

FUNDAMENTOS DE SEMICONDUTORES

OBJETIVO

Nesta lição, vamos revisar os conceitos fundamentais sobre os Átomos para entender sem inconvenientes os semicondutores e aprenderemos o que é o "SEMICONDUTOR"



TEMA 1

Em primeiro lugar, chamamos de semicondutores certos elementos, especialmente o germânio e o silício, com os quais se constroem dispositivos eletrônicos conhecidos como diodos, transistores e circuitos integrados; também é de costume chamar "semicondutores" aos distintos tipos de DISPOSITIVOS SEMICONDUTORES. Faremos um resumo dos principais a título de informação.

DIODOS:

Os diodos são os dispositivos que deixam passar corrente em um único sentido. São utilizados geralmente como retificadores de corrente para transformar correntes alternadas (C.A.) em correntes contínuas (C.C.), em detetores de modulação por amplitude e limitadores de tensão.

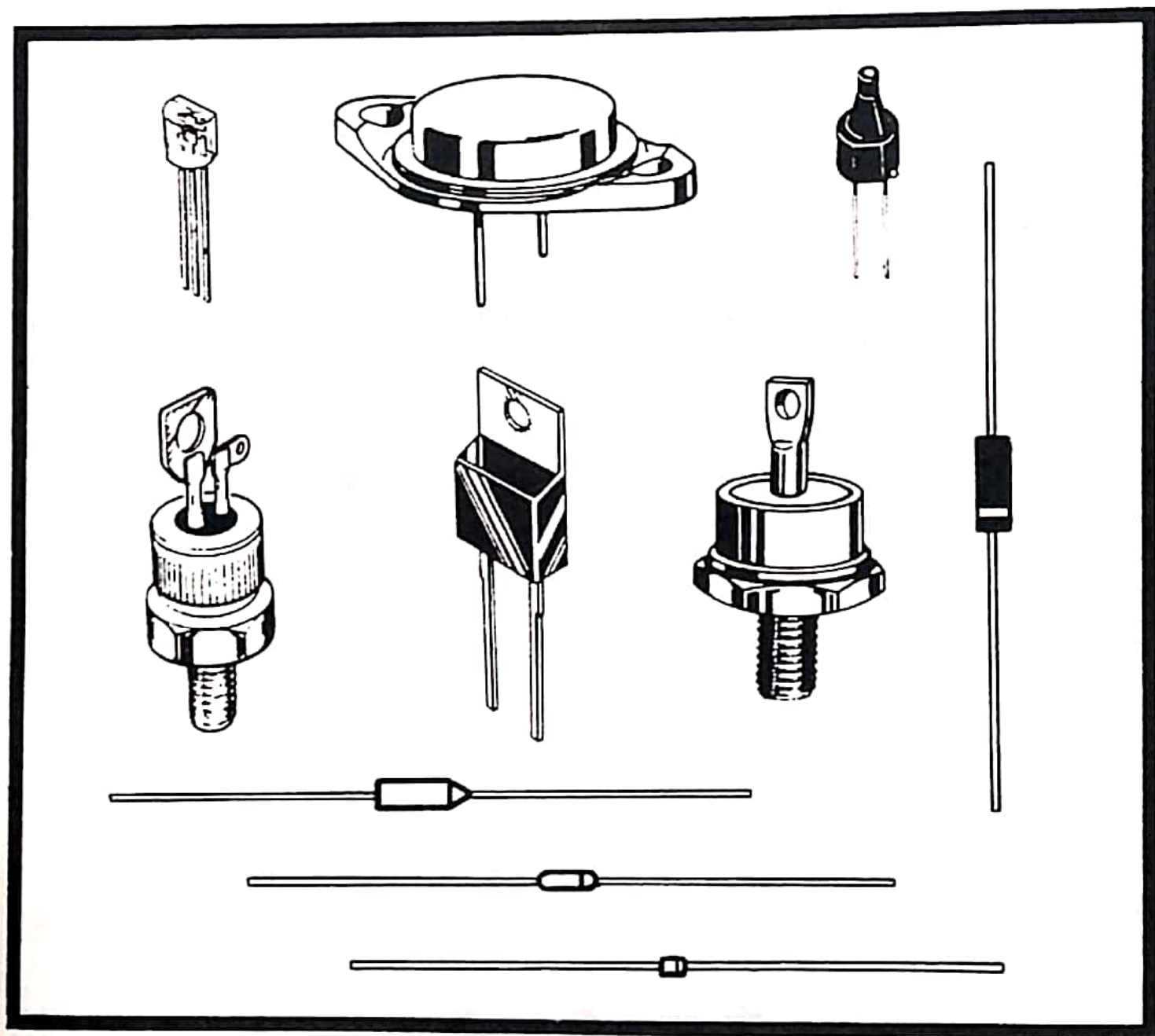


Figura 1-1: Diodos.

Existem diodos emissores de luz (L.E.D-LIGHT EMISSION DYODE), usados principalmente em indicadores. Outros diodos, os retificadores controlados de silício (S.C.R.), não só retificam a corrente, como o fazem de forma controlada, que permitem regular a velocidade de motores, intensidade de iluminação, etc. Os diodos ZENER, são reguladores de tensão.

TRANSISTORES

Os transistores são dispositivos que permitem controlar o passo de corrente produzindo assim amplificação, controle ativo de sinais, elementos lógicos e até armazenamento de informação

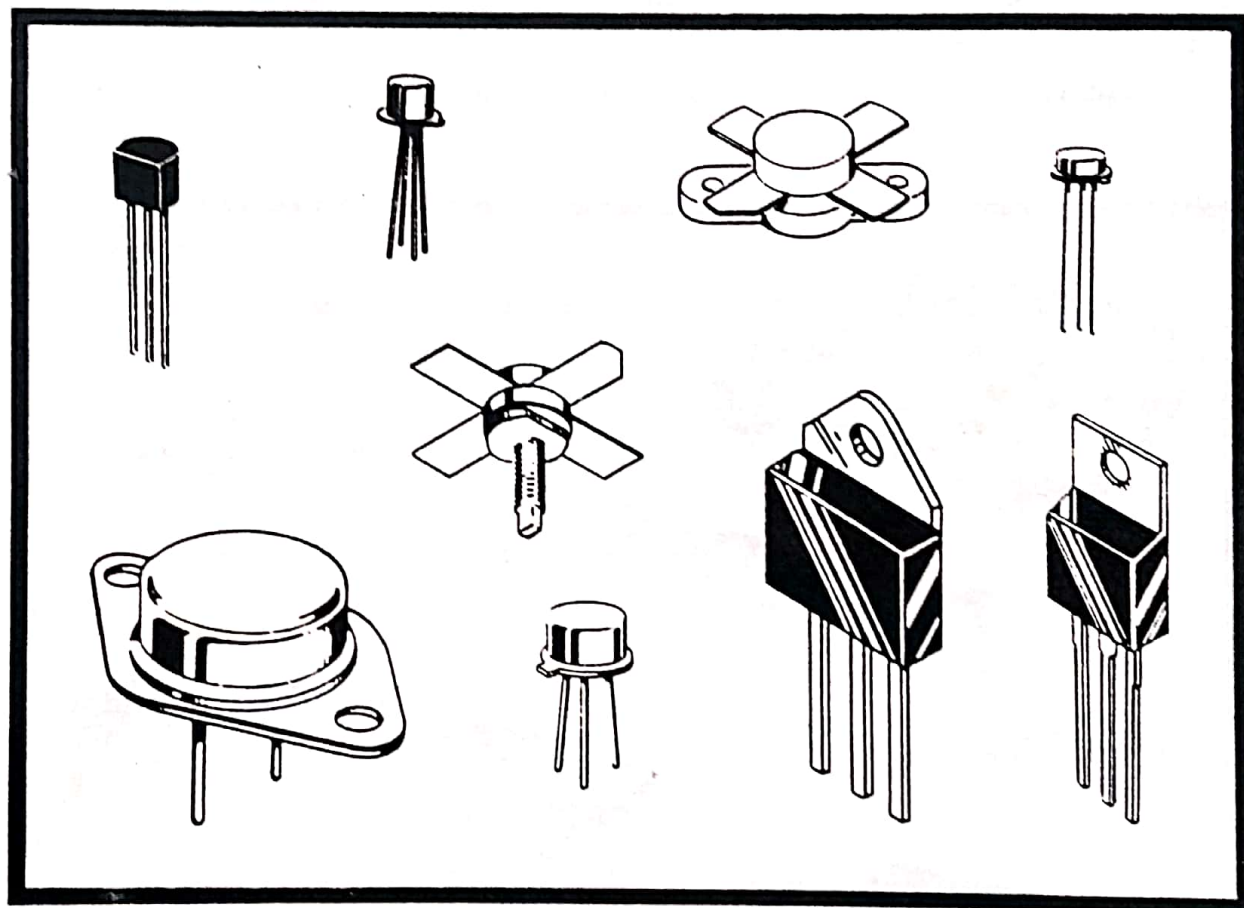


Figura 1-2: Transistores.

Os transistores utilizado para amplificar sinais em frequencias de audio ou radiofrequências, como por exemplo nos rádios; etapas de radiofrequência, frequência intermediária e videofrequência de televisores (em transmissores de radio e TV); como também amplificadores de nível de corrente contínua para controle automático de sensibilidade ou em geral para amplificadores de compensação (diferença) em todo tipo de servomecanismos. Também pode ser usado como chave eletrônica em circuitos de varredura de televisão ou em computadores, calculadoras, etc. É um componente ativo por excelência de inúmeras aplicações.

CIRCUITOS INTEGRADOS

Os circuitos integrados são circuitos complexos que incluem transistores, diodos, resistores e até capacitores, formando intrincados circuitos em uma única pastilha com poucos milímetros quadrados de superfície, possibilitando uma complexidade que até antes não se imaginava.

São utilizados para múltiplas funções em televisores, computadores, circuitos lógicos, calculadoras, relógios, rádios, radares, equipamentos de comunicações, equipamentos aeroespaciais, etc,

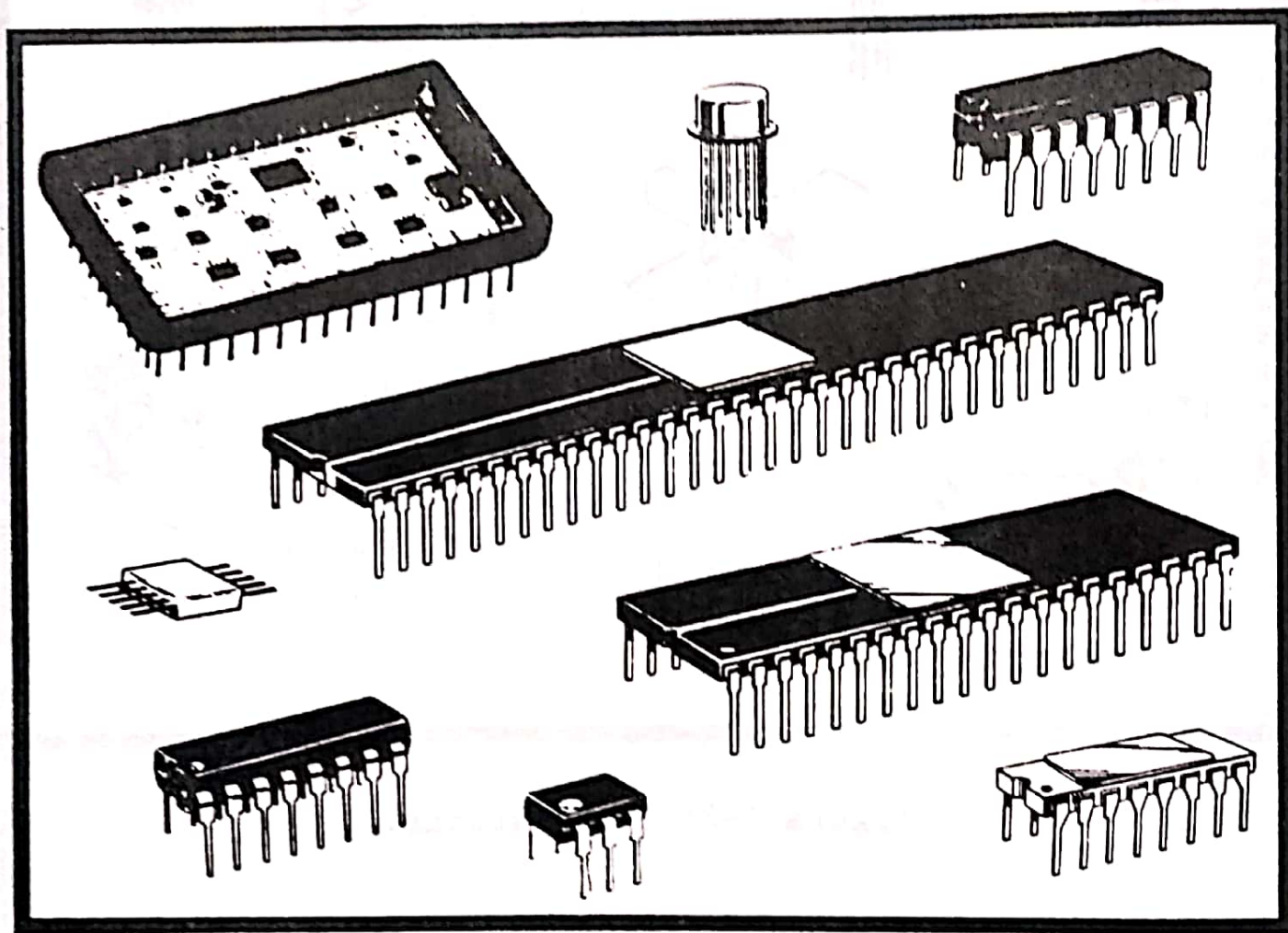


Figura 1-3: Circuitos Integrados.

Aos dispositivos semicondutores chamam-se também, dispositivos de ESTADO SÓLIDO, porque são feitos de cristais de silício ou de germânio.

Os dispositivos mencionados são apenas uma noção para que o leitor tome conhecimento de sua existência. Ao longo do curso estes serão detalhados um a um quanto as funções e aplicações,

ASPECTOS POSITIVOS DOS SEMICONDUTORES

Os dispositivos a semicondutores, necessitam geralmente de pouca corrente para o seu funcionamento, de modo que não ocorre um desperdício de potência. Este pequeno consumo, torna possível o funcionamento de rádios, instrumentos, televisores e outros aparelhos com baixíssimo consumo de energia elétrica, o que significa que com o advento dos semicondutores tornou-se possível a fabricação de rádios portáteis realmente e ao mesmo tempo econômicos. O fato de serem constituídos de cristal sólido, torna possível a construção de armações a prova de vibrações, muito importantes por exemplo, para equipamentos industriais ou militares; lhes é também possível suportar pressões para as quais não suportariam os equipamentos convencionais (Valvulas). Não necessitam de aquecimento previo para entrar em operação, isso ocorre no mesmo instante em que se aplica no mesmo uma tensão ou corrente.

Os elementos de estado sólido podem operar com tensões baixas de 1 a 25v (apesar de que se fabricam elementos que podem suportar tensões elevadas, por exemplo 1500v.) Isto não implica somente menor consumo, mas também mais segurança para uma pessoa que trabalhe com tensões reduzidas. Os receptores de rádio, calculadoras, brinquedos trabalham com baixas tensões, tornando-se seguros inclusive para as crianças. Seu tamanho pequeno e peso reduzido torna-o possível de ocupar pouco espaço. Os circuitos integrados formam dispositivos sofisticados e em um pequeno espaço integram não só circuitos simples como também complexos sistemas: um relógio, uma calculadora, podem caber em uma pequena pastilha onde o que ocupa maior espaço, são as conexões necessárias para uni-los a outros elementos como teclas, baterias e elementos de controle. A vantagem fundamental porém, reside no fato de que o circuito integrado está construído combinando muitos elementos em uma única peça economizando energia, peso e conexões externas.



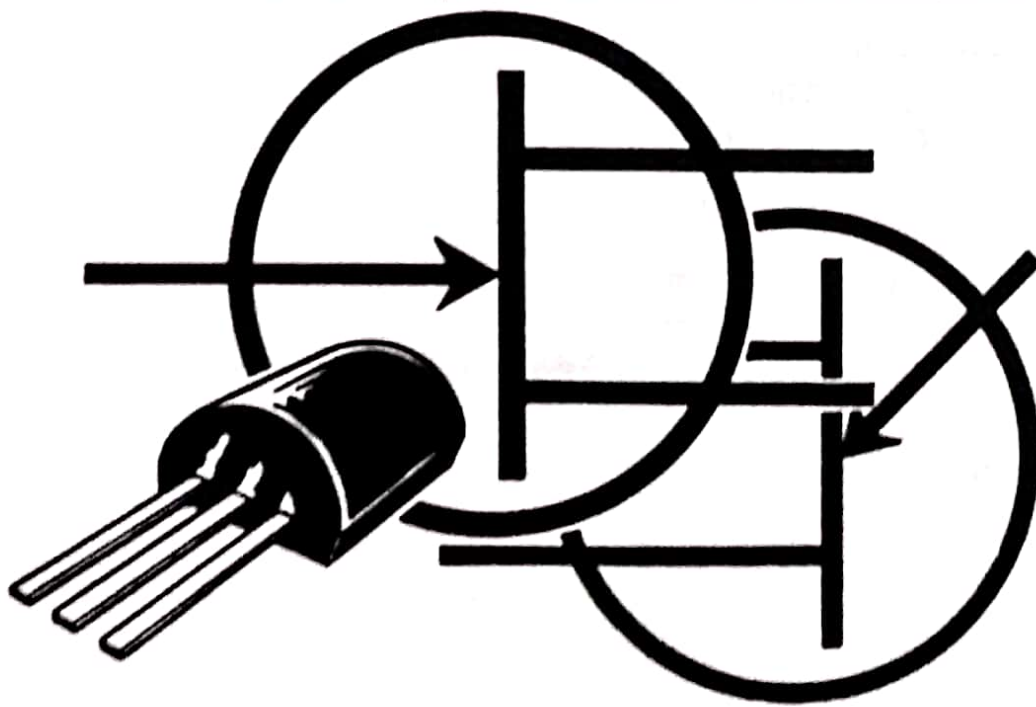
INCONVENIENTES DOS SEMICONDUTORES

Os dispositivos semicondutores têm alguns aspectos negativos, tais como a sensibilidade ao calor e as radiações. Em temperaturas altas as substâncias semicondutoras conduzem mais corrente, por isso não se pode operar com eles a altas temperaturas. Porém, por não gerar muito calor podem manter-se relativamente mais frios que outros dispositivos.

A prolongada exposição a altas temperaturas muda as características dos dispositivos semicondutores chegando a destruí-los. São sensíveis às radiações nucleares, já que estas interferem no funcionamento destes ao produzir condução nos mesmos e também podem danificar as substâncias cristalinas que o compõe, portanto é difícil utilizá-los onde as radiações são intensas. Mas já estão sendo desenvolvidos dispositivos pouco sensíveis às radiações.

Um dos tipos de transistores (os de efeito de campo-F.E.T. FIELD EFFECT TRANSISTOR) devem ser tratados com cuidado pois são sensíveis a eletricidade estática.

Os semicondutores estão sendo aperfeiçoados constantemente, permitindo obter elementos melhores a baixo custo. Revolucionaram a indústria eletrônica e agora estão revolucionando o mundo.



OS ÁTOMOS

Existem na natureza substâncias que conhecemos com o nome de elementos (hidrogênio, carbono, oxigênio, alumínio, ferro, etc.) Assim são chamados porque são substâncias elementares que formam toda matéria da natureza.

Se pensa que na realidade toda a natureza é energia e que os elementos são formas estáveis dessa energia. Poderíamos assim, dizer que a energia é uma forma ou estado da matéria ou que a substância é a condensação de energia, tendo-se assim os estados sólido, líquido, gasoso e energia.

A princípio se falou de uma certa quantidade de elementos (92) e esta quantidade logo foi se ampliando com os elementos que se obteve nos laboratórios de Física Nuclear. Talvez existiram esses elementos algum dia na natureza porém por serem instáveis (radioativos) desapareceram após algum tempo.

Ao vermos um distante monte de areia, podemos imaginar a forma que este representa e classificar como uma substância amarela, por exemplo. Porém ao aproximarmo-nos deste monte e toca-lo, verificaremos que é formado de pequenos grãos de matéria dura. Da mesma forma, qualquer substância que tomemos, se investigarmos sua menor composição, chegamos ao átomo (neste estudo não nos deteremos na molécula).

Para cada tipo de elemento existe um tipo distinto de átomos, os quais são idênticos para um único elemento.

Esses átomos são tão pequenos que não podemos vê-los separadamente, só percebemos grandes quantidades (como matéria), mas seu comportamento pode ser estudado por métodos indiretos.

Usamos, para entender o universo que nos rodeia, idéias simplificadas do mesmo, que chamamos de MODELO. É desse modo que se explica satisfatoriamente o comportamento dos distintos átomos com a existência de um núcleo de uma determinada carga elétrica que chamamos positiva e ao redor, girando, partículas que chamamos de elétrons e dizemos que têm carga negativa.

Os núcleos, atraem tantas cargas negativas quanto cargas positivas constituírem os mesmos. As cargas positivas damos o nome de prótons. Existem também no núcleo, partículas neutras (sem carga elétrica) os nêutrons, responsáveis por parte da massa (peso) do átomo. A carga positiva do núcleo determina o número atômico e com ele o comportamento do elemento, quer dizer, o tipo de elemento, como hidrogênio (1), oxigênio (8), enxofre (16) carbono (6), cobre (29), etc.

Nos quadrados da tabela se indicam:

-o símbolo do elemento; acima o número atômico; abaixo o peso atômico.

Dentro dos colchetes se indicam o número de massa dos isótopos mais estáveis ou melhores estudados.

Períodos	Séries	GRUPOS				
		I	II	III	IV	V
1	I	H ¹ 1,00797				
2	II	Li ³ 6,939	Be ⁴ 9,0122	B ⁵ 10,811	C ⁶ 12,01115	N ⁷ 14,0067
3	III	Na ¹¹ 22,9898	Mg ¹² 24,305	Al ¹³ 26,9815	Si ¹⁴ 28,086	P ¹⁵ 30,9738
4	IV	K ¹⁹ 39,102	Ca ²⁰ 40,08	Sc ²¹ 44,956	Ti ²² 47,90	V ²³ 50,942
	V	Cu ²⁹ 63,546	Zn ³⁰ 65,37	Ga ³¹ 69,72	Ge ³² 72,59	As ³³ 74,9216
5	VI	Rb ³⁷ 85,47	Sr ³⁸ 87,62	Y ³⁹ 88,905	Zr ⁴⁰ 91,22	Nb ⁴¹ 92,906
	VII	Ag ⁴⁷ 107,868	Cd ⁴⁸ 112,40	In ⁴⁹ 114,82	Sn ⁵⁰ 118,69	Sb ⁵¹ 121,75
6	VIII	Cs ⁵⁵ 132,905	Ba ⁵⁶ 137,34	La ⁽¹⁾ 138,91	Hf ⁷² 178,49	Ta ⁷³ 180,948
	IX	Au ⁷⁹ 196,967	Hg ⁸⁰ 200,59	Tl ⁸¹ 204,37	Pb ⁸² 207,19	Bi ⁸³ 208,980
7	X	Fr ⁸⁷ [223]	Ra ⁸⁸ [226]	Ac ⁽²⁾ [227]	Ku ¹⁰⁴ [260]	

(1) LANTANÍDOS (58 - 71)

Ce ⁵⁸ 140,12	Pr ⁵⁹ 140,907	Nd ⁶⁰ 144,24	Pm ⁶¹ [147]	Sm ⁶² 150,35	Eu ⁶³ 151,96	Gd ⁶⁴ 157,25
----------------------------	-----------------------------	----------------------------	---------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

(2) ACTINÍDOS (90 - 103)

Th ⁹⁰ 232,038	Pa ⁹¹ [231]	U ⁹² 238,03	Np ⁹³ [237]	Pu ⁹⁴ [244]	Am ⁹⁵ [243]	Cm ⁹⁶ [247]
-----------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

As colunas de números indicam a quantidade de elétrons ou camadas. Exemplo: o 1º número indica a camada K, o segundo a camada L e assim em diante.

DE ELEMENTOS									
VI		VII						VIII	
								He ²	
								4.0026 ₂	
⁸ O		⁹ F						Ne ¹⁰	
6 2 15,9994		7 2 18,9984						20,179 _{8 2}	
¹⁶ S		¹⁷ Cl						Ar ¹⁸	
6 8 2 32,064		7 8 2 35,453						39,948 _{8 8 2}	
²⁴ Cr		²⁵ Mn		²⁶ Fe		²⁷ Co		²⁸ Ni	
1 13 8 2 51,996		2 13 8 2 54,9380		2 14 8 2 55,847		2 15 8 2 58,9332		2 16 8 2 58,71	
³⁴ Se		³⁵ Br						Kr ³⁶	
6 18 8 2 78,96		7 18 8 2 79,904						83,80 _{8 18 8 2}	
⁴² Mo		⁴³ Tc		⁴⁴ Ru		⁴⁵ Rh		⁴⁶ Pd	
1 13 18 8 2 95,94		1 14 18 8 2 [99]		1 15 18 8 2 101,07		1 16 18 8 2 102,905		0 18 18 8 2 106,4	
⁵² Te		⁵³ I						Xe ⁵⁴	
6 18 18 8 2 127,60		7 18 18 8 2 126,9044						131,30 _{8 8 18 8 2}	
⁷⁴ W		⁷⁵ Re		⁷⁶ Os		⁷⁷ Ir		⁷⁸ Pt	
2 12 32 18 8 2 183,85		2 13 32 18 8 2 186,2		2 14 32 18 8 2 190,2		2 15 32 18 8 2 192,2		1 17 32 18 8 2 195,09	
⁸⁴ Po		⁸⁵ At						Rn ⁸⁶	
6 18 32 18 8 2 [210]		7 18 32 18 8 2 [210]						[222] _{8 18 32 18 8 2}	

⁶⁵ Tb	⁶⁶ Dy	⁶⁷ Ho	⁶⁸ Er	⁶⁹ Tu	⁷⁰ Yb	⁷¹ Lu
2 8 27 19 158,924 ₂	2 8 28 18 162,50 ₂	2 8 29 18 164,930 ₂	2 8 30 18 167,26 ₂	2 8 31 18 168,934 ₂	2 8 32 18 173,04 ₂	2 8 32 18 174,97 ₂

⁹⁷ Bk	⁹⁸ Cf	⁹⁹ Es	¹⁰⁰ Fm	¹⁰¹ Md	¹⁰² No	¹⁰³ Lr
2 8 27 32 18 8 2 [247]	2 8 28 32 18 8 2 [251]	2 8 29 32 18 8 2 [254]	2 8 30 32 18 8 2 [257]	2 8 31 32 18 8 2 [258]	2 8 32 32 18 8 2 [255]	2 8 32 18 8 2 [257]

Figura 1-4: Tabela periódica dos elementos de Mendeleiev.

Por estarem rodeados de elétrons, os núcleos não se tocam, portanto a ação entre as distintas partículas das substâncias, que chamamos de átomos se efetua pela ação dos elétrons que recobrem o núcleo em camadas

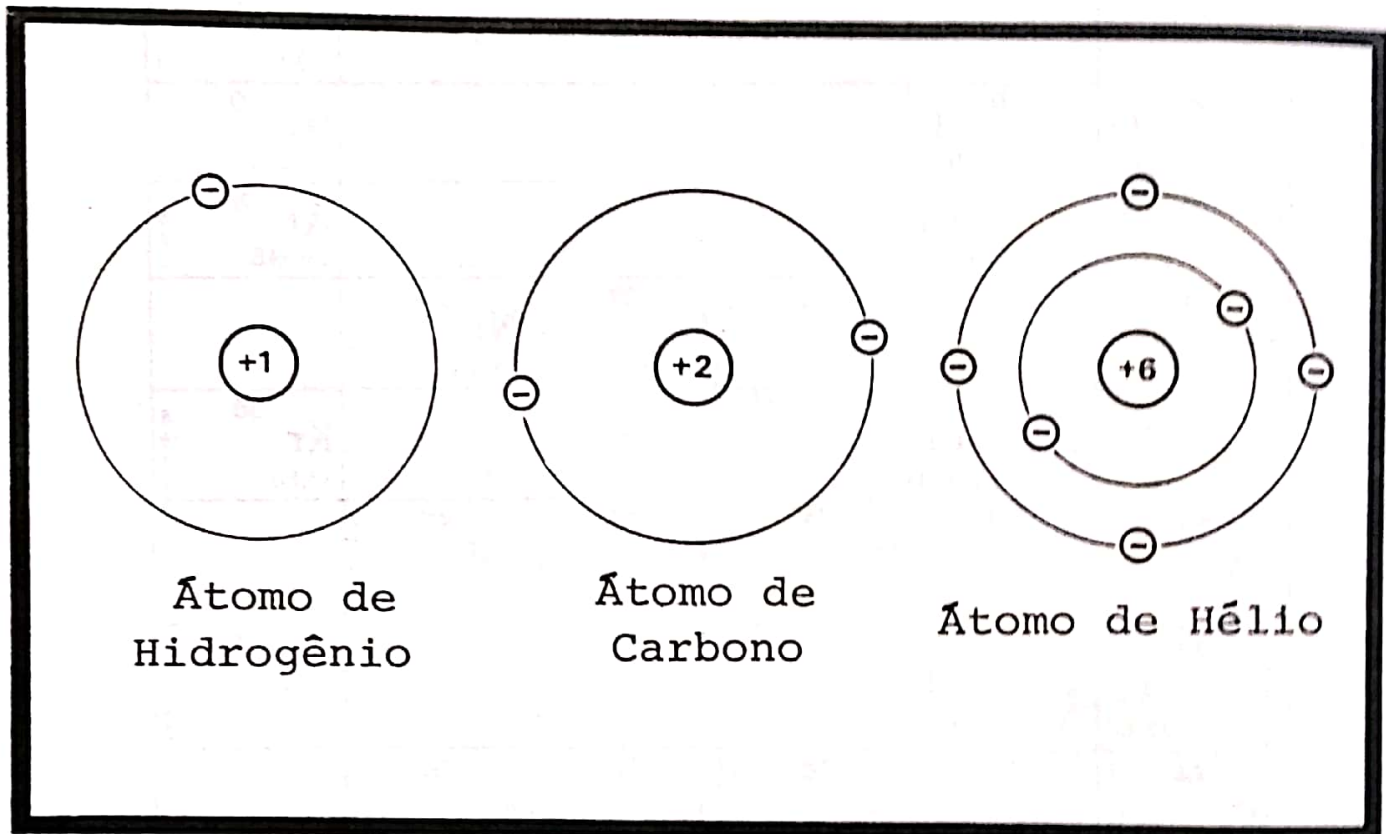


Figura 1-5: Átomos.

O hidrogênio que tem no núcleo uma carga positiva, tem ao redor um elétron; o hélio que tem duas cargas positivas no núcleo tem ao seu redor girando dois elétrons e o carbono, que tem seis cargas positivas no núcleo, tem ao seu redor girando seis elétrons.



ORBITAS DOS ELÉTRONS

Os elétrons se distribuem ao redor do núcleo em determinadas órbitas ou camadas, a primeira camada admite no máximo dois elétrons a segunda admite no máximo oito, a terceira no máximo dezoito, porém se a terceira for a última, forma uma configuração estável com 8 (oito) elétrons. SEMPRE NA ÚLTIMA CAMADA temos no máximo 8 (oito) elétrons.

Na figura 1-4 encontramos uma tabela periódica dos elementos. Os elementos cujo símbolo se encontra a direita do quadrado são os que cumprem as características de periodicidade.

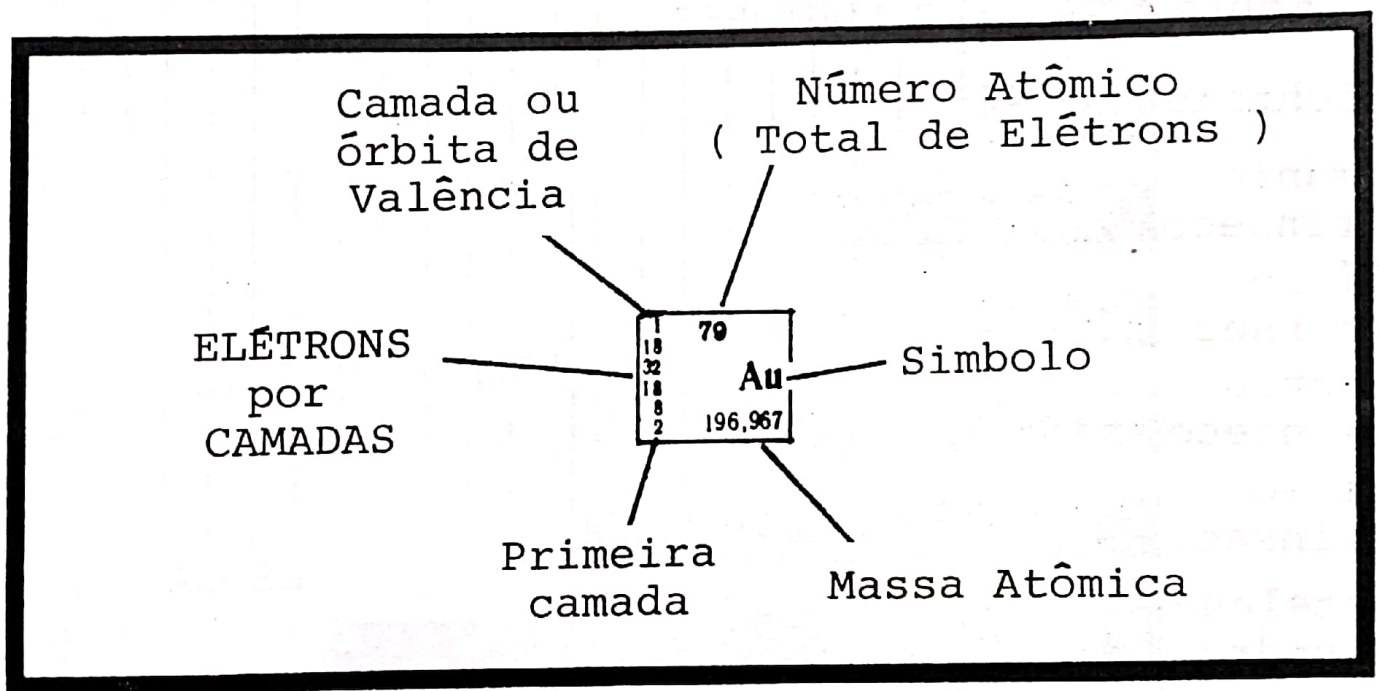


Figura 1-6 Cada quadro representa um elemento.

Do mesmo modo que distinguimos as maçãs por suas cascas-vermelhas, verdes, etc. - assim também distinguimos os átomos por seus elétrons (casca, camadas) em especial os que se encontram na camada externa.

São esses elétrons, na órbita externa do átomo, os que se podem mover com relativa facilidade de um átomo a outro, e são os que assim, permitem a condução de corrente elétrica.

Se observarmos a tabela periódica, vamos notar que os elementos que tem um, dois ou três elétrons na camada externa são em geral condutores, como o sódio (Na), magnésio (Mg), alumínio (Al), cobre (Cu). Isto porque tendo poucos elétrons na última camada tendem a cedê-los ao outro átomo do cristal (ou metal) que se encontram passando assim a ser elétrons "livres". É assim que os elétrons se movem com certa facilidade. Por outro lado os elementos que têm de 5 (cinco) a 7 (sete) elétrons na última camada são em geral, isolantes, já que tem maior tendência a captar e imobilizar esses elétrons livres completando sua órbita, do que ceder elétrons como por exemplo: o fósforo (P) o enxofre (S) o Iodo (I).

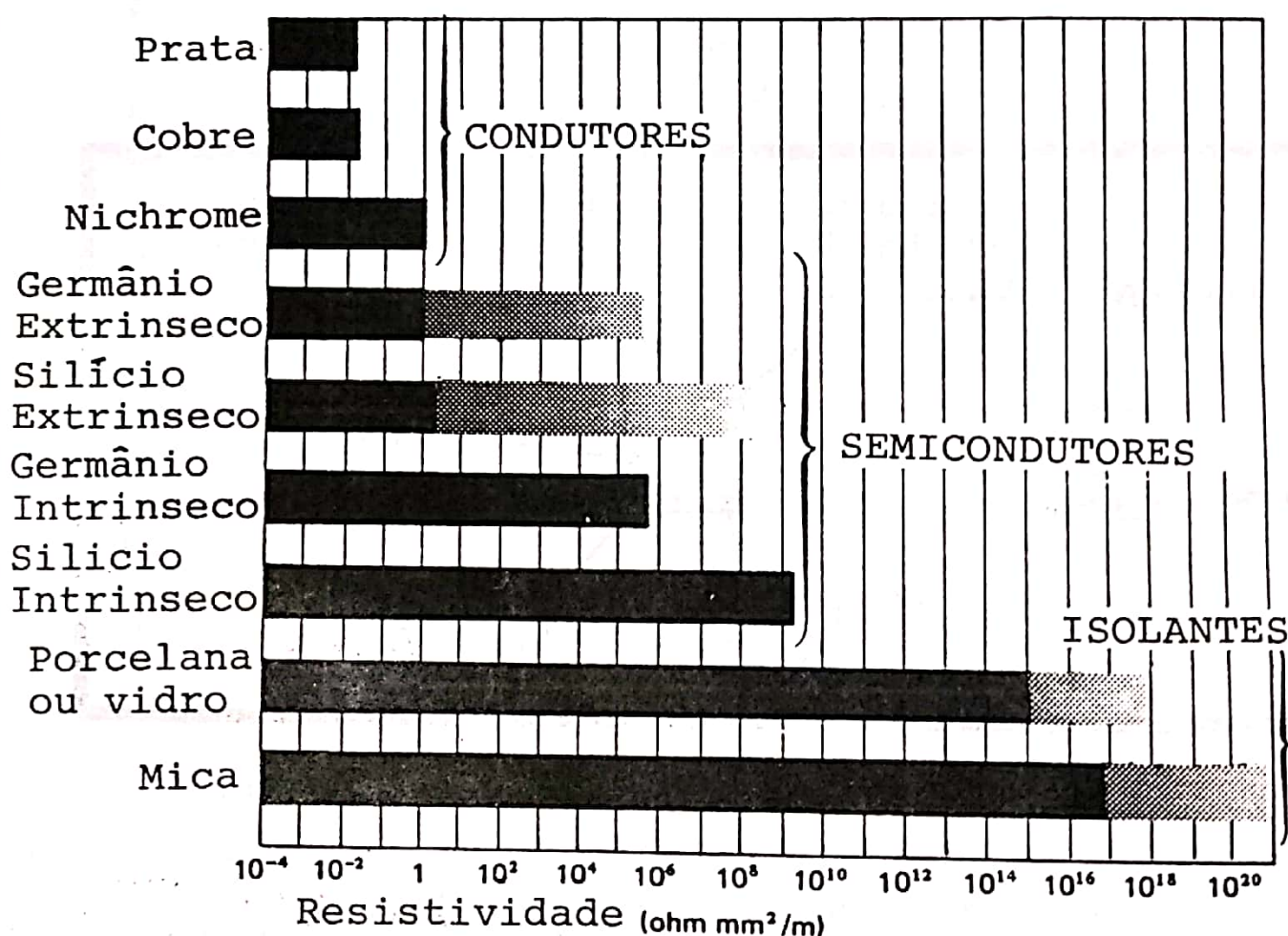


Figura 1-7: Condutores, Isoladores e Semicondutores.

A nós interessa especialmente um par de elementos que se utilizam para a construção de diodos e transistores; são os chamados semicondutores, em especial o germânio e o silício. São assim chamados (de semicondutores) pelo fato, como podemos ver no gráfico, de que não são nem bons condutores nem bons isoladores.

Existem outras substâncias semicondutoras, inclusive compostos porém esses dois são os mais comuns.

As propriedades mais uteis dos semicondutores aparecem ao se agregar pequenas quantidades de outras substâncias que chamamos de impurezas.

Quanto maior for a quantidade de impurezas, maior será a condutividade (ou seja, menor a resistividade). Como se pode ver no gráfico. Também a resistividade depende da temperatura e do tipo de impureza. Recordemos que os elétrons têm mais mobilidade que as lacunas, portanto as impurezas do tipo N diminuirão mais a resistividade que as impurezas do tipo P. Lacunas e tipos de impurezas serão estudados com mais detalhes em outra lição.

O germânio é por si mesmo, mais condutor que o silício: o gráfico abaixo mostra também que, acrescentando a mesma quantidade de impurezas, continua sendo mais condutor.

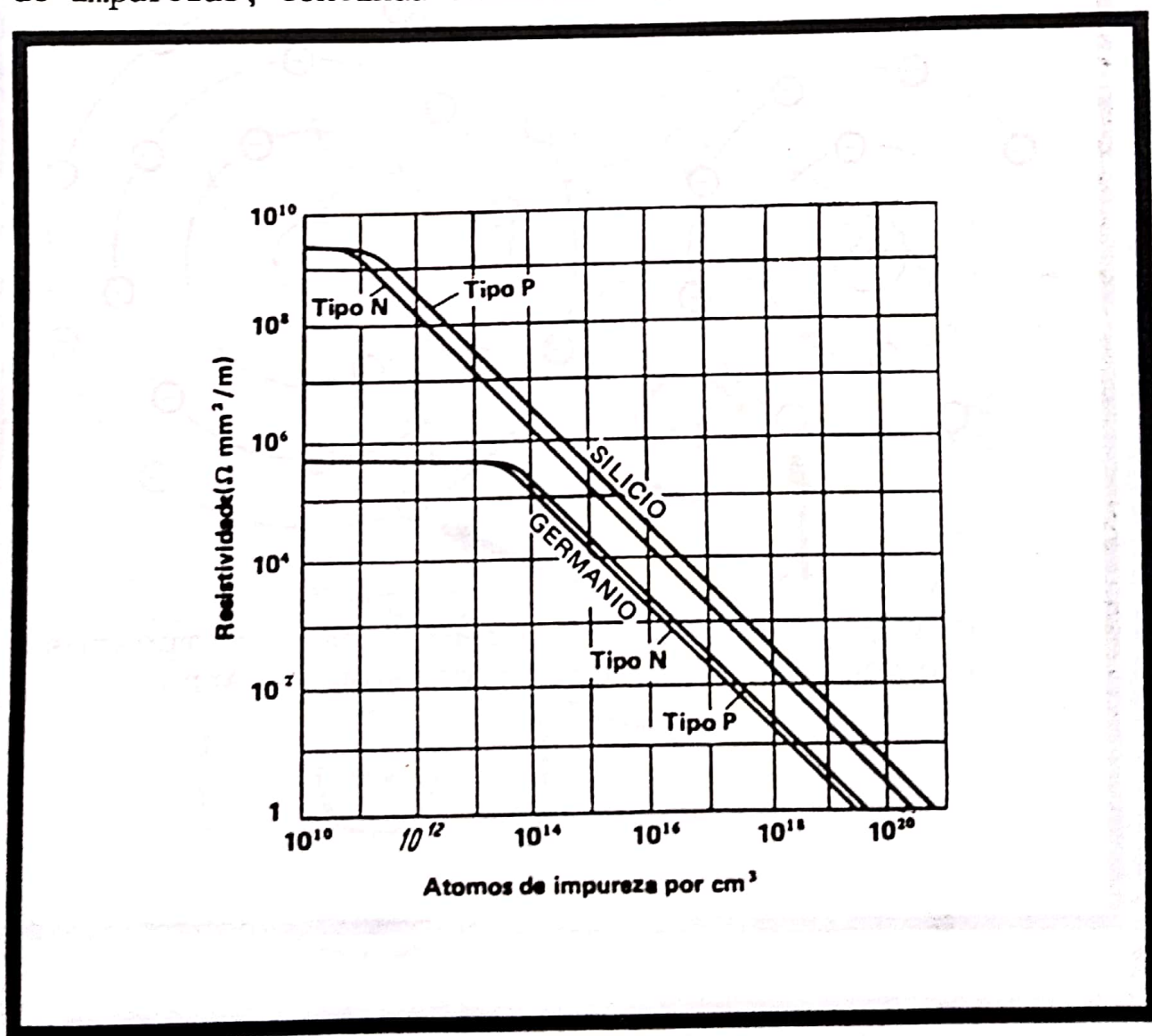
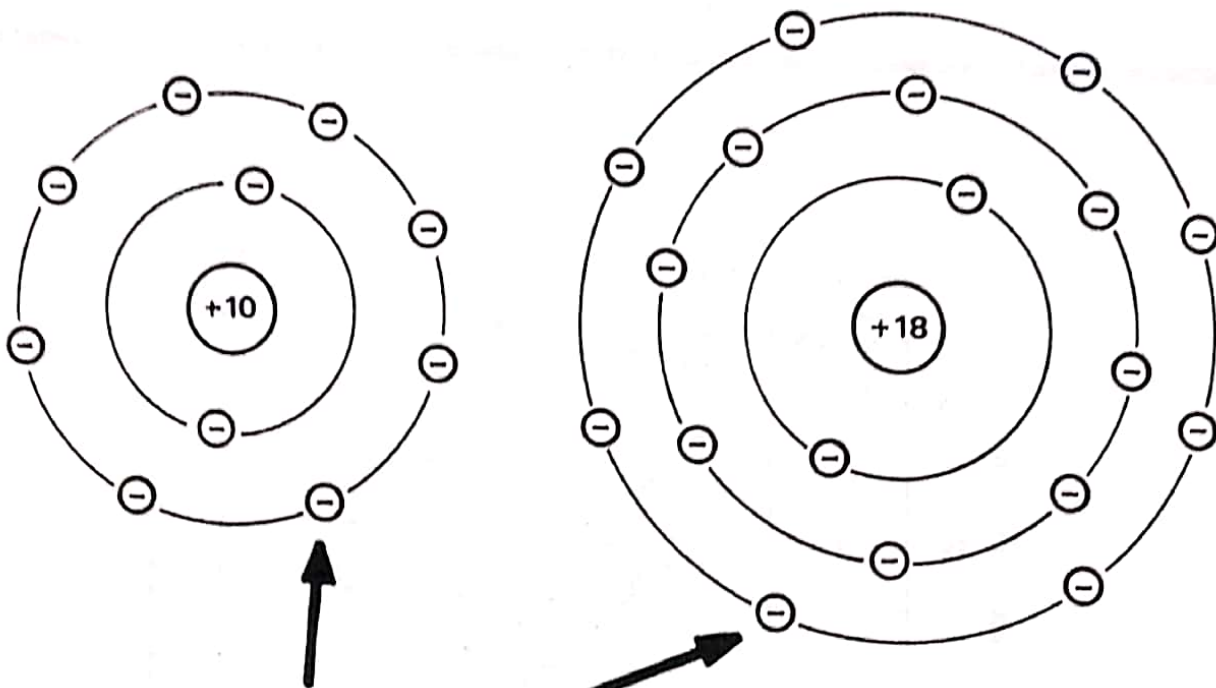


Figura 1-8: Resistividade do Germanio e do Silício.

TEMA 6

ÓRBITAS ESTÁVEIS

Os átomos se unem entre si até formar uma camada de elétrons externa que seja estável. A primeira camada é estável com dois elétrons, as demais com oito.



O Neônio e o Argônio não formam compostos porque têm completa a camada externa.

Figura 1-9: Neônio e Argônio.

O Hélio que tem dois elétrons na primeira camada é uma substância quimicamente inerte, quer dizer, não reage com outras substâncias, porque os elétrons de valência, que são os elétrons da última camada, completam uma órbita estável. O mesmo ocorre com o neônio, que tem dez elétrons, dois na primeira camada e oito na segunda (externa) que lhe dão a estabilidade que impede de reagir quimicamente. Outros elementos no entanto, que não possuem essas características, procuram unir seus elétrons com os dos outros elementos para completar a camada externa e estabilizar.

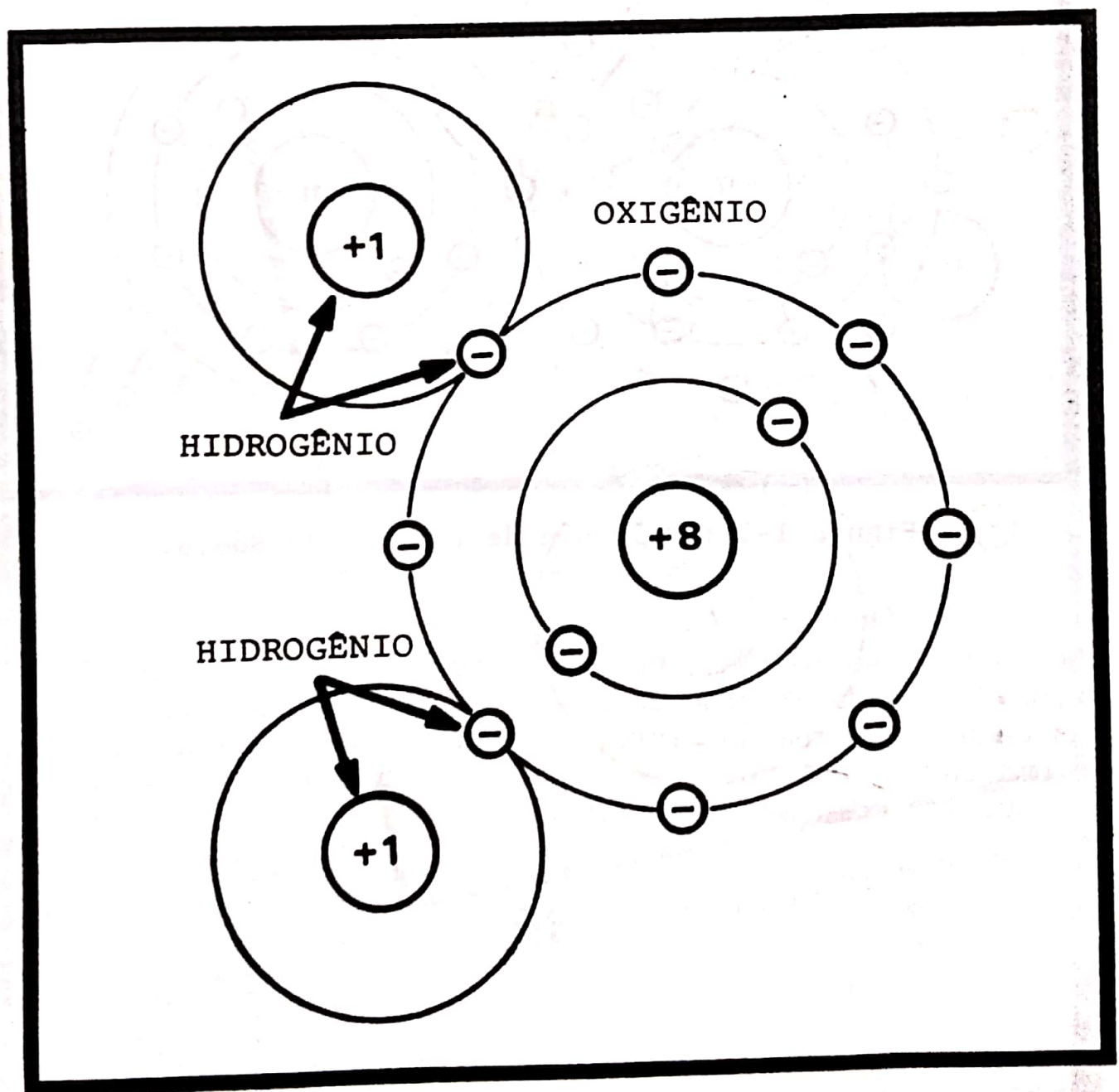


Figura 1-10: A Molécula de Água.

É assim que dois átomos de hidrogênio (H) que possuem um elétron, se unem com um átomo de oxigênio (O) que tem seis elétrons na sua camada externa, reunindo assim os oito elétrons e dando o composto estável água (H_2O).

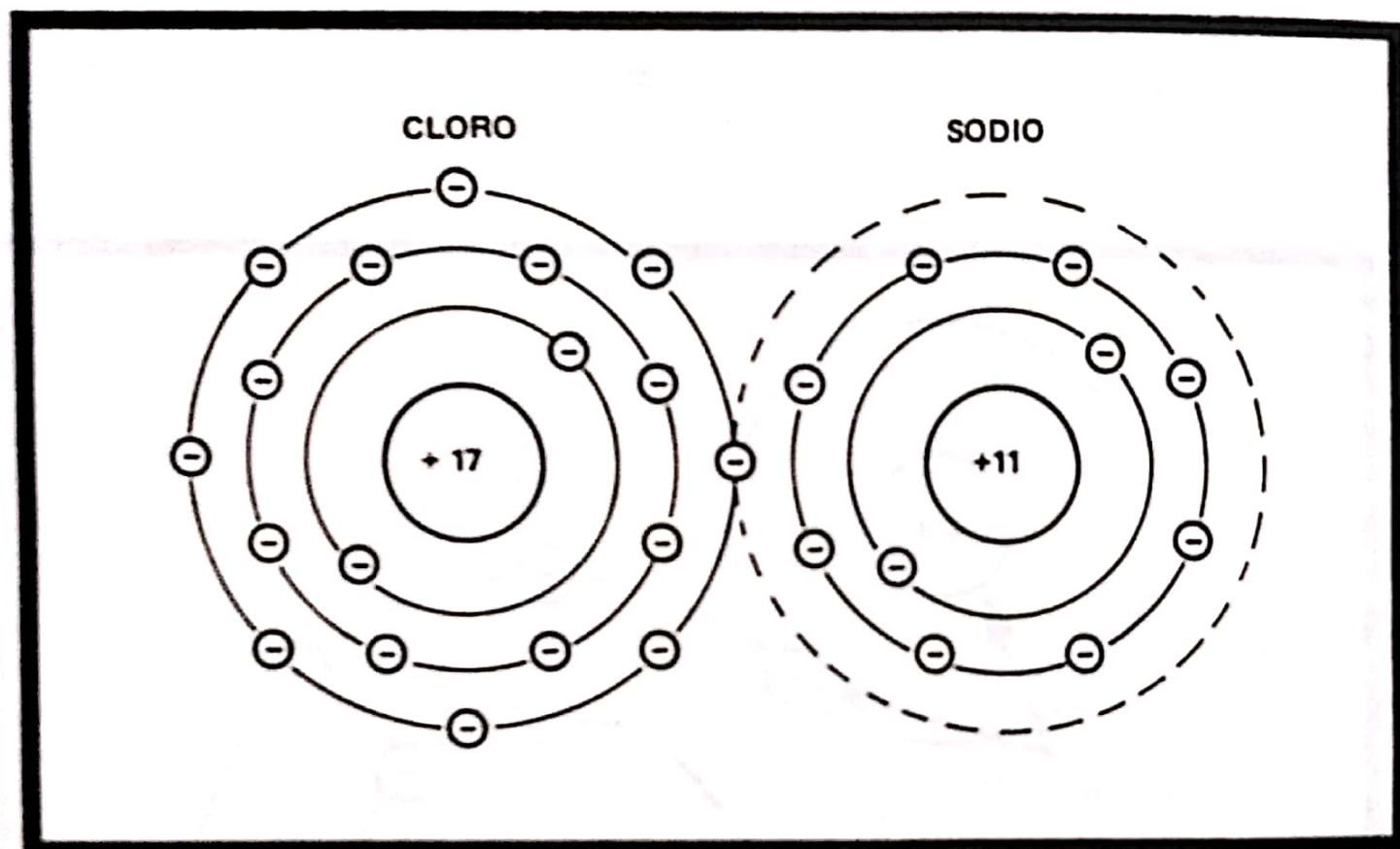


Figura 1-11: Molécula de Cloreto de Sódio.

No caso do sódio (Na), quando se combina com o cloro (Cl) o elétron da camada externa do sódio, se une com os sete elétrons da camada externa do cloro, completando em total de oito, que é uma camada estável e se obtém então o cloreto de sódio, que conhecemos como sal de cozinha.



CONVENÇÃO

A relação entre os átomos se dá através dos elétrons e em especial dos elétrons da camada ou banda externa, chamada também de Valência.

Para efeito de nossos estudos, vamos simplificar a representação gráfica dos elementos, indicando no centro, o número de cargas positivas resultantes da carga do núcleo, neutralizadas parcialmente pelas camadas de elétrons, exceto a última, por exemplo,

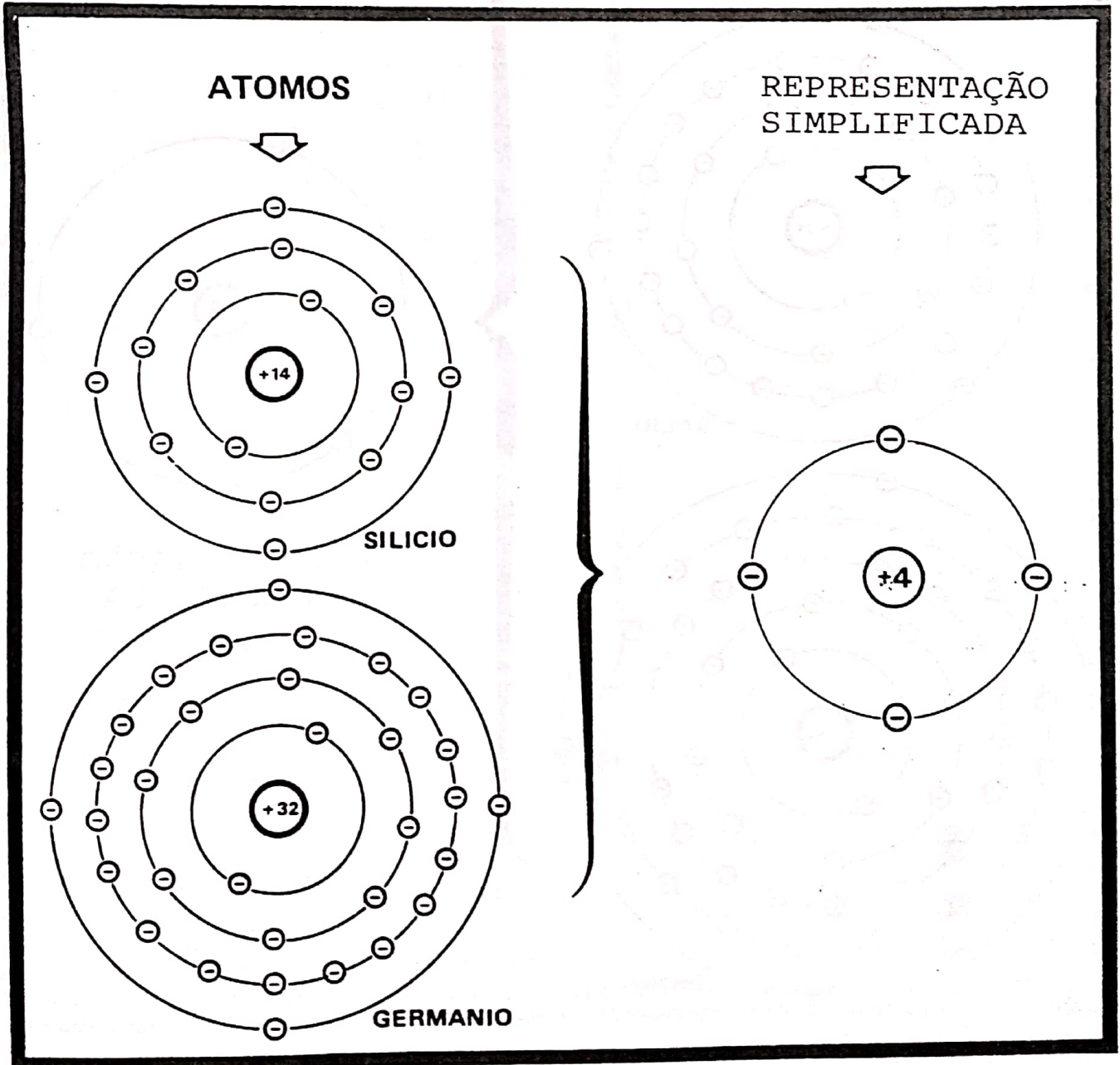


Figura 1-12a: Representação simplificada dos Semicondutores, com seus Eléctrons externos.

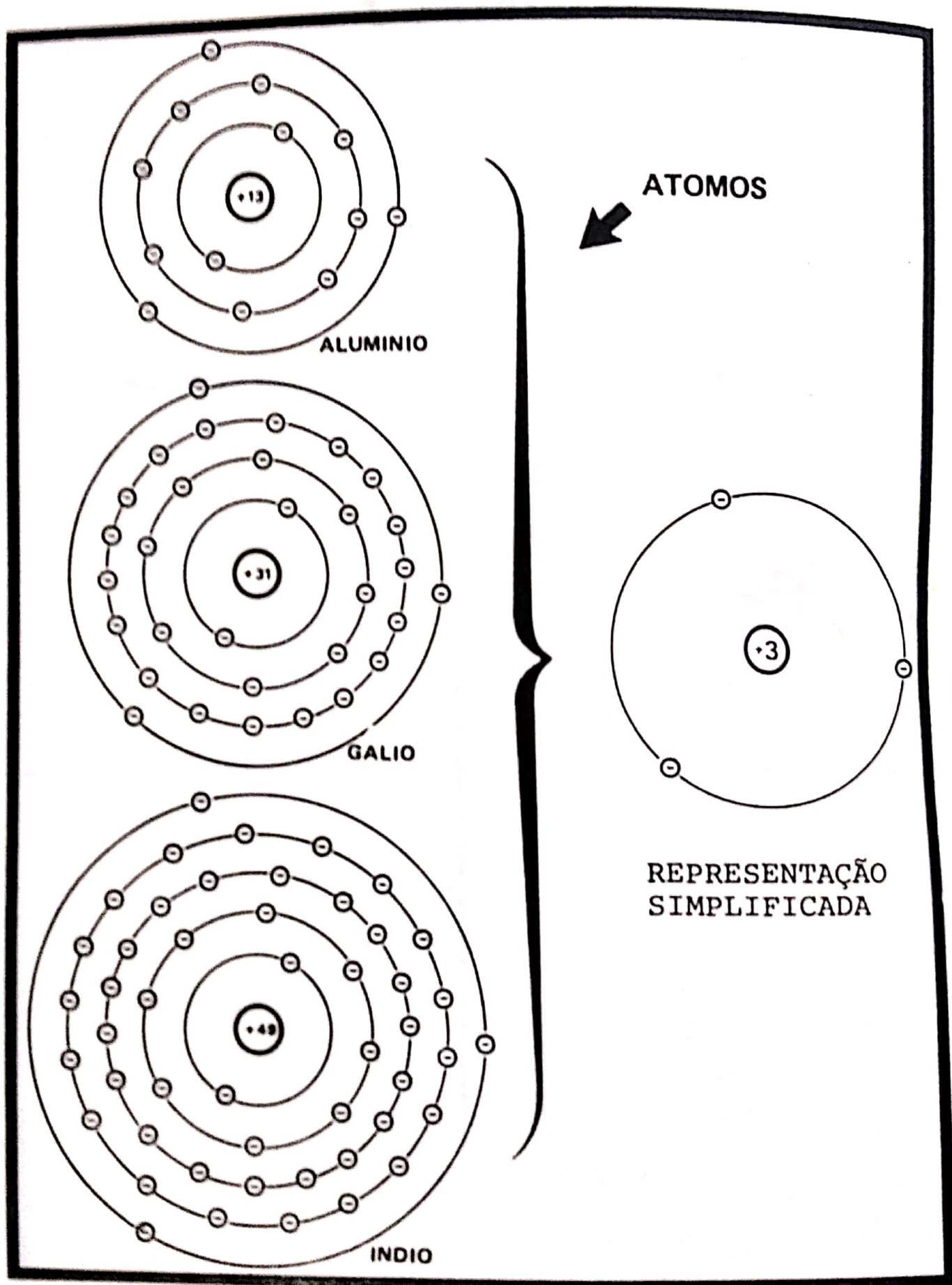


Figura 1-12b: Representação simplificada dos elementos usados como impureza tipo P.

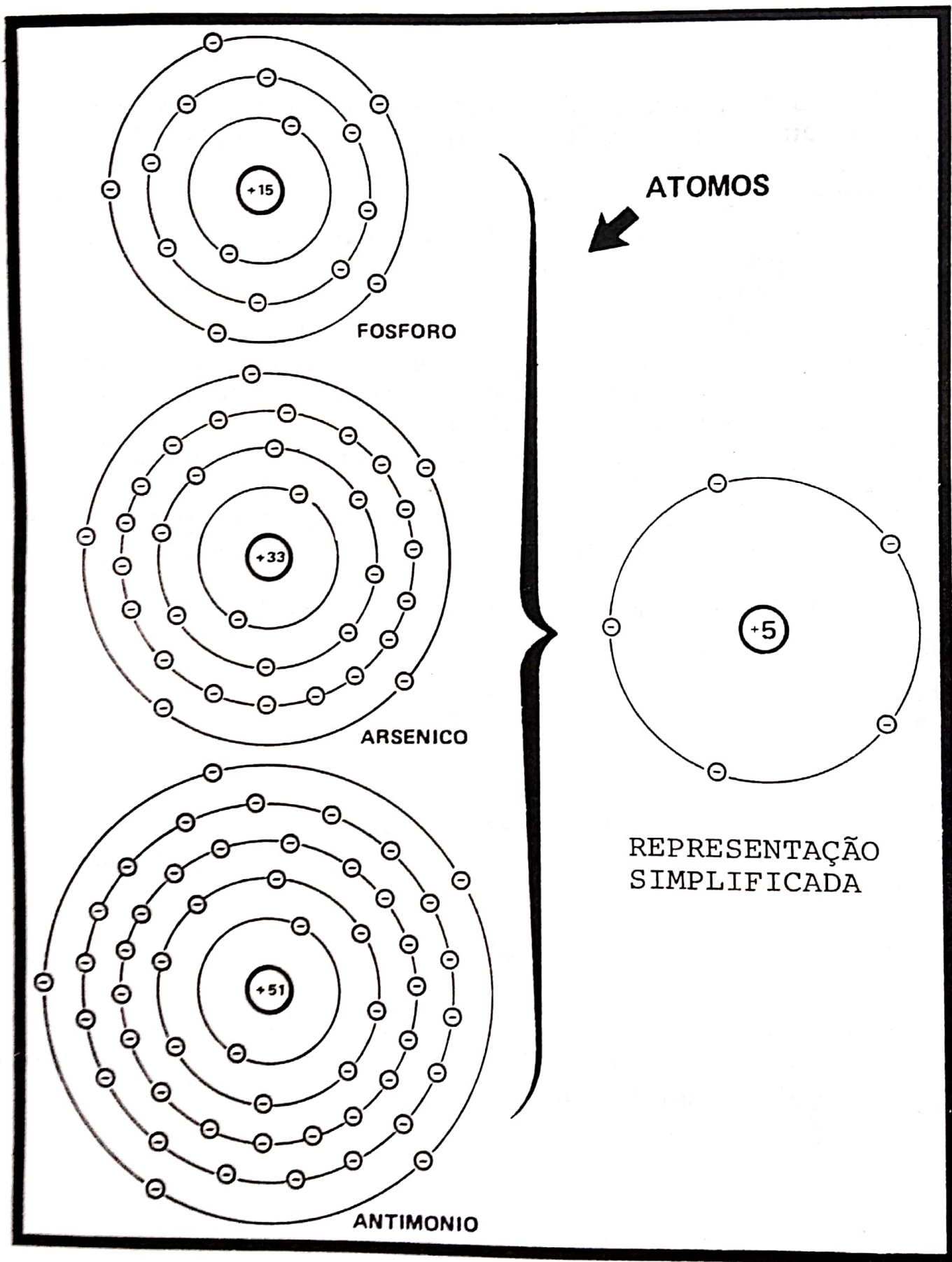


Figura 1-12c: Representação simplificada dos elementos usados como impureza tipo N.

RESUMO

Os átomos tem um núcleo de carga positiva e por esse motivo mantêm ao seu redor os elétrons que giram em camadas chamadas de órbitas.

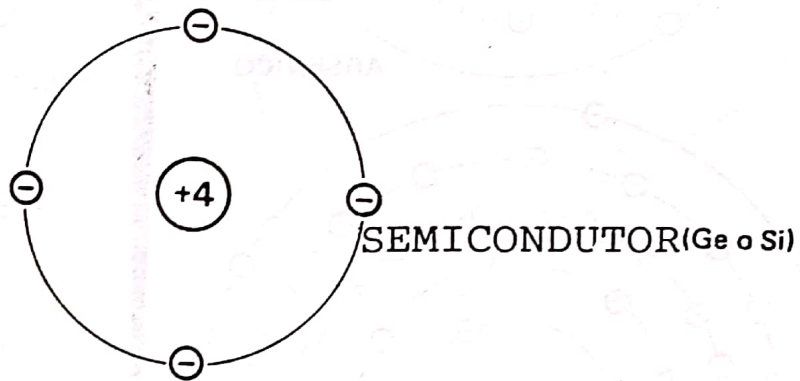
Cada átomo se relaciona com os demais por meio dos elétrons especialmente os das camadas mais externas. Como a quantidade de elétrons depende da carga do núcleo é a carga do núcleo que determina o tipo da substância.

A carga do núcleo é dada por partículas chamadas prótons. A quantidade de prótons, que se chama número atômico, determina o tipo da substância. Existem também os nêutrons que apenas contribuem para a massa (peso) do átomo.

Os átomos se combinam, compartilhando seus elétrons até completar uma camada externa (comum ou não) de 8 elétrons.

Existem substâncias condutoras, outras isolantes porém existem as que estão em uma situação intermediária que são os semicondutores.

Para simplificar, representaremos os átomos de Germânio e Silício, nestas lições como:



Esta simplificação é somente para fins didáticos. Não devemos confundir com o Berílio que tem um total de quatro elétrons, dois em sua primeira camada e dois em sua camada externa.