

## 2.5 - Transistores como chaves

Ainda que os transistores sejam a espinha dorsal da eletrônica moderna, com dezenas de tipos e centenas de utilizações, vamos nos limitar a analisar apenas uma função destes componentes: a de chave liga-desliga.

Pode parecer uma visão muito limitada de um componente tão versátil, mas a verdade é que não é o objetivo deste trabalho um estudo teórico de eletrônica, e é difícil encontrar uma outra função para este componente que não seja melhor executada por um circuito integrado com preço acessível.

Ainda dentro do universo dos transistores, apresentaremos aqui apenas três tipos: o bipolar tipo NPN, o bipolar tipo PNP e MOSFET de potência canal N (tipo de enriquecimento ou enhanced).

Em todos eles, a corrente flui entre dois dos três terminais do transistor, controlada pelo sinal elétrico existente no terceiro, como indica a figura 2.5.1.

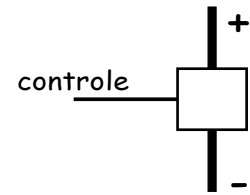


Figura 2.5.1

### Transistores bipolares

Estes transistores deixam passar a corrente entre dois terminais chamados coletor e emissor quando se faz passar uma corrente muito menor por um terminal chamado base.

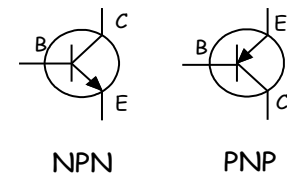


Figura 2.5.2

Os transistores bipolares se dividem em dois tipos, NPN e PNP (fig.2.5.2). Essa diferença, na prática, se reflete na polaridade das ligações, e resulta em que o NPN é "ligado" por um sinal positivo e o PNP é "ligado" por um sinal negativo (aterramento). Na verdade, na ausência de um sinal, ou seja, como o pino de base desconectado do circuito, os dois tipos ficam "desligados", sem conduzir corrente.

A figura 2.5.3 apresenta as analogias hidráulicas simplificadas de transistores bipolares. Para analisar as figuras, deve-se ter em mente que a válvula de base controla a válvula maior, e não o contrário.

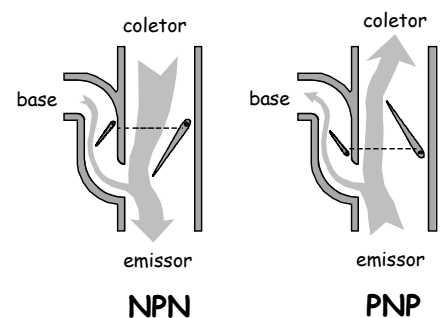


Figura 2.5.3

O transistor, em muitos aspectos, se comporta como dois diodos justapostos, e uma consequência disso é que existe dentro deles a mesma barreira de tensão dos diodos. Ou seja: a diferença de tensão entre o emissor e o coletor deve ser maior que 0,6V ou o transistor não conduzirá mesmo com uma grande tensão na base. E ainda, a tensão na base tem que ter uma diferença de pelo menos 0,6V em relação ao emissor (+0,6V nos NPN e -0,6V nos PNP) para que se inicie a condução.

Uma vez que a corrente comece a fluir pela base, uma corrente várias vezes maior conseguirá fluir entre o emissor e o coletor. Quantas vezes maior? Este número é dado pelo fabricante e tem

o nome de  $h_{FE}$ . É um número bastante instável e varia individualmente entre peças de um mesmo tipo. Felizmente, para usar o transistor como chave liga e desliga, este valor não é crítico. Basta garantir que, quando o sinal é aplicado à base, uma corrente próxima ao máximo admissível flua por este terminal. O valor desta corrente é determinado por um resistor. Este resistor não pode ter uma resistência muito pequena para não ultrapassar o valor limite de corrente na base, dado pelo fabricante. Lembre que a base é ligada ao emissor como que através de um diodo, podendo haver um verdadeiro curto-circuito em caso de uma ligação direta à alimentação (NPN) ou ao terra (PNP). Este resistor também não pode ser muito grande, pois é fundamental ao funcionamento do transistor como chave que a corrente de base provoque o máximo de condução entre o emissor e o coletor. Isto porque neste ponto, a queda de tensão no transistor (entre o emissor e o coletor) será apenas os 0,6V devidos à barreira de tensão (diodo) e a potência dissipada será:

$$Potência\ dissipada = 0,6 \times Corrente$$

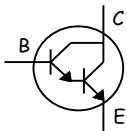


Figura 2.5.4 - Transistor Darlington.

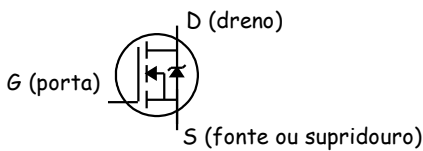


Figura 2.5.5 - Mosfet canal N.

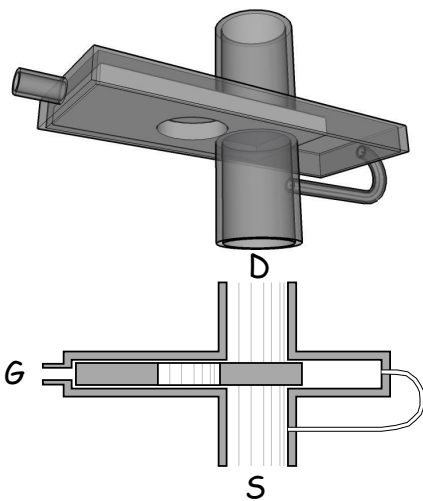


Figura 2.5.6 - Analogia hidráulica de um Mosfet de canal N.

Caso o transistor não esteja conduzindo completamente, a queda de tensão será maior que 0,6V e a potência dissipada pode subir perigosamente. A tabela 2.3 apresenta valores de resistores que permitem a passagem pela base de 1/15 da corrente máxima de coletor (corrente máxima do transistor). Este valor quase sempre garante a saturação dos transistores de baixa e média potência.

### Transistores Darlington

Os transistores de potência geralmente têm ganhos menores e precisam correntes altas na base para a plena condução. Por exemplo, um transistor 2N3055 pode exigir 3A para controlar uma corrente de 15A. Para solucionar este problema, existe um tipo de transistor bipolar que se chama **Darlington**, e nada mais é do que dois transistores em um único encapsulamento, conforme mostra a figura 2.5.4. Neste caso, o valor de  $h_{FE}$  é muito grande, e uma corrente bem pequena na base já leva o transistor ao estado de plena condução. O preço pago por esta sensibilidade à corrente é o fato de que aqui a barreira de tensão é o dobro (dois diodos), e é preciso que a tensão na base tenha uma diferença de 1,2V em relação ao emissor para que comece a ocorrer a condução.

### Mosfet de potência canal N

Este outro tipo de transistor funciona de forma diferente dos anteriores. Aqui a resistência entre dois terminais, o dreno (drain) e a fonte (source), é determinada pela tensão aplicada a um terceiro terminal, a porta (gate). O dreno é ligado à alimentação positiva através da carga e a fonte é ligado ao terra. A fonte é às vezes chamada de "supridor".

Inicialmente a resistência entre o dreno e a fonte é um valor muito alto, praticamente um circuito aberto, mas à medida que a tensão na porta aumenta, esta resistência cai, chegando a um valor que é praticamente um circuito fechado. Geralmente esta

condução começa quando a tensão na porta chega a cerca de três volts e atinge a menor resistência possível quando a tensão na porta atinge cerca de 10 volts.

Aqui também é importante que o transistor seja levado à plena condução para que a potência dissipada seja a menor possível. O valor da resistência do MOSFET quando ele está no estado "ligado" é fornecida pelo fabricante nos datasheets. Como a potência dissipada é o produto desta resistência pelo quadrado da corrente, é aconselhável escolher sempre o MOSFET que tiver a menor resistência de estado "ligado".

### Notas sobre bipolares e mosfets

- Não servem para controlar correntes alternadas.
- Os MOSFETS são mais caros que os transistores bipolares, mas funcionam melhor como chaves.
- O terminal de controle (base ou gate) tem sua tensão comparada com a tensão no emissor ou na fonte, portanto, não é uma boa idéia colocar a carga em série com estes terminais (figura 2.5.7).
- Lembre também que, entre o emissor e a base, o transistor se comporta como um diodo e, portanto, não é boa idéia acionar os transistores bipolares ligando sua base diretamente à tensão de alimentação ou ao terra. Isto equivale a um curto-circuito (figura 2.5.8).
- Podemos considerar que os MOSFETS possuem uma resistência de entrada (impedância) infinita. Isto significa que não consomem corrente em sua porta, apenas aquela necessária para "encher" o terminal, devido a uma pequena capacitância que deve ser levada em consideração nas altas frequências. Isto pode ser comprovado pela experiência mostrada na figura 2.5.9. O MOSFET, uma vez "carregado" com uma tensão positiva em sua porta, permanece conduzindo mesmo depois da tensão ser desconectada. É preciso "descarregar" a porta no terra para parar a condução.
- Sempre se deve colocar um diodo em paralelo com uma carga indutiva, como mostra a figura 2.5.10. Quando a corrente flui normalmente, o diodo não conduz, mas quando o fluxo de corrente é cortado, o indutor gera uma tensão inversa muito alta, que seria capaz de destruir o transistor se não fosse dissipada pelo diodo.

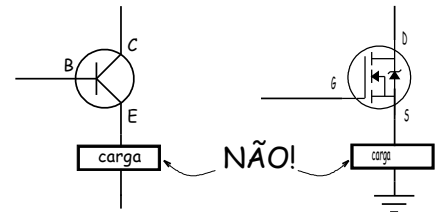


Figura 2.5.7 - A carga não deve ser ligada nem ao emissor, nem à fonte (s).

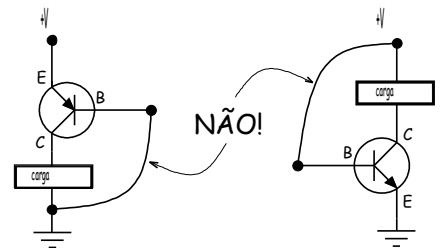


Figura 2.5.8 - O acionamento não deve ser feito por ligação direta sem resistor.

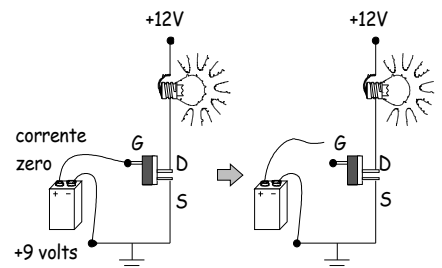


Figura 2.5.9 - O MOSFET retém a carga na porta.

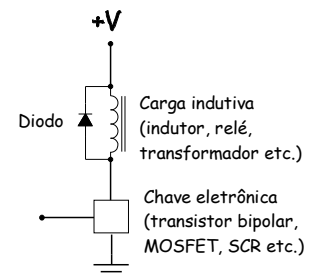


Figura 2.5.10 - Sempre se deve colocar um diodo em paralelo com cargas indutivas.

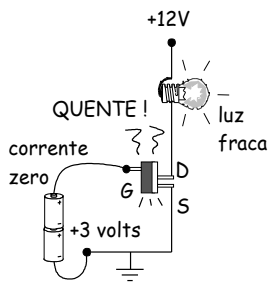


Figura 2.5.11

- Quando utilizados como chave, com uma corrente ou tensão que garanta a plena condução, tanto os transistores bipolares como os MOSFETS dissipam pouca potência, pois a queda de tensão entre seus terminais é pequena. Ainda assim, para correntes muito altas, pode ser necessário o uso de um dissipador para garantir o bom funcionamento do componente. Entretanto, quando não são levados ao estado de plena condução, dissipam muito mais energia, com o conseqüente aquecimento (fig. 2.5.11).

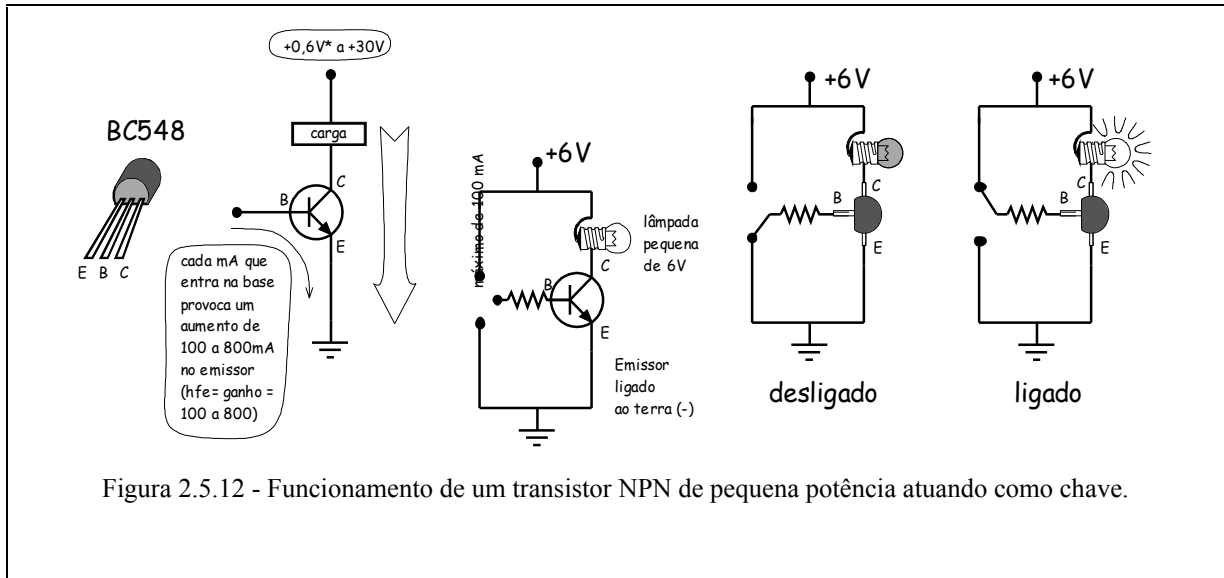


Figura 2.5.12 - Funcionamento de um transistor NPN de pequena potência atuando como chave.

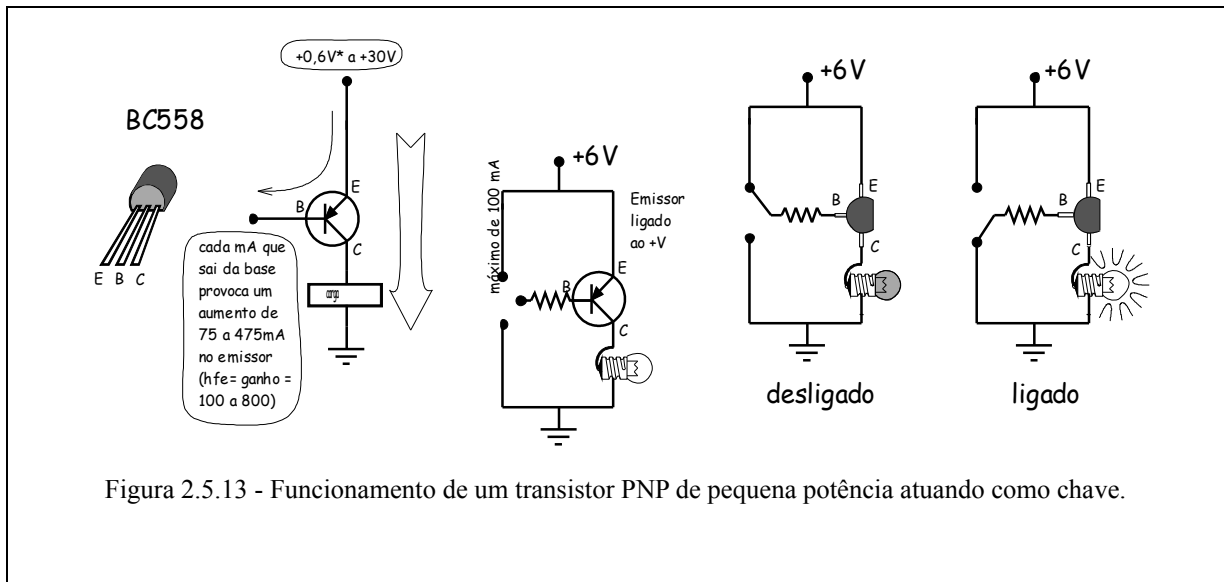


Figura 2.5.13 - Funcionamento de um transistor PNP de pequena potência atuando como chave.

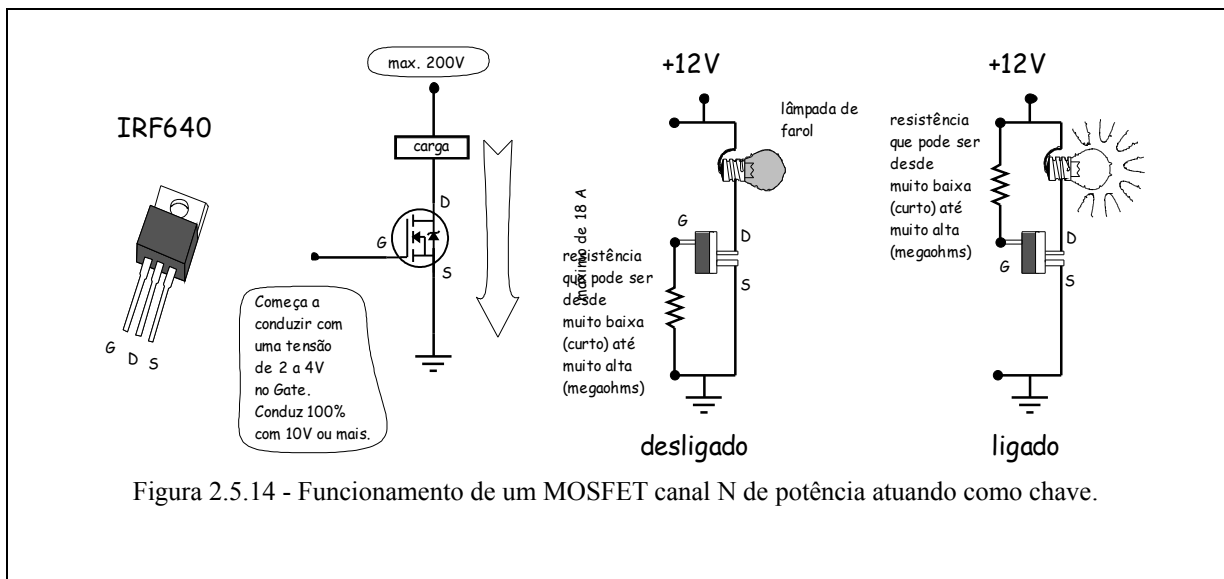







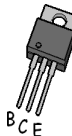
Figura 2.5.14 - Funcionamento de um MOSFET canal N de potência atuando como chave.


Tabela 2.3: Características de transistores comuns:

Baixa potência e uso geral - série BC							Resistência em série com a base para uma tensão de acionamento de:**			
			I <sub>max</sub> (A)	V <sub>max</sub> (V)	h <sub>FE</sub>	Pot max(W)	Obs.	5V	9V	12V
BC337	NPN		0,5	45	100-800	0,8	Transistores de baixa potência e uso geral. O mais popular é o BC548.	470Ω	1000Ω	1200Ω
BC338			0,5	25	100-800	0,8				
BC546			0,1	65	110-450	0,5				
BC547			0,1	45	110-800	0,5		Igual ao 548, mas com menos ruído.		
BC548			0,1	30	110-800	0,5				
BC549			0,1	30	200-800	0,5				
BC327	PNP		0,5	45	100-800	0,8	Complementar do BC337.	470Ω	1000Ω	1200Ω
BC557			0,1	45	75-475	0,5	Complementar do BC547.	680Ω	1200Ω	1800Ω
BC558			0,1	30	75-475	0,5	Complementar do BC548.			

Baixa potência - diversos							Resistência em série com a base para uma tensão de acionamento de:**			
			I <sub>max</sub> (A)	V <sub>max</sub> (V)	h <sub>FE</sub>	Pot max(W)	Obs.	5V	9V	12V
2N2222	NPN		0,8	30	40-300	0,5	Transistor NPN de uso geral, com capacidade de corrente um pouco maior. Encontrado em encapsulamento metálico (2N2222) ou plástico (2N2222A). Particularmente popular nos Estados Unidos.	100Ω	150Ω	220Ω
2N2222A				40						
BF494	NPN		0,03	20	65-220	0,3	Para frequências até 100MHz.	1000Ω	1800Ω	2400Ω

Média potência e uso geral - série BD							Resistência em série com a base para uma tensão de acionamento de:**			
			I <sub>max</sub> (A)	V <sub>max</sub> (V)	h <sub>FE</sub>	Pot max(W)	Obs.	5V	9V	12V
BD135	NPN		1,5	45	25-250	1,25 a 12,5*	Transistores de média potência e uso geral.	47Ω	82Ω	120Ω
BD137				60						
BD139				80						
BD136	PNP		1,5	45	25-250	1,25 a 12,5*	Complementar ao BD135			
BD138				60			Complementar ao BD137			
BD140				80			Complementar ao BD139			

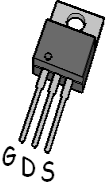
Alta potência - série TIP							Resistência em série com a base para uma tensão de acionamento de:**			
			I <sub>max</sub> (A)	V <sub>max</sub> (V)	h <sub>FE</sub>	Pot max(W)	Obs.	5V	9V	12V
TIP31C	NPN		3	100	10-50	2 a 40*	Pares complementares de transistores de uso geral e alta potência. A letra "C" no final indica que a voltagem máxima entre emissor e coletor é de 100V. "A" indicaria 60V e "B" 80V.	22Ω	47Ω	56Ω
TIP32C	PNP									
TIP41C	NPN		6	100	15-75	2 a 65*		10Ω	18Ω	24Ω
TIP42C	PNP									
TIP122	NPN-Darlington		5	100	1000 (min.)	2 a 65*	Pares complementares de transistores Darlington de uso geral e alta potência.	470Ω	1000Ω	1200Ω
TIP127	PNP-Darlington									
TIP142	NPN-Darlington	10	100	1000 (min.)	max. 125*		220Ω	470Ω	560Ω	
TIP147	PNP-Darlington									
TIP3055	NPN		15	100	5 - 70	max. 90*	Par complementar clássico de alta potência em encapsulamento TO-220.	1,5Ω***	2,7Ω***	3,9Ω***
TIP2955	PNP									

Alta potência - diversos.							Resistência em série com a base para uma tensão de acionamento de:			
			I <sub>max</sub> (A)	V <sub>max</sub> (V)	h <sub>FE</sub>	Pot max(W)	Obs.	5V	9V	12V
2N3055	NPN		15	100	5 - 70	max. 90*	Par complementar clássico de alta potência em encapsulamento metálico.	1,5Ω***	2,7Ω***	3,9Ω***
2N2955	PNP									

\* Depende da temperatura em que é mantido o coletor. Dissipadores e refrigeração aumentam a potência máxima.

\*\* Valores de resistores comerciais que deixam passar uma corrente na base de aproximadamente 1/15 da corrente máxima do transistor (I<sub>max</sub>).

\*\*\* Valores calculados considerando o ganho (h<sub>FE</sub>) mínimo do transistor. Para manter a corrente de base em um valor pequeno que garanta a plena condução, este valor deve ser calculado de acordo com as características do circuito, pois é possível que correntes menores garantam a saturação (plena condução). Considere também a possibilidade de substituir o transistor por outro do tipo darlington, como o TIP142 ou TIP147.

MOSFETs de potência - canal N								
			$I_{max}$ (A)	$V_{max}$ (V)	Pot max (W)	Resistência quando está "ligado" ( $\Omega$ )	Tensão para começar a conduzir (V)	Tensão para deixar "ligado" (V)
IRFZ34	CANAL N (enhanced)		30	60	88*	0,050	2 a 4	10
IRFZ44			50	60	150*	0,028		
IRFZ44N			49	55	94*	0,018		
IRFZ46			50	50	150*	0,024		
IRFZ46N			53	55	107*	0,017		
IRF640			18	200	125*	0,18		
IRF840			8	500	125*	0,85		
6N60			6,2	600	62,5*	1,5		

#### AVISO:

Este texto é uma leitura proporcionada por [www.centelhas.com.br](http://www.centelhas.com.br). Seu conteúdo, assim como todo o conteúdo do site, é propriedade intelectual do autor e não pode ser copiado ou modificado sem sua autorização. Não é autorizado o uso comercial deste trabalho. Entretanto, é permitido o download e a distribuição deste arquivo sem modificações para uso pessoal.

Nem o autor nem os administradores do site assumem qualquer responsabilidade sobre o uso das informações deste texto. Muitos precedimentos aqui descritos são potencialmente perigosos. A execução de qualquer destes procedimentos não deve ser tentada por quem não tem o conhecimento e a habilidade necessária. Este texto é um trabalho em desenvolvimento e pode conter erros e lacunas. Verifique no site a existência de versões mais atualizadas.