



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Docente: Rildo Afonso de Almeida

Circuitos Lógicos



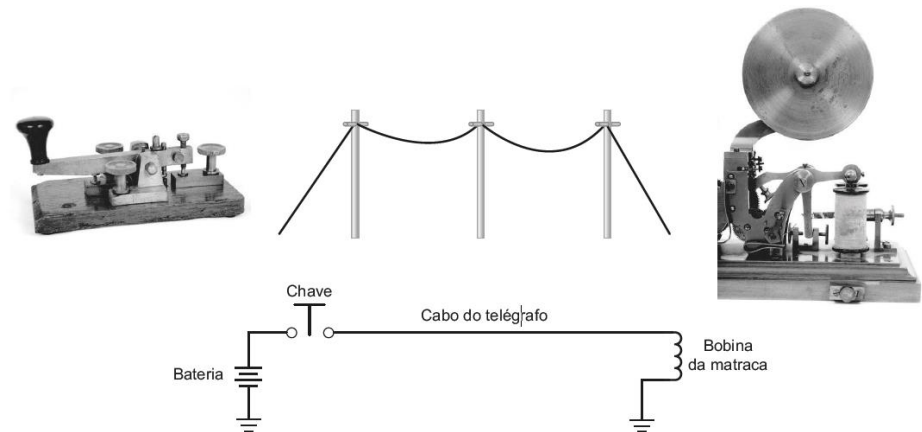
1 - SINAIS ANALÓGICOS E DIGITAIS.

Parece apropriado começar um texto chamado *Sistemas digitais* considerando um dos maiores sistemas eletrônicos no mundo: o sistema de telecomunicações mundial. Hoje em dia, uma parte muito importante deste sistema cai na categoria de ‘sistemas digitais’. Incrivelmente, tudo começou como um **sistema digital simples**, que usava apenas **dois estados** para representar informação. Este conceito é fundamental e torna-se mais fácil de ser compreendido ao se estudar primeiro a tecnologia inicial.

1 - SINAIS ANALÓGICOS E DIGITAIS.

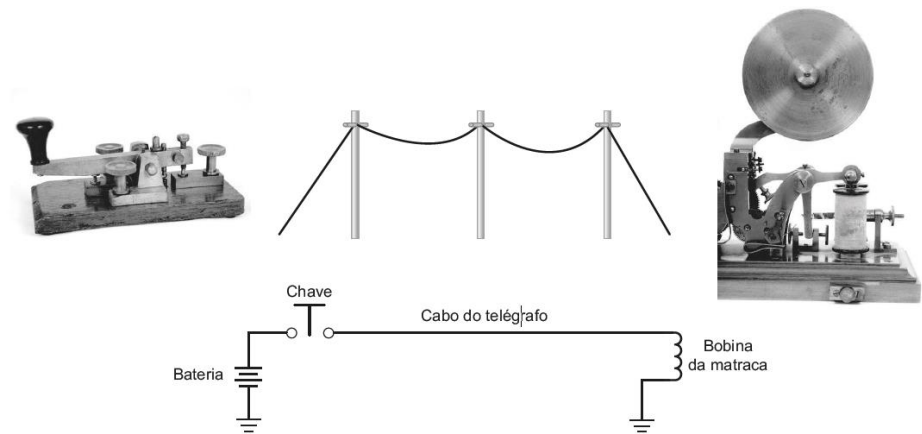
O sistema do telégrafo, foi um sistema eletromecânico simples que revolucionou a comunicação.

Consistia de uma bateria, uma chave (uma chave de contato momentâneo, normalmente aberta), um cabo de telégrafo longo e, na outra extremidade, uma ‘matraca’ eletromagnética. Quando o telegrafista pressionava a chave, ela completava o circuito ao conectar o terminal de bateria positivo ao cabo. O terminal de bateria negativo era conectado a uma haste enterrada no chão.



1 - SINAIS ANALÓGICOS E DIGITAIS.

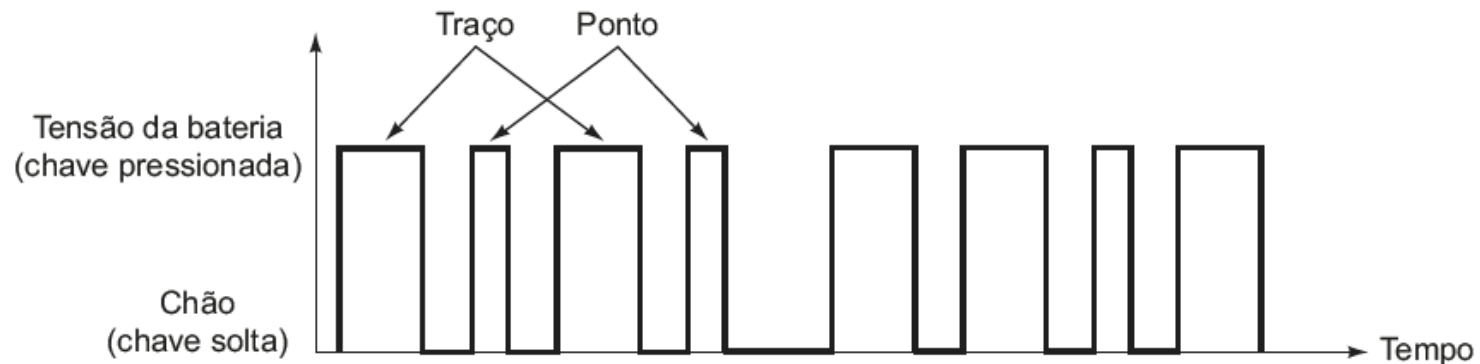
A corrente fluía pelo cabo do telégrafo até a bobina eletromagnética na estação receptora e, então, de volta a uma haste enterrada no chão. A corrente elétrica fluindo pela bobina fazia que um campo magnético atraísse uma placa de metal que produzia um ‘estalido’. A placa ficava em tal posição até que a chave fosse solta (interrompendo o circuito) e uma mola retornasse a placa à posição original, produzindo um ‘estalido’ diferente.



Observe os dois estados do sistema: chave e matraca para baixo; chave e matraca para cima.

1 - SINAIS ANALÓGICOS E DIGITAIS.

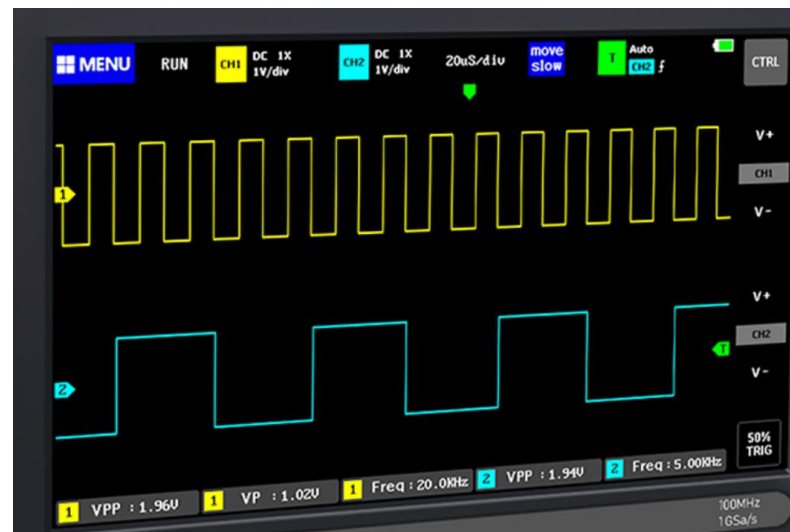
O sistema de telégrafo usava dois ‘símbolos’ distintos para transmitir qualquer palavra ou número: pulsos elétricos **curtos e longos**, que representam os **pontos e traços do código Morse**. Isto descreve uma *representação digital* da informação.



Observe a natureza dos pulsos. O sinal elétrico está ligado ou desligado em todos os momentos. Isso está relacionado com os sistemas digitais modernos que usam sinais elétricos para representar 1s e 0s.

1 - SINAIS ANALÓGICOS E DIGITAIS.

Diagramas de tempos são bastante usados para mostrar como sistemas digitais mudam e, especialmente, para mostrar a relação entre dois ou mais sinais digitais no mesmo circuito ou sistema. Ao exibirmos um ou mais sinais digitais usando instrumentos de teste, como o osciloscópio, comparamos os sinais reais com a operação esperada do sistema.



1.1 - Representações analógicas.

Na **representação analógica**, uma quantidade é representada por um indicador proporcional continuamente variável.



Um exemplo disso é o velocímetro de um automóvel dos modelos clássicos dos anos 1960 e 1970, nos quais a deflexão do ponteiro é proporcional à velocidade. A posição angular do ponteiro representa o valor da velocidade, e o movimento do ponteiro segue as alterações, aumento ou diminuição da velocidade do automóvel. É interessante notar que, nos carros mais modernos, há preferência pela **representação analógica**, ainda que a velocidade agora seja medida digitalmente.

1.1 - Representações analógicas.

Antes da revolução digital, os termômetros utilizavam representação analógica para medir a temperatura, e ainda há muitos desse tipo hoje em dia. O termômetro de mercúrio utiliza uma coluna cuja altura varia conforme a temperatura do ambiente. Esses instrumentos estão sendo retirados do mercado devido a preocupações ambientais, mas, apesar disso, são um excelente exemplo de representação analógica.



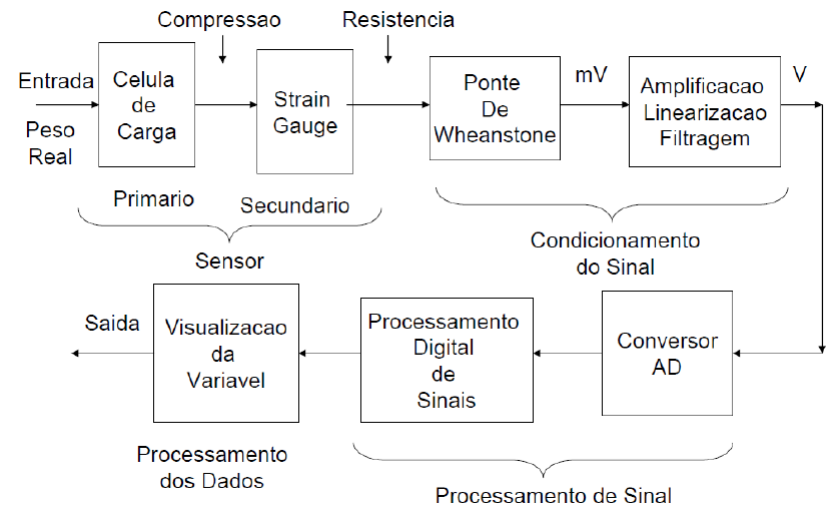
1.1 - Representações analógicas.

Outro exemplo é o termômetro externo, no qual o ponteiro gira ao redor de um mostrador à medida que uma mola de metal se expande e contrai com as variações de temperatura. A posição do ponteiro é proporcional à temperatura. Independentemente de quão pequena é a mudança, há variação proporcional na indicação.



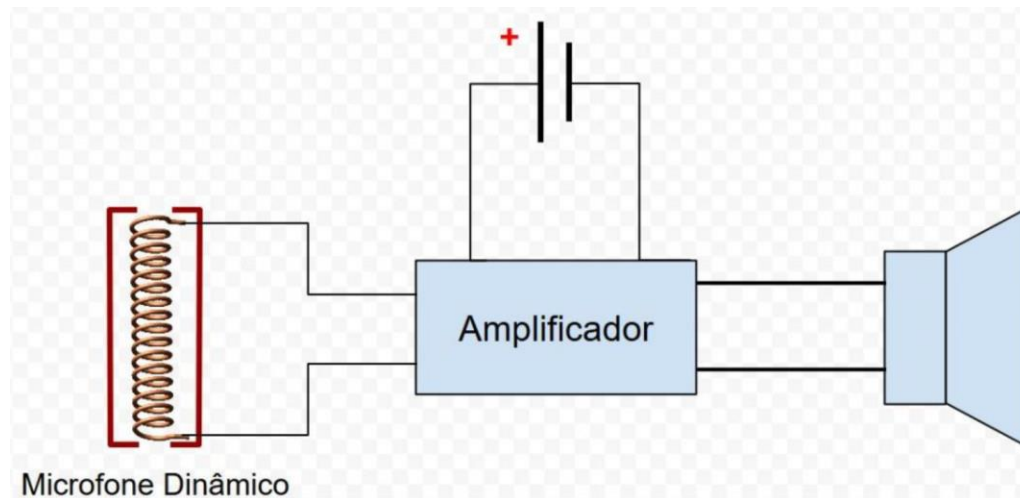
1.1 - Representações analógicas.

Nesses dois exemplos, as quantidades físicas (velocidade e temperatura) estão sendo associadas a um indicador por meios puramente mecânicos. Nos sistemas analógicos elétricos, a quantidade física medida ou processada é convertida em uma tensão ou corrente proporcional (sinal elétrico). Essa tensão ou corrente é então usada pelo sistema para exibição, processamento ou controle.



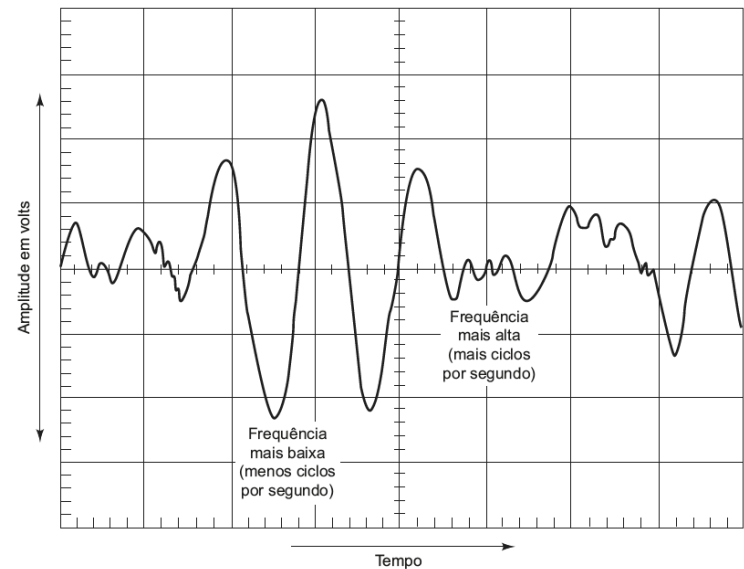
1.1 - Representações analógicas.

O som é um exemplo de quantidade física que pode ser representada por um sinal analógico elétrico. Em 1875, Alexander Graham Bell descobriu um meio para transformar sua voz em um sinal elétrico continuamente variável, enviá-la por um cabo e transformá-la outra vez em energia sonora na outra extremidade. Hoje em dia, o aparelho que converte a energia do som em um sinal de tensão analógico é conhecido como microfone.



1.1 - Representações analógicas.

A altura do som é medida pela **amplitude** da onda em unidades especificadas no eixo vertical (por exemplo, volts). Mudanças na amplitude representam inflexão ou ênfase de determinados sons. Em outras palavras, amplitudes mais altas resultam em sons mais altos e amplitudes mais baixas resultam em sons mais baixos.



Não importa como sejam representadas, quantidades analógicas têm uma importante característica: *podem variar ao longo de uma faixa contínua de valores.*

1.2 - Representações digitais.

Na **representação digital**, as quantidades são representadas não por indicadores continuamente variáveis, mas por símbolos chamados *dígitos*. Como exemplo, considere um termômetro digital interno/externo. Ele tem quatro dígitos e pode medir mudanças de $0,1^{\circ}\text{C}$. A temperatura real aumenta gradualmente de, digamos, 22°C para $22,1^{\circ}\text{C}$, mas a representação digital muda subitamente de 22°C para $22,1^{\circ}\text{C}$. Em outras palavras, esta representação digital de temperatura exterior varia em incrementos *discretos*, se comparada à representação analógica da temperatura fornecida por um termômetro de coluna líquida ou um bimetálico, nos quais a leitura varia continuamente.

Assim, pode-se dizer que a maior diferença entre quantidades analógicas e digitais é que:

analógica \equiv *contínua*

digital \equiv *discreta (passo a passo)*



1.2 - Representações digitais.

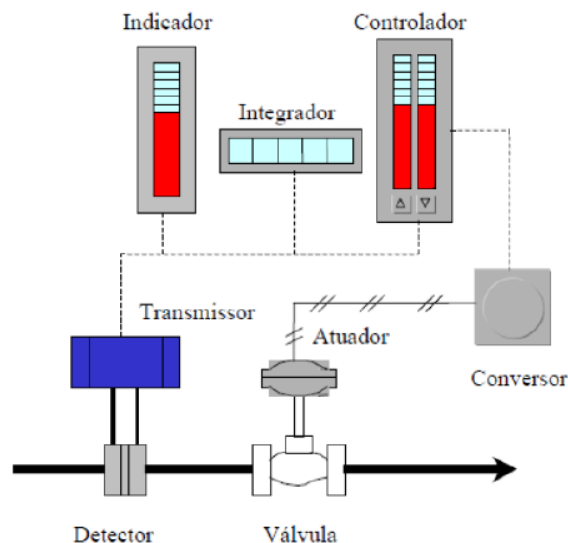
Devido a essa natureza discreta das representações digitais, não há ambiguidade quando se faz a leitura de uma quantidade digital, ao passo que o valor de uma quantidade analógica apresenta, muitas vezes, uma interpretação livre. Na prática, quando medimos uma quantidade analógica, sempre ‘arredondamos’ para um nível conveniente de precisão. Em outras palavras, digitalizamos a quantidade.



1.2 - Representações digitais.

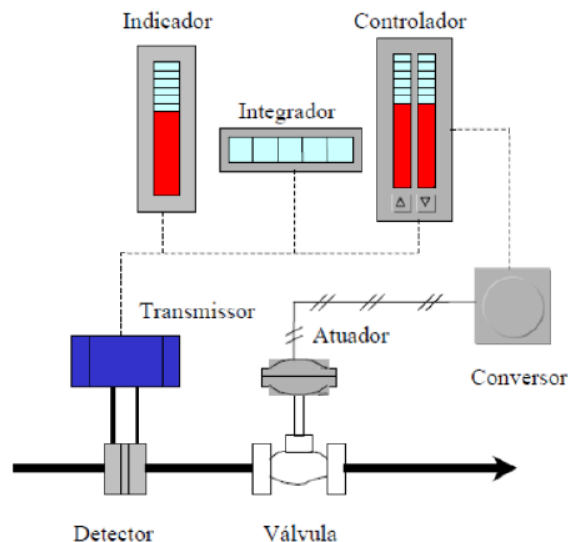
A representação digital é o resultado da atribuição de um número de precisão limitada a uma quantidade continuamente variável.

O mundo é repleto de variáveis físicas que estão constantemente mudando. Se pudermos medi-las e representá-las como quantidade digital, podemos então registrar, manipular aritmeticamente ou, de alguma outra maneira, usar estas quantidades para controlar coisas.



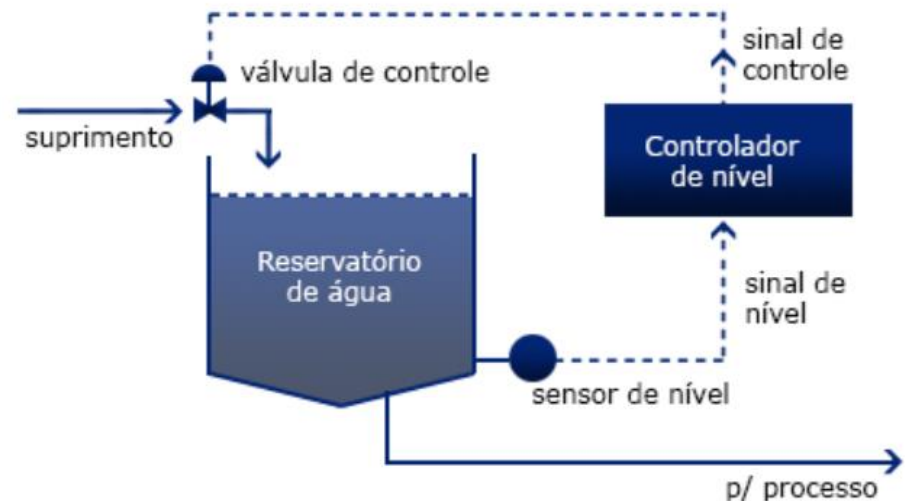
1.2 - Representações digitais.

Um **sistema digital** é uma combinação de dispositivos projetados para manipular informação lógica ou quantidades físicas representadas no formato digital; ou seja, as quantidades podem assumir apenas valores discretos. Esses dispositivos são, na maioria das vezes, eletrônicos, mas podem ser mecânicos, magnéticos ou pneumáticos.



1.3 - Sistemas mistos: digital e analógico.

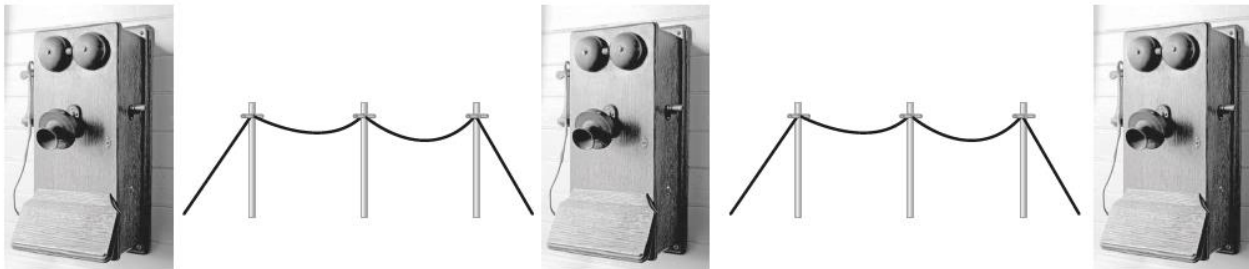
É comum ver ambas as técnicas, digital e analógica, empregadas dentro de um mesmo sistema. Desta maneira, o sistema é capaz de aproveitar as vantagens de cada uma. Nestes sistemas de sinal híbrido ou misto, um dos passos importantes da fase de projeto envolve determinar quais partes devem ser analógicas e quais devem ser digitais. A tendência de hoje em dia é digitalizar os sinais o mais cedo possível e convertê-los de volta para analógicos o mais tarde possível no percurso de fluxo do sinal.



1.3 - Sistemas mistos: digital e analógico.

Para analisar sistemas que usam ambas as técnicas, digital e analógica, vamos recapitular a evolução do telefone.

- Bell percebeu que, para serem úteis, os telefones precisavam funcionar em rede.
- A solução dele foi colocar em cada telefone um gerador elétrico à manivela.
- Quando alguém virava a manivela, ela produzia uma tensão que fazia que uma campainha tocasse em cada telefone conectado à rede.





1.3 - Sistemas mistos: digital e analógico.

- Parar a manivela fazia com que as campainhas parassem de tocar.
- Cada pessoa na rede recebia um código único de toques longos e curtos (como pulsos digitais).
- A parte que realizava a ligação *codificava* a identificação de uma pessoa pela maneira como ela movia a manivela do telefone.
- A parte que recebia a ligação **decodificava** mentalmente os padrões dos toques da campainha, para saber quando completar a conexão tirando o fone/receptor do gancho.
- A sinalização (toques) usava a representação digital, mas a comunicação de voz era puramente analógica.

1.3 - Sistemas mistos: digital e analógico.

O telefone de disco veio logo depois e usava uma série de pulsos mais sofisticada, que representava os dez dígitos do sistema de numeração decimal.

- Para discar um número, a pessoa colocava o dedo em um buraco numerado, girava o disco até o braço fixo, e soltava.



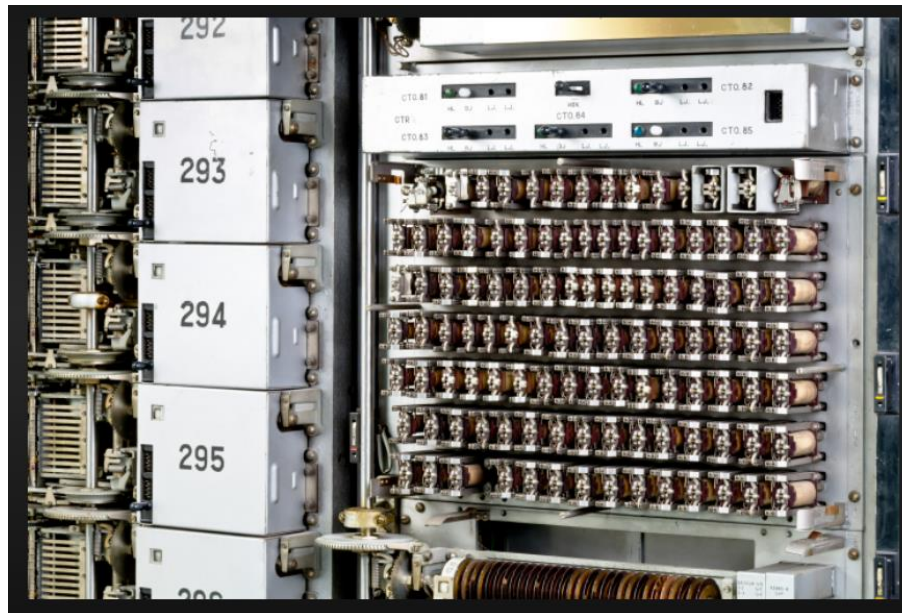
1.3 - Sistemas mistos: digital e analógico.

- Uma mola fazia o disco retornar à posição original enquanto girava um eixo de came que abria e fechava contatos de chave, produzindo pulsos.
- Uma sequência de pulsos representava cada número no disco. Por exemplo, nove pulsos representavam o número 9, dois pulsos representavam o número 2, e dez pulsos representavam o número 0.
- Mecanismos de chave eletromecânicos interpretavam (decodificavam) os pulsos e faziam a conexão aos cabos que iam até o telefone correto na rede e faziam com que ele tocasse até que alguém o respondesse.



1.3 - Sistemas mistos: digital e analógico.

- Observe que nestes sistemas um tipo diferente de código digital foi usado. A codificação e decodificação eram feitas por máquinas eletromecânicas para realizar automaticamente uma conexão de comunicação analógica.



1.3 - Sistemas mistos: digital e analógico.

Telefones de teclas foram os seguintes. Um sinal audível complexo diferente, produzido pela combinação de duas frequências sinusoidais diversas, representava cada dígito de um número de telefone. Estes tons familiares de toque são chamados de Frequência múltipla de tom dual (DTMF – *dual tone, multiple frequency*). Circuitos eletrônicos eram capazes de reconhecer cada ‘tom de toque’, traduzi-los em uma sequência de dígitos e realizar as conexões certas para fazer com que um único telefone tocasse. Observe que, neste exemplo, a informação de chave digital é enviada usando sinais de tom analógicos, mas cada tom é formado por duas frequências distintas.



1.3 - Sistemas mistos: digital e analógico.

Um telefone celular é um sistema misto de sinais, o que significa que tem componentes analógicos e digitais e usa ambos os tipos de sinais. A voz é captada por um microfone analógico e logo é convertida para sinal digital. O sinal de áudio digital e muitas outras informações digitais, como números de telefones, coordenadas de posição global, mensagens de texto etc., são combinados com uma onda de rádio de frequência muito alta e enviados para uma torre de telefonia celular. Seu telefone também recebe um sinal de rádio analógico, separa a informação digital, converte o sinal de áudio digital de volta para o analógico e o aplica ao alto-falante.



1.4 - Vantagens das técnicas digitais.

- 1. Os sistemas digitais são geralmente mais fáceis de ser projetados.** Isso porque os circuitos utilizados são *circuitos de chaveamento*, nos quais não importam os valores *exatos* de tensão ou corrente, mas apenas a faixa — ALTA (*HIGH*) ou BAIXA (*LOW*) — na qual eles se encontram.
- 2. O armazenamento de informação é mais fácil.** Esta é uma habilidade de dispositivos e circuitos especiais, que podem guardar (*latch*) informação digital e mantê-la pelo tempo necessário, e de técnicas de armazenamento de massa (grande quantidade de informação), que podem armazenar bilhões de bits de informação em um espaço físico relativamente pequeno. A capacidade de armazenamento de sistemas analógicos é, ao contrário da dos digitais, extremamente limitada.



1.4 - Vantagens das técnicas digitais.

3. *É mais fácil manter a precisão e exatidão em todo o sistema.* Uma vez que um sinal é digitalizado, a informação que ele contém não se deteriora ao ser processada. Nos sistemas analógicos, os valores de tensão e corrente tendem a ser distorcidos pelos efeitos da variação na temperatura, na umidade e na tolerância dos componentes nos circuitos que processam o sinal.

4. *As operações podem ser programadas.* É bastante fácil projetar um sistema digital cuja operação é controlada por um conjunto de instruções armazenadas denominado *programa*. Os sistemas analógicos também podem ser *programados*, porém, a variedade e a complexidade das operações disponibilizadas são bastante limitadas.

1.4 - Vantagens das técnicas digitais.

5. Os circuitos digitais são menos afetados por ruído. Flutuações espúrias na tensão (ruído) não são tão críticas em sistemas digitais porque o valor exato da tensão não é importante, desde que o ruído não tenha amplitude suficiente que dificulte a distinção entre um nível ALTO (H) e um nível BAIXO (L).

6. CIs (chips) digitais podem ser fabricados com mais dispositivos internos. É verdade que os circuitos analógicos também foram beneficiados com o grande desenvolvimento da tecnologia de CIs, mas são relativamente complexos e utilizam dispositivos que não podem ser economicamente integrados (capacitores de alto valor, resistores de precisão, indutores e transformadores), evitando, assim, que os sistemas analógicos alcancem igualmente um alto grau de integração.



1.5 - Limitações das técnicas digitais.

Há poucas desvantagens quando se usam técnicas digitais. Os dois principais problemas são:

O mundo real é analógico.

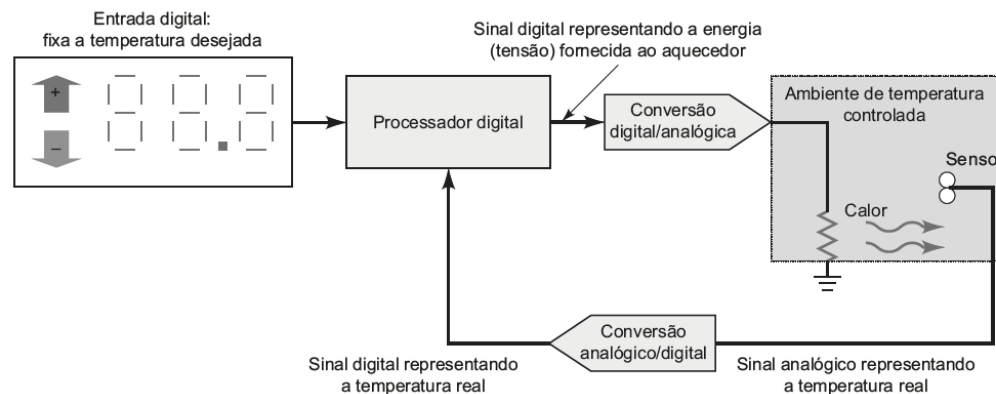
Processar sinais digitais leva tempo.

A maioria das grandezas físicas é de natureza analógica e muitas vezes são entradas e saídas monitoradas, operadas (alteradas) e controladas por um sistema. Como exemplos, temos a temperatura, a pressão, a posição, a velocidade, o nível de um líquido e a vazão, entre outros. Estamos habituados a expressar essas grandezas *digitalmente*, como quando dizemos que a temperatura é 18°C ($17,8^{\circ}\text{C}$ quando desejarmos mais precisão), mas o que estamos realmente fazendo é uma aproximação digital para uma grandeza analógica.

1.5 - Limitações das técnicas digitais.

Para obter vantagens das técnicas digitais quando lidamos com entradas e saídas analógicas, quatro passos devem ser seguidos:

1. Converter a variável física em um sinal elétrico (analógico).
2. Converter as entradas elétricas (analógicas) do mundo real no formato digital.
3. Realizar o processamento (operação) da informação digital.
4. Converter as saídas digitais de volta ao formato analógico (o formato do mundo real).





Atividades de Revisão

1. Cite três maneiras de uma informação ser codificada usando um sistema digital binário.
2. O que era digital e o que era analógico nos primeiros sistemas telefônicos?
3. O que é digital e o que é analógico nos sistemas de telefones celulares modernos?
4. Quais são as vantagens das técnicas digitais sobre as analógicas?
5. Qual é a principal limitação ao uso de técnicas digitais?



Bibliografia Básica

1-TOCCI, R. J.; Widmer, N. S.; Moss, G. L. **Sistemas digitais: princípios e aplicações**. 12ª ed. Pearson, São Paulo, 2019.

2-HAUPT, A.; Dachi, E. **Eletrônica digital**. Editora Blucher, São Paulo, 2016.

3-IDOETA, I. V.; CAPUANO, F. G. **Elementos de eletrônica digital**. 34ª Ed. Érica, São Paulo, 2002.



Bibliografia Complementar

1-TAUB, H. **Circuitos digitais e microprocessadores**. McGraw Hill do Brasil, São Paulo, 1984.

2-BIGNEEL, J. W.;DONOVAN, R. L. **Eletrônica digital**. Makron Books, 2 V, São Paulo, 1988.

3-MALVINO, A. P.;LEACH, D. P. **Eletrônica digital – princípio e aplicações**. McGraw Hill, 1 V, São Paulo, 1988.

4-MELO, M. **Eletrônica digital**. São Paulo: Makron Books, 1993.

5-MENDONCA, A. **Eletrônica digital: curso prático e exercícios**. Rio de Janeiro: MZ, 2004.