

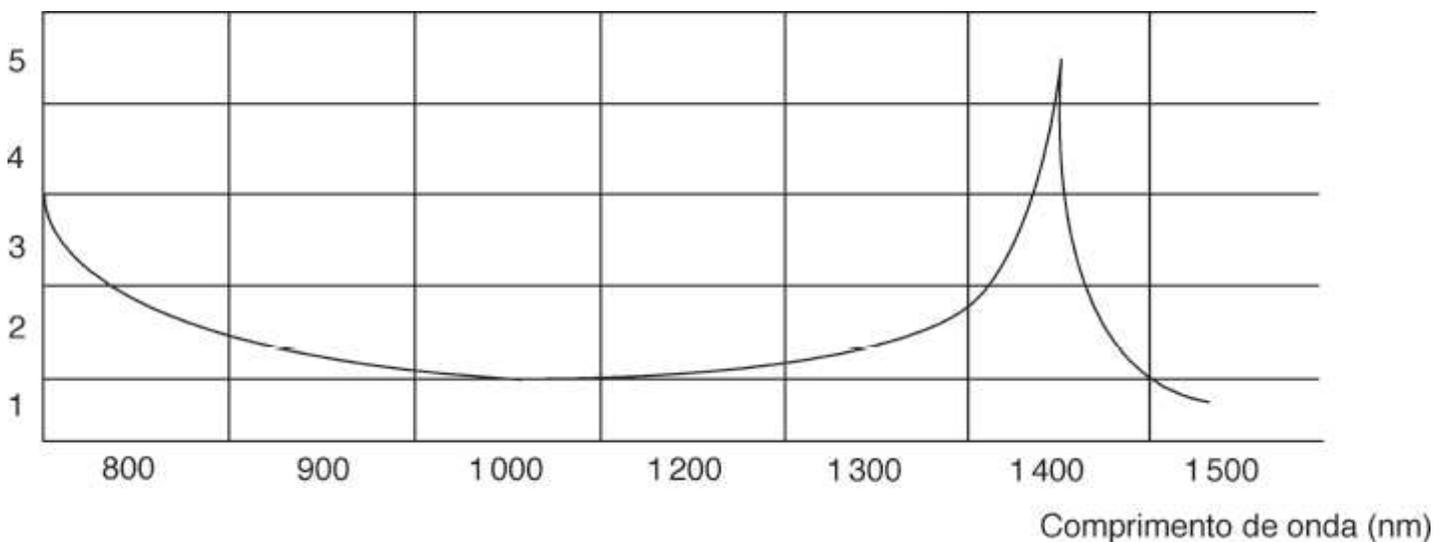
7

Transmissão de Dados, Circuitos de Comando e de Sinalização

7.1 Transmissão por Fibra Ótica

7.1.1 Introdução

A fibra ótica é um novo meio de transmissão de dados em telecomunicações. Até então, usavam-se condutores de cobre e de alumínio, porém, além de serem de difícil manutenção, apresentavam sempre elevadas perdas.

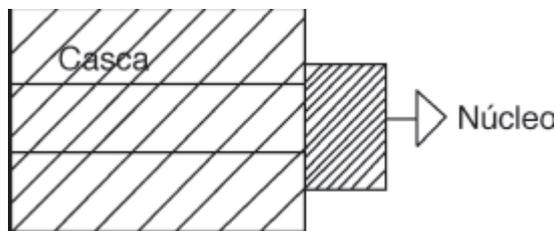


Atenuação em função do comprimento de onda.

Figura 7.1

As principais vantagens da fibra ótica são:

- atenuação reduzida (ver Figura 7.1);
- baixo peso e dimensões reduzidas;
- elevada capacidade de transmissão de dados;
- falta de susceptibilidade a interferências eletromagnéticas;
- proteção contra grampeamentos (no caso do uso em telefones);
- matéria-prima (sílica) de fácil obtenção.



Corte esquemático de uma fibra óptica.

Figura 7.2

7.1.2 Constituição da fibra ótica

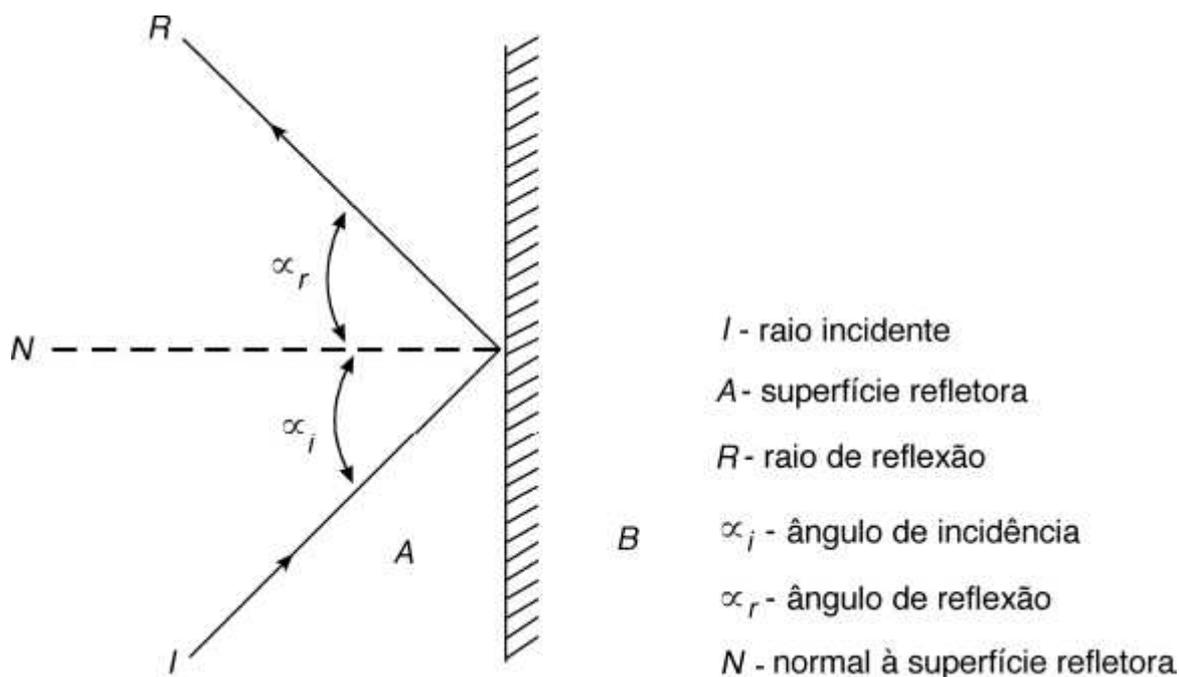
A fibra ótica é constituída de um núcleo e de uma casca, concêntricos, que diferenciam-se entre si pelo índice de refração (n_1 e n_2) (Figura 7.2).

7.1.3 Princípios de física (ótica)

O princípio de funcionamento da fibra ótica baseia-se na Física (Ótica) e utiliza os conhecimentos clássicos de reflexão e de refração da luz.

7.1.3.1 Reflexão da luz

Vamos supor um raio de luz incidente sobre uma superfície plana da separação de dois meios A e B (Figura 7.3).



Reflexão da luz.

Figura 7.3

Princípios:

- 1ª) O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão em relação à normal.
- 2ª) O raio incidente, o raio refletido e a normal estão no mesmo plano.
- 3ª) Se o ângulo de incidência for zero, o raio de luz incidente será normal à superfície refletora (coincide com N).

7.1.3.2 Refração da luz

Toda vez que um raio de luz passa de um meio A para um meio B , o ângulo de incidência em A sofre alteração no meio B (Figura 7.4).

Princípios:

1ª) Quando um raio de luz passa de um meio a outro, a relação entre o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo de refração é uma constante.

$$\frac{\text{sen } \alpha_i}{\text{sen } \alpha_r} = \text{Constante (lei de Snell)}$$

Ou seja:

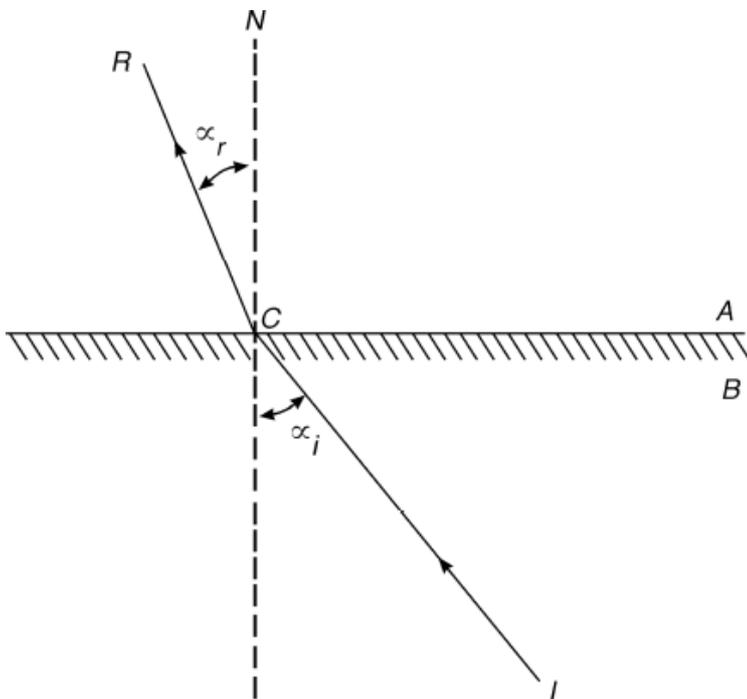
$$n_1 \text{ sen } \alpha_i = n_2 \text{ sen } \alpha_r$$

Quando $i = 90^\circ$, temos $r = C$. Portanto, aplicando a lei da refração:

$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r$$

$$n_1 \cdot \text{sen } 90^\circ = n_2 \Rightarrow \text{sen } C = \frac{n_1}{n_2} = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$$

Admitamos que a mesma radiação monocromática se propague no meio 2 e atinja a fronteira S . Pelo princípio da reversibilidade, pode-se construir a sequência:



A e B - meios diferentes (por exemplo, ar e água)

I - raio incidente

C - ponto de incidência

α_i - ângulo de incidência

N - normal à superfície

α_r - ângulo de refração

R - raio refratado

Refração da luz.

Figura 7.4

Portanto, $i = C$ é o maior valor possível do ângulo de incidência para que ocorra refração. Nesta condição, $i = C$ é denominado ângulo crítico de incidência.

Ângulo crítico de incidência (C) é o ângulo de incidência, formado no meio mais refringente, que corresponde a uma emergência rasante ($r = 90^\circ$).

Agora para $i = C$, temos $r = 90^\circ$. Aplicando a lei da refração:

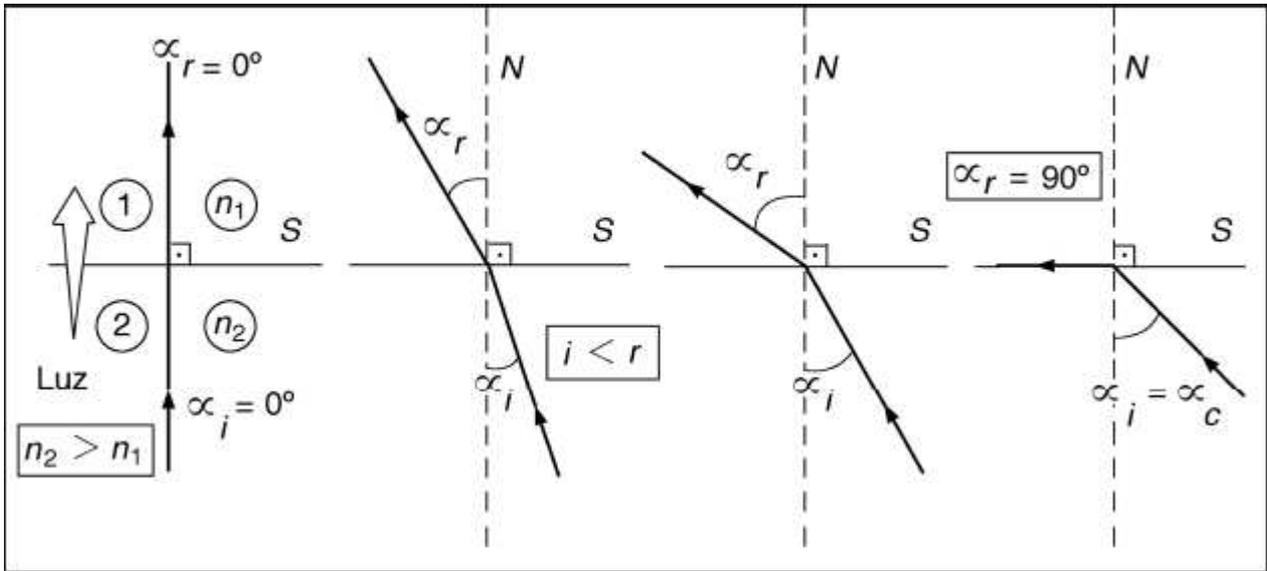
$$n_2 \cdot \text{sen } i = n_1 \cdot \text{sen } r$$

$$n_2 \cdot \text{sen } C = n_1 \cdot \text{sen } 90^\circ, \text{ mas } \text{sen } 90^\circ = 1 \Rightarrow \text{sen } C = \frac{n_1}{n_2} = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$$

Como facilmente se pode observar, os ângulos críticos de incidência e de refração são iguais e se constituem no mesmo meio do dioptra (sempre no mais refringente), razão pela qual podemos dispensar essa dupla terminologia e ambos passam a ser denominados **ângulo crítico C**.

A propagação da luz em uma fibra ótica é baseada no princípio da reflexão total. Se tivermos um “sanduíche” de meios com índices de refração diferentes, sendo o meio interno de índice de refração maior, podemos ter um raio luminoso que se propaga ao longo do meio interno desde que o ângulo de incidência da fronteira entre os meios seja maior que α_C .

A fibra ótica é formada por um núcleo de índice de refração n_1 envolvido pela casca de índice de refração n_2 .



Diferentes situações de um raio incidente.

Figura 7.5

2º) O índice de refração do meio é definido como a relação entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio:

$$n = \frac{c}{v}$$

em que:

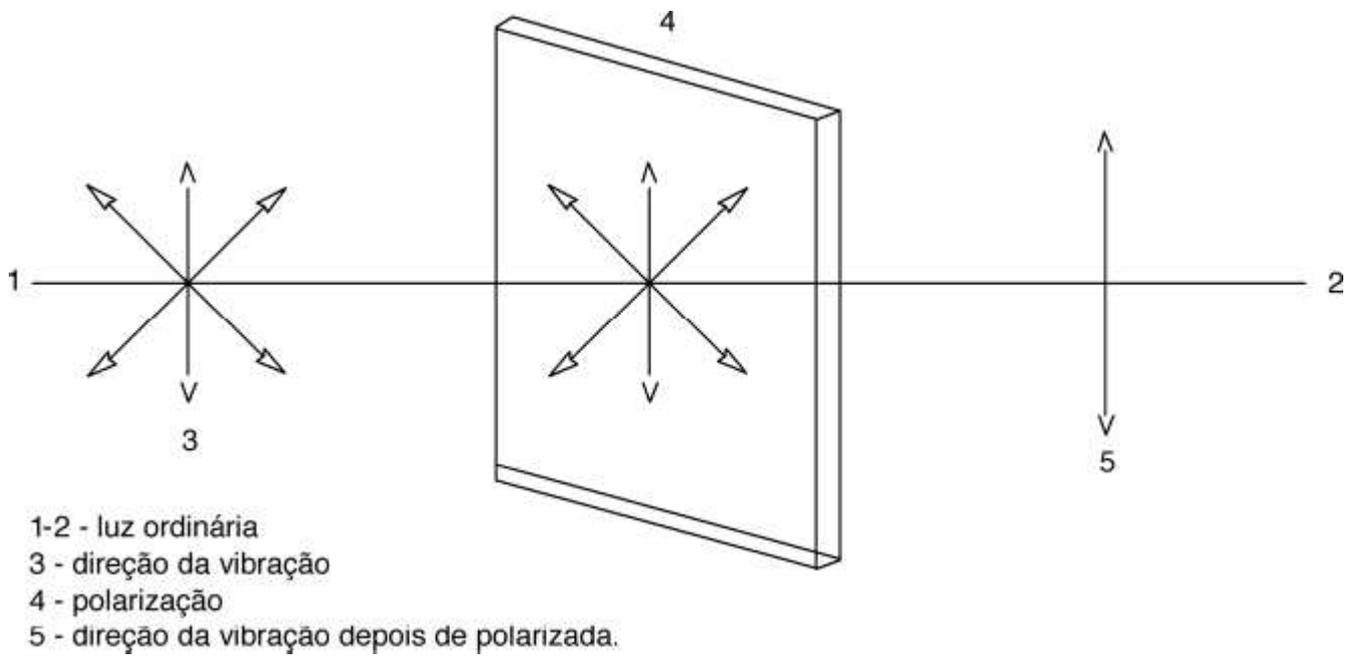
- n = índice de refração do meio
- c = velocidade da luz no vácuo
- v = velocidade da luz no meio.

Exemplos:

- $n = 1,544$ – índice de refração do quartzo
- $n = 1,333$ – índice de refração da água
- $n = 1,000$ – índice de refração do ar
- $n = 2,417$ – índice de refração do diamante.

7.1.4 Luz polarizada

Um feixe de luz ordinário, dirigido na direção da reta 1-2, consiste em ondas transversais, com vibrações em todas as direções, perpendiculares à direção do feixe.



Polarização de um feixe de luz.

Figura 7.6

Alguns cristais (como o quartzo) têm a propriedade de transmitir ondas de luz em um só plano e absorver as outras ondas. Os materiais desse tipo são os polarizadores. Precisa-se de menos luz polarizada do que luz comum para a transmissão de dados (a energia fica concentrada).

7.1.5 Características da fibra ótica

Conforme se observa na Figura 7.2, a fibra ótica tem um núcleo composto de um material homogêneo e de índice de refração constante. As dimensões típicas de fibra ótica são: 200 microns de diâmetro do núcleo por 380 microns de diâmetro da casca.

Segundo a Figura 7.1, que mostra as perdas na fibra ótica, a atenuação é menor que 2,8 dB por km, permitindo ligações de até 15 km sem o uso de *buffers* ou repetidores. A banda passante é da ordem de 1 GHz por km.

O processo de fabricação é de “modificação química por deposição vaporizada”, com grande número de camadas de silício no interior de um tubo de sílica pura.

Para se entender o processo eletrônico da aplicação da fibra ótica, é apresentado o diagrama da Figura 7.7:

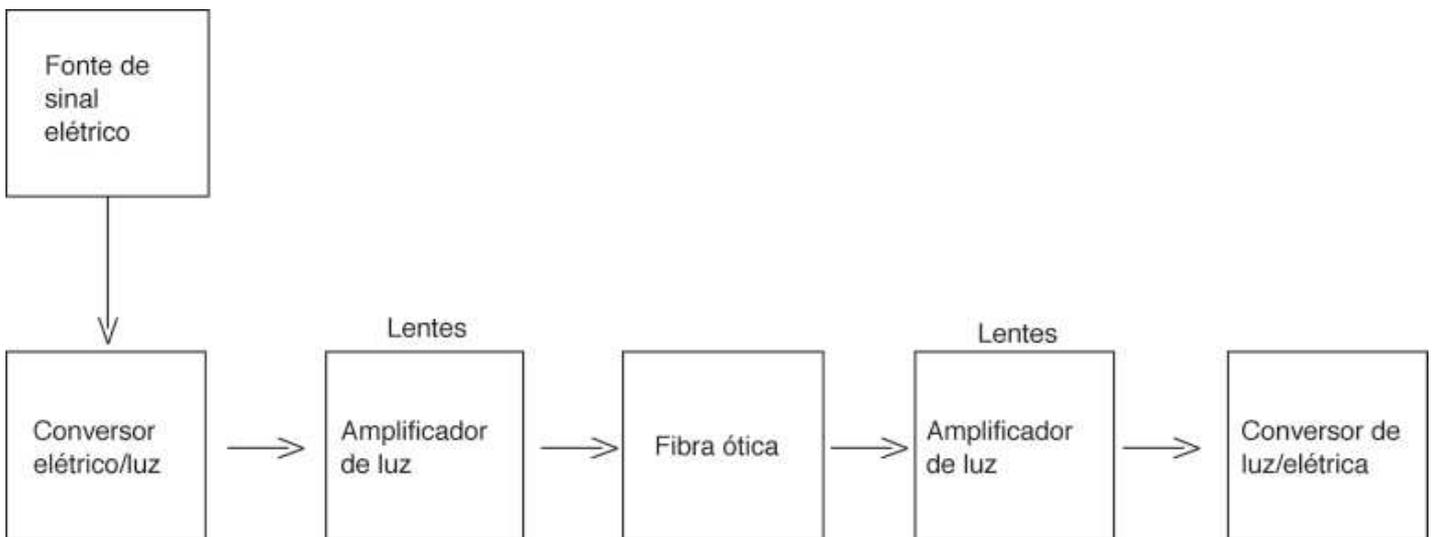


Diagrama explicativo do funcionamento da fibra ótica.

Figura 7.7

O sinal elétrico que se deseja transmitir (dados, telefonia, fac-símile) é convertido para sinal luminoso (processo laser) etc. Por meio da variação do sinal elétrico, varia-se proporcionalmente a sua luminosidade, que será amplificada por lentes especiais (mediante ampliação ótica). Ao chegar ao destino, após uma nova ampliação ótica, o sinal luminoso sofre o processo inverso, ou seja, é convertido em sinal elétrico (processo semelhante ao fototransistor). A Figura 7.8 exemplifica a aplicação de um sistema utilizando a transmissão de dados através de fibra ótica.

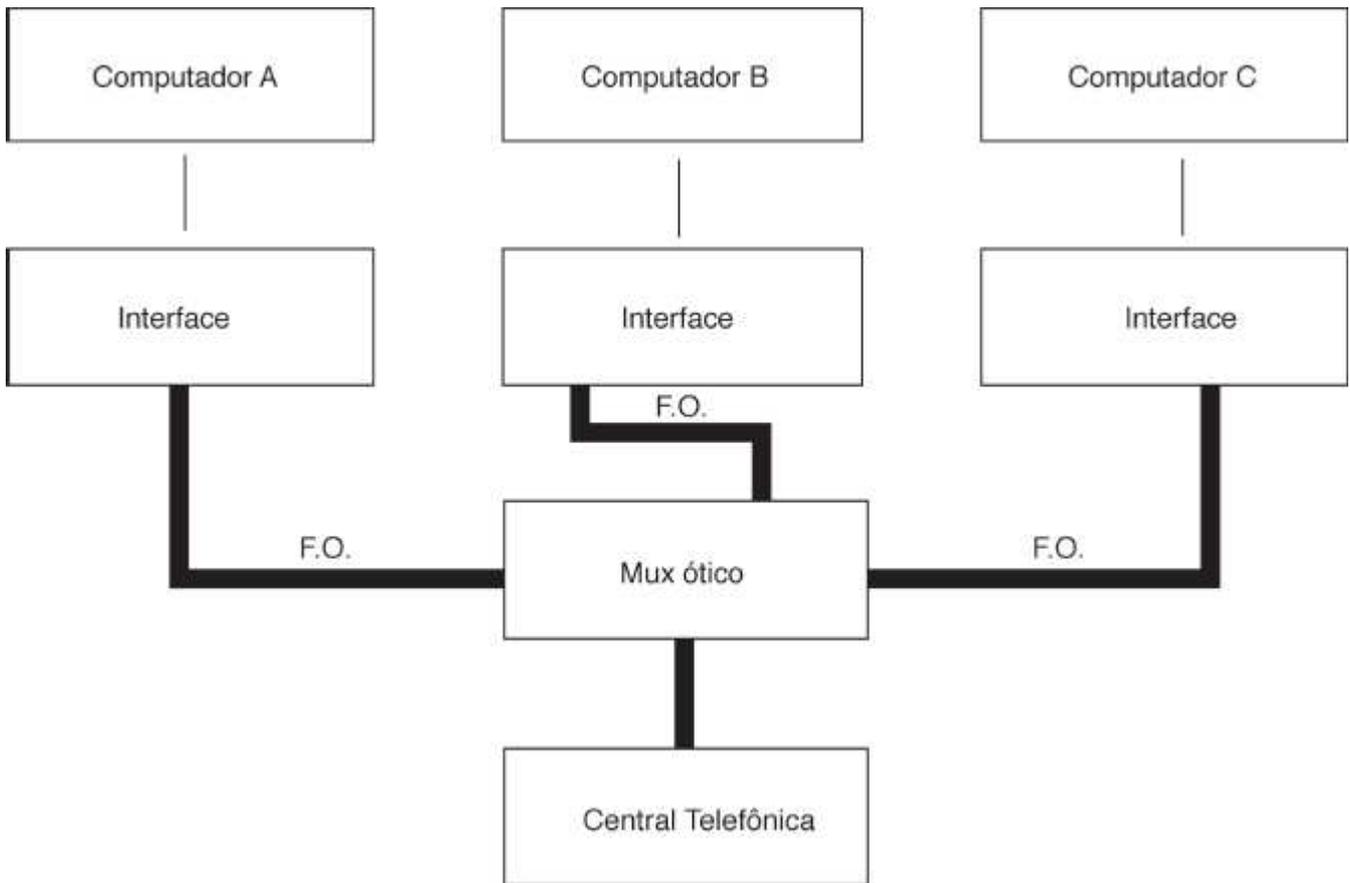


Diagrama em blocos do sistema.

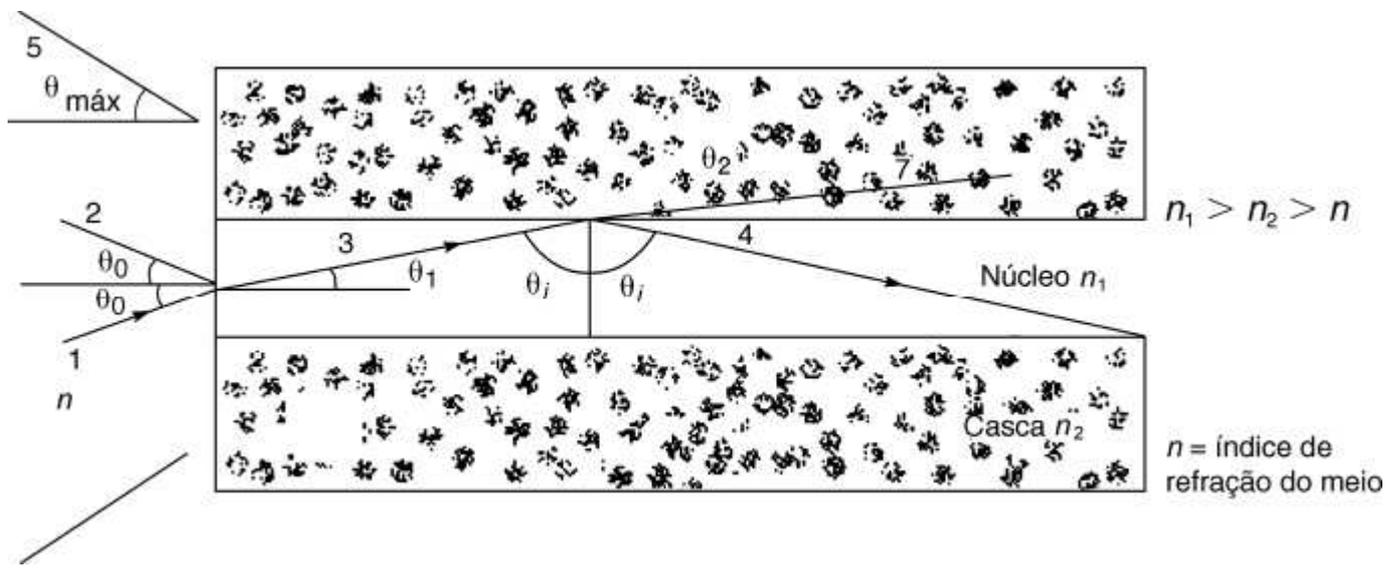
Figura 7.8

7.1.6 Exemplo de propagação de luz em uma fibra ótica

A lei de Snell teria a seguinte forma para o caso da Figura 7.9:

$$\text{sen } \theta_0 = n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

O raio de luz 1 incide do ar, de índice de refração n_0 , na fibra ótica, a contar da normal a θ_0 . Tal raio gera dois outros: um refletido (2) e outro refratado (3). O ângulo do raio refletido é igual ao do raio incidente (θ_0), e o ângulo do raio refratado é θ_1 , de acordo com a lei de Snell. O raio (3) dentro da fibra incide na interface do núcleo com a casca – com ângulo de incidência θ_1 – e gera mais de dois raios, um refletido (4), com ângulo igual de incidência θ_1 , e outro refratado (7), com ângulo θ_2 , que se perde dentro da casca.



Atuação do raio de luz na fibra óptica.

Figura 7.9

O raio (4) reflete-se mais além – sempre perdendo parte de sua energia através de refração até morrer dentro da fibra óptica – e nunca alcança o final.

Como a casca tem um índice de refração menor que o núcleo, se o ângulo de incidência θ_i está próximo do ângulo crítico, o raio refratado se aproxima de 90° .

Quando θ_i for maior que o crítico, a reflexão será total e a luz não perderá mais energia através de refração.

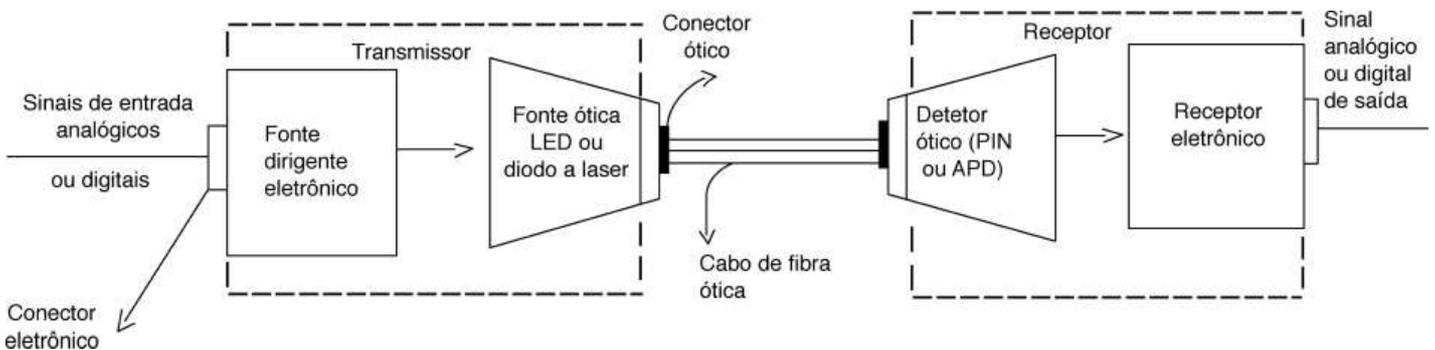
Para se obter o ângulo crítico, a luz deve incidir na fibra óptica percorrendo o caminho (5), com o ângulo de incidência menor ou igual a $\theta_{\text{máx}}$, que é o ângulo máximo de aceitação da luz. Qualquer raio de luz que incida na fibra óptica dentro desse cone de aceitação será guiado sem perdas até o seu final.

7.1.7 Exemplo de um sistema mais completo utilizando o princípio da fibra óptica

A fibra óptica atua como um “guia de onda”, de grandes aplicações na eletrônica moderna. Nos sistemas digitais de computação, telefonia e *video broadcast systems*, que exigem novas técnicas de transmissão de dados, sistemas de fibra óptica têm significativas vantagens e características no desempenho, quando comparados a sistemas metálicos antigos, quase sempre menos onerosos. Tais vantagens já foram apresentadas no item 7.1.

Na Figura 7.10, vê-se um exemplo típico da atuação de fibra óptica em um sistema transmissor e receptor de dados.

Um cabo de fibra óptica é composto de um transmissor e um receptor óticos, em fibra de vidro, circundados por dielétricos (*buffers*), que transmitem sinais óticos em vez de elétricos. Os materiais dielétricos oferecem significativas vantagens sobre sistemas metálicos, tais como imunidade à luz e altas frequências. Os sinais transmitidos não são distorcidos por alta tensão, campos magnéticos e interferência de radiofrequências.



Esquema de um transmissor — receptor de sinais em fibra óptica.

Figura 7.10

Sinais óticos não exigem conexões de aterramento, mas o transmissor e o receptor são eletricamente isolados. Eles têm a vantagem de incluir segurança contra centelhamento e choques, possuem maior disponibilidade devido à falta de

terminais de aterramentos, e a operação é segura contra ambientes inflamáveis.

Cabos de fibra de vidro são de dimensões reduzidas quando comparados com cabos coaxiais de mesma capacidade de transmissão de sinais. São mais leves e de fácil instalação, e exigem menor espaço para dutos e equipamentos de suporte reduzidos ou eliminados.

7.2 Sistema Contra Roubo em Residências

A segurança contra roubo em empresas ou residências torna-se cada vez mais importante. Será apresentado, em seguida, um sistema de defesa contra roubos desenvolvido pela Siemens — uma linha completa de equipamentos de segurança para recintos fechados. Contra a invasão há quatro tipos de protetores trabalhando em conjunto. O sistema é protegido contra sabotagem, tanto no seu comando central quanto nos periféricos. As partes componentes do sistema são:

- a)** Central de proteção contra roubo. Tem a função de supervisionar cada um dos sensores instalados nas diversas linhas, indicando a origem do alarme através de um sinal luminoso ou acústico. É montada em uma caixa de aço e possui circuitos totalmente eletrônicos. Todo o sistema é protegido contra sabotagem, além de possuir um conjunto de alimentação próprio, com carregador de baterias que garante o seu funcionamento mesmo em corte ou falta de energia elétrica.

A central de proteção contra roubo possui cinco linhas de alarmes supervisionados para sensores do tipo:

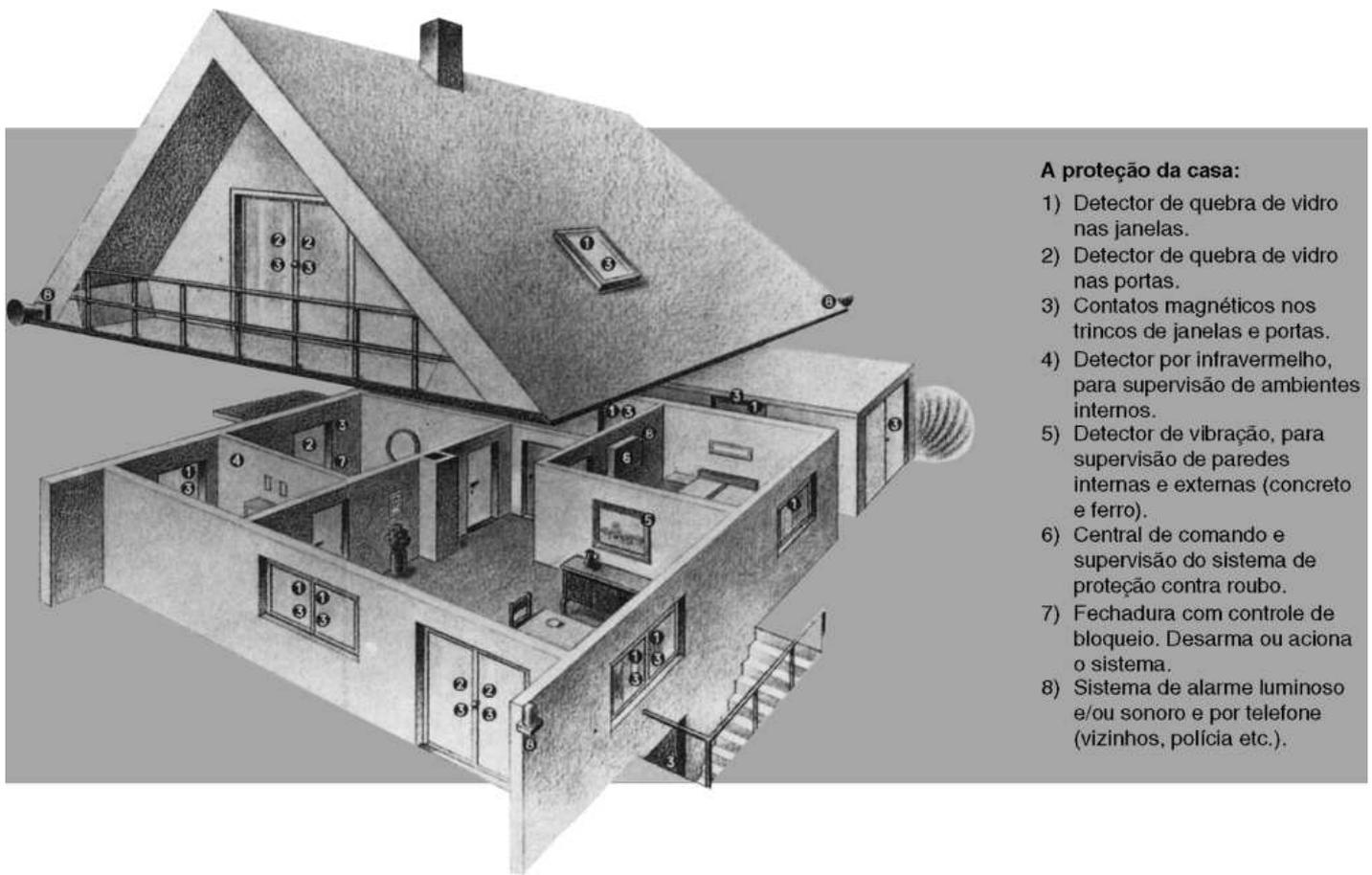
- quebra de vidro;
- vibração;
- infravermelho;
- contatos de portas e janelas;
- proteção contra sabotagens.

Essa central pode ser programada para ligar ou desligar equipamentos externos, como comando de portões de acesso, comando de luzes externas, interligações de telefones externos para vizinhos ou polícia.

- b)** Detector de vibração. Monitora paredes internas ou externas (de aço ou concreto), acionado por variações repentinas no espectro sonoro; acusa tentativas de arrombamento (ferramentas mecânicas ou térmicas e explosão).
- c)** Detector de quebra de vidro. Supervisiona a quebra de vidros para todos os tipos de vidros planos (exceto de duas chapas) e aciona um transdutor elétrico sonoro. Acusa também cortes ou avarias.
- d)** Detector passivo por infravermelho. Pode ser instalado em portas, corredores, escadas ou em locais que precisam de monitorização constante. O campo de supervisão do detector é de 85° na horizontal e 55° na vertical. Ao ser invadido o campo de supervisão totalmente invisível a olho humano, ocorre o disparo do alarme pela central.

O detector passivo por infravermelho trabalha com um nível de tensão da ordem de 12 Vcc e consome aproximadamente 12 mA.

Na Figura 7.11, observa-se um esquema extraído do catálogo da Siemens onde são mostrados os diferentes equipamentos instalados para a proteção de uma casa.



Esquema da proteção de uma casa contra roubos. (Cortesia da Siemens.)

Figura 7.11

7.3 Sistema de Boias em Reservatórios

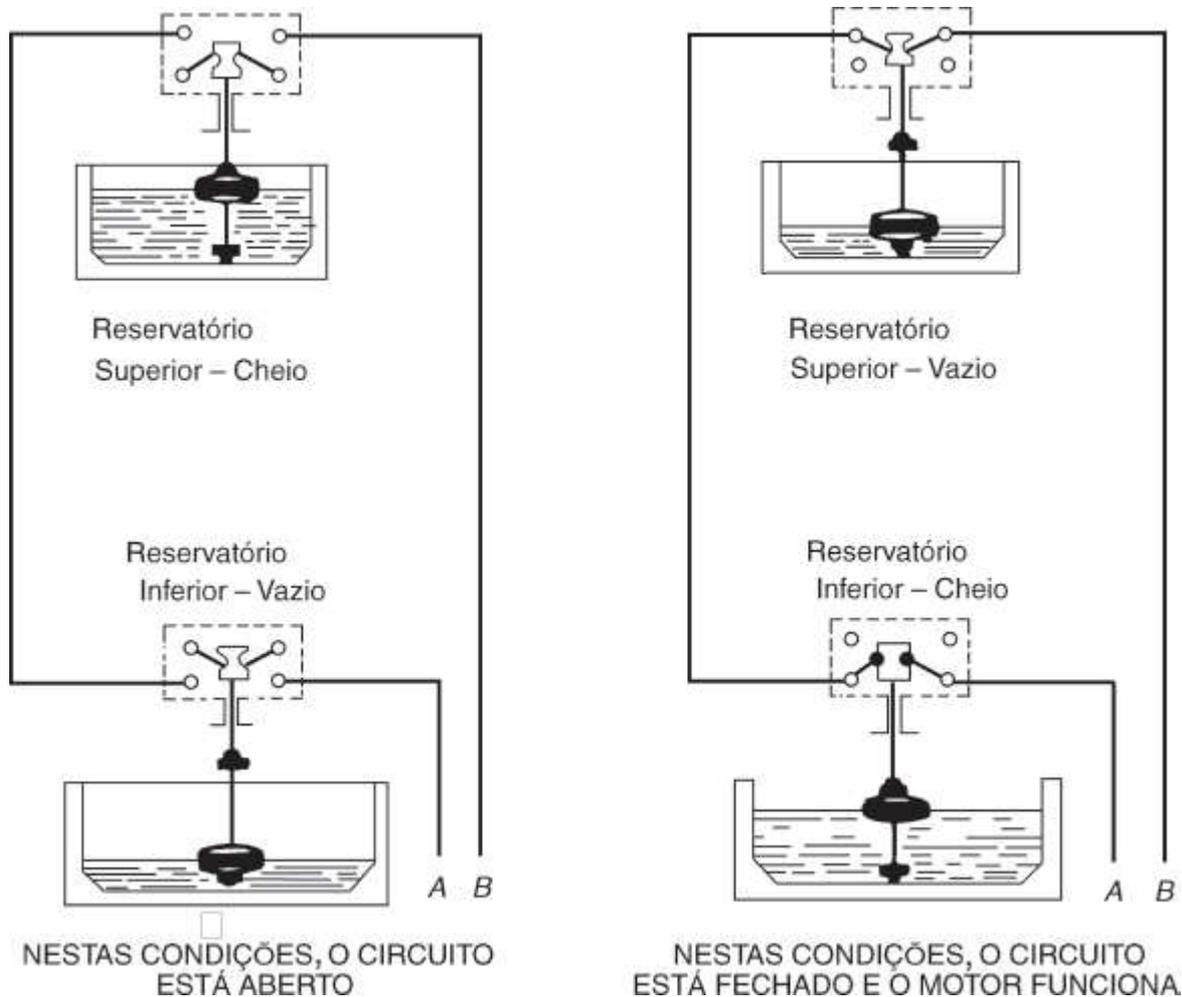
É um sistema de controle usado no acionamento de bombas de água ou de outro líquido qualquer.

Nas instalações usuais para fornecimento de água a edifícios, dispomos de dois reservatórios: o inferior (cisterna) e o superior.

A chave-boia possibilita a ligação do motor da bomba de água quando o reservatório superior está vazio e o reservatório inferior, cheio. Em qualquer alternativa, o motor permanece desligado.

Na Figura 7.12, *A* e *B* são os terminais que vão à bobina da chave magnética do motor.

– Chaves-boia em série.



Chave-boia para controle do nível da água do reservatório.

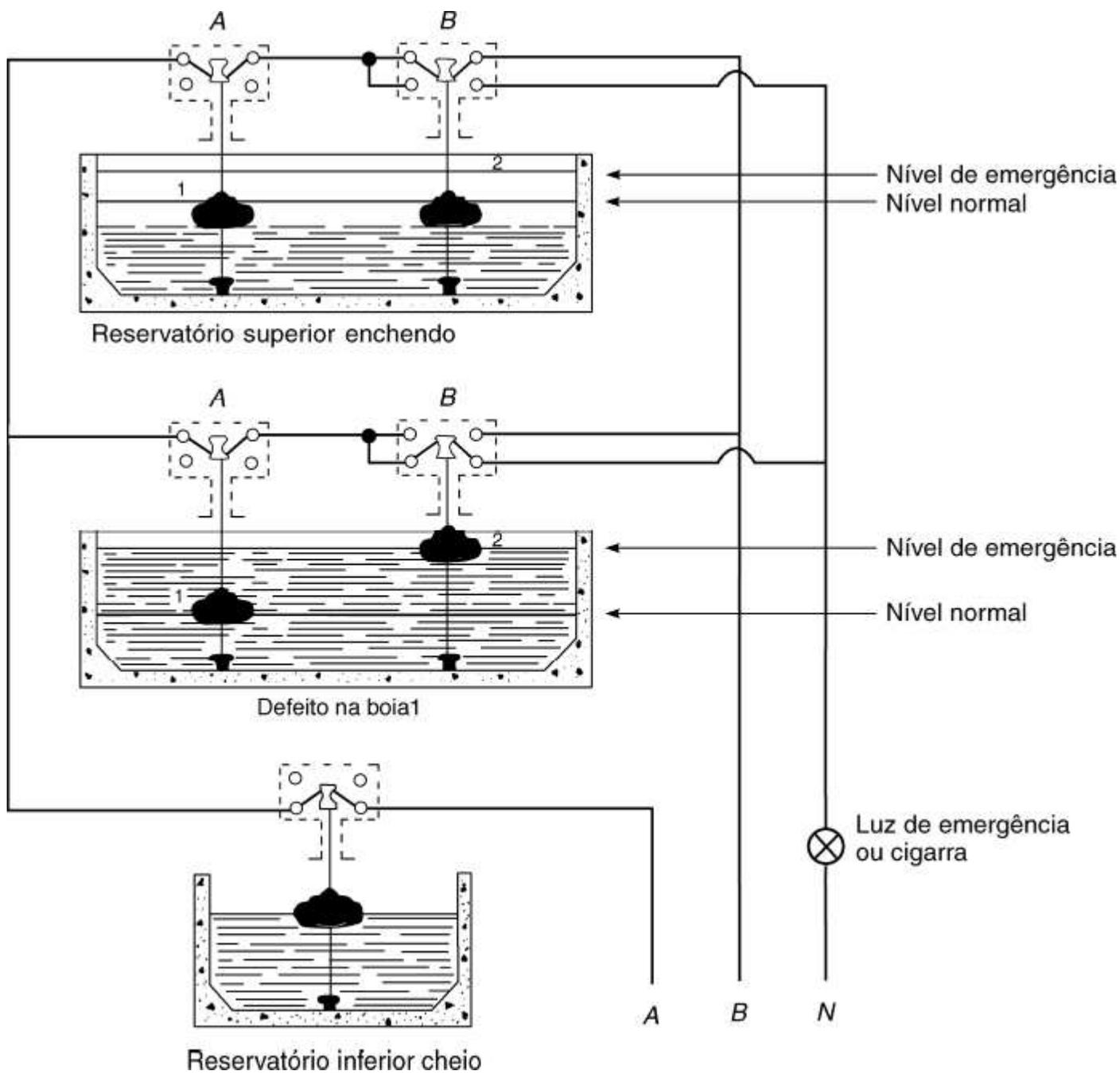
Figura 7.12

Há casos em que não se pode instalar o “cano extravasor” (ladrão) da caixa-d’água superior; por isso, a chave-boia não pode falhar, sob pena de se ter um transbordamento da caixa com sérias consequências.

O circuito da Figura 7.13 adiante é sugerido, usando-se duas chaves-boia em série, cujo funcionamento é simples. Na saída da chave-boia 1, liga-se em série a chave-boia 2, conforme a figura. Quando a boia 1 atingir o nível normal, a chave A desligará. Se a chave-boia 1 se prender na haste por algum motivo, a caixa continuará enchendo, e a chave-boia 2 interromperá o circuito, fechando o circuito de uma luz de emergência ou de uma cigarra, indicando que há defeito na boia 1.

7.4 Comandos por Sistema Infravermelho

À semelhança dos controles remotos dos aparelhos de TV, som, portas de garagem etc., tão comuns hoje em dia, existem controles remotos para iluminação, tomadas ou qualquer outro equipamento elétrico.

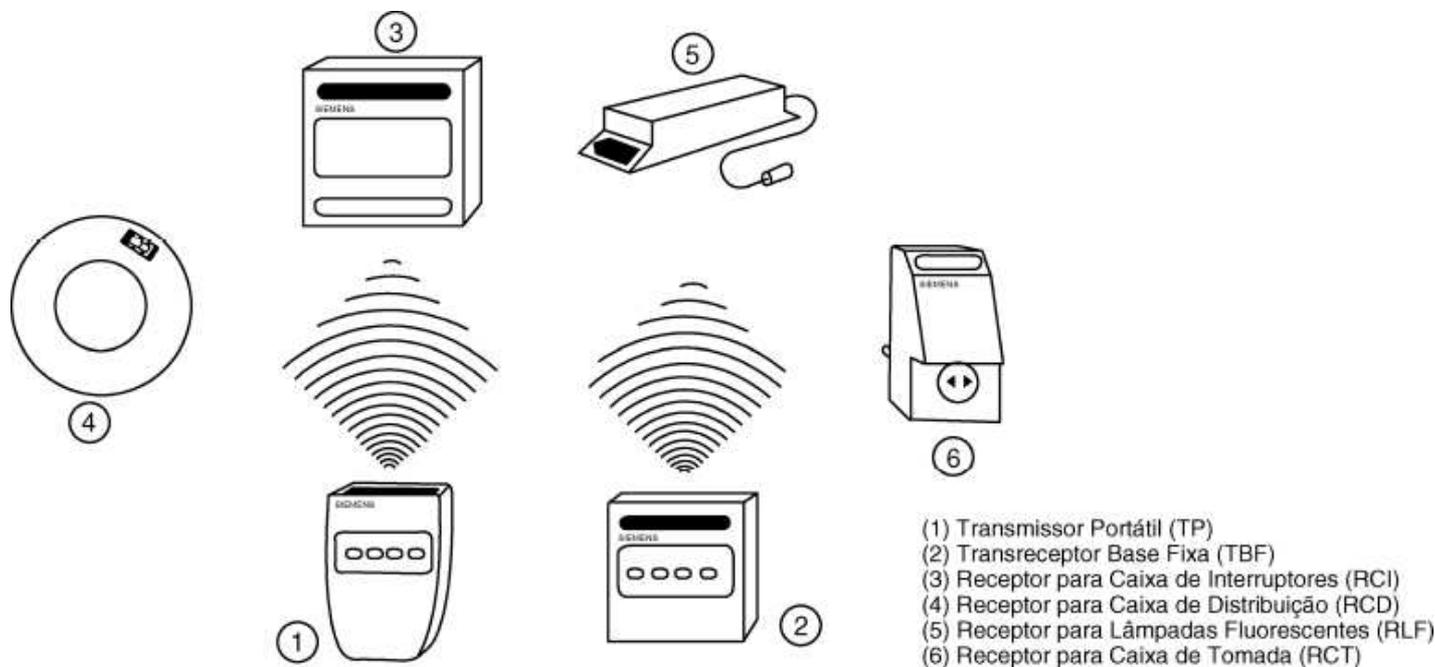


Uso de duas chaves-boia no reservatório superior.

Figura 7.13

Apresentamos um sistema desenvolvido pela Siemens que se destina ao uso residencial. Destaca-se por usar radiação infravermelha, em vez de ultrassom ou radiofrequência, sujeitas à interferência de ondas eletromagnéticas. Pode ser usado em instalações novas ou em reformas, sem a necessidade de instalações de conduítes ou de caixas de embutir.

Para que se facilitem as manobras, esse sistema possui quatro canais em duas opções: transmissor portátil ou transreceptores de base fixa (ver Figura 7.14) e seus correspondentes receptores (interruptores ou dimmers).



Interruptor de controle remoto (Siemens).

Figura 7.14

Funcionamento dos transmissores infravermelhos

Os transmissores operam a bateria, da mesma maneira que o controle remoto do televisor. Cada canal, separadamente, comanda um consumidor ou grupo de consumidores elétricos através do receptor infravermelho correspondente. Tal comando pode ser feito a uma distância de até 15 m. Os transmissores de base fixa podem ser usados de modo fixo ou portátil. Para a alimentação, é usada uma bateria comum de 9 V.

Funcionamento dos receptores infravermelhos

Através dos receptores, pode ser comutada ou ajustada a intensidade luminosa de lâmpadas incandescentes ou outros consumidores; podem ainda ser ligadas e desligadas lâmpadas fluorescentes (sem controle de intensidade luminosa). Os receptores estão disponíveis para 110 ou 220 V, 50/60 Hz.

Receptor para caixa de interruptores (RCI)

Com os receptores para caixa de interruptores, podem ser ligados/desligados ou ajustada a intensidade da tensão dos consumidores ou grupo de consumidores elétricos. O comando poderá vir de um interruptor convencional conectado em paralelo ao receptor, de um transmissor (portátil ou de base fixa) ou ainda manualmente no próprio RCI. Em qualquer instalação existente poderão ser instalados receptores infravermelhos para caixa de interruptores; basta substituir os interruptores antigos pelos RCIs.

Receptor para caixa de distribuição (RCD)

O receptor poderá ser montado diretamente em caixas de distribuição, onde comutará um consumidor ou grupos de consumidores elétricos. Com a utilização desse receptor em caixas de distribuição, eliminam-se os interruptores antigos, usando-se, porém, a sua fração de retorno às lâmpadas ou outros aparelhos.

Receptor para lâmpadas fluorescentes (RLF)

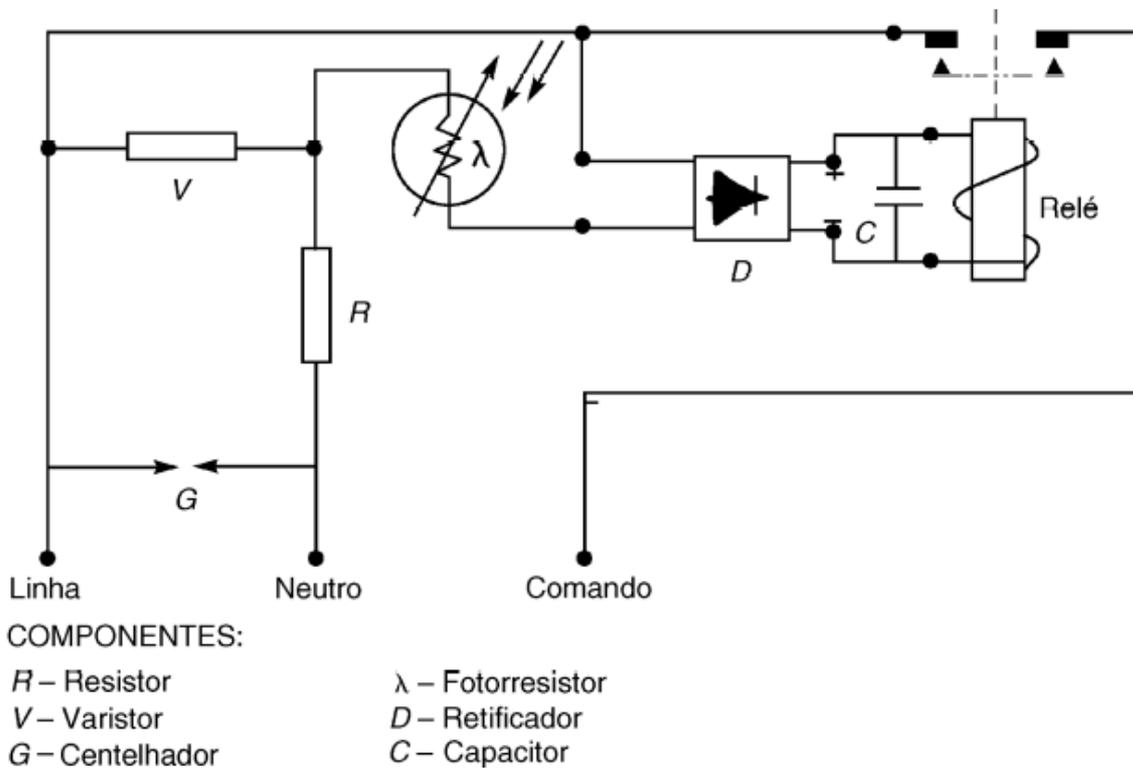
Este receptor é adequado para montagem em luminárias fluorescentes, podendo também ser usado em outras aplicações.

Receptor para caixa de tomada (RCT)

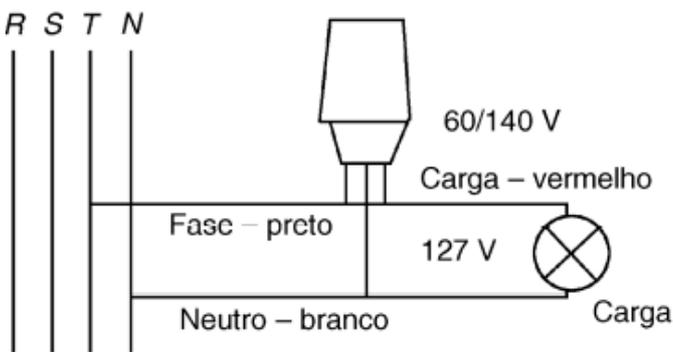
O receptor é diretamente montado entre o *plug* e a tomada residencial. Dispõe de pinos chatos e redondos, o que permite a montagem direta na tomada. Assim, controla-se qualquer aparelho ligado à tomada. (ver Figura 7.14.)

7.5 Comando da Iluminação por Células Fotoelétricas

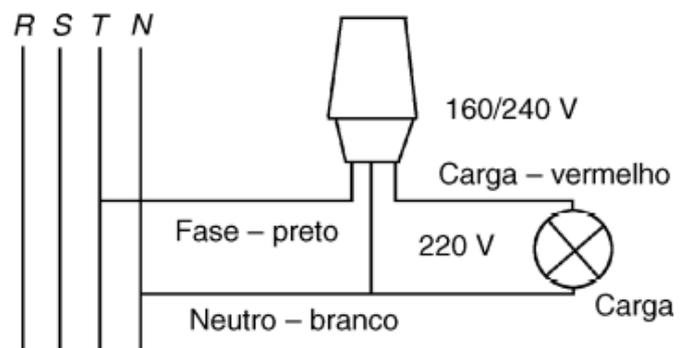
Em circuitos de iluminação de exteriores (ruas, caixas-d'água, pátios etc.), é muito comum o comando de ligação e desligamento ser automático por elementos fotossensíveis. A Figura 7.15 apresenta o diagrama de um fotointerruptor para uma lâmpada ligada em 127 ou 220 V. Tais elementos são instalados individualmente junto a cada lâmpada e operam segundo a intensidade de luz recebida (ligam de 8 a 10 lux e desligam de 80 a 100 lux). Esses dispositivos são muito úteis porque eliminam o fio-piloto para o comando das lâmpadas, bem como o operador para apagar e acender.



(a) Diagrama do fotointerruptor



(b) Esquema de ligação em sistemas.



(c) Esquema de ligação em sistemas.

Diagrama e esquemas de fotointerruptor.

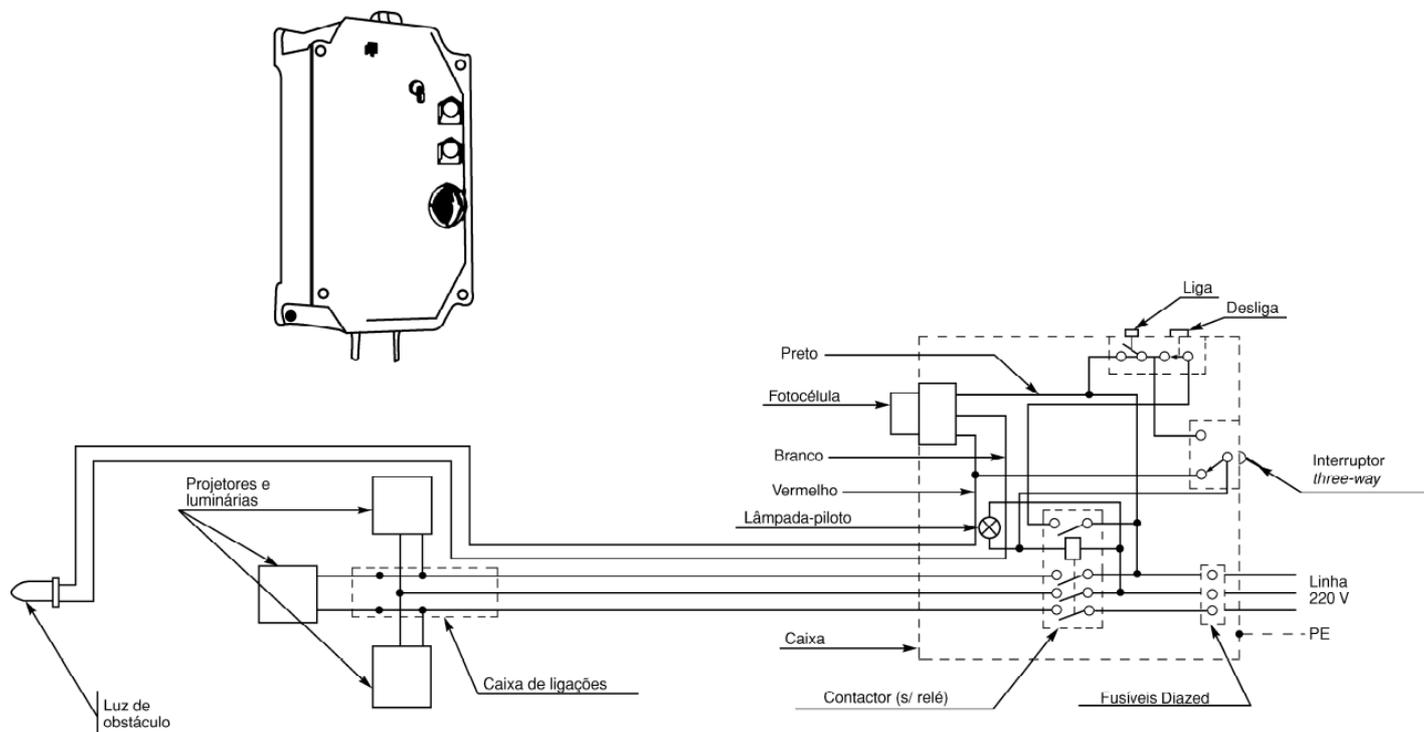
Figura 7.15

Também podem ser utilizadas células fotoelétricas para comandar várias lâmpadas ou projetores, usando-se contactores cujo circuito de comando é controlado por um elemento fotossensível. Na Figura 7.16, observa-se um equipamento desse tipo, que tem por finalidade o controle de luminárias e projetores a distância, utilizando uma célula fotoelétrica ou comando por botoeira “liga-desliga”. O dimensionamento do contactor e da fiação indicada no desenho dependerá da potência do circuito a comandar. Esse equipamento possui um interruptor *three-way* para a ligação automática ou manual da seguinte maneira:

a) automático (*three-way* na posição indicada na figura)

- a fotocélula comanda os projetores e a luz de obstáculo;
- botoeira inoperante;

- a lâmpada-piloto acesa indica projetores energizados.



Equipamento de comando a distância de luminárias e projetores.

Figura 7.16

b) manual (*three-way* virado para cima)

- a fotocélula comanda somente a luz de obstáculo;
- a botoeira comanda os projetores;
- a lâmpada-piloto acesa indica projetores energizados.

Resumo

- Transmissão por fibra ótica.
- Sistema contra roubo em residências.
- Sistema de boias em reservatórios.
- Comandos por sistema infravermelho.
- Comando da iluminação por células fotoelétricas.