

# Reforçador de CC para microcontroladores.

Por Eng. Roberto Bairros dos Santos

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

Data: 07/07/2017

## Sumário

Prefácio.....	3
Introdução.....	4
Tipos de circuitos reforçadores.....	5
Usando o transistor como chave.....	6
Como determinar o transistor.....	8
Determinando o valor de R1 usando a técnica saturação forte.....	9
Exemplos de circuitos reforçadores não isolados.....	10
Circuitos para correntes até 5A.....	11
Circuito para correntes até 500mA.....	14
Circuito de baixa potência correntes de cargas menores do que 100mA.....	16
MOSFET em circuitos de altas correntes.....	17
MOSFET para circuitos de baixa potência.....	19
Exemplo de circuito reforçador isolado.....	20
Circuito reforçador isolador com opto-acoplador.....	21
Por que o capacitor C1 e o resistor R2?.....	23
Circuito reforçador isolador com relê.....	24
Conclusão.....	27

## Prefácio.

As saídas de um microcontrolador são construídas para acionar circuitos de baixa tensão e baixa corrente.

Este tutorial vai mostrar algumas técnicas simples para reforçar a saída de um microcontrolador de forma a permitir acionar cargas com tensões e correntes mais altas.

## Introdução.

Os microcontroladores não são dispositivos de potência e sim de controle, como regra geral você deve acionar cargas com tensões até no máximo 5V e corrente da ordem de 10mA. Alguns microcontroladores operam com tensões menores ainda, da ordem de 3,3V.

Para ligar cargas maiores você deverá lançar mão de um circuito reforçador (buffer em inglês), tanto para operar com tensões mais altas como correntes mais altas.

O dispositivo mais usado para esta tarefa é o transistor como chave, você verá aplicações com o transistor bipolar e MOSFET.

Você também poderá acionar circuitos de corrente alternada da rede domiciliar, para isto poderá usar dispositivos com relê de estado sólido, relês e contadores, mas este é assunto para outro tutorial.

Este trabalho foi desenvolvido buscando a aplicação prática dos conceitos com diagramas exemplos que você pode usar como fonte de referência rápida.

Os conceitos deste tutorial também podem ser aplicados em circuitos com portas digitais do tipo TTL e CMOS.

As aplicações práticas mais comuns são: o acionamento de LED de potência, motores de corrente contínua até 24V 15A, lâmpadas de CC até 24V, acionamento motor de passo, entre tantas outras!

### Tipos de circuitos reforçadores.

Você pode dividir os circuitos reforçadores em três tipos.

**Não isolados:** Circuitos mais simples, mas que exige uma interconexão entre os sinais de terras. No caso do transistor entrar em curto pode danificar o microcontrolador.

**Opto Isolados:** Circuitos que usam um opto-acoplador para isolar a saída do microcontrolador do dispositivo de potência. Este tipo de circuito não precisa de interligação dos sinais de terras, por isto, não representa perigo para a placa do microcontrolador. Este circuito pode operar em altas tensões sem qualquer problema.

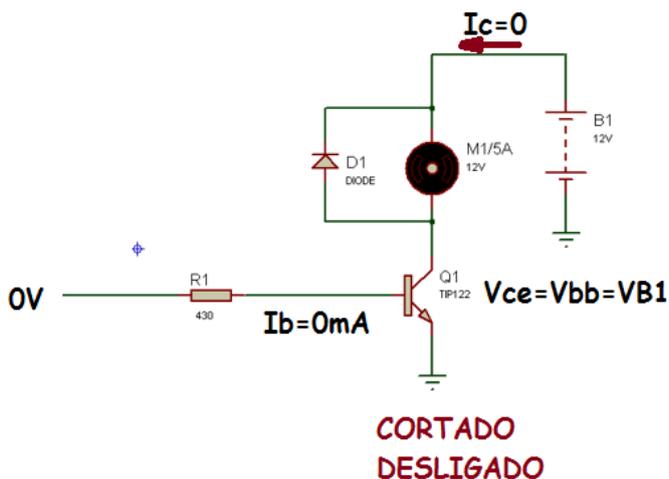
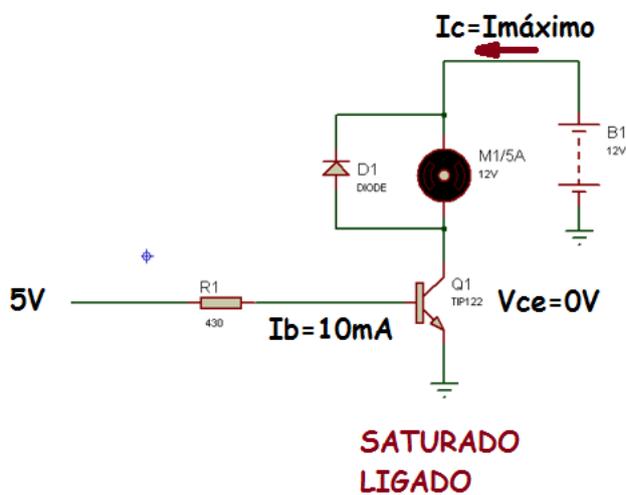
**Com relê:** Circuitos com relê é a forma mais rápida de ligar uma carga de potência mais alta. O relê tem a vantagem de isolar o circuito e ainda acionar cargas com tensões e correntes bem maiores do que usando o transistor. A desvantagem do relê é a baixa velocidade de comutação e o tempo de vida bem menor do que o transistor.

## Usando o transistor como chave.

Um dos dispositivos mais usados como reforçador é o transistor, neste tipo de aplicação o transistor deve ser polarizado como chave para trabalhar com circuitos digitais.

A figura mostra um transistor trabalhando como chave acionando um motor de 12V/ 5A com um controle de velocidade do tipo PWM.

Um transistor operando como chave quando é ligado a tensão VCE é praticamente zero e a corrente de coletor é a máxima; quando o transistor está cortado a corrente de coletor é zero e VCE é igual a tensão da fonte B1.

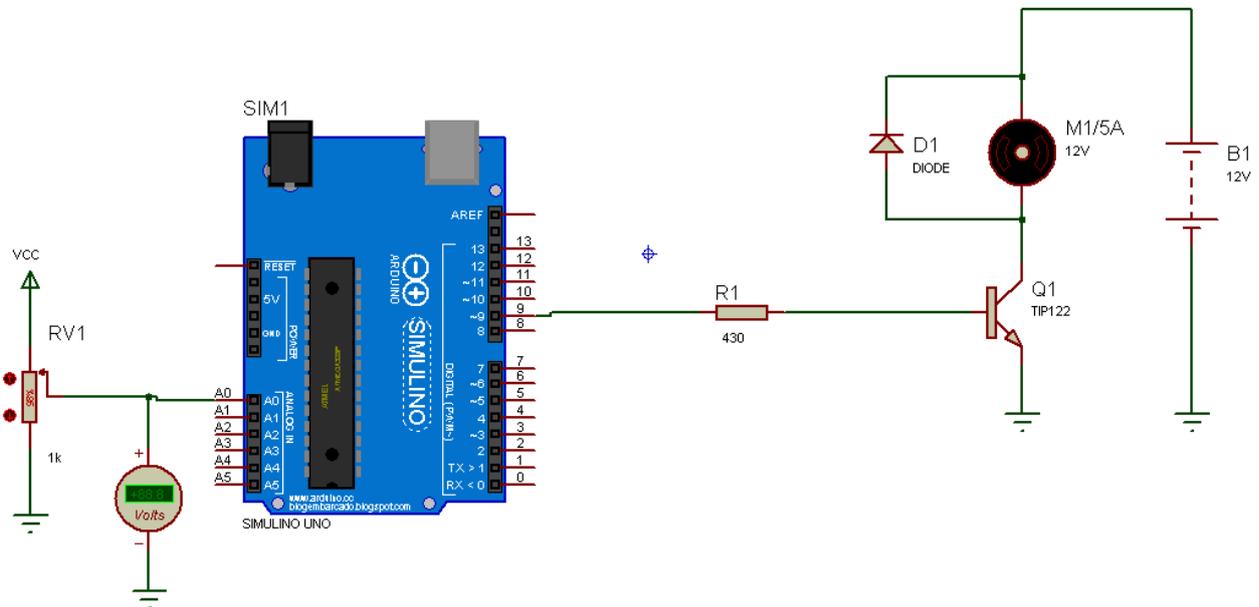


## Reforçador de CC para microcontroladores.

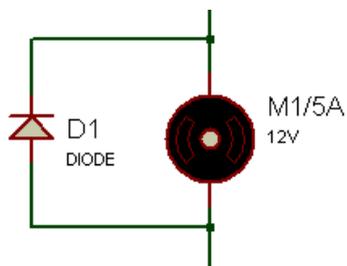
7

O circuito de saída é alimentado por uma fonte B1 de 12V.

No circuito da figura o seu trabalho será determinar o resistor R1 e o transistor!



Observe o diodo colocado em paralelo com o motor! Este diodo é montado invertido com o catodo para o positivo, e serve como supressor de ruído evitando que apareçam tensões elevadas quando o motor é desligado, se você esquecer este diodo o transistor e até mesmo o microcontrolador pode queimar.



Note que no circuito você deve ligar o ponto de 0V da alimentação do microcontrolador com o ponto de 0V do circuito de saída, neste caso a bateria. Com os pontos de 0V interconectados o circuito de entrada e de saída não estão isolados, se o transistor entrar em curto o microcontrolador pode queimar!

### Como determinar o transistor.

Você determina o transistor em função da tensão da carga e corrente da carga.

Os transistores usados nestes exemplos são do tipo NPN, transistores do tipo PNP também poderiam ser usados, mas este é assunto para outro tutorial.

As tensões dos exemplos deste tutorial podem variar de 5V a 40V e a corrente máxima será de 5A.

Para escolher o transistor você deverá saber a tensão e a corrente da carga, com os dados da carga você vai no manual do transistor e procura um tipo com a tensão máxima e corrente máxima maior do que a carga.

Você pode usar a tabela abaixo para a escolha dos transistores mais comuns no mercado!

Corrente na carga	Tensão	Tipo de transistor	Ganho Beta
<30 mA	<40V	BC546, BC547, BC548	100
< 100mA	<40V	BC237, BC238, BC239	100
< 500 mA	<40V	BC337, BC338	100
< 5A	<60V	TIP120, TIP121, TIP122	1000

Na prática você irá dar preferência para os transistores do tipo TIP 12x, estes são transistores do tipo Darlington com um ganho de 1000, e podem ligar cargas de até 5A.

Para correntes menores do que 500mA você pode escolher o BC337 se o custo ou o tamanho do TIP122 for um problema.

O BC547 só é usado para circuitos muito pequenos como acionamento de diodos LED e pequenos relês!

Determinando o valor de R1 usando a técnica saturação forte.

Agora que você já sabe escolher o transistor você verá como determinar o valor do resistor R1 usando a técnica saturação forte.

O resistor R1 deverá limitar a corrente de base em 10mA, que é a corrente máxima na saída do microcontrolador.

Sabendo a corrente de base e a tensão na saída no microcontrolador é possível calcular o valor do resistor R1.

Neste cálculo a tensão VBE foi considerada de 0,7V, para o TIP120, TIP121 e TIP122 esta tensão é um pouco maior, mas para simplificar você pode manter o mesmo valor de resistor.

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{5V - 0,7V}{10mA} = 430\Omega$$

O valor comercial mais próximo é 470 Ohm!

Você irá usar este valor em todos os circuitos, simples assim!

### Exemplos de circuitos reforçadores não isolados.

A seguir serão mostrados vários circuitos que servirão como exemplos para serem usados como reforçador em circuitos com microcontroladores.

O microcontrolador usado nos exemplos é um Arduino, mas você pode usar qualquer outro com tensão de saída de 5V.

Nos circuitos exemplos serão usados motores como carga com tensão de 12V e máxima corrente para cada circuito exemplo!

## Circuitos para correntes até 5A.

Para correntes até 5A o transistor mais usado é o TIP122 irmão do TIP 121 e do TIP120.

Você pode usar qualquer um deles, o que muda entre um tipo e outro é a tensão de trabalho, como mostra a tabela abaixo.

No manual ele pode ser usado até 5A, na prática acima de 3A vai precisar de um dissipador.

**ON Semiconductor**®



### Plastic Medium-Power Complementary Silicon Transistors

... designed for general-purpose amplifier and low-speed switching applications.

- High DC Current Gain —  
 $h_{FE} = 2500$  (Typ) @  $I_C = 4.0$  Adc
- Collector-Emitter Sustaining Voltage — @ 100 mAdc  
 $V_{CE(sus)} = 60$  Vdc (Min) — TIP120, TIP125  
 $= 80$  Vdc (Min) — TIP121, TIP126  
 $= 100$  Vdc (Min) — TIP122, TIP127
- Low Collector-Emitter Saturation Voltage —  
 $V_{CE(sat)} = 2.0$  Vdc (Max) @  $I_C = 3.0$  Adc  
 $= 4.0$  Vdc (Max) @  $I_C = 5.0$  Adc
- Monolithic Construction with Built-In Base-Emitter Shunt Resistors
- TO-220AB Compact Package

**\*MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	TIP120, TIP125	TIP121, TIP126	TIP122, TIP127	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	60	80	100	Vdc
Collector-Base Voltage	$V_{CB}$	60	80	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EB}$	5.0			Vdc
Collector Current — Continuous Peak	$I_C$	5.0 8.0			Adc
Base Current	$I_B$	120			mA
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	65 0.52			Watts W/ $^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	2.0 0.016			Watts W/ $^\circ\text{C}$
Unclamped Inductive Load Energy (1)	$E$	50			mJ
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-65 to +150			$^\circ\text{C}$

**THERMAL CHARACTERISTICS**

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.92	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	$^\circ\text{C/W}$

(1)  $I_C = 1$  A,  $L = 100$  mH, P.R.F. = 10 Hz,  $V_{CC} = 20$  V,  $R_{BE} = 100 \Omega$ .

**NPN**  
**TIP120\***  
**TIP121\***  
**TIP122\***  
**PNP**  
**TIP125\***  
**TIP126\***  
**TIP127\***

\*ON Semiconductor Preferred Device

**DARLINGTON**  
**5 AMPERE**  
**COMPLEMENTARY SILICON**  
**POWER TRANSISTORS**  
**60-80-100 VOLTS**  
**65 WATTS**

STYLE 1:  
 PIN 1. BASE  
 2. COLLECTOR  
 3. EMITTER  
 4. COLLECTOR

**CASE 221A-09**  
**TO-220AB**

O diferencial deste transistor é que ele é do tipo Darlington, isto é, são dois transistores montados dentro do invólucro, de forma que o ganho de corrente Beta é da ordem de 1000, muito alto, assim fica fácil polarizá-lo!

O TIP122 você também deve sempre ter na caixa de componentes.

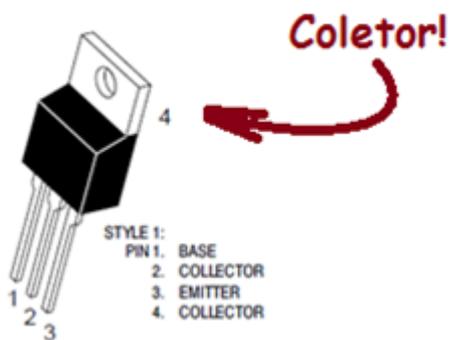
Um detalhe importante neste tipo de transistor é que o coletor está ligado eletricamente no dissipador metálico do invólucro!

Você deve pensar neste transistor como primeira opção para montar um circuito reforçador!

**Corrente de carga <5A**

**Ganho 1000**

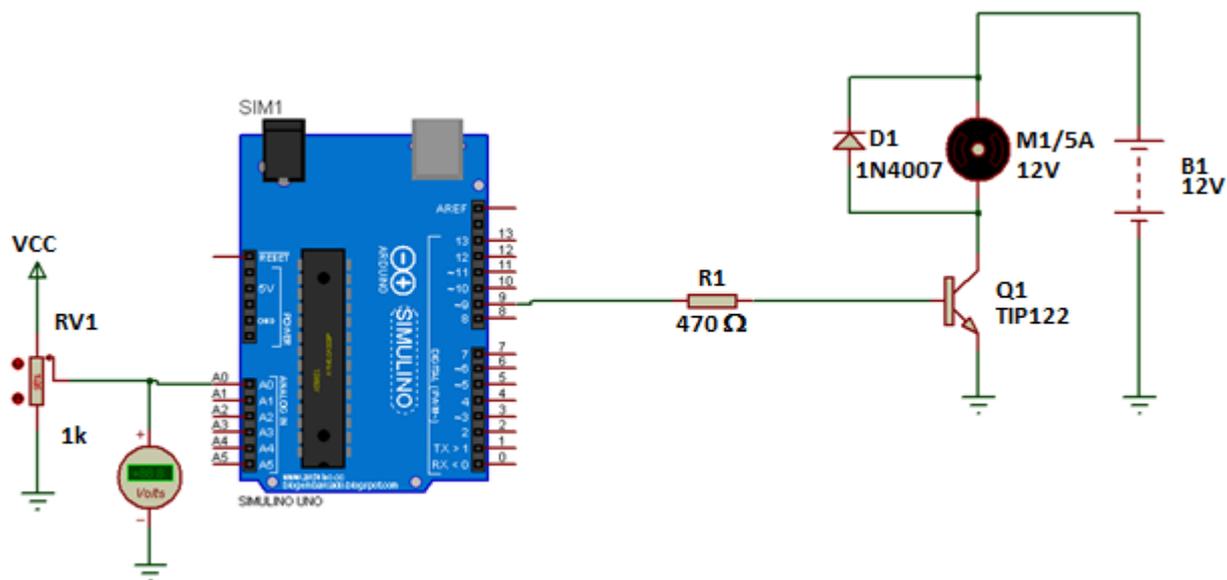
**TIP 120/ TIP121/ TIP 122**



### \*MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TIP120,	TIP121,	TIP122,	Unit
Collector–Emitter Voltage	$V_{CEO}$	60	80	100	Vdc

O circuito é mostrado abaixo.

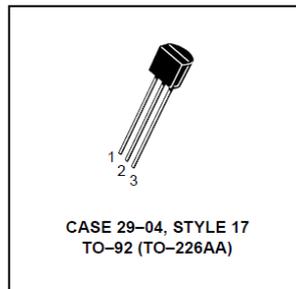
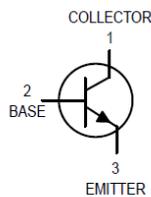


## Circuito para correntes até 500mA.

Para correntes de até 500mA você pode montar o circuito na configuração Darlington com um BC547 e um BC337, o ganho total fica em torno de 1000!

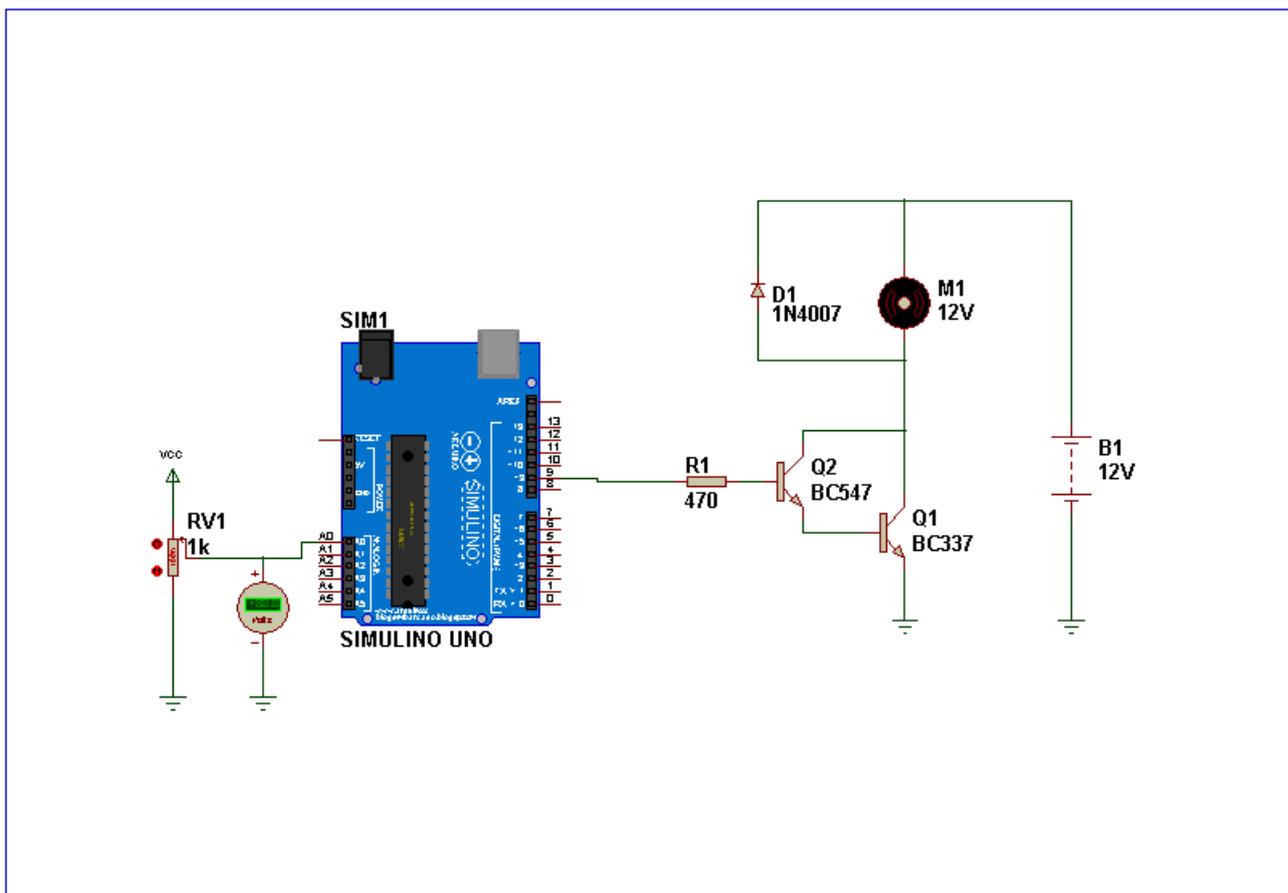
Observe que a tensão VCE neste tipo de configuração nunca vai ser menor do que 0,7 V, o que indica que o transistor nesta configuração na realidade não satura!

**BC337,-16,-25,-40**  
**BC338,-16,-25,-40**



### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC337	BC338	Unit
Collector-Emmitter Voltage	V <sub>CEO</sub>	45	25	Vdc

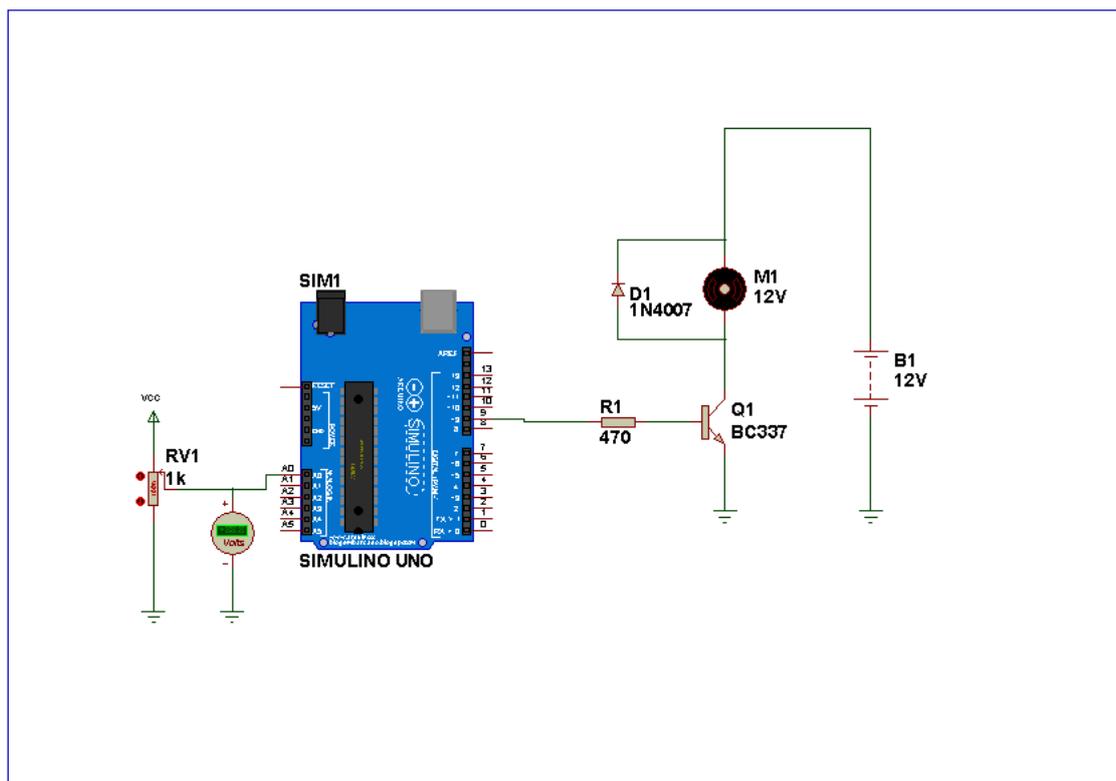


Você pode montar o circuito somente com um o transistor BC337.

O ganho deste transistor é da ordem de 100.

A saturação não é forte como no caso do circuito em Darlington mostrado antes, por isto, este circuito é mais aconselhável para correntes de carga de cargas menores do que 200mA!

O circuito é mostrado abaixo!

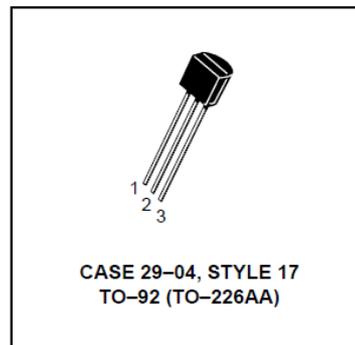
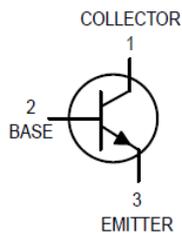


Circuito de baixa potência correntes de cargas menores do que 100mA.

Este circuito usa o transistor BC547, mas você poderia usar um BC546 ou BC548.

Todo mundo tem estes transistores na gaveta.

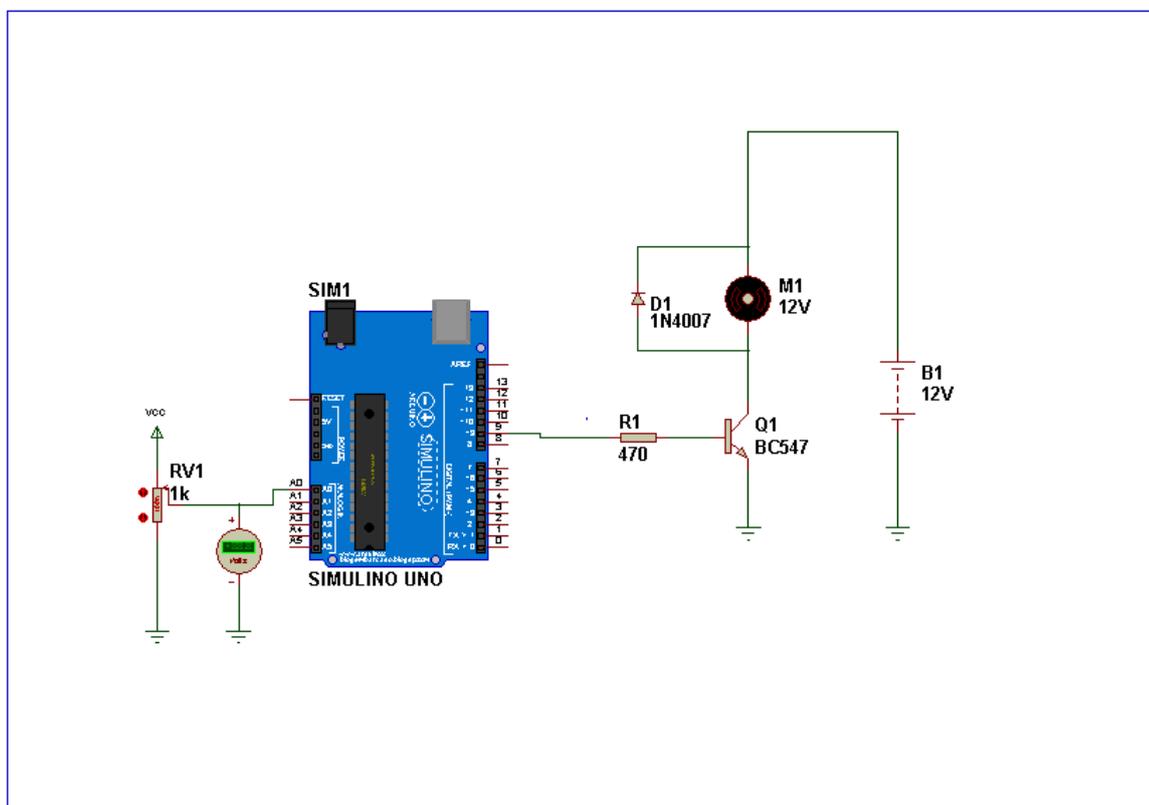
**BC546, B**  
**BC547, A, B, C**  
**BC548, A, B, C**



**MAXIMUM RATINGS**

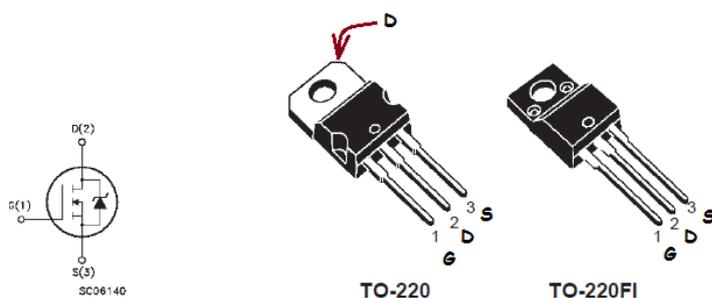
Rating	Symbol	BC 546	BC 547	BC 548	Unit
Collector–Emitter Voltage	V <sub>CEO</sub>	65	45	30	Vdc

O circuito é mostrado abaixo.



## MOSFET em circuitos de altas correntes

Para circuitos de correntes maiores do que 3A a melhor opção é usar um MOSFET, o mais popular é o IRF540.



**IRF 540**

Um MOSFET é um transistor mais moderno que o transistor de junção, este tipo de transistor tem duas grandes vantagens.

- O circuito de entrada é de alta impedância, praticamente não exige corrente, você só precisa se preocupar com a tensão de polarização.
- O MOSFET já possui no circuito de saída um diodo reversamente polarizado que pode ser usado como diodo supressor de ruído elétrico.

Para ligar o MOSFET você deve aplicar uma tensão de polarização entre o gate o source ( $V_{GS}$ ) igual ou maior do que a tensão de chaveamento ( $V_{GS(TH)}$ ).

A figura mostra a linha do manual que mostra a tensão de chaveamento, que em inglês é chamado “Threshold Voltage”.

A tabela é para o transistor IRF540!

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS} \quad I_D = 250 \mu A$	2	3	4	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-source On Resistance	$V_{GS} = 10V \quad I_D = 15 A$		0.05	0.077	$\Omega$
$I_{D(on)}$	On State Drain Current	$V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)max}$ $V_{GS} = 10 V$	30			A

Você também deve cuidar para não aplicar no circuito do gate  $V_{GS}$  uma tensão mais alta do que 20V.

A figura mostra os parâmetros máximos, note que a corrente máxima de saída é de 30A, na prática este tipo de transistor é utilizado com correntes até 15A, na maioria das aplicações com dissipador.

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

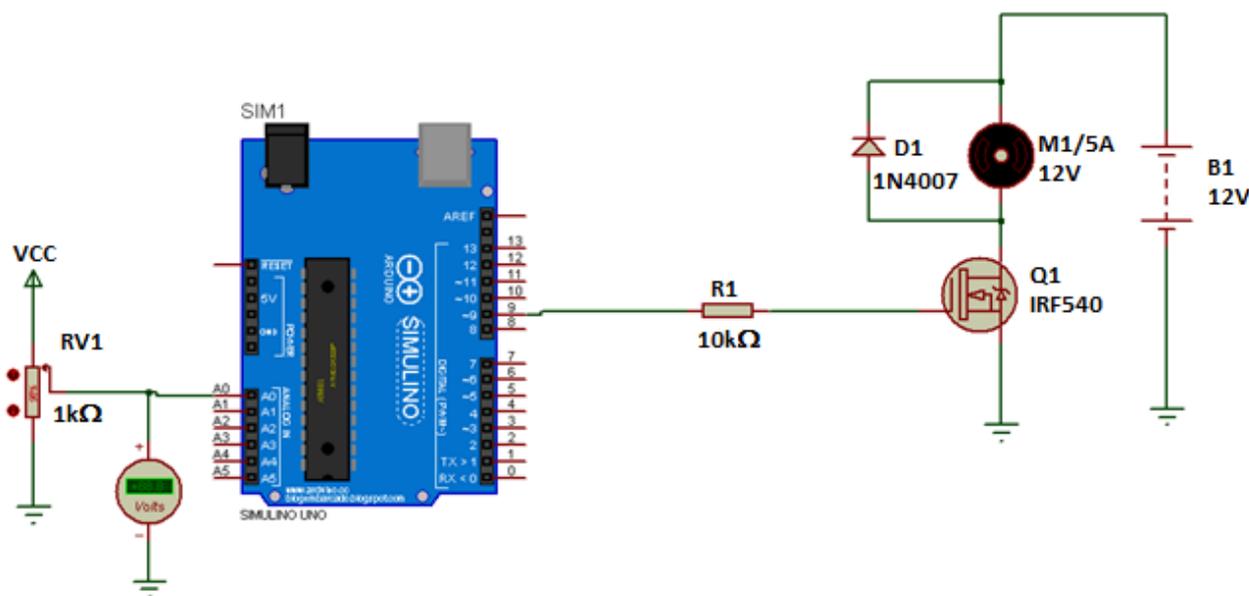
Symbol	Parameter	Value		Unit
		IRF 540	IRF540 FI	
$V_{DS}$	Drain-source Voltage ( $V_{GS} = 0$ )	100		V
$V_{DGR}$	Drain- gate Voltage ( $R_{GS} = 20\text{ k}\Omega$ )	100		V
$V_{GS}$	Gate-source Voltage	$\pm 20$		V
$I_D$	Drain Current (continuous) at $T_c = 25\text{ }^\circ\text{C}$	30	17	A
$I_D$	Drain Current (continuous) at $T_c = 100\text{ }^\circ\text{C}$	21	12	A
$I_{DM}(\bullet)$	Drain Current (pulsed)	120	120	A
$P_{tot}$	Total Dissipation at $T_c = 25\text{ }^\circ\text{C}$	150	45	W
	Derating Factor	1	0.3	W/ $^\circ\text{C}$
Viso	Insulation Withstand Voltage (DC)	-	2000	V
$T_{stg}$	Storage Temperature	-65 to 175		$^\circ\text{C}$
$T_j$	Max. Operating Junction Temperature	175		$^\circ\text{C}$

(\*) Pulse width limited by safe operating area

(1)  $I_{SD} \leq 30\text{ A}$ ,  $di/dt \leq 200\text{ A}/\mu\text{s}$ ,  $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  $T_j \leq T_{JMAX}$

O circuito é mostrado abaixo, em série com o gate deve colocar um resistor, na prática o valor de 10k é o mais usado, neste tipo de transistor a corrente de gate é praticamente zero, por isto o valor do resistor não é tão importante quanto no transistor bipolar.

O circuito é mostrado abaixo!

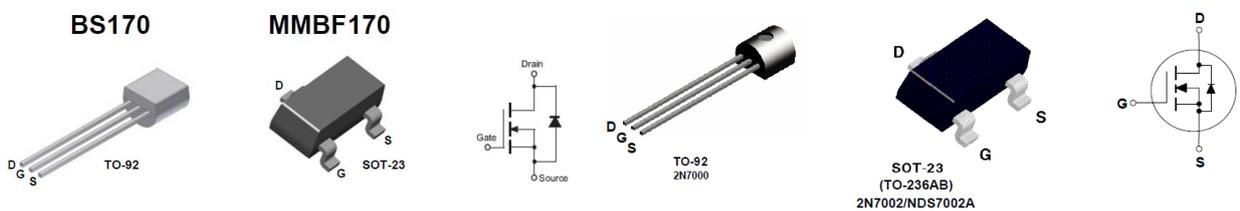


## MOSFET para circuitos de baixa potência.

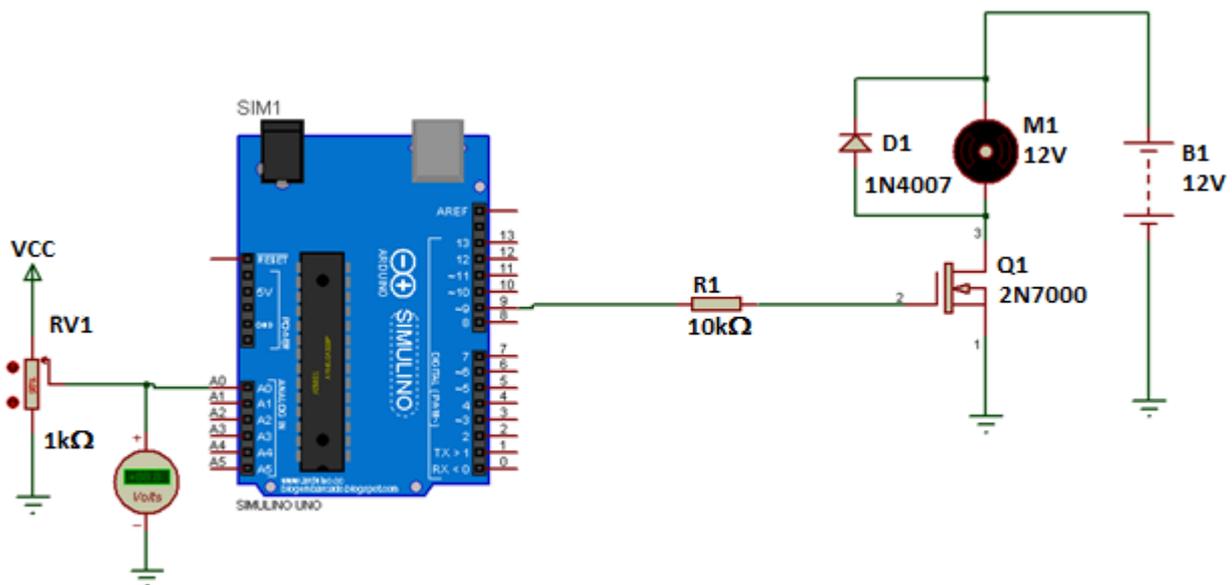
Você também pode usar um MOSFET para circuitos de baixa potência com a vantagem de não precisar calcular a resistência de gate.

O MOSFET mais comum para este tipo de aplicação é o BS170 equivalente ao 2N7000 que trabalha bem até 500mA!

A tensão de threshold é de 3V!



O circuito é mostrado abaixo.



### Exemplo de circuito reforçador isolado.

A principal característica do circuito isolador é não ter o ponto comum entre o circuito de alimentação do microcontrolador e o circuito de potência.

O componente mais comum para isolar eletricamente o circuito do microcontrolador com a potência é o opto-acoplador.

O relê também pode ser considerado um circuito isolador, mas é tratado em separado neste trabalho por ser um componente eletromecânico.

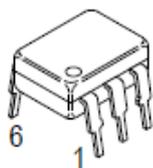
## Circuito reforçador isolador com opto-acoplador.

O opto-acoplador é composto por um LED e um fototransistor montados dentro do mesmo invólucro e o sinal é acoplado através da luz.

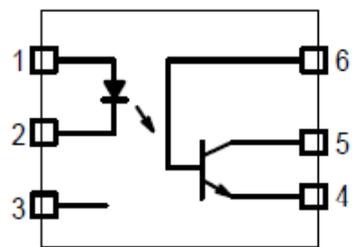
A isolação elétrica entre o LED e o transistor é maior do que 1000VCC!

A corrente do LED deve ser de 10mA para não danificar a saída do microcontrolador.

Um valor prático para o resistor de limite de corrente do LED é 470 Ohms, o mesmo valor usado para o acionamento do transistor bipolar!



- 1 Anodo
- 2 Catodo
- 3 N.C
- 4 Emissor
- 5 Coletor
- 6 Base

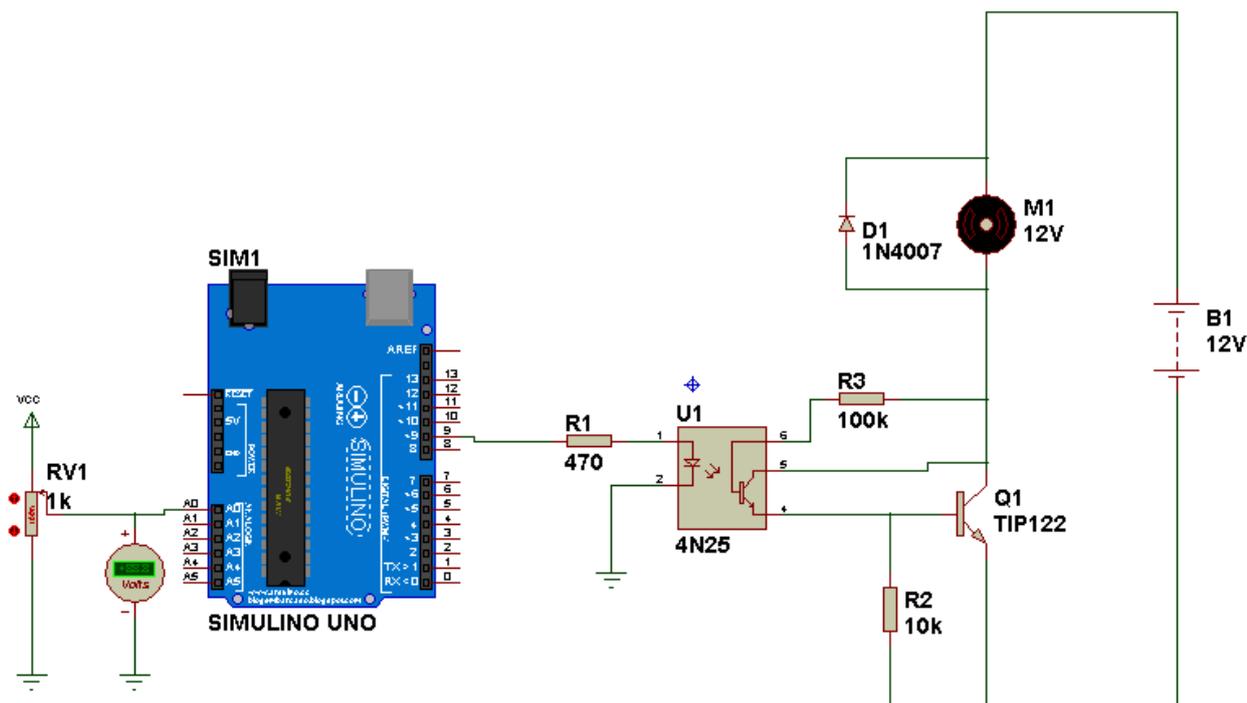


LED → LUZ → Fototransistor

O circuito é mostrado abaixo, o transistor do opto-acoplador deve ser ligado como o primeiro transistor da configuração Darlington.

A vantagem do circuito opto-acoplado é que não existe um ponto comum entre o circuito de saída e o circuito do microcontrolador, desta forma, mesmo que o transistor TIP122 entre em curto o microcontrolador não queima!

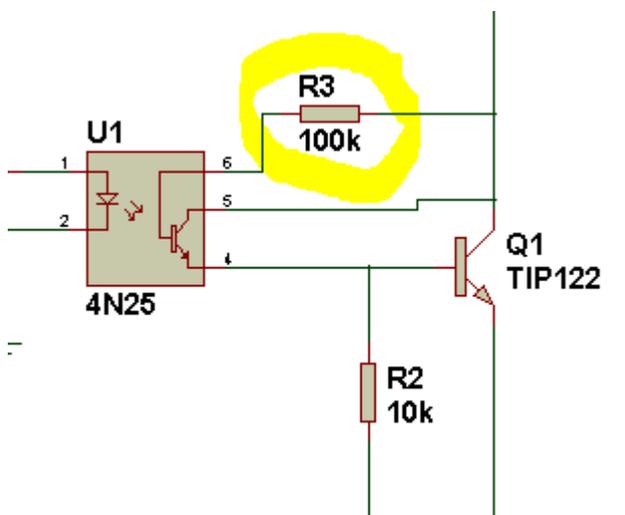
O circuito é mostrado abaixo.



### Por que o capacitor C1 e o resistor R2?

O pino 6 do opto-acoplador está ligado a base do fototransistor, este pino pode ser usado para diminuir a sensibilidade do transistor evitando o acionamento devido a ruído elétrico para isto você pode colocar um resistor com o valor entre 100K Ohm e 1Mohm, mas, se não usar o resistor use um capacitor para evitar disparos indesejáveis.

O resistor R2 serve para desligar o transistor Q1 mais rápido, você pode imaginar a junção base emissor como um pequeno capacitor, por isto precisa ser descarregado, principalmente em circuitos do tipo PWM!



### Circuito reforçador isolador com relê.

Para ativar o relê você deve ligar uma fonte de energia elétrica a bobina com a tensão especificada pelo fabricante.

A corrente na bobina também é fornecida pelo fabricante. Se a corrente não for fornecida você pode chegar a uma boa aproximação medindo com o Ohmímetro a resistência da bobina, com este valor você pode avaliar a corrente para ligar a bobina!

Observe que o fabricante também informa a corrente e a isolação permitida para os contatos de saída.

Para acionamento direto do microcontrolador o relê deve ser de 5VCC, este tipo de relê tem baixo consumo e dimensões pequenas sendo usado para aplicações de baixa potência.

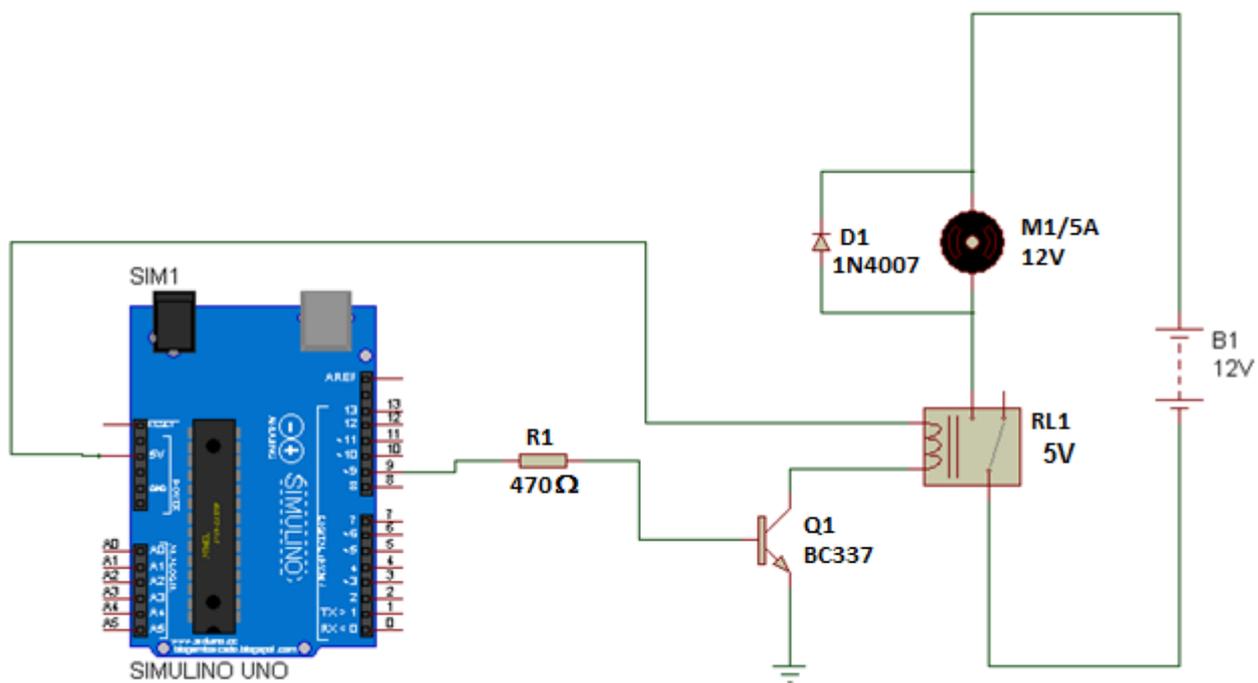
Um dos módulos mais comuns é mostrado abaixo, note que a corrente da bobina é maior do que 10mA, então, você deve usar um reforçador para acioná-la usando a alimentação de 5VDC do Arduino para alimentar o relê.

Alguns shields já vem com o transistor montado na placa!

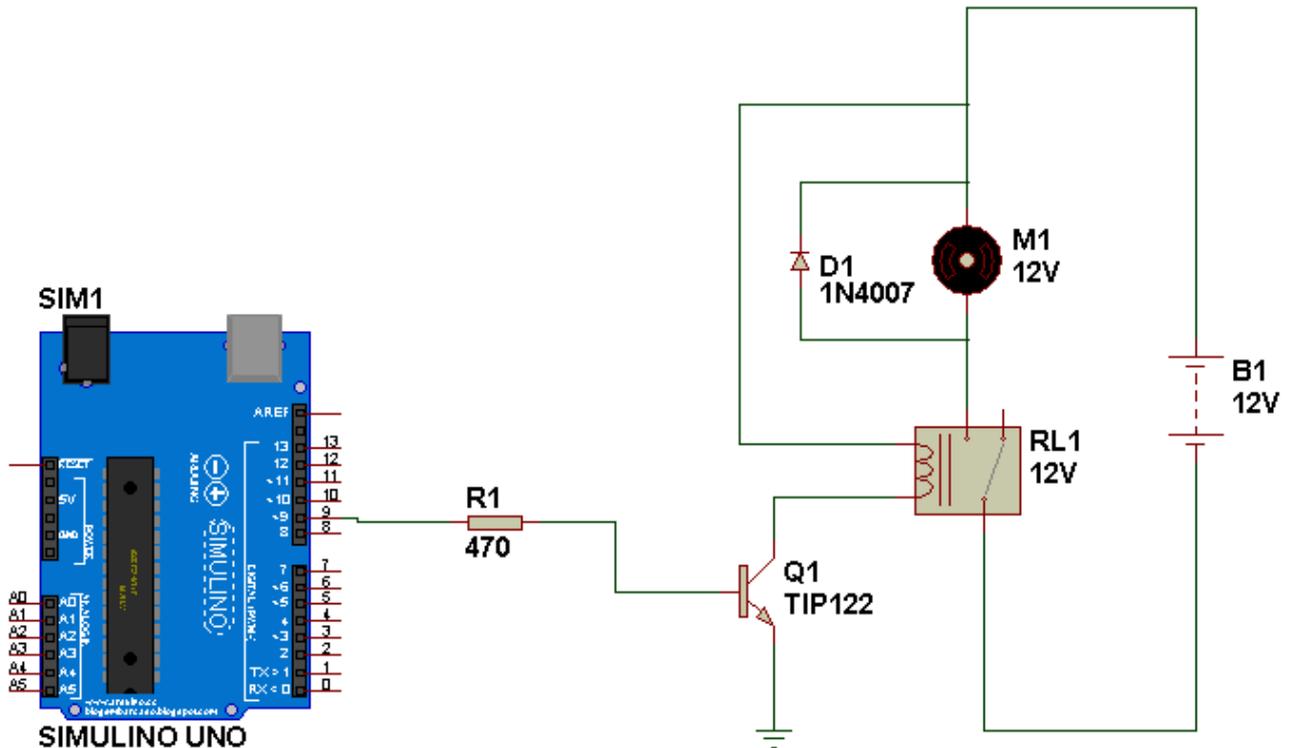


- Tipo: Digital
- Placa com apenas um relê e todo seu circuito de driver
- Sinal de controle: Nível TTL
- Bobina: 5VDC 75mA
- Carga nominal do relê: 12A 125VAC , 7A 250VAC
- Carga nominal do módulo: 10A
- Tempo de acionamento de contato: 10ms

O circuito de acionamento com o reforçador é mostrado abaixo usando o Arduino. O circuito é mostrado abaixo.



Você pode usar qualquer dos circuitos reforçadores já estudados, inclusive para acionar relês de tensão de bobina acima de 5V!



### Conclusão.

Você viu neste tutorial como montar um circuito reforçador usando transistores, opto-acopladores e relês para acionar cargas com potências maiores do que a da placa do microcontrolador!

Sites: [www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

SEO: [www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com), eletrônica, tutorial, microcontrolador, Arduino, transistor como chave, relê, optoacoplador.