

5.9 Quando se leva choque?

Tudo mundo sabe que eletricidade pode ser perigosa. Há na literatura diversas afirmações falsas a respeito das circunstâncias que significam perigo de vida. Por exemplo, podemos encontrar afirmações do tipo: “não é a alta tensão que mata, mas a alta corrente”. Posso segurar na minha mão um fio desencapado no qual flui uma corrente de 20 A sem levar choque. Para que a corrente apresente perigo, ela tem que passar pelo meu corpo; no fio ela não apresenta perigo. Para gerar uma corrente elevada dentro do nosso corpo, em geral é preciso sim aplicar alta tensão entre dois pontos do corpo, a não ser que estejamos de pele molhada. Neste caso uma tensão de poucos volts pode provocar correntes perigosas no corpo. Mas mesmo criando alta corrente dentro do corpo, não teremos necessariamente uma situação de perigo. Por exemplo, se esta corrente de 20 A flui no corpo apenas durante um intervalo de tempo de 10^{-15} s, ela dificilmente causará algum dano.

Há dois mecanismos que podem provocar danos à saúde ou causar morte pela eletricidade.

(1) Correntes até relativamente baixas de alguns mA com duração de alguns milissegundos podem interferir na transmissão de sinais dos nervos. Geralmente estas interferências são momentâneas e não causam danos permanentes a não ser que a perturbação envolva sinais que controlam as batidas cardíacas. Então quem mexe com equipamentos de alta tensão deve, além de usar instrumentos de proteção, manusear os objetos somente com a mão direita deixando a mão esquerda livre sem tocar em absolutamente nada e deve levantar o pé esquerdo para evitar que se possa formar um caminho de corrente que passe pelo coração.

(2) Pelo efeito Joule, correntes elevadas que se aplicam no corpo durante intervalos de tempo suficientemente longos podem aquecer o tecido a tal ponto que as células sejam destruídas. Se isto acontecer num volume suficientemente grande e num órgão vital, levaria à morte.

Não há alguma grandeza física que possa ser culpada pelo perigo. Não é a voltagem, não é a corrente, não é a potência e nem é a energia depositada no corpo. Podemos depositar alta potência elétrica no corpo sem causar danos, se isto for feito durante um intervalo de tempo muito curto. Podemos depositar enormes quantidades de energia no corpo sem causar danos, se isto for feito durante intervalos de tempo muito longos com potências extremamente baixas. O mecanismo que danifica o tecido é complexo, envolve transporte de calor dentro do tecido e conta com a alta capacidade térmica do tecido vivo.

Em todo caso, elevadas correntes são necessárias para causar danos, caso em que elevada corrente pode significar algo acima de 0,5 A. Para criar esta corrente é preciso aplicar alguma voltagem entre diferentes pontos do corpo. Se forem pontos em áreas superficiais de pele seca, a voltagem necessária para causar danos pode ser maior que 100 V. Mas se estivermos com a pele molhada, 20 V já podem ser perigosos. Eu já vi um aluno levar choque com apenas 10 V. Este aluno sofria de um distúrbio estranho que deixava suas mãos extremamente suadas. O que é muito perigoso é o contato de equipamentos elétricos na boca. Quem trabalha com eletrônica muitas vezes sente falta de uma terceira mão quando solda as peças. Uma mão segura o ferro de solda, outra mão segura as duas peças a serem soldadas e falta a terceira mão para levar o fio de solda para o local da junção. Nesta situação é grande a tentação de segurar o pedaço de fio de solda com a boca. **NUNCA FAÇA ISTO!** É muito comum que o isolamento

elétrico que separa a ponta soldadora da resistência aquecedora do ferro de solda esteja danificado. Neste caso você tem os 127 V da tomada no ponto de solda e quando o arame de solda que você segurou com a boca toca no ferro você leva um choque que pode matar.

Para as instalações elétricas domésticas inventou-se um arsenal de medidas de segurança para evitar acidentes. Muitos eletrodomésticos possuem uma carcaça metálica. Em condições de funcionamento normal do aparelho, esta carcaça não deve ter nenhum contato com as partes elétricas do equipamento. Mas na engenharia deve-se pensar não apenas no caso do funcionamento correto dos aparatos, mas também em situações adversas com alguma possível alteração das condições normais. Pode ocasionalmente ocorrer que um fio elétrico encostou-se à carcaça e com vibrações (por exemplo, numa máquina de lavar roupa) se gastou a capa isoladora deste fio de tal forma que a carcaça fica agora ligada a um dos fios da tomada. Geralmente um destes fios tem valores de potencial elétrico que diferem consideravelmente do potencial elétrico da Terra ou do chão no qual pisamos. Se, nesta situação, uma pessoa toca na carcaça deste eletrodoméstico com defeito, ele expõe seu corpo a uma perigosa diferença de potencial.

Para evitar esta possibilidade inventou-se o aterramento. Um dos fios da tomada está ligado numa haste condutora enterrada num ponto perto da entrada da alimentação elétrica na residência. Este fio é chamado de neutro¹. Na tomada que alimenta o eletrodoméstico se instala um terceiro contato que é ligado na carcaça do eletrodoméstico e que é ligado com um terceiro fio bem grosso chamado de *fio-terra* no mesmo ponto de aterramento na entrada elétrica da casa. Este fio garante que nunca haverá uma grande diferença de potencial entre carcaça do aparelho e a terra. Então as pessoas podem tranquilamente tocar nestas partes metálicas. A figura 5.9.1 mostra este sistema de segurança esquematicamente.

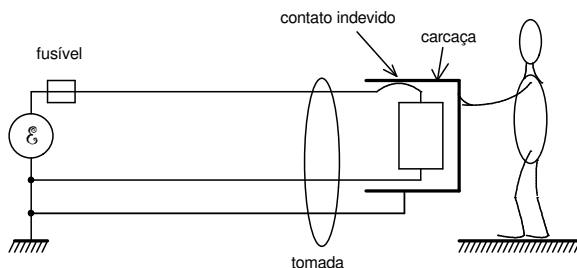


Fig. 5.9.1 Aterramento.

O que acontece quando um fio desencapado com potencial muito diferente do potencial da Terra toca agora na carcaça do aparelho? Há dois possíveis cenários; pode ser que este contato entre fio e carcaça tenha ainda considerável resistência, digamos algo

na faixa de 500Ω . Ou pode ser que este contato não tenha quase resistência alguma.

Analisaremos primeiramente o caso de contato de considerável resistência. Antes de instalar o terceiro contato na tomada, uma pessoa que toca no aparelho estaria ligada em 127 V através do contato de 500Ω . Isto resultaria num desagradável choque elétrico, mas que provavelmente não mataria, a não ser que a pessoa já tenha problemas cardíacos. Com o terceiro contato na tomada, a pessoa estaria ligada numa fonte feita de uma fonte ideal de 127 V e um divisor de tensão que tem os resistores $R_2 = 500 \Omega$ e $R_1 =$ resistência do fio terra. Como este terceiro fio é grosso, temos $R_1 \ll R_2$ e a pessoa ficou ligada numa fonte com eletromotância efetiva de $127 \text{ V} \times R_1 / (R_1 + R_2)$, que é tão pequena que não há perigo algum (lembrem-se do divisor de voltagem!). Porém haveria

¹ Há também instalações em que nenhum dos dois contatos da tomada está ligada à terra. Isto é frequente em instalações com 220 V.

uma corrente permanente atravessando este contato de 500Ω e gastando energia elétrica à toa.

No caso de um contato de baixa resistência teríamos uma corrente enorme fluindo diretamente para o fio-terra e isto acionaria o disjuntor na entrada da casa ou queimaria um fusível de tal forma que a eletricidade da casa seria simplesmente desligada.

O esquema descrito é o sistema de segurança por aterramento mais simples. Inventou-se ainda um sistema de segurança alternativa que pode também ser combinado com um aterramento. Se houver um contato indevido entre um fio e a carcaça do aparelho, uma parte da corrente que flui no fio da tomada não voltará pelo outro fio da tomada, mas tomaria o caminho pelo fio-terra ou, em caso de falta do mesmo, pelo corpo de uma pessoa que toca na carcaça do aparelho. Então os valores das correntes nos dois fios da tomada não seriam iguais. Inventou-se um dispositivo chamado de *disjuntor diferencial* ou *disjuntor diferencial residual* (DR) que mede estas duas correntes e desliga a eletricidade quando a diferença dos valores destas correntes ultrapassa algum valor limite (geralmente 30 mA). Com este equipamento a pessoa que toca na carcaça do eletrodoméstico ficaria protegida mesmo no caso em que o fio-terra se tenha partido por alguma razão, pois a própria corrente que passa pelo corpo da pessoa provocaria o desligamento da eletricidade. Inclusive os disjuntores diferenciais podem ser usados em instalações sem possibilidade de instalar um fio-terra. Na literatura internacional este tipo de disjuntor é chamado de RCCB (**R**esidual **C**urrent **C**ircuit **B**reaker) ou mais geral RCD (**R**esidual **C**urrent **D**evice).

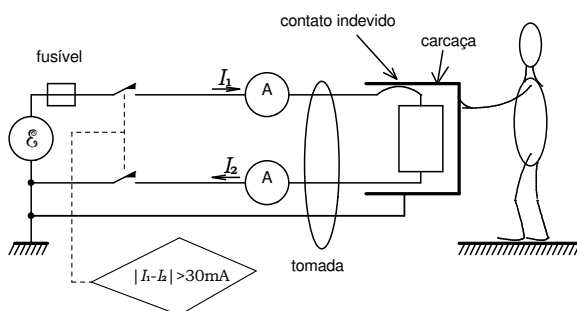


Fig.5.9.2 Proteção com uma combinação de aterramento e disjuntor diferencial. Mesmo em caso de interrupção do fio-terra, o disjuntor diferencial protege uma pessoa que toca na carcaça de um eletrodoméstico defeituoso.

Um número considerável de mortes humanas é causado por descargas elétricas atmosféricas. Muitas vezes o raio mortal nem cai diretamente na

pessoa, mas em algum objeto alto na proximidade. A partir do ponto de incidência do raio flui corrente radialmente para fora no solo e se estabelece um perfil de potencial elétrico no solo cujas equipotenciais terminam na superfície aproximadamente em círculos com centro no lugar da queda de raio. A pessoa que está apoiada nas duas pernas pode estar exposta a uma diferença de potencial mortal entre um pé e o outro. Então nas tempestades de raios é aconselhável manter os pés juntos, ou melhor, ficar apoiado em apenas uma perna. Se você tem que se deslocar corra e não ande, pois na corrida somente um pé toca o chão de cada vez.

Exercícios:

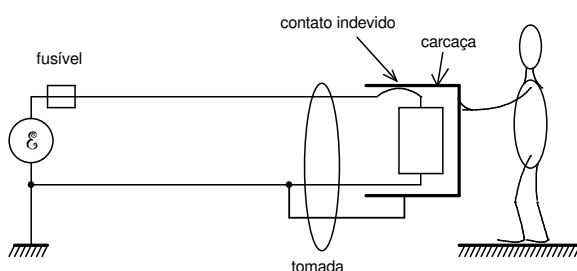


Fig. 5.9.3 Instalação **errada** do terceiro contato da tomada.

E 5.9.1: O fio-terra está ligado no mesmo ponto do fio neutro. Alguém pode ter a ideia “brilhante” de querer economizar fio de cobre e ligar o terceiro pino da tomada diretamente

no fio neutro como mostra a figura 5.9.3. Explique por que isto, ao invés de diminuir a probabilidade de acidente, aumenta-a.

E 5.9.2: Na atmosfera terrestre perto do chão (camada de mais de 100m) e em condições de tempo bom há um campo elétrico de mais de 100 V/m. Então entre chão e um ponto da altura de uma pessoa adulta teria uma diferença de potencial de aproximadamente 180 V ou mais. Explique por que não levamos choque quando passeamos fora de casa.

E 5.9.3: Escreva os pontos de destaque desta seção.