

4ª edição revisada

# ELETRICIDADE & ELETRÔNICA

*Básica*

Almir Wirth



ALTA BOOKS  
E D I T O R A  
Rio de Janeiro, 2013

# Sumário

<b>CAPÍTULO I: ELETRICIDADE E MAGNETISMO</b> .....	1
Estrutura Atômica da Matéria, Metais e Ligações Covalentes .....	1
Modelo de Rutherford – Bohr .....	1
Subníveis de energia .....	2
Modelo quântico .....	3
Camada de condução e camada de valência.....	7
Corpos Bons e Maus Condutores; Semicondutores.....	9
Carga Elétrica e Campo Elétrico .....	10
Linhas de Força de um Campo Elétrico .....	12
Energia Potencial Elétrica e Diferença de Potencial (ou Tensão) .....	13
Resistência e Corrente Elétricas e Lei de Ohm .....	15
Resistividade e Condutância.....	15
Valor e Tolerância dos Resistores.....	16
Resistores SMD ( “Surface Mounting Technology” - Montagem em Superfície) .....	18
O “Choque Elétrico” .....	18
Pilhas e Baterias .....	18
Capacidade e Durabilidade das Pilhas e Baterias .....	20
Tipos de Pilhas .....	20
Baterias (Acumuladores) de Chumbo .....	20
Baterias de Níquel-Cádmio.....	21
Circuitos com Ligação em Série, em Paralelo e Mista .....	22
Circuito com Ligação em Série .....	22
Circuito com Ligação em Paralelo .....	23
Circuitos com Ligação Mista .....	23
Leis de Kirchhoff .....	24
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado .....	24
Circuitos “Delta” e “Estrela”.....	26
Capacitores.....	26
Geradores e Receptores de Energia Elétrica, Força Eletromotriz (f.e.m) e Força Contra-Eletromotriz.....	30
Potência e Energia Elétrica .....	32
Velocidade Angular, Período, Frequência e Ondas Senoidais.....	33
Magnetismo .....	34
Campo magnético .....	34

Fluxo Magnético .....	36
Lei de Biot-Savart .....	37
Campo magnético de uma Espira Circular .....	38
Campo Magnético de um Condutor Reto .....	39
Lei de Ampère.....	41
Campo Magnético de um Solenoide.....	41
Força Magnética.....	42
Substâncias Magnéticas.....	46
Histerese Magnética.....	47
Eletroímã.....	47
Influência da temperatura sobre a Imantação .....	48
Indução Eletromagnética.....	48
Força Magnetomotriz (f.m.m.).....	54
Transformador.....	55
Corrente Alternada .....	56
Valor Médio e Valor Eficaz .....	58
Alternador e Dínamo .....	58
Impedância.....	59
Capacitor com Tensão Alternada .....	63
Circuito com R, L, e C em Série .....	64
Motores Elétricos.....	65
Motor de Corrente Contínua (CC).....	66
Motor de Corrente Alternada (CA) Síncrono.....	66
Motor CA de Indução.....	67
Motor de Passo.....	68
Instrumentos de Medição .....	68
Galvanômetro.....	68
Amperímetro .....	69
Voltímetro.....	71
Ponte de Wheatstone .....	72
Ohmímetro.....	72
Multímetro (Multiteste).....	74
Osciloscópio .....	75
Ondas Eletromagnéticas .....	76
Principais Unidades de Medida .....	78
Relações entre as Principais Unidades de Medida .....	79
Exercícios do Capítulo I.....	80
<b>CAPÍTULO II: CIRCUITOS COM CORRENTE ALTERNADA; FILTROS .....</b>	<b>87</b>
Análise de Circuitos com Corrente Alternada .....	87
Circuitos Puramente Resistivos.....	88
Circuitos com Capacitor .....	89
Circuitos Puramente Capacitivos com Corrente Alternada.....	89
Circuito R, C Série.....	90
Circuito R, C Paralelo .....	90
Circuito com Indutor .....	91
Circuito R, L Série.....	92
Circuito R, L Paralelo .....	92
Circuito R, L, C Série; Ressonância.....	93

Circuito R, L, C Paralelo; Ressonância .....	94
Filtros .....	95
Transmissão através de um Filtro .....	96
Filtro Passa-Baixas .....	97
Filtro Passa-Altas .....	98
Filtro Passa-Faixa .....	98
Filtro Rejeita-Faixa.....	100
Pulsos Gaussianos.....	100
Transmissão de um pulso Gaussiano através de um filtro Passa-baixas Gaussiano .....	102

### **CAPÍTULO III: DIODOS SEMICONDUTORES..... 103**

---

Materiais sólidos .....	103
Semicondutores.....	103
Ligações covalentes nos semicondutores.....	108
Quebra das Ligações Covalentes dos Semicondutores.....	108
Impurezas Doadoras .....	109
Junções PN.....	110
Polarização Inversa e Direta .....	111
Diodos Semicondutores .....	112
Capacitância e Circuito Equivalente do Diodo.....	112
Diodo Retificador.....	113
Teste de Diodos.....	114
Diversas Aplicações dos Diodos Semicondutores .....	115
Circuito Ceifador.....	115
Circuito Limitador .....	115
Circuito Retificador de Pico .....	115
Circuito Grampeador .....	116
Circuito Dobrador de Tensão .....	116
Principais Características Específicas do Diodo Semicondutor .....	116
Diodos Zener .....	117
Especificações dos Diodos Zener .....	118
Exemplos de Aplicações de Diodos Zener .....	119
Fonte de Corrente Contínua.....	120
Fotodiodos.....	121
Aplicações Típicas dos Fotodiodos.....	121
Diodo Túnel .....	122
Diodo LED.....	123
Principais Características dos LEDs.....	124
Diodo de Capacitância Variável (Varicap) .....	125
Diodo em Altas Frequências .....	126
Diodo PIN .....	128
Exercícios do Capítulo III.....	129

### **CAPÍTULO IV: TRANSISTORES BIPOLARES..... 133**

---

Definição .....	133
Introdução .....	133
Funcionamento .....	134
Relação entre Tensões e Relação entre Correntes do Transistor .....	136

Configuração de Transistores e Amplificação de Sinais .....	137
Configuração de Emissor Comum .....	137
Configuração de Base Comum .....	138
Configuração de Coletor Comum .....	139
Parâmetros $\alpha$ e $\beta$ .....	140
Correntes de Fuga dos Transistores .....	140
Tensões Reversas e de Ruptura .....	141
Curvas Características dos Transistores Bipolares .....	142
Curvas Características para a Montagem de Emissor Comum .....	143
Curvas Características para a Montagem de Base Comum .....	143
Curvas Características para a Montagem de Coletor Comum .....	144
Ponto de Trabalho (Q) .....	145
Curvas Características e Reta de Carga de um Transistor .....	146
Limitações dos Transistores .....	148
Limitações de Tensão .....	148
Limitações de Corrente .....	148
Limitações de Potência e Temperatura .....	148
Limitação em Frequência .....	150
Saturação e Corte dos Transistores Bipolares .....	151
Saturação .....	151
Corte .....	151
Região de Operação .....	152
Polarização .....	153
Polarização Simples .....	153
Polarização com Divisor de Tensão na Base e Resistor no Emissor .....	154
Função do Resistor de Emissor .....	154
Exercícios para Fixação do Aprendizado .....	155
Funcionamento em Corte e Saturação .....	156
Exemplos de Aplicações do Transistor como Chave .....	159
Ganhos de Tensão, Corrente e Potência .....	162
Teste de Transistores .....	163
Roteiro para Teste com Multímetro Analógico .....	163
Roteiro para Teste com Multímetro Digital .....	163
Classes de Amplificadores .....	164
Amplificador Classe A .....	164
Amplificador Classe B .....	164
Amplificador Classe AB .....	166
Amplificador Classe C .....	167
Transistor multiemissor .....	167
Fototransistor .....	168
Transdutor de Sinais de Fibras Óticas .....	169
Sensor Ótico Previamente Polarizado .....	169
Acoplador Óptico .....	170
Exercícios do Capítulo IV .....	170
<b>CAPÍTULO V: TRANSISTORES DE EFEITO DE CAMPO .....</b>	<b>175</b>
Introdução .....	175
JFET .....	176
Princípios de Funcionamento do JFET .....	176

Característica de Transferência do JFET .....	179
Limitações do JFET .....	179
Polarização do JFET .....	181
JFET Canal P .....	183
Aplicações de Transistores JFET .....	183
Amplificador AC .....	184
O Transistor MOS .....	185
Operação do NMOS Modo Crescimento .....	185
PMOS Modo Crescimento .....	187
Polarização do MOS .....	188
Aplicações de MOS Tipo Crescimento .....	191
Aplicações do MOS na área digital .....	192
Resistor MOS .....	192
Inversor MOS .....	193
a) Inversor MOS com carga resistiva pura .....	193
b) Inversor MOS com resistor de carga MOS .....	194
Mais Aplicações do MOS .....	196
O MOS como Chave .....	196
Circuito “NÃO E” .....	197
Circuito “NÃO OU” .....	197
MOS Complementar (CMOS) .....	198
Inversor CMOS .....	199
Circuito CMOS “NÃO E” .....	199
MOS Modo Depleção .....	201
Exercícios do Capítulo V .....	202
<b>CAPÍTULO VI: MULTIVIBRADORES .....</b>	<b>207</b>
Introdução .....	207
Multivibrador Astável .....	207
Funcionamento .....	208
Constante de Tempo do Circuito .....	212
Circuitos Simétricos .....	212
Razão de subida ( $t_s/t_c$ ) .....	213
Elementos do projeto .....	214
Capacitores .....	214
Cálculo de RB .....	214
Alimentação e Transistores .....	215
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado .....	215
Carga do circuito .....	216
Multivibrador Monoestável .....	217
Funcionamento .....	218
Multivibrador Biestável (flip-flop) .....	220
Flip-Flop RS .....	221
Flip-flop Tipo T .....	223
“Schmitt Trigger” .....	225
Funcionamento .....	226
Elementos do Projeto .....	227
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado .....	228
Exercícios do Capítulo VI .....	229

<b>CAPÍTULO VII: AMPLIFICADORES OPERACIONAIS .....</b>	<b>233</b>
<hr/>	
Amplificador Diferencial.....	233
Amplificador Diferencial Real .....	234
Razão de Rejeição ao Modo Comum.....	234
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado .....	235
Circuito Básico .....	236
Detalhamento dos Amplificadores Operacionais.....	237
Introdução .....	237
O AO Básico .....	240
O AO Ideal.....	241
Circuitos Operacionais Básicos .....	241
AO Inversor.....	241
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado .....	243
AO Não Inversor .....	244
Seguidor de Tensão (“Buffer”).....	246
Exemplos Numéricos para Fixação do Aprendizado.....	247
Somador (Mixer).....	248
Subtrator (Amplificador Diferencial).....	249
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado .....	250
Comparador .....	251
Integrador.....	252
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado .....	253
Diferenciador .....	254
Características de AO Real .....	256
Resposta em Frequência .....	256
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado .....	258
Tensão de Alimentação .....	259
Tensão de Saída .....	260
Offset de Saída .....	261
Offset de Entrada .....	262
Compensação de Offset.....	263
Rejeição ao Modo Comum .....	264
Características do AO 741 .....	265
Exercícios do Capítulo VII.....	266
<b>CAPÍTULO VIII: CIRCUITOS INTEGRADOS.....</b>	<b>271</b>
<hr/>	
Introdução .....	271
Fabricação de Circuitos Integrados .....	273
Fabricação de pastilhas de silício .....	274
Processo Epitaxial - Difundido .....	275
Abertura de janelas; Obtenção de ilhas .....	276
Fabricação de componentes eletrônicos .....	277
Fabricação de transistores .....	277
Fabricação de diodos .....	278
Fabricação de resistores .....	279
Fabricação de Capacitores .....	279
Fabricação de Indutâncias .....	281
Isolamento elétrico .....	281

---

Fabricação simultânea de todos os componentes de um circuito (Circuitos Integrados) .....	281
Fabricação Múltipla de CIs .....	282
Encapsulamento de CIs .....	283
Cápsula tipo TO .....	285
Cápsula tipo plano (“flat-pack”) .....	285
Cápsula “dual-em-linha” .....	285
Circuitos Integrados MOS .....	287
Características dos Circuitos Integrados .....	287
Escalas de Integração .....	289
Circuitos Integrados Lineares e Digitais .....	290
Reguladores de tensão .....	290
Circuito Integrado 741 (Amplificador Operacional) .....	291
Exemplos de CIs comerciais .....	293
Novas tecnologias .....	294
Nanotecnologia .....	295
Grafeno (“Graphene”) .....	295
Exercícios do Capítulo VIII .....	297
<b>Índice</b> .....	<b>299</b>

---



## **PREFÁCIO**

Dividimos esse livro em oito capítulos, cada vez que o leitor concluir um capítulo, ele terá adquirido base para o aprendizado dos próximos capítulos.

Nosso trabalho é autodidático, ou seja, a leitura desse livro proporciona a aprendizagem dos assuntos, sem a necessidade de participação do leitor em cursos com obrigação presencial.

O capítulo I é dedicado a Eletricidade e Magnetismo, no qual incluímos desde o assunto “Estrutura Atômica da Matéria” até “Ondas Eletromagnéticas”, e enfocamos, praticamente, todos os assuntos teóricos e práticos referentes a essa área.

No capítulo II detalhamos os circuitos com Correntes Alternadas e os Filtros.

O capítulo III dedica-se ao estudo dos Diodos Semicondutores, através do qual o leitor poderá adquirir os conhecimentos sobre quase todos os assuntos referentes a eles.

No capítulo IV descrevemos a Tecnologia dos Transistores Bipolares, e no capítulo V abordamos os Transistores de Efeito de Campo.

No capítulo VI descrevemos os vários tipos de Multivibradores.

O capítulo VII detalha os Amplificadores Operacionais, e por fim, o capítulo VIII aborda o assunto “Circuitos Integrados”.

Dessa forma, ao final da leitura deste livro, o leitor terá adquirido os conhecimentos básicos em Eletricidade, Magnetismo e Eletrônica, o que lhe garantirá a base suficiente para o estudo de qualquer tema relacionado a esses assuntos, como, por exemplo, Telecomunicações, Comunicações de Dados, Instrumentação, Hardware de Computadores, e Robótica, entre inúmeras outras áreas.

Este livro é dedicado aos estudantes e profissionais, tanto àqueles que não possuem base suficiente nessas disciplinas, quanto aos que precisam reciclar seus conhecimentos.

Procuramos desenvolver os assuntos mais relevantes para a vida profissional do leitor, enfocando os temas necessários, a fim de que após a leitura deste livro o leitor tenha adquirido os conhecimentos necessários para trabalhar em sua área.

**Almir Wirth**



## **SOBRE O AUTOR**

Almir Wirth Lima Junior é engenheiro civil e de telecomunicações com pós-graduação, mestrado, doutorado e pós-doutorado em Teleinformática.

Em suas atividades atuais, estão inclusos os serviços de consultoria em sistemas de telecomunicações, bem como ministrar aulas sobre telecomunicações e redes de computadores em cursos universitários. O autor tem mais de vinte e cinco anos de experiência como professor universitário.

Além disso, é titular da AWLJ Engenharia, empresa que tem como um dos objetivos a execução de serviços e consultorias em Telecomunicações/Informática.

Trabalhou 10 anos no extinto Sistema Telebrás, nas áreas de comutação, rede e transmissão, onde repassou diversos cursos relacionados às 3 áreas acima referidas. Atualmente, dedica-se à pesquisas de alto nível a respeito de cristais fotônicos e nanotecnologia, cujos resultados parciais já foram publicados em diversos conceituados jornais científicos mundo afora.

O autor lançou vários outros livros, incluindo “Tecnologias de Redes & Comunicações de Dados”, “Telecomunicações Modernas: Curso Básico”, “Telecomunicações Multimídia: Internet, Lan’s e Wan’s”, “Internet e Redes de Computadores”, “Tudo sobre Fibras Óticas - Teoria & Prática”, “Redes Digitais de Serviço RDSI/ISDN”, “Eletricidade e Eletrônica Básica”, “Hardware PC: Guia de Referência”, “Microsoft Project 2007” e “Autocad 2011”.



## CAPÍTULO I

# ELETRICIDADE E MAGNETISMO

### Estrutura Atômica da Matéria, Metais e Ligações Covalentes

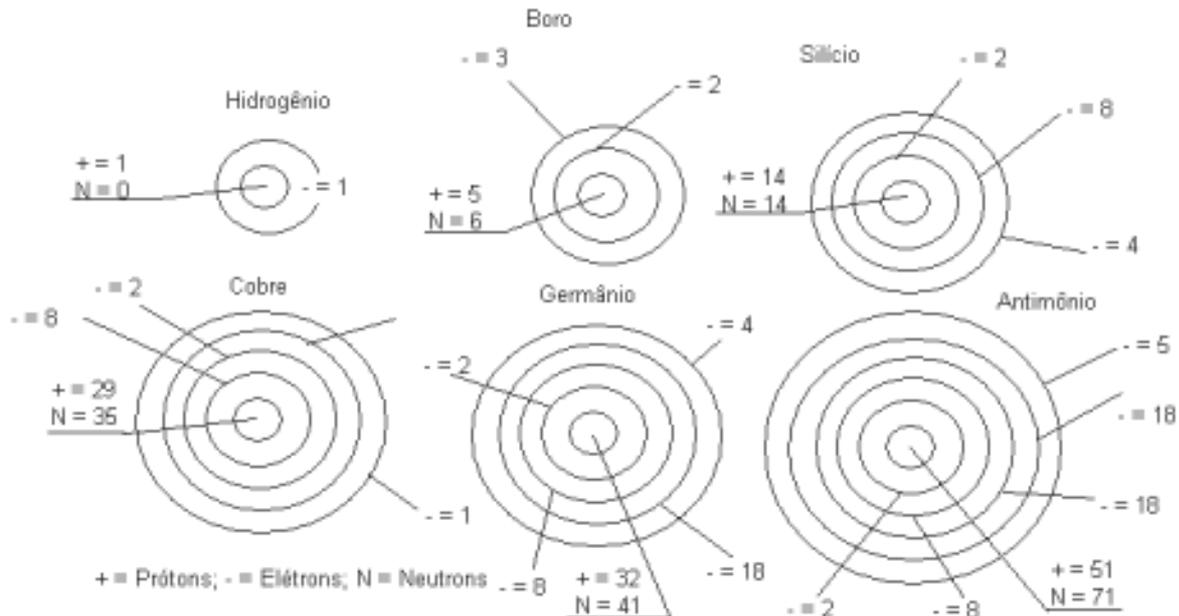
#### Modelo de Rutherford – Bohr

Uma teoria ainda hoje aceita sobre a estrutura atômica da matéria é a teoria de Rutherford, a qual afirma ser o átomo constituído de um núcleo formado por prótons e nêutrons, em torno do qual giram os elétrons. A física quântica, cada vez mais, descobre outros elementos internos do átomo, porém vamos ficar apenas com a teoria de Rutherford – Bohr, pois ela se adapta às nossas necessidades didáticas de embasamento e é suficiente para podermos adentrar na eletricidade básica.

Praticamente toda a massa do átomo concentra-se no núcleo, constituída de prótons, carregados positivamente, e nêutrons, que não possuem cargas. Portanto, devido aos prótons, o núcleo está carregado positivamente. Os elétrons possuem uma massa muito pequena, quase desprezível quando comparada à massa do núcleo, e movimentam-se ao redor do núcleo (órbitas) a distâncias de até dez mil vezes o diâmetro do núcleo, descrevendo órbitas fechadas e distribuídas em no máximo sete camadas. Os elétrons estão carregados negativamente.

Essas camadas de elétrons são denominadas de K, L, M, N, O, P e Q, sendo que a camada K é a camada mais próxima do núcleo, e a camada Q é a mais distante. As camadas intermediárias se afastam do núcleo conforme a ordem alfabética acima. Cada camada pode suportar um determinado número máximo de elétrons, conforme mostra a tabela a seguir:

CAMADAS	1 <sup>a</sup> (K)	2 <sup>a</sup> (L)	3 <sup>a</sup> (M)	4 <sup>a</sup> (N)	5 <sup>a</sup> (O)	6 <sup>a</sup> (P)	7 <sup>a</sup> (Q)
Nº Máximo de Elétrons	2	8	18	32	32	18	8



**Modelos atômicos de alguns átomos.**

A figura a seguir mostra alguns exemplos de modelos atômicos de alguns átomos:

Nesse modelo, é usado um único número quântico ( $n$ ), para descrever uma determinada órbita.

### Subníveis de energia

As camadas acima referidas (níveis de energia) são constituídas por subcamadas (subníveis de energia), designados pelas letras **s**, **p**, **d**, **f**. Cada nível de energia pode suportar uma quantidade máxima de elétrons de acordo com a tabela abaixo:

Subnível	s (0)	p (1)	d (2)	f (3)
Nº Máximo de Elétrons	2	6	10	14

Na próxima tabela, discriminamos a quantidade de Subníveis conhecidos em cada nível de energia:

Sub-nível	1s	2s 2p	3s 3p 3d	4s 4p 4d 4f	5s 5p 5d 5f	6s 6p 6d	7s
Nível	1	2	3	4	5	6	7
	K	L	M	N	O	P	Q

Os subníveis são preenchidos, sucessivamente, na ordem crescente de energia, de acordo com o número máximo de elétrons possível em cada subnível (Regra de Aufbau). Na próxima tabela mostramos o posicionamento dos subníveis nas camadas, as quais são preenchidas em ordem crescente de energia:

1s 2s 2p 3s 3p 4s 3d 4p 5s 4d 5p 6s 4f 5d 6p 7s 5f 6d

## Modelo quântico

Embora o modelo de Rutherford – Bohr explicasse muitas das características atômicas, existiam ainda alguns fatores que ainda não estavam explicados, como, por exemplo:

- Qual a razão do confinamento dos elétrons em níveis específicos de energia?
- Já que os elétrons mudavam de direção em suas órbitas circulares (ou seja, aceleravam), eles deveriam emitir luz. Então, porque os elétrons não emitiam luz o tempo todo?
- Como descrever, de forma mais detalhada, o comportamento dos elétrons posicionados na última camada?
- Quais razões explicam o confinamento dos elétrons na quantidade acima exibida em cada camada?

Os números quânticos são usados para a determinação da quantidade de energia dos elétrons, bem como para a descrição de sua posição nos átomos. Existem quatro números quânticos:

número quântico principal ( $n$ );

número quântico de momento angular ou azimutal ( $l$ );

número quântico magnético ( $m$ );

número quântico de spin ( $m_s$ ).

Os números quânticos  $n$ ,  $l$  e  $m$  são usados para descrever os orbitais atômicos, bem como para a caracterização dos elétrons que participam desses referidos orbitais atômicos. O número quântico  $m_s$  é utilizado para a determinação do comportamento específico de cada elétron. Qualquer par de elétrons pode ter até três números quânticos iguais, todavia neste caso, necessariamente, o quarto número quântico deverá ser diferente, ou seja, este par de elétrons estará ocupando o mesmo orbital sendo que os elétrons apresentam spins opostos.

**Número quântico principal ( $n$ )** – Indica o nível de energia do elétron no átomo. Entre os átomos conhecidos em seus estados fundamentais,  $n$  varia de 1 a 7, conforme acima detalhado.

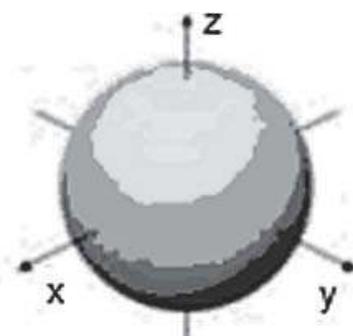
Vale salientar que quanto maior for o número  $n$ , mais distante está o elétron do núcleo. A energia do elétron cresce de acordo com o aumento do valor do número  $n$ , bem como o número máximo de elétrons em cada camada.

**Número quântico de momento angular ou azimutal ( $l$ )** – Indica a energia do elétron localizado em determinado subnível. Entre os átomos conhecidos em seus estados fun-

							
Camada	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
	K	L	M	N	O	P	Q
Qt. máxima de elétrons	2	8	18	32	32	18	2

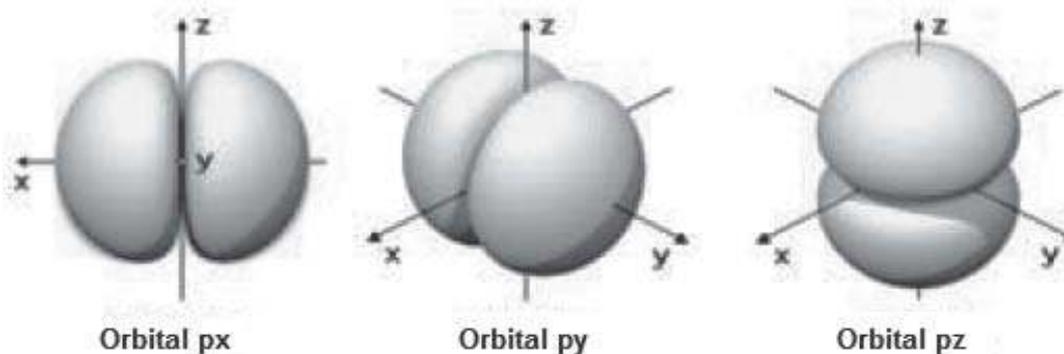
damentais,  $l$  varia de 0 a 3 (são representados pelas letras s, p, d, f, respectivamente). O número máximo de elétrons em cada subnível é dado por  $2 \cdot (2l + 1)$ , conforme determinado na tabela acima apresentada. Esse número quântico mostra a forma das orbitais. Portanto, o valor de  $l$  define o momento angular do elétron, sendo que o aumento do seu valor ocasiona o aumento correspondente do valor do momento angular.

**Número quântico magnético ( $m$ )** – Indica a energia do elétron no orbital, sendo que  $m$  varia de  $-l$  a  $+l$ . O número quântico magnético especifica a orientação permitida para uma nuvem eletrônica no espaço, sendo que o número de orientações permitidas está diretamente relacionado à forma da nuvem (designada pelo valor de  $l$ ). Dessa forma, este número quântico pode assumir valores inteiros de  $-l$ , passando por zero, até  $+l$ . Cada orbital comporta apenas 2 elétrons. Deste modo, há apenas 1 orbital no subnível s ( $l = 0$ ), 3 no subnível p ( $l = 1$ ), e assim por diante. No subnível s ( $l = 0$ ) existe somente uma orientação ( $m_l = 0$ ), conforme consta na próxima figura. Observe que os orbitais s possuem forma esférica, independentemente do nível ao qual pertencem, ou seja, não faz diferença se o orbital é 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, 6s ou 7s, pois todos são esféricos e não direcionais.



*Orbital do tipo  $m = 0$ .*

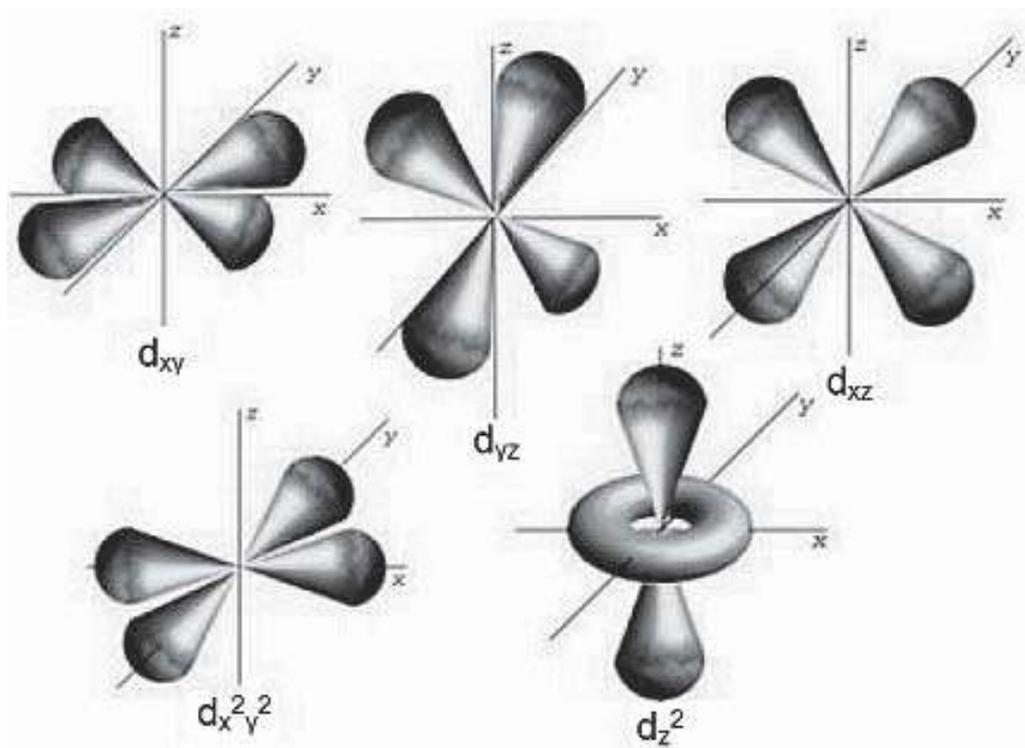
Na figura abaixo mostramos as orbitais referentes ao subnível p ( $l = 1$ ), onde existem três orientações permitidas, que ocorrem de acordo com os três possíveis valores de  $m_l$  ( $+1, 0, -1$ ). Os três orbitais p são denominados  $p_x$ ,  $p_y$  e  $p_z$ . A orientação dos orbitais seguem as direções dos três eixos cartesianos ( $x, y$  e  $z$ ), conforme aparece na figura.



*Orbitais do tipo  $m, +1, 0, -$ .*

Com relação ao subnível d ( $l = 2$ ), podemos afirmar que existem cinco orientações permitidas, ou seja, cinco valores de  $m_l$  ( $-2, -1, 0, +1, +2$ ). E são designados por  $d_{z^2}$ , cuja orientação coincide com o eixo z,  $d_{x^2-y^2}$ , onde a orientação coincide com os eixos x e y, simultaneamente;  $d_{xy}$ , o que significa que a orientação está entre os eixos x e y;  $d_{yz}$ , ou seja, a orientação entre os

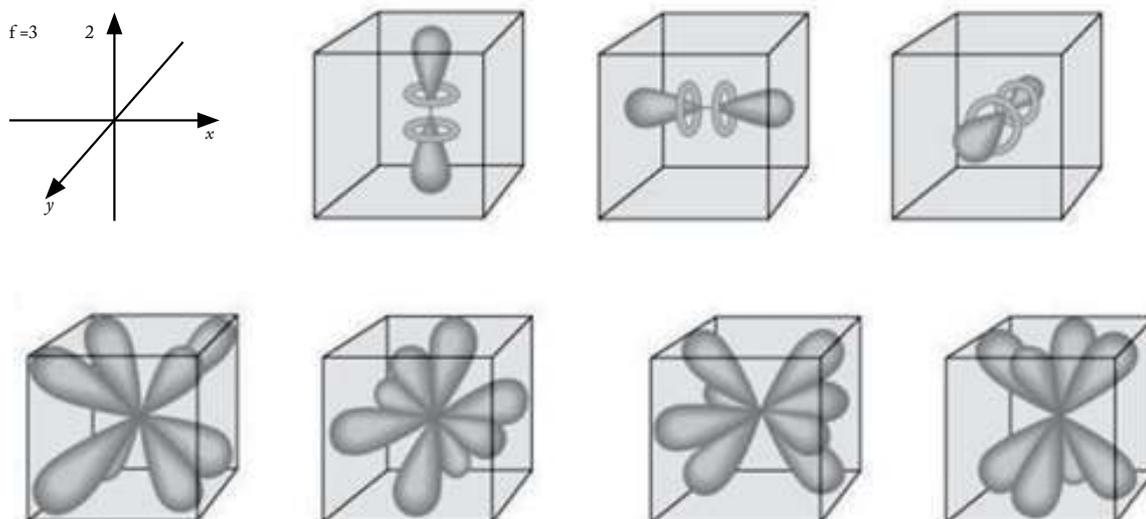
eixos y e z; e dxz, com a orientação entre os eixos x e z. Na figura a abaixo mostramos os detalhes de cada uma das orientações anteriormente descritas.



**Orbitais do tipo  $m_l, +2, +1, 0, -1, -2$ .**

O subnível f ( $l=3$ ) é composto por 7 orbitais  $m_l$  ( $-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$ ). Os orbitais do tipo f possuem formas variadas. O seu estudo torna-se importante apenas para os elementos do bloco f (transição interna da tabela periódica). Na próxima figura estão detalhadas as orbitais do subnível f.

O plano nodal é definido como um plano que divide o orbital ao meio, no qual a probabilidade do elétron de ser encontrado é nula. O núcleo do átomo localiza-se nesse plano.



**Orbitais do tipo  $m_l, +3, +2, +1, 0, -1, -2, -3$ .**

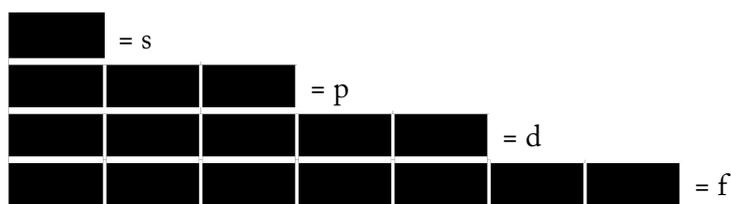
Observe que cada orbital f apresenta 3 planos nodais.

**Número quântico de spin ( $m_s$ )** – O Princípio da Exclusão de Pauli, afirma que podem existir apenas 2 elétrons em um orbital se estiverem em spins contrários. O número quântico  $m_s$  indica o movimento de rotação dos elétrons. Os “spins”  $+1/2$  ou  $-1/2$  representam o sentido de rotação, horário ou anti-horário do elétron ao redor do seu próprio eixo. Como existem apenas dois sentidos possíveis, este número quântico assume apenas os valores  $-1/2$  e  $+1/2$ , indicando a probabilidade de 50% do elétron de estar girando em um sentido ou no outro.

Um orbital pode ser representado da seguinte forma:

- Orbital possuindo apenas um elétron incompleto; .
- Orbital possuindo apenas um elétron contrário ao anterior; .
- Orbital possuindo 2 elétrons, cheios e completos, de spins contrários; .

Simbologia dos subníveis e seus orbitais.



## Exemplo de representação quântica de um átomo

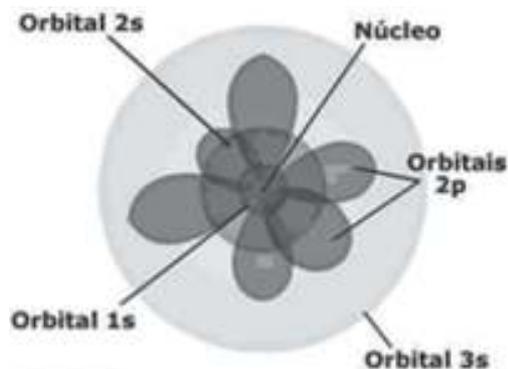
O átomo de sódio, por exemplo, possui 11 elétrons, os quais estão distribuídos nos seguintes níveis de energia:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ , onde o índice representa o número de elétrons em cada subnível. Portanto:

**Nível K:** um orbital s - dois elétrons.

**Nível L:** um orbital s - dois elétrons e três orbitais p (dois elétrons em cada orbital p), totalizando 8 elétrons.

**Nível M:** um orbital s - um elétron.

Na figura a seguir represento o átomo de sódio no modelo quântico.



*Modelo quântico de um átomo de sódio.*

Atualmente, o modelo quântico apresenta a forma mais real da estrutura geral do átomo. Por exemplo, na figura apresentada a seguir temos a moderna tabela periódica dos elementos, na qual os elementos são organizados de acordo com o seu número atômico, em vez de se basear em sua massa.

Tabela Periódica dos Elementos																																													
H																	He																												
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																												
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																												
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																												
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																												
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																												
Fr	Ra	Ac	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo	Uue	Uun	Uuu	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo																												
<table border="1"> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> </table>																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #cccccc; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Metais leves com orbitais incompletos</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #cccccc; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Orbitais incompletos</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #cccccc; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Não-metais com orbitais incompletos</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #cccccc; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Orbitais incompletos</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #cccccc; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Orbitais externos completos</li> </ul>																																													

*Atual tabela periódica dos elementos.*

Linhas - os elementos de cada linha têm o mesmo número de níveis de energia (camadas).

Colunas - os elementos têm o mesmo número de elétrons na camada ou nível de energia mais externo (de um a oito).

## Camada de condução e camada de valência

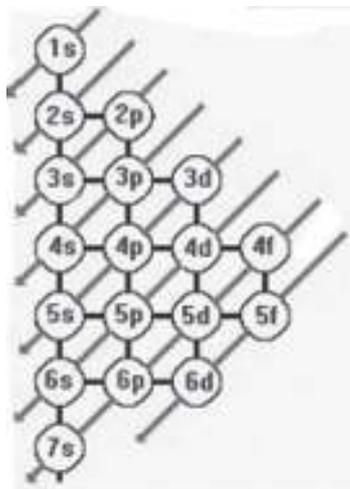
A camada externa de elétrons (última camada) é denominada camada de “valência”. Ela é responsável pela junção dos átomos a fim de formar uma molécula, que, por sua vez, ao unir-se com outras moléculas, forma um corpo.

Um átomo só é estável, ou seja, não se combina ou reage com outros átomos, quando a sua camada de valência possui oito elétrons ou, exclusivamente no caso do gás hélio, dois elétrons. Esses elementos com oito elétrons na camada de valência são denominados de gases nobres. Observe, na figura anterior, que o neônio é um gás nobre, pois possui oito elétrons em sua última camada. Todos os outros átomos, em condições normais, não podem existir sozinhos, ou seja, precisam se combinar a fim de atingir a estabilidade acima referida. Quando os átomos se combinam com outros átomos iguais, formam o que chamamos de substância simples. E quando se combinam com átomos diferentes, forma-se o que denominamos de substância composta.

Quando um átomo está em equilíbrio, o número de elétrons é igual ao número de prótons. Observe que o hidrogênio é o elemento mais simples, pois possui apenas um próton em seu núcleo e um elétron em órbita. Por outro lado, o urânio é um dos mais complexos, pois possui 92 prótons em seu núcleo e 92 elétrons em órbita.

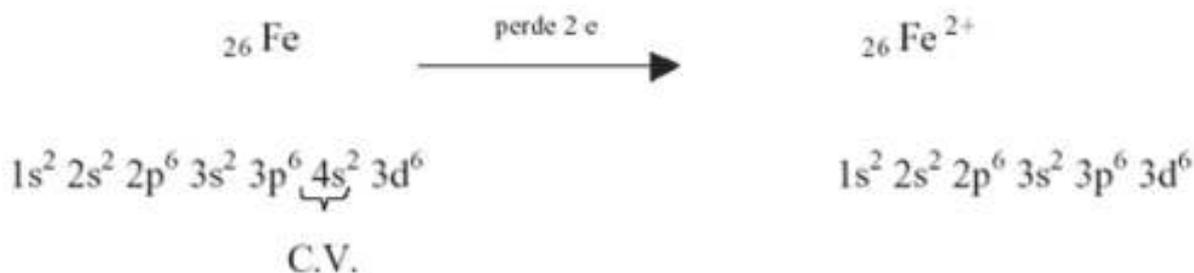
Quando um elétron sai de sua órbita, e também do átomo, esse átomo fica com carga total positiva, pois nesse caso haverá mais prótons do que elétrons. Quando isso acontece, esse átomo passa a ser denominado de “íon”.

O diagrama a seguir, conhecido como diagrama de Pauling, descreve como a distribuição eletrônica dos níveis e subníveis em ordem crescente de energia ocorre. Observe que, um subnível deve ser preenchido por completo, antes de ser iniciado o preenchimento do subnível seguinte.



*Diagrama de Pauling usado para a determinação da distribuição eletrônica.*

Por exemplo, o  ${}_{26}\text{Fe}$ , possui a seguinte distribuição eletrônica:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$ . Nos átomos neutros, o número de elétrons é igual ao de prótons. Entretanto, se um átomo neutro que recebe ou perde elétrons se transforma, denomina-se de **íon**. Por exemplo, para o íon  ${}_{26}\text{Fe}^{2+}$ , temos a seguinte distribuição eletrônica:



Observe que a perda (ou ganho) de elétrons não ocorre na camada eletrônica mais energética e sim na camada mais externa, a qual é denominada de camada de valência (C.V.).

Existem elementos cujos elétrons da última camada são fracamente atraídos. Portanto, esses elétrons podem ser retirados do seu átomo com facilidade. Os elementos químicos que possuem essa característica são denominados de metais. Por exemplo, o átomo de cobre, o qual é considerado um metal, possui apenas um elétron na sua última camada (camada de valência), que pode sair facilmente de seu átomo. Por outro lado, os elétrons que saem de seus átomos são denominados de elétrons livres, sendo responsáveis pela corrente elétrica, conforme veremos mais à frente. Nos metais (materiais condutores), os elétrons da última camada possuem ligações muito fracas, podendo movimentar-se de forma livre. O que mantém os elétrons presos aos seus respectivos átomos, é a força de atração exercida pelo núcleo, associado ao movimento circular do elétron em torno do núcleo. Note que em qualquer movimento circular existe uma força centrífuga, a qual empurra o corpo para fora do centro do movimento. No caso dos elétrons a força centrífuga empurra os elétrons para fora do núcleo. Entretanto, os prótons os puxam para dentro do átomo, mantendo-os em órbita. O equilíbrio destas duas forças é que mantém os elétrons ligados aos átomos. Podemos, então, concluir

que a força de atração atuante nos elétrons das últimas camadas é menor que a força que atua nos elétrons das primeiras camadas. Quando um elétron da camada de valência (última camada) recebe energia externa como, por exemplo, luz ou calor, e essa energia é maior que a força de atração exercida pelo núcleo, o elétron pode seguir para uma região acima da camada de valência, a qual se denomina de banda de condução. Estando na banda de condução, o elétron está livre para se deslocar pelo corpo do material, sendo o mesmo denominado elétron livre. Quando um elétron sai para a banda de condução, é criado um vazio energético no átomo, o qual é denominado de lacuna.

## Corpos Bons e Maus Condutores e Semicondutores

Conforme acima detalhado, um material é um bom condutor quando os elétrons da camada de valência (elétrons de valência) estão fracamente ligados ao átomo e podem sair dele com facilidade. Nessas condições, até mesmo à temperatura ambiente os elétrons de valência desprendem-se de seus átomos e seguem para outros em uma movimentação desordenada. Existe uma grande quantidade desses elétrons livres no interior de um bom corpo condutor, formando o que se chama de “nuvem eletrônica”. Aplicando-se uma tensão nas extremidades de um fio de cobre, por exemplo, os elétrons livres se movimentarão de forma ordenada, de acordo com o campo elétrico produzido, e formarão o que se denomina de “corrente elétrica”. Voltaremos a esse assunto mais à frente.

O ouro, a prata, o alumínio, além do cobre, são metais e bons condutores.

Por outro lado, quando os elétrons de valência estão ligados ao átomo de maneira bem firme, torna-se difícil arrancá-los de suas camadas. Esses materiais são maus condutores e denominados de “materiais isolantes”. Alguns elementos simples (constituídos de apenas um tipo de átomo) apresentam características isolantes, porém materiais compostos, como, por exemplo, a borracha, o teflon, a baquelita, etc., nos quais os elétrons estão firmemente ligados aos átomos, são materiais com maiores características isolantes. Quanto maior for a característica isolante do meio, mais difícil se torna a existência de uma corrente elétrica nesse ambiente. A dificuldade de se obter uma maior intensidade de corrente elétrica em um meio é conhecida como resistividade, ou resistência elétrica do material. Os semicondutores apresentam uma resistividade entre  $10^{-2}$  e  $10^{-6}$  ohm.cm .

Entre o grupo dos bons condutores e o dos maus condutores está o grupo dos materiais semicondutores, cuja resistividade é maior do que a dos metais (condutores), porém menor do que a dos materiais isolantes. Os semicondutores apresentam uma resistividade entre  $10^{-2}$  e  $10^{-6}$  ohm.cm. Mais à frente vamos estudar o que é ohm.

Os semicondutores mais utilizados na eletrônica são o silício (em maior escala) e o germânio, os quais são usados na fabricação de diodos, transistores e outros componentes eletrônicos, que serão estudados no capítulo III.

A tabela a seguir mostra a resistividade de alguns materiais bons condutores, semicondutores e isolantes.

Material	Resistividade (ohm.cm)
Prata	$1,6 \cdot 10^{-6}$
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-6}$
Ouro	$2,3 \cdot 10^{-6}$
Alumínio	$2,8 \cdot 10^{-6}$
Germânio	47
Silício	$21,4 \cdot 10^4$
Vidro	$5 \cdot 10^4$
Mica	$9 \cdot 10^{16}$
Quartzo	$75 \cdot 10^{18}$

## Carga Elétrica e Campo Elétrico

Vimos anteriormente que as cargas elementares são os prótons e os elétrons, os quais estão dentro de um átomo. Por convenção, adotou-se a carga do próton como positiva e a do elétron como negativa, o que significa dizer que essas cargas possuem polaridades opostas.

Ao aproximarmos duas cargas uma da outra, as de mesma polaridade se repelem e as de polaridades opostas se atraem.

A unidade adotada para se medir a quantidade de carga elétrica que um corpo possui denomina-se “coulomb” (C).

A menor carga negativa que existe (carga elementar) é a carga de um elétron, que é igual a  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C. Portanto, para se obter uma carga de 1 coulomb são necessários  $1/(1,6 \cdot 10^{-19}) = 6 \cdot 10^{18}$  elétrons. Lembre-se que, 1 cm<sup>3</sup> de cobre possui  $8 \cdot 10^{22}$  elétrons livres, o que corresponde a uma carga total de elétrons livres de  $1,33333 \cdot 10^4$  C.

Uma carga elétrica no espaço (Q), seja ela puntiforme (um ponto) ou distribuída, modifica as características do espaço que a envolve de tal modo que, ao colocarmos uma outra carga elétrica (q) nesse espaço circunvizinho à outra carga, surgirá uma força de origem elétrica na carga q.

Essa força que surge em q se dá por conta das características modificadas do espaço circunvizinho à carga Q, denominada de “campo elétrico”. Portanto, o campo elétrico é o espaço com características modificadas devido à presença de cargas elétricas e responsável pelo suporte às interações elétricas entre duas ou mais cargas elétricas.

É óbvio que a carga elétrica q também provoca um campo elétrico ao seu redor, o qual age sobre outras cargas situadas nesse campo.

A força elétrica que surge em uma carga elétrica devido à eletricidade existente na região onde se encontra essa carga é do tipo vetorial, ou seja, tem uma intensidade, uma direção e um sentido.

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

$\vec{F}$  = Vetor Força elétrica

q = Carga elétrica (número real)

$\vec{E}$  = Vetor Campo elétrico