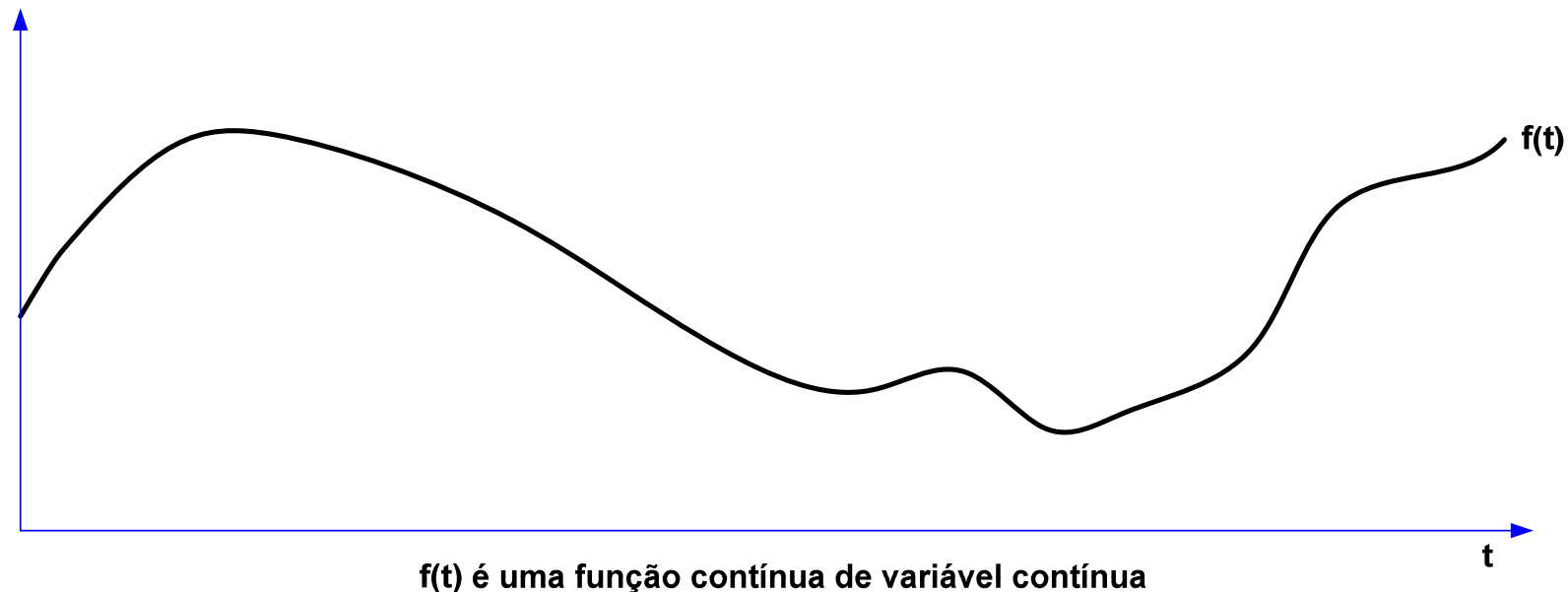


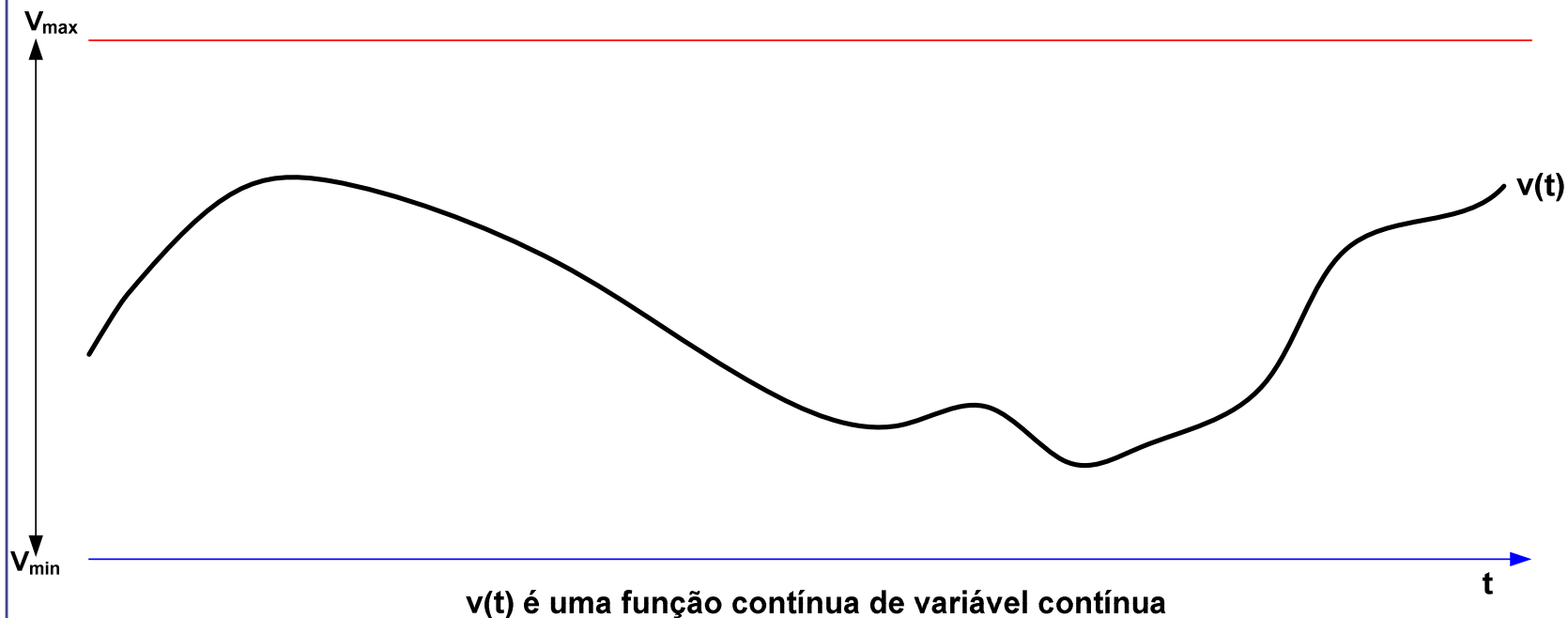
# ADCs – Introdução aos conceitos básicos

- A variação no tempo da generalidade das grandezas físicas macroscópicas (e suas derivadas) podem ser convertidas na variação de uma grandeza elétrica (em tensão) proporcional ao valor da grandeza física medida.
- Esta tarefa é realizada por dispositivos designados por transdutores.
- Consideremos a função apresentada na figura abaixo que representa, por exemplo, a variação de pressão atmosférica ao longo do tempo.



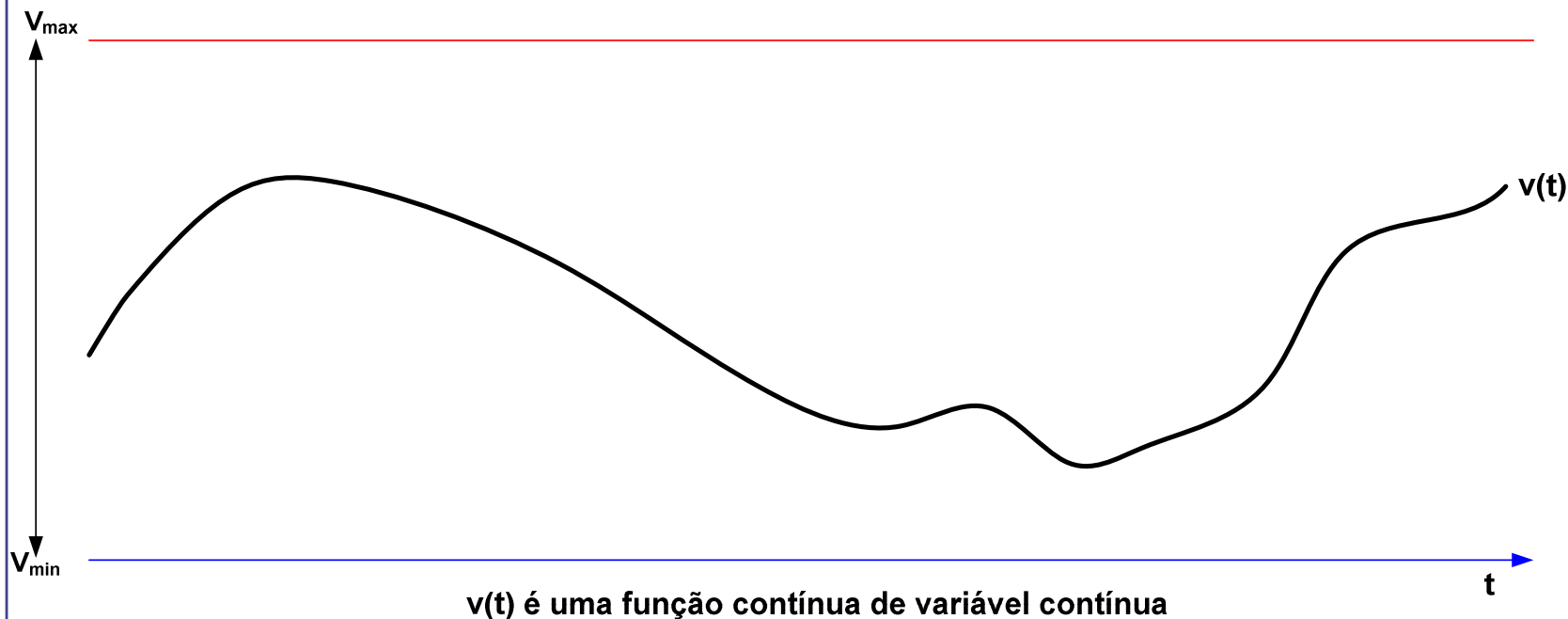
# ADCs – Introdução aos conceitos básicos

- Após o processo de transdução, a função elétrica obtida  $v(t)$  é uma representação da função original e é, tal como aquela, uma função contínua de variável contínua (comumente designado por sinal analógico).
- Para que este sinal elétrico possa ser tratado matematicamente num sistema computacional digital, esta função tem de ser previamente convertida numa versão digital (numérica) da função original.



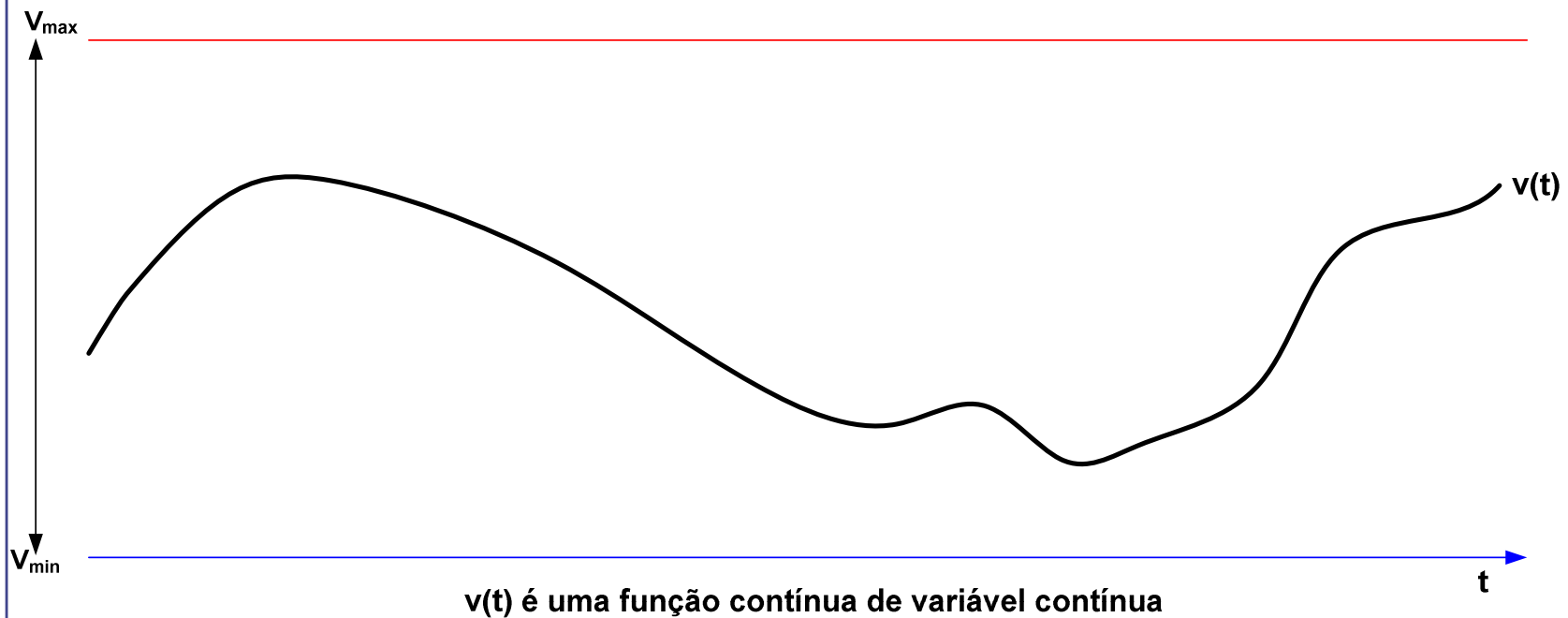
# ADCs – Introdução aos conceitos básicos

- Este processo de conversão de um sinal analógica no “equivalente” digital é designado por “Conversão analógico-digital”. O dispositivo que desempenha essa trabalho é designado por **ADC** (de *Analog to Digital Converter*).
- Uma das primeiras limitações impostas por este processo é garantir que a função analógica original esteja sempre contida entre dois limites ( $V_{min}$  e  $V_{max}$ ) previamente definidos.



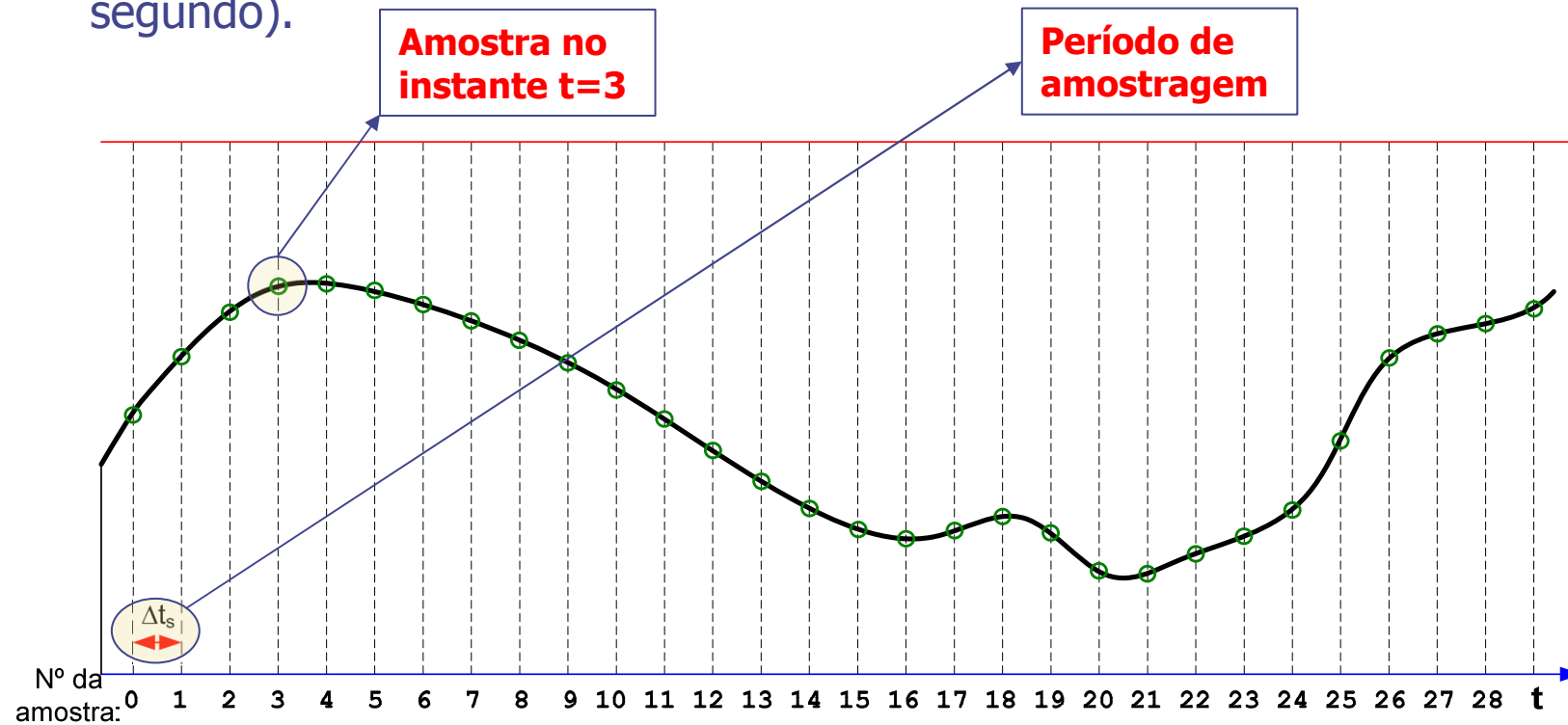
# ADCs – Introdução aos conceitos básicos

- Outra limitação, imposta pelo sistema computacional digital que vai tratar estes dados, resulta de a sua frequência de trabalho não ser infinita.
- Assim sendo, o sistema digital apenas tem capacidade para tratar um número finito de valores por unidade de tempo.



# ADCs – Introdução aos conceitos básicos

- Consequentemente, uma das tarefas do processo de conversão analógico-digital é amostrar periodicamente o sinal original.
- Com este processo, a função que era originalmente uma função contínua de variável contínua passa a ser uma função contínua de variável discreta (apenas temos valores distintos para um  $n^{\circ}$  finito de amostras por segundo).

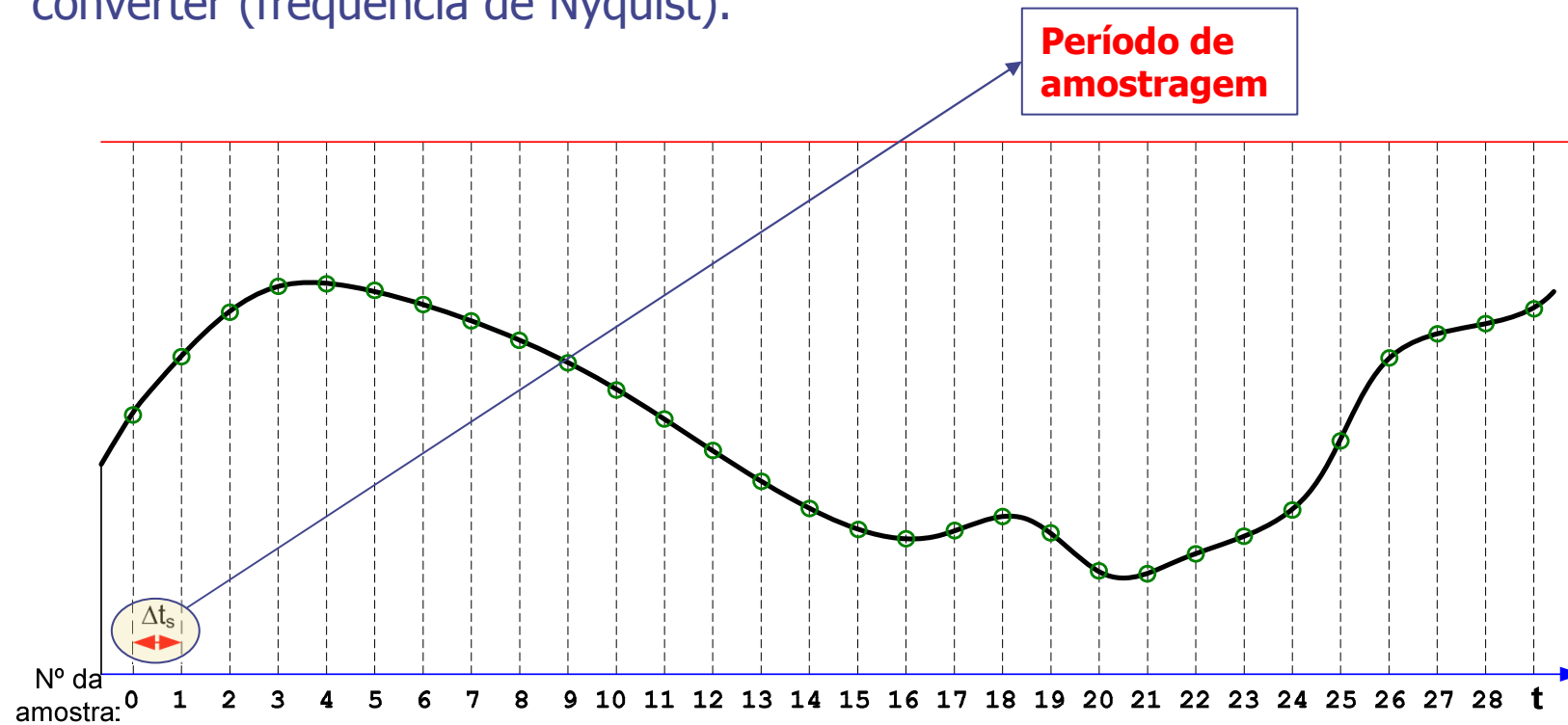


# ADCs – Introdução aos conceitos básicos

Um princípio base deste processo de amostragem periódica consiste em garantir que a taxa de amostragem

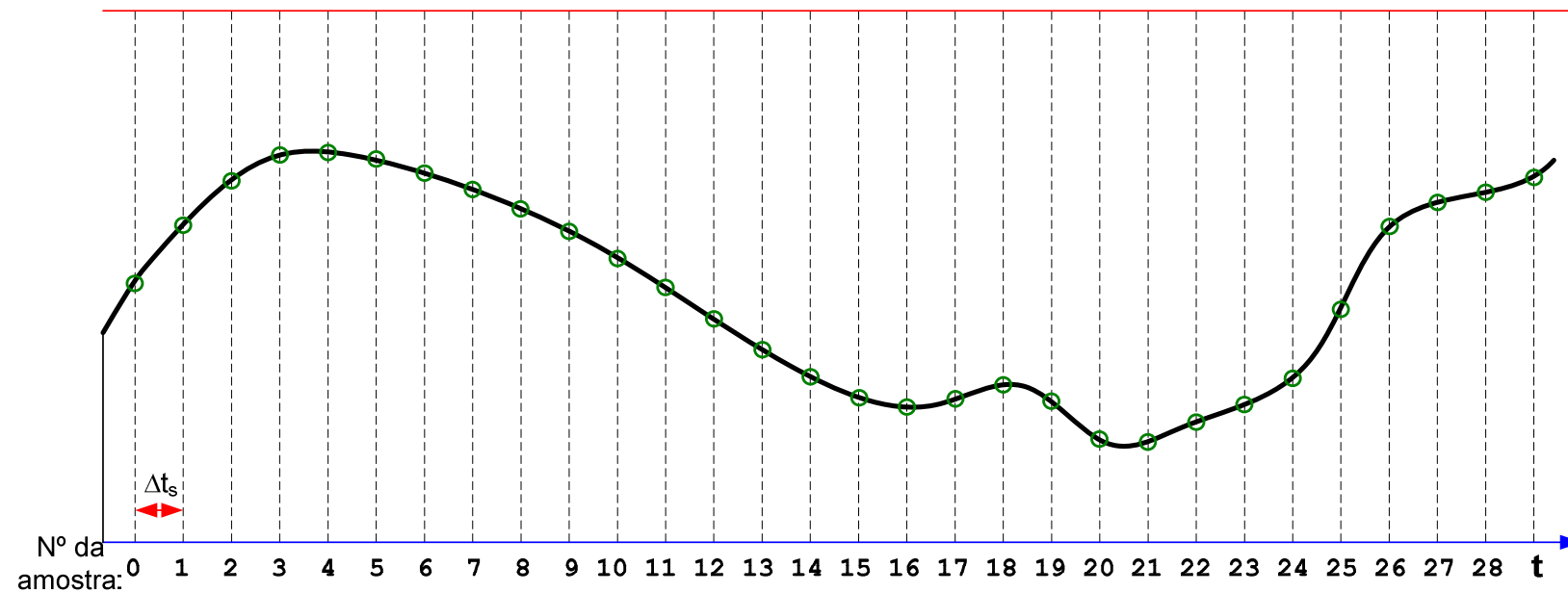
$$(Srate = \frac{1}{\Delta t_s})$$

é sempre superior a duas vezes a maior componente de frequência do sinal a converter (frequência de Nyquist).



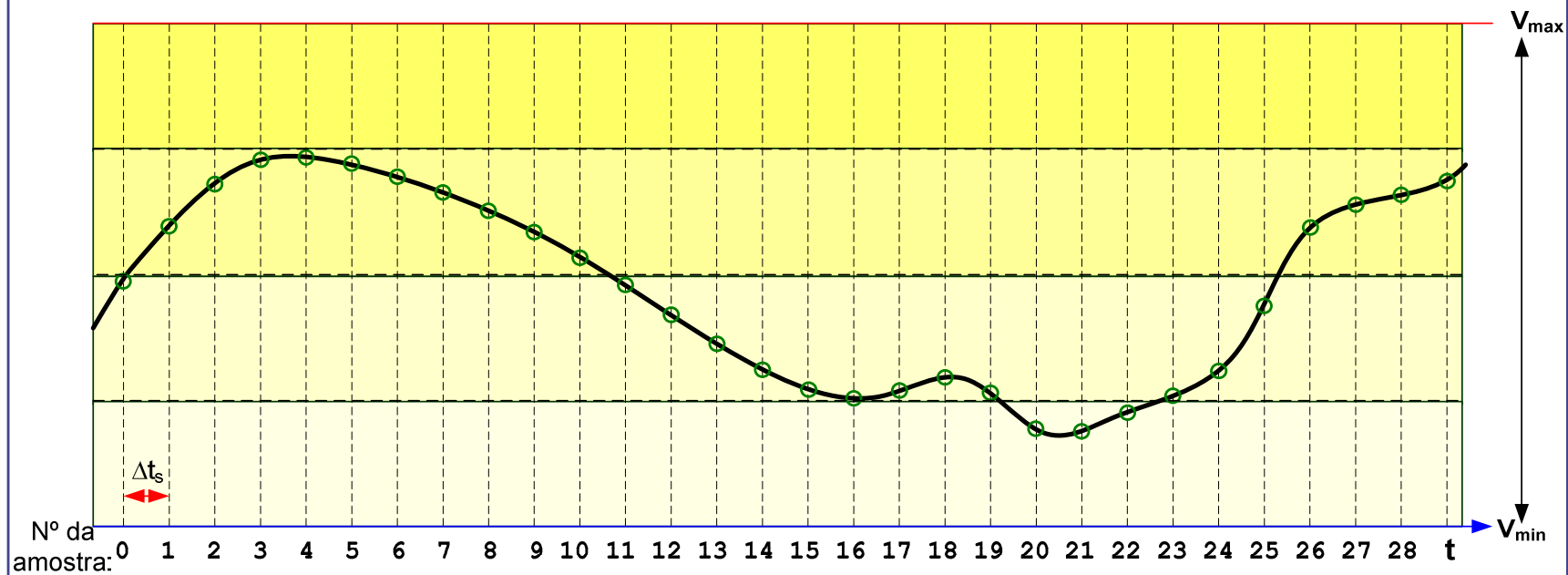
# ADCs – Introdução aos conceitos básicos

- A última das grandes limitações impostas pelo sistema digital é que este não tem capacidade de processar quantidades com um nº infinito de bits.
- Consequentemente, cada uma das amostras, obtidas periodicamente, tem de ser transformada numa quantidade que a represente, usando para isso um número pré-determinado - mas finito - de bits (e logo de valores possíveis).



# ADCs – Introdução aos conceitos básicos

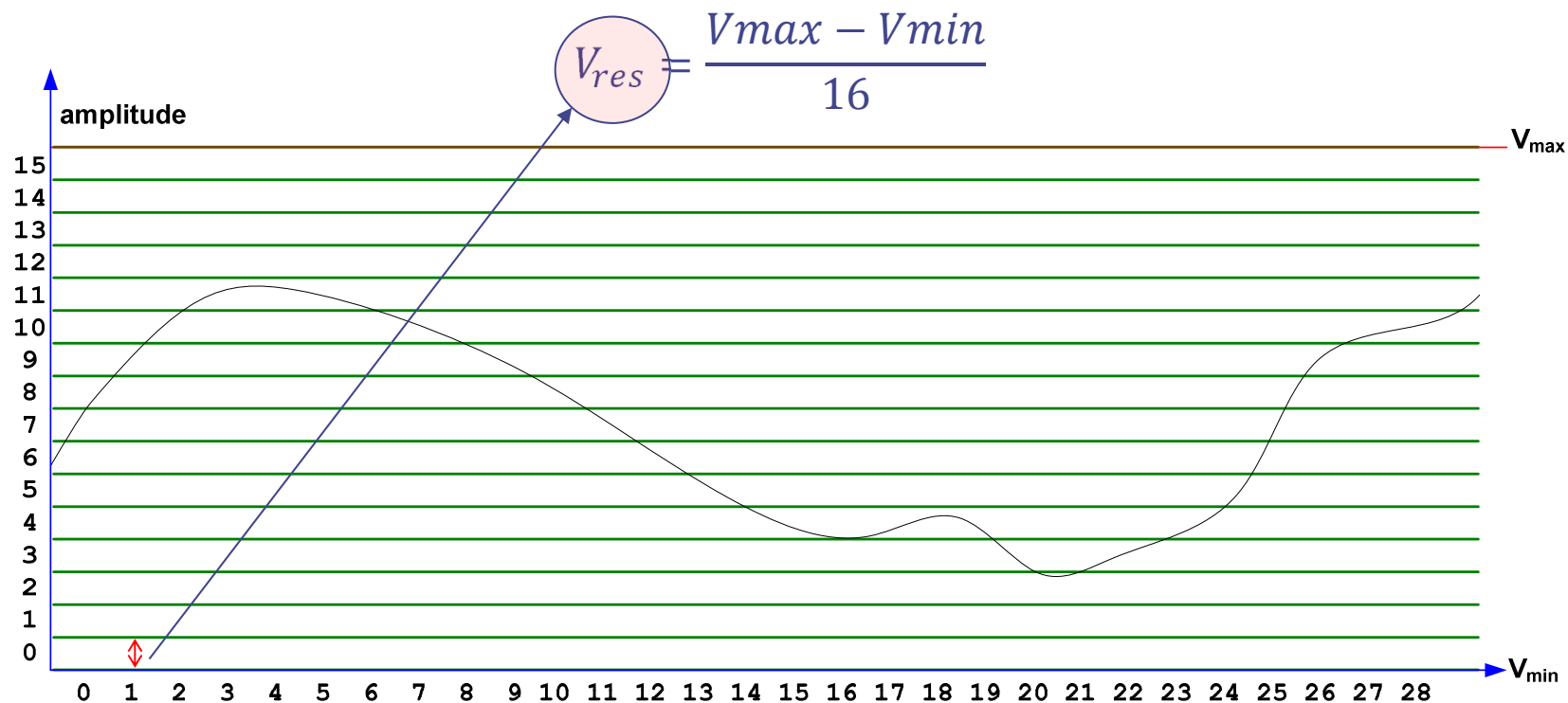
- No exemplo da função apresentada abaixo, se apenas usássemos 2 bits para representar cada uma das amostras, a gama entre  $V_{\max}$  e  $V_{\min}$  teria de ser dividida em apenas 4 zonas distintas, uniformemente distribuídas, e correspondentes aos valores 00, 01, 10 e 11.





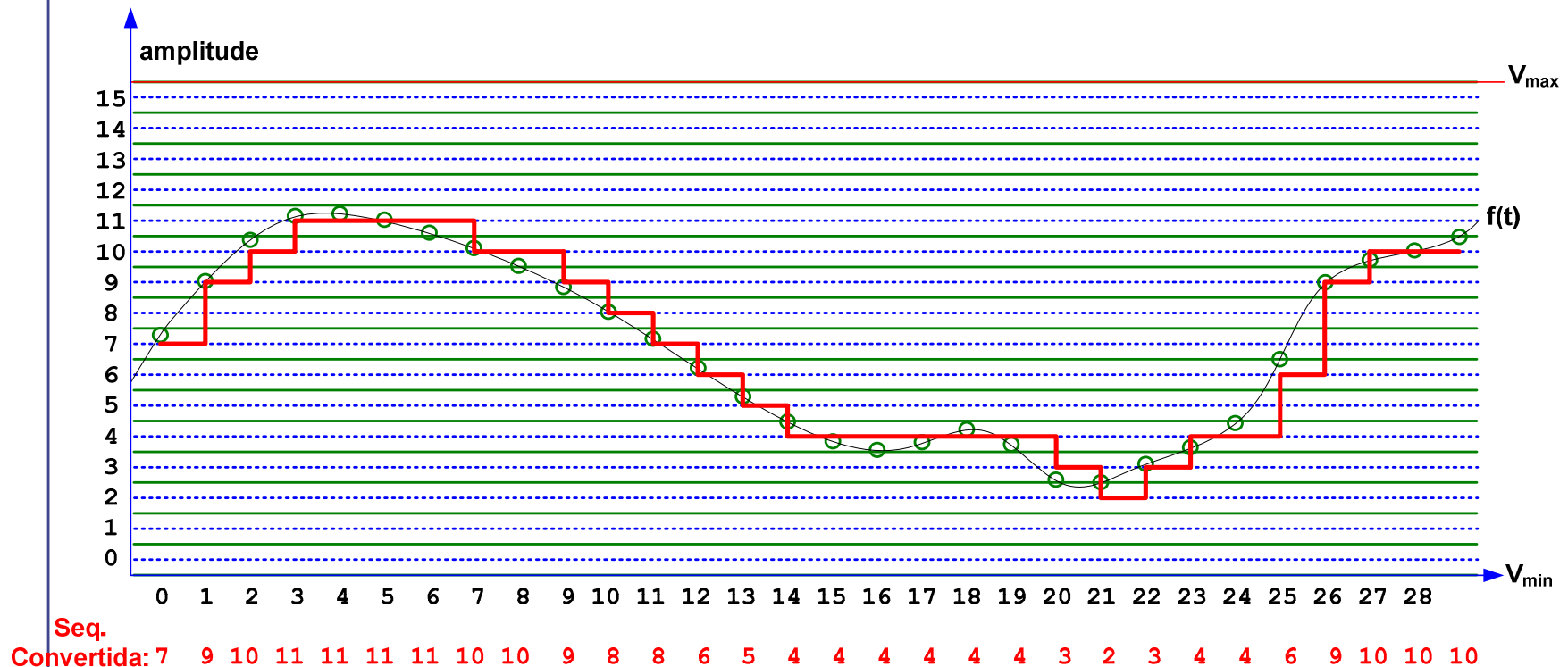
# ADCs – Introdução aos conceitos básicos

- Por uma questão de simplicidade, vamos admitir que o processo de conversão analógico-digital é feito, neste exemplo, usando apenas 4 bits.
- Neste caso, a gama  $[V_{\max} .. V_{\min}]$  irá ser dividida em 16 parcelas distintas, cada uma delas correspondente a uma gama igual a:



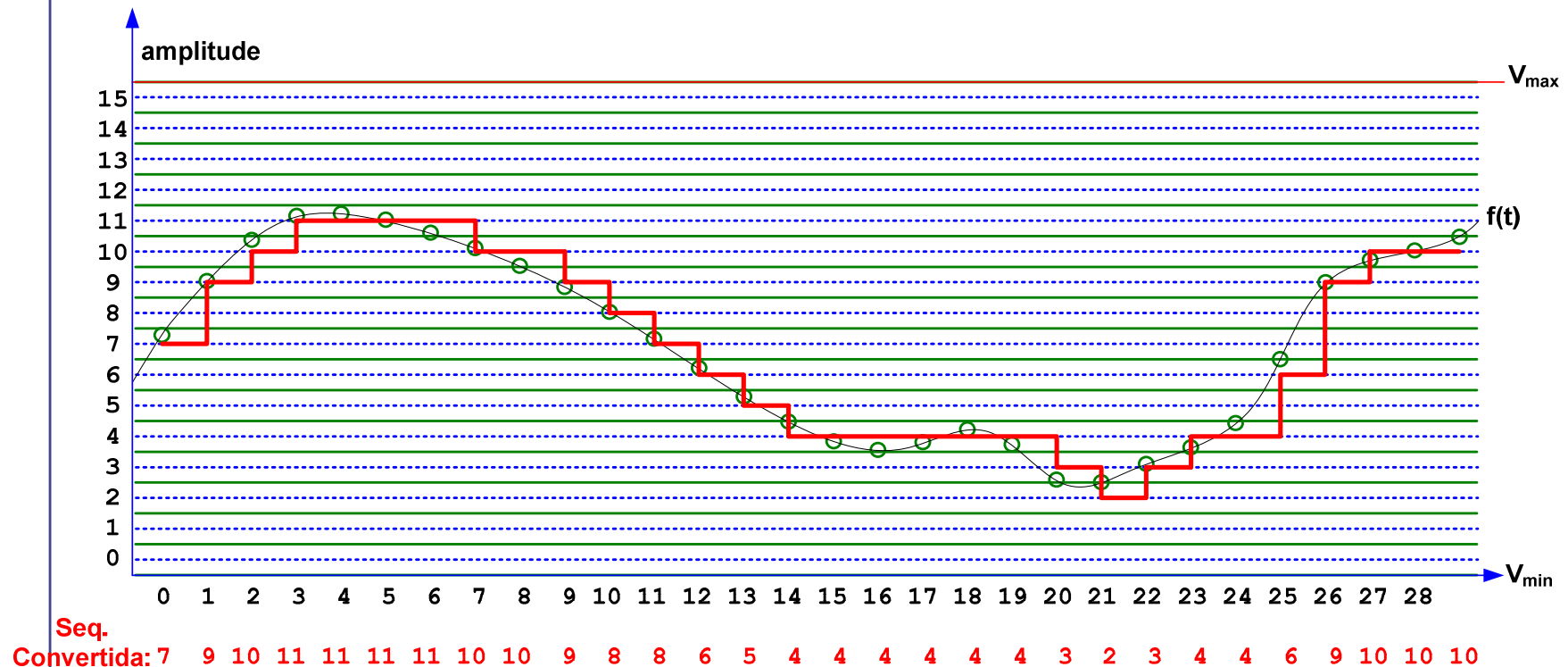
# ADCs – Introdução aos conceitos básicos

- Cada amostra obtida com um intervalo de tempo de  $\Delta t_s$  vai agora ser convertida numa quantidade compreendida entre  $[0 .. 15]$ .
- O resultado é uma função discreta ( $\Delta V$ ) de variável discreta ( $\Delta t$ ) – função a vermelho.

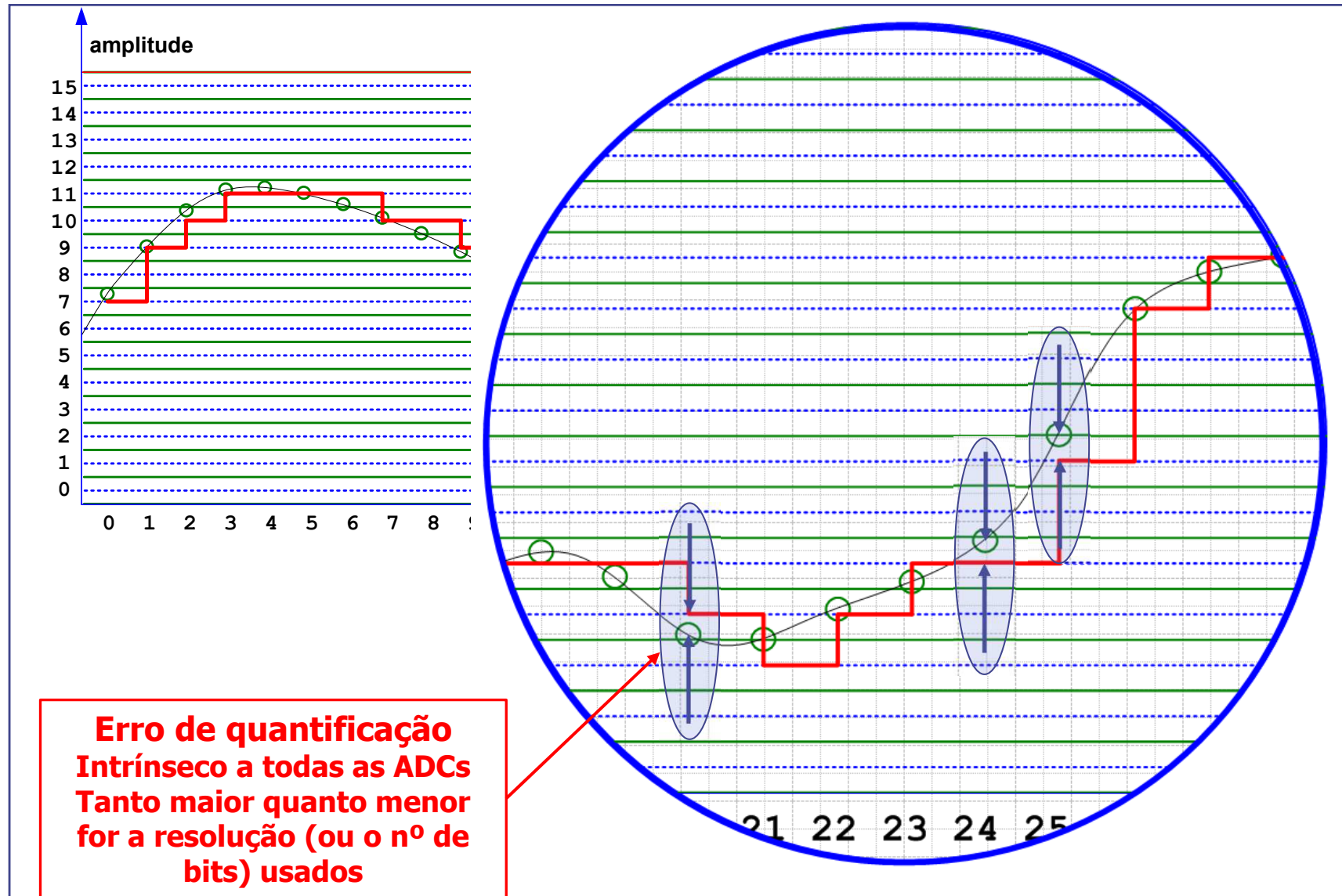


# ADCs – Introdução aos conceitos básicos

- Este processo de discretização da amplitude tem, como consequência, que o valor obtido tem sempre um erro associado com um valor no intervalo  $[(-\Delta V/2) .. (+\Delta V/2)]$
- Este erro é genericamente designado por erro de quantificação. É tanto maior quanto menor for o nº de bits usado na conversão (slide seguinte).

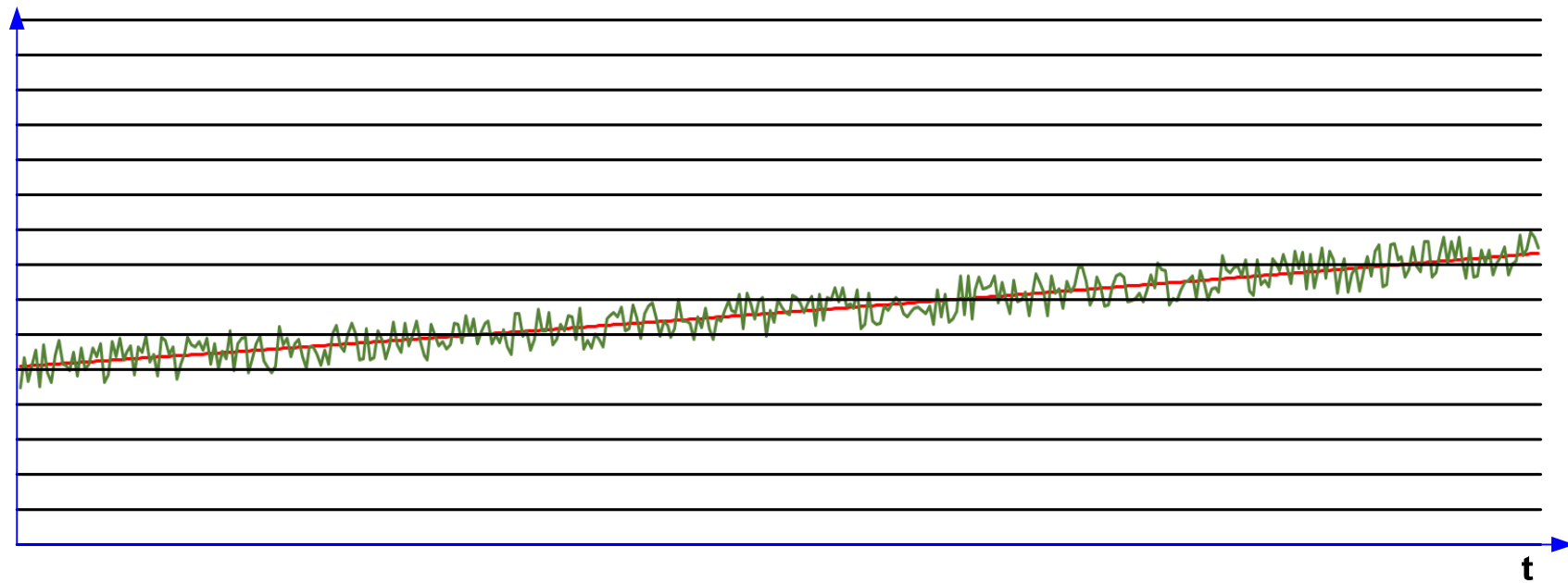


# ADCs – Introdução aos conceitos básicos



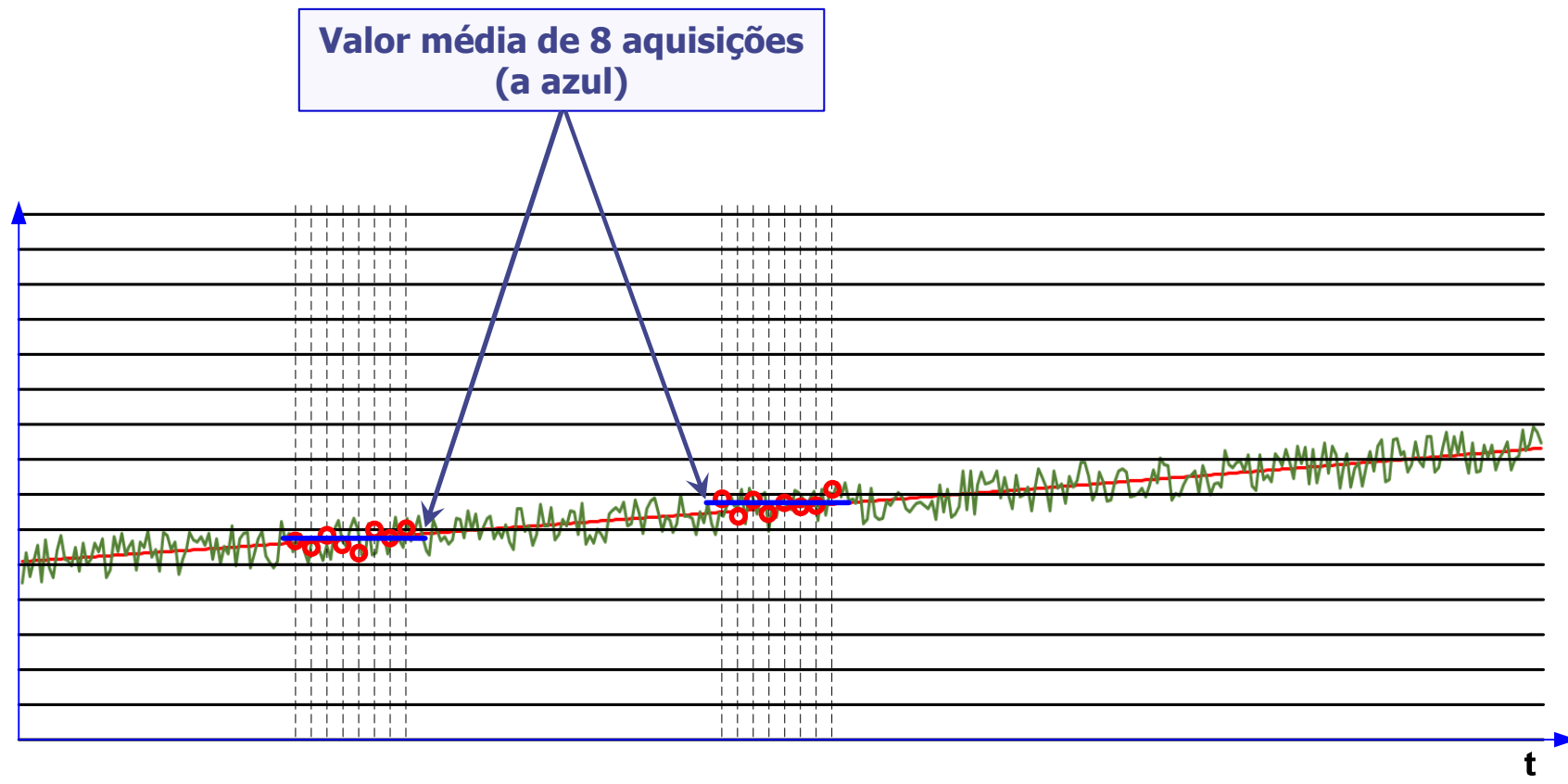
# ADCs – Introdução aos conceitos básicos

- Em condições reais, é muito comum o sinal a converter apresentar um nível significativo de ruído que resulta de várias fontes independentes da origem.
- No exemplo abaixo, o traço vermelho representa uma variação crescente de temperatura. O sinal recebido no conversor ADC, contudo, pode apresentar um aspeto semelhante ao da linha a verde.



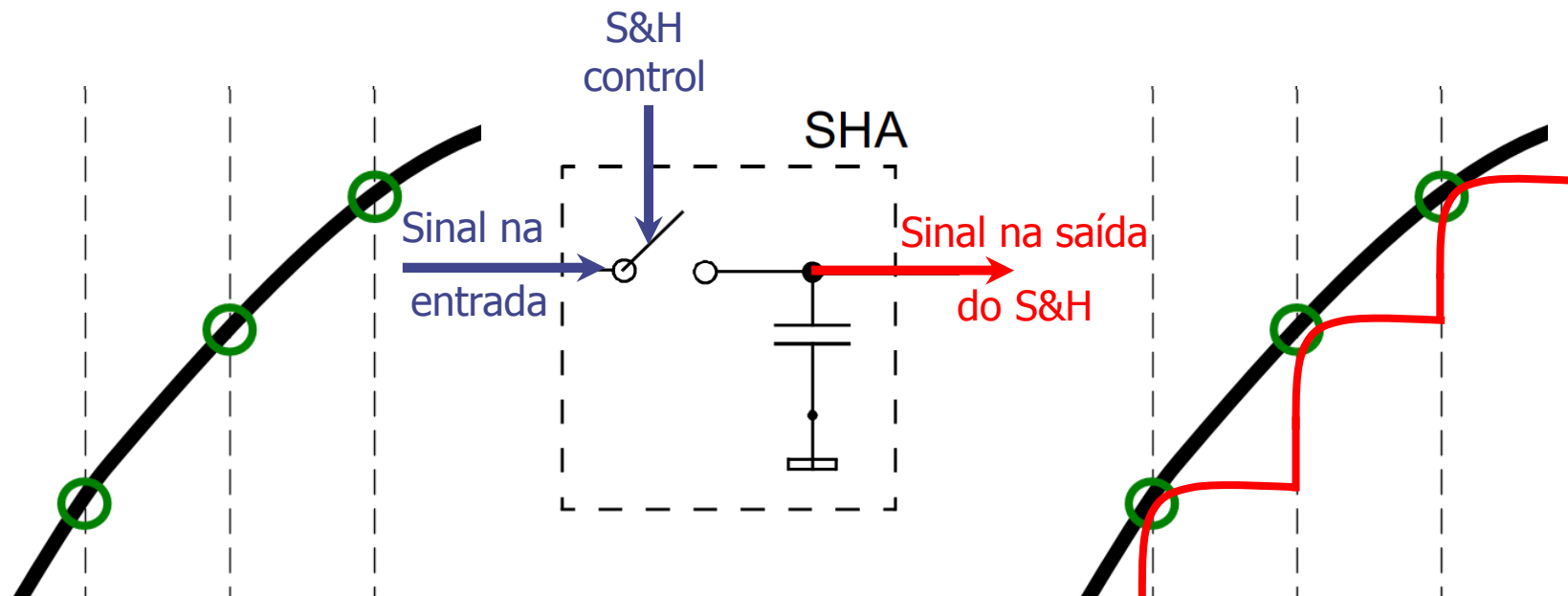
# ADCs – Introdução aos conceitos básicos

- Nestes casos, é comum fazer uma sequência rápida de aquisições (8 no exemplo abaixo) seguida de uma média dos valores adquiridos, para atenuar o efeito do ruído.



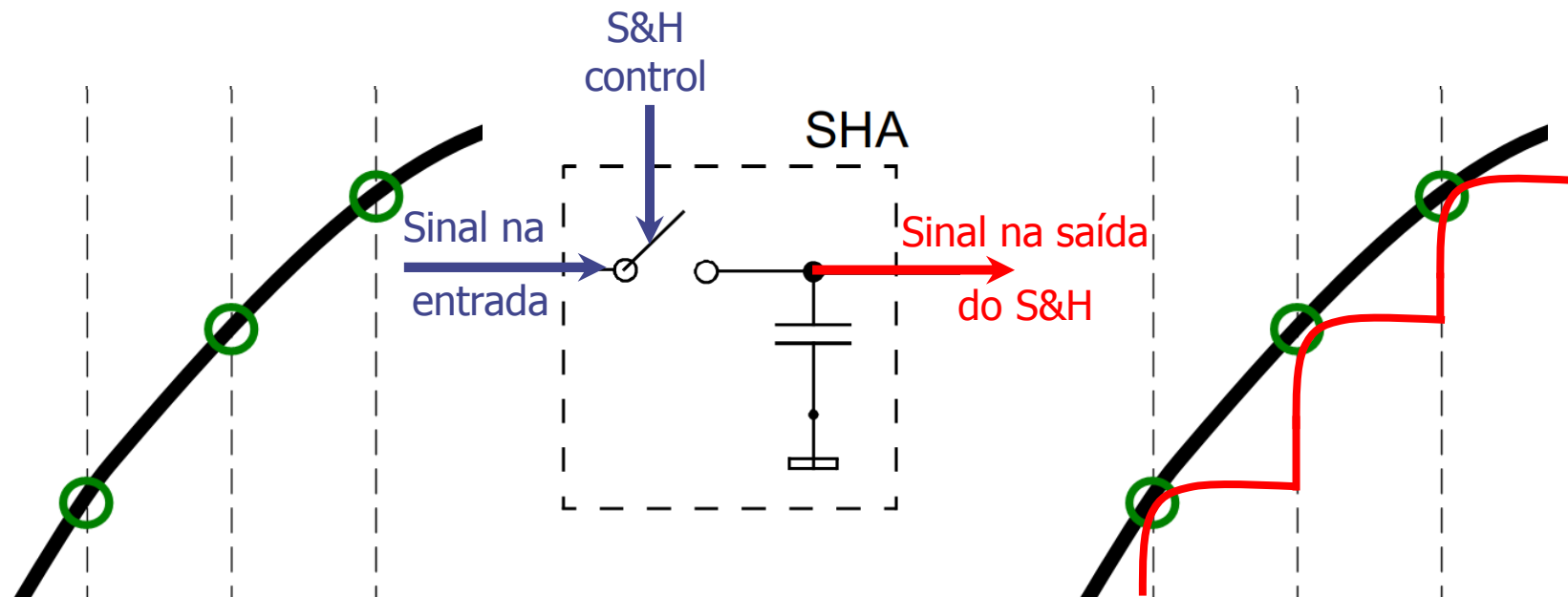
# ADCs – Processo de amostragem

- O processo de conversão de uma amostra analógica no valor digital correspondente não é instantâneo. Há um variado número de metodologias (que não se abordam aqui) para realizar esse processo.
- Logo, independentemente da metodologia, a amostra analógica tem de se manter constante durante o tempo necessário à sua quantificação.
- Para tal, o conversor AD tem de ser precedido de um circuito que recolha uma amostra da tensão de entrada e a mantenha estável durante o tempo de conversão.



# ADCs – Processo de amostragem

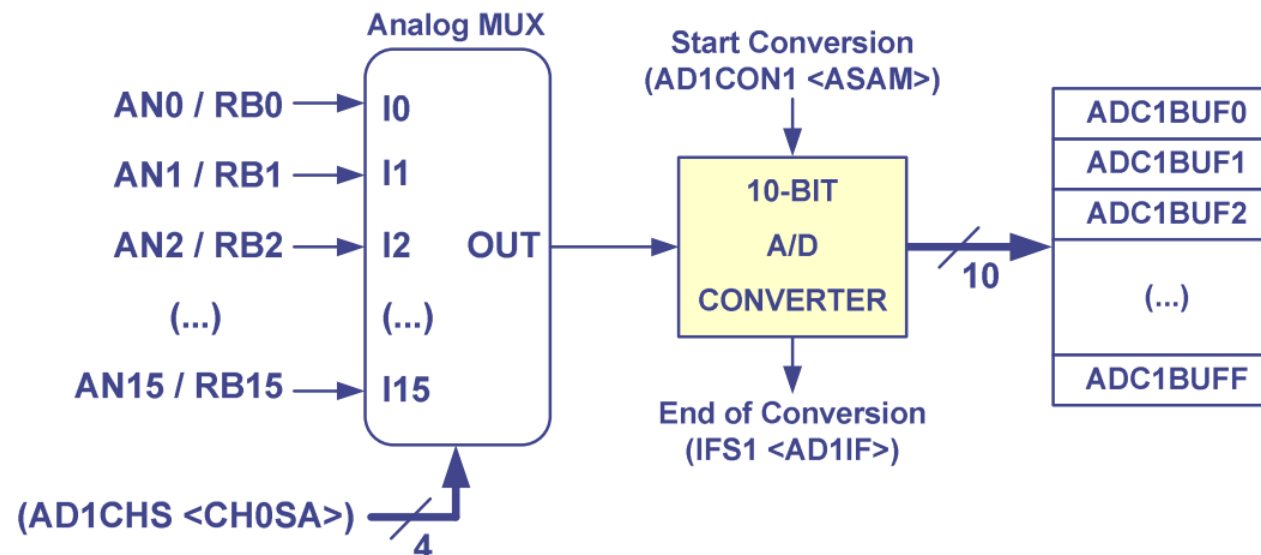
- Este circuito é designado por *sample & hold*.
- Antes de se iniciar uma conversão, o interruptor na entrada do *sample & hold* é fechado durante um tempo pré-definido (designado por *tempo de amostragem*), e o sinal de entrada carrega o condensador até este atingir uma tensão próxima da do valor da amostra desse mesmo sinal.
- Seguidamente o interruptor é aberto, e o condensador mantém estável o valor apresentado à ADC para que esta proceda à conversão.





# ADCs – PIC32

- O PIC32 disponibiliza um módulo de conversão analógico-digital, com um modelo de programação que permite múltiplas possibilidades de configuração. No essencial, o módulo A/D é constituído por um conversor analógico-digital de 10 bits, um multiplexer analógico de 16 entradas e um conjunto de registos onde o conversor coloca o(s) resultado(s) da conversão, tal como indicado na figura seguinte.
- Embora se possa definir outros valores, por defeito o intervalo  $[V_{\min} .. V_{\max}]$  usado no PIC32 será igual a  $[0V .. 3.3V]$ .

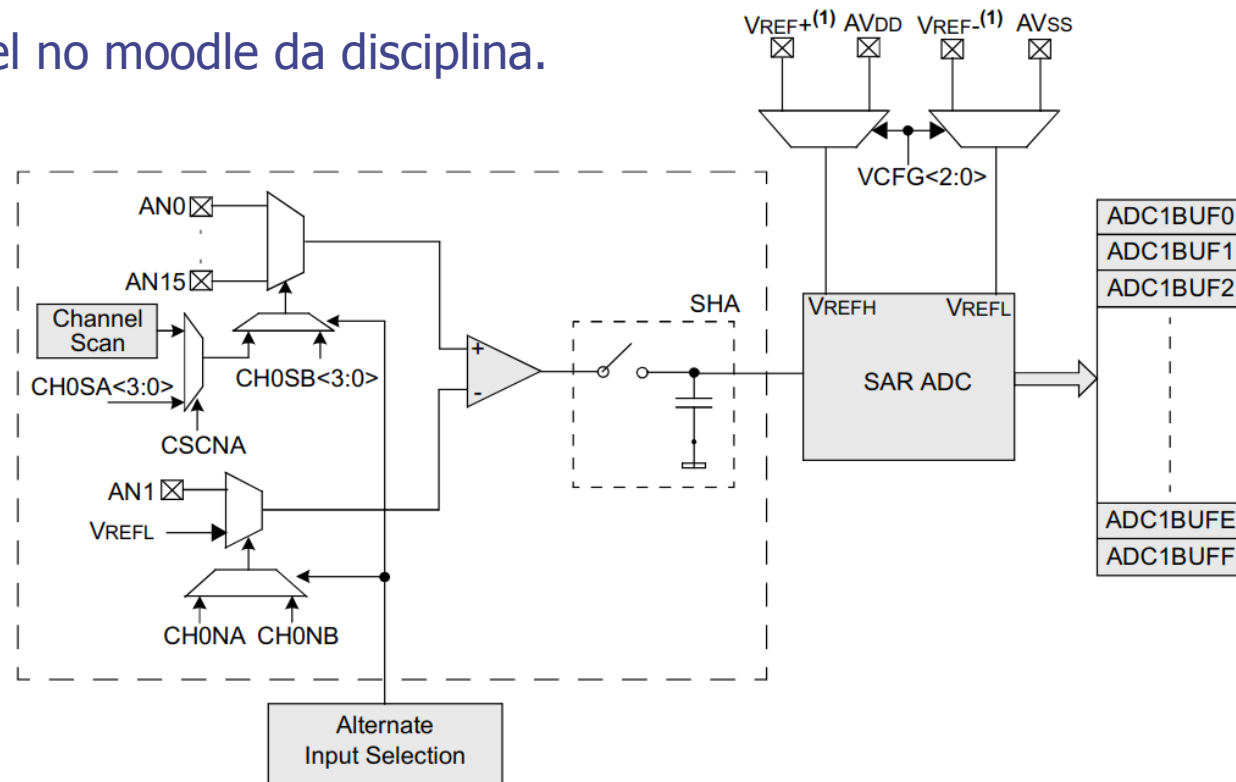


# ADCs – PIC32

Para mais detalhes sobre o módulo de conversão analógico digital do PIC32 aconselha-se a consulta do manual

*"PIC32 Family Reference Manual Sect 17-AD Converter"*

disponível no moodle da disciplina.



**Note 1:** VREF+ and VREF- inputs can be multiplexed with other analog inputs.