

LIÇÃO 8

OS MULTIVIBRADORES ASTÁVEIS E MONOESTÁVEIS

Na lição anterior aprendemos como funcionam os principais tipos de *flip-flops*, verificando que dependendo dos recursos de cada um, eles podem ser empregados de diversas formas. Também vimos as entradas que estes dispositivos podem conter para melhorar seu desempenho em determinadas aplicações, como por exemplo, nos computadores. Vimos também que os *flip-flops* são usados como divisores de frequência ou células de memória. Tudo isso nos leva à necessidade de contar com esta função na forma de circuitos integrados. De fato, existem muitos circuitos integrados TTL e CMOS contendo *flip-flops* dos tipos estudados e será justamente deles que falaremos nesta lição. Também enfocaremos algumas configurações que em lugar de dois estados estáveis possuem apenas um, além das configurações que não possuem nenhum estado estável. Estes circuitos denominados multivibradores astáveis e monoestáveis

também são muito importantes em aplicações relacionadas com a Eletrônica Digital.

8.1 - MULTIVIBRADORES ASTÁVEIS

Os circuitos digitais trabalham sincronizados, em sua maioria, por sinais retangulares que precisam ser produzidos por algum tipo de oscilador. O oscilador, que produz o sinal de "CLOCK" ou "relógio" deve ter características especiais e para isso podem ser usadas diversas configurações.

Uma das configurações mais interessantes é justamente aquela que parte de um circuito bastante semelhante aos *flip-flops* que estudamos na lição anterior.

Este circuito recebe o nome de multivibrador astável e se caracteriza por não ter dois, nem um estado estável. Este circuito muda constantemente de estado, numa velocidade que depende dos valores dos componentes usados e que, portanto gera um sinal retangular.

Da mesma forma que estudamos os *flip-flops* partindo da configuração básica com transistores, vamos estudar o multivibrador astável.

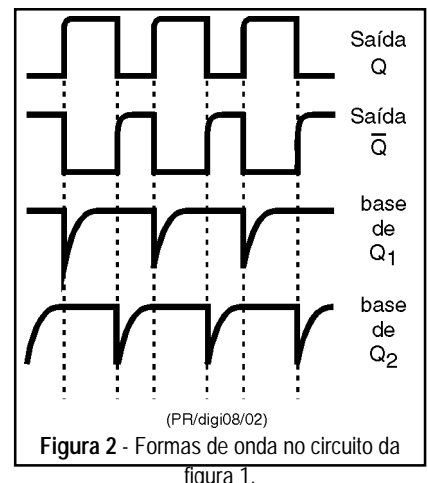
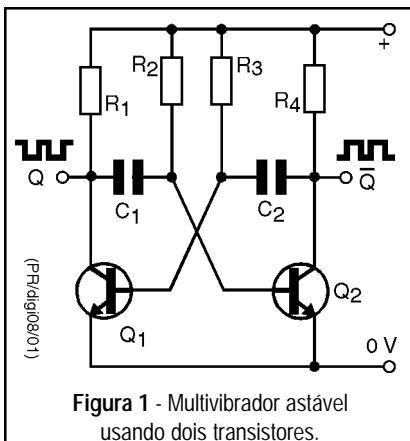
Assim, caso tenhamos a configuração mostrada na **figura 1**, usando transistores, os capacitores proporcionam uma realimentação que leva o circuito à oscilação.

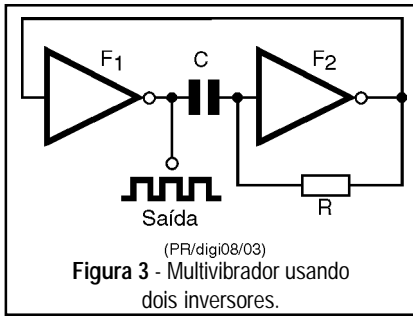
O multivibrador astável é um circuito em que a frequência é determinada por um capacitor e um resistor, ou seja, por uma constante de tempo

RC. Dizemos que este tipo de oscilador é do tipo RC. Analisemos melhor como funciona a configuração mostrada na figura 1.

Quando a alimentação é estabelecida, um dos transistores conduz mais do que outro e inicialmente podemos ter, por exemplo, Q_1 saturado, e Q_2 cortado. Com Q_1 saturado o capacitor C_1 carrega-se via R_1 de modo que a tensão no capacitor sobe gradualmente até o ponto em que, estando carregado, o transistor Q_2 é polarizado no sentido de conduzir. Quando isso ocorre, Q_2 tem um dos seus terminais aterrado e descarrega-se. Nestas condições Q_1 vai ao corte e Q_2 satura. Agora é a vez de C_2 carregar-se até que ocorra novamente uma comutação dos transistores e um novo ciclo de funcionamento.

As formas de onda geradas neste circuito são mostradas na **figura 2**, observando-se o ciclo de carga e descarga dos capacitores.





O leitor pode perceber então que o tempo de carga e descarga dos capacitores e portanto, das oscilações geradas por este circuito, dependem tanto dos valores dos capacitores como dos resistores de base através dos quais ocorrem as descargas.

Também podemos observar que os sinais gerados são retangulares, pois ocorre uma comutação rápida dos transistores de tal forma que a tensão em seus coletores sobe e desce muito rapidamente.

Da mesma forma que no caso dos *flip-flops*, podemos elaborar multivibradores astáveis, tanto usando válvulas como transistores de efeito de campo.

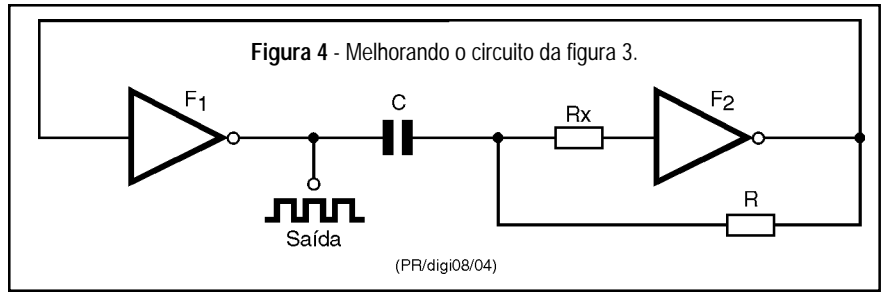
Podemos também ter osciladores RC que geram sinais com boa estabilidade com menos componentes. Estes osciladores podem ser elaborados com funções lógicas e para isso temos diversas possibilidades.

7.4 - ASTÁVEIS COM FUNÇÕES LÓGICAS

a) Astável usando inversores

Um primeiro tipo de oscilador RC ou astável pode ser elaborado com base em dois inversores, utilizando a configuração mostrada na figura 3.

Neste circuito, R e C determinam a frequência de operação. Resumimos o princípio de funcionamento da



seguinte forma: quando o inversor F-2 está com a saída no nível alto, a saída de F-1 estará no nível baixo, o que faz com que o capacitor carregue via R. Quando a tensão em C atinge o valor que provoca a comutação de F-2, ele troca de estado e sua saída vai ao nível baixo. Nestas condições a saída de F-1 vai ao nível alto, o capacitor é “invertido” começando sua carga, mas com polaridade oposta até que novamente tenhamos o reconhecimento do nível de comutação e um novo ciclo se inicie.

A frequência de operação deste circuito é dada com aproximação pela fórmula:

$$f = 1/(2 \times 3,14 \times R \times C)$$

3,14 é o famoso “PI” que é constante.

C deve ser expresso em farads, R em ohms para que tenhamos a frequência em hertz.

Nos circuitos integrados CMOS costuma-se agregar nas entradas diodos de proteção com a finalidade de protegê-los contra descargas estáticas. Estes diodos afetam o funcionamento dos osciladores, podendo dificultar sua operação. Uma maneira de contornar o problema causado pela presença dos diodos consiste em modificar o circuito da **figura 3**, agregando um resistor adicional da forma indicada na **figura 4**.

Este resistor Rx deve ser pelo menos 10 vezes maior que R. Valores da ordem de 1 MΩ são os mais usados na prática de modo a não afetar a frequência de operação determinada pela fórmula que vimos.

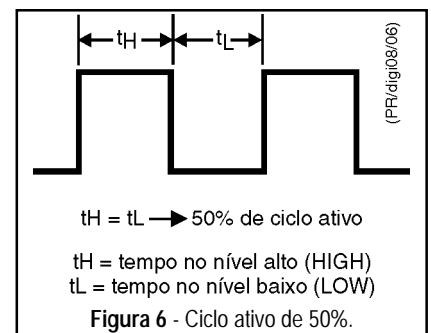
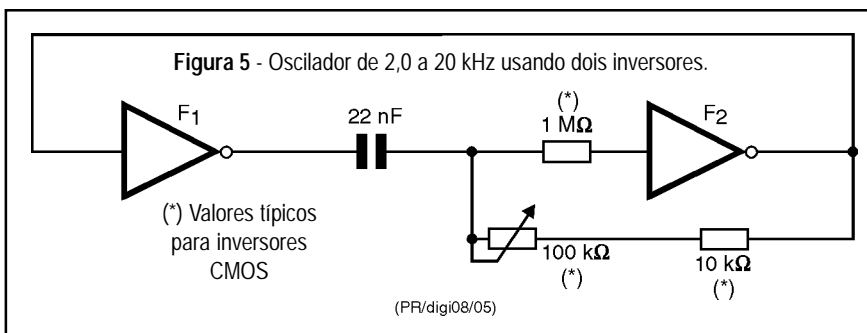
Podemos controlar a frequência deste tipo de oscilador colocando um resistor variável no circuito de realimentação, verifique a **figura 5**.

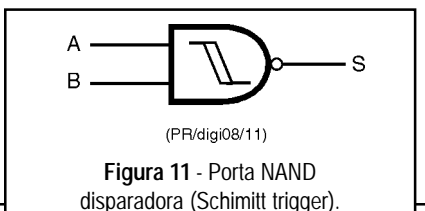
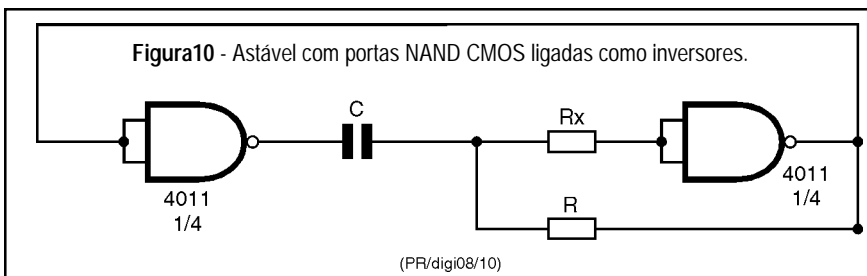
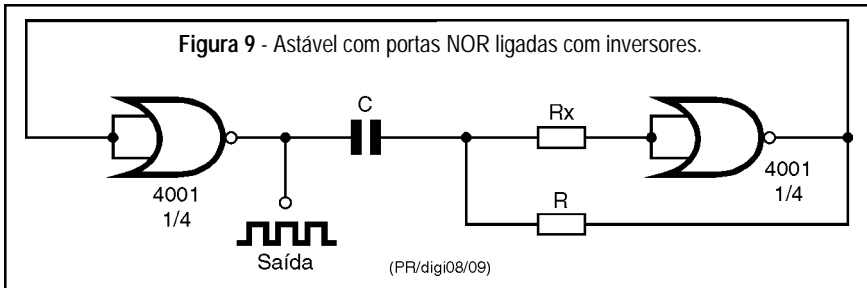
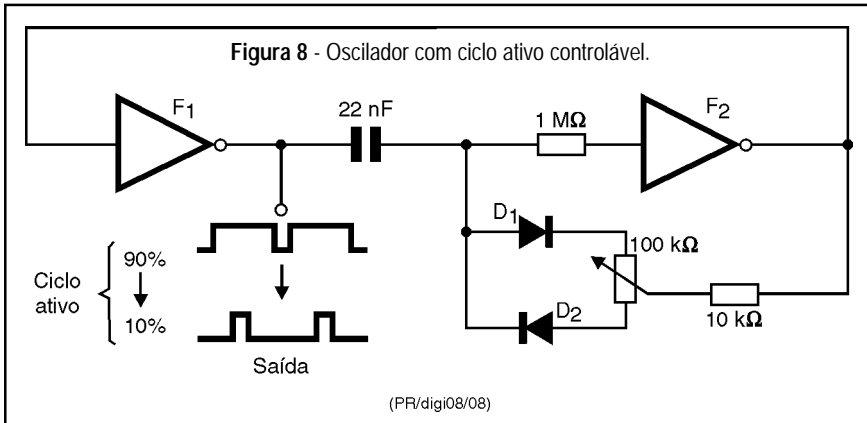
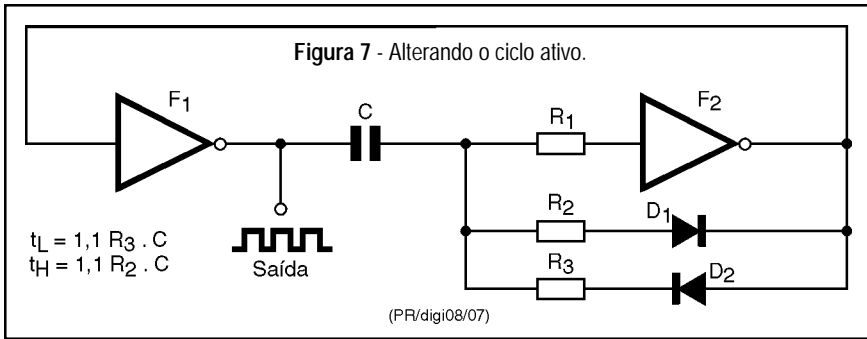
Como o resistor variável é 10 vezes maior do que o resistor que está em série, a faixa de frequências obtida variará numa razão de 10 para 1. Assim, se a frequência mínima for de 100 Hz, a máxima será de 1000 Hz. Veja que não é recomendável que o resistor em série seja muito pequeno, menor que 10 kΩ, dadas as características do circuito.

Como o tempo de carga e descarga do capacitor é o mesmo, o sinal produzido é retangular com um ciclo ativo de 50%, ou seja, o tempo em que ele permanece no nível alto é o mesmo do nível baixo, **figura 6**.

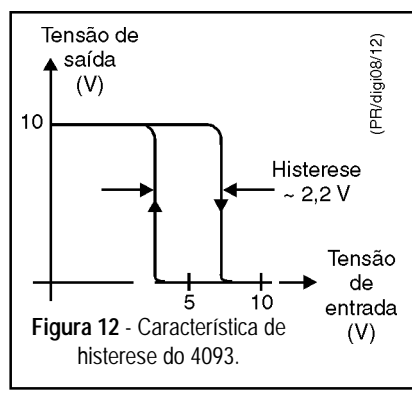
Na maioria das aplicações que envolvem o uso de circuitos digitais são necessários circuitos de *clock* que tenham ciclos ativos de 50%, no entanto, existem aplicações especiais em que um ciclo ativo diferente pode ser necessário.

Para modificar o ciclo ativo, o recurso mais comum consiste em ter percursos diferentes para as correntes de carga e descarga do capacitor,





Um tipo de função lógica importante, que possui tempos reduzidos de comutação, é a formada por circuitos disparadores ou "triggers",



o que pode ser conseguido com o uso de diodos.

Assim, para o circuito que tomamos como exemplo é possível modificar o ciclo ativo da maneira indicada na **figura 7**.

O capacitor vai carregar-se via R_1 e descarregar via D_2 , o que significa tempos diferentes para a saída no nível alto e baixo.

Estes tempos dependem dos capacitores e são dados pelas fórmulas junto ao diagrama.

Para um ajuste do ciclo ativo podemos agregar um potenciômetro ou *trimpot* ao circuito que vai determinar os percursos para as correntes de carga e descarga do capacitor, conforme **figura 8**.

A posição do cursor determina o ciclo ativo, observando-se que na posição central este ciclo será de 50%.

Observamos finalmente que inversores podem ser obtidos com a ligação de portas NOR com as entradas em paralelo, confira na **figura 9**.

Ou ainda, a configuração indicada pode ser elaborada com portas NAND, ficando com a disposição da **figura 10**.

b) Oscilador com disparador

Uma característica não muito desejada quando se pretende usar uma função como osciladora, é o tempo de comutação quando o nível lógico é reconhecido na entrada.

Um tipo de função lógica importante, que possui tempos reduzidos de comutação, é a formada por circuitos disparadores ou "triggers", como por exemplo, do circuito integrado 4093, ver na **figura 11**.

Estas portas possuem uma característica de histerese que é mostrada na **figura 12**.

Esta característica mostra que, quando o circuito reconhece o nível lógico necessário à comutação, a saída passa de um nível a outro numa velocidade muito grande, ou seja, há uma comutação muito rápida.

Por outro lado, o nível lógico de entrada que faz novamente a comutação para que a saída volte ao estado anterior não ocorre com a mesma tensão "de ida".

Em outras palavras, o sinal de saída oscila do nível alto para o baixo

e vice-versa com tensões diferentes de entrada. Estas diferentes tensões determinam uma faixa denominada "histerese" e que é mostrada na curva da figura 12.

Esta característica é muito importante pois garante que o circuito comute com segurança, tanto "na ida" como "na volta" dos sinais, e que além disso, possam ser usados em osciladores de bom desempenho.

Para termos um oscilador com uma porta NAND disparadora como a do circuito integrado CMOS 4093, precisamos de apenas dois componentes externos na configuração mostrada na **figura 13**.

Neste circuito, o capacitor se carrega através do resistor quando a saída da porta (ligada como inversor) está no nível alto e descarrega-se quando está no nível baixo, produzindo um sinal com ciclo ativo de 50%.

A entrada do circuito, ligada entre o capacitor e o resistor, não drena nem fornece corrente, já que é de alta impedância, apenas sensoriando o nível de tensão neste ponto para fazer a comutação.

As formas de onda obtidas neste circuito são mostradas na figura 14.

Da mesma forma que nos circuitos anteriores também podemos modificar o ciclo ativo do sinal gerados modificando o percurso das correntes de carga e descarga do capacitor, o que pode ser conseguido através de diodos.

Temos então na figura 15 um circuito com ciclo ativo diferente de 50% usando diodos.

Neste circuito, quando a saída do disparador está no nível alto, o capacitor carrega-se via D_1 e R_1 . Es-

tes componentes determinam então o tempo de saída alto.

Quando o circuito comuta e a saída do disparador vai ao nível baixo, o capacitor descarrega-se via D_2 e R_2 , sendo estes os componentes responsáveis pelo tempo baixo do sinal de saída.

Também podemos controlar o ciclo ativo deste circuito colocando um potenciômetro ou *trimpot*, conforme a figura 16.

A posição do cursor determina a resistência do circuito nos percursos de carga e descarga do capacitor.

O 4093, na verdade, corresponde a um grupo de circuitos denominados "disparadores de Schmitt" que será estudado nas próximas lições na sua real função, que é a de modificar formas de onda de um circuito.

O disparador pode transformar um sinal de qualquer forma de onda num sinal retangular, conforme veremos mais adiante.

c) Oscilador TTL com Inversores com saída de coletor aberto

Um outro tipo de circuito astável, que pode ser usado para gerar sinais retangulares num equipamento digital, é o que faz uso de três dos seis inversores disponíveis num circuito integrado 7406. Este circuito é mostrado na figura 17.

O sinal é realimentado da saída do último inversor para a entrada do primeiro e pelo resistor variável temos o ajuste da frequência e do ponto de funcionamento.

Este oscilador pode gerar sinais na faixa de 1 MHz a 10 MHz para TTLs normais e frequências mais elevadas com TTL LS.

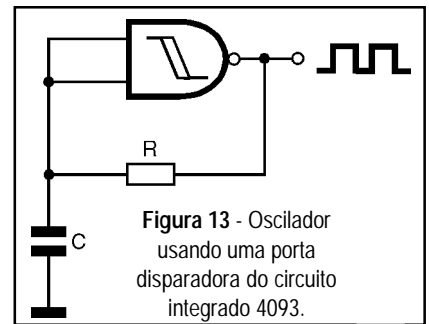


Figura 13 - Oscilador usando uma porta disparadora do circuito integrado 4093.

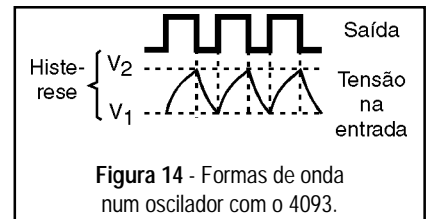


Figura 14 - Formas de onda num oscilador com o 4093.

d) Oscilador com cristal

O cristal é um elemento importante no controle de frequência de um circuito. Os cristais oscilam em frequências determinadas pelo seu corte. Assim, eles podem ser usados para manter a frequência fixa dentro de estreitos limites.

Seu uso mais comum é justamente em circuitos em que a precisão da frequência seja importante, tais como relógios, cronômetros e em

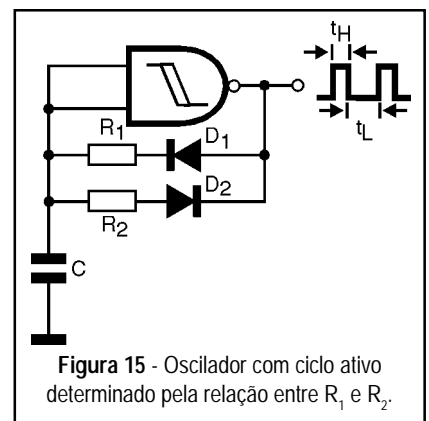


Figura 15 - Oscilador com ciclo ativo determinado pela relação entre R_1 e R_2 .

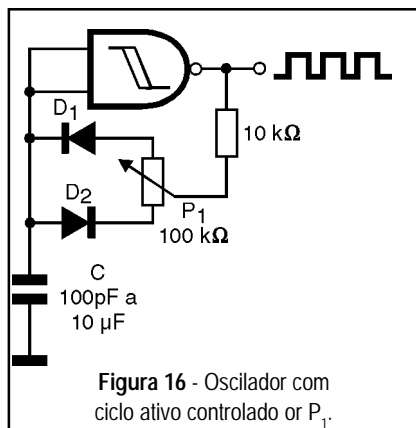


Figura 16 - Oscilador com ciclo ativo controlado por P_1 .

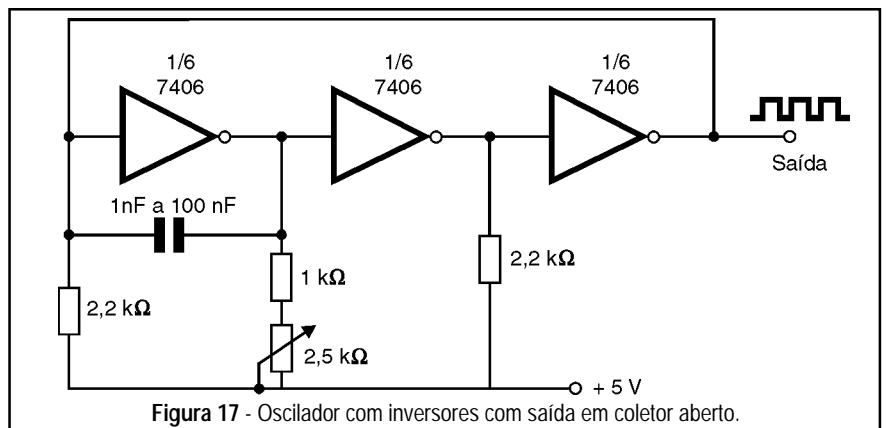


Figura 17 - Oscilador com inversores com saída em coletor aberto.

instrumentação. Existem diversas formas de obter um oscilador com cristal para aplicações em circuitos digitais. Um primeiro circuito que pode ser dado como exemplo é apresentado na **figura 18** e faz uso de duas das quatro portas NOR disponíveis num circuito integrado CMOS 4001.

O cristal serve de elemento de realimentação devendo haver um capacitor ajustável que permite variar a frequência levemente em torno do valor estabelecido pelas características do circuito.

Uma porta serve como elemento ativo do circuito (amplificador), enquanto a outra serve de "buffer", ou seja, isola a saída do circuito oscilador.

Os buffers são importantes em muitas aplicações, pois impedem que variações ocorridas no circuito que recebe o sinal afetem a frequência do oscilador.

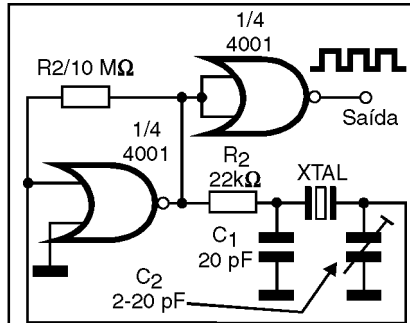
Um outro oscilador a cristal com inversores CMOS é o da **figura 19**.

A saída do último inversor fornece o sinal de realimentação do circuito através do cristal que então determina a sua frequência.

Versão equivalente com inversores e circuitos integrados TTL para osciladores controlados a cristal é mostrada na **figura 20**.

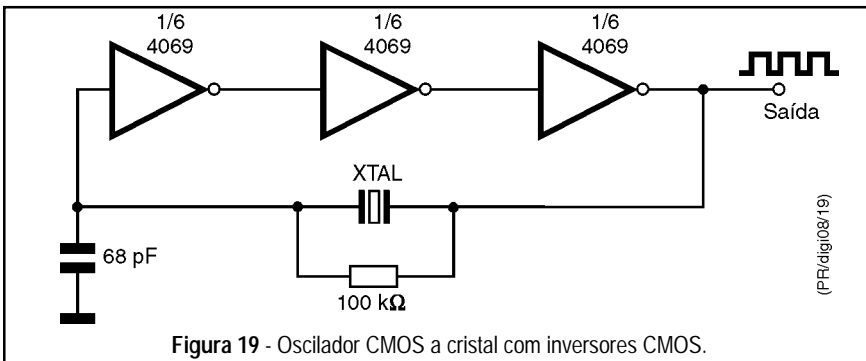
QUESTIONÁRIO

1. Quantos estados estáveis têm um multivibrador monoestável?
a) 1 b) 2 c) nenhum
d) todos os estados são estáveis
2. Qual dos circuitos abaixo indicados não pode ser usado como astável ou monoestável?
a) 7474 b) 555
c) 74122 d) 4011
3. O tempo de carga de um capacitor é diferente do tempo de descarga quando usado num astável. Podemos dizer que o ciclo ativo do sinal gerado é:
a) 50%
b) maior que 50%
c) menor que 50%
d) diferente de 50%



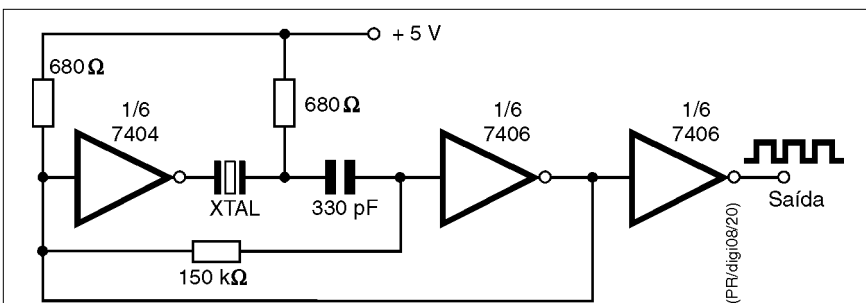
(PR/digi08/18)

Figura 18 - Oscilador CMOS a cristal.



(PR/digi08/19)

Figura 19 - Oscilador CMOS a cristal com inversores CMOS.



(PR/digi08/20)

Figura 20 - Oscilador controlado a cristal com inversores TTL.