

02

---

# SOLDAGEM

Engenharia Mecânica

Prof. Luis Fernando Maffeis Martins

# Transferência metálica em soldagem com arco elétrico

maffeis



# Tabela periódica

## THE PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Period	IA		IIA		Metals										Nonmetals		VIII A		
1	H Hydrogen 1.008																	He Helium 4.00	
2	Li Lithium 6.94	Be Beryllium 9.01																	
3	Na Sodium 22.99	Mg Magnesium 24.31																	
4	K Potassium 39.10	Ca Calcium 40.08																	
5	Rb Rubidium 85.47	Sr Strontium 87.62																	
6	Cs Cesium 132.91	Ba Barium 137.33																	
7	Fr Francium 223.02	Ra Radium 226.02																	
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			

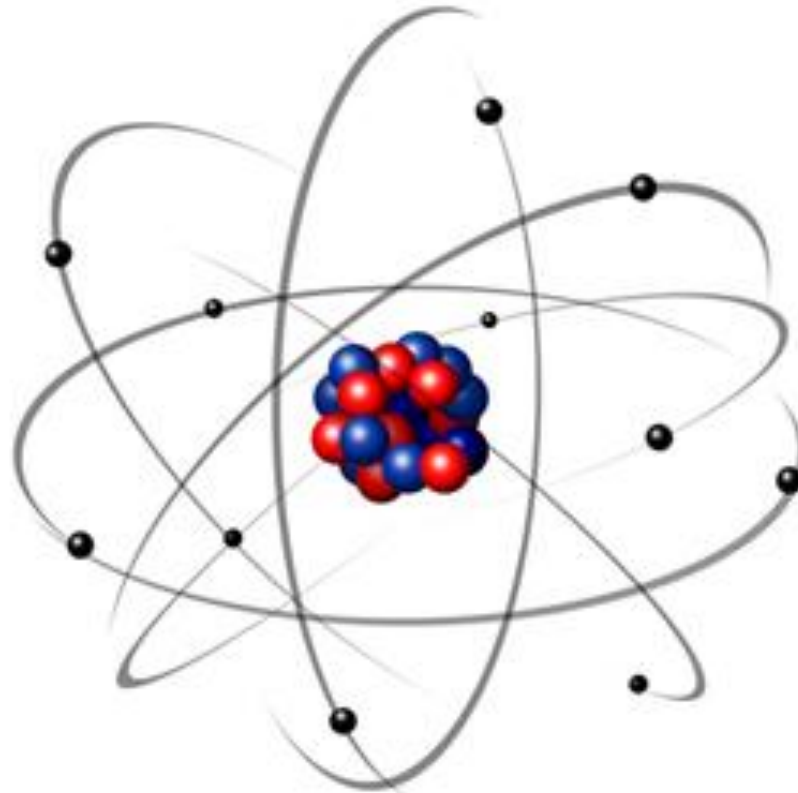
  

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La Lanthanum 138.91	Ce Cerium 140.12	Pr Praseodymium 140.91	Nd Neodymium 144.24	Pm Promethium (145)	Sm Samarium 150.36	Eu Europium 151.97	Gd Gadolinium 157.25	Tb Terbium 158.93	Dy Dysprosium 162.50	Ho Holmium 164.93	Er Erbium 167.26	Tm Thulium 168.93	Yb Ytterbium 173.04	Lu Lutetium 174.97
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac Actinium 227.03	Th Thorium 232.04	Pa Protactinium 231.04	U Uranium 238.03	Np Neptunium 237.05	Pu Plutonium 244.06	Am Americium 243.06	Cm Curium 247.07	Bk Berkelium 247.07	Cf Californium 251.08	Es Einsteinium 252.08	Fm Fermium 257.10	Md Mendelevium 258.10	No Nobelium 259.10	Lr Lawrencium 260.11

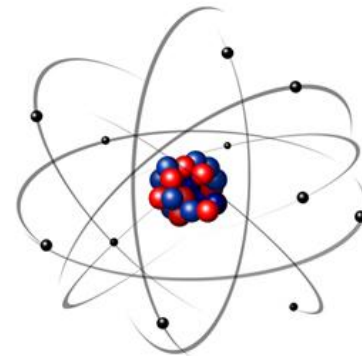
1	Atomic number
H	Symbol
Hydrogen	Name
1.008	Atomic weight

# Modelo atômico



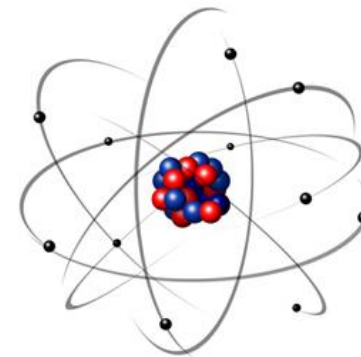
# Elétrons

- Partículas carregadas negativamente que orbitam ao redor do núcleo do átomo.
- Carga =  $-1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Carga (por convenção) =  $-1$
- Os elétrons estão distribuídos em camadas. O raio de um átomo é o raio da sua camada eletrônica mais externa.
- Massa =  $9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
- A maior parte do átomo é “espaço vazio”



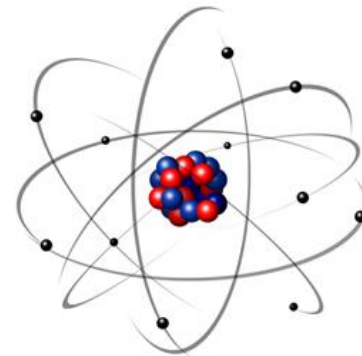
# Prótons

- Partículas carregadas positivamente localizadas no núcleo do átomo.
- Carga = + 1
- Massa =  $1,673 \times 10^{-27}$  kg
- A quantidade de prótons é que define cada elemento químico.
- A quantidade de prótons presente em um átomo é igual à quantidade de elétrons → átomos são eletricamente neutros.



# Nêutrons

- Partículas não carregadas (neutras) localizadas no núcleo do átomo.
- Carga = 0
- Massa =  $1,675 \times 10^{-27}$  kg
- Apesar do núcleo ter diâmetro bem menor que o átomo, quase a totalidade da massa está concentrada no núcleo do átomo.





# Unidade de massa atômica

- Unidade de massa atômica (uma) =  $1,660 \times 10^{-24}$  g
- Definida a partir de um duodécimo (1/12) da massa de um átomo de carbono

Massa de cada partícula:

próton: 1,00727 u

nêutron: 1,00867 u

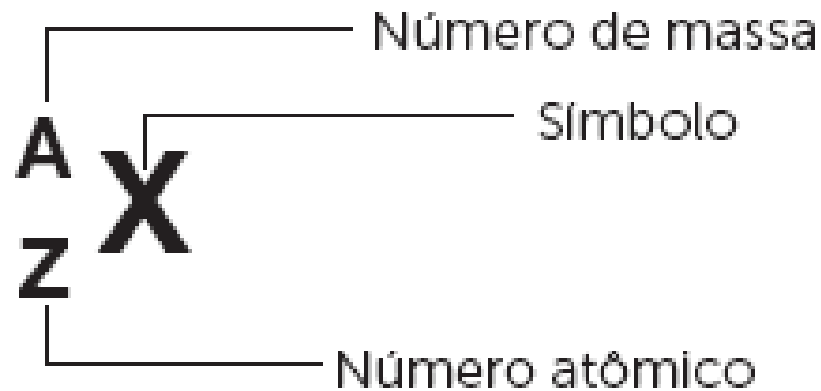
elétron: 0,00054 u



# Comparando...

Partícula	Símbolo	Carga	Massa (kg)	u
elétron	e <sup>-</sup>	- 1	9,109 x 10 <sup>-31</sup>	0,00054
próton	p	+ 1	1,673 x 10 <sup>-27</sup>	1,00727
nêutron	n	0	1,675 x 10 <sup>-27</sup>	1,00867

# Átomo - identificação



- **Z** : número atômico = número de prótons de um átomo
- **A** : número de massa = soma do número de prótons e de nêutrons de um átomo

# Átomo

- Átomo é uma partícula com carga neutra



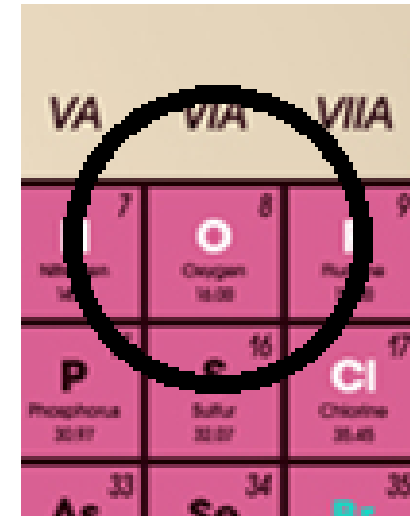
(número de elétrons = número de prótons)

# Oxigênio

**THE PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS**

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Period 1	IA 1 H Hydrogen 1.008	IIA 2 He Helium 4.003																		
Period 2	3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012	5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180												
Period 3	11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305	13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.065	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948												
Period 4	19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80		
Period 5	37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.906	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.905	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.757	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.905	54 Xe Xenon 131.29		
Period 6	55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57-71 La Lanthanum 138.905	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.222	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.384	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium 209	85 At Astatine 210	86 Rn Radon 222		
Period 7	87 Fr Francium 223	88 Ra Radium 226	89-103 Ac Actinium 227	104 Rf Rutherfordium 261	105 Db Dubnium 262	106 Sg Seaborgium 263	107 Bh Bohrium 264	108 Hs Hassium 265	109 Mt Meitnerium 266	110 Ds Darmstadtium 271	111 Rg Roentgenium 272	112 Uub Ununbium 277	113 Uut Ununtrium 284	114 Uuq Ununquadium 285	115 Uup Ununpentium 286	116 Uuh Ununhexium 289	117 Uus Ununseptium 289	118 Uuo Ununoctium 294		
			57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium 144.913	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.255	69 Tm Thulium 168.930	70 Yb Ytterbium 173.045	71 Lu Lutetium 174.967			
			89 Ac Actinium 227	90 Th Thorium 232.038	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium 237.048	94 Pu Plutonium 244	95 Am Americium 243	96 Cm Curium 247	97 Bk Berkelium 247	98 Cf Californium 251	99 Es Einsteinium 252	100 Fm Fermium 257	101 Md Mendelevium 258	102 No Nobelium 259	103 Lr Lawrencium 260			

# Oxigênio



**THE PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS**

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period	IA	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
1	H Hydrogen 1.008																	He Helium 4.0026
2	Li Lithium 6.941	Be Beryllium 9.0122											B Boron 10.811	C Carbon 12.011	N Nitrogen 14.0064	O Oxygen 15.9994	F Fluorine 18.9984	Ne Neon 20.1797
3	Na Sodium 22.98976928	Mg Magnesium 24.304											Al Aluminum 26.9815386	Si Silicon 28.0855	P Phosphorus 30.973762	S Sulfur 32.06	Cl Chlorine 35.45	Ar Argon 39.948
4	K Potassium 39.0983	Ca Calcium 40.078	Sc Scandium 44.955912	Ti Titanium 47.88	V Vanadium 50.9415	Cr Chromium 51.9961	Mn Manganese 54.938044	Fe Iron 55.845	Co Cobalt 58.933195	Ni Nickel 58.6934	Cu Copper 63.546	Zn Zinc 65.38	Ga Gallium 69.723	Ge Germanium 72.630	As Arsenic 74.9216	Se Selenium 78.96	Br Bromine 79.904	Kr Krypton 83.80
5	Rb Rubidium 85.4678	Sr Strontium 87.62	Y Yttrium 88.90584	Zr Zirconium 91.224	Nb Niobium 92.90638	Mo Molybdenum 95.94	Tc Technetium (97)	Ru Ruthenium 98.9062	Rh Rhodium 101.07	Pd Palladium 106.36	Ag Silver 107.8682	Cd Cadmium 112.411	In Indium 114.818	Sn Tin 118.710	Sb Antimony 121.757	Te Tellurium 127.6	I Iodine 126.905	Xe Xenon 131.29
6	Cs Cesium 132.90545196	Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanides	Hf Hafnium 178.49	Ta Tantalum 180.94788	W Tungsten 183.84	Re Rhenium 186.207	Os Osmium 190.23	Ir Iridium 192.222	Pt Platinum 195.084	Au Gold 196.966569	Hg Mercury 200.59	Tl Thallium 204.38	Pb Lead 207.2	Bi Bismuth 208.9804	Po Polonium (209)	At Astatine (210)	Rn Radon (222)
7	Fr Francium (223)	Ra Radium (226)	89-103 Actinides	Rf Rutherfordium (261)	Db Dubnium (262)	Sg Seaborgium (263)	Bh Bohrium (264)	Hs Hassium (265)	Mt Meitnerium (266)	Ds Darmstadtium (267)	Rg Roentgenium (268)	Uub Ununbium (269)	Uut Ununtrium (270)	Uuq Ununquadium (271)	Uup Ununpentium (272)	Uuh Ununhexium (273)	Uus Ununseptium (274)	Uuo Ununoctium (284)

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La Lanthanum 138.905	Ce Cerium 140.12	Pr Praseodymium 140.90768	Nd Neodymium 144.242	Pm Promethium (145)	Sm Samarium 150.36	Eu Europium 151.964	Gd Gadolinium 157.25	Tb Terbium 158.92534	Dy Dysprosium 162.50015	Ho Holmium 164.930329	Er Erbium 167.2593	Tm Thulium 168.93048	Yb Ytterbium 173.045	Lu Lutetium 174.967
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac Actinium 227.03373	Th Thorium 232.0377	Pa Protactinium 231.036888	U Uranium 238.02891	Np Neptunium 237.048173	Pu Plutonium 244.06422	Am Americium 243.061389	Cm Curium 247.07645	Bk Berkelium 247.070351	Cf Californium 251.0832	Es Einsteinium 252.083223	Fm Fermium 257.10	Md Mendelevium 258.10	No Nobelium 259.10	Lr Lawrencium 260.10

Legend:  
 [Green] Solid  
 [Red] Liquid  
 [Blue] Gas  
 [Grey] Unknown  
 [Green] Alkali metals  
 [Yellow] Alkaline earth metals  
 [Purple] Transition metals  
 [Pink] Poor metals  
 [Light Blue] Other nonmetals  
 [Dark Blue] Noble gases  
 [Light Green] Lanthanoids  
 [Dark Green] Actinoids  
 ( ) = Estimates

Key:  
 1 → Atomic number  
 H → Symbol  
 Hydrogen → Name  
 1.008 → Atomic weight

# Oxigênio

Número atômico = 8

Número de massa = 16

8 prótons

8 elétrons

8 neutrons

VA			VIA			VIIA		
7	8	9						
Nitrogen 14.01	Oxygen 16.00	Fluorine 18.99						
15	16	17						
P Phosphorus 30.97	S Sulfur 32.07	Cl Chlorine 35.45						
33	34	35						
As	Se	Br						

# Oxigênio

Número atômico = 8

Número de massa = 16

8 prótons

8 elétrons

8 neutrons

Carga neutra:

$$8 \times (+1) + 8 \times (-1) + 8 \times (0)$$

$$8 - 8 = 0$$

VA	VIA	VIIA
7 Nitrogen 14.01	8 Oxygen 16.00	9 Fluorine 18.99
15 Phosphorus 30.97	16 Sulfur 32.07	17 Chlorine 35.45
33 Arsenic	34 Selenium	35 Bromine



# Magnésio

THE PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

Group 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

Period 1 2 3 4 5 6 7

IA IIA IB IIB IIIA IVA VA VIA VIIA VIIIA

( ) = Estimates

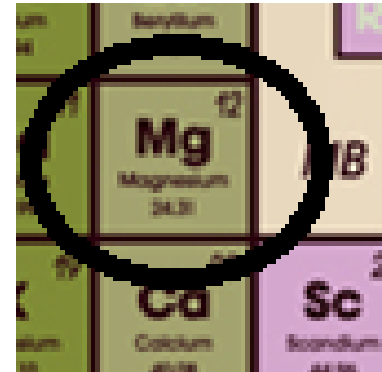
Alkali metals  
Alkaline earth metals  
Transition metals  
Poor metals  
Other nonmetals  
Noble gases  
Lanthanoids  
Actinoids

Legend:  
C Solid  
He Liquid  
N Gas  
SI Unknown

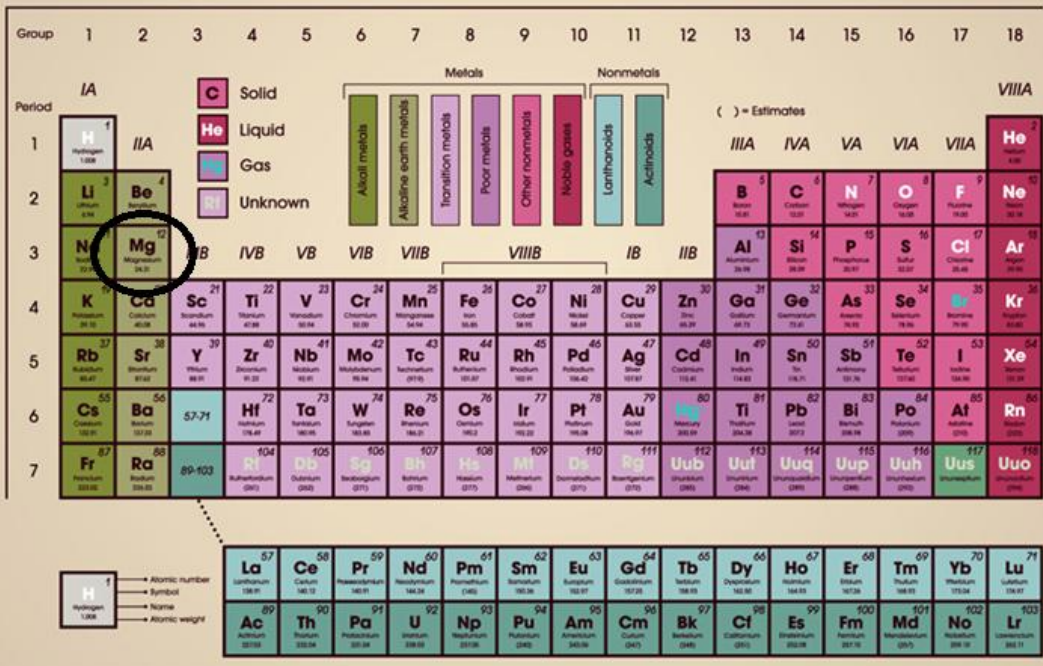
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	H Hydrogen 1.008																He Helium 4.003	
2	Li Lithium 6.941	Be Beryllium 9.012															Ne Neon 20.18	
3	B Boron 10.81	<b>Mg</b> Magnesium 24.31															Ar Argon 39.95	
4	K Potassium 39.10	Ca Calcium 40.08	Sc Scandium 44.96	Ti Titanium 47.88	V Vanadium 50.94	Cr Chromium 52.00	Mn Manganese 54.94	Fe Iron 55.85	Co Cobalt 58.93	Ni Nickel 58.69	Cu Copper 63.55	Zn Zinc 65.38	Ga Gallium 69.72	Ge Germanium 72.64	As Arsenic 74.92	Se Selenium 78.96	Br Bromine 79.90	Kr Krypton 83.80
5	Rb Rubidium 85.47	Sr Strontium 87.62	Y Yttrium 88.91	Zr Zirconium 91.22	Nb Niobium 92.91	Mo Molybdenum 95.94	Tc Technetium 98.91	Ru Ruthenium 101.07	Rh Rhodium 102.91	Pd Palladium 106.42	Ag Silver 107.87	Cd Cadmium 112.41	In Indium 114.82	Sn Tin 118.71	Sb Antimony 121.76	Te Tellurium 127.60	I Iodine 126.91	Xe Xenon 131.29
6	Cs Cesium 132.91	Ba Barium 137.33	57-71 Lanthanoids	Hf Hafnium 178.49	Ta Tantalum 180.95	W Tungsten 183.85	Re Rhenium 186.21	Os Osmium 190.23	Ir Iridium 192.22	Pt Platinum 195.08	Au Gold 196.97	Hg Mercury 200.59	Tl Thallium 204.38	Pb Lead 207.2	Bi Bismuth 208.98	Po Polonium 209	At Astatine 210	Rn Radon 222
7	Fr Francium 223	Ra Radium 226	89-103 Actinoids	Rf Rutherfordium 261	Db Dubnium 262	Sg Seaborgium 266	Bh Bohrium 267	Hs Hassium 277	Mt Meitnerium 288	Ds Darmstadtium 289	Rg Roentgenium 289	Uub Ununbium 289	Uuq Ununquadium 289	Uup Ununpentium 289	Uuh Ununhexium 289	Uus Ununseptium 289	Uuo Ununoctium 289	
				La Lanthanum 138.91	Ce Cerium 140.12	Pr Praseodymium 140.91	Nd Neodymium 144.24	Pm Promethium 145	Sm Samarium 150.36	Eu Europium 151.96	Gd Gadolinium 157.25	Tb Terbium 158.93	Dy Dysprosium 162.50	Ho Holmium 164.93	Er Erbium 167.26	Tm Thulium 168.93	Yb Ytterbium 173.05	Lu Lutetium 174.97
				Ac Actinium 227	Th Thorium 232.04	Pa Protactinium 231.04	U Uranium 238.03	Np Neptunium 237	Pu Plutonium 244	Am Americium 243	Cm Curium 247	Bk Berkelium 247	Cf Californium 251	Es Einsteinium 252	Fm Fermium 257	Md Mendelevium 288	No Nobelium 289	Lr Lawrencium 260

Legend:  
H Atomic number  
H Symbol  
H Name  
H Atomic weight

# Magnésio



THE PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS



# Magnésio

Número atômico = 12

Número de massa = 24

12 prótons

12 elétrons

12 neutrons

Be Beryllium 4	Mg <sup>12</sup> Magnesium 24.31	Ca Calcium 40.08	Sc Scandium 44.96
----------------------	--	------------------------	-------------------------

# Magnésio

Número atômico = 12

Número de massa = 24

12 prótons

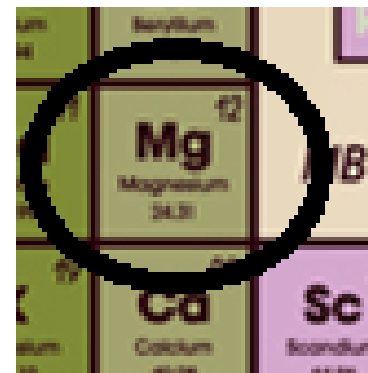
12 elétrons

12 neutrons

Carga neutra:

$$12 \times (+1) + 12 \times (-1) + 12 \times (0)$$

$$12 - 12 = 0$$



Be Beryllium 4	Mg <sup>12</sup> Magnesium 24.31	B Boron 10.81
Ca Calcium 40.08	Sc Scandium 44.96	

# mas...

- Os átomos podem perder o equilíbrio entre o número de elétrons e o número de prótons!

# mas...

- Os átomos podem perder o equilíbrio entre o número de elétrons e o número de prótons!
- Alguns átomos têm a tendência de perder elétrons

# mas...

- Os átomos podem perder o equilíbrio entre o número de elétrons e o número de prótons!
- Alguns átomos têm a tendência de perder elétrons



número de prótons (+) fica maior do que o número de elétrons (-)



# mas...

- Os átomos podem perder o equilíbrio entre o número de elétrons e o número de prótons!
- Alguns átomos têm a tendência de perder elétrons



número de prótons (+) fica maior do que o número de elétrons (-)



carga positiva

+

# mas...

- Os átomos podem perder o equilíbrio entre o número de elétrons e o número de prótons!
  - **Outros** átomos têm a tendência de ganhar elétrons

# mas...

- Os átomos podem perder o equilíbrio entre o número de elétrons e o número de prótons!
- Outros átomos têm a tendência de ganhar elétrons



número de elétrons (-) fica maior do que o número de prótons (+)

# mas...

- Os átomos podem perder o equilíbrio entre o número de elétrons e o número de prótons!
- Outros átomos têm a tendência de ganhar elétrons



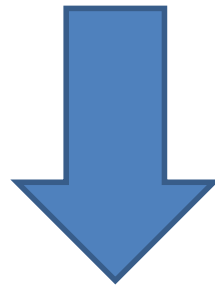
número de elétrons (-) fica maior do que o número de prótons (+)



carga negativa -

# mas...

- Se átomos são partículas com carga neutra, quando o número de elétrons e de prótons deixa de ser igual, a partícula deixa de ser um átomo !



# íon

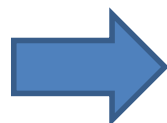
# Íon

- Íon: espécie química eletricamente carregada
  - Ânion: íon carregado negativamente
  - Cátion: íon carregado positivamente

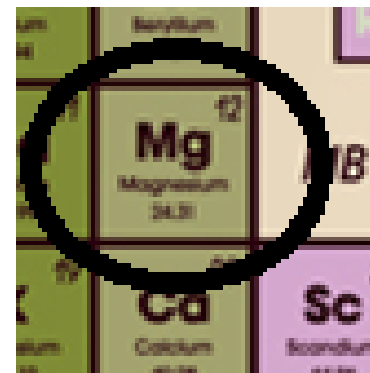
# Íon de magnésio

Magnésio tem a tendência de perder 2 elétrons

12 prótons  
12 elétrons  
12 nêutrons



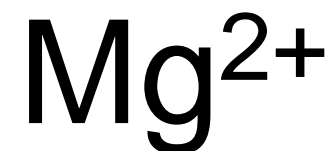
12 prótons  
**10** elétrons  
12 nêutrons



Carga positiva:

$$12 \times (+1) + 10 \times (-1) + 12 \times (0)$$

$$12 - 10 = + 2$$

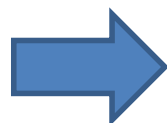




# Íon de oxigênio

Oxigênio tem a tendência de ganhar 2 elétrons

8 prótons  
8 elétrons  
8 nêutrons



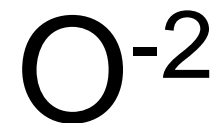
8 prótons  
**10** elétrons  
8 nêutrons

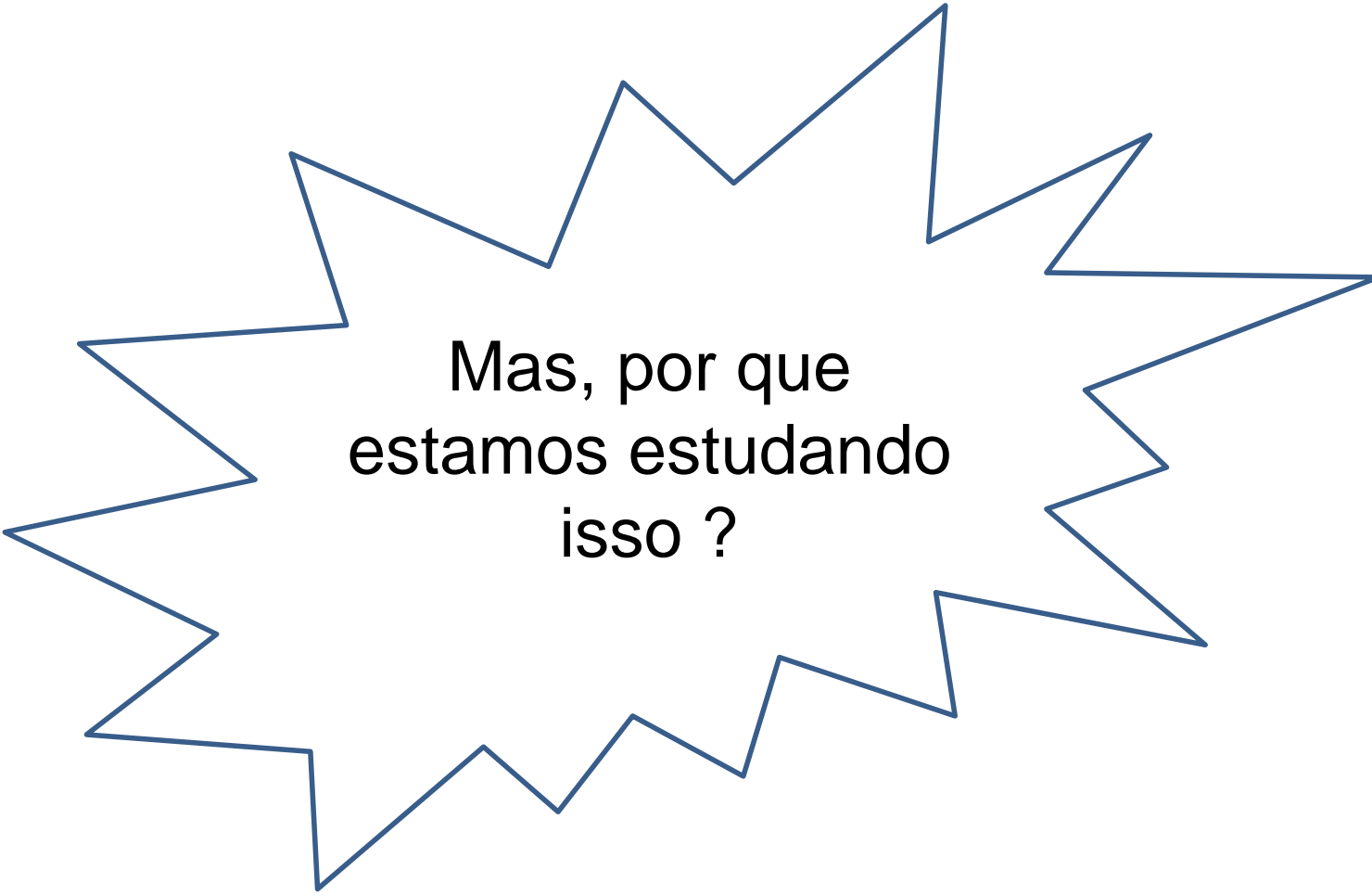
VA	VIA	VIIA
7 Nitrogen 14.01	8 Oxygen 16.00	9 Fluorine 18.99
15 Phosphorus 30.97	16 Sulfur 32.07	17 Chlorine 35.45
33 Arsenic	34 Selenium	35 Bromine

Carga negativa:

$$8 \times (+1) + 10 \times (-1) + 8 \times (0)$$

$$8 - 10 = -2$$

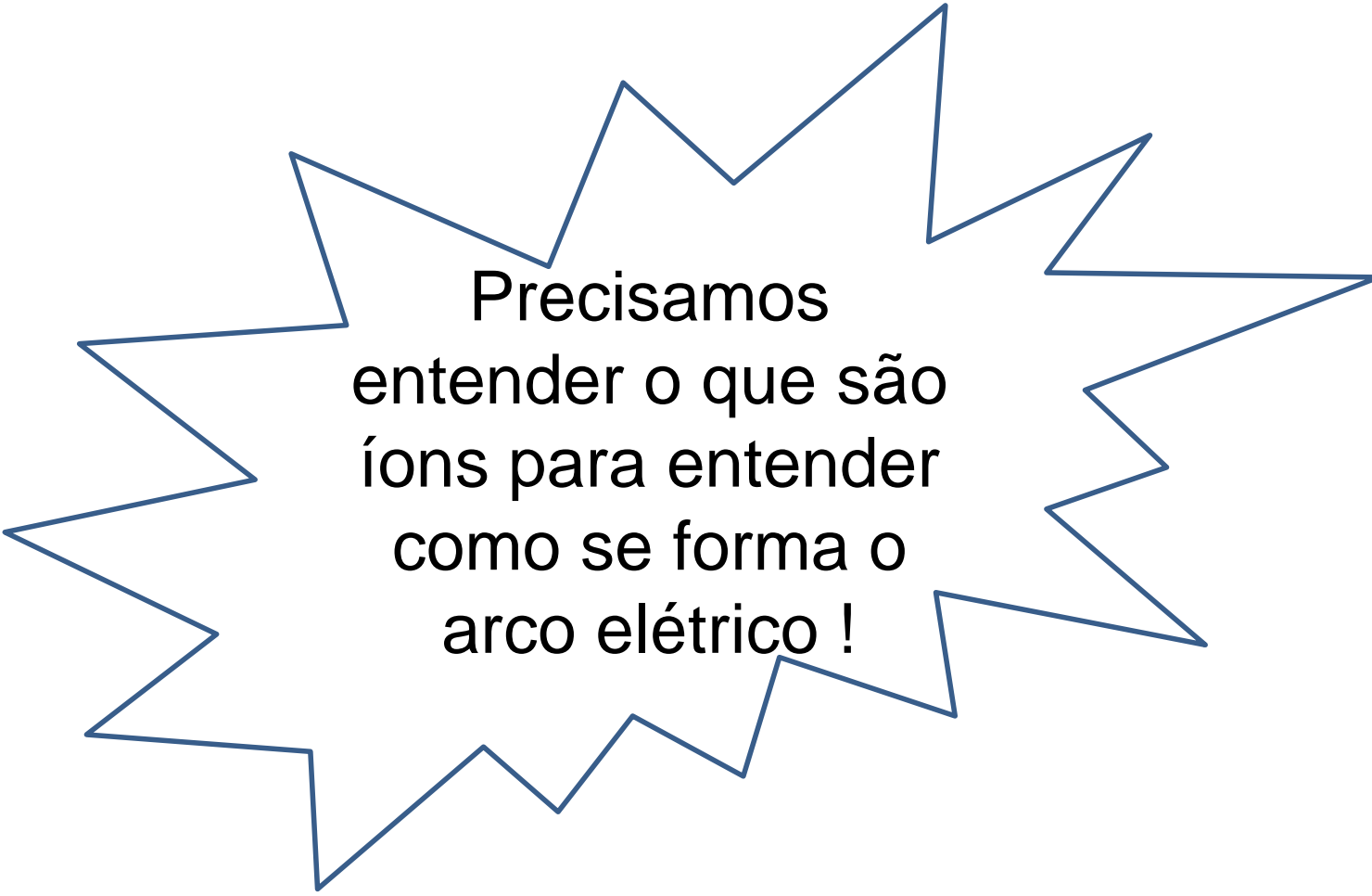




Mas, por que  
estamos estudando  
isso ?

Transferência metálica em soldagem  
com arco elétrico





Precisamos  
entender o que são  
íons para entender  
como se forma o  
arco elétrico !

# Arco elétrico

Descarga elétrica entre dois eletrodos através do ar ou outro meio isolante.



# Arco elétrico

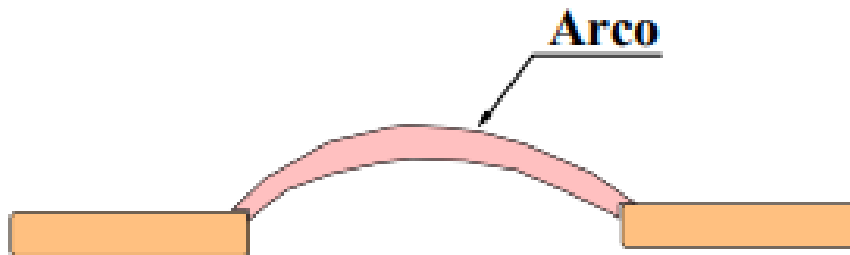
É formado quando dois eletrodos (condutores de corrente elétrica) que estão em contato são separados, o que provoca a resistência à passagem da corrente elétrica, elevando os eletrodos a altas temperaturas, assim como o ar entre eles.

Elétrons vindo do catodo (eletrodo negativo) colidem com as moléculas e átomos do ar, formando íons e elétrons livres, tornando o ar condutor de corrente elétrica.



# Arco elétrico

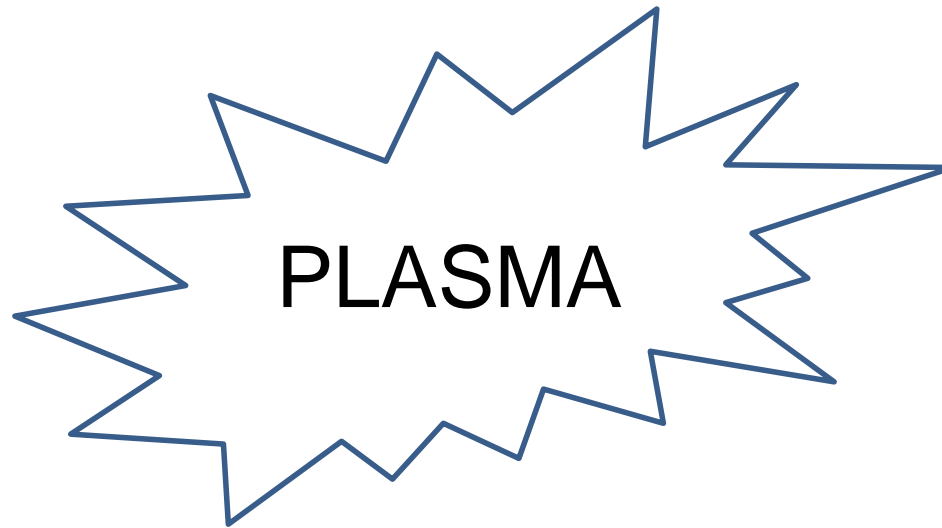
O termo “arco” foi criado em função da forma característica resultante da convecção do ar quente formado pelo fenômeno.



# Arco elétrico

O ar ionizado forma o meio condutor que facilita a passagem de corrente elétrica.

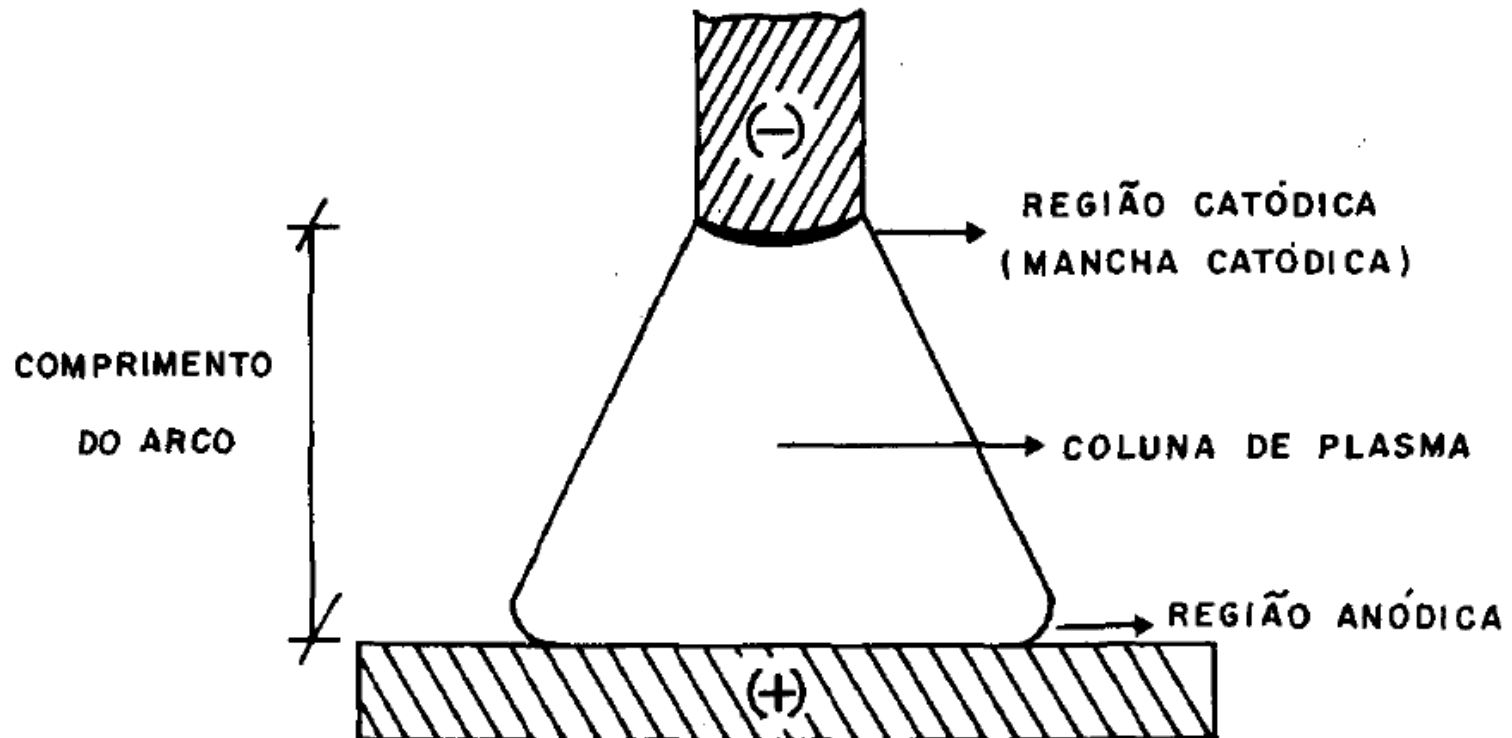
O elevado aquecimento do ar provoca a dissociação das ligações moleculares, convertidas em átomos, e ionizando parte deles.





# Arco elétrico

O aquecimento é gerado pela movimentação de cargas elétricas no arco elétrico pois o choque entre essas cargas gera calor.



# Abertura do arco elétrico na soldagem

Para a abertura do arco elétrico para soldagem, há a necessidade do aquecimento e bombardeamento com elétrons do gás que está próximo ao eletrodo.

A fonte de energia possui uma diferença de potencial característica, chamada de tensão em vazio, que favorece a abertura do arco.

Quando o eletrodo toca o metal base, a tensão cai rapidamente a quase zero e a corrente gera calor, incandescendo o metal base em contato com o eletrodo, favorecendo a emissão de elétrons

# Abertura do arco elétrico na soldagem

Os elétrons emitidos fornecem mais energia térmica, provocando a ionização do ar/gás em torno do eletrodo.

Ao se obter esta ionização térmica, o eletrodo pode ser afastado do metal base sem que o arco elétrico seja extinto

# Abertura do arco elétrico na soldagem

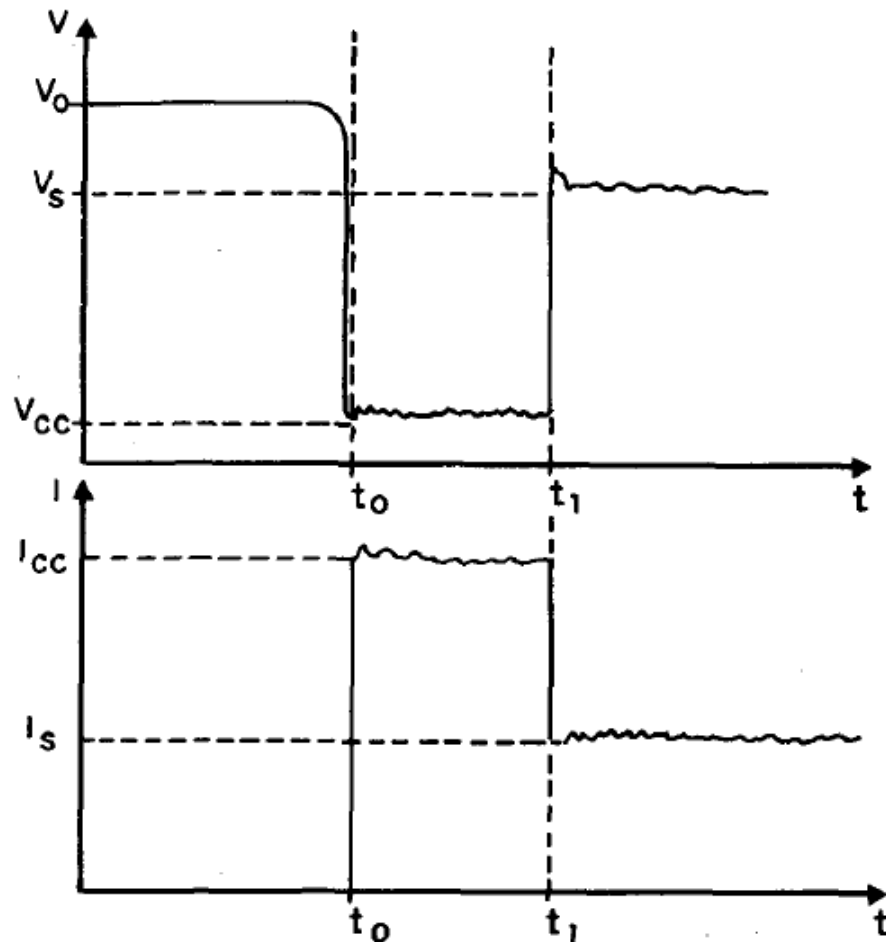
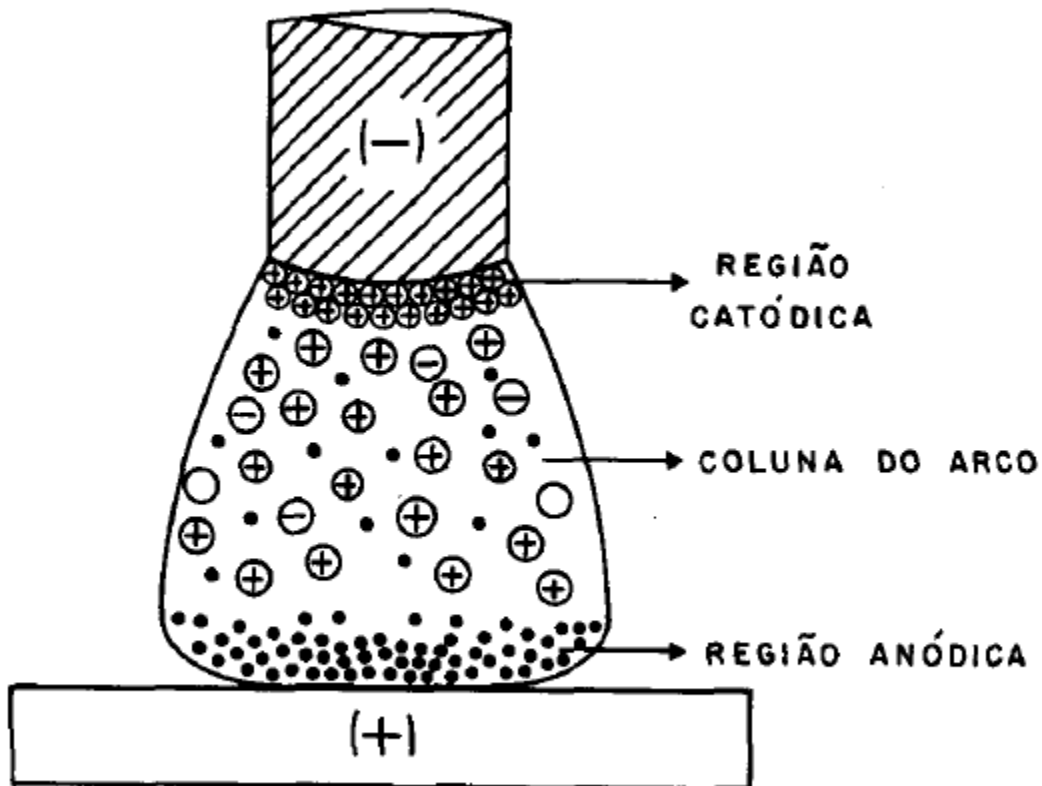


Figura 2.1 — Comportamento da tensão e da corrente na máquina de solda durante a abertura do arco<sup>(3)</sup>

$V_0$  = tensão em vazio;  
 $V_s$  = tensão de soldagem;  
 $V_{cc}$  = tensão em curto-circuito;  
 $I_s$  = corrente de soldagem;  
 $I_{cc}$  = corrente de curto-circuito;  
 $t_1 - t_0$  = tempo de abertura do arco

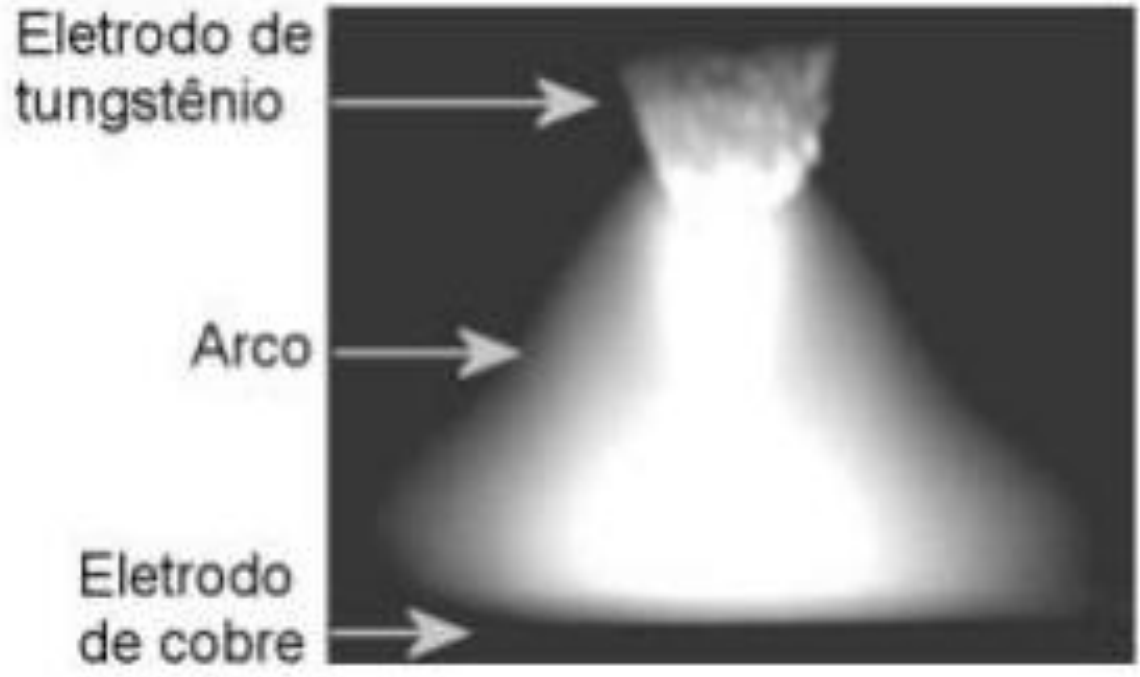
# Abertura do arco elétrico na soldagem



- ELETRONS
- ⊕ ÍONS POSITIVOS
- ⊖ ÍONS NEGATIVOS
- ÁTOMOS NEUTROS

Figura 2.3 — Esquema em escala atômica dos fenômenos que ocorrem em um arco elétrico com eletrodo permanente<sup>(6)</sup>

# Abertura do arco elétrico na soldagem



# Abertura do arco elétrico na soldagem

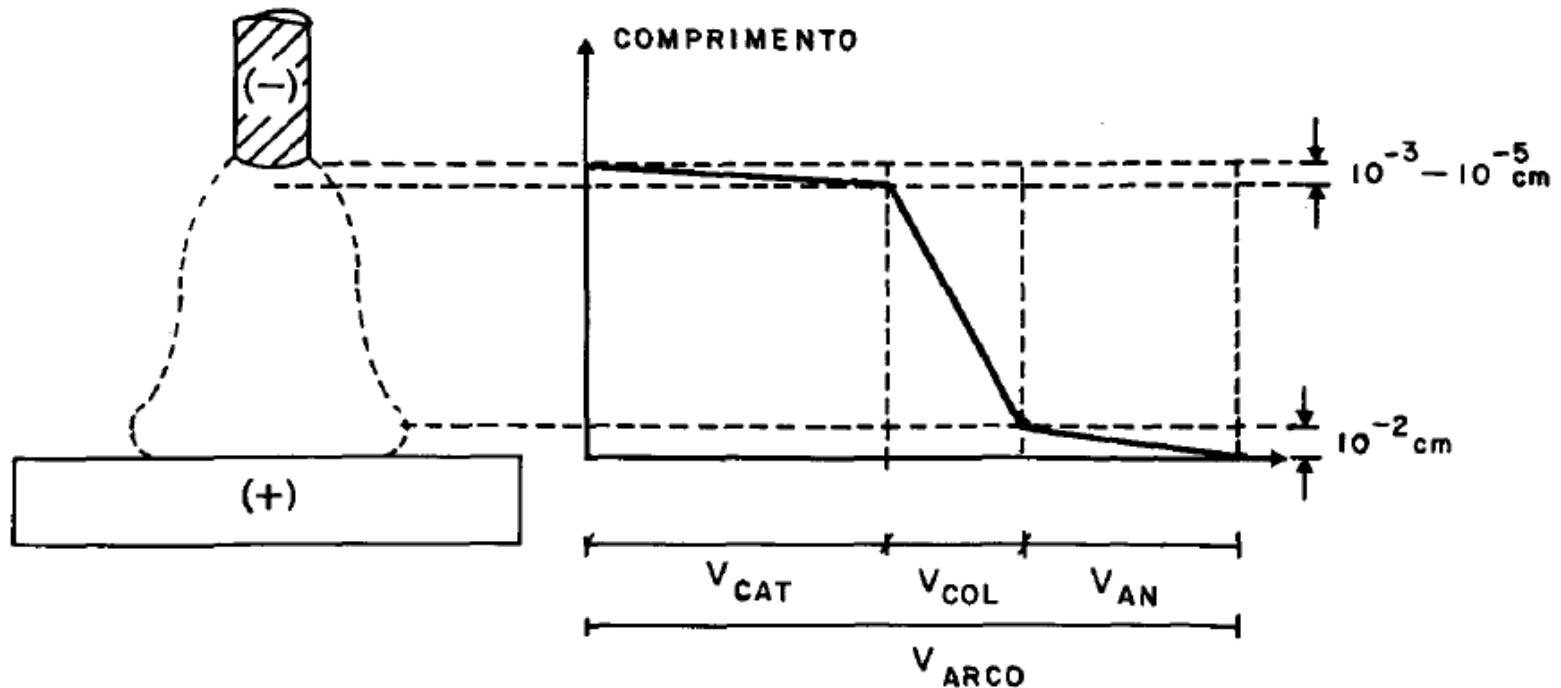


Figura 2.4 — Esquema das partes do arco elétrico, segundo as quedas de tensão, em soldagem TIG com argônio.

$V_{\text{cat}}$  = queda de tensão catódica;  $V_{\text{col}}$  = queda de tensão na coluna do arco;

$V_{\text{an}}$  = queda de tensão anódica;  $V_{\text{arco}}$  = tensão do arco elétrico

# Transferência metálica

- A transferência do metal durante o processo de soldagem pode ocorrer de diferentes formas:

Transferência globular

Transferência por pulverização

Transferência por curto circuito

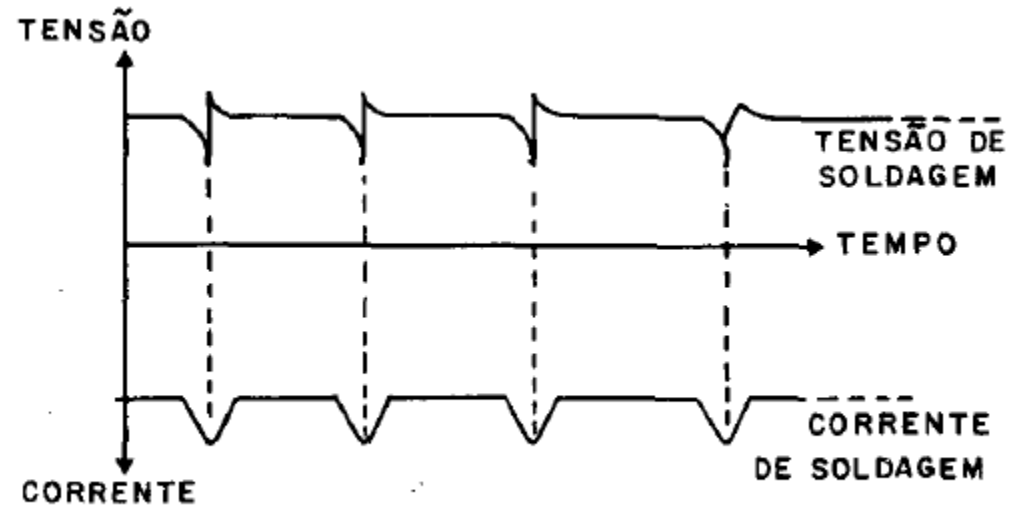
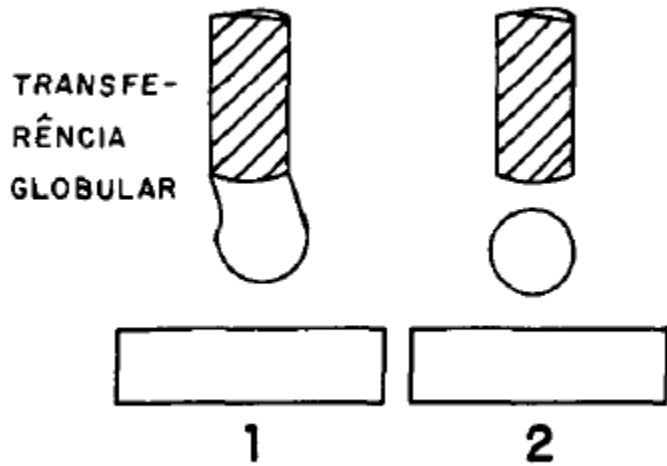
Transferência por arco pulsado



# Transferência globular

O metal é transferido por glóbulos com diâmetro próximo ao do eletrodo nu, ou da alma do eletrodo.

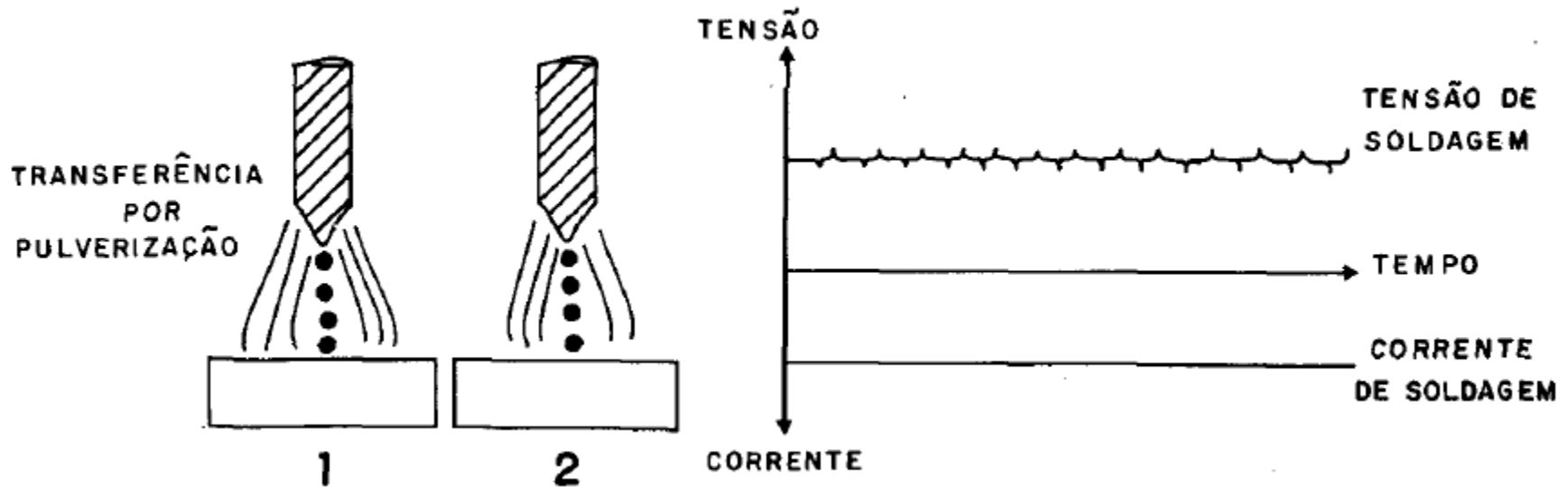
Adequado para soldagem em posição plana.



# Transferência por pulverização

O metal é transferido por gotas pequenas, bem menores que o diâmetro do eletrodo nu, ou da alma do eletrodo.

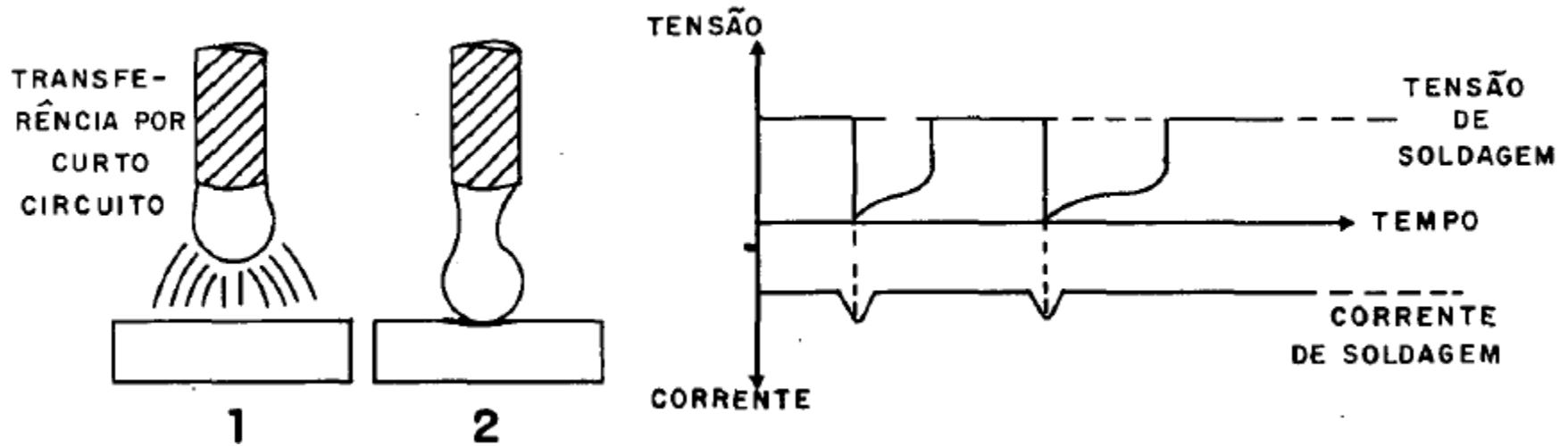
Pode ser utilizada em soldagem nas posições plana e horizontal.



# Transferência por curto circuito

O metal é transferido por contato direto entre o eletrodo e a poça de fusão através de uma gota.

Pode ser utilizada em soldagem em qualquer posição.



# Transferência por arco pulsado

O metal é transferido de forma similar à transferência por pulverização, porém uma gota é transferida por pulso. Pode ser utilizada em soldagem em qualquer posição.

O tipo de transferência metálica pode ser determinado pela geometria do eletrodo, composição do eletrodo, tipo de gás protetor, composição do revestimento do eletrodo, corrente de soldagem, comprimento do arco etc.

# Forças atuantes na transferência metálica

Vários são as forças atuantes na transferência metálica, e não há consenso entre os pesquisadores sobre quais são estas forças, mas normalmente são consideradas :

- peso da gota
- força devido a tensão superficial
- força de origem eletromagnética
- força de arraste
- força de expansão gasosa

# Forças atuantes na transferência metálica

Peso da gota:

$$P = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g$$

onde:  $r$  = raio da gota (cm)

$\rho$  = densidade da gota ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

$g$  = aceleração da gravidade ( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

# Forças atuantes na transferência metálica

**Força devido à tensão superficial:** Importante por manter a gota em contato com o eletrodo, qualquer que seja a posição da soldagem.

$$T = 2 \pi \gamma a \psi(a/c)$$

onde:  $a$  = raio do arame, ou eletrodo (cm)

$\gamma$  = tensão superficial (kgf/cm)

$c^2$  = constante de capilaridade do metal =  $\gamma/g \rho$

$\psi(a/c)$  = função que varia entre 0,6 e 1,0 e que, para metais usuais, pode ser dada aproximadamente por:

$$\begin{aligned} \psi(a/c) &= 1 \text{ a } 2,5a \\ &= 0,625 \end{aligned}$$

para  $a < 0,15$

para  $1 > a > 0,15$

sendo  $a$  medido em cm.

# Forças atuantes na transferência metálica

**Força de origem eletromagnética**, também chamada de força de Lorentz: esta força possui duas componentes ( $F_x$  e  $F_y$ ).

Uma destas componentes, que age perpendicularmente ao eletrodo, provoca o estrangulamento na região de menor área da gota, forçando seu desprendimento ( $F_x$ ).

A outra componente, que age na direção do eletrodo, pode facilitar ou agir no sentido contrário ao desprendimento da gota.

$$F = \frac{I^2}{200} \ln \left( \frac{A_2}{A_1} \right)$$

onde:  $F$  = força eletromagnética (dinas)

$I$  = corrente (A)

$A_1$  = área do condutor por onde entra a corrente ( $\text{cm}^2$ )

$A_2$  = área do condutor por onde sai a corrente ( $\text{cm}^2$ )



# Forças atuantes na transferência metálica

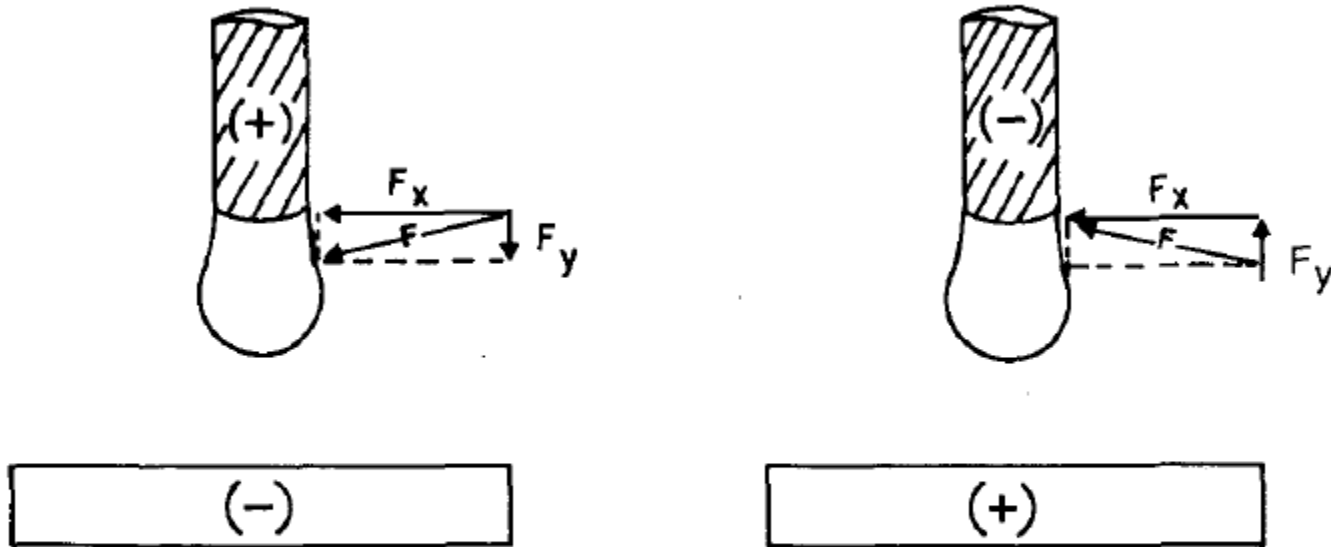


Figura 2.6 — Componentes da força eletromagnética que age na gota, em função da relação entre as áreas de entrada e saída da corrente e da polaridade

# Forças atuantes na transferência metálica

**Força de arraste:** ocorre quando se tem uma vazão do gás protetor, em função do atrito entre a gota e o gás, agindo no sentido de desprender a gota.

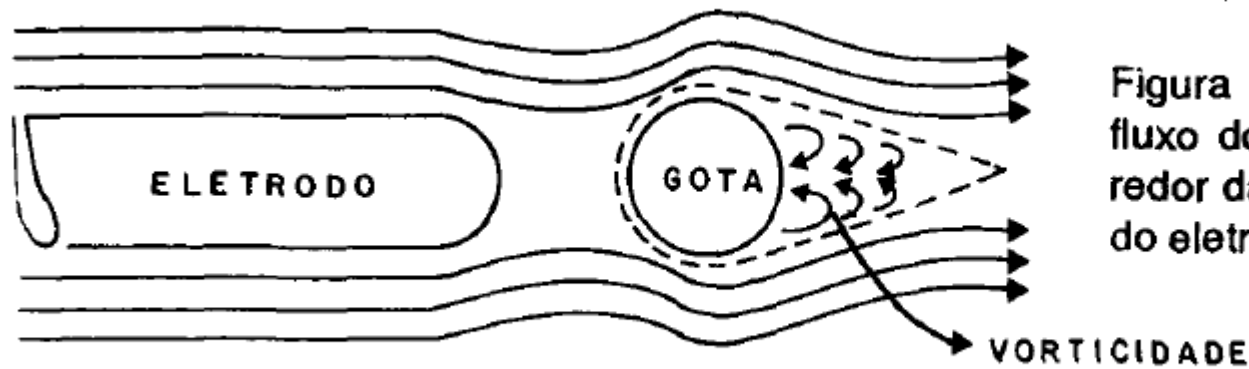


Figura 2.8 — Linhas de fluxo do gás protetor ao redor da gota e da ponta do eletrodo

# Forças atuantes na transferência metálica

**Força de arraste:** ocorre quando se tem uma vazão do gás protetor, em função do atrito entre a gota e o gás, agindo no sentido de desprender a gota.

$$F_a = C_d \left( \rho_g \frac{U^2}{2} \right) \left( 1 - \frac{R_a^2}{2 R^2} \right) \pi R^2$$

onde:  $C_d$  = coeficiente de arrasto

$\rho_g$  = densidade da gota ( $\text{kg/cm}^3$ )

$U$  = velocidade do gás em relação a gota (cm/s)

$R_a$  = raio do arame (cm)

$R$  = raio da gota (cm)

# Forças atuantes na transferência metálica

**Força de expansão gasosa:** importante no uso de eletrodos revestidos. O carbono da alma do eletrodo reage com o oxigênio formando bolhas de CO, que se expandem, forçando as gotas para a poça de fusão

# Forças atuantes na transferência metálica

Tabela 2.3 — Forças que agem nos diversos processos de soldagem; adaptado de<sup>(5)</sup>

Processo de soldagem		Tipo de transferência	Forças
Eletrodo revestido	ácidos rútilicos	pulverização	eletromagnética expansão gasosa
	básicos, celulósicos	globular curto-circuito	tensão superficial eletromagnética expansão gasosa
MIG (Argônio)	abaixo da corrente de transição	globular	peso tensão superficial
	acima da corrente de transição	pulverização axial arco pulsado	tensão superficial eletromagnética
MIG (hélio)		globular	peso tensão superficial
MAG (CO <sub>2</sub> )	arco normal	globular	tensão superficial eletromagnética
	arco curto	curto-circuito	tensão superficial eletromagnética expansão gasosa
Arco submerso		globular	tensão superficial eletromagnética expansão gasosa

Obs.: Força eletromagnética = força Lorenz + força do arco

# Bibliografia

maffeis

