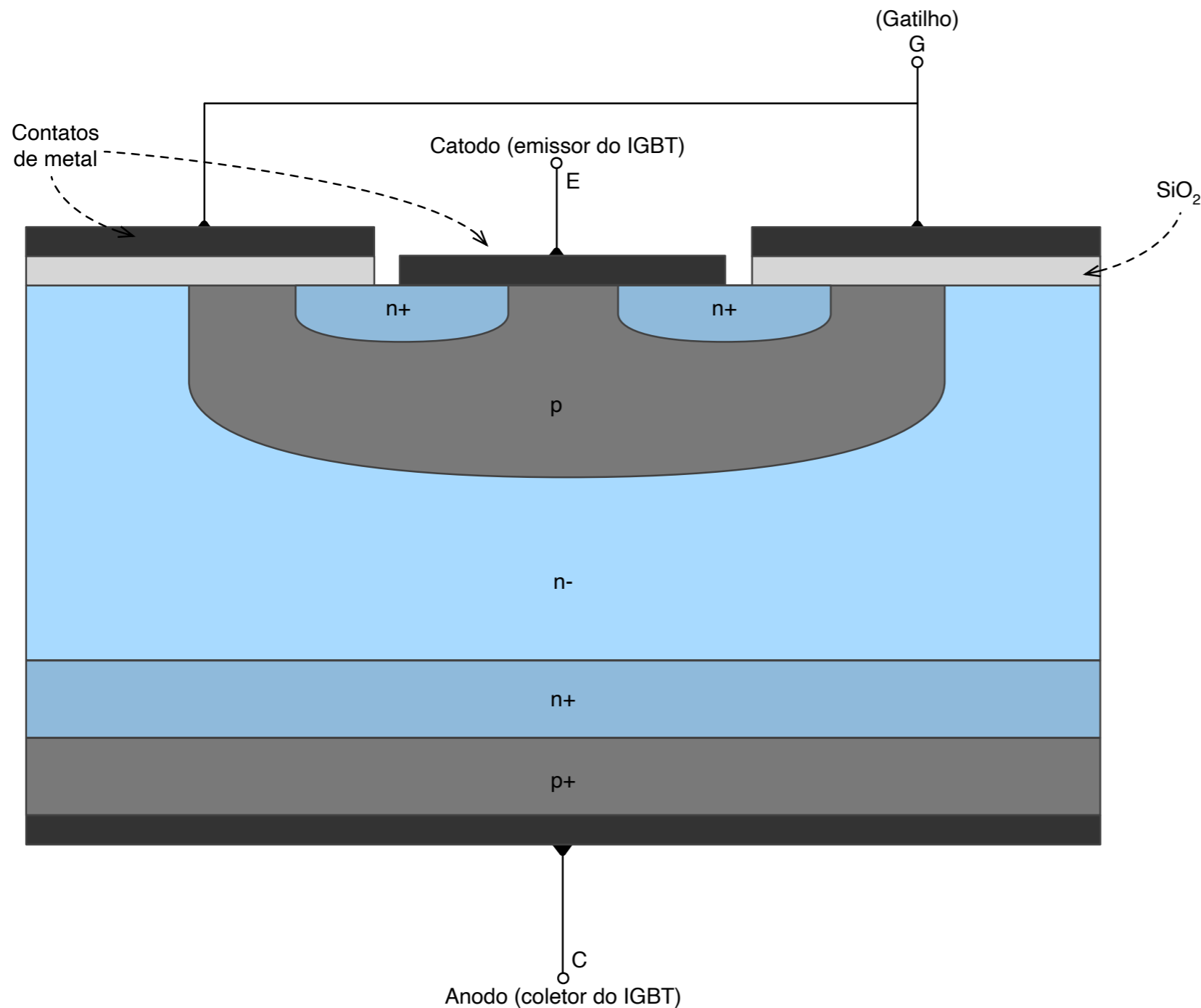
## Quando usar MOSFET:

1. Frequências altas (acima de 50 kHz);
2. Tensões muito baixas (< 500 V);
3. Potências baixas (< 1 kW).



# IGBT

IGBT - Insulated Gate Bipolar Transistor:



Características de BJT e MOSFET

<https://www.irf.com>

# IGBT

## Classificação das perdas:

### 1. Condução:

$$P_{con} = \left( i_C \cdot V_{CE(sat)} + i_B \cdot V_{BE(sat)} \right) \cdot t_{on} \cdot F_s$$

### 2. Comutação:

- Entrada em condução e bloqueio;

- Onde:

$$P_{com} = \frac{1}{2} \cdot \left( t_r + t_f \right) \cdot I \cdot E \cdot F_s$$

Detalhamento do cálculo de perdas

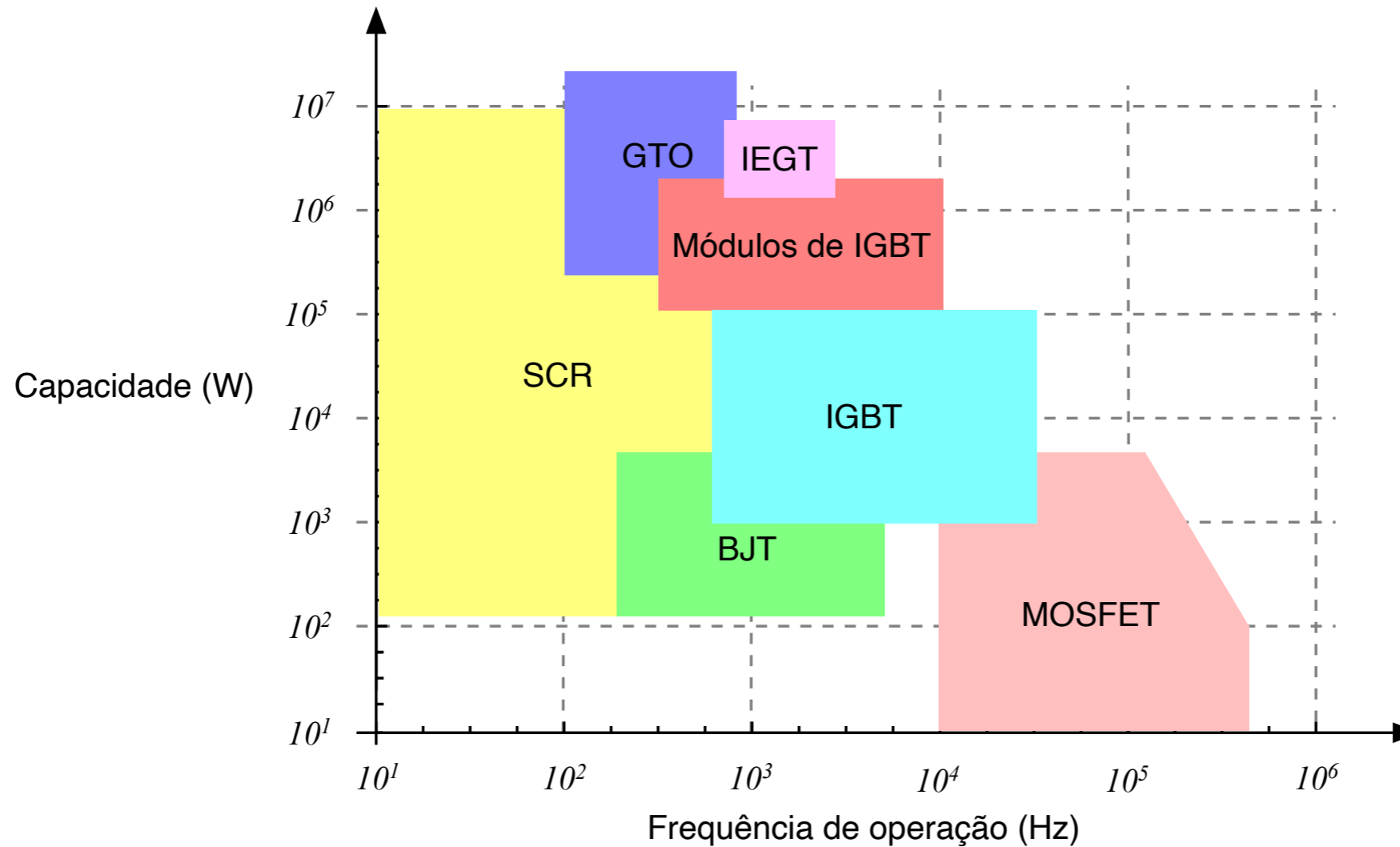


# MOSFET

## Quando usar IGBT:

1. Frequências baixas (menor que 50 kHz);
2. Tensões altas (> 500 V);
3. Potências altas (> 1 kW).

Part	Family	Package	Circuit	Switching Speed
IRG4PH30K	IGBT Discretes	TO-247AC	Discrete	ULTRAFAST 4-20 kHz
IG4PC20U	IGBT Discretes	TO-247AC	Discrete	ULTRAFAST 8-60 kHz
IG4PC30S	IGBT Discretes	TO-247AC	Discrete	DC-1 kHz (STANDARD)
IG4PC60U	IGBT Discretes	TO-247AC	Discrete	ULTRAFAST 8-60 kHz
IG4BC30W	IGBT Discretes	TO-220AB	Discrete	WARP 60-150 kHz
IGB30B60K	IGBT Discretes	TO-220AB	Discrete	ULTRAFAST 10-30 kHz
IGB8B60K	IGBT Discretes	TO-220AB	Discrete	ULTRAFAST 10-30 kHz
IGS6B60K	IGBT Discretes	D2-Pak	Discrete	ULTRAFAST 10-30 kHz
IGS14C40L	IGBT Discretes	D2-Pak	Discrete	Low-Vceon
IGP4050	IGBT Discretes	TO-247AC	Discrete	Low-Vceon



# MOSFET

Quando usar IGBT:

1. Freqüências baixas (menor que 50 kHz);
2. Tensões altas (> 500 V);
3. Potências altas (> 1 kW).



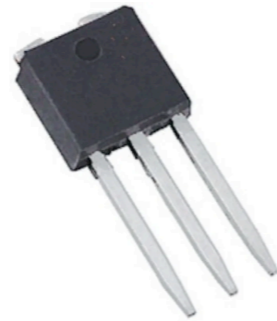
[www.irf.com](http://www.irf.com)

Part	Family	Package	Circuit	Switching Speed	VCES (V)	VCE(ON) (V)	IC @ 25C (A)	IC @ 100C (A)	PD @25C (W)
▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼
<a href="#">IRG4PH30K</a>	IGBT Discretes	TO-247AC	Discrete	ULTRAFAST 4-20 kHz	1200	4.20	20	10	100
<a href="#">IRG4PC20U</a>	IGBT Discretes	TO-247AC	Discrete	ULTRAFAST 8-60 kHz	600	2.1	13	6.5	60
<a href="#">IRG4PC30S</a>	IGBT Discretes	TO-247AC	Discrete	DC-1 kHz (STANDARD)	600	1.60	34	18	100
<a href="#">IRG4PC60U</a>	IGBT Discretes	TO-247AC	Discrete	ULTRAFAST 8-60 kHz	600	2.00	75	40	520
<a href="#">IRG4BC30W</a>	IGBT Discretes	TO-220AB	Discrete	WARP 60-150 kHz	600	2.70	23	12	100
<a href="#">IRGB30B60K</a>	IGBT Discretes	TO-220AB	Discrete	ULTRAFAST 10-30 kHz	600	2.35	78	50	370
<a href="#">IRGB8B60K</a>	IGBT Discretes	TO-220AB	Discrete	ULTRAFAST 10-30 kHz	600	2.2	17	9.0	140
<a href="#">IRGS6B60K</a>	IGBT Discretes	D2-Pak	Discrete	ULTRAFAST 10-30 kHz	600	1.80	13	7	90
<a href="#">IRGS14C40L</a>	IGBT Discretes	D2-Pak	Discrete	Low-Vceon	430	1.40	20	14	125
<a href="#">IRGP4050</a>	IGBT Discretes	TO-247AC	Discrete	Low-Vceon	250	1.90	104	56	330

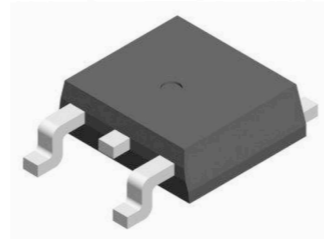
# Principais Encapsulamentos



DPAK



IPAK



D<sup>2</sup>PAK



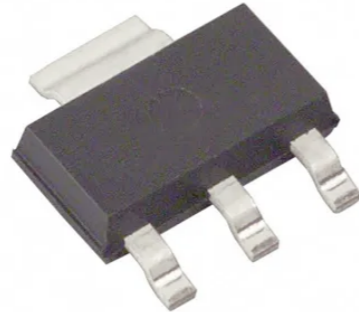
TO-92



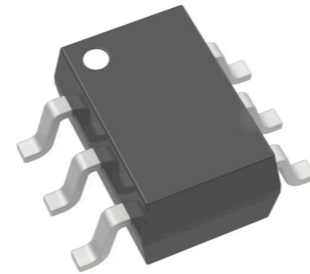
TO-39



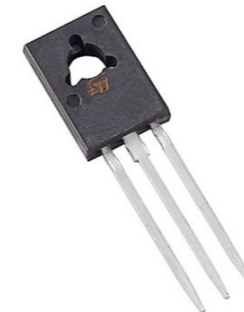
TO-3



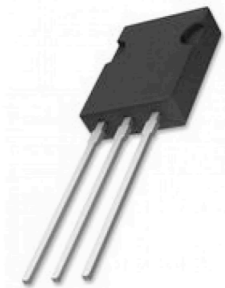
SOT-223



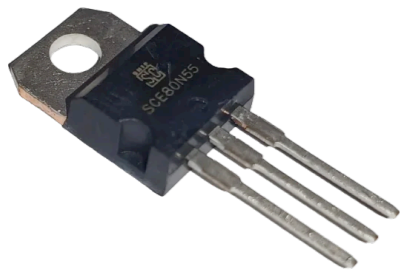
SOT23-6L



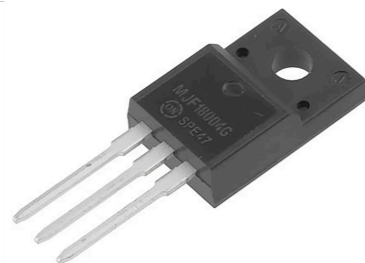
SOT32 / TO-126



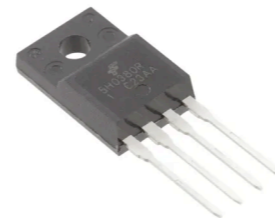
SOT-82



TO-220



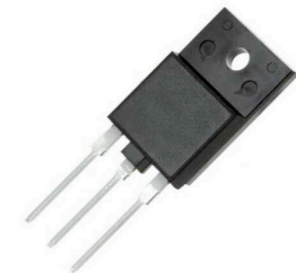
TO-220FP



TO-220FH



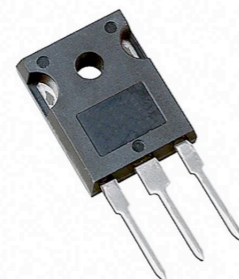
ISOWATT218



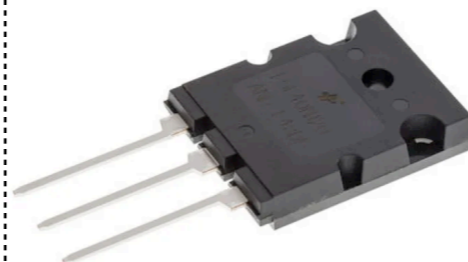
ISOWATT218FX



SOT-93 / TO-218



TO-247



TO-264

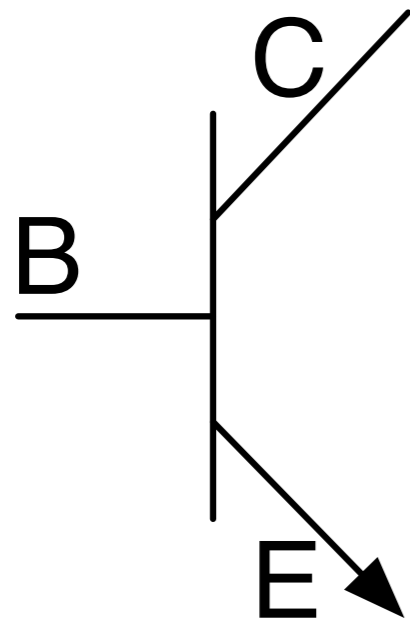


ISOTOP



SEMITRANS

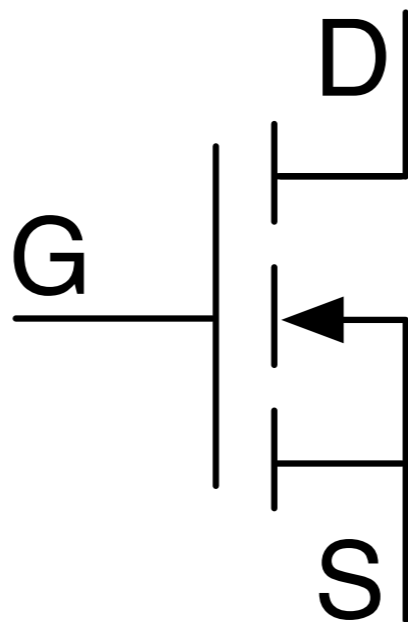
# BJT x MOSFET x IGBT



BJT

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

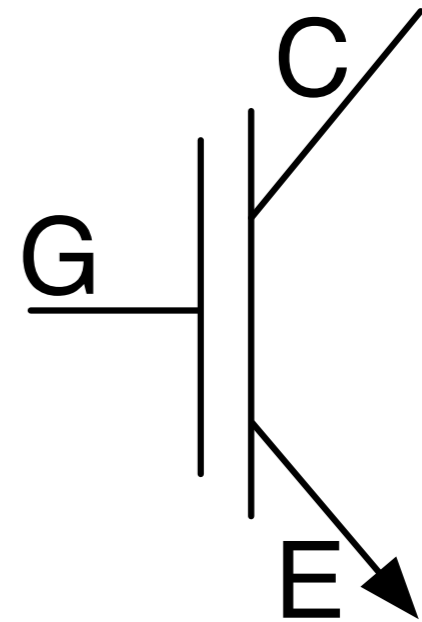
$$P_{BJT} = V_{CE(sat)} \cdot I_C$$



MOSFET

$$I_D = k \cdot V_G$$

$$P_{MOSFET} = R_{DS(on)} \cdot (I_D)^2$$



IGBT

$$I_C = k \cdot V_G$$

$$P_{IGBT} = V_{CE(sat)} \cdot I_D$$

# BJT x MOSFET x IGBT

	MOSFET	IGBT	BJT
Tipo de comando	Tensão	Tensão	Corrente
Potência do comando	Mínima	Mínima	Grande
Complexidade do comando	Simples	Simples	Média
Densidade de corrente	Elevada em baixas tensões e Baixa em altas tensões	Muito elevada	Média
Perdas de comutação	Muito baixa	Baixa para Média	Média para Alta

# Próxima Aula

## Componentes Semicondutores:

- Dimensionamento e especificação de semicondutores;
- Cálculo térmico.

