



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA NATUREZA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL DO ENSINO DE FÍSICA

**UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DA GEOFÍSICA COMO  
MÉTODO DE ENSINO E APRENDIZAGEM PARA O ENSINO DE  
ELETRICIDADE**

**UM GUIA PARA O PROFESSOR**

Prof. Carlos Henrique Vieira  
Prof. Dr. Antônio Romero da Costa Pinheiro

## Lista de Figuras

Figura 1. Ilustração de Arranjo de campo (SEV) .....	10
Figura 2. Arranjo de Schlumberger .....	10
Figura 3. Desenho esquemático do circuito elétrico do experimento de eletroresistividade elétrica (Resistivímetro caseiro) .....	11
Figura 4. Imagem superior do circuito elétrico do resistivímetro caseiro. (a) Inversor de tensão elétrica, (b) disjuntor elétrico e (c) associação de capacitores em série .....	12
Figura 5. Imagem lateral do experimento de eletroresistividade, (a) associação de capacitores em série, (b) disjuntor elétrico, (c) transformador elétrico.....	13
Figura 6. Imagem frontal do resistivímetro caseiro totalmente construído .....	13
Figura 7. Associação de baterias em série utilizada no trabalho para alimentar o circuito elétrico.....	14
Figura 8. Ilustração de como é feita a ligação entre as baterias e também com o disjuntor elétrico .....	15
Figura 9. Um transformador ideal, formado por duas bobinas enroladas em um núcleo de ferro, ligado a uma fonte e uma carga. Um gerador de corrente alternada produz uma corrente no enrolamento da esquerda (o primário). O enrolamento da direita (o secundário) é ligado à carga resistiva R quando a chave S é fechada .....	17
Figura 10. Ilustração do Modelo Atômico de Bohr .....	22
Figura 11. Ilustração do princípio da atração e repulsão de cargas elétricas.....	23
Figura 12. Ilustração da eletrização de um material condutor (a) e de um material isolante (b). .....	24
Figura 13. Ilustração da série triboelétrica .....	25
Figura 14. Ilustração das formas de contato durante o processo de eletrização e a distribuição das cargas elétricas no processo de eletrização por contato.....	25
Figura 15. Ilustração do símbolo de aterramento, e também do processo de aterramento de um corpo eletrizado com carga negativa (a) e (b), isolado através de um suporte isolante, e também de um corpo eletrizado com carga positiva (c) e (d), isolado através de um suporte isolante .....	27
Figura 16. Ilustração do processo de eletrização por indução com carga negativa (a) e (b) e positiva (c) e (b) .....	27
Figura 17. Ilustração da balança de torção, utilizada por Coulomb na determinação da Força elétrica de interação entre cargas elétricas .....	28
Figura 18. Ilustração das forças de interações elétricas entre as cargas.....	29
Figura 19. Ilustração do sentido do campo elétrico de uma carga positiva e negativa .....	30
Figura 20. Ilustração do gráfico do campo E de uma carga puntiforme em relação à distância .....	31
Figura 21. Ilustração da orientação das linhas de campo elétrica de uma carga positiva e uma carga negativa .....	32
Figura 22. Ilustração do comportamento das linhas de força de um dipolo elétrico.....	32
Figura 23. Ilustração do comportamento das linhas de força de cargas de sinais iguais, como a de cargas positivas .....	33
Figura 24. Ilustração do vetor campo elétrico nas linhas de força de um campo elétrico.....	33
Figura 25. Ilustração do campo elétrico uniforme entre duas placas paralelas .....	33
Figura 26. Ilustração do campo elétrico de um condutor em equilíbrio eletrostático.....	34
Figura 27. Ilustração da analogia entre potencial gravitacional (a) e potencial elétrico em (b) .....	35
Figura 28. Ilustração da diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um campo elétrico.....	36
Figura 29. Ilustração da diferença de potencial (U) em um campo elétrico uniforme .....	37
Figura 30. Ilustração de superfícies equipotenciais de uma carga positiva e negativa .....	38
Figura 31. Ilustração das linhas equipotenciais em um campo elétrico uniforme .....	39
Figura 32. Representação simbólica de um capacitor.....	39
Figura 33. Exemplos de capacitores .....	40
Figura 34. Ilustração de um capacitor de placas paralelas submetido a uma ddp.....	40
Figura 35. Em (a) uma ilustração de um esquema de um capacitor simples, e em (b) uma ilustração de como se comporta o campo elétrico entre as placas de um capacitor de placas paralelas.....	41

Figura 36. Gráfico da carga (Q) do capacitor em função da ddp (U) .....	41
Figura 37. Ilustração de uma associação em paralelo de capacitores .....	42
Figura 38. Ilustração de uma associação de capacitores em série .....	43
Figura 39. Ilustração do movimento desordenado de elétrons livre (a) e o movimento ordenado de elétrons livres (b) dentro de um condutor .....	44
Figura 40. Ilustração do sentido real e convencional da corrente elétrica.....	45
Figura 41. Gráficos do comportamento da corrente contínua (a) e da corrente alternada (b) .....	45
Figura 42. Imagem de uma placa solar, um gerador elétrico .....	46
Figura 43. Representação simbólica de um gerador elétrico.....	46
Figura 44. Representação simbólica de um receptor elétrico .....	47
Figura 45. Representações simbólicas de um resistor.....	47
Figura 46. Representação simbólica de um dispositivo de manobra aberto e fechado .....	47
Figura 47. Representação simbólica de um dispositivo de segurança .....	47
Figura 48. Representação simbólica de um amperímetro (a), de um voltímetro (b) e de um galvanômetro (c) .....	48
Figura 49. Ilustração de um circuito sendo percorrido por corrente elétrica, composto por um resistor e uma pilha .....	48
Figura 50. Ilustração de um resistor, sendo (S) a área da seção transversal, (l) o comprimento do resistor.....	49
Figura 51. Comportamento gráfico de um resistor ôhmico e não ôhmico .....	50
Figura 52. Ilustração de uma associação em série (a) e de um resistor equivalente (b).....	50
Figura 53. Ilustração de uma associação em paralelo de resistores .....	51
Figura 54. Ilustração de um circuito com uma associação mista de resistores.....	52
Figura 55. Imagem de um galvanômetro .....	53
Figura 56. Ilustração de como o amperímetro é posicionado dentro de um circuito elétrico para aferir a intensidade da corrente elétrica .....	53
Figura 57. Ilustração de um voltímetro associado em paralelo com os pontos onde quer se medir a ddp..	54
Figura 58. Ilustração de um circuito gerador-resistor .....	54
Figura 59. Representação simbólica de um gerador elétrico.....	55
Figura 60. Ilustração de um gerador elétrico, mostrando a queda de potencial elétrico provocado pela resistência interna .....	55
Figura 61. Gráfico $U \times i$ de um gerador .....	56
Figura 62. Ilustração do circuito bateria e gerador .....	57
Figura 63. Ilustração de geradores associados em série.....	58
Figura 64. Ilustração de uma associação em paralelo de geradores.....	58
Figura 65. (SEV) Arranjo de Schlumberger.....	62
Figura 66. Ilustração do método de eletrorresistividade de Schlumberger .....	62

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Quadro de aplicação dos conteúdos da sequência didática.....	8
Quadro 2. Materiais utilizados para confecção do experimento e quantidade de cada item.....	11
Quadro 3. Possíveis perguntas que podem ser feitas pelo professor para introduzir o assunto de eletricidade e geofísica aplicada.....	20

## Sumário

<b>1. Sequência da uma abordagem experimental da geofísica como método de ensino e aprendizagem para o ensino de eletricidade</b> .....	8
<b>1.1 Aspectos Iniciais</b> .....	9
1.1.1 <i>O experimento de eletorresistividade</i> .....	9
1.1.2 <i>Roteiro Experimental Docente</i> .....	11
1.1.3 <i>Aplicação do experimento de eletorresistividade</i> .....	18
1.1.4 <i>Uma conversa sobre eletricidade e eletorresistividade</i> .....	20
<b>1.2 Externalizando o conhecimento Prévio, levantamento dos subsunçores</b> .....	20
<b>1.3 Introdução aos tópicos de Estudo</b> .....	21
1.3.1 <i>Conceito de Carga Elétrica</i> .....	21
1.3.2 <i>Condutores e isolantes</i> .....	23
1.3.3 <i>Processos de eletrização</i> .....	24
1.3.4 <i>Lei de Coulomb</i> .....	28
1.3.5 <i>Campo Elétrico</i> .....	30
1.3.6 <i>Potencial Elétrico</i> .....	34
1.3.7 <i>Diferença de Potencial Elétrico (ddp)</i> .....	36
1.3.8 <i>Superfícies Equipotenciais</i> .....	38
1.3.9 <i>Capacitores</i> .....	39
1.3.10 <i>Intensidade da corrente elétrica</i> .....	43
1.3.11 <i>Elementos de um circuito elétrico</i> .....	46
1.3.12 <i>Resistores</i> .....	48
1.3.13 <i>Associação de Resistores</i> .....	50
1.3.14 <i>Instrumento de medidas elétricas</i> .....	52
1.3.15 <i>Geradores elétricos</i> .....	54
1.3.16 <i>A interatividade com a turma</i> .....	58
<b>1.4 Abordagem integradora, diversificando o aprendizado</b> .....	58
<b>1.5 Avaliação da sequência didática</b> .....	59
Apêndice A – Questionário pré-teste .....	60
Apêndice B – Questionário pós-teste .....	61
Apêndice C – Roteiro Experimental do método de eletorresistividade .....	62
Apêndice D – Relatório Experimental .....	64

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....65

## APRESENTAÇÃO

Caro professor,

Atualmente é comum apresentar os conteúdos de eletricidade sem espaço para a contextualização experimental, em muitas ocasiões o professor leciona simplesmente com quadro e pincel, este trabalho busca auxiliar esses docentes através da experimentação do método de eletrorresistividade, para o ensino de eletricidade no terceiro ano do ensino médio.

Com o intuito de desenvolver um material potencialmente significativo, fundamentado na teoria de David P. Ausubel, este trabalho é uma sequência didática que utiliza um experimento para auxiliar no processo de ensino aprendizagem dos alunos, assim o produto educacional deste trabalho é uma sequência didática que utiliza a geofísica aplicada para o ensino de eletricidade no ensino médio.

Este produto educacional é apresentado ao Mestrado Nacional Profissional do Ensino de física, da Sociedade Brasileira de Física (SBF), pólo 59, vinculado à Universidade Federal do Acre (UFAC).

Os autores

Prof. Carlos Henrique Vieira  
[carlos\\_vieira\\_1995@hotmail.com](mailto:carlos_vieira_1995@hotmail.com)

Prof. Dr. Antônio Romero da Costa Pinheiro  
[Aromerocp@gmail.com](mailto:Aromerocp@gmail.com)

# UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DE GEOFÍSICA COMO MÉTODO DE ENSINO E APRENDIZAGEM PARA O ENSINO DE ELETRICIDADE

## 1. Sequência da uma abordagem experimental da geofísica como método de ensino e aprendizagem para o ensino de eletricidade

A apresentação do produto educacional, se refere a uma sequência didática para o ensino de eletricidade com a utilização da experimentação do método de eletrorresistividade para o ensino de eletricidade no terceiro ano do ensino médio. Esta sequência é um material potencialmente significativo e utiliza a aplicação de questionários pré-teste para verificar os conhecimentos prévios dos alunos e aplicação do questionário pós-teste para verificar o potencial da sequência didática.

Para tanto, elabora-se um quadro, proposto abaixo, que seja um guia de conteúdos. Que baseia o docente nas horas trabalhadas com cada conteúdo e a sequência de aplicação de cada um deles antes e depois da aplicação dos questionários.

Quadro 1. Quadro de aplicação dos conteúdos da sequência didática.

N	Conteúdos	Procedimento metodológico	Material utilizado	Tempo de aula
1	Pré-teste	Perguntas de múltipla escolha e dissertativas.	Material impresso.	1
2	Introdução aos conceitos de eletrostática.	Aula expositiva.	Livro didático.	1
3	Princípio da atração e repulsão de cargas elétricas, condutores e isolantes, processos de eletrização, contato entre um condutor e a Terra e eletrização por indução.	Aula dialogada com resolução de exercícios.	Livro didático.	1
4	Lei de Coulomb e Campo elétrico.	Aula expositiva com resolução de exercícios.	Livro didático e experimento.	2
5	Potencial elétrico e diferença de potencial elétrico.	Aula expositiva com exercícios extraclasse.	Livro didático.	2
6	Capacitores.	Aula dialogada com resolução de exercícios.	Livro didático e capacitores.	1
7	Corrente elétrica.	Aula dialogada com resolução de exercícios e exercícios extraclasse.	Livro didático.	2
8	Elementos e nós de um circuito elétrico.	Aula dialogada.	Livro didático e resistores elétricos.	1
9	Resistência elétrica, leis de Ohm e potência elétrica.	Aula expositiva.	Livro didático.	2
10	Associação de resistores em série e paralelo e instrumentos de medida elétrica.	Aula dialogada.	Livro didático e experimento (Associação de lâmpadas) e	2



			multímetro.	
11	Geradores elétricos.	Aula expositiva com resolução de exercícios e exercícios extraclasse.	Livro didático.	2
12	Execução do experimento de eletrorresistividade (resistivímetro caseiro) e aplicação do pós-teste.	Aula experimental com aplicação de questionário.	Experimento de eletrorresistividade e questionário pós-teste.	2
<b>Total de encontros</b>				19

Fonte: Próprio autor

Segue-se a construção da UEPS a partir do quadro 1 abaixo, em 8 passos sequenciais, norteadas de acordo com a (TAS) Teoria de aprendizagem de David Ausubel.

## 1.1 Aspectos Iniciais

### 1.1.1 *O experimento de eletrorresistividade*

Este experimento busca que os alunos possam interagir de forma ativa no processo de aprendizagem, manipulando o mesmo e possuindo conhecimentos práticos sobre a teoria física estudada em sala, utilizando a geofísica aplicada como base para a experimentação.

A partir do trabalho de (TELFORD, 1990) é possível descrever o experimento, basicamente este método geolétrico introduz uma corrente elétrica artificial no solo em análise, através de dois eletrodos com o objetivo de mensurar o potencial elétrico produzido em outros dois eletrodo próximos do fluxo de corrente. Analisando as relações entre grandezas como, corrente elétrica, potencial elétrico e a disposição geométrica dos eletrodos no solo em análise, permitem calcular a resistividade real ou aparente no subsolo, por exemplo.

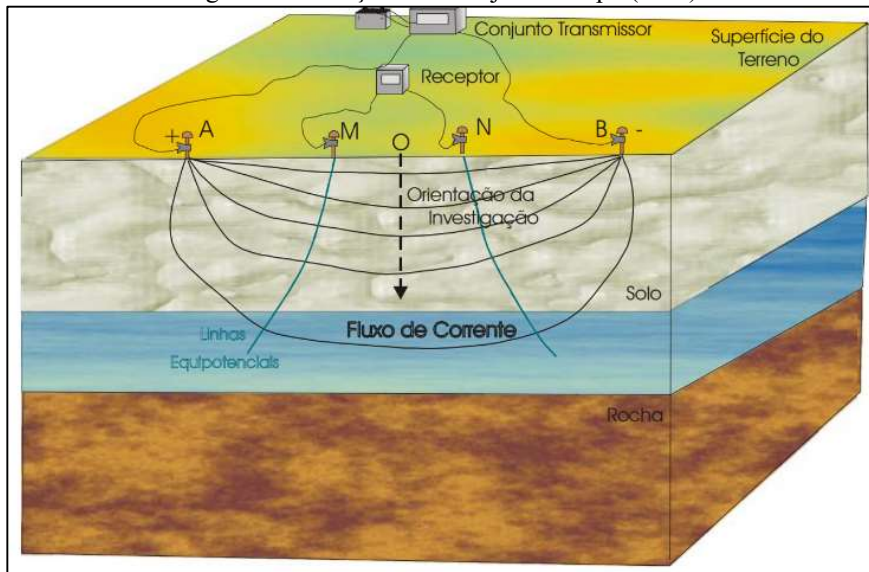
Segundo Braga (2006) o método da eletrorresistividade realizado no estudo de campo, tem como base a capacidade do equipamento utilizado em inserir uma corrente elétrica no subsolo através de eletrodos (barras de cobre ou outros condutores) a diferentes profundidades de investigação, e aferir as resistividades dos materiais geológicos a estas diferentes profundidades.

Acerca do método de eletrorresistividade pode-se afirmar que:

O método da ER fundamenta-se no fato de que diferentes materiais, geológicos ou não, apresentam diferentes valores de resistividade elétrica. A resistividade elétrica ( $\rho$ ) é um parâmetro intrínseco dos materiais, o qual se relaciona à dificuldade encontrada por uma corrente elétrica para se propagar em um meio e depende, entre outras coisas, da natureza e do estado físico do corpo considerado (BORTOLIN; MALAGUTTI, 2010, p. 370).

Esta técnica é realizada através de uma Sondagem Elétrica Vertical (SEV), como pode ser visto na figura 1, segundo Telford et al (1990), Braga (1997), Silva (2008), compreende-se que a técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) análise verticalmente a variação do valor da resistividade aparente do solo, sendo uma técnica convencional de fácil execução, para isso os eletrodos são posicionados de acordo com o arranjo de campo Schlumberger.

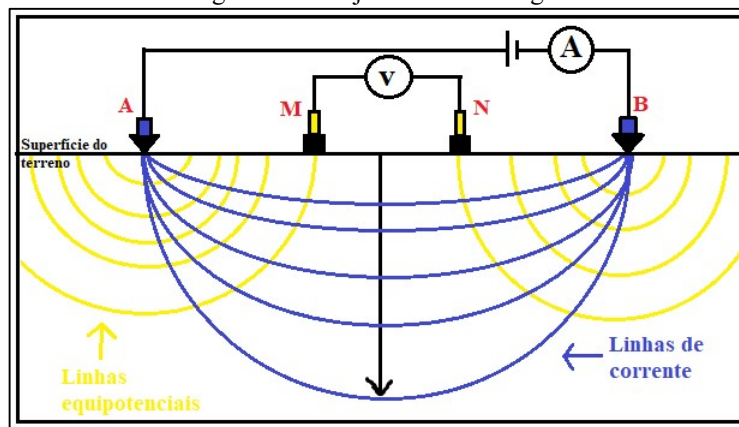
Figura 1. Ilustração de Arranjo de campo (SEV).



Fonte: OLIVA, A. et al, 2006.

Segundo (SILVA, 2008) no arranjo de campo Schlumberger visto na figura 2 os eletrodos de corrente (AB) possuem uma separação crescente, e os eletrodos de potencial (MN) são fixo durante todas as medições, a uma distância  $\leq AB/5$ , durante todo o processo de experimentação. Esta técnica tem como objetivo principal fazer com que a distância de (MN) aproxime-se de zero em relação à distância crescente entre os eletrodos (AB), fazendo com que a margem de erro deste tipo de medição seja quase insignificante.

Figura 2. Arranjo de Schlumberger.



Fonte: Próprio autor.

Neste estudo a resistividade aparente é obtida pela expressão:

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Onde  $\rho_a$  é a resistividade aparente do solo,  $\Delta V$  é a diferença de potencial elétrica aferida nos eletrodos (MN) e  $I$  é a intensidade da corrente elétrica introduzida no solo.

Importante salientar que este método é utilizado com intuito didático para o aprendizado de eletricidade no terceiro ano do ensino médio, sem obrigação do cálculo da

resistividade aparente do solo, o importante é que o aluno consiga conceber teoricamente o funcionamento de cada componente do experimento, mas se o professor regente da sala possuir o interesse em apresentar a resistividade aparente do solo, isso pode ser feito.

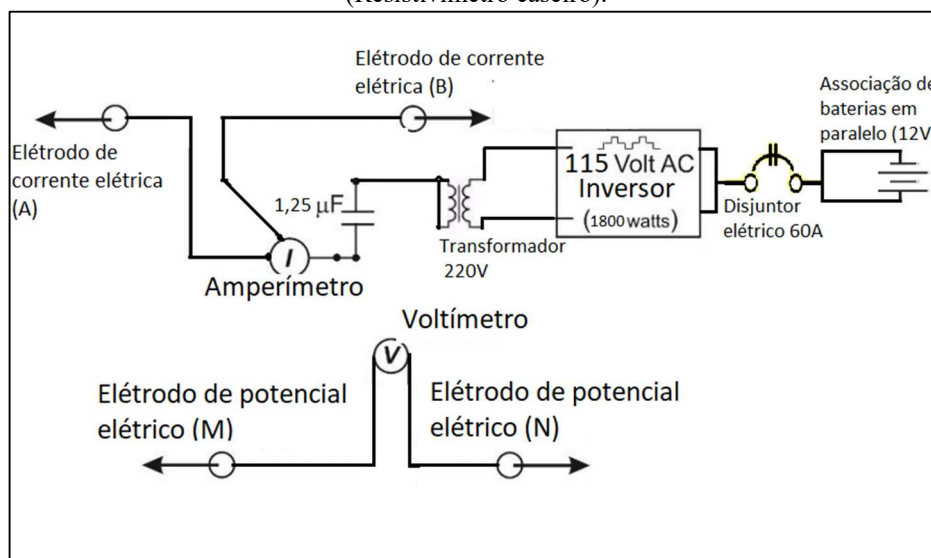
Assim, é importante que o professor durante a execução da sequência didática, apresente a teoria de todos os componentes relacionáveis aos conteúdos de física, como os capacitores, que podem ser abordados de diversas formas, para que no ato da experimentação os alunos possuam conhecimentos prévios sobre este tema, para que compreendam o funcionamento do experimento em sua totalidade, aumentando a capacidade de retenção de conhecimento sobre este conceito, conhecendo a importância e o funcionamento de determinado componente na vida real.

### 1.1.2 Roteiro Experimental Docente

Esta seção tem como objetivo auxiliar o docente na montagem experimental, descrevendo componentes dos experimentos, e como o experimento funciona.

Abaixo a figura 2, mostra o esquema simbólico do circuito elétrico do resistivímetro caseiro, este circuito foi adaptado para o trabalho atual, com o intuito de reduzir custos, o docente que objetiva aplicar este trabalho em sala, pode reduzir mais ainda os custos dos materiais, buscando materiais mais baratos em sua região, por mais que isso diminua a potência do experimento, no fim o objetivo de introduzir os alunos a uma iniciação científica é alcançado, fazendo com que os mesmos compreendam de forma significativa os conteúdos de eletricidade relacionáveis ao experimento.

Figura 3. Desenho esquemático do circuito elétrico do experimento de eletroresistividade elétrica (Resistivímetro caseiro).



Fonte: KWIZERA et al, 2016.

Abaixo no quadro 2 é listado todos os materiais utilizados na confecção do resistivímetro caseiro.

Quadro 2. Materiais utilizados para confecção do experimento e quantidade de cada item.

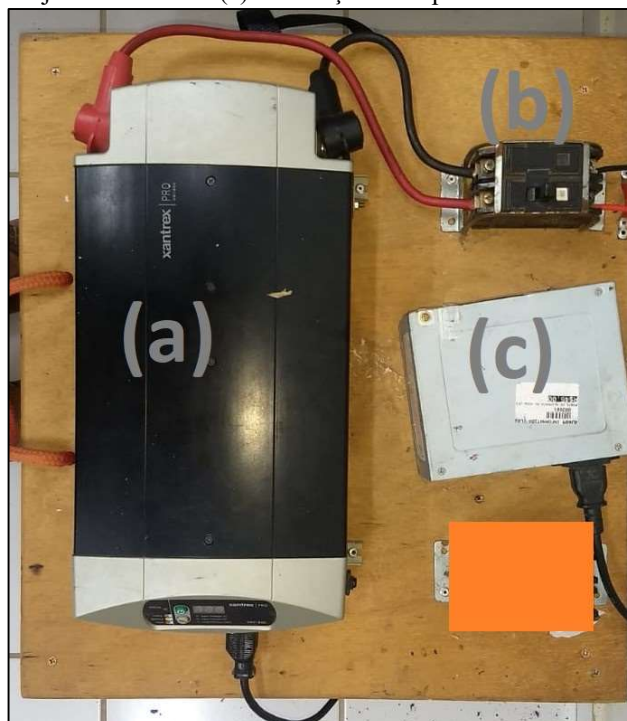
Materiais	Quantidade
Baterias de 60ah	3

<b>Multímetros</b>	2
<b>Inversor de tensão elétrica</b>	1
<b>Disjuntor elétrico</b>	1
<b>Capacitor de 2,5<math>\mu</math>F</b>	2
<b>Transformador de tensão elétrica</b>	1
<b>100 m de Fio de cobre de 0,6 mm</b>	1
<b>Hastes de cobre de 50 cm de comprimento e diâmetro de 0,5 polegada</b>	8
<b>Estrutura de madeira para fixação e transporte do experiment</b>	1
<b>Garras de cobre</b>	2
<b>Conectores de hastes de aterramento</b>	14

Fonte: Próprio autor.

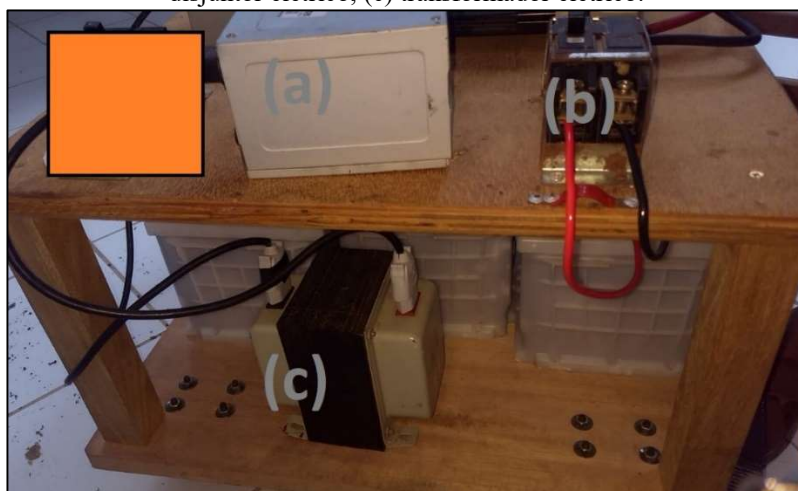
O experimento totalmente construído pode ser visualizado nas figura 4,5 e 6, essa imagens devem auxiliar o docente que utilizar este produto educacional como modelo ao que será aplicado em sala, é possível visualizar a estrutura em que o componentes estão inseridos, e como estes estão disposto nesta estrutura.

Figura 4. Imagem superior do circuito elétrico do resistivímetro caseiro. (a) Inversor de tensão elétrica, (b) disjuntor elétrico e (c) associação de capacitores em série.



Fonte: Próprio autor.

Figura 5. Imagem lateral do experimento de eletroresistividade, (a) associação de capacitores em série, (b) disjuntor elétrico, (c) transformador elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Figura 6. Imagem frontal do resistivímetro caseiro totalmente construído.



Fonte: Próprio autor.

De início a estrutura de madeira que dá suporte aos componentes do experimento foi construída da seguinte forma:

O suporte de madeira foi elaborado e construído para alocar os componentes do experimento. Este suporte é composto de duas placas de madeira de 50 cm de largura x 50 cm de comprimento, interligadas por quatro hastes retangulares de área de 9cm<sup>2</sup> de área x 25 cm de altura, como pode ser visto na figura 6, acima. Foram utilizados oito parafusos para fixar as hastes de madeira nas placas, 2 parafusos para cada haste, sendo que os parafusos foram fixados através de uma parafusadeira elétrica.

Após a construção do suporte, foram fixadas quatro roldanas na parte de baixo da placa inferior do suporte visando facilitar o transporte do experimento e também foi fixada uma alça na parte lateral da placa superior, para facilitar o transporte manual do experimento. As roldanas também foram fixadas com a utilização de parafusos e poucas através da parafusadeira elétrica.

Neste ponto, será iniciada a descrição dos componentes, começando pelos componentes que precisaram de uma associação entre si, ao todo foram uma associação em paralelo de baterias (geradores elétricos) e uma associação de capacitores.

Nas imagens acima é possível notar a associação de baterias utilizadas neste estudo. Elas foram utilizadas para alimentar o sistema elétrico neste trabalho, são baterias comuns de automóvel que funcionam a 12V de tensão e 60Ah de intensidade de corrente elétrica, durante a elaboração do experimento foi construída uma associação de baterias em paralelo como pode ser visto na figura 6.

Figura 7. Associação de baterias em série utilizada no trabalho para alimentar o circuito elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Neste estudo é necessário que seja gerada uma corrente elétrica de valor elevado para o sistema, então foi utilizado a associação em série de baterias pelo fato da intensidade da corrente elétrica total da associação ser igual à soma de todas as intensidade da corrente elétrica das baterias associadas entre si, podemos encontrar uma definição básica das características deste tipo de associação, através de Teixeira (2020), tanto as características de tensão elétrica total (força eletromotriz equivalente), quanto a intensidade da corrente elétrica total deste tipo de associação, podem ser descritas, ele cita que “A força eletromotriz equivalente é igual à força eletromotriz dos geradores, ou seja:  $E_{eq} = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3$ . A corrente equivalente é a soma das correntes individuais e é calculada com a expressão:  $i_{eq} = i_1 + i_2 + \dots + i_n$ .”

Assim a força eletromotriz é mantida constante igual a 12V e a corrente elétrica equivalente é igual a soma das correntes individuais, como neste caso temos 60Ah por bateria, ao todo foi possível gerar 180Ah, pois:

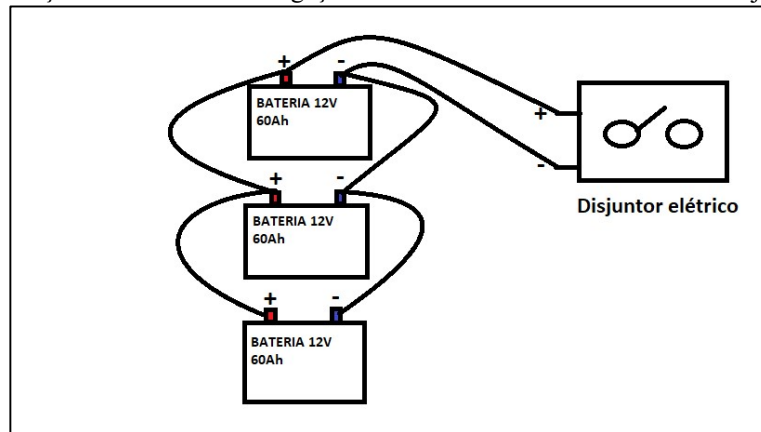
$$I_{eq} = i_1 + i_2 + i_3 = 60 \text{ Ah} + 60 \text{ Ah} + 60 \text{ Ah} = 180 \text{ Ah} \quad (2)$$

As baterias foram fixadas utilizando uma cinta com catraca, a cinta foi passada por cima das baterias e por de baixo da base inferior de madeira do experimento, e pressionada até o ponto em que a fixação seja firme, sem deixar com que as baterias se movimentem quando o experimento estiver sendo transportado. Elas foram associadas utilizando fios de cobre de 6mm e presilhas fixadoras para

que as ligações ficassem firmes nos terminais de cada bateria, como é visto na figura 6 acima.

A ligação foi realizada de forma que os terminais negativos das três baterias fossem interligados entre si, através dos fios de cobre, da mesma forma foi feito com os polos positivos, assim a ligação dos polos negativos foi conectada diretamente ao terminal negativo do disjuntor elétrico, assim como a ligação dos polos positivos foi conectada diretamente ao terminal positivo do disjuntor elétrico, como vemos na ilustração abaixo.

Figura 8. Ilustração de como é feita a ligação entre as baterias e também com o disjuntor elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Como citado anteriormente também foi necessário uma associação de capacitores em série, eles são dispositivos formados por um meio dielétrico envolto em um armadura metálica, existem diversas formas de capacitores e sua principal função é de armazenar carga elétrica e segundo Sampaio e Calçada (2005, p. 266) “são também utilizados em circuitos que transformam corrente alternada em corrente contínua”, como o circuito do resistivímetro caseiro criado neste estudo. A Capacitância ( $C$ ) de um capacitor é uma grandeza que associada a este que mede a eficiência do capacitor e pode ser encontrada a partir da expressão:

$$C = \frac{Q}{U} \quad (3)$$

Sendo  $Q$  a quantidade de carga elétrica acumulada e  $U$  a diferença de potencial elétrica entre as placas do capacitor.

Como mostrado no quadro 2, foi utilizada uma associação de dois capacitores de  $2,5\mu F$  em série. A capacitância neste caso é calculada pela expressão:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (4)$$

Manipulando esta equação temos:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{C_1 + C_2}{C_1 \cdot C_2} \quad (5)$$

Assim, temos:

$$C_{eq} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (6)$$

$$C_{eq} = \frac{2,5\mu F \cdot 2,5\mu F}{2,5\mu F + 2,5\mu F} = \frac{6,25 \times 10^{-12} F}{5 \times 10^{-6} F} = 1,25\mu F \quad (7)$$

Ou seja, após a associação dos capacitores realizada neste trabalho a capacitância total foi igual

a  $1,25\mu\text{F}$ .

A associação de capacitores foi construída em série com dois capacitores cilíndricos de  $2,5\mu\text{F}$  de capacitância, os capacitores foram associados utilizando ferro de solda e estanho, eles foram posicionados dentro de uma caixa de ferro como visto na figura 3 (c), onde os terminais da associação foram conectados as tomadas de entrada e de saída da caixa de ferro. Os capacitores foram posicionados dentro da caixa de ferro, por conveniência do trabalho, possuindo maior facilidade de fixação no suporte de madeira e maior praticidade na conexão com o inversor e o amperímetro, através da conexão entre os plug-ins e as tomadas.

O disjuntor elétrico foi utilizado no circuito, pois é um dispositivo de segurança, pode-se afirmar que:

Dispositivos de segurança: São aqueles que, ao serem atravessados por uma corrente de intensidade maior que certo limite, interrompem a passagem de corrente elétrica, preservando os demais elementos do circuito de possíveis danos ou mesmo destruição total. Os mais comuns são os fusíveis e os disjuntores (BONJORNIO et al, 2016, p. 79).

O disjuntor elétrico utilizado neste trabalho pode suportar até 60A de intensidade de corrente elétrica. Disjuntores elétricos possuem dois polos, um positivo e um negativo, assim devesse conectar cada fio da associação de baterias, cada um com seu devido polo.

Também foi utilizado um inversor de tensão elétrica é um dispositivo elétrico capaz de converter uma baixa tensão elétrica de corrente contínua (cc) em uma alta tensão elétrica de corrente alternada (ca). O inversor utilizado neste trabalho é um Xantex pro 1800, segundo o manual do aparelho ele opera com equipamentos que consumam até 1800W de potência elétrica e transforma uma tensão elétrica de entrada de 10,5 a 15,5V(cc) em uma tensão elétrica de saída de até 115V(ca), sendo a corrente elétrica de saída é de até 15A.

O inversor é utilizado para transformar a voltagem elétrica total da associação de baterias de 12V(cc) em uma voltagem de 115V(ca), e uma corrente contínua de 180Ah em uma corrente alternada de 15A.

Foi utilizado também um transformador elétrico, dispositivo utilizado para aumentar a diferença de potencial elétrico, diminuindo assim a intensidade da corrente elétrica, pode-se afirmar que o transformador ideal:

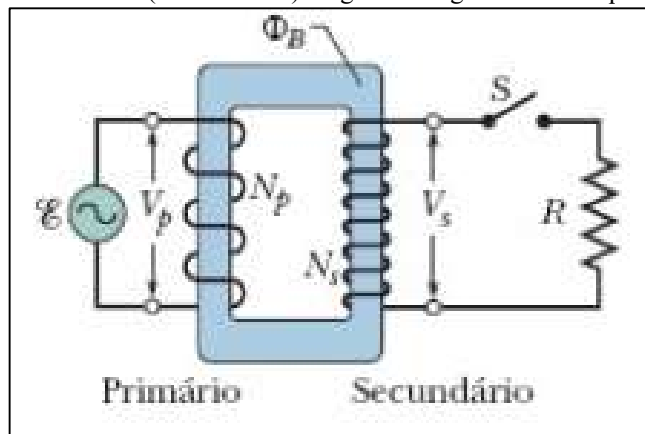
[...] é formado por duas bobinas, com diferentes números de espiras, enroladas em um núcleo de ferro. (Não existe contato elétrico entre as bobinas e o núcleo.) O enrolamento primário, com  $N_p$  espiras, está ligado a um gerador de corrente alternada cuja força eletromotriz é dada por  $\mathcal{E}_p$ . O enrolamento secundário, com  $N_s$  espiras, está ligado a uma resistência de carga  $R$ , mas não há corrente no circuito se a chave  $S$  estiver aberta (vamos supor, por enquanto, que isso é verdade). Vamos supor também que, como se trata de um transformador ideal, a resistência dos enrolamentos é desprezível. Nos transformadores bem projetados, de alta capacidade, a dissipação de energia nos enrolamentos pode ser menor que 1% [...] (HALLIDAY et al, 2016, p.667).

Ele obedece a Lei da indução de Faraday, e neste trabalho ele converte uma tensão elétrica de 110V(ca) em 220V(cc), com uma corrente elétrica de baixa intensidade. Na imagem



abaixo é possível visualizar a configuração interna de um transformador comum de eletricidade.

Figura 9. Um transformador ideal, formado por duas bobinas enroladas em um núcleo de ferro, ligado a uma fonte e uma carga. Um gerador de corrente alternada produz uma corrente no enrolamento da esquerda (o primário). O enrolamento da direita (o secundário) é ligado à carga resistiva R quando a chave S é fechada.



Fonte: Halliday et al. Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker. p. 667, 2016.

Basicamente a tensão gerada pelo transformador obedece a seguinte expressão:

$$V_s = V_p \frac{N_s}{N_p} \text{ (Transformação de tensão)} \quad (8)$$

Onde  $V_s$ =Tensão da espira primária,  $V_p$ =Tensão da espira secundária,  $N_p$ =Número de voltas da espira primária e  $N_s$ =Número de voltas da espira secundária.

Também foram utilizados neste trabalho multímetros, estes são aparelhos que auxiliam na aferição de grandezas físicas elétricas, segundo o artigo trabalho prático (2002, p.1):

O multímetro, de maior portabilidade e facilidade de utilização, pode medir diversas grandezas elétricas, designadamente, diferenças de potencial, intensidades de corrente e resistências elétricas, grandezas estas que também podem ser medidas utilizando voltímetros, amperímetros e ohmímetros, respectivamente (TRABALHO PRÁTICO, 2002, p.1).

Foram utilizados dois multímetros um na função amperímetro e outro na função voltímetro, o primeiro para medir a intensidade da corrente elétrica injetada no solo e o segundo utilizado para medir a diferença de potencial elétrica entre as hastes fixadas no solo.

A montagem do circuito elétrico do resistímetro caseiro foi realizada seguindo o padrão dos trabalhos de Urang et al (2018), Clark e Page (2011) e Kwizera et al (2016), mas com algumas adaptações específicas para este trabalho, importante lembrar que este aparelho foi construído com fins didáticos, assim a real avaliação dos valores de resistividade aparente do solo não foram levados em consideração, o foco são os valores de intensidade de corrente elétrica injetados no solo e o valor da diferença de potencial entre as hastes de cobre fixas no solo, para que os alunos possam aferi-las.

Também vale dizer que o docente pode se basear nos autores citados acima, ou partir deste trabalho para montar seu resistímetro, o intuito aqui é ajudar o docente a elaborar da forma mais adequada a sua realidade um resistímetro caseiro que sirva com ferramenta para o ensino de

eletricidade no terceiro ano de ensino médio.

Faz-se necessário, citar como os componentes do circuito foram ligados entre si. Durante esta etapa todos os conteúdos relacionados ao experimento podem ser utilizados pelo docente em sala, de forma linear ou de modo que for conveniente aos professores que utilizaram este trabalho em suas salas de aula, desde a ligação entre as baterias, até a ligação dos multímetros com os elétrodos fixados no solo, sendo possível estudar os conteúdos de geradores, componentes do circuito elétrico, capacitores e entre outros conceitos associados ao experimento.

Toda a ligação elétrica pode ser visualizada através da figura 2. Inicialmente a associação de baterias foi conectada ao disjuntor elétrico da seguinte forma, o terminal negativo da associação foi ligado ao terminal negativo do disjuntor elétrico através de um fio elétrico de cobre de 6mm de espessura, assim como o terminal positivo da associação de baterias foi conectada ao terminal positivo do disjuntor elétrico.

A ligação entre o disjuntor elétrico e o inversor de tensão elétrica foi realizada da seguinte forma, o terminal negativo do disjuntor elétrico foi conectado ao terminal negativo do inversor de tensão elétrica, assim como o terminal positivo do disjuntor elétrico foi conectado com o terminal positivo do inversor de tensão elétrica.

A ligação entre o inversor de tensão elétrica e o transformador elétrico foi realizada utilizando um fio condutor de cobre com dois plug-ins cada um em uma extremidade do fio, pois tanto o inversor quanto o transformador, possuem entrada para plug-in de conexão elétrica.

A ligação entre o transformador elétrico e a associação de capacitores foi realizada da mesma forma que a ligação entre o inversor de tensão elétrica e o transformador de tensão elétrica, através de um fio condutor de cobre com dois plug-ins cada um em uma extremidade do fio, pois ambos possuem entrada para plug-in de conexão elétrica, lembrando que os capacitores estavam inseridos em uma caixa de ferro, que possua entradas para plug-ins de tomadas, facilitando a ligação.

A associação de capacitores é conectada em série com o multímetro na função amperímetro que mede a intensidade da corrente elétrica, e este é ligado através de um fio elétrico de 6mm de espessura aos elétrodos de corrente elétrica (hastes de cobre), para que fiquem fixas nas hastes, utilizou-se fixadores metálicos (bicos de jacaré).

A ligação entre o multímetro na função voltímetro e os elétrodos de potencial foi realizada em série, utilizando também fixadores metálicos (bicos de jacaré).

### ***1.1.3 Aplicação do experimento de eletrorresistividade***

Para que os alunos não corram qualquer perigo durante a aplicação do experimento de eletrorresistividade, o professor deve fincar com a ajuda de um martelo, todas as hastes de cobre, utilizadas como eletrodos no solo onde será realizado a experimentação, indicasse que sejam escolhidas áreas como campos de futebol das escolas por exemplo.

O professor deve fincar os eletrodos, antes das turmas serem levadas ao local para que o tempo de aula não seja reduzido devido a fixação dos eletrodos no solo. Deve ser levado em

conta os valores da distância entre os eletrodos do relatório experimental do apêndice C deste trabalho, ou valores que o docente regente da sala, achar melhor, os valores podem ser mudados com a conveniência do docente.

Deve ser levado em conta a configuração da figura 2 deste trabalho, como citado anteriormente por (SILVA, 2008) no arranjo de campo Schlumberger visto na figura 2 os eletrodos de corrente (AB) possuem uma separação crescente, e os eletrodos de potencial (MN) são fixo durante todas as medições, a uma distância  $\leq AB/5$ , durante todo o processo de experimentação.

O relatório do apêndice C deve ser entregue aos grupos que realizaram a experimentação, a quantidade de alunos fica a critério do docente, mas é indicado no mínimo oito alunos por grupo, para que o experimento seja executado com facilidade, sem sobrecarregar funções em um único aluno.

Neste relatório nota-se a presença de campos em branco relacionados aos valores de ddp e intensidade da corrente elétrica, que são registrados pelos multimetros no momento em que o resistivímetro caseiro é ligado, ao todo indicasse quatro medições da ddp e da intensidade da corrente elétrica, variando em a distância entre os eletrodos (AB) em um metro a cada medição dessas grandezas, como orienta o roteiro experimental do Apêndice C.

No apêndice C, segue o roteiro experimental, onde o docente deve se basear para a aplicação, este roteiro deve ser entregue aos alunos, para que os mesmos dividam entre si as funções durante a experimentação.

Obviamente o docente deve explicar o experimento ao levar os docentes ao local de experimentação, descrevendo todos os componentes do circuito, lembrando os conceitos físicos estudados em sala, relacionando-os com o experimento, os grupos devem ser divididos após isto, e os alunos devem ser posicionados em seus respectivos locais ao ser entregue o roteiro experimental e o relatório experimental, lembrando que o multimetro responsável pela aferição da intensidade da corrente elétrica utilizado no circuito, já deve estar posicionado como descrito na figura 3.

O roteiro experimental explica a função de cada participante do experimento a cada medição. É importante que o docente levante questionamentos aos grupos que estão executando a experimentação durante todo o processo, perguntando desde os geradores que alimentam o circuito até a corrente elétrica inserida no solo pelos eletrodos, o professor docente deve levantar questionamento de acordo com a necessidade da turma, notando pontos que estes possuem dificuldades, e caso eles não consigam compreender é importante que os questionamentos sejam respondidos pelo docente naquele momento, relacionando a teoria com

a prática experimental.

#### 1.1.4 *Uma conversa sobre eletricidade e eletrorresistividade*

O professor inicialmente apresenta os conteúdos a serem estudados sobre eletricidade e levanta algumas questões sobre a mesma, estabelecendo um diálogo com os discentes para compreender o que os mesmos sabem sobre o assunto.

Assim, o professor deve introduzir o tema do experimento a ser realizado no final da sequência didática, descrevendo o que é a geofísica, e trazendo a ideia do método de eletrorresistividade para o contexto do ramo de exploração do solo, seja em busca de petróleo, águas subterrâneas ou outros materiais, para despertar o interesse dos alunos, e novamente estabelecer um diálogo com os discentes acerca do que os mesmos sabem sobre a exploração do solo.

O professor deve questionar o uso da eletricidade no dia a dia, a sua importância na vida cotidiana e relacionar o que os alunos conhecem sobre a exploração do solo em busca de materiais, e ao fim explicar o método de eletrorresistividade de maneira geral e básica, apenas para introduzir o conceito, no quadro 3 pode ser visto alguns destes questionamentos.

**Quadro 3. Possíveis perguntas que podem ser feitas pelo professor para introduzir o assunto de eletricidade e geofísica aplicada.**

<b>Você já usou/viu algo que precisasse de eletricidade para funcionar?</b>
<b>Qual a influência da eletricidade sobre a sua vida?</b>
<b>Como vocês acreditam que ocorre o processo de descobrimento de petróleo e outros materiais no subsolo?</b>
<b>Você acredita que é possível encontrar petróleo, água mineral e outros materiais no subsolo, utilizando eletricidade?</b>
<b>Alguns de vocês sabem o nome da profissão ou curso de formação destes profissionais que descobrem os materiais citados anteriormente?</b>

Fonte: Próprio autor

Estas perguntas buscam questionar, fazendo os alunos raciocinarem sobre a importância de conhecer o conceito de eletricidade e afins, além de despertar curiosidade acerca do método de exploração do solo, utilizado no trabalho, pode-se utilizar a motivação como meio para apresentar os conceitos de geofísica trabalho neste estudo, citando o curso de formação destes trabalhadores que realizam a exploração do solo para diversos fins.

### **1.2 Externalizando o conhecimento Prévio, levantamento dos subsunçores**

É importante que antes da execução dos conteúdos em sala, os conhecimentos prévios dos discentes acerca dos assuntos de eletricidade sejam visualizados, através de um questionário pré-teste, este questionário deve basear o professor no momento do planejamento das aulas, dando importância para conteúdos que os discentes não mostraram grande conhecimento, é natural que os discentes em geral não possuam grandes conhecimentos sobre os assuntos a serem ministrados, pois estes ainda não assistiram nenhuma aula sobre estes conceitos.

Lembrando que estes conceitos de eletricidade são ministrados no terceiro ano do ensino médio, então o público alvo do questionário devem ser alunos deste ano do ensino médio. Com base na externalização dos conhecimentos subsunçores dos alunos e no planejamento a partir destas

informações para elaboração das aulas sobre os conceitos de eletricidade, a experimentação do método de eletroresistividade pode ganhar mais significado para os alunos, pois estes já possuíam subsunções sobre os conceitos de eletricidade abordados no experimento, nota-se a importância da elaboração do questionário pré-teste.

O questionário pré-teste elaborado neste estudo buscou levantar os conhecimentos dos alunos sobre os conteúdos de eletricidade, relacionando estes conceitos ao cotidiano dos discentes, além de questões voltadas para a geofísica aplicada, este questionário pré-teste pode ser visualizado no apêndice A deste produto educacional.

### **1.3 Introdução aos tópicos de Estudo**

Os conceitos devem ser abordados de forma a relacioná-los ao experimento de eletroresistividade, além da necessidade de demonstrar conceitualmente os conteúdos de eletricidade utilizados no trabalho, para que no ato experimental, o discente compreenda o princípio teórico de cada componente do experimento.

#### *1.3.1 Conceito de Carga Elétrica*

Este conceito deve ser introduzido de forma histórica e também de forma conceitual, pois este conceito é a base para o estudo da eletricidade como conceito, deve-se apresentar desde os primórdios do conceito, até o formalismo atual, buscando evidenciar como é constituída minimamente a matéria e a importância da carga elétrica na mesma.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2001) e Máximo, Alvarenga e Guimarães (2016) desde os gregos, a partir das experiências de Tales de Mileto (624- 556 a.C), e relatos do filósofo Platão (428- 348 a.C), já se sabe que um âmbar, pedra que surge a partir da fossilização de seres vivos, quando atritado, adquire propriedade de atrair outros corpos leves ao seu redor, como palhas e plumas.

Atualmente, sabe-se muito acerca da composição da matéria, ela é composta de átomos que são compostos por prótons e nêutrons em seu núcleo e por elétrons, que orbitam ao seu redor em diversos níveis de energia. Segundo Máximo, Alvarenga e Guimarães (2016), no ano de 1600 d.C. William Gilbert publicou seu livro chamado Sobre os ímãs e corpos magnéticos e sobre o grande ímã, a Terra, que relata várias experiências eletrostáticas associadas ao âmbar, para distingui-las dos fenômenos magnéticos.

Como a palavra grega “elektron” significa âmbar, Gilbert começou a caracterizar corpos que se comportavam como o âmbar, com o termo “elétrico”. Segundo Bonjorno et al (2016) no século XVIII, a eletricidade era tratada como um fluido, nos estudos de Stephen Gray (1666-1736) notou-se esse comportamento de fluido da eletricidade, e também foi realizada a primeira classificação de materiais como que permitiam a condução de eletricidade e que não permitiam a condução de eletricidade.

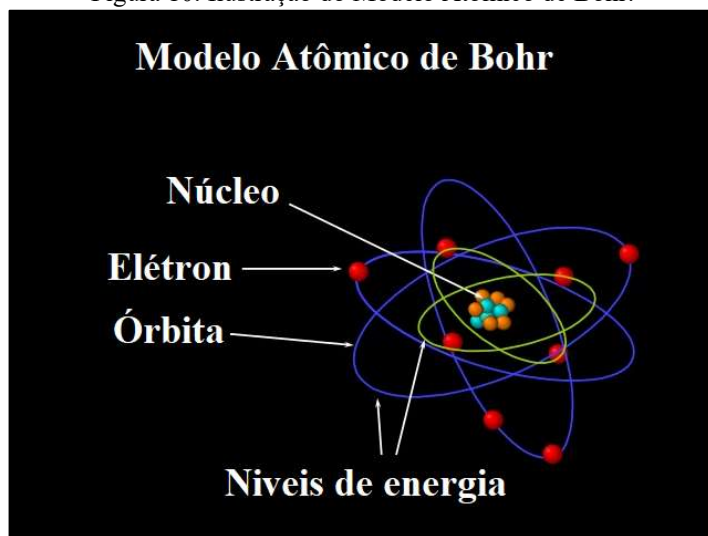
Bonjorno et al (2016) também diz que Charles du Fay (1698-1739) e Benjamin Franklin (1706- 1790) contribuíram de forma significativa para o desenvolvimento da eletricidade como estudo, du Fay definiu duas formas de eletricidade, a vítrea ou positiva, que acontece quando o vidro é atritado com

seda, e a resinosa ou negativa, produzido atritando enxofre com lã, e Franklin definiu que esses dois tipos de eletricidade que du Fay propôs, existem em um único material, no caso do atrito entre dois corpos de materiais diferentes, o material que transfere o fluido fica com eletricidade negativa e aquele que recebe se eletrizava positivamente e nos corpos neutros, o fluido existiam em uma quantidade considerada normal.

Segundo Bonjorno et al (2016) com os estudos das pilhas por Alessandro Volta (1745-1827) e com a revolução industrial, a eletricidade modificou o comportamento da sociedade, com a invenção dos telefones, motor elétrico, entre outros aparelhos. A partir do século XIX a eletricidade começou a ser tratada como matéria, iniciando o estudo do átomo, deixando de lado a ideia de fluido.

No final do século XIX foram propostos modelos atômicos, como os de Thomson (1856-1940), Rutheford (1871-1937) e por fim, Bohr (1885-1962) o modelo aceito nos dias atuais.

Figura 10. Ilustração do Modelo Atômico de Bohr.



Fonte: HERRERA, 2015. (Adaptado pelo autor).

Na imagem acima, percebe-se o modelo atômico utilizado nos dias atuais no ensino de física, nele o núcleo é composto de prótons e nêutrons, e os elétrons orbitam ao redor do núcleo, nos níveis de energia, localizados na região da eletrosfera.

Segundo Xavier e Barreto (2010) e Bonjorno et al (2016), Os prótons e elétrons foram caracterizados como portadores de carga elétrica, enquanto que o nêutron era uma partícula eletricamente neutra, o próton foi caracterizado como portador da carga positiva +, e o elétron ficou caracterizado com carga negativa. Assim o átomo é considerado eletricamente nêutron, pois possui o mesmo número de elétrons e prótons, quando esse equilíbrio é rompido, ele se torna um íon, sendo positivo quando possui falta de elétrons e negativo quando possui excesso de elétrons.

Segundo Xavier e Barreto (2010) chamamos de carga elementar e o módulo da carga do próton e do elétron, e Bonjorno et al (2016) diz que Millikan (1868-1953) encontrou experimentalmente o valor em módulo da carga elementar de um elétron, sendo:

$$e = 1,602 \times 10^{-19} C \quad (9)$$

Assim pode-se descrever a carga do elétron  $e^-$  e do próton  $e^+$  da seguinte forma:

$$e^- = -1,602 \times 10^{-19} C \quad (10)$$

$$e^+ = +1,602 \times 10^{-19} C \quad (11)$$

Onde a unidade de carga elétrica C, significa Coulomb em homenagem ao físico Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806).

Segundo Bonjorno et al (2016), J.J Thomson estabeleceu uma razão entre a massa e a carga do elétron:

$$\frac{m}{e} = 5,70 \times 10^{-12} kg/C \quad (12)$$

Assim foi possível determinar a massa de um elétron:

$$m = 9,1314 \times 10^{-31} kg \quad (13)$$

Foi considerado que a carga elétrica existe em múltiplos da carga elementar assim, segundo Xavier e Barreto (2010) assim um corpo eletrizado, com carga total diferente de zero, possui falta ou excesso de n elétrons, Q a quantidade de carga elétrica desse corpo, seu módulo é:

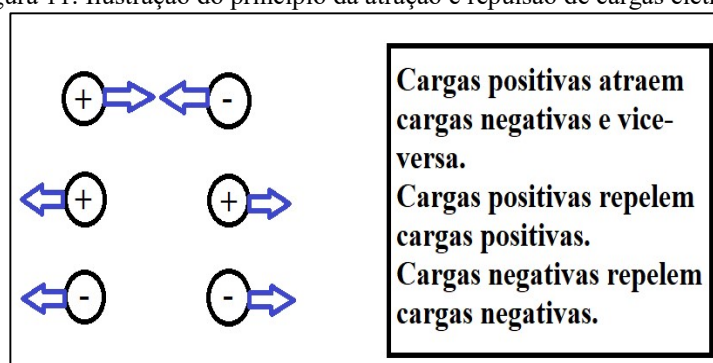
$$Q = \pm n \cdot e \quad (14)$$

Assim n é um número inteiro positivo, quando o corpo está com falta de elétron (+), ou quando está com excesso de elétrons (-), como a carga elétrica é sempre múltipla da elementar, ela pode ser quantizada, Sendo a unidade de Q, o Coulomb.

Segundo Calçada e Sampaio (2005) a carga elétrica obedece o princípio da conservação da carga elétrica, este princípio diz que em um sistema isolado a carga elétrica total permanece constante.

As carga elétricas apresentam forças de interação entre si, assim Halliday, Resnick e Walker (2001) diz que, devido ao princípio da atração e repulsão de cargas elétricas, cargas de mesmo sinal elétrico se repelem e cargas de sinais elétricos contrários se atraem.

Figura 11. Ilustração do princípio da atração e repulsão de cargas elétricas.



Fonte: Próprio autor.

### 1.3.2 Condutores e isolantes

Na apresentação deste conceito, o professor deve buscar a compreensão do aluno da diferença entre um condutor e um isolante, para que ele entenda por exemplo, como as hastes de cobre fixas no solo do experimento de eletroresistividade, auxiliam na inserção de corrente elétrica no solo, pelo fato do cobre ser um materia condutor, este é um conteúdo simples e rápido de ser ministrado.

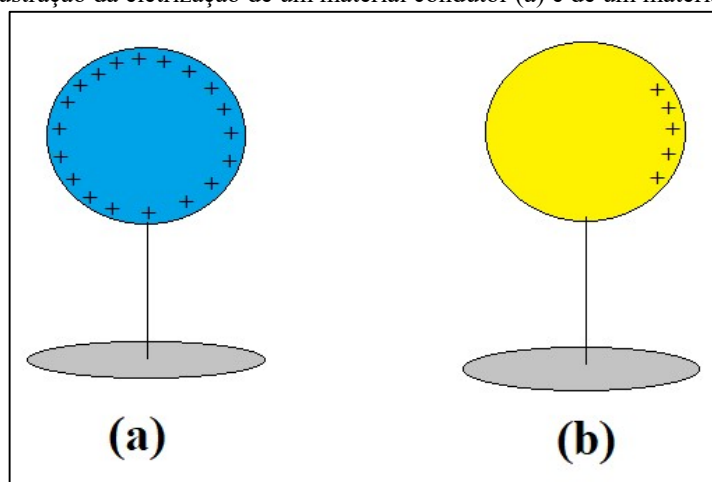
Existem materiais que conduzem bem a eletricidade e outros que possuem dificuldade em

conduzir eletricidade, segundo Bonjorno et al (2016), Halliday, Resnick e Walker (2001), Xavier e Barreto (2010), esse comportamento dos materiais ocorre devido à presença ou ausência dos elétrons livres, elétrons que possuem uma fraca ligação com o núcleo do átomo, assim estes elétrons circulam livremente no interior do material. Assim, quando matérias possuem facilidades em conduzir eletricidade, são chamados de condutores, e quando possuem dificuldade na condução de eletricidade, são chamados de isolantes ou dielétricos.

Os metais, água mineral e carbono são exemplos de condutores, e a borracha, madeira e plástico são exemplos de isolantes.

Segundo Bonjorno et al (2016) a eletrização ocorre de forma diferente em materiais condutores e isolantes.

Figura 12. Ilustração da eletrização de um material condutor (a) e de um material isolante (b).



Fonte: Próprio autor.

Nota-se figura 12 a eletrização de um corpo condutor (a) e de um corpo isolante (b), na eletrização de um corpo condutor as cargas elétricas se distribuem uniformemente ao redor do material, diferente da eletrização de um corpo isolante, onde a eletrização fica contida apenas na região que foi realizada a eletrização, como visto na imagem acima.

Existem materiais que não nem condutores, nem isolantes, são os semi-condutores, segundo Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017) e Bonjorno et al (2016), dependendo dos arranjos dos átomos desses materiais, eles podem se tornar ótimos condutores, quando cerca de  $10^{-5}\%$  de elementos como boro e arsênio, são adicionados a elementos como germânio e silício, tem-se um semi-condutor, amplamente utilizados na construção de chips de celulares e computadores.

### 1.3.3 *Processos de eletrização*

É possível eletrizar um corpo de diversas formas, são elas a eletrização, por atrito, por contato e por indução.

Na eletrização por atrito, segundo Bonjorno et al (2016) e Sampaio e Calçada (2005) dois materiais são atritados fortemente, com tal proximidade que elétrons são transferidos de um corpo a outro, do corpo que possui facilidade em transferir elétrons, para o corpo que facilidade em receber elétrons, aqueles que ficam com excesso de elétrons, ficam carregados positivamente, enquanto que



aqueles que ficaram com falta de elétrons, ficam com carga negativa.

Segundo Sampaio e Calçada (2005), corpos neutros recebem elétrons, ficam eletrizados negativamente e quando perdem elétrons ficam carregados positivamente, pode-se dizer que na eletrização por atrito é mais fácil eletrizar corpos isolantes do que corpos condutores, e toda vez que corpos de matérias diferentes são atritados entre si, cargas de sinais contrários aparecem na região de atrito.

Na eletrização por atrito não criação de cargas, elas são apenas transferidas de um corpo para o outro, segundo Bonjorno et al (2016) o princípio da conservação da carga elétrica, pode ser enunciado da seguinte forma:

“Em um sistema isolado de corpos eletrizados, a soma algébrica das cargas de todos os corpos permanece constante”

Os cientistas devido aos diversos tipos de materiais existentes criaram uma lista de materiais que quando atritados, um fica carregado negativamente e o outro positivamente, para facilitar a compreensão do atrito entre diversos materiais, essa lista é chamada de série triboelétrica.

Figura 13. Ilustração da série triboelétrica.

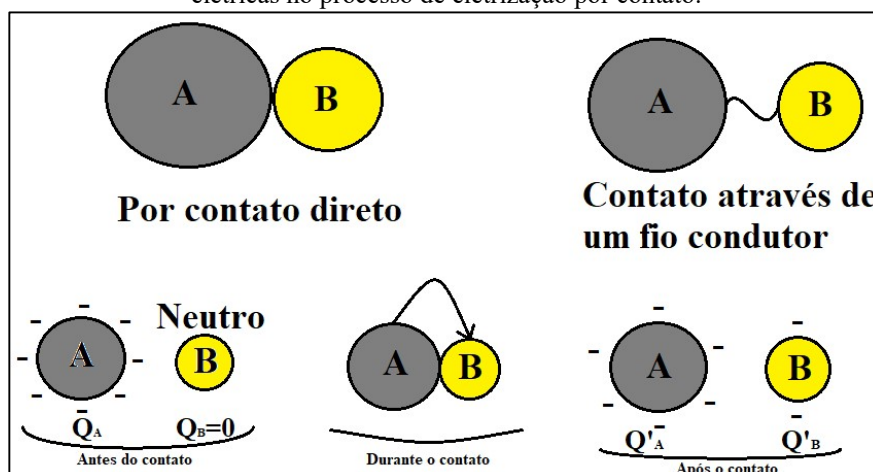


Fonte: Fogaça, [201?].

Na figura 13 os materiais que vem primeiro de cima para baixo ficam carregados positivamente, e os matérias de baixo, ficam carregados negativamente, quando atritados entre si.

Na eletrização por contato, segundo Bonjorno et al (2016) e Xavier e Barreto (2010), quando dois corpos são colocados em contato entre si, tanto pelo contato direto, quanto pelo contato através de um fio, um deles inicialmente eletrizado e o outro neutro, nota-se que ambos após o contato se eletrizam com cargas de mesmo sinal, e na eletrização por contato leva-se em contato o tamanho dos corpos, ou seja o corpo de maior dimensão terá proporcionalmente maior quantidade de carga em si em relação ao outro corpo eletrizado, se possuírem a mesma dimensão, ambos após o contato se eletrizaram com a mesma quantidade de carga elétrica.

Figura 14. Ilustração das formas de contato durante o processo de eletrização e a distribuição das cargas elétricas no processo de eletrização por contato.



Fonte: Próprio autor.

Onde  $Q_A$  e  $Q_B$  são as quantidades de carga elétrica dos corpos A e B respectivamente, antes do contato, e  $Q'_A$  e  $Q'_B$  são as quantidades de carga elétrica de A e B, após o contato respectivamente. Assim o princípio da conservação da carga elétrica pode ser enunciado da seguinte forma:

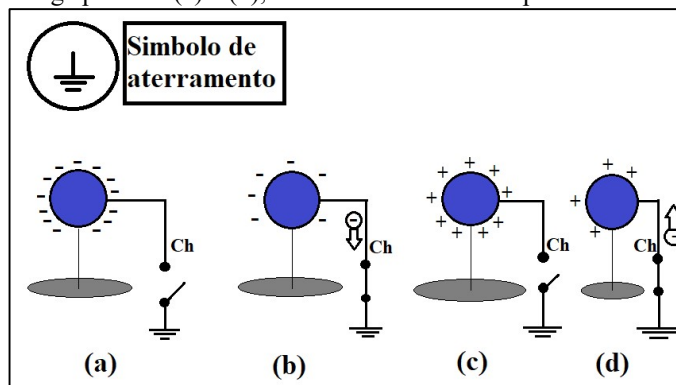
$$Q_A + Q_B = Q'_A + Q'_B \quad (15)$$

Assim nota-se que a quantidade de carga elétrica no sistema antes do processo de eletrização é a mesma após o processo de eletrização. Se na figura 14, o corpo A estivesse carregado positivamente, as cargas de A, seriam transferidas proporcionalmente para B, deixando este corpo carregado positivamente.

Portanto na eletrização por contato ocorre a transferência de cargas elétricas entre os corpos, se que a quantidade total do sistema seja alterada durante o processo de eletrização.

No estudo da eletrização por contato, temos também o processo de contato entre um corpo e a Terra, a este contato dá-se o nome de "aterramento", Segundo Bonjorno et al (2016) e Young e Freedman (2015) o excesso de carga elétricas em um condutor pode ser transferido para Terra, tanto por meio de um fio condutor, quanto pelo contato direto e devido ao fato de no processo de eletrização por contato, as dimensões dos corpos em contato serem consideradas durante a transferência de cargas, a Terra por ser um corpo muito grande em relação a corpos em sua superfície, se torna uma fonte quase inesgotável de elétrons, e também um ótimo dissipador de elétrons indesejáveis, assim a Terra pode "isolar" um corpo, deixando este neutro, isto não quer dizer que não há cargas elétricas nos corpos, só quer dizer que estas são imperceptíveis ao tato humano.

Figura 15. Ilustração do símbolo de aterramento, e também do processo de aterramento de um corpo eletrizado com carga negativa (a) e (b), isolado através de um suporte isolante, e também de um corpo eletrizado com carga positiva (c) e (d), isolado através de um suporte isolante.

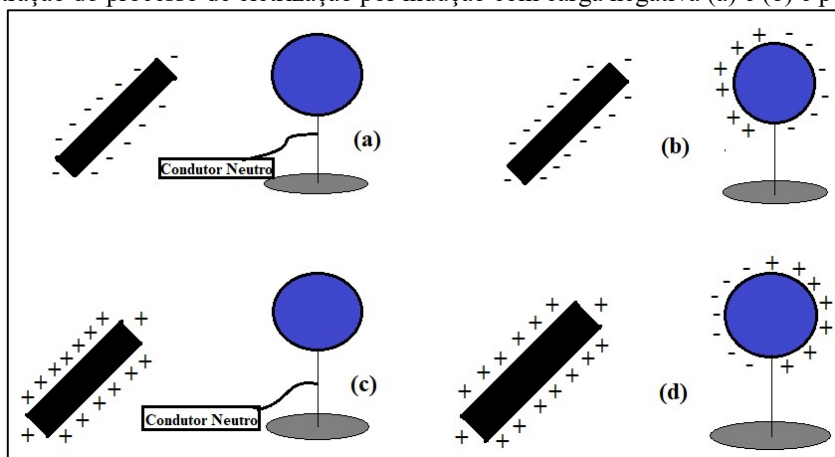


Fonte: Próprio autor.

Observando a figura 15, nota-se o símbolo do processo de aterramento, além dos processos de aterramento de corpos eletrizados com cargas negativas e positivas, onde as cargas elétricas negativas em excesso no condutor eletrizado (a) foram escoadas para terra, deixando o corpo neutro (b), enquanto que no caso do aterramento de um condutor eletrizado com carga positiva, as cargas elétricas positivas em excesso (c), foram balanceadas com as cargas negativas enviadas da Terra (d), deixando o corpo eletricamente neutro.

No processo de eletrização por indução, diferente dos processos anteriores, os corpos não entram em contato, segundo Bonjorno et al (2016) e Xavier e Barreto (2010), neste processo um corpo inicialmente neutro é eletrizado, pela simples aproximação de outro já eletrizado, ao corpo eletrizado dá-se o nome de induzido e ao que causa a eletrização, dá-se o nome de indutor, assim acontece o processo de indução eletrostática.

Figura 16. Ilustração do processo de eletrização por indução com carga negativa (a) e (b) e positiva (c) e (d).



Fonte: Próprio autor.

A figura 16, demonstra o processo de eletrização por indução de um corpo inicialmente neutro, pela aproximação de um condutor eletrizado com carga negativa (a) e (b), e também por um condutor eletrizado com carga positiva (c) e (d), nota-se no corpo induzido, nos dois casos (b) e (d), que ocorre um processo conhecido como polarização elétrica, que segundo Bonjorno et al (2016) é um processo que causa uma separação de cargas elétricas na superfície do induzido, onde as cargas elétricas da face

virada para o indutor, possui sinal contrário as cargas elétricas do mesmo, e na face do induzido contrária ao indutor, as cargas possuem o mesmo sinal do indutor.

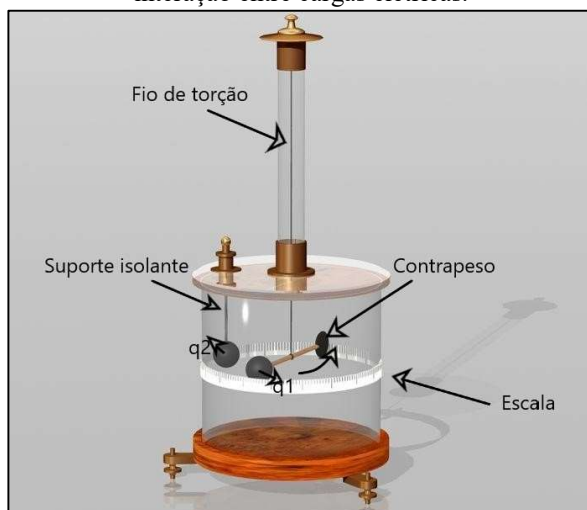
### 1.3.4 *Lei de Coulomb*

Este conceito deve ser apresentado com o intuito de que os alunos compreendam o princípio da atração e repulsão de cargas elétricas afundo, no momento inicial é indicado que este conceito seja apresentado em sua integralidade, levando em conta as proporções entre as cargas elétrica interagindo e também da distância.

A lei de Coulomb é basicamente o estudo da interação entre forças elétricas, a partir de Bonjorno et al (2016), Halliday, Resnick e Walker (2001) e Xavier e Barreto (2010), evidencia-se que Joseph Priestley (1733-1804) através de estudos acerca da atração e repulsão de cargas elétricas, notou que provavelmente essa interação entre as cargas, poderia ser descrita por uma relação parecida com a de Newton (1643-1727) para massas, no caso a Lei da Gravitação Universal.

Foi Charles August Coulomb (1736-1806), físico francês, que confirmou as previsões de Priestley, e estabeleceu uma relação entre as forças de atração e repulsão de cargas elétricas, segundo Bonjorno et al (2016) foi através de um experimento utilizando uma balança de torção, que pode ser visualizada na figura 17 abaixo.

Figura 17. Ilustração da balança de torção, utilizada por Coulomb na determinação da Força elétrica de interação entre cargas elétricas.



Fonte: HELERBROCK, [201?]. (Adaptado pelo autor).

Basicamente, na balança de torção, a força elétrica de esferas eletrizadas, pode ser de atração e repulsão, dependendo dos sinais das cargas elétricas, nela o movimento do fio de fibra que sustenta as duas esferas, acontece quando ocorre o movimento da esfera, e o ângulo da rotação do fio da fibra é proporcional à intensidade da força que o determinou.

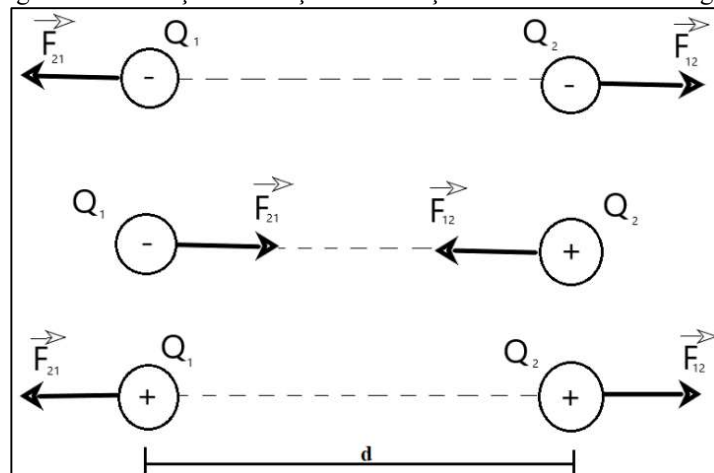
As cargas elétricas que trocam essas forças de repulsão e atração, são consideradas como cargas de raio  $r$  muito pequeno em relação a distância que separa as cargas, assim elas são chamadas de cargas puntiformes ou pontuais. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2001), Young e Freedman (2015) e Bonjorno et al (2016), Coulomb realizou observações acerca das forças elétricas entre corpos eletrizados, são elas:

1º) A força elétrica de interação, dependem das cargas elétricas presentes em cada um dos corpos eletrizados que estão interagindo, sendo diretamente proporcional ao valor de uma das cargas, e também ao produto entre as cargas.

$$F \propto |Q_1||Q_2| \quad (16)$$

2º) Possui a direção da reta que passa pelo centro das cargas elétricas. O vetor  $\vec{F}_{12}$  representa a força elétrica que a partícula 1 causa na partícula 2 e  $\vec{F}_{21}$  a força elétrica que a partícula 2 exerce em 1.

Figura 18. Ilustração das forças de interações elétricas entre as cargas.



Fonte: Próprio autor.

3º) Essa relação obedece a terceira lei de Newton, assim as forças constituem um par ação e reação, assim possuem a mesma intensidade e não se equilibram mutuamente.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \text{ e } |\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| \quad (17)$$

4º) A força elétrica é inversamente proporcional a distância entre as cargas, assim quanto maior a distância, mais ela diminui com o valor do quadrado da distância entre as cargas.

$$F \propto \frac{1}{d^2} \quad (18)$$

5º) A força elétrica depende do meio em que as cargas  $Q_1$  e  $Q_2$  estão inseridas, representada por  $k$ , e também das unidades adotadas. Assim para o vácuo, a constante do meio é chamada de constante eletrostática, simbolizada por  $k_0$ , seu valor é igual a  $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ .

Sendo:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (19)$$

Onde  $\epsilon_0$  é a permissividade elétrica e possui o valor igual a  $8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ .

Assim pode-se enunciar a seguinte expressão, acerca da força elétrica:

$$F = \frac{k|Q_1||Q_2|}{d^2} \quad (20)$$

A unidade de força elétrica é denominada Coulomb, representado pela letra C.

Se a força entre as cargas forem de atração,  $Q_1 \cdot Q_2 < 0$ , as cargas possuem sinais contrários.

Se a força entre as cargas forem de atração,  $Q_1 \cdot Q_2 > 0$ , as cargas possuem sinais iguais.

### 1.3.5 Campo Elétrico

A apresentação deste conceito é muito importante para que os discentes compreendam durante o processo de eletrização o campo elétrico criado ao redor de cada haste fixa no solo, o método de eletroresistividade deve ser lembrado, explorando este aspecto da experimentação, após a introdução deste conceito.

Pode ser utilizado para compreensão do comportamento das linhas de força de um campo elétrico de uma carga positiva e negativa, uma pequena bola de isopor com palitos de churrasquinho fixados nesta, afim de que os alunos compreendam o comportamento do campo elétrico.

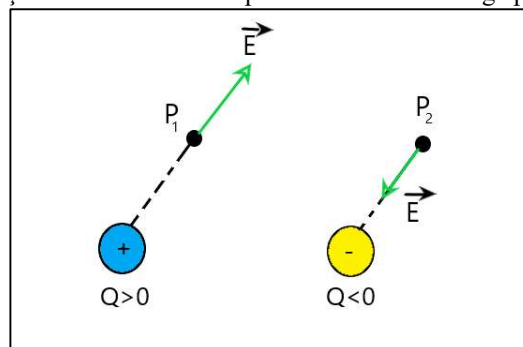
O campo elétrico é um fenômeno que foi explicado por Michael Faraday (1791-1867), no começo do século XIX, com uso do conceito de campo de força foi possível compreender como as forças elétricas entre as corpos eletrizados se comportavam, este conceito é utilizado na física, quando precisasse abordar fenômenos que modifiquem uma região do espaço, devido a presença de forças de interação elétricas, obedecendo regras específicas em um determinado intervalo de tempo.

Segundo Bonjorno et al (2016) ele é gerado simultaneamente a carga elétrica, sabe-se que no vácuo ele é formado a uma velocidade de 300000 km/s, pode-se pensar que o campo elétrico é uma região imaterial ao redor de todo corpo eletrizado, intermediador das trocas de forças elétricas a distância entre corpos eletrizados.

Segundo Xavier e Barreto (2010) para analisarmos o campo elétrico, atribuímos a ele uma grandeza chamada de vetor campo elétrico, assim como todo vetor, possui módulo, sentido e direção, sempre existirá campo elétrico ao redor de qualquer distribuição de cargas elétricas e para cada ponto do campo elétrico, existe um vetor campo elétrico associado a esse ponto.

Segundo Sampaio e Calçada (2005) o vetor campo elétrico é representado por  $\vec{E}$ , para identificar a existência do campo elétrico em uma ponto ao redor de uma carga chamada de “geradora”, colocasse ao redor da carga geradora uma carga de “prova”, assim surge uma força elétrica associada ao vetor campo elétrico, por convenção o sentido do campo é de se orientar para “fora” quando a carga é positiva, e para “dentro” quando a carga é negativa.

Figura 19. Ilustração do sentido do campo elétrico de uma carga positiva e negativa.



Fonte: Próprio autor.

Didaticamente para descrever a intensidade do campo elétrico, basta estabelecer a razão entre

a força (F) que age sobre a carga de prova e o valor da carga (q) desta:

$$E = \frac{F}{q} \quad (21)$$

No sistema internacional de unidades (SI), sua unidade é igual a: Newton/Coulomb.

A partir desta equação, também é possível definir a força elétrica a partir da equação anterior:

$$F = |q|.E \quad (22)$$

No estudo do campo elétrico, estudasse o campo elétrico de uma carga puntiforme, segundo Halliday, Resnick e Walker (2001), para se encontrar o campo elétrico de uma carga puntiforme Q, coloca-se uma carga de prova q em qualquer ponto a uma distância r da carga puntiforme, assim partindo da Lei de Coulomb, a intensidade da força eletrostática que age sobre q é:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|Q||q|}{r^2} \quad (23)$$

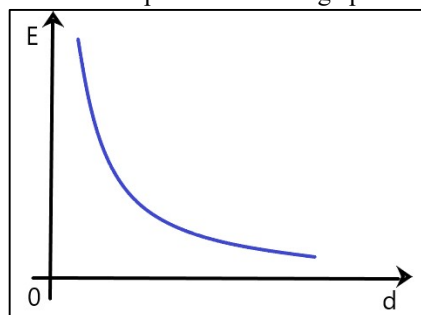
A força elétrica que age sobre as cargas aponta para longe da carga Q, se a carga q for positiva e aponta em direção a carga Q quando a carga q é negativa, assim o campo elétrico de uma carga puntiforme é:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|Q|}{r^2} \quad (24)$$

$$E = k_0 \frac{|Q|}{r^2} \quad (25)$$

Nota-se que este campo elétrico depende apenas da carga que o gera, sendo sua intensidade diretamente proporcional ao valor dessa carga, e também é inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa a carga Q do ponto em análise. Graficamente este campo possui o seguinte comportamento em relação a distância que separa a carga Q do ponto em análise.

Figura 20. Ilustração do gráfico do campo E de uma carga puntiforme em relação à distância.



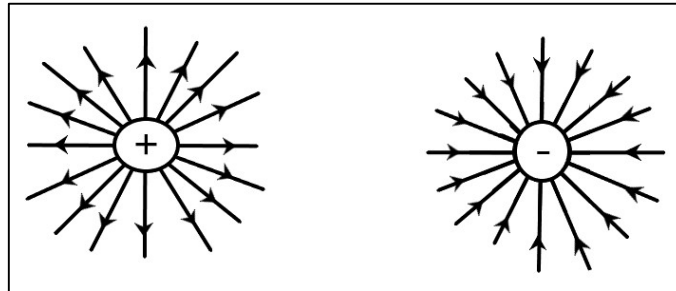
Fonte: Próprio autor.

O vetor campo elétrico descreve o comportamento do campo elétrico de um corpo eletrizado em um ponto, mas não dá a visão geral do comportamento do campo elétrico ao redor desse corpo, assim segundo Bonjorno et al (2016) utiliza-se o conceito de linhas de força para explicar a direção e sentido do campo elétrico ao redor de um corpo eletrizado, a partir desse conceito é possível visualizar onde as linhas de campo elétrico são mais densas, mostrando onde ele é mais intenso.

Convencionalmente utiliza-se o princípio de que em cargas elétricas de sinais negativos as linhas de campo se direcionam para dentro da carga elétrica ou seja são linhas de campo convergentes,

linhas de “aproximação”, e para cargas elétricas com sinais positivos, dizemos que as linhas de força se direcionam para fora da carga elétrica, linhas de aproximação ou seja são linhas de força divergentes. A figura 21 permite visualizar este fenômeno.

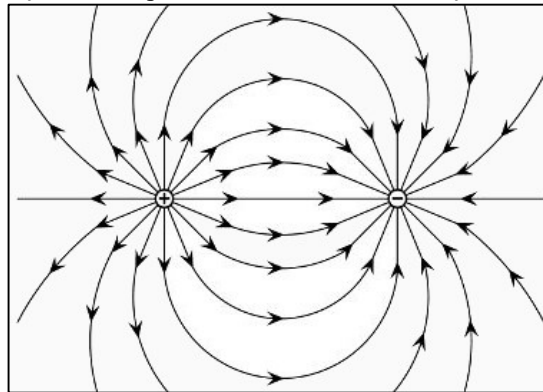
Figura 21. Ilustração da orientação das linhas de campo elétrica de uma carga positiva e uma carga negativa.



Fonte: Próprio autor.

Também é estudado o comportamento da interação entre os campos de cargas elétricas de mesmo sinal e sinais contrários, quando os campos de duas cargas de sinais contrários interagem, essa interação é chamada de dipolo elétrico, basicamente é um sistema das linhas de força do campo elétrico entre duas cargas puntiformes, como mostra a figura 22.

Figura 22. Ilustração do comportamento das linhas de força de um dipolo elétrico.



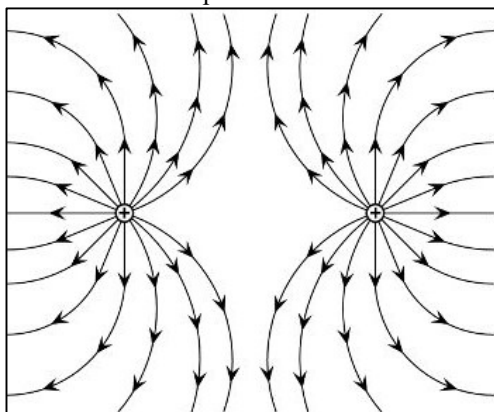
Fonte: HELERBROCK, [201?].

Na imagem acima, observa-se que as linhas de campo de um dipolo elétrico são encurvadas, e partem da carga positiva e terminam na carga negativa.

Na figura 23, nota-se o comportamento das linhas de força dos campos elétrico de cargas de mesmo sinal interagindo.



Figura 23. Ilustração do comportamento das linhas de força de cargas de sinais iguais, como a de cargas positivas.

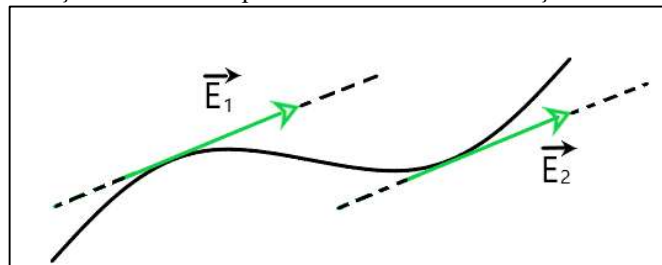


Fonte: HELERBROCK, [201?].

Na imagem acima as linhas de campo elétricos de duas cargas de sinais contrários interagindo, são encurvadas e se repelem, acerca deste conceito pode-se afirmar que:

- Sendo uma linha de força traçada de tal modo que, em cada ponto, o vetor  $\vec{E}$  seja tangente a ela, é possível determinar a direção e o sentido do campo em um ponto quando conhecemos a linha de força que passa por esse ponto;
- Como as linhas de força são traçadas mais próximas umas das outras nas regiões onde a campo elétrico é mais intenso, observando a separação entre essas linhas, é possível obter informações sobre o módulo do vetor, campo elétrico (MÁXIMO; ALVARENGA; GUIMARÃES, 2017, p.45).

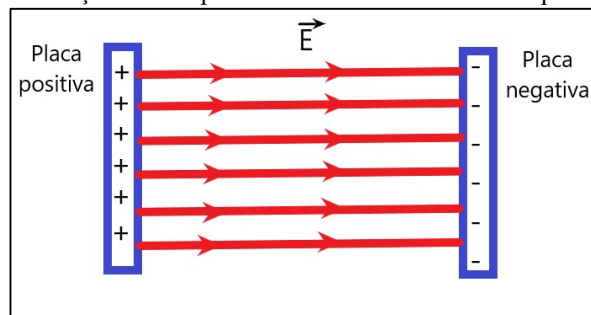
Figura 24. Ilustração do vetor campo elétrico nas linhas de força de um campo elétrico.



Fonte: Próprio autor.

O campo elétrico pode ser uniforme, segundo Bonjorno et al (2016) este campo possui direção, sentido e intensidade iguais, suas linhas de força são retas paralelas entre si, sendo o espaçamento entre elas constante, como o campo de placas paralelas mostrado na figura 25.

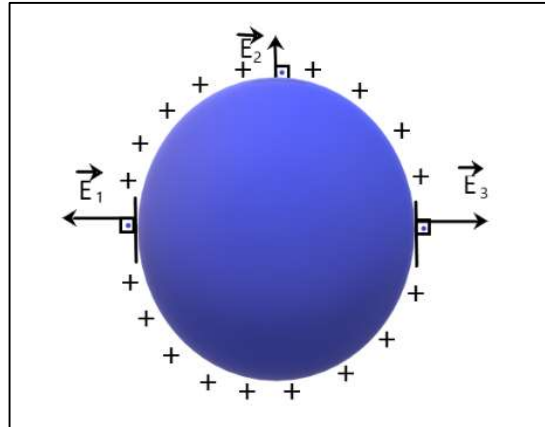
Figura 25. Ilustração do campo elétrico uniforme entre duas placas paralelas.



Fonte: Próprio autor.

No estudo do campo elétrico é primordial o estudo do campo elétrico de um condutor em equilíbrio eletrostático, o equilíbrio ocorre quando não há cargas se movimentando no interior do condutor, segundo Sampaio e Calçada (2005) quando o condutor eletrizado se encontra em equilíbrio eletrostático, suas cargas se distribuem uniformemente em sua superfície, não ocorrendo a presença de cargas elétricas em seu interior, assim o campo elétrico em seu interior é nulo.

Figura 26. Ilustração do campo elétrico de um condutor em equilíbrio eletrostático.



Fonte: Próprio autor.

Observando a imagem acima, nota-se que o campo elétrico é perpendicular a superfície de qualquer ponto da superfície do condutor, sendo o campo elétrico em seu interior nulo.

Em sua superfície o campo elétrico é igual a:

$$E = k_0 \frac{|Q|}{r^2} \quad (26)$$

### 1.3.6 Potencial Elétrico

Este conceito pode ser abordado de forma sucinta pelo professor, buscando esclarecer que o movimento de uma carga elétrica gera um trabalho, para que então o significado tanto de diferença de potencial elétrico e superfícies equipotenciais faça sentido na mente do discente.

Observando a Lei de Newton e a Lei de Coulomb, percebe-se que as duas são matematicamente iguais, assim as relações que valem para o estudo da gravidade também são aplicáveis no estudo da força eletrostática. Segundo Bonjorno et al (2016), realizando uma analogia com o potencial gravitacional pode-se conceber uma interpretação do potencial elétrico, para isso utiliza-se um corpo de massa (m) situado no ponto (A) a uma certa altura (h) em relação ao solo, onde  $\vec{P}$  é a força gravitacional, e associado a este corpo existe uma energia potencial gravitacional ( $E_{PGA}$ ) e quanto maior a altura, maior a energia potencial gravitacional do corpo ( $E_{PG}$ ), e quando este corpo se desloca ele realiza trabalho, como mostrado em (a) na figura 27.

Onde:

$$E_{PG} = mgh \quad (27)$$

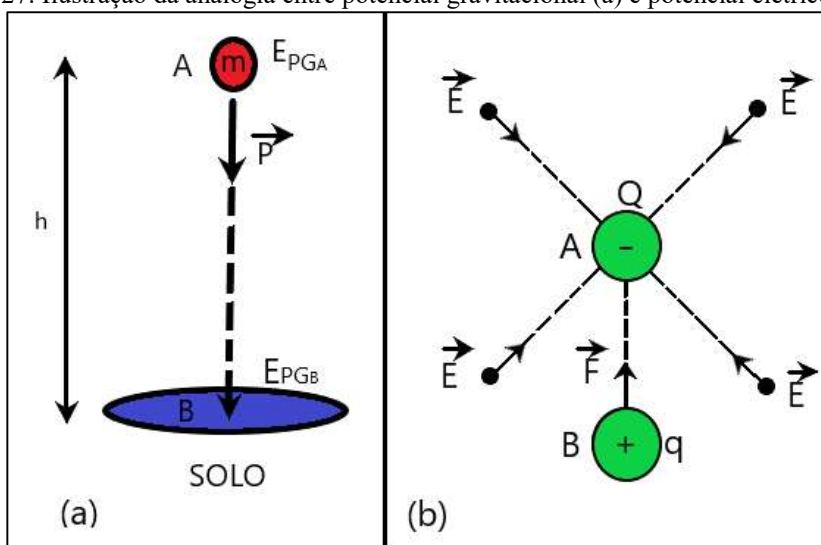
Assim, o trabalho do corpo de (a) na figura 27, é:

$$W_{AB} = E_{PGA} - E_{PGB} \quad (28)$$

Onde  $W_{AB}$  é o trabalho realizado pelo corpo do ponto A ao ponto B,  $E_{PGB}$  é a energia potencial

gravitacional do corpo no ponto B.

Figura 27. Ilustração da analogia entre potencial gravitacional (a) e potencial elétrico em (b).



Fonte: Próprio autor.

Em (b) na figura 27, temos que  $\vec{E}$  são os vetores campo elétrico em qualquer ponto do espaço nos arredores da carga Q geradora do campo elétrico, situada no ponto A, enquanto que  $\vec{q}$  é a carga teste, situada no ponto B, sofrendo a ação de uma força elétrica de atração devido a carga Q gerado negativa.

No caso de um condutor eletrizado em equilíbrio eletrostático, como em (b) na figura 27, o potencial elétrico é uma grandeza escalar e está relacionado à capacidade que um corpo energizado tem de realizar trabalho, ou seja, na atração ou repulsão entre cargas elétricas, estas podem realizar trabalho, nesta situação há um potencial elétrico associado ao ponto do campo elétrico, onde o corpo se encontra.

Assim o trabalho realizado pela carga que do ponto B ao ponto A, em (b) na figura 27 é:

$$W_{AB} = E_{PEA} - E_{PEB} \quad (29)$$

$E_{PEA}$  é a energia potencial elétrico da carga q no ponto A, e  $E_{PEB}$  é a energia potencial elétrica da carga q no ponto B.

Segundo Xavier e Barreto (2010) como um corpo que pode se movimentar possui uma energia potencial, para corpos eletrizados teremos também uma energia potencial elétrica associada ao corpo. Como o potencial elétrico (V) depende da carga teste, carga geradora, da distância entre as cargas que estão interagindo, e do meio que estas estão imersas, no caso consideramos o vácuo como meio, o potencial elétrico é dado pela razão entre a energia potencial elétrica ( $E_{pe}$ ), sendo:

$$E_{pe} = k_o \frac{Qq}{d} \quad (30)$$

E a carga envolvida (q):

$$V = \frac{E_{pe}}{q} \quad (31)$$

No Sistema Internacional de Unidades, sua unidade é o Volt (V), pois Volt é igual a Joule/Coulomb.

Substituindo (21) em (22), tem-se:

$$V = k_o \frac{Qq}{d} \quad (32)$$

$$V = k_o \frac{Q}{d} \quad (33)$$

Esse é o potencial elétrico de uma carga puntiforme ou pontual.

### 1.3.7 Diferença de Potencial Elétrico (ddp)

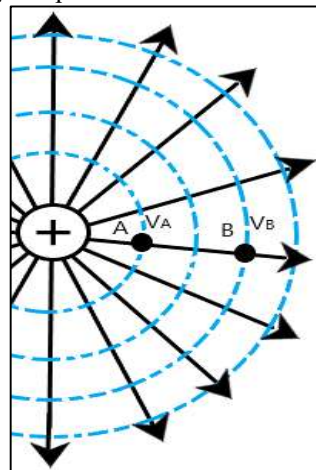
Este conceito deve ser apresentado em sua integralidade, demonstrando aos alunos a relação entre este conceito e o potencial elétrico, este conceito é primordial, pois essa grandeza física é amplamente utilizada no experimento e base para exploração de muitos conceitos físicos, presente no cotidiano do discente, deve-se utilizar diversas situações cotidianas para que o aluno compreenda a influência dessa grandeza no seu dia a dia.

Considerando dois pontos A e B há uma certa distância em um campo elétrico gerado por uma carga elétrica, como ilustrado na Figura 28 com potenciais elétricos diferentes  $V_A$  e  $V_B$  respectivamente, se uma carga  $q$  for posta no ponto A, logo haverá uma energia potencial elétrica armazenada nesse sistema, sendo a carga livre para se mover, logo haverá, por exemplo, um deslocamento desta para o ponto B, onde teremos uma energia potencial elétrica associada a este ponto, assim a diferença de potencial elétrico entre esses dois pontos é dado e representado por ddp (U) ou tensão elétrica, sendo U igual à diferença entre os potenciais A e B.

$$U = V_A - V_B = \frac{E_{peA}}{q} - \frac{E_{peB}}{q} \quad (34)$$

A unidade de medida de U no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o Volt.

Figura 28. Ilustração da diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um campo elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Para compreender essa equação, Bonjorno et al (2016) diz que o trabalho da força elétrica que desloca a carga  $q$  de um ponto A para um ponto B na região de um campo elétrico é:

$$W_{AB} = E_{PGA} - E_{PGB} \quad (35)$$

Dividindo ambos os lados por  $q$ :

$$\frac{W_{AB}}{q} = \frac{E_{PGA}}{q} - \frac{E_{PGB}}{q} \quad (36)$$

$$\frac{W_{AB}}{q} = V_A - V_B \quad (37)$$

$$W_{AB} = q \cdot (V_A - V_B) \quad (38)$$

Como  $V_A - V_B = U$ , assim:

$$U = \frac{W_{AB}}{q} \quad (39)$$

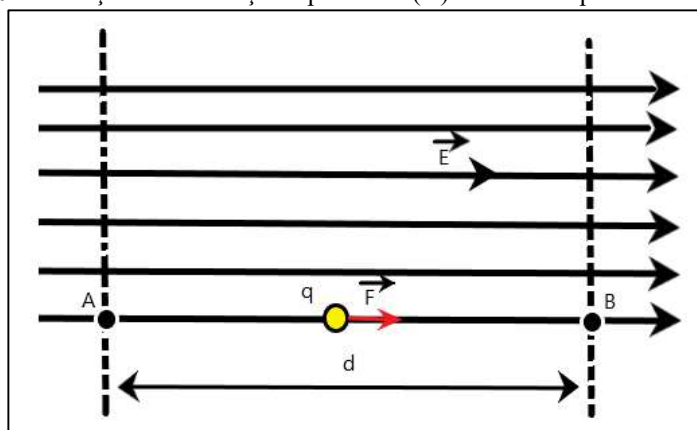
Assim a ddp ( $U$ ) é descrita como a razão entre o trabalho para deslocar uma carga  $q$  na região de um campo elétrico e o valor dessa carga. Assim pode-se afirmar que:

- O campo elétrico é conservativo. Portanto, o trabalho que a força elétrica realiza sobre a carga  $q$  quando está se deslocando de um ponto a outro independe da trajetória descrita por ela.
- Se o deslocamento ocorrer em uma superfície equipotencial, o trabalho é nulo, pois  $V_A = V_B$ .
- No limite do campo elétrico (infinito do campo), tanto o potencial elétrico como a energia potencial elétrica assumem valor nulo.
- Da mesma forma que é preciso estabelecer um referencial para indicar a energia potencial gravitacional de uma massa, costuma-se adotar uma referência ao lidar com o potencial elétrico e com a energia potencial elétrica.
- Se a carga  $Q$  geradora do campo elétrico for:
  - positiva, o potencial elétrico é positivo;
  - negativa, o potencial elétrico é negativo (BONJORNO et al, 2016, pg. 48).

As superfícies equipotenciais citada serão explicadas na seção seguinte.

Pode-se observar a definição de ddp para um campo elétrico, mas também podemos definir a ddp para um campo elétrico uniforme. Segundo Xavier e Barreto (2010), considerando dois pontos A e B na região de um campo elétrico uniforme  $\vec{E}$ , uma carga  $q$  puntiforme se desloca de A para B devido a uma força elétrica como na figura 29, assim é possível calcular o trabalho da força elétrica para deslocar esta carga.

Figura 29. Ilustração da diferença de potencial ( $U$ ) em um campo elétrico uniforme.



Fonte: Próprio autor.

A força elétrica pode ser descrita como:

$$F = q \cdot E \quad (40)$$

E a definição de trabalho na mecânica clássica é:

$$W = F \cdot d \quad (41)$$

Assim:

$$W = q \cdot E \cdot d \quad (42)$$

A diferença de potencial elétrico entre os pontos A e B na figura 24, é:

$$U = \frac{W_{AB}}{q} \quad (43)$$

Substituindo (33) em (34), tem-se:

$$U = \frac{q \cdot E \cdot d}{q} \quad (44)$$

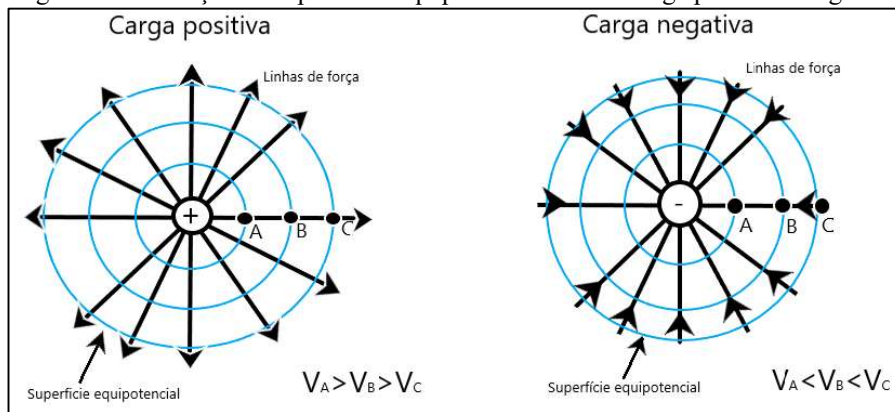
$$U = Ed \quad (45)$$

### 1.3.8 Superfícies Equipotenciais

Este conceito é essencial na compreensão do aluno do método de eletroresistividade, compreender como as cargas se comportam nas superfícies equipotenciais de um campo elétrico, é importante que o professor volte a lembrar a teoria do experimento de eletroresistividade, demonstrando a influência das superfícies equipotenciais na compreensão da teoria.

Quando se considera uma superfície na região de um campo elétrico onde seus pontos possuam o mesmo potencial elétrico, segundo Halliday, Resnick e Walker (2001), elas podem ser denominadas de superfícies equipotenciais, para o caso de uma única carga puntiforme, vemos que essas superfícies tem o formato de esferas concêntricas, onde o centro é a carga elétrica, como na figura 30. E no caso de placas paralelas onde o campo elétrico é uniforme notamos que as superfícies são paralelas entre si e perpendiculares às linhas de força, é possível ver isso através da Figura 30.

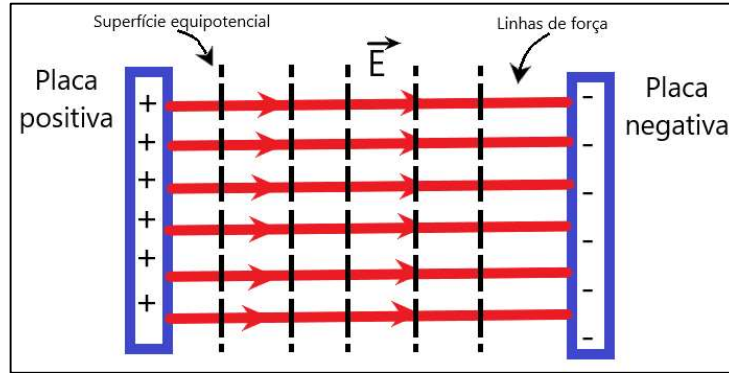
Figura 30. Ilustração de superfícies equipotenciais de um carga positiva e negativa.



Fonte: Próprio autor.

Nota-se que as superfícies equipotenciais são sempre perpendiculares as linhas de força do campo elétrico, analisando a figura 30, no caso de uma carga positiva, quanto mais próxima é a superfície equipotencial da carga, maior é o seu potencial elétrico, no caso de uma carga negativa, nota-se o contrário, quanto mais próximo, menor o potencial elétrico da superfície equipotencial, em seguida é apresentado as superfícies equipotenciais em um campo elétrico uniforme.

Figura 31. Ilustração das linhas equipotenciais em um campo elétrico uniforme.



Fonte: Próprio autor.

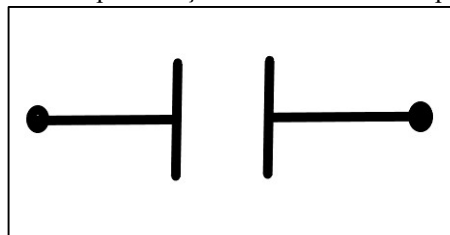
No caso de placas paralelas onde o campo elétrico é uniforme notamos que as superfícies são paralelas entre si e perpendiculares às linhas de força, é possível ver isso através da Figura 31.

### 1.3.9 Capacitores

Este conceito é fundamental para a compreensão de parte do experimento de eletroresistividade, tendo em vista que no mesmo há uma associação de capacitores, deve ser explicado visando a compreensão do motivo de um capacitor ser utilizado no experimento, demonstrando que eles podem ser utilizados para transformar corrente elétrica alternada em contínua e também explicar a associação de capacitores, pode ser levado em sala pequenos capacitores, simplesmente para que os alunos compreendam como eles são de fato, e também onde eles podem ser utilizados.

Os capacitores são dispositivos existentes em circuitos eletrônicos de diversos aparelhos, como televisores, celulares, segundo Bonjorno et al (2016) os capacitores são dispositivos que armazenam cargas elétricas e são representados simbolicamente com dois braços de mesmo tamanho, simbolizando um capacitor de placas paralelas condutoras, como visto na figura 32.

Figura 32. Representação simbólica de um capacitor.



Fonte: Próprio autor.

Existem diversos tipos de capacitores, os de placas paralelas, cilíndricos e esféricos, na figura 33, observa-se os capacitores cilíndricos.

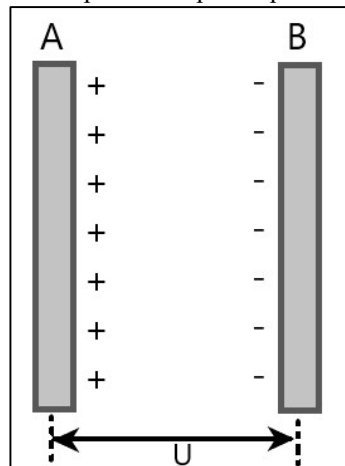
Figura 33. Exemplos de capacitores.



Fonte: HELERBROCK, [201?].

Segundo Bonjorno et al (2016) o capacitor de placas paralelas condutoras chamadas de “armaduras” e por um material isolante conhecido como dielétrico, como o vidro, ar, papel etc. Quando um capacitor é carregado, as placas possuem cargas  $Q$  de mesmo módulo, mas de sinais contrários,  $+Q$  e  $-Q$ , portanto a carga total do capacitor é nula, assim quando se fala em carga de um capacitor, refere-se a carga de uma das placas que constituem o capacitor, na figura 34 é representado um capacitor de placas paralelas, submetido a uma ddp.

Figura 34. Ilustração de um capacitor de placas paralelas submetido a uma ddp.



Fonte: Próprio autor.

Segundo Bonjorno et al (2016) foi notado experimentalmente que a quantidade de carga elétrica  $Q$  no capacitor e a diferença de potencial elétrica  $U$  entre as placas são diretamente proporcionais, sendo que a constante de proporcionalidade é chamada de capacitância, que basicamente é uma característica de cada capacitor, essa grandeza depende das dimensões, do formato das armaduras, da distância entre as placas e da natureza do dielétrico colocada entre as placas, assim a capacitância  $C$  possui a seguinte expressão:

Como a quantidade de carga elétrica  $Q$  e a ddp  $U$  são diretamente proporcionais, tem-se:

$$Q = C \cdot U \quad (46)$$

Então:

$$C = \frac{Q}{U} \quad (47)$$

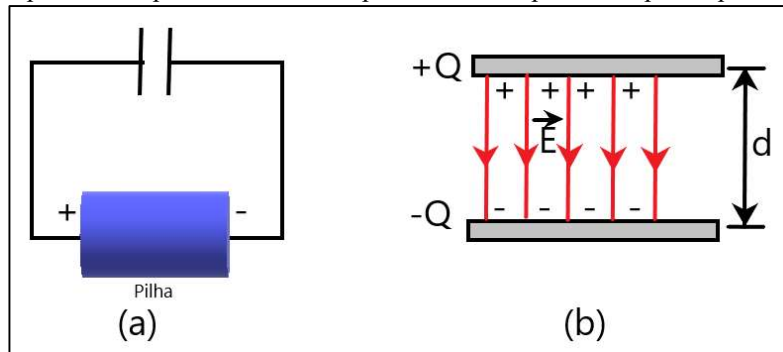
A unidade de medida de capacitância no sistema internacional de unidades é o Farad (F),



equivalente a Coulomb/Volt.

Quando um capacitor é conectado com um gerador elétrico, segundo Bonjorno et al (2016) ele adquire cargas de sinais contrários, e o trabalho realizado para carregar o capacitor, se transforma em energia potencial elétrico do campo elétrico entre as placas do capacitor.

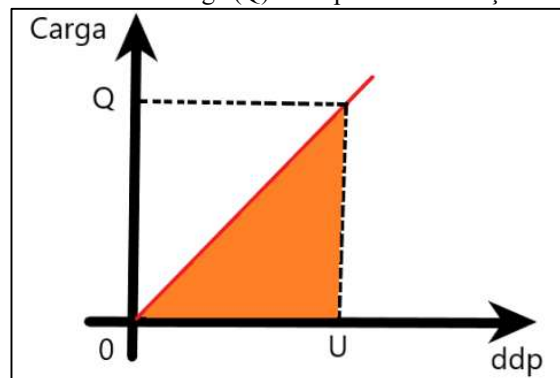
Figura 35. Em (a) uma ilustração de um esquema de um capacitor simples, e em (b) uma ilustração de como se comporta o campo elétrico entre as placas de um capacitor de placas paralelas.



Fonte: Próprio autor.

Como a carga de um capacitor varia com a ddp entre as placas do mesmo, a razão entre as duas grandezas é constante e conhecida como capacitância. Segundo Bonjorno et al (2016) a interpretação gráfica da carga  $Q$  em função da ddp  $U$  é uma reta que passa pela origem das coordenadas e sua inclinação é igual a capacitância  $C$ . A figura 36 mostra o comportamento do gráfico  $Q \times U$ .

Figura 36. Gráfico da carga ( $Q$ ) do capacitor em função da ddp ( $U$ )



Fonte: Próprio autor.

Interpretando a figura acima, é possível encontrar a Energia potencial elétrica armazenada pelo capacitor, a área do triângulo da figura 36 é:

$$A_T = \frac{QU}{2} \quad (48)$$

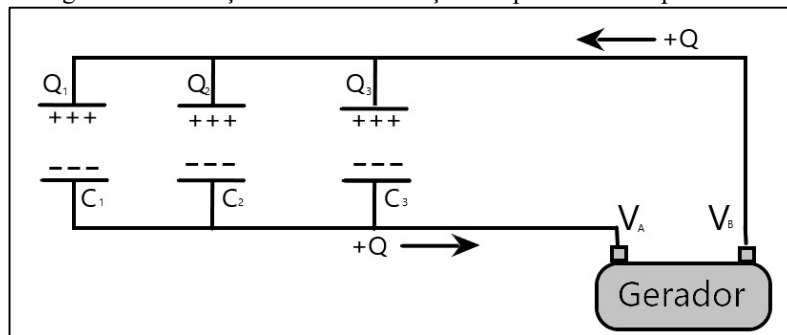
Essa é a energia potencial elétrica  $E_p$  armazenada pelo capacitor, e como  $Q = C \cdot U$ , tem-se:

$$E_p = \frac{C \cdot U \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2} \quad (49)$$

Os capacitores podem ser ligados entre si, por ligações conhecidas como ligação em série e ligação em paralelo de capacitores, Segundo Sampaio e Calçada (2005) nestas associações existe um capacitor hipotético, conhecido como capacitor equivalente, basicamente ele seria um capacitor equivalente ( $C_{eq}$ ) aos capacitores ligados em série e em paralelo, se fosse dada a mesma ddp da associação, armazenando uma carga elétrica total igual à da associação.

Na associação em paralelo de capacitores, segundo Sampaio e Calçada (2005) as armaduras positivas são ligadas entre si, todas com o mesmo potencial  $V_A$ , assim como as armaduras negativas, interligadas com um mesmo potencial  $V_B$ , como mostra a figura 37.

Figura 37. Ilustração de uma associação em paralelo de capacitores.



Fonte: Próprio autor.

Segundo Sampaio e Calçada (2005) a carga total  $Q$  armazenada em uma associação é igual a soma das cargas de cada um dos capacitores associados, assim:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n \quad (50)$$

Para cada um dos capacitores, sabemos que a carga  $Q$  é:

$$Q_1 = C_1 \cdot U \quad (51)$$

$$Q_2 = C_2 \cdot U \quad (52)$$

.

.

.

$$Q_n = C_n \cdot U \quad (53)$$

Se todos os membros forem somados, têm-se:

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = (C_1 + C_2 + \dots + C_n) \cdot U \quad (54)$$

$$Q = (C_1 + C_2 + \dots + C_n) \cdot U \quad (55)$$

Ao substituir a associação por capacitor equivalente, têm-se:

$$Q = C_{eq} \cdot U \quad (56)$$

Substituindo (47) em (46) obtêm-se:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (57)$$

Associando em paralelo ( $n$ ) capacitores de mesma capacitância, têm-se:

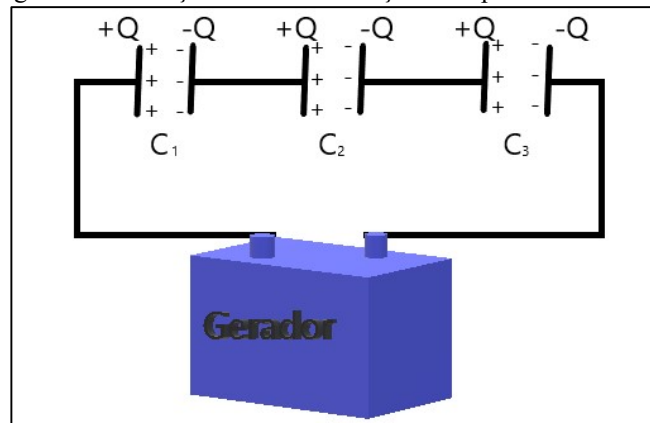
$$C_{eq} = n \cdot C \quad (58)$$

Assim, na associação em paralelo de capacitores, todos os capacitores associados ficam submetidos a mesma ddp, a carga total é igual a soma das capacitâncias de todos os capacitores da associação, e a carga de cada capacitor é diretamente proporcional a sua capacitância.

Na associação em série de capacitores, segundo Sampaio e Calçada (2005) a armadura negativa de um capacitor é ligada a armadura positiva do capacitor seguinte, como mostra a figura 38, nesta associação a armadura positiva do primeiro capacitor induz uma carga  $-Q$  na armadura negativa, e

assim a carga  $+Q$  escoa para a armadura positiva do segundo capacitor que induz carga negativa  $-Q$  na armadura negativa do segundo capacitor e assim sucessivamente, até o ultimo capacitor.

Figura 38. Ilustração de uma associação de capacitores em série.



Fonte: Próprio autor.

Segundo Sampaio e Calçada (2005) a tensão total  $U$  da associação é igual a soma de todas as tensões de cada capacitor, assim:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n \quad (59)$$

A tensão de cada capacitor é:

$$U = \frac{Q}{C} \quad (60)$$

E a capacitância do capacitor equivalente  $C_{eq}$  é:

$$C_{eq} = \frac{Q}{U} \quad (61) \quad \therefore U = \frac{Q}{C_{eq}} \quad (61)$$

Substituindo o a tensão de cada capacitor, têm-se:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (63)$$

Se forem associados em série capacitores de mesma capacitância, o capacitor equivalente é:

$$C_{eq} = \frac{C}{n} \quad (64)$$

Onde  $n$  é o número de capacitores associados em série.

A cerca das principais propriedades deste tipo de associação, pode-se afirmar que:

Para a associação de capacitores em série inicialmente descarregados, valem as seguintes propriedades:

- 1.<sup>a</sup>) Os capacitores adquirem todos a mesma carga elétrica.
- 2.<sup>a</sup>) A d.d.p entre os terminais da associação é igual à soma das d.d.p de cada capacitor.
- 3.<sup>a</sup>) A d.d.p em cada capacitor é inversamente proporcional à respectiva capacitância.
- 4.<sup>a</sup>) O inverso da capacitância equivalente é igual ao somatório dos inversos das capacitâncias associadas (SAMPAIO; CALÇADA, 2005, p. 276).

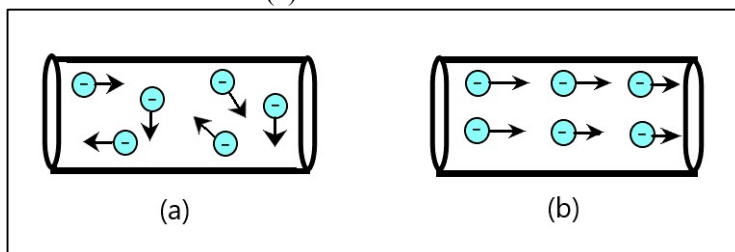
### 1.3.10 Intensidade da corrente elétrica

O professor deve tratar este assunto, buscando demonstrar como a corrente elétrica se comporta, apresentado a unidade de intensidade de corrente elétrica, e também as diferenças da corrente contínua e corrente alternada, pois as duas são utilizadas em diferentes momentos no experimento de

eletrorresistividade.

Em um fio eletrizado os elétrons livres se movem desordenadamente dentro do condutor eletrizado, esse movimento não constitui o conceito que será estudado nesta seção, necessariamente o conceito de corrente elétrica, é de um movimento ordenado de elétrons livres no interior de um condutor eletrizado, como na figura 39 (a).

Figura 39. Ilustração do movimento desordenado de elétrons livre (a) e o movimento ordenado de elétrons livres (b) dentro de um condutor.



Fonte: Próprio autor.

O fenômeno da corrente elétrica ocorre, por exemplo, quando em um fio condutor, dois pontos A e B, possuem certa diferença de potencial elétrico, assim há um campo elétrico entre esses dois pontos do condutor, portanto as cargas elétricas ficam sujeitas a forças elétricas de atração ou repulsão dependendo dos sinais das cargas, fazendo assim com que ocorra um movimento ordenado de cargas elétricas, como mostra a figura 39 (b), chamamos este movimento de corrente elétrica.

Diversos estudiosos físicos podem ser listados por contribuições acerca da corrente elétrica, pode-se citar Alessandro Volta (1745-1827), segundo Chagas (2000) com o invento das primeiras pilhas, sendo a primeira fonte de corrente contínua criada, e segundo Ribeiro (2014) André-Marie Ampère (1775-1836), com as primeiras observações eletromagnéticas da corrente elétrica, observando a influencias de correntes elétricas próximas umas das outras.

Segundo Xavier e Barreto (2010) a intensidade desta corrente elétrica é igual à razão entre a quantidade de carga ( $\Delta Q$ ) que passa por um fio condutor eletrizado e o tempo ( $\Delta t$ ) que elas levam para executar esse trajeto.

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (65)$$

Como  $\Delta Q = n \cdot e$ , tem-se:

$$i = \frac{n \cdot e}{\Delta t} \quad (66)$$

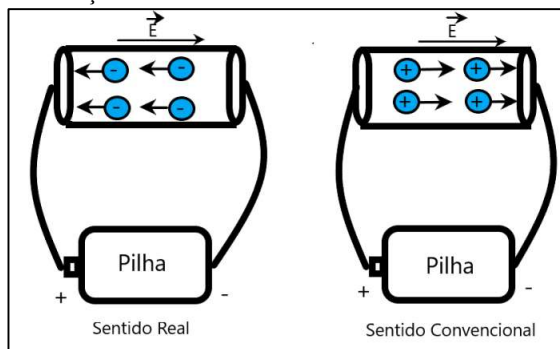
Sendo  $i$  a intensidade da corrente elétrica, ( $\Delta Q$ ) a quantidade de carga elétrica, ( $e$ ) a carga elementar de um elétron e ( $\Delta t$ ) é a variação do tempo.

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a sua unidade é o Ampere (A), que é igual a Coulomb/ segundo.

A corrente elétrica possui um sentido chamado de convencional, segundo Bonjorno et al (2016) por convenção adota-se que o sentido da corrente elétrica é o mesmo do campo elétrico, ou seja, no sentido contrário ao real, onde os elétrons livres se deslocam do maior para o menor potencial elétrico,

então basicamente no sentido convencional, a corrente elétrica se orienta no mesmo sentido do campo elétrico, quando se fala de corrente elétrica, adota-se o sentido convencional como padrão.

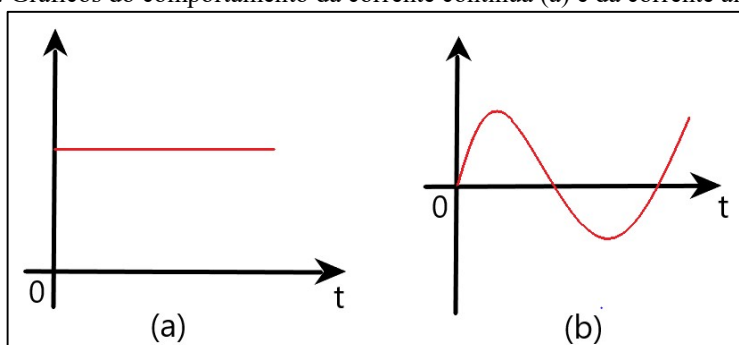
Figura 40. Ilustração do sentido real e convencional da corrente elétrica.



Fonte: Próprio autor.

Os elétrons livres que compõem a corrente elétrica podem ir de um polo a outro de uma pilha em um único sentido como na imagem acima, mas ela também pode variar seu sentido, segundo Xavier e Barreto (2010) quando a corrente elétrica mantém seu sentido constante é denominada corrente contínua e quando possui sua intensidade constante com o decorrer do tempo é denominada corrente contínua constante, mas quando sua intensidade e sentido variam periodicamente, ela é denominada corrente alternada, a figura 41, mostra graficamente o comportamento desses dois tipos de corrente elétrica.

Figura 41. Gráficos do comportamento da corrente contínua (a) e da corrente alternada (b).



Fonte: Próprio autor.

A passagem da corrente elétrica em condutores causa alguns efeitos, são eles o efeito Joule ou térmico, efeito magnético, efeito luminoso, efeito químico e efeito fisiológico.

Segundo Bonjorno et al (2016), basicamente o efeito térmico é o aquecimento do condutor devido a passagem de corrente elétrica, as constantes colisões dos elétrons livres e átomos do material, faz com que ocorra um aumento da vibração dos átomos implicando no aquecimento do condutor, enquanto que o efeito magnético, ocorre devido a passagem de corrente elétrica perto de um condutor, como uma bússola, fazendo com que ocorra a formação de um campo de natureza magnética.

Segundo Bonjorno et al (2016) o efeito luminoso ocorre quando em certas condições a passagem e corrente elétrica em um gás a baixa pressão, faz com que ocorra emissão de luz, como em lâmpadas fluorescentes, já o efeito químico ocorre quando a passagem de corrente elétrica em soluções eletrolíticas, ocorrendo reações químicas, as chamadas eletrólises, como ocorre na galvanoplastia.

O efeito fisiológico, segundo Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017) ocorre quando a passagem de corrente elétrica no corpo humano, o “choque elétrico”, que pode ocorrer devido a descargas elétrica de corpos carregado colocados em contato ao corpo humano.

### 1.3.11 Elementos de um circuito elétrico

Este conteúdo é primordial para o estudo de circuitos elétricos, os alunos irão compreender a simbologia de cada componentes de um circuito, é de fácil apresentação, sem nenhuma restrição ao modo como deve ser apresentado, fica a critério do docente.

Quando uma lâmpada é ligada por um pilha, a corrente elétrica percorre um caminho fechado, saindo de polo da pilha, passa pela lâmpada e retorna ao outro polo da pilha, esse caminho fechado chama-se de circuito elétrico, basicamente um circuito elétrico são conjunto de caminhos percorridos por corrente elétrica, onde aparecem dispositivos elétricos, ligados a um gerador.

Os circuitos elétricos possuem diversos dispositivos elétricos, um deles é o gerador elétrico, Segundo Bonjorno et al (2016) ele é o dispositivo que transforma algum tipo de energia exclusivamente em energia elétrica, são comuns os geradores químicos, como as pilhas que transformam energia química em energia elétrica, e os geradores mecânicos que transformam energia mecânica em elétrica.

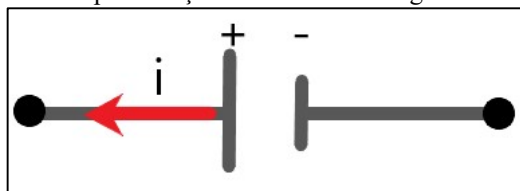
Figura 42. Imagem de uma placa solar, um gerador elétrico.



Fonte: Fontes, 2017.

Ele é representado no circuito com dois traços paralelos, um maior que o outro, onde o traço maior representa o polo positivo e o menor o negativo, a figura 43.

Figura 43. Representação simbólica de um gerador elétrico.

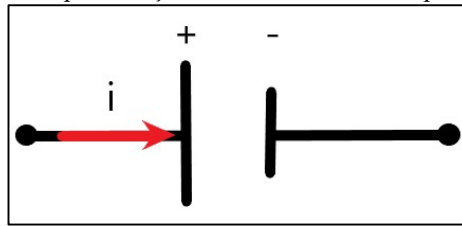


Fonte: Próprio autor.

Um receptor elétrico é um dispositivo elétrico que segundo Bonjorno et al (2016) transforma energia elétrica em outras modalidades de energia, não exclusivamente térmica, o motor elétrico é um receptor elétrico, ele transforma energia elétrica em mecânica, e em parte energia dissipada térmica, um exemplo é o liquidificador, na figura 44, está a representação de um receptor elétrico em um circuito

elétrico, nele a corrente elétrica faz o caminho inverso do gerador, vai do polo positivo para o negativo.

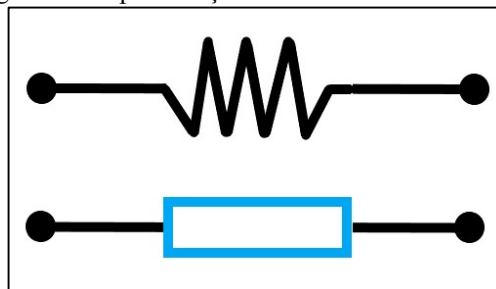
Figura 44. Representação simbólica de um receptor elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Os resistores são dispositivos que transformam energia elétrica, exclusivamente em energia térmica, são amplamente utilizados em chuveiros elétricos, secadores de cabelo etc. A representação simbólica de um resistor é vista na figura 45.

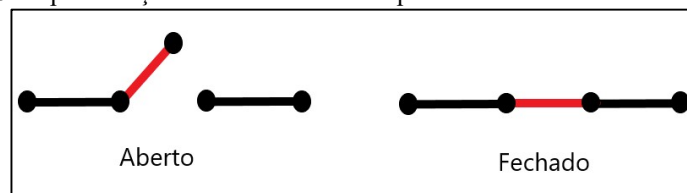
Figura 45. Representações simbólicas de um resistor.



Fonte: Próprio autor.

Em circuito elétrico é necessário um dispositivo responsável por desligar ou acionar o circuito elétrico, eles se chamam de dispositivos de manobra, alguns exemplos são as chaves e os interruptores, na figura 46 é representado simbolicamente um dispositivo de manobra aberto, quando a corrente elétrica não está circulando, e fechado quando a corrente elétrica circula por todo o circuito.

Figura 46. Representação simbólica de um dispositivo de manobra aberto e fechado.

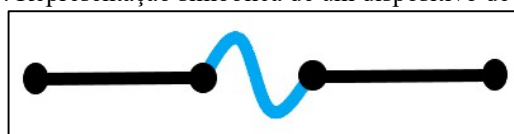


Fonte: Próprio autor.

Segundo Bonjorno et al (2016) quando a corrente elétrica em um circuito, possui um valor elevado repentinamente podendo prejudicar os dispositivos que compõem o circuito, um dispositivo conhecido como dispositivo de segurança, interrompe a passagem da corrente elétrica, preservando os dispositivos que compõem o circuito elétrico.

A representação simbólica de um dispositivo de segurança pode ser visualizado na figura 47.

Figura 47. Representação simbólica de um dispositivo de segurança.

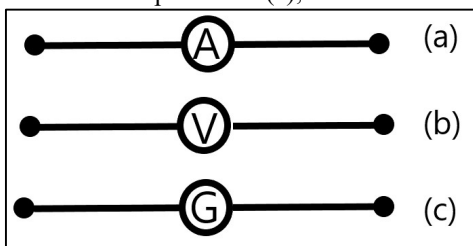


Fonte: Próprio autor.

Os dispositivos de controle segundo Bonjorno et al (2016) são dispositivos utilizados para medir a diferença de potencial entre dois pontos e a intensidade da corrente elétrica que percorre um circuito, e também simplesmente para detectar a presença de corrente elétrica, dispositivos de controle comumente utilizados, são eles, o galvanômetro, o amperímetro e o voltímetro.

O amperímetro mede a intensidade da corrente elétrica de um circuito, o voltímetro mede a diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um circuito, já o galvanômetro é utilizado na construção de voltímetros e amperímetros, sendo utilizado para verificar a presença de corrente elétrica e voltagem.

Figura 48. Representação simbólica de um amperímetro (a), de um voltímetro (b) e de um galvanômetro (c).



Fonte: Próprio autor.

### 1.3.12 Resistores

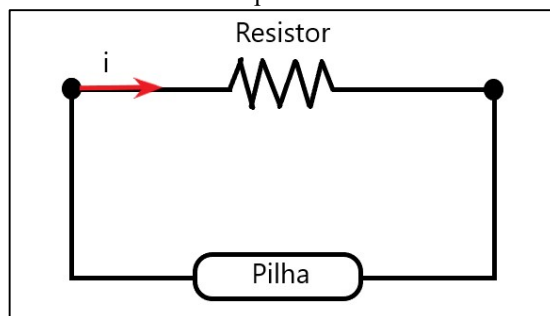
Os resistores são essenciais para o estudo da eletricidade, e também para o estudo do comportamento da corrente elétrica em um fio condutor, para que os alunos compreendam a diferença entre uma corrente contínua e alternada, a Lei de Ohm é importante para compreender essa relação, o professor pode levar em sala, resistores pequenos de chuveiros elétricos por exemplo.

Os resistores são dispositivos utilizados em circuitos, que possuem a função de controlar a passagem de corrente elétrica pelo aumento de uma grandeza conhecida como resistência elétrica, que é imposta à passagem dos portadores de carga em um fio condutor.

Segundo Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017) foi Georg Simon Ohm (1787-1854), que desenvolveu matematicamente a lei que rege os resistores no trabalho “*O circuito galvânico examinado matematicamente*”.

Na figura 49, observa-se um circuito composto de um resistor e uma pilha, sendo percorridos por corrente elétrica, um fato importante é a representação simbólica de um resistor em um circuito, como mostrado na figura abaixo.

Figura 49. Ilustração de um circuito sendo percorrido por corrente elétrica, composto por um resistor e uma pilha.



Fonte: Próprio autor.



A resistência elétrica ( $R$ ) de um condutor é dada pela equação da primeira Lei de ohm, como sendo a razão entre a diferença de potencial elétrico ( $U$ ) entre dois pontos de um fio e a intensidade da corrente elétrica ( $i$ ) que passa por ele:

$$R = \frac{U}{i} \quad (67)$$

A unidade de medida da resistência elétrica é o ohm, em homenagem a ao físico criador da sentença matemática, sendo o ohm igual a V/A, simbolizado por  $\Omega$ .

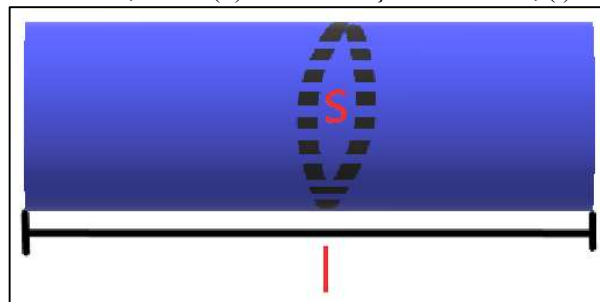
Segundo Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017), a oposição à passagem de corrente elétrica é tanto maior quanto o valor de ( $R$ ), a resistência elétrica de um condutor também aumenta devido a alguns outros fatores, como o aumento do comprimento do condutor, o aumento da área de seção transversal, e também da natureza do material que o condutor é feito, outro fato importante dito por Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017) a cerca deste dispositivo é que resistores que obedecem a equação acima, são chamados de resistores ôhmicos, pois a relação entre a intensidade da corrente elétrica e a ddp aplicada é constante neste tipo de resistor, importante salientar que a resistência também depende da natureza do material, de sua temperatura e de suas dimensões.

Existe uma segunda sentença sobre os resistores, conhecida como a segunda Lei de ohm, e pode ser anunciada por uma relação matemática. Segundo Bonjorno et al (2016) a resistência elétrica de um condutor é igual à razão entre o comprimento ( $l$ ) do resistor e a área da seção transversal ( $S$ ) do condutor, multiplicado pela resistividade do material ( $\rho$ ).

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (68)$$

A figura 50, interpreta a equação acima, acerca dos resistores, sendo que a resistividade do material ( $\rho$ ), depende da natureza do mesmo.

Figura 50. Ilustração de um resistor, sendo ( $S$ ) a área da seção transversal, ( $l$ ) o comprimento do resistor.

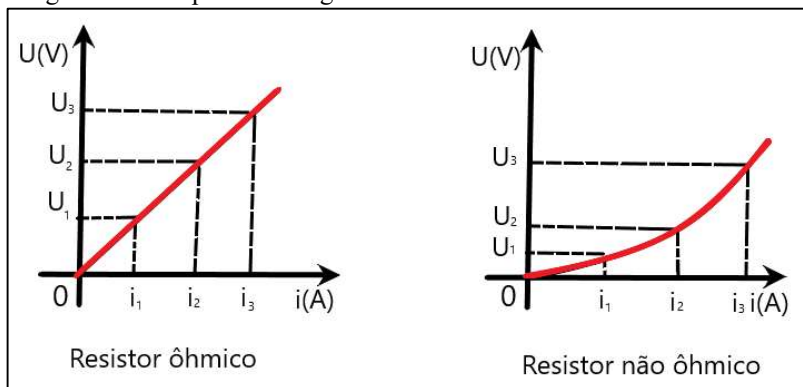


Fonte: Próprio autor.

Segundo Xavier e Barreto (2010) o valor da resistividade  $\rho$  de um material é inversamente proporcional a grandeza condutividade elétrica  $\sigma$  do material, assim quanto maior é a resistividade de um material, menor o valor de sua condutividade e vice-versa.

Os resistores ôhmicos e não ôhmicos, possuem comportamentos diferentes quando submetidos a uma ddp, isso pode ser observado, no figura abaixo, que mostra o comportamento gráfico, destes tipos de resistores.

Figura 51. Comportamento gráfico de um resistor ôhmico e não ôhmico.



Fonte: Próprio autor.

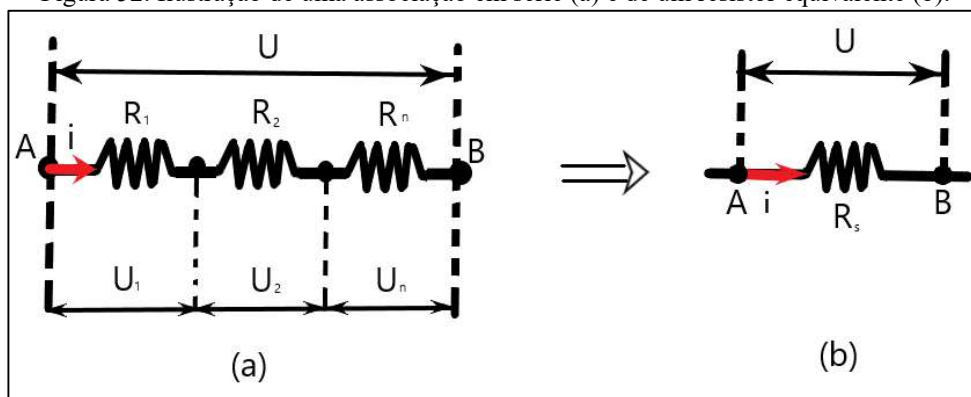
### 1.3.13 Associação de Resistores

Este conceito pode ser explicado utilizando um pequeno experimento de associação de pequenas lâmpadas como analogia, para o estudo da corrente elétrica e da voltagem, também é importante que o docente leve em sala, multímetros, para que os alunos possam visualizar o comportamento da corrente elétrica e voltagem nos dois tipos de associações de resistores, assim os alunos já são preparados ao que irão realizar no experimento de eletrorresistividade.

Em um circuito elétrico, as vezes deseja-se uma resistência maior ou menor do que a de um único resistor, assim utilização as chamadas associações de resistores, sendo que existem as ligações em série, paralelo e mista de resistores.

Segundo Bonjorno et al (2016) é possível representar uma associação de resistores com um único resistor, o resistor equivalente  $R_s$ , que produz o mesmo efeito e dissipa a mesma energia que a associação de resistores, no mesmo tempo. A figura 52, mostra em (a) uma associação em série de resistores, e em (b) um resistor equivalente a essa associação.

Figura 52. Ilustração de uma associação em série (a) e de um resistor equivalente (b).



Fonte: Próprio autor.

Observando a figura 52, nota-se que existe apenas um caminho para a passagem da corrente elétrica, assim o valor de sua intensidade é mantido constante por todo o circuito. A tensão elétrica é igual a soma das ddp de todos os resistores que compõem o circuito, e para que seja obedecida a 1ª Lei de Ohm, a ddp é igual ao produto entre a resistência elétrica do resistor e a corrente elétrica deste, temos então:

$$U = R \cdot i \quad (69)$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n \quad (70)$$

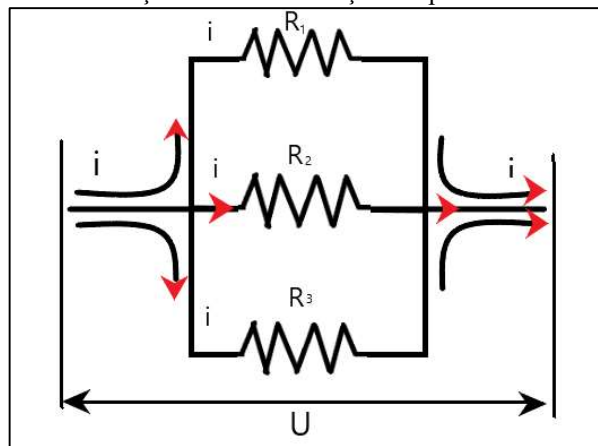
Assim é possível encontrar o valor da ddp de um único resistor, a partir dos valores de resistência elétrica e intensidade da corrente elétrica desse resistor, quanto a resistência elétrica e a intensidade da corrente elétrica.

Analisando esta expressão, tendo em vista que a tensão total e a intensidade da corrente são mantidas constantes, é possível concluir que a resistência total do circuito ou a resistência elétrica de um resistor equivalente ao circuito é:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (71)$$

Na associação de resistores, ligar um resistor em paralelo significa basicamente dividir a mesma fonte de corrente, para que a diferença de potencial elétrico em cada ponto seja conservada. A figura 53 mostra uma associação em paralelo de resistores.

Figura 53. Ilustração de uma associação em paralelo de resistores.



Fonte: Próprio autor.

Como mostra a figura 53 a corrente elétrica se divide de acordo com o número de ramos que o circuito possui, assim a intensidade da corrente elétrica total de todo o circuito é igual a:

$$i_T = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n \quad (72)$$

Segundo Bonjorno et al (2016) quando em um circuito vários resistores são postos em paralelo, todos eles são submetidos a mesma ddp, assim a resistência equivalente do circuito pode ser obtida a partir da equação de intensidade da corrente elétrica total (62), pois:

$$i = \frac{U}{R} \quad (73)$$

Então:

$$\frac{U}{R_T} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots + \frac{U}{R_n} \quad (74)$$

$$\frac{U}{R_T} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) U \quad (75)$$

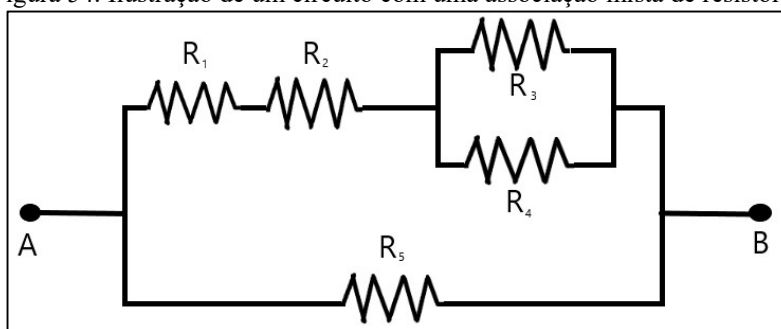
Cancelando os valores de \$U\$, nos dois lados da equação têm-se a equação da resistência total de um circuito de resistores associados em série:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N} \quad (76)$$

Devido a isso, Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017) salienta que, quanto mais resistores forem colocados em paralelo, menor o valor da resistência total ou equivalente, além de que quanto mais resistores forem colocados em paralelo, maior será o valor da intensidade da corrente elétrica para esse circuito.

Também existe a associação mista de resistores, basicamente ela se resume a uma junção da associação em série e paralelo de resistores em um único circuito. A figura 54 ilustra um circuito composto por associações mistas.

Figura 54. Ilustração de um circuito com uma associação mista de resistores.



Fonte: Próprio autor.

Sobre esta configuração do circuito, pode-se afirmar que:

- na associação em série, a intensidade de corrente é comum a todos os elementos;
- na associação paralela, a ddp  $U$  é igual em todos os associados;
- durante o funcionamento de um circuito, há consumo de energia elétrica, causando queda do potencial elétrico desde o mais alto – polo (+) do gerador – até o mais baixo – polo (-) do gerador;
- os nós existentes entre os polos (+) e (-) do gerador estão em potenciais intermediários;
- para visualizar pontos com potenciais diferentes, convém iniciar o processo de resolução ou de uma associação mista designando os terminais (pontos entre os quais se pretende calcular a resistência equivalente) com as letras maiúsculas A e B e os nós com as demais letras (C, D,...) (BONJORNO et al 2016, p.98).

#### 1.3.14 Instrumento de medidas elétricas

Na apresentação deste conceito é essencial que o docente tenha em sala multímetros para que os alunos possam manuseá-los, afim de que verifiquem a voltagem e a intensidade da corrente elétrica, da tomada que a sala possuir, ou combinar esta aula com a de resistores e verificar a tensão do pequeno experimento de associação de lâmpadas, é muito importante que os alunos saibam após esta aula, manusear e operar os multímetros com todas as suas funções com facilidade.

Basicamente usam-se os voltímetros, galvanômetros e amperímetros como instrumentos para realizar aferições de medidas elétricas, segundo Bonjorno et al (2016) os galvanômetros são dispositivos que seu funcionamento é baseado nos efeitos magnéticos da corrente elétrica, isso permite verificar em um circuito elétrico se a corrente elétrica circulando, sendo essas aferições realizadas com

corrente elétrica de intensidades muito baixas, basicamente quando o ponteiro do galvanômetro deflete, percebe-se a presença de corrente elétrica e a deflexão do ponteiro é proporcional a intensidade da corrente elétrica.

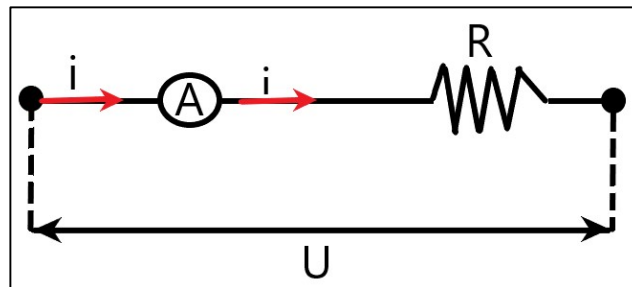
Figura 55. Imagem de um galvanômetro.



Fonte: Aprender Eletricidade, 2018.

O amperímetro é utilizado para aferir a intensidade da corrente elétrica de um circuito, segundo Bonjorno et al (2016), para que isso seja realizado, o amperímetro deve ser colocado em série com o ponto a ser medido, por isso ele deve apresentar uma resistência interna  $R_i$  menor do que a resistência do circuito, a figura 56 ilustra como o amperímetro deve estar conectado durante a aferição da intensidade da corrente elétrica.

Figura 56. Ilustração de como o amperímetro é posicionado dentro de um circuito elétrico para aferir a intensidade da corrente elétrica.



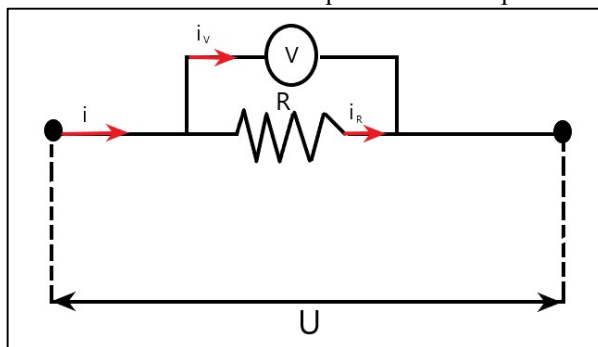
Fonte: Próprio autor.

O amperímetro ideal é aquele que possui resistência nula, assim a intensidade da corrente elétrica é dada por:

$$i = \frac{U}{(R_i + R)} \quad (77)$$

O voltímetro é utilizado para realizar a aferição da ddp entre dois pontos de um circuito, segundo Bonjorno et al (2016) ele é sempre ligado em paralelo as extremidades do circuito que deseja ser aferido a ddp, diferente do amperímetro sua resistência deve ser grande, pois o voltímetro deve retirar do circuito uma corrente elétrica desprezível, a figura 57 mostra como ele é posicionado no circuito.

Figura 57. Ilustração de um voltímetro associado em paralelo com os pontos onde quer se medir a ddp.



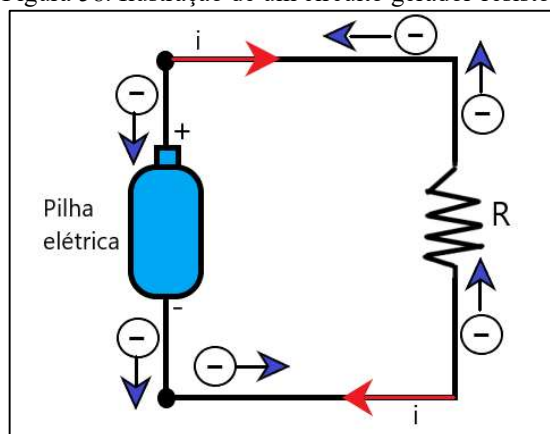
Fonte: Próprio autor.

Na figura acima o voltímetro  $V$  está ligado em paralelo com o resistor  $R$ , medindo a voltagem nos extremos do resistor. Segundo Bonjorno et al (2016) a corrente elétrica da associação se dividiu em duas partes  $i_V$  e  $i_R$  a corrente  $i_V$  percorre o voltímetro e a corrente  $i_R$  o resistor  $R$ , um voltímetro considerado ideal possui uma resistência interna infinita.

### 1.3.15 Geradores elétricos

Os geradores elétricos são dispositivos que transformam diversas formas de energia em energia elétrica, segundo Xavier e Barreto (2010) as cargas que ocupam na figura 58 o potencial mais baixo (B) de uma pilha são positivas e atravessam a pilha (gerador) e recebem energia elétrica, e o sentido da corrente elétrica é o contrário ao movimento dos elétrons, se deslocando do maior potencial (+) para o menor potencial (-).

Figura 58. Ilustração de um circuito gerador-resistor.



Fonte: Próprio autor.

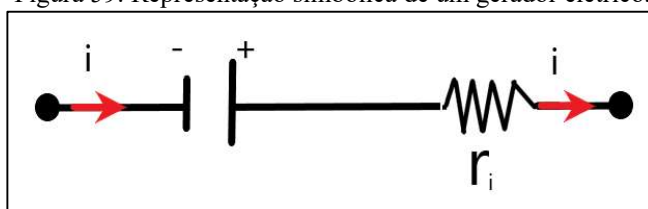
Os elétrons ao realizarem o deslocamento do potencial menor (B) para o maior (A), ganham energia ao chegarem no polo positivo pelo trabalho realizado para transportar elétrons de A para B. Segundo Xavier e Barreto (2010) quanto maior a ddp entre os polos do gerador maior será a energia ou trabalho fornecido ao circuito, da mesma forma acontecerá com a corrente elétrica, devido a ddp ser maior a corrente elétrica também será, a razão entre o trabalho realizado ( $W$ ) e a quantidade de carga ( $Q$ ) que passa por uma seção transversal do condutor, essa razão recebe o nome de força eletromotriz (fem), representada por:

$$\varepsilon = \frac{W}{Q} \quad (78)$$

A unidade de força eletromotriz é o joule por coulomb, J/C, mas essa unidade é igual a Volt(V), então utilizasse (V).

Segundo Xavier e Barreto (2010) quando uma corrente elétrica percorre um gerador, ele apresenta um resistência interna  $r_i$  que dissipa parte dessa corrente elétrica, assim simbolizamos um gerador com uma resistência ao lado de duas barras verticais paralelas entre si, simbolizando o gerador, como na figura 59. A ideia é que o gerador seja ideal ou seja não dissipe corrente elétrica, para que isso ocorra a resistência do resistor  $r_i$  deve ser igual a zero.

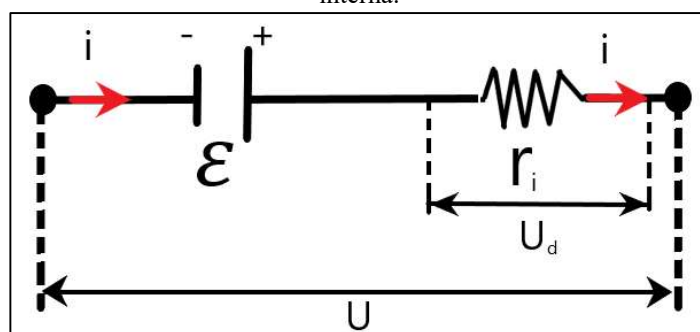
Figura 59. Representação simbólica de um gerador elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Segundo Xavier e Barreto (2010) como um gerador possui uma resistência interna, a ddp ( $U$ ) entre dois pontos do circuito é igual a força eletromotriz  $\varepsilon$ , descontada a queda de tensão ( $U_d$ ) provocada pela resistência interna, como mostra a figura 60.

Figura 60. Ilustração de um gerador elétrico, mostrando a queda de potencial elétrico provocado pela resistência interna.



Fonte: Próprio autor.

Segundo Xavier e Barreto (2010) a tensão  $U_d$  no resistor  $r_i$  é  $U = r \cdot i$ , assim :

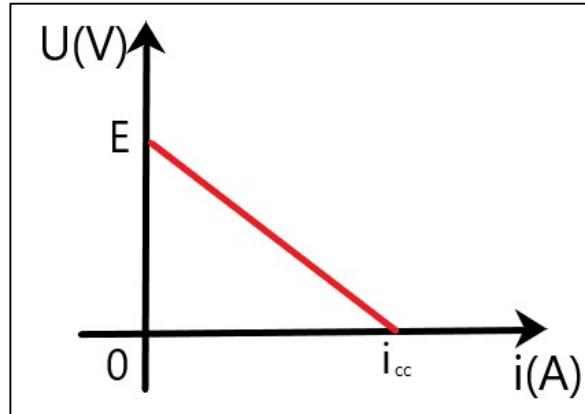
$$U = \varepsilon - U_d \quad (79)$$

$$U = \varepsilon - r \cdot i \quad (80)$$

A expressão acima é conhecida como equação geral do geradores.

Observando a equação geral dos geradores nota-se que ela é uma equação do 1º grau em relação a corrente elétrica ( $i$ ) para cada gerador específico, o gráfico  $U \times i$  de um gerador é uma reta decrescente como mostra a figura 61.

Figura 61. Gráfico U x i de um gerador.



Fonte: Próprio autor.

Sobre este conceito é possível afirmar que:

- O ponto de intersecção da reta com o eixo das ordenadas (U) possui abscissa nula ( $i = 0$ ), logo  $U = \mathcal{E}$ . Nesse caso, em que não há corrente elétrica passando pelo gerador, o gerador está aberto e não está ligado.
- O ponto de intersecção da reta com o eixo das abscissas (i) possui ordenada nula ( $U = 0$ ) e é denominado corrente de curto circuito  $i_{cc}$ . Nesse caso, a corrente elétrica não tem resistência em seu trajeto e é chamada de curto-circuito. Esse é o valor máximo de corrente que o gerador pode suportar (XAVIER; BARRETO, 2010, p.132).

Assim, 
$$\mathcal{E} - r \cdot i = 0 \rightarrow i_{cc} = \frac{\mathcal{E}}{r} \quad (81)$$

Todo dispositivo elétrico possui perdas, o gerador elétrico não é uma exceção, segundo Xavier e Barreto (2010) a potência total que seria fornecida ao circuito  $P_t$ , é dividida em duas partes, em potência útil  $P_u$  e que é a potência utilizada no circuito e em potência dissipada  $P_d$  que é perdida no seu interior.

A potência total  $P_t$  é igual à soma da potência dissipada com a potência útil, assim:

$$P_t = P_u + P_d \quad (82)$$

A potência dissipada  $P_d$  é igual a:

$$P_d = r \cdot i^2 \quad (83)$$

$$\text{Assim a potência útil é } P_u = P_t - P_d \quad (84)$$

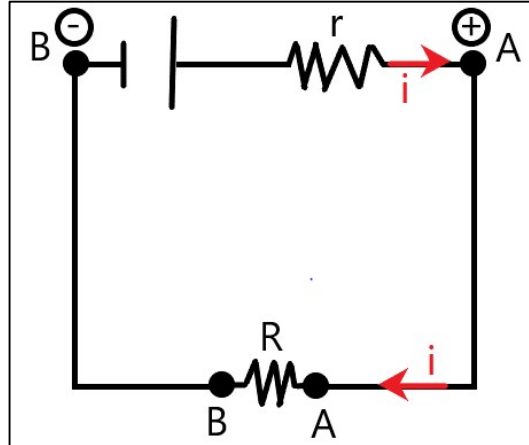
Segundo Xavier e Barreto (2010) a razão entre a potência útil e a potência total é igual ao rendimento ( $\eta$ ) do gerador, assim quanto mais energia é aproveitada e menos dissipada, maior é o rendimento de gerador.

$$\eta = \frac{P_u}{P_t} = \frac{U}{\mathcal{E}} \quad (85)$$

Segundo Bonjorno et al (2016) ao pensar em um circuito de um farol de um automóvel, nesse circuito a bateria é o gerador, e o farol o resistor externo, a figura 62 ilustra esse circuito.



Figura 62. Ilustração do circuito bateria e gerador.



Fonte: Próprio autor.

Claude Pouillet foi um físico francês que observou que a ddp entre os polos do gerador da figura 62 é a mesma que nos terminais do resistor. Assim:

$$U_{AB} = \varepsilon - r \cdot i \rightarrow U_{AB} = R \cdot i \quad (86)$$

Então:

$$\varepsilon - r \cdot i = R \cdot i \quad (87)$$

Logo:

$$\varepsilon = (R + r)i \quad (88)$$

Essa expressão é conhecida como Lei de Pouillet.

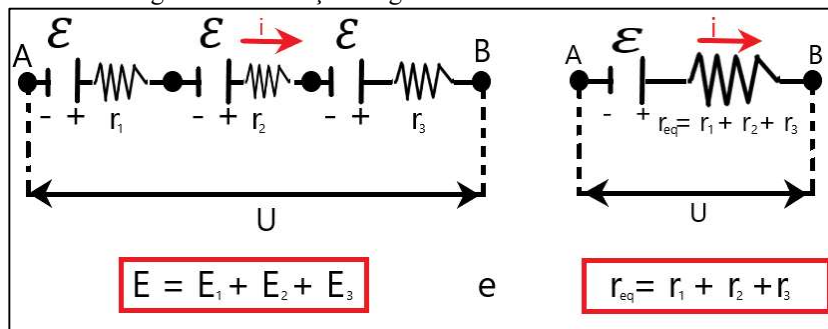
A corrente elétrica que circula no circuito, pode ser encontrada a partir da Lei de Pouillet, assim:

$$i = \frac{\varepsilon}{R+r} \quad (89)$$

Nota-se que quanto maior forem as resistências, menor a corrente elétrica no circuito.

Os geradores elétricos podem ser associados em série e em paralelo entre si, segundo Xavier e Barreto (2010) na associação em série a potência fornecida aumenta em função do aumento da força eletromotriz. A corrente elétrica que passa pelos geradores é a mesma, a soma de todas as forças eletromotrizes dos componentes da associação é igual a força eletromotriz total da associação, e a resistência interna da associação é igual a soma de todas as resistências internas da associação, como mostra a figura 63.

Figura 63. Ilustração de geradores associados em série.



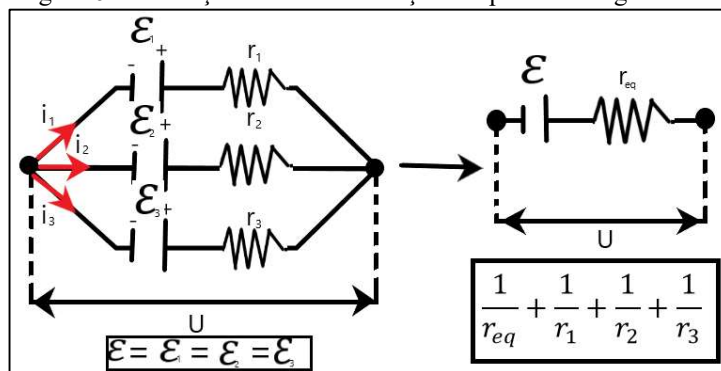
Fonte: Próprio autor.

Na associação em paralelo de geradores iguais, ocorre um aumento da potência fornecida ao circuito, devido a diminuição da resistência interna, assim pode-se afirmar que:

- A corrente elétrica é dividida entre os geradores.
- A força eletromotriz da associação de geradores, considerados idênticos, é igual à força eletromotriz da associação (XAVIER; BARRETO, 2010, p.141).

A soma do inverso de cada resistência da associação é igual ao inverso da resistência interna.

Figura 64. Ilustração de uma associação em paralelo de geradores.



Fonte: Próprio autor.

A associação em paralelo de geradores, não é muito utilizado por necessita que os geradores sejam idênticos.

### 1.3.16 A interatividade com a turma

O professor deve buscar sempre relacionar os conteúdos da aula passada com a aula que está sendo ministrada, também é importante que pequenos experimentos demonstrativos sejam levados para sala, para despertar o interesse dos alunos sobre os conceitos estudados, com o intuito de prepara-los para a experimentação do método de eletroresistividade, quando o assunto for essencial para a compreensão do método de eletroresistividade, o professor deve sempre lembrar do conceito e relaciona-lo com o método.

## 1.4 Abordagem integradora, diversificando o aprendizado

Após a aplicação do experimento de eletroresistividade, o professor deve revisar a explicação do experimento, componente por componente, buscando sempre relacioná-los na medida do possível e

da conveniência de cada um.

O professor pode perguntar aos grupos que realizaram a experimentação sobre os valores de ddp e intensidade da corrente elétrica, sobre o que essas grandezas significam, e se é possível a partir delas, encontrar o valor da resistividade aparente do solo.

Diversos questionamentos podem ser levantados pelo docente, acerca do experimento e dos conceitos físicos que embasam o experimento, o professor docente deve aborda-los de acordo com seu planejamento e dificuldades dos discentes, em diversos graus de dificuldade.

### **1.5 Avaliação da sequência didática**

A avaliação da sequência didática será avaliada com a aplicação do questionário pós-teste do apêndice B, nele os alunos deverão apresentar acertos significativos em relação ao questionário inicial e também sobre a aprendizagem do método de eletrorresistividade.

## Apêndice A – Questionário pré-teste

Questionário Aplicado nas turmas de 3º ano do Ensino Médio de uma Escola Estadual de Ensino Médio, localizada no bairro Triângulo na cidade de Rio Branco, Acre.

- 1) Lembrando dos fenômenos do dia a dia que você vivencia, por exemplo como aqueles que ocorrem em momentos de chuva ou ao entrar em contato com aparelhos eletrônicos, diga quais fenômenos que você vivência no seu dia a dia, que você acredita que envolvam a eletricidade?  
\_\_\_\_\_
- 2) Marque abaixo, quais materiais você acredita que sejam condutores e quais sejam isolantes, marcando 1 para condutores e 2 para isolantes.  

<input type="checkbox"/> Água mineral	<input type="checkbox"/> Ferro	<input type="checkbox"/> Ar úmido	<input type="checkbox"/> Solo
<input type="checkbox"/> Borracha	<input type="checkbox"/> Madeira	<input type="checkbox"/> Plástico	<input type="checkbox"/> Carbono
- 3) Lembrando que toda carga elétrica gera uma perturbação no espaço ao seu redor e que se ela pode se mover, logo esta carga elétrica possui uma grandeza associada a essa capacidade de se movimentar, assim como todo corpo ao redor da Terra possui energia potencial gravitacional de ser atraído para a Terra. De acordo com seus conhecimentos, marque todos os fenômenos que você acha que envolvam os fenômenos de campo elétrico, potencial elétrico e os processos de eletrização.  
 Atração de um canudo com o cabelo  
 Arrepio dos pelos dos braços ao se aproximar de uma televisão  
 Cobertor com excesso de energia eletrostática  
 Contato entre a mão e um corrimão metálico eletrizado
- 4) Lembrando dos fenômenos diários vivenciados por você, quando um fio de extensão elétrica é ligado a um aparelho elétrico, notamos que as vezes o fio aquece muito, diga com seus conhecimentos sobre o assunto, o que pode estar ocorrendo no interior do fio para que ele aqueça dessa forma.  
\_\_\_\_\_
- 5) Na grande maioria das residências domiciliares, notamos que a iluminação é feita por lâmpadas, e que algumas vezes quando elas param de funcionar, outras lâmpadas se apagam também, e notamos que em outros casos uma lâmpada para de funcionar, mas as outras que estão no mesmo cômodo não se apagam, marque todos os conceitos que você acha que estão envolvidos em relação à redes elétricas de residências.  

<input type="checkbox"/> Ligação em Paralelo	<input type="checkbox"/> Potencial elétrico
<input type="checkbox"/> Ligação em serie	<input type="checkbox"/> Eletrização por contato
<input type="checkbox"/> Corrente elétrica	<input type="checkbox"/> Resistores
<input type="checkbox"/> Campo elétrico	<input type="checkbox"/> Eletrização por atrito
- 6) A geofísica é a ciência que estuda as propriedades físicas da Terra, nas camadas superficiais, para investigar seu interior, onde se alojam os recursos minerais (petróleo, minérios, água). De acordo com seus conhecimentos, descreva como ocorre o processo de descobrimento de petróleo, água e gás no subsolo.  
\_\_\_\_\_
- 7) Um método de analisar o solo é usar um fio com corrente elétrica e introduzi-lo no terreno através de dois eletrodos e medir as diferenças de potencial elétrico. Explique, com suas palavras, como isso é possível?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Apêndice B – Questionário pós-teste

Questionário a ser Aplicado nas turmas de 3º ano de uma escola Estadual de Ensino Médio, localizada no bairro Triângulo na cidade de Rio Branco, Acre.

- 1) Lembrando dos fenômenos do dia a dia que você vivencia, por exemplo como aqueles que ocorrem em momentos de chuva ou ao entrar em contato com aparelhos eletrônicos, diga quais fenômenos que você vivência no seu dia a dia, que você acredita que envolvam a eletricidade?  
\_\_\_\_\_
- 2) Marque abaixo, quais materiais você acredita que sejam condutores e quais sejam isolantes, marcando 1 para condutores e 2 para isolantes.  

<input type="checkbox"/> Água mineral	<input type="checkbox"/> Ferro	<input type="checkbox"/> Ar úmido	<input type="checkbox"/> Solo
<input type="checkbox"/> Borracha	<input type="checkbox"/> Madeira	<input type="checkbox"/> Plástico	<input type="checkbox"/> Carbono
- 3) Lembrando que toda carga elétrica gera uma perturbação no espaço ao seu redor e que se ela pode se mover, logo esta carga elétrica possui uma grandeza associada a essa capacidade de se movimentar, assim como todo corpo ao redor da Terra possui energia potencial gravitacional de ser atraído para a Terra. De acordo com seus conhecimentos, marque todos os fenômenos que você acha que envolvam os fenômenos de campo elétrico, potencial elétrico e os processos de eletrização.  
 Atração de um canudo com o cabelo  
 Arrepio dos pelos dos braços ao se aproximar de uma televisão  
 Cobertor com excesso de energia eletrostática  
 Contato entre a mão e um corrimão metálico eletrizado  
 Contato entre a mão e um corrimão metálico eletrizado  
 ímã de geladeira
- 4) Lembrando dos fenômenos diários vivenciados por você, quando um fio de extensão elétrica é ligado a um aparelho elétrico, notamos que as vezes o fio aquece muito, diga com seus conhecimentos sobre o assunto, o que pode estar ocorrendo no interior do fio para que ele aqueça dessa forma.  
\_\_\_\_\_
- 5) Na grande maioria das residências domiciliares, notamos que a iluminação é feita por lâmpadas, e que algumas vezes quando elas param de funcionar, outras lâmpadas se apagam também, e notamos que em outros casos uma lâmpada para de funcionar, mas as outras que estão no mesmo cômodo não se apagam, marque todos os conceitos que você acha que estão envolvidos em relação à redes elétricas de residências.  

<input type="checkbox"/> Ligação em Paralelo	<input type="checkbox"/> Potencial elétrico
<input type="checkbox"/> Ligação em série	<input type="checkbox"/> Eletrização por contato
<input type="checkbox"/> Corrente elétrica	<input type="checkbox"/> Resistores
<input type="checkbox"/> Campo elétrico	<input type="checkbox"/> Eletrização por atrito
- 6) A geofísica é a ciência que estuda as propriedades físicas da Terra, nas camadas superficiais, para investigar seu interior, onde se alojam os recursos minerais (petróleo, minérios, água). De acordo com seus conhecimentos, descreva como ocorre o processo de descobrimento de petróleo, água e gás no subsolo.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 7) Um método de analisar o solo é usar um fio com corrente elétrica e introduzi-lo no terreno através de dois eletrodos e medir as diferenças de potencial elétrico. Explique, com suas palavras, como isso é possível?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Apêndice C – Roteiro Experimental do método de eletrorresistividade

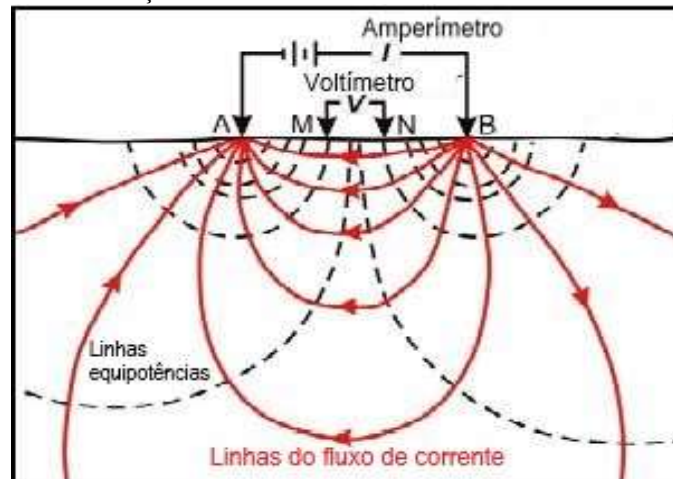
**Título:** Método de Eletrorresistividade no Arranjo de Schlumberger

**Objetivo:** Determinar a resistividade aparente do solo a partir do método de Schlumberger.

### Introdução Teórica

O método de eletrorresistividade no arranjo de Schlumberger está ilustrado na figura 65.

Figura 65. Ilustração do método de eletrorresistividade de Schlumberger.



Fonte: CLARK; PAGE, 2011.

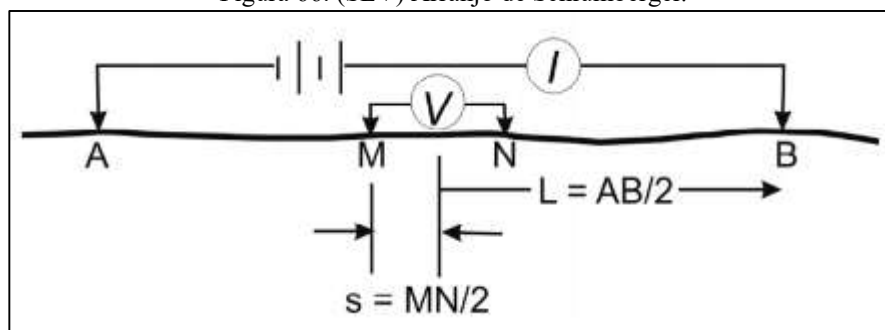
As linhas vermelhas representam as linhas do fluxo de corrente elétrica e as linhas pontilhadas pretas representam as linhas equipotenciais.

Equação parametrizada para se obter a resistividade aparente do solo para o arranjo de Schlumberger para o experimento é dada por

$$\rho_a = \frac{\pi v_m (L^2 - s^2)}{2sI}$$

Para identificação das variáveis da equação, a figura 65 apresenta todas as informações necessárias.

Figura 66. (SEV) Arranjo de Schlumberger.



Fonte: CLARK; PAGE, 2011.

### Materiais:

1 Resistímetro Caseiro

2 Multímetros

100 m de fio de cobre de 0,6 mm

10 Hastes de cobre ou alumínio

1 Marreta ou martelo

### **Procedimentos experimentais**

Para realizar o experimento é importante realizar de forma correta os seguintes passos:

1º passo: Com o disjuntor desligado (circuito aberto) e os eletrodos (hastes de cobre) posicionados no campo de análise, os alunos responsáveis por esta etapa deverão fixar as garras nos eletrodos centrais que serão fixos para cada análise, onde serão verificadas as diferenças de potencial elétrico para cada aferição.

2º passo: Com a fonte ainda desligada e os eletrodos posicionados no campo de análise, os alunos responsáveis por esta etapa deverão fixar as garras nos eletrodos que serão utilizados para a análise da intensidade da corrente elétrica.

3º passo: Nesta etapa, o aluno responsável pela ligação da fonte de tensão elétrica do circuito irá acioná-la, ligando o disjuntor. Após isto ocorrer, o aluno responsável pelo acionamento do inversor de tensão elétrica fará o mesmo com o inversor de tensão elétrica.

4º passo: Os alunos responsáveis por esta etapa deverão ligar o amperímetro e observar se este está corretamente conectado ao circuito e se está funcionando perfeitamente, se isto ocorrer, estes devem anotar no relatório experimental em seu devido lugar, o valor da intensidade da corrente elétrica que está sendo aferido no amperímetro, se não ocorrer, o aluno responsável pelo disjuntor elétrico deve desligá-lo e deve-se voltar ao 3º passo.

5º passo: Os alunos responsáveis por esta etapa deverão analisar se o voltímetro está corretamente conectado aos eletrodos centrais fixos no solo, se assim estiverem deverão ligar o voltímetro e aferir o valor da diferença de potencial elétrico mostrado no voltímetro, se não, o aluno responsável pelo disjuntor elétrico deve desligá-lo e o 3º passo deve ser refeito.

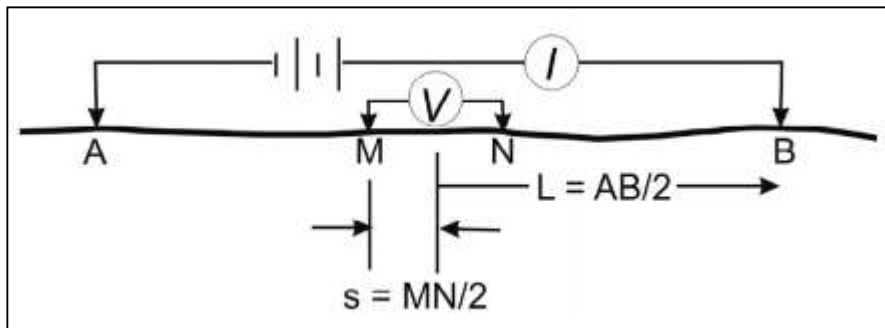
6º passo: Após os dados de intensidade da corrente elétrica e da diferença de potencial elétrico serem anotados no relatório experimental, o aluno responsável pelo inversor de tensão elétrica deverá desligá-lo e o aluno responsável pela fonte de tensão elétrica deverá fazer o mesmo, nesta sequência.

7º passo: Os passos anteriores devem ser refeitos consecutivamente até que todas as análises do experimento sejam concluídas, ao final o disjuntor elétrico deve ser desligado, chegando-se ao fim das análises.

## Apêndice D – Relatório Experimental

**Título:** Método de eletrorresistividade no Arranjo de Schlumberger

**Objetivo:** Determinar a resistividade aparente do solo a partir do método de Schlumberger, de acordo com arranjo



e

$$\rho_a = \frac{\pi v_m (L^2 - s^2)}{2sI}$$

**Resultados e discussões:**

AB/2	MN/2	V(V)	I(A)	$\rho_a$	Medidas
1	0,25 m				1ª
2	0,25 m				2ª
3	0,25 m				3ª
4	0,25 m				4ª

Conclusões:

---



---



---



---



---



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BONJORNO, José Roberto et al. **Física : eletromagnetismo, física moderna, 3º ano.** -3. ed. São Paulo: FTD. 2016, 367 p.
- APRENDER ELETRICIDADE.** 2018. Disponível em: <http://aprendereletricidade.com/galvanometros/>. Acesso em 09 de Junho de 2020.
- BONJORNO, José Roberto et al. **Física : eletromagnetismo, física moderna, 3º ano.** -3. ed. São Paulo: FTD. 2016, p. 98.
- BONJORNO, José Roberto et al. **Física : eletromagnetismo, física moderna, 3º ano.** 3. Ed. São Paulo: FTD, pg. 79, 2016.
- BONJORNO, José Roberto et al. **Física : eletromagnetismo, física moderna, 3º ano.** 3. Ed. São Paulo: FTD, 2016.
- BORTOLIN, J.R.M.; MALAGUTTI FILHO, W. **Método da eletrorresistividade aplicado no monitoramento temporal da pluma de contaminação em área de disposição de resíduos sólidos urbanos.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 15, nº4. Rio de Janeiro, p. 370, 2010.
- BRAGA, A. C. O. **MÉTODOS DA ELETRORRESISTIVIDADE E POLARIZAÇÃO INDUZIDA APLICADOS NOS ESTUDOS DA CAPTAÇÃO E CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA E PRÁTICA.** São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2006, 126 p.
- BRAGA, A. C. O. **MÉTODOS DA ELETRORRESISTIVIDADE E POLARIZAÇÃO INDUZIDA APLICADOS NOS ESTUDOS DA CAPTAÇÃO E CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA E PRÁTICA.** São Paulo: Universidade Estadual Paulista, p. 16, 2006.
- BRAGA, A. C. O. **MÉTODOS GEOELÉTRICOS APLICADOS: MÓDULO: HIDROGEOLOGIA.** Universidade Estadual Paulista. São Paulo, pg. 12, 1997.
- CHAGAS, Aécio P. **OS 200 ANOS DA PILHA ELÉTRICA.** Instituto de Química- Universidade Estadual de Campinas: Campinas, São Paulo, 2000, 3 p.
- CLARK, James A; PAGE, Richard. **Inexpensive Geophysical Instruments Supporting Groundwater Exploration in Developing Nations.** Journal of Water Resource and Protection. Wheaton, Illinois, 2011.
- CLARK, James A; PAGE, Richard. **Inexpensive Geophysical Instruments Supporting Groundwater Exploration in Developing Nations.** Journal of Water Resource and Protection. Wheaton, Illinois, p.770, 2011.
- ELÉTRICAS, MEDIÇÃO DE GRANDEZAS; DO MULTÍMETRO, UTILIZAÇÃO DO OSCILOSCÓPIO E. TRABALHO PRÁTICO,** pg.1, 2002.
- FOGAÇA, Jennifer R. V. **Série triboelétrica.** [201?], [S.I.]. Disponível em: <https://alunosonline.uol.com.br/quimica/serie-triboeletrica.html>. Acesso em: 20 de abril de 2020.
- FONTES, Rui. Gerador de Energia Solar: **O que é? Como Funciona?** [Guia Solar]. 2017. Disponível

em: <https://blog.bluesol.com.br/gerador-de-energia-solar/>. Acesso em: 05 de maio de 2020.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker: tradução André Soares de Azevedo, José Paulo Soares de Azevedo.** 6. ed. - Rio de Janeiro : LTC, 2003, 281 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker: tradução Ronaldo Sérgio de Biasi.** 10. ed. - Rio de Janeiro : LTC. pg. 667, 2016.

HELERBROCK, Rafael. "Charles Coulomb"; **Brasil Escola.** Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/charles-coulomb.htm>. Acesso em 22 de abril de 2020. (Adaptado pelo autor).

HELERBROCK, Rafael. "Linhas de força"; **Brasil Escola.** Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/linhas-forca.htm>. Acesso em 24 de abril de 2020.

HELERBROCK, Rafael. "O que é capacitor?"; **Brasil Escola.** Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-capacitor.htm>. Acesso em 04 de maio de 2020. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-capacitor.htm>.

HERRERA C, Esteban de Jesús. **Modelo Atômico de Bohr.** 2015 Disponível em: <http://modeloatomicobohrhc.blogspot.com/2015/02/en-memoria-de-niels-bohr.html>. Acesso em: 20 de Abril de 2020. (Adaptado pelo autor).

KWIZERA, Christelle et al. **Inexpensive Resistivity Instruments for Groundwater Exploration: Experiences of African National Geophysical Teams.** 7<sup>th</sup> RWSN Forum "Water for Everyonde". Abidjan, 2016.

KWIZERA, Christelle et al. **Inexpensive Resistivity Instruments for Groundwater Exploration: Experiences of African National Geophysical Teams.** 7<sup>th</sup> RWSN Forum "Water for Everyonde". Abidjan, p.2, 2016. (Adaptada para o circuito utilizado no trabalho).

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz; GUIMARÃES, Carla. **Física: contexto e aplicações: ensino médio/Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvarez, Carla da Costa Guimarães.** – 2. ed. São Paulo: Scipione, 2016, 352 p.

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz; GUIMARÃES, Carla. **Física: contexto e aplicações: ensino médio/Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvarez, Carla da Costa Guimarães.** – 2. ed. São Paulo: Scipione, 2016, p. 45.

OLIVA, A. et al. **Utilização do Método da eletrorresistividade na Caracterização Hidrogeológica de área de recarga do sistema Aquífero Guarani.** XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. p. 6, 2006. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/23193/15304>. Acesso em: 14 de maio de 2020.

Ribeiro, D. **André-Marie Ampère.** Rev. Ciência Elem. v. 2. 2014.

SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. **Universo da física , 3: ondulatória,**

**eletromagnetismo, física moderna.** 2. ed. São Paulo: Atual, pg. 266, 2015.

SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. **Universo da física, 3: ondulatória, eletromagnetismo, física moderna/ José Luiz Sampaio, Caio Sérgio Calçada.** – 2. ed. São Paulo: Atual, 2005, 500 p. (Coleção universo da física)

SILVA, Robson W. da C. **Aplicação do método da eletrorresistividade na investigação e mapeamento da contaminação por cemitérios: o exemplo do cemitério de Vila Rezende, Piracicaba/SP.** Rev. Bras. Geof., São Paulo, v. 27, n. 1, p. 137, Mar. 2008 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102261X2009000100012&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102261X2009000100012&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em Maio de 2019.

TEIXEIRA, Mariana M. **Associação de geradores.** Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/fisica/associacao-geradores.html>>. Acesso em: Março de 2020.

TELFORD, M. **Applied geophysics/ W. M. Telford, L. P. Geldart, R. E. Sheriff.** 2 ed. Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge. 1990.

URANG, J. G; AWAK E, A; BAMIDELE, A S. **Design and construction of a simple resistivity meter for resistivity measurement.** Research Journal of Physical Sciences. Calabar, South Nigeria, Vol. 6, pg.1-7, 2018.

XAVIER, Claudio; BENIGNO, Barreto. **Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna/ Claudio Xavier da Silva, Benigno Barreto Filho.** -1.ed. Luciana Keler M. Corrêa. São Paulo: FTD, 2010, 384 p. (física aula por aula; v.3)

XAVIER, Claudio; BENIGNO, Barreto. **Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna/ Claudio Xavier da Silva, Benigno Barreto Filho.** -1.ed. Luciana Keler M. Corrêa. São Paulo: FTD, 2010, p. 132. (física aula por aula; v.3)

XAVIER, Claudio; BENIGNO, Barreto. **Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna/ Claudio Xavier da Silva, Benigno Barreto Filho.** -1.ed. Luciana Keler M. Corrêa. São Paulo: FTD, 2010, p. 141. (física aula por aula; v.3)

YOUNG, Hugh D; Roger A. Freedman. **Física III, Sears e Zemansky: eletromagnetismo/ Hugh D. Young, Roger A. Freedman;** colaborador A. Lewis Ford: tradução Lucas Pilar da Silva e Daniel Vieira; revisão técnica Adir Moysés Luiz. – 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015, 470 p.