

Introdução a Engenharia Elétrica - 323100

Aula S4

Módulo 3 – GPIO como saídas digitais

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamentos da Engenharia Elétrica



PCS Computação e Sistemas Digitais

PEA Energia e Automação Elétricas

PSI Sistemas Eletrônicos

PTC Telecomunicações e Controle

V1.4

Agosto de 2016



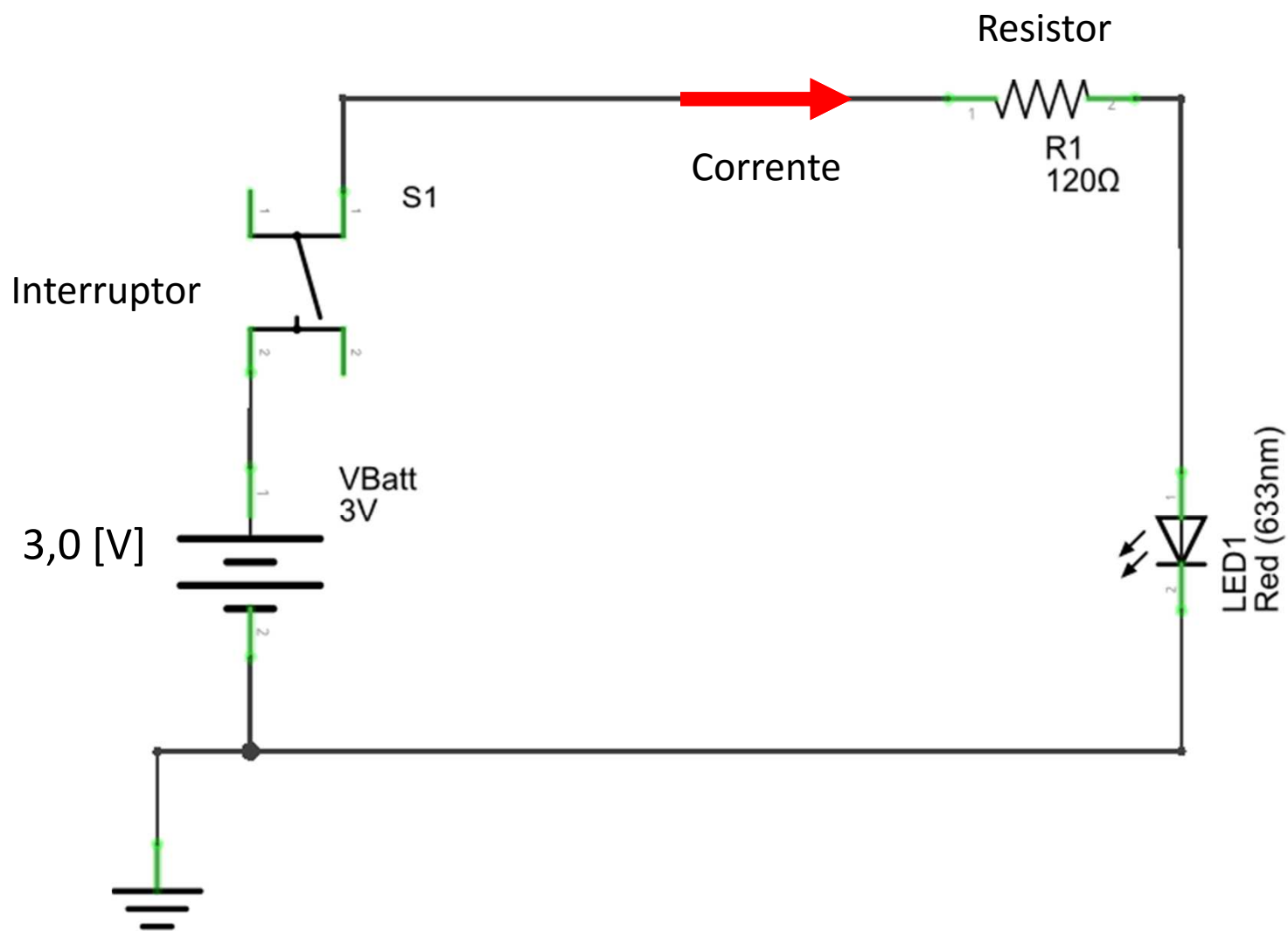
Sumário

- 1. Medidas de corrente e potência elétrica.**
2. Recapitulando GPIO e limites operacionais.
3. Acionamento de LEDs e uso do Fritzing.
4. Acionamento de cargas de maior potência.



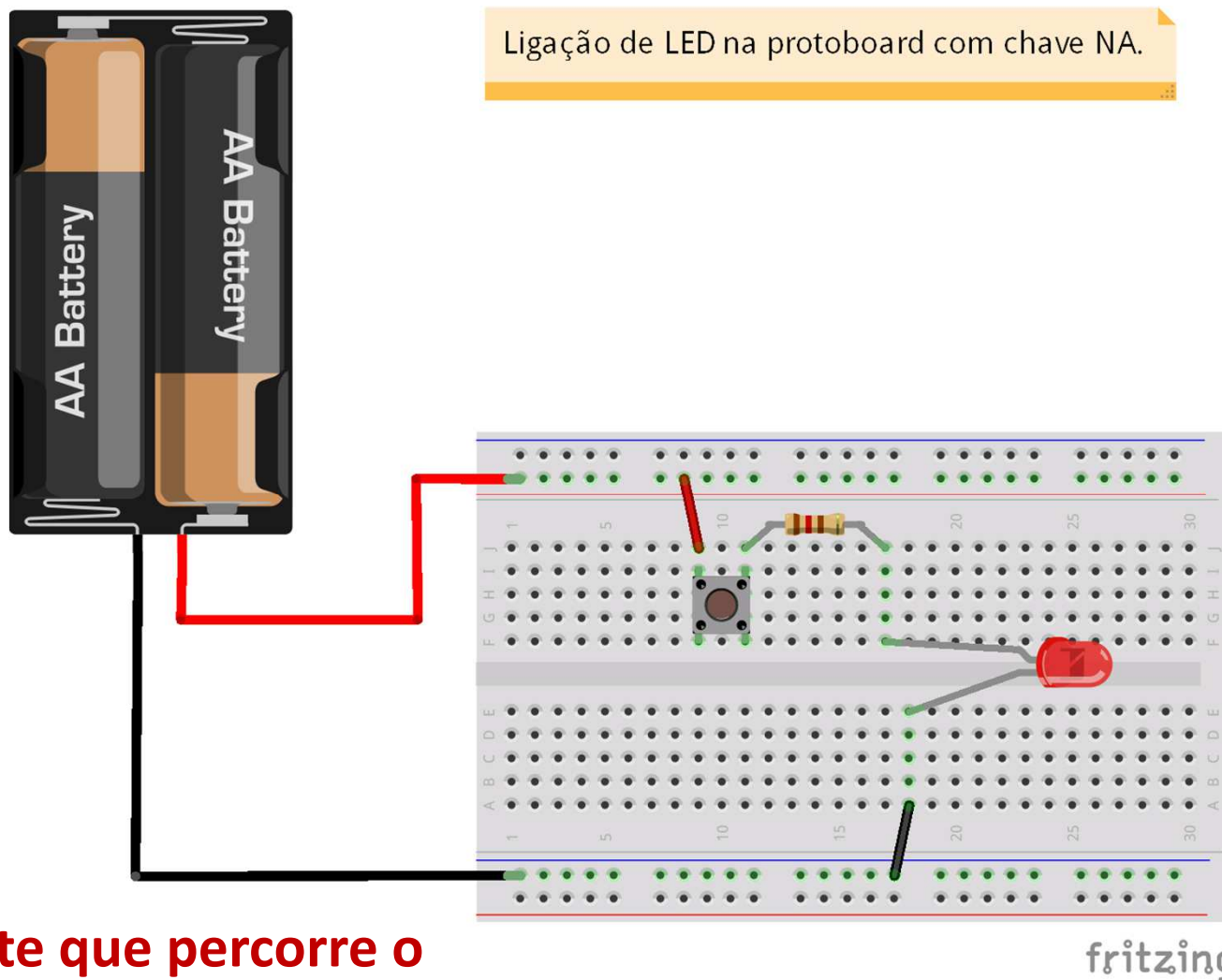
Recapitulando: Circuito de alimentação do LED

- Monte o circuito na protoboard mais uma vez.





Montando em protoboard de mercado



Qual a corrente que percorre o circuito elétrico quando o botão é pressionado?



Uso do multímetro como amperímetro

- Deve-se selecionar a função amperímetro (em corrente contínua) no painel do instrumento.
- Pode ser necessário alterar o borne onde está ligada a ponta de prova vermelha, para o borne onde está indicado [A] ou [mA].



Amperímetro de alicate, para uso específico em circuitos de corrente alternada

Escalas de medição de corrente

Bornes para ponta de prova vermelha, no caso de medição de corrente



Espera! Não tente medir

corrente com o multímetro na função amperímetro AINDA !!!!





Cuidados na função amperímetro

- Nessa função, o multímetro praticamente conecta, uma ponta de prova, à outra.
- Há continuidade elétrica direta entre as duas pontas de prova, como um circuito de baixíssima resistência.



- **CUIDADO:** Um amperímetro, se ligado inadvertidamente em quaisquer partes de um circuito, pode ocasionar um curto-circuito!!!





Como ligar um amperímetro em um circuito?

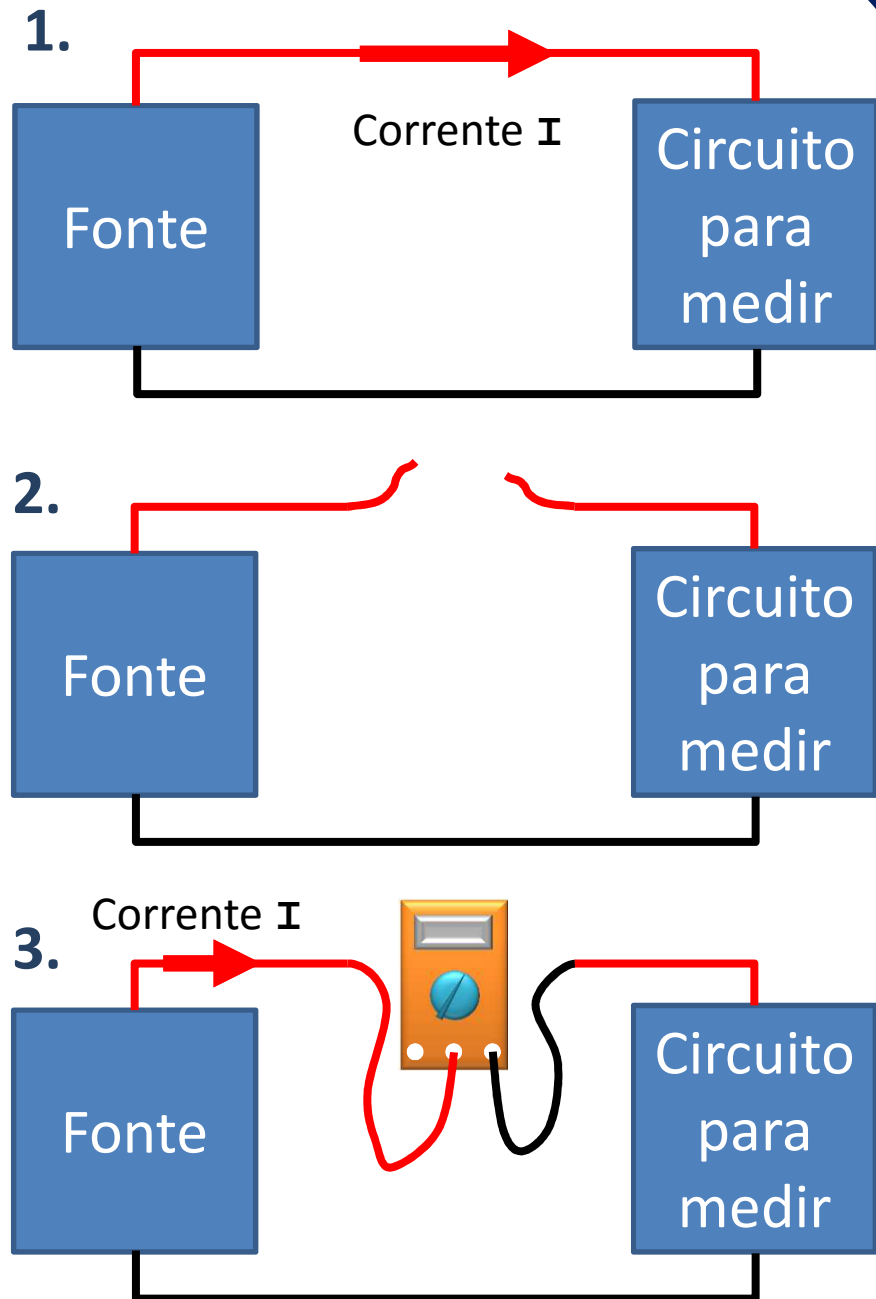
Passos:

1. Temos um circuito que precisa ter medida sua corrente elétrica.
2. O circuito original precisa ser interrompido.
3. Nos pontos de interrupção, colocam-se as pontas de prova vermelha e preta do amperímetro, completando o circuito original.

O amperímetro é ligado em série com o circuito a ser medido.

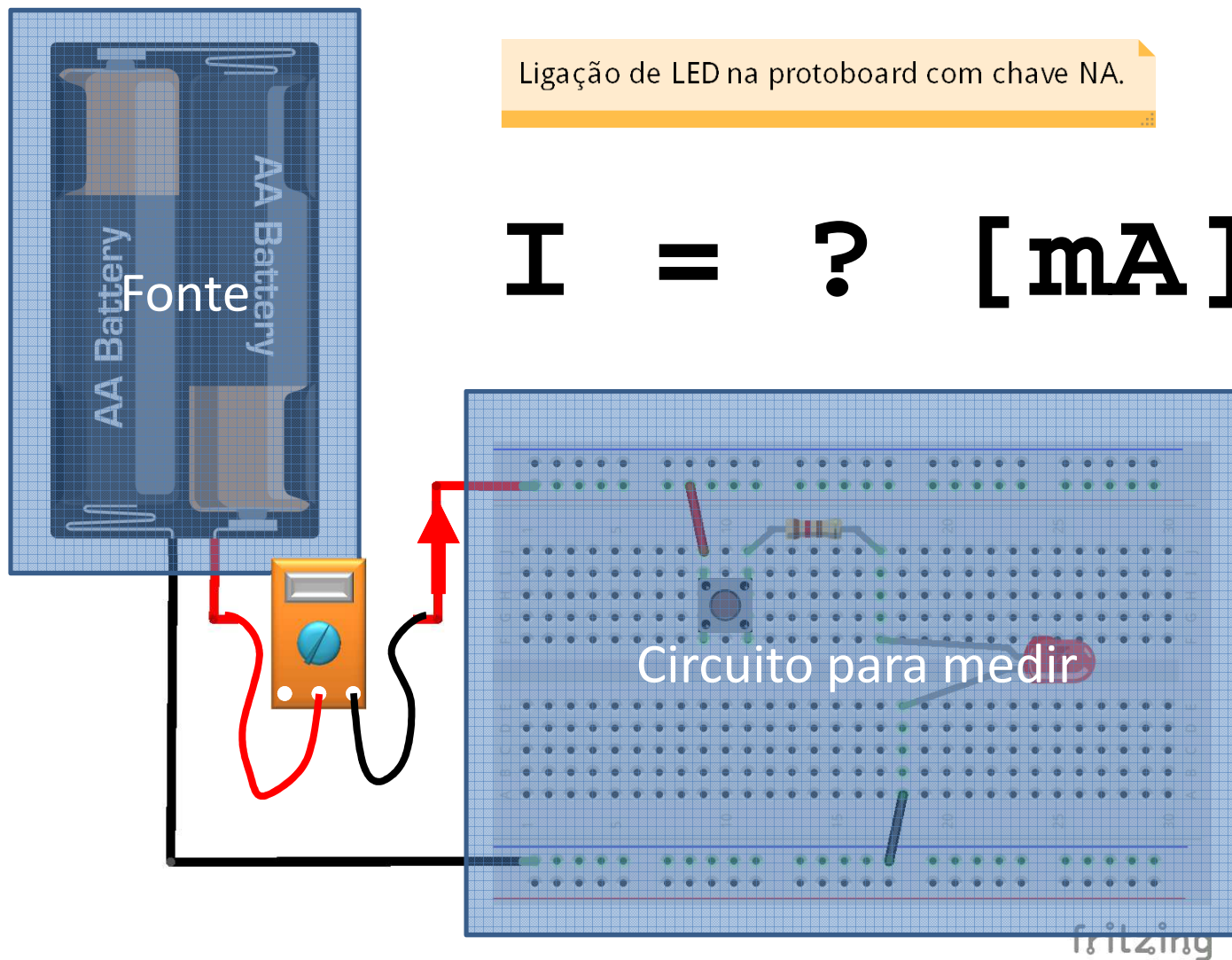


Boa prática: desligue seu circuito antes de fazer qualquer mudança!!





Meça a corrente elétrica consumida pelo LED.



Coloque o multímetro com amperímetro em série com o circuito a ser medido. Use a escala em [mA].



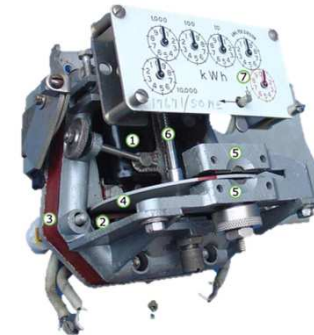
Medida de potência elétrica

- Existem medidores de potência elétrica ou energia elétrica, sobretudo para uso em circuitos alimentados em corrente alternada.
- Para circuitos em corrente contínua, a potência elétrica pode ser calculada pelo produto do valor da tensão e da corrente elétrica consumidas pelo circuito.

$$P = V \cdot I$$

Medidores residenciais de energia elétrica

$$E = \int P(t) dt$$



Alicate wattímetro eletrônico

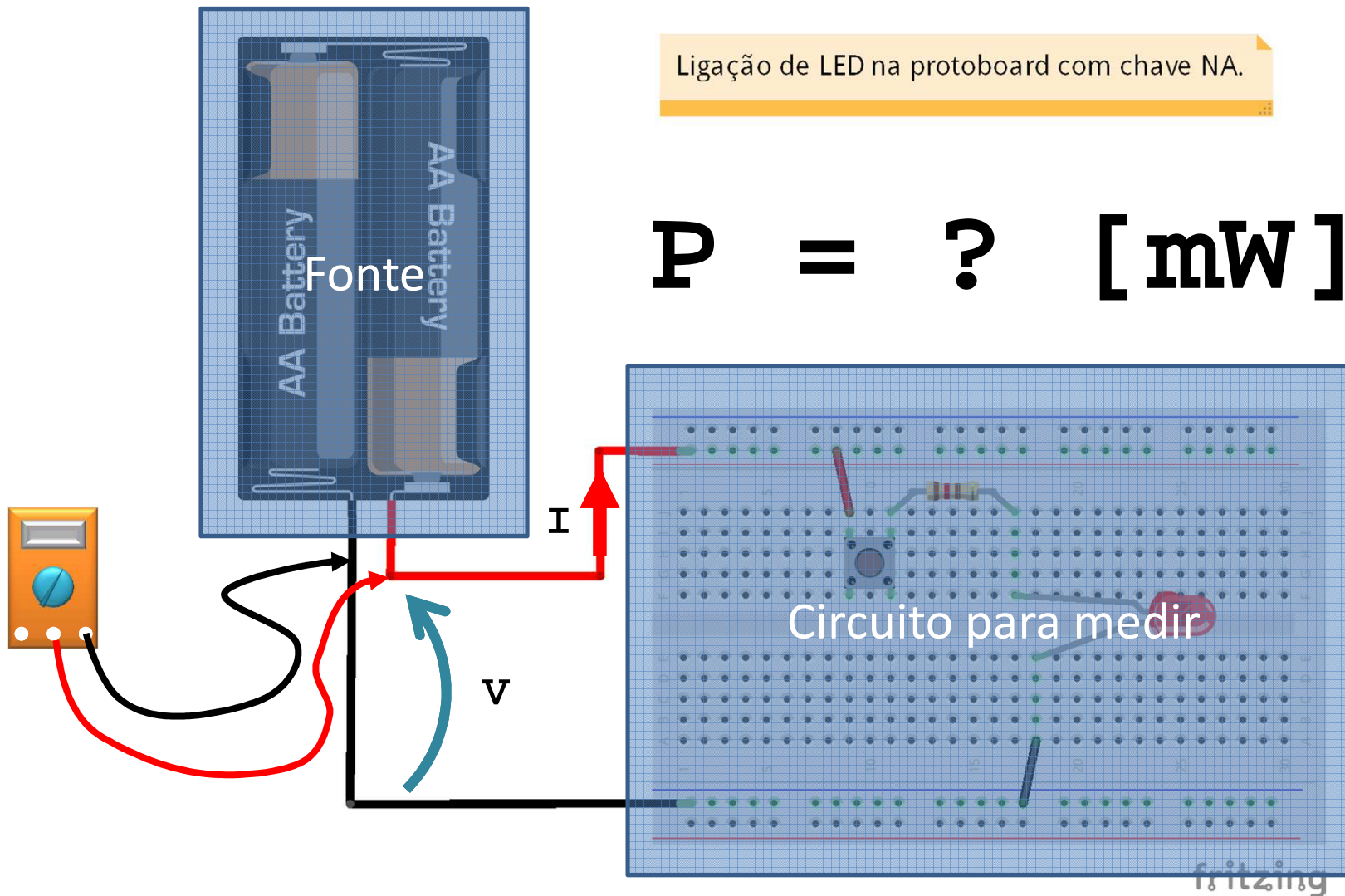




Calcule a potência elétrica do seu circuito

Ligação de LED na protoboard com chave NA.

$$P = ? \text{ [mW]}$$



ATENÇÃO: Não se esqueça de também medir a tensão da fonte com o multímetro. **SEMPRE** desconecte o multímetro do circuito ao trocar suas funções.

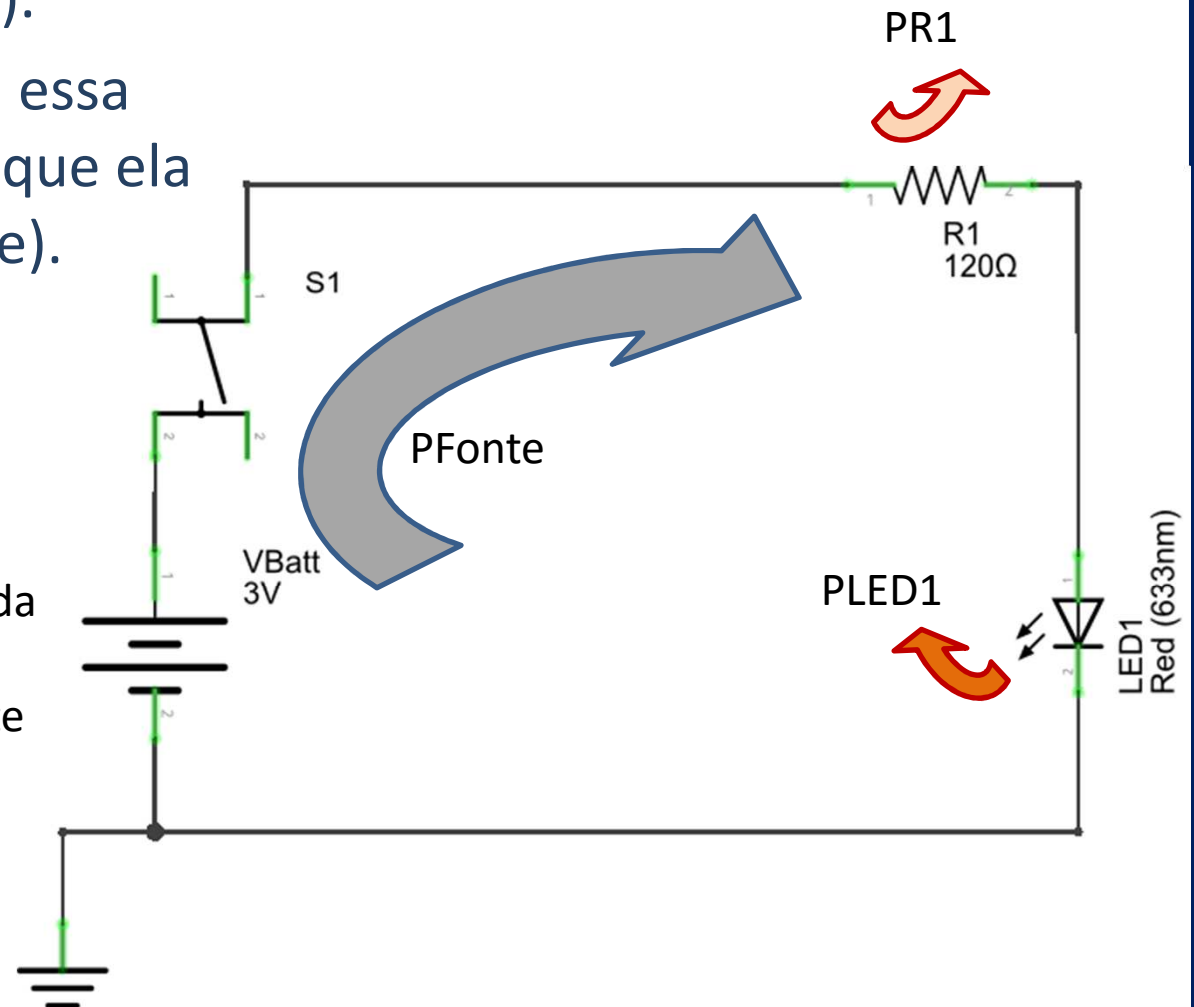




Observações importantes do circuito do LED

1. A potência elétrica é proveniente da fonte de energia (P_{Fonte}).
2. A potência da fonte é convertida, parte em luz no LED (P_{LED}), parte em calor no resistor (P_{Res}).
3. O elemento que manipula essa potência (permite ou não que ela flua) é o interruptor (chave).

A potência se conserva:
 $P_{\text{Fonte}} = P_{\text{R1}} + P_{\text{LED1}}$



Curiosidade: Apenas de 4 a 18% da potência elétrica consumida pelo LED torna-se luz visível. O restante torna-se calor ou potência luminosa não visível. Para uma lâmpada incandescente esse número é de cerca de 2%.

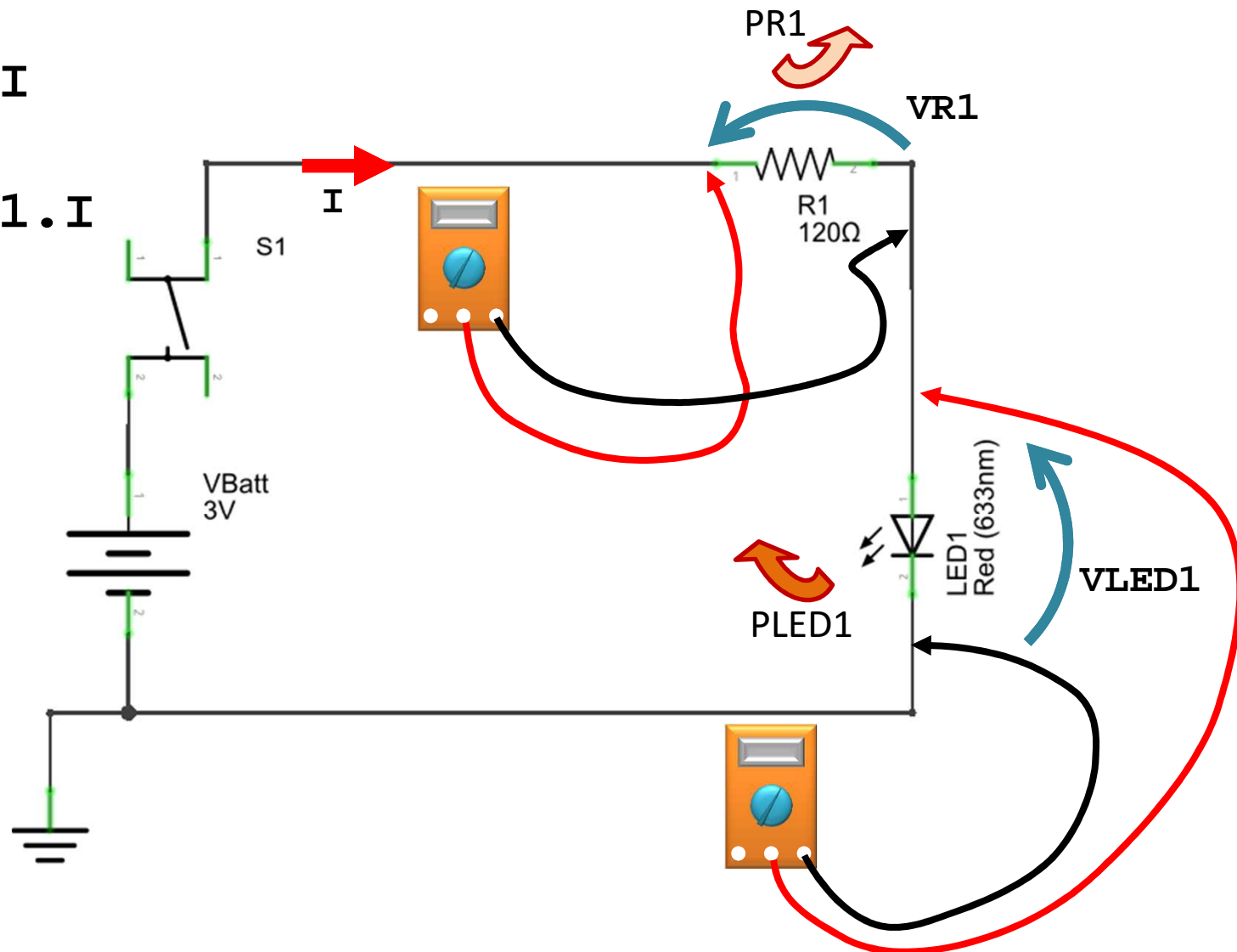


Outras observações

- Para calcular a potência individual do resistor ou do LED, a corrente é a mesma medida anteriormente, mas você deve saber a tensão em cada componente individual, medindo com um voltímetro.

$$PR1 = VR1 \cdot I$$

$$PLED1 = VLED1 \cdot I$$





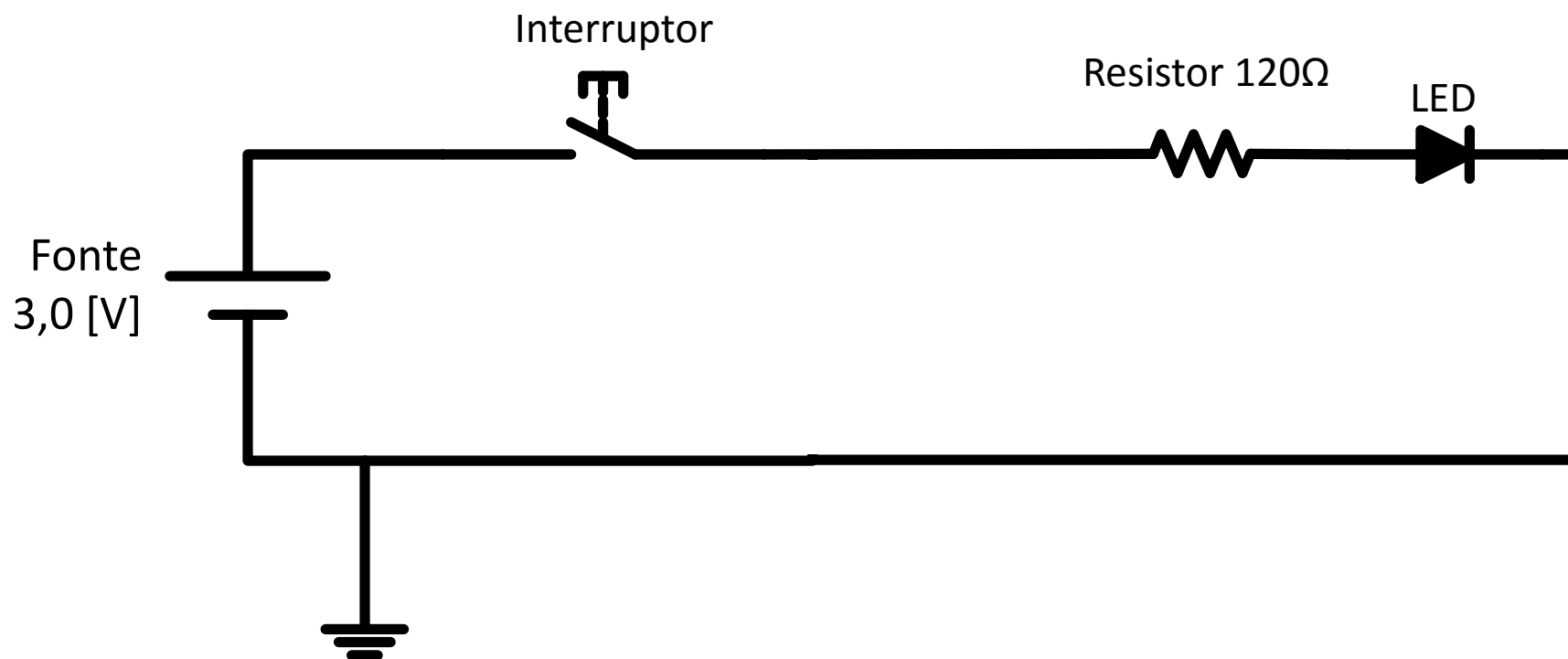
Sumário

1. Medidas de corrente e potência elétrica.
- 2. Recapitulando GPIO e limites operacionais.**
3. Acionamento de LEDs e uso do Fritzing.
4. Acionamento de cargas de maior potência.



Recapitulando

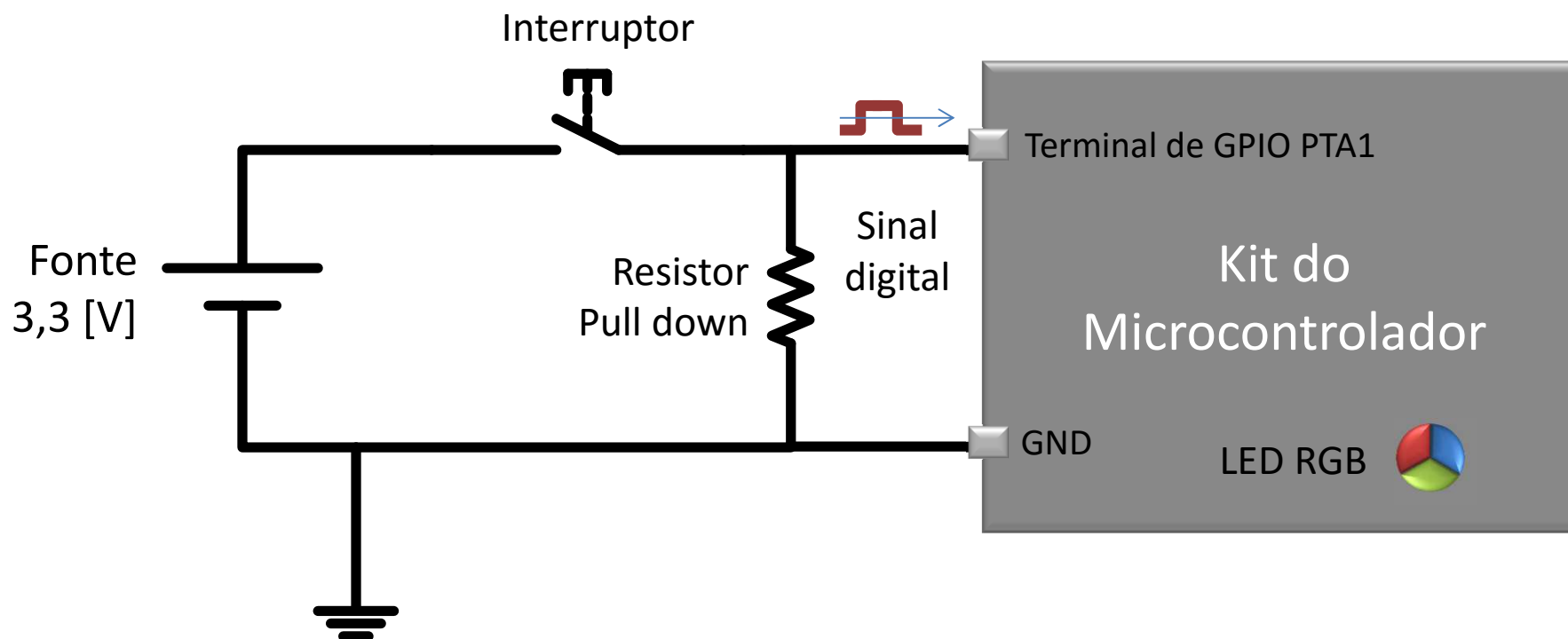
- Circuito de alimentação do LED





Recapitulando

- Criando um botão como entrada digital para um microcontrolador

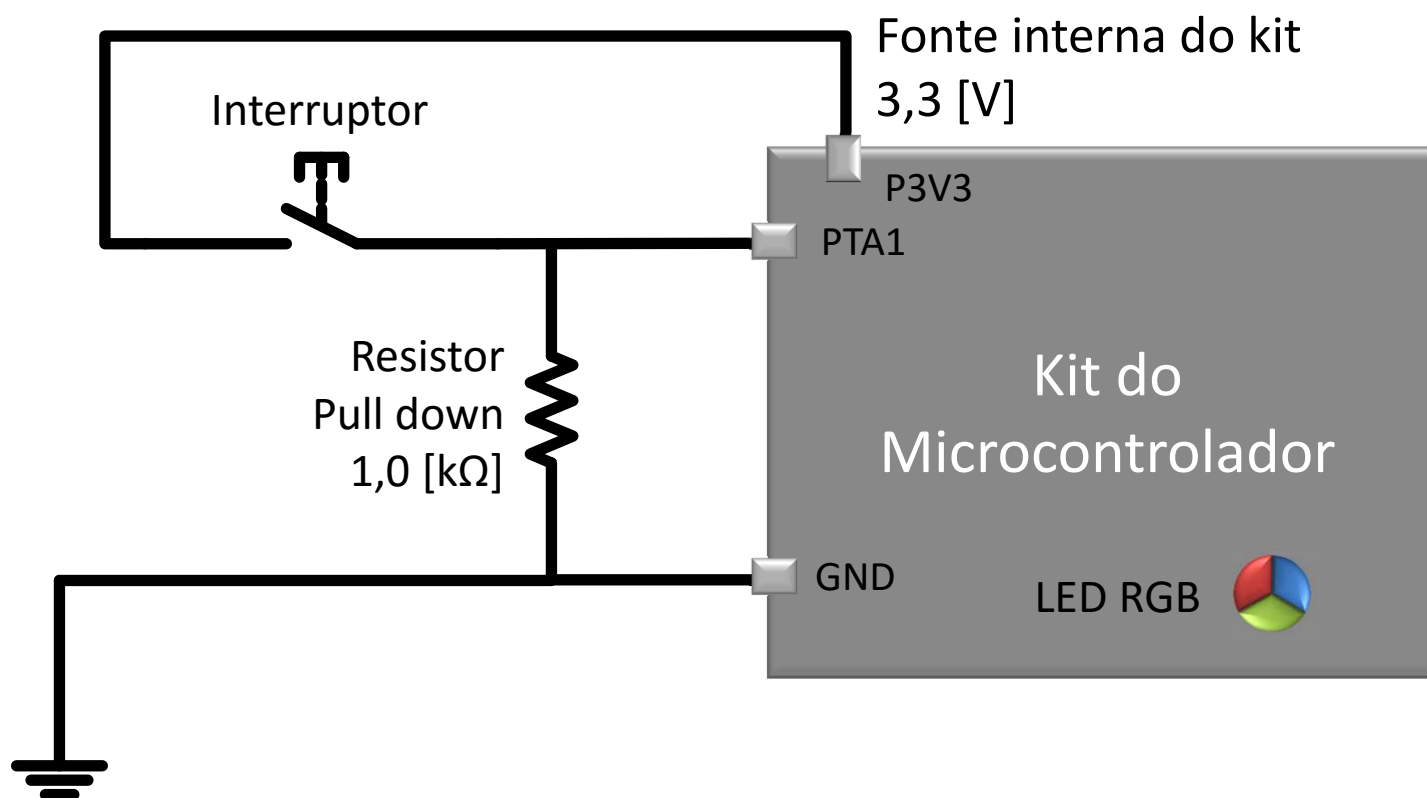


Atenção: Não foi exatamente esse o circuito montado!



Recapitulando

- Botão como entrada digital para um microcontrolador

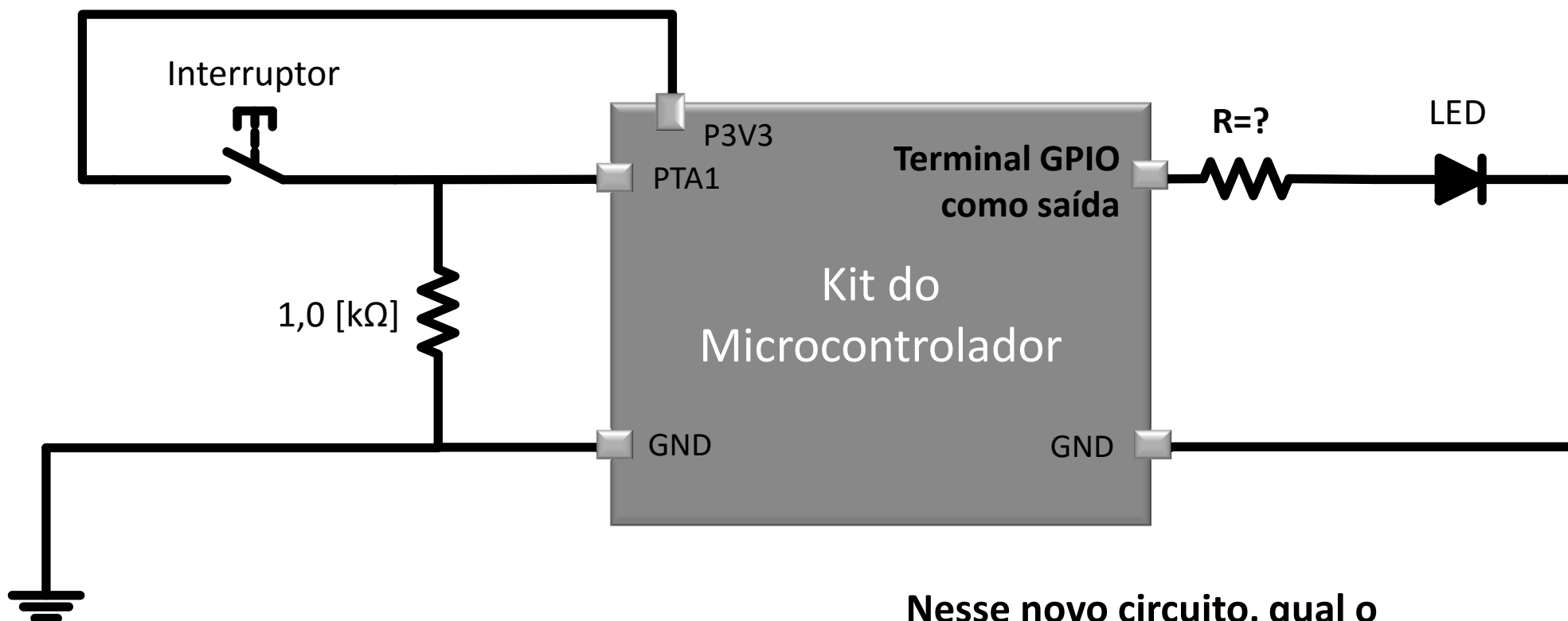


No circuito montado, usamos como fonte a própria tensão interna de 3,3V do kit do microcontrolador.



Próximo passo

- Fazer com que o kit acione um LED externo.



Nesse novo circuito, qual o valor de R? Depende da corrente desejada para o LED e da tensão que o kit pode colocar no terminal GPIO.





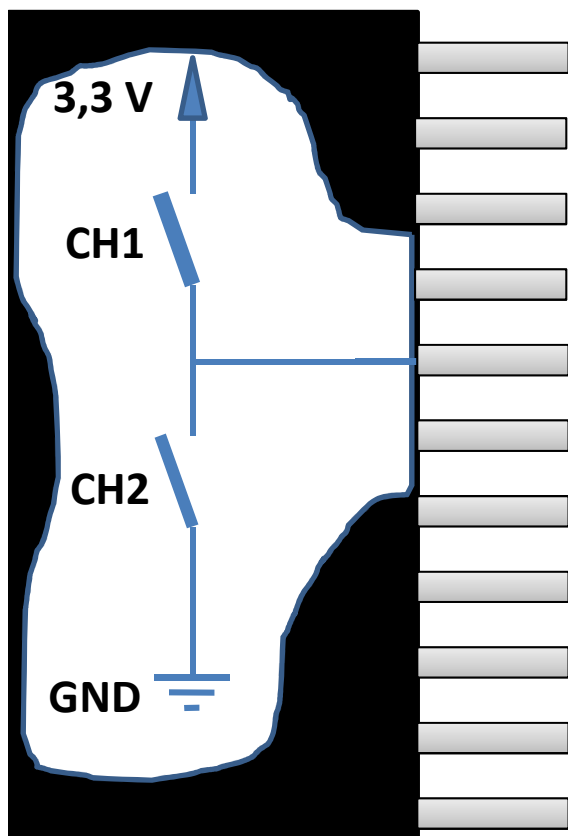
Circuito de acionamento do LED

- Quando ligamos o LED com apenas o botão, as pilhas forneciam toda a corrente.
- Um resistor foi dimensionado para que a corrente não ultrapasse o valor máximo permitido para o LED, de 10 [mA], resultando em 120 [Ω] aprox.
- Agora quem irá acionar o LED é o KIT, com uma tensão próxima da anterior. O KIT, através da porta USB do computador, irá fornecer a corrente de 10,0 [mA] para o LED.
- **Mas como ele faz isso?**

Através dos ports GPIO configurados como saídas!



Terminais GPIO utilizados como saídas

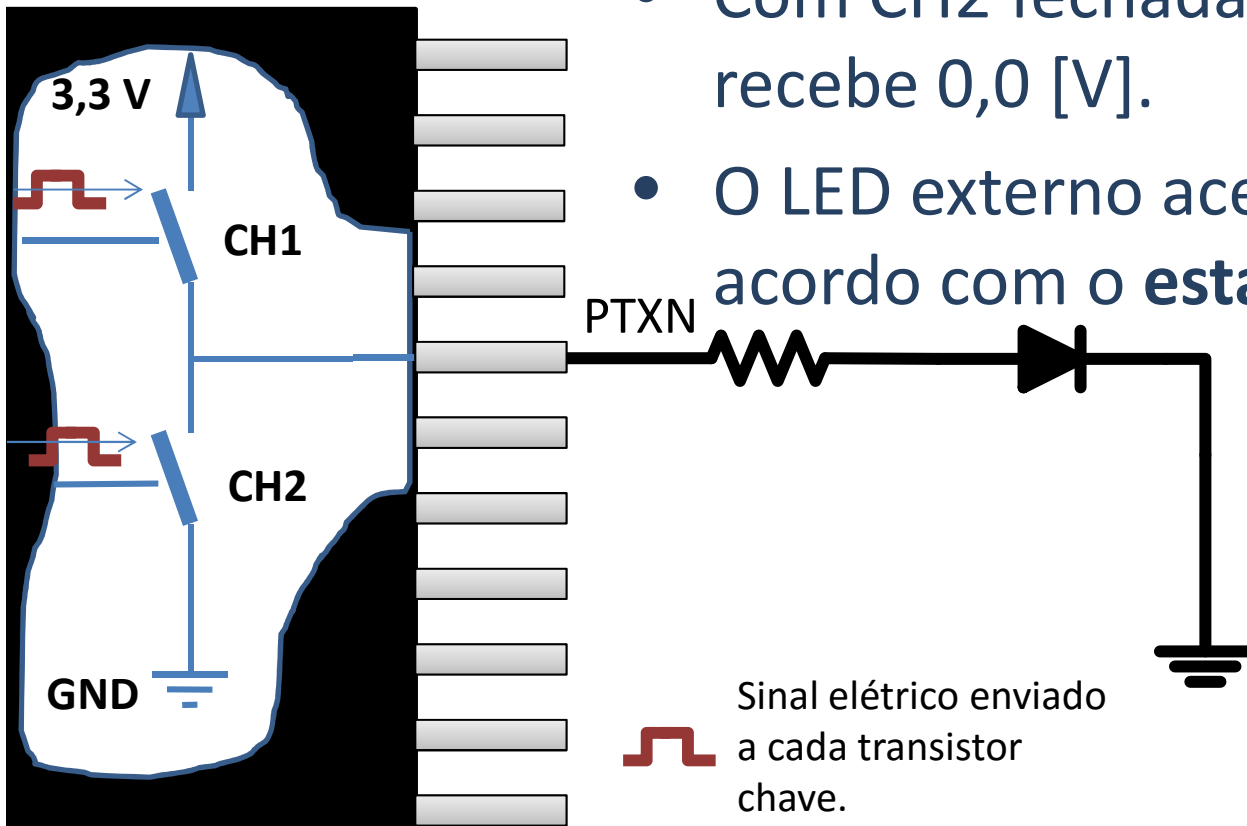


- Os pinos de GPIO configurados como saídas se comportam internamente como chaves controladas.
- Existem várias configurações de saídas, dependendo do microcontrolador.
- No nosso caso, cada saída possui duas chaves controladas (CH1 e CH2), numa configuração chamada *push-pull*.
- Quem aciona as chaves é o programa feito pelo usuário.
- A potência necessária vem pela porta USB do micro para dentro do microcontrolador.



Funcionamento

- Cada chave controlada é um transistor.
- Um sinal elétrico digital é enviado para cada chave para que ela feche ou abra.
- Com CH1 fechada e CH2 aberta, o port PTXN recebe a tensão de 3,3 [V].
- Com CH2 fechada e CH1 aberta, o port recebe 0,0 [V].
- O LED externo acenderá ou apagará, de acordo com o **estado** de CH1 ou CH2.



Pergunta: E se alguém pedir para acionar CH1 e CH2 simultaneamente?

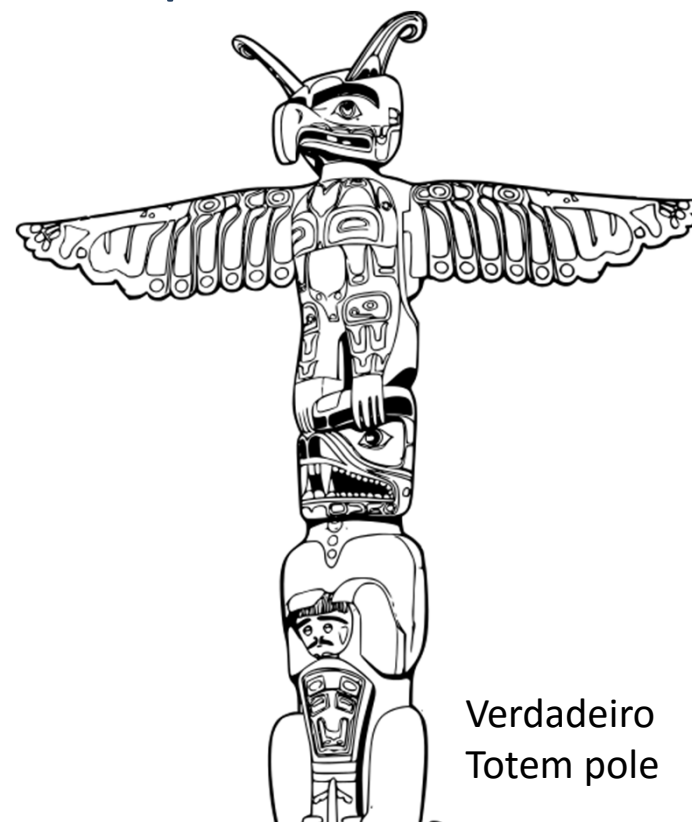
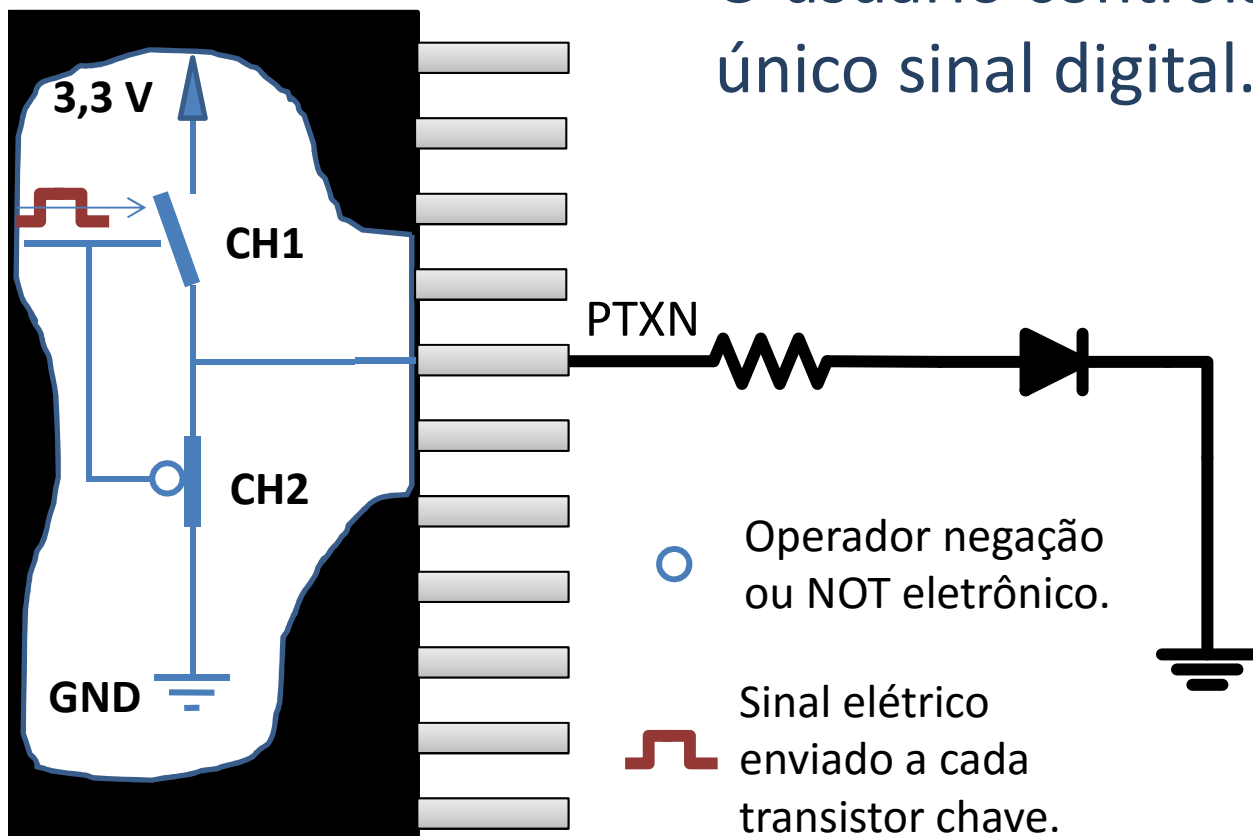
Podéria haver um curto-circuito!!!



Saídas tipo Push-Pull (ou “totem-pole”)



- Na configuração *push-pull*, uma eletrônica dedicada impede o acionamento de ambas as chaves simultaneamente.
- Enquanto uma está ligada a outra está desligada, e vice-versa.
- O usuário controla ambas por meio de um único sinal digital.

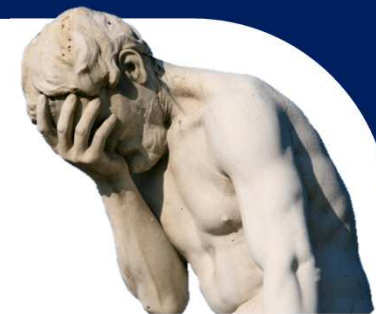


Verdadeiro Totem pole



Pergunta ingênua importante

- Posso ligar err... digamos, uma geladeira com um pino de um microcontrolador?

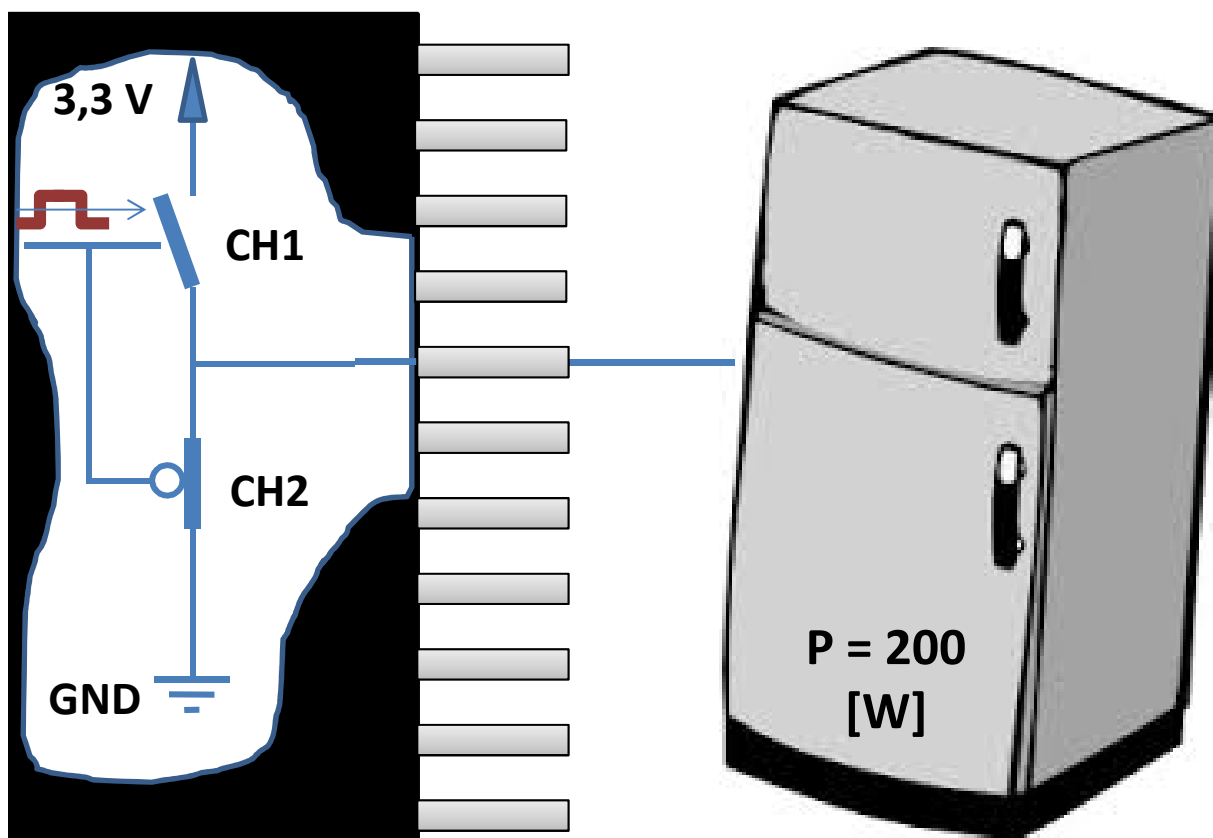


- Resposta 1:

Não, pois a tensão da geladeira deve ser maior (115 V), e alternada (AC).

- Resposta 2:

Não, pois mesmo se a tensão fosse correta, toda a potência requerida pela geladeira passaria pelo microcontrolador, mas seus transistores de push-pull, ou a USB, **NÃO SUPORTAM** tanta potência ou corrente elétrica!



Os limites operacionais devem ser respeitados !!!



Limites operacionais do microcontrolador

- No datasheet do KL25Z (microcontrolador), além das informações sobre as tensões máximas e mínimas, há uma informação a respeito das correntes máximas.
- Cada terminal individual pode fornecer ou receber corrente com valor até 25,0 [mA], mas não é só...

1.4 Voltage and current operating ratings

Table 4. Voltage and current operating ratings

Symbol	Description	Min.	Max.	Unit
V_{DD}	Digital supply voltage	-0.3	3.8	V
I_{DD}	Digital supply current	—	120	mA
V_{IO}	IO pin input voltage	-0.3	$V_{DD} + 0.3$	V
I_D	Instantaneous maximum current single pin limit (applies to all port pins)	-25	25	mA
V_{DDA}	Analog supply voltage	$V_{DD} - 0.3$	$V_{DD} + 0.3$	V
V_{USB_DP}	USB_DP input voltage	-0.3	3.63	V
V_{USB_DM}	USB_DM input voltage	-0.3	3.63	V
V_{REGIN}	USB regulator input	-0.3	6.0	V

Datasheet



Limites operacionais (cont).

- Todos os pinos de GPIO juntos só podem consumir ou fornecer no máximo 100,0 [mA]!!

5.1.3 Voltage and current operating behaviors

Table 4. Voltage and current operating behaviors

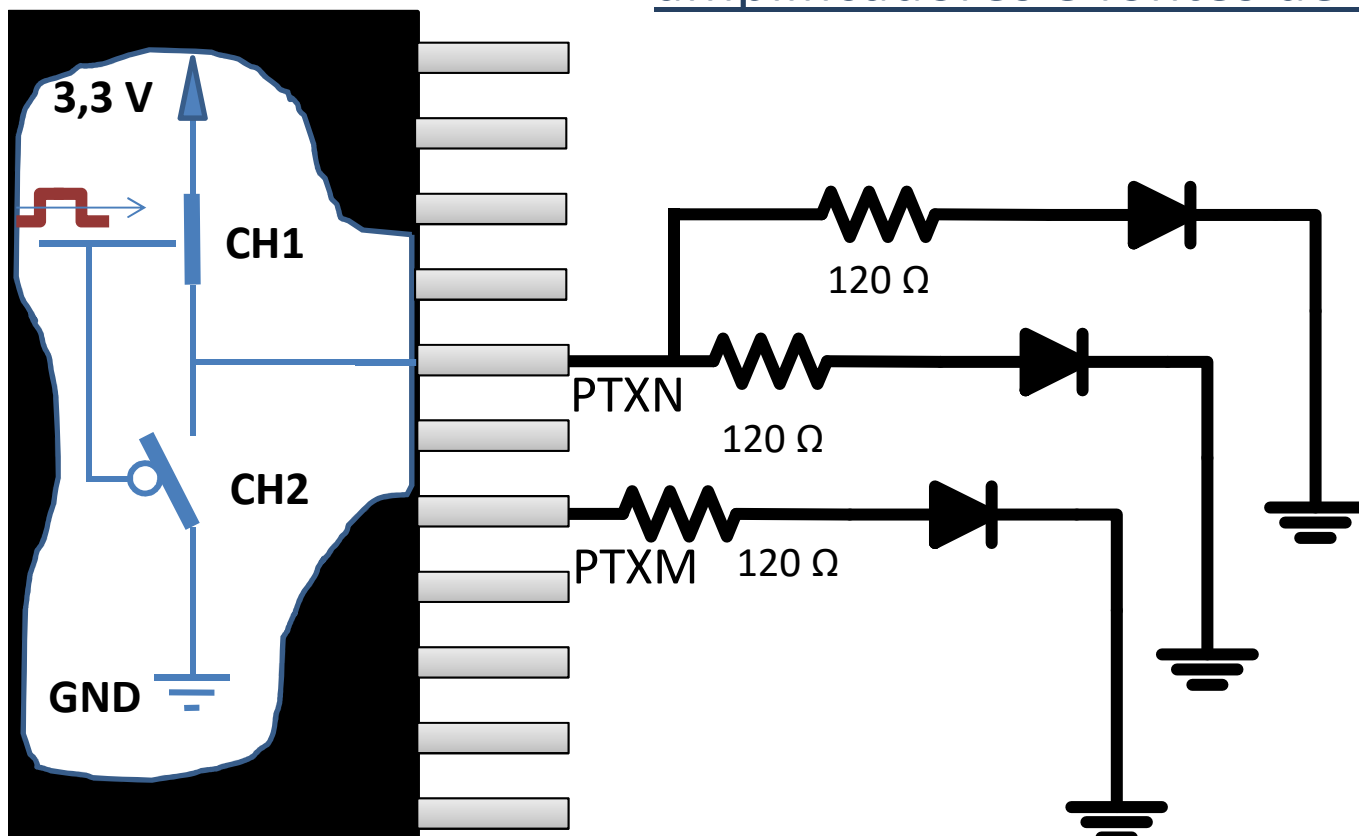
Symbol	Description	Min.	Max.	Unit	Notes
V_{OH}	Output high voltage — high drive strength <ul style="list-style-type: none">• $2.7\text{ V} \leq V_{DD} \leq 3.6\text{ V}$, $I_{OH} = -10\text{mA}$• $1.71\text{ V} \leq V_{DD} \leq 2.7\text{ V}$, $I_{OH} = -3\text{mA}$	$V_{DD} - 0.5$	—	V	
	Output high voltage — low drive strength <ul style="list-style-type: none">• $2.7\text{ V} \leq V_{DD} \leq 3.6\text{ V}$, $I_{OH} = -2\text{mA}$• $1.71\text{ V} \leq V_{DD} \leq 2.7\text{ V}$, $I_{OH} = -0.6\text{mA}$	$V_{DD} - 0.5$	—	V	
I_{OHT}	Output high current total for all ports	—	100	mA	
V_{OL}	Output low voltage — high drive strength <ul style="list-style-type: none">• $2.7\text{ V} \leq V_{DD} \leq 3.6\text{ V}$, $I_{OL} = 10\text{mA}$• $1.71\text{ V} \leq V_{DD} \leq 2.7\text{ V}$, $I_{OL} = 3\text{mA}$	—	0.5	V	
	Output low voltage — low drive strength <ul style="list-style-type: none">• $2.7\text{ V} \leq V_{DD} \leq 3.6\text{ V}$, $I_{OL} = 2\text{mA}$• $1.71\text{ V} \leq V_{DD} \leq 2.7\text{ V}$, $I_{OL} = 0.6\text{mA}$	—	0.5	V	
I_{OLT}	Output low current total for all ports	—	100	mA	
I_{IL}	Input leakage current (per pin)	—	1	μA	1

Datasheet



Exemplos de ligação para vários LEDs

- Pode-se ligar até dois LEDs externos por port, cada um com corrente de 10,0 [mA].
- Podem ser ligados até 10 LEDs simultaneamente, em vários pinos de saída do microcontrolador.
- Para mais LEDs, ou acionamento de cargas de maior corrente ou potência, são necessários amplificadores e fontes de energia auxiliar.



Também é possível trabalhar com LEDs com menos corrente e menor brilho, com resistores maiores.



Sumário

1. Medidas de corrente e potência elétrica.
2. Recapitulando GPIO e limites operacionais.
- 3. Acionamento de LEDs e uso do Fritzing.**
4. Acionamento de cargas de maior potência.



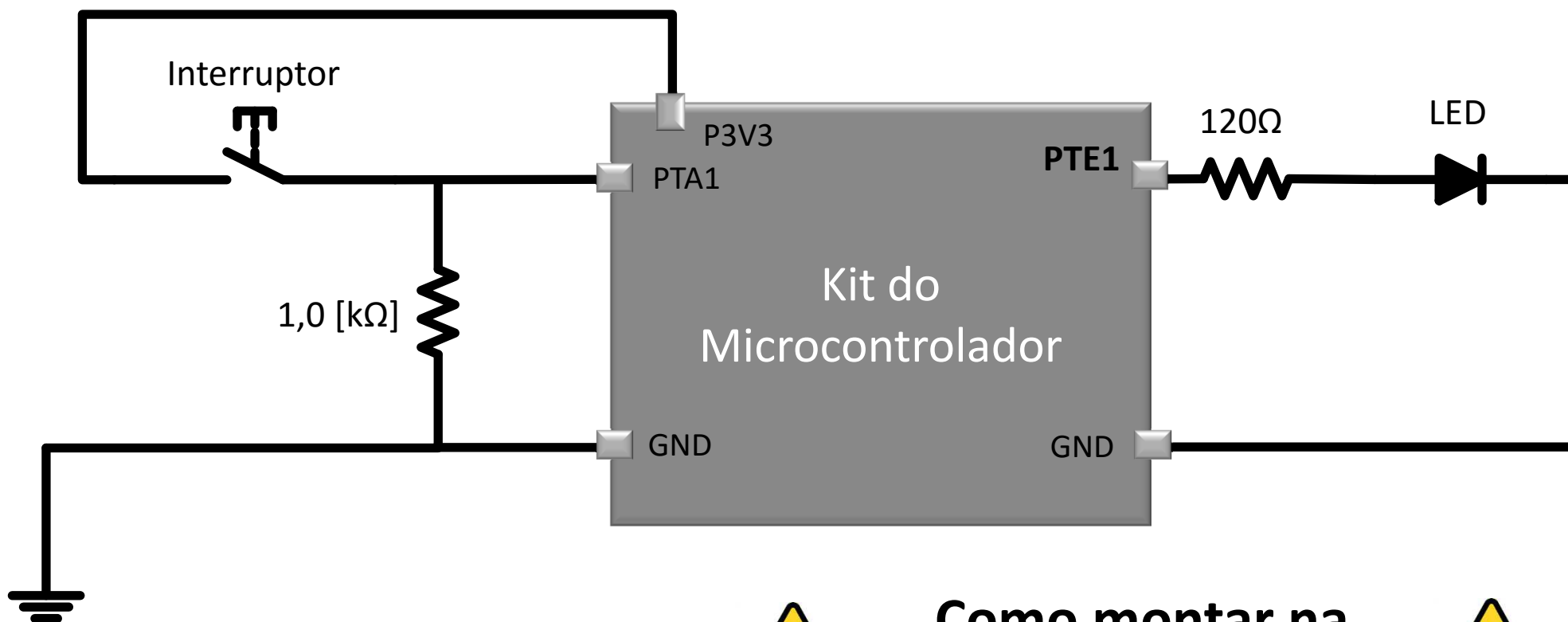
Atividade 1 – Ligação de um LED externo simples

- Montar um circuito para ligar um LED externo ao kit. Material:
 - Uma protoboard.
 - Um botão micro-switch (identifique seus terminais com teste de continuidade do multímetro).
 - Um LED vermelho.
 - Resistores de valor adequado (identifique o resistor com a função de ohmímetro do multímetro).
 - Fios e conexões elétricas.



Montagem de exemplo de acionamento de LED

- Fazer com que o kit acione um LED externo.



Como montar na protoboard?





Usando o software Fritzing

- Obter o programa em fritzing.org.
- Gratuito.
- Não precisa instalar, basta baixar e descomprimir em um diretório (Windows, MACOS e Linux).
- Rodar o executável.
- Iniciar um novo projeto, no Menu “File”, opção “New”.
- **Atenção: Salve constantemente seus arquivos em um local conhecido, para transportar seus projetos para casa!**



Tela do Fritzing

The screenshot displays the Fritzing software interface. At the top, the title bar reads "Untitled Sketch.fzz - Fritzing - [Breadboard View]". The menu bar includes "File", "Edit", "Part", "View", "Window", and "Help". Below the menu bar, there are tabs for "Welcome", "Breadboard", "Schematic", and "PCB".

On the left side, there is a "Recent Sketches" panel with a list of files: "SwitchPullDOWN", "PROTOBOARD", and "Teste.fzz". Below this is a "New Sketch" and "Open Sketch" button. A "Tip of the Day" panel is also visible, providing advice on using copper-blocker parts.

The main workspace is currently in "Breadboard View". A blue arrow points to the "Breadboard" tab with the label "Modo de visão Breadboard". Another blue arrow points to the "Schematic" tab with the label "Modo de visão Esquemático".

On the right side, there is a "Parts" panel titled "Core Parts" showing a grid of components. A blue arrow points to this panel with the label "Parts: Biblioteca de componentes". Below the parts panel is the "Inspector" panel, which shows the properties of the selected component, "Breadboard1". A blue arrow points to the Inspector panel with the label "Inspector: Propriedades de um componente".

The Inspector panel for "Breadboard1" (v. 4) shows the following properties:

- Placement
 - location: -0.052, 0.000
 - rotation: 0.0
 - Locked:
- Properties
 - family: breadboard
 - size: full+
 - part #: [empty]
- Tags
 - breadboard
- Connections



Usando o Fritzing

- Comece pela “Breadboard View”.
- Função da roda do mouse → *Zoom In* e *Out* no desenho
- Pressionando a roda do mouse → *Pan* (*Scroll* da tela)
- Botão esquerdo do mouse → Seleção de componentes
- Quando um componente é selecionado, suas propriedades aparecem no canto inferior direito, no “Inspector”.
- Botão direito do mouse → Algumas propriedades de cada componente podem ser modificadas rapidamente.

Primeiro passo:

- Ao iniciar um projeto novo, surge uma protoboard.
- Selecione a protoboard e modifique as suas propriedades no “Inspector”, para que ela pareça com a protoboard da disciplina (dica: size = BB-301).



Segundo passo:

- Procure na biblioteca de componentes, em cada um das paletas disponíveis, os componentes necessários para montar o circuito “virtual” no Fritzing.
- Existe uma paleta denominada CORE, que possui a grande maioria dos componentes de uso geral, como chaves, resistores, fontes, e etc.
- Em uma paleta denominada IntEngEle, há uma versão eletrônica básica do kit FRDM-KL25Z da disciplina.
- Arraste esses componentes para a área de trabalho do Fritzing e faça o diagrama mostrado no próximo slide.
- Fios e conexões elétricas são feitos clicando-se com o botão esquerdo sobre os terminais e conectores, arrastando o fio até o seu destino desejado.



Dicas do Fritzing

- Novos componentes podem ser obtidos na Internet e adicionados a alguma paleta.
- Ao clicar e segurar o botão esquerdo do mouse sobre um nó no esquema da “Breadboard View”, são iluminados todos os pontos conectados a esse nó.
- Clicando-se em “Schematic”, é mostrado um diagrama elétrico profissional, que pode receber outros componentes como símbolo de referência (terra ou GND), fontes e etc. que não são mostrados no “Breadboard View”.
- A visualização em modo “Breadboard” e “Schematic” são independentes. Algumas ligações criadas em uma das vistas podem parecer pontilhadas na outra. Cabe ao usuário organizar cada um dos desenhos a contento.



Mais instruções sobre o Fritzing

- No moodle da disciplina, há uma versão do Fritzing para baixar (versão Windows) com instruções para instalação e adição da placa FRDM-KL25Z usada na disciplina.
- Quando executado no micro, o Fritzing detecta a língua do sistema operacional e traduz sua interface. Boa parte dos comandos e telas mostradas anteriormente podem estar em português no seu computador.
- Observação: Um propósito do Fritzing é também permitir o projeto de placas adaptadoras simples, para kits padrão Arduino e compatíveis. Essas funcionalidades requerem outros conhecimentos e também custos. Procure a orientação de um professor sobre o uso desses recursos.

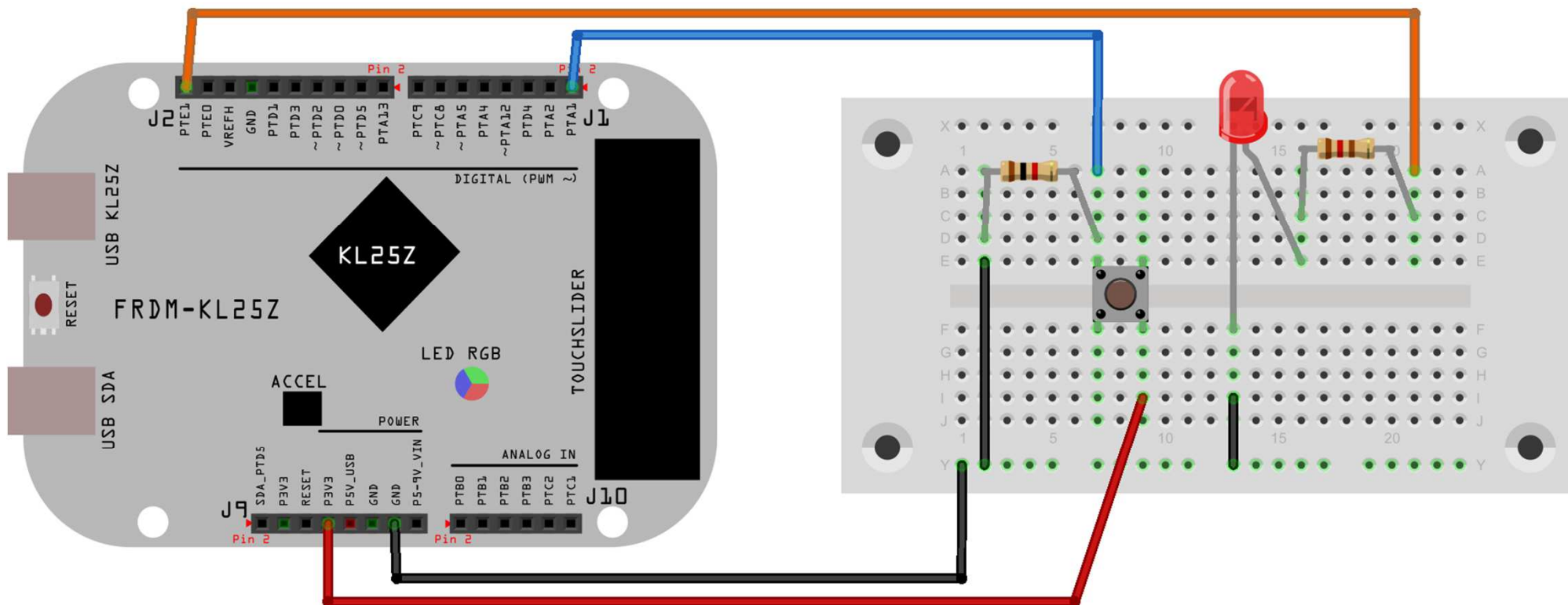


Atividade 1 – Desenhe o circuito no Fritzing

- Desenhe o esquema do kit acionando o LED externo.
 - No Fritzing, use a ferramenta de procura na paleta de componentes para encontrar o kit FRDM e outros componentes necessários.
 - Uma paleta denominada Intengele possui a placa do kit usado na disciplina.
- Chame o professor para mostrar o resultado.
- Após a anuência do professor, faça a montagem na protoboard.



Circuito para desenho no Fritzing



fritzing

Vantagens do uso do Fritzing:

- Serve como ferramenta para documentação mínima dos projetos e esquemas elétricos.
- Permite o planejamento das conexões.



Ao final do desenho, chame o professor antes de iniciar a montagem na protoboard.



Programa no MBED – Pisca LED Externo

- Criar um novo projeto do MBED (empty project).
- Não se esqueça de fazer “Import Library... Mbed.h”.
- Adapte um programa anteriormente feito para o pisca-pisca do LED RGB da placa para usar o port PTE1 como saída digital, ou seja `DigitalOut led(PTE1)`;
- Em caso de emergência, use o programa do próximo slide.
- Verificar a operação do sistema.
- Curiosidade: Meça a corrente consumida pelo LED quando o mesmo está aceso. Veja se está adequado aos limites do chip.



Programa para desenvolver no MBED

```
#include <mbed.h>
```

```
int main(void)
```

```
{
```

```
    DigitalIn botao(PTA1);
```

```
    DigitalOut led_ext(PTE1);
```

```
    while(1) {
```

```
        if(botao) {
```

```
            led_ext=0;
```

```
        } else {
```

```
            led_ext=1;
```

```
        }
```

```
    }
```

```
}
```

LEDExt.cpp



Sumário

1. Medidas de corrente e potência elétrica.
2. Recapitulando GPIO e limites operacionais.
3. Acionamento de LEDs e uso do Fritzing.
- 4. Acionamento de cargas de maior potência.**



E se nós precisarmos de mais potência?

- O microcontrolador não pode manipular potências maiores que $0,025 \cdot 3,3 \approx 83$ [mW] por pino, ou maiores que $0,1 \cdot 3,3 \approx 330$ [mW] para todos os pinos.
- Para potências superiores, faz-se o uso de amplificadores ou circuitos de apoio externos.
- Os circuitos externos lidam com a potência extra e são comandados pelo microcontrolador.



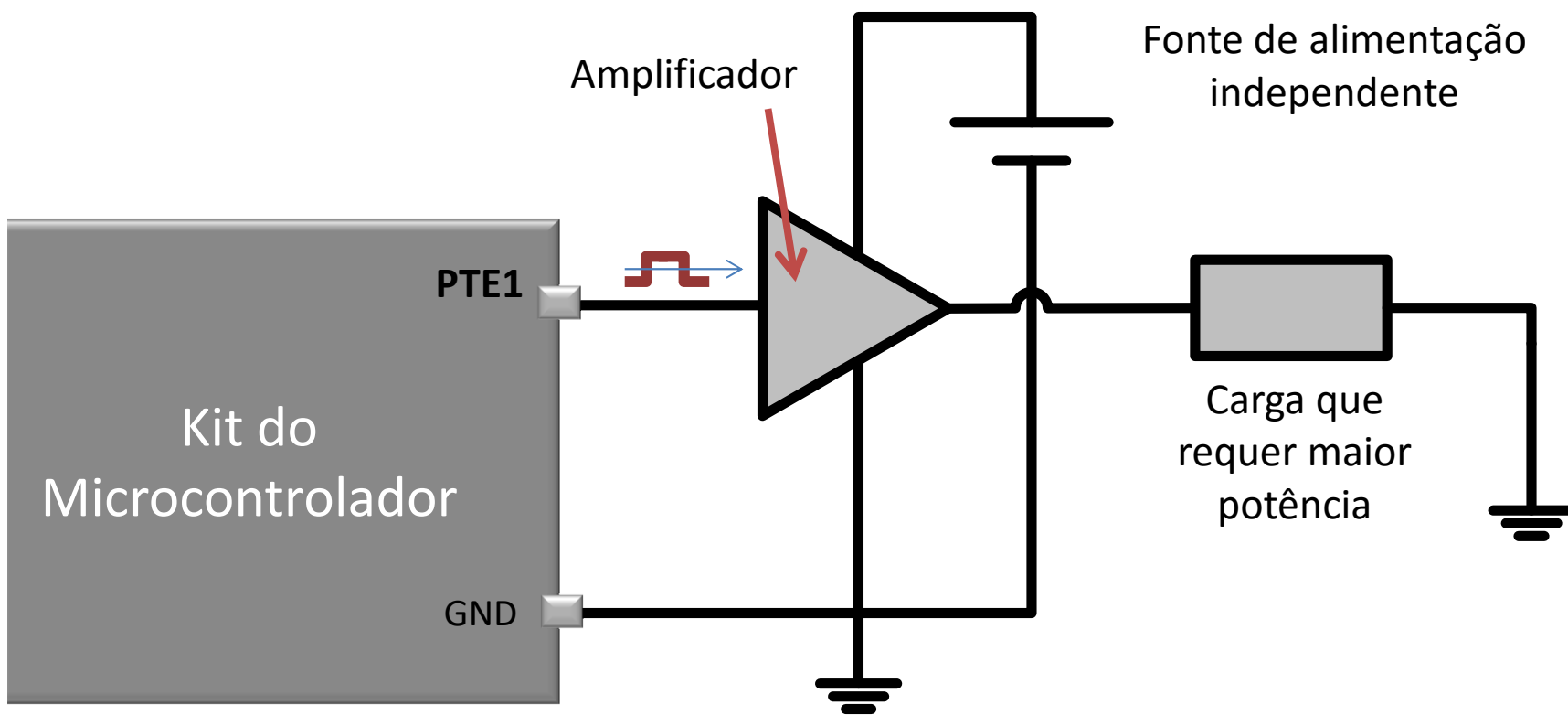
1.21 gigawatts ???

**Não, também não
exagere!**



Circuitos externos de amplificação

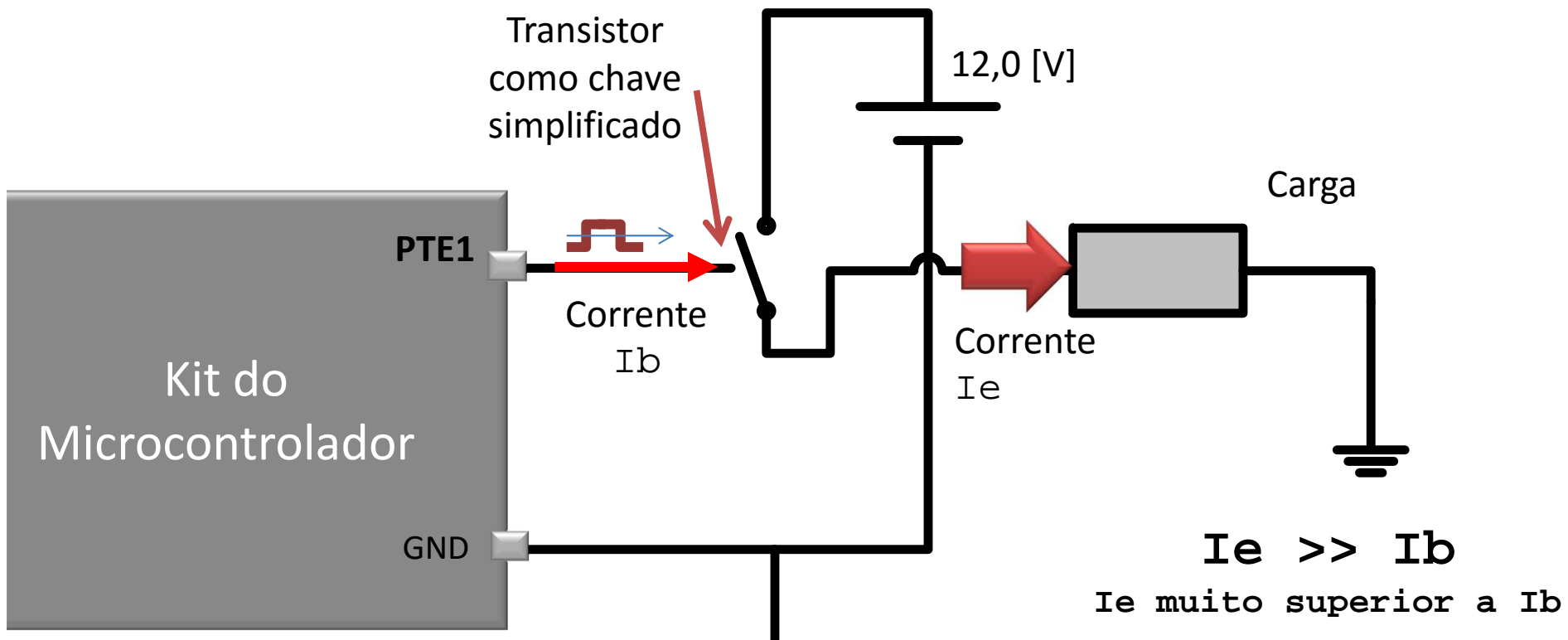
- Podem possuir uma fonte independente da fonte do microcontrolador.
- Recebem um sinal de comando e podem aplicar uma tensão maior, com maior corrente, a uma dada carga.





Amplificador com chave controlada

- Ex: Uma única chave controlada, semelhante ao push-pull.
 - A chave precisa de poucas centenas de [μA] para fechar.
 - A chave pode lidar com correntes na carga de até algumas centenas de [mA].

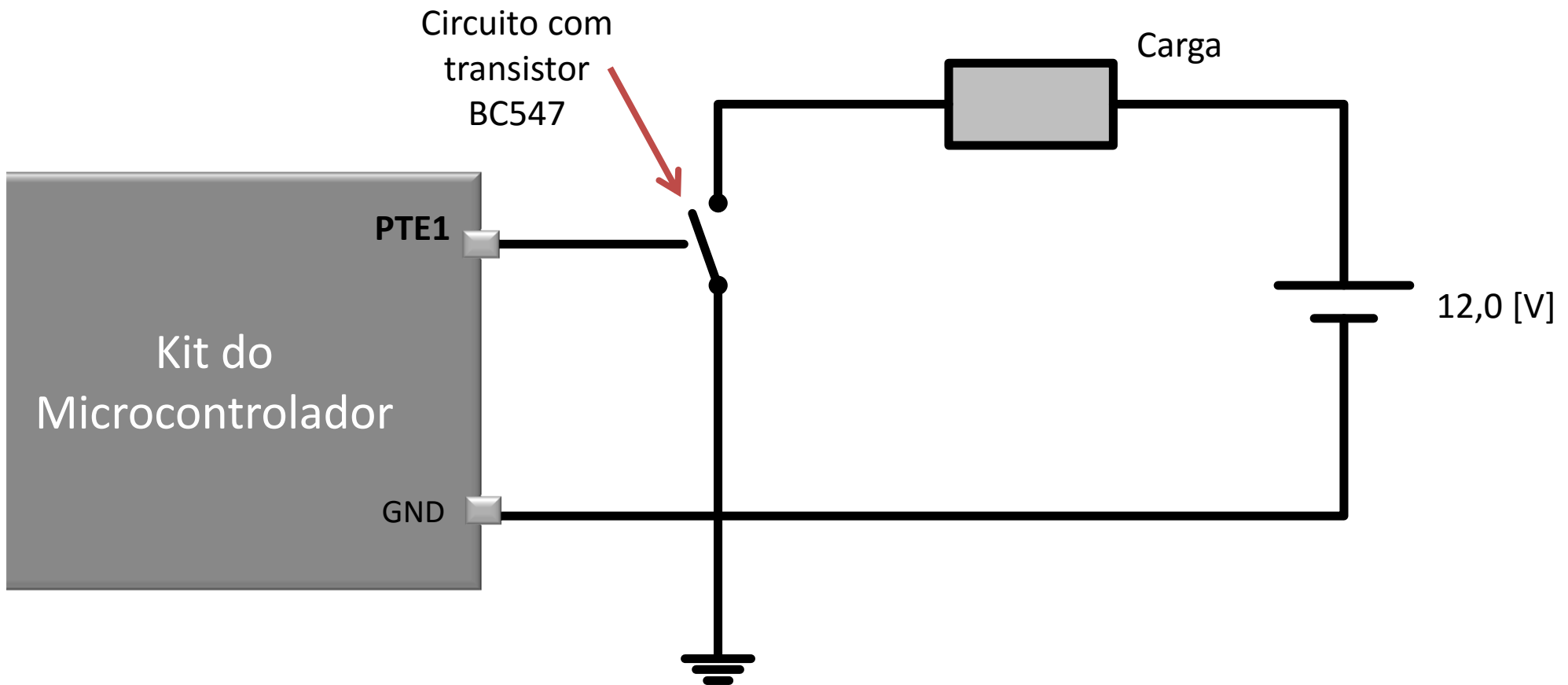




Ex: Chave transistorizada com BC547

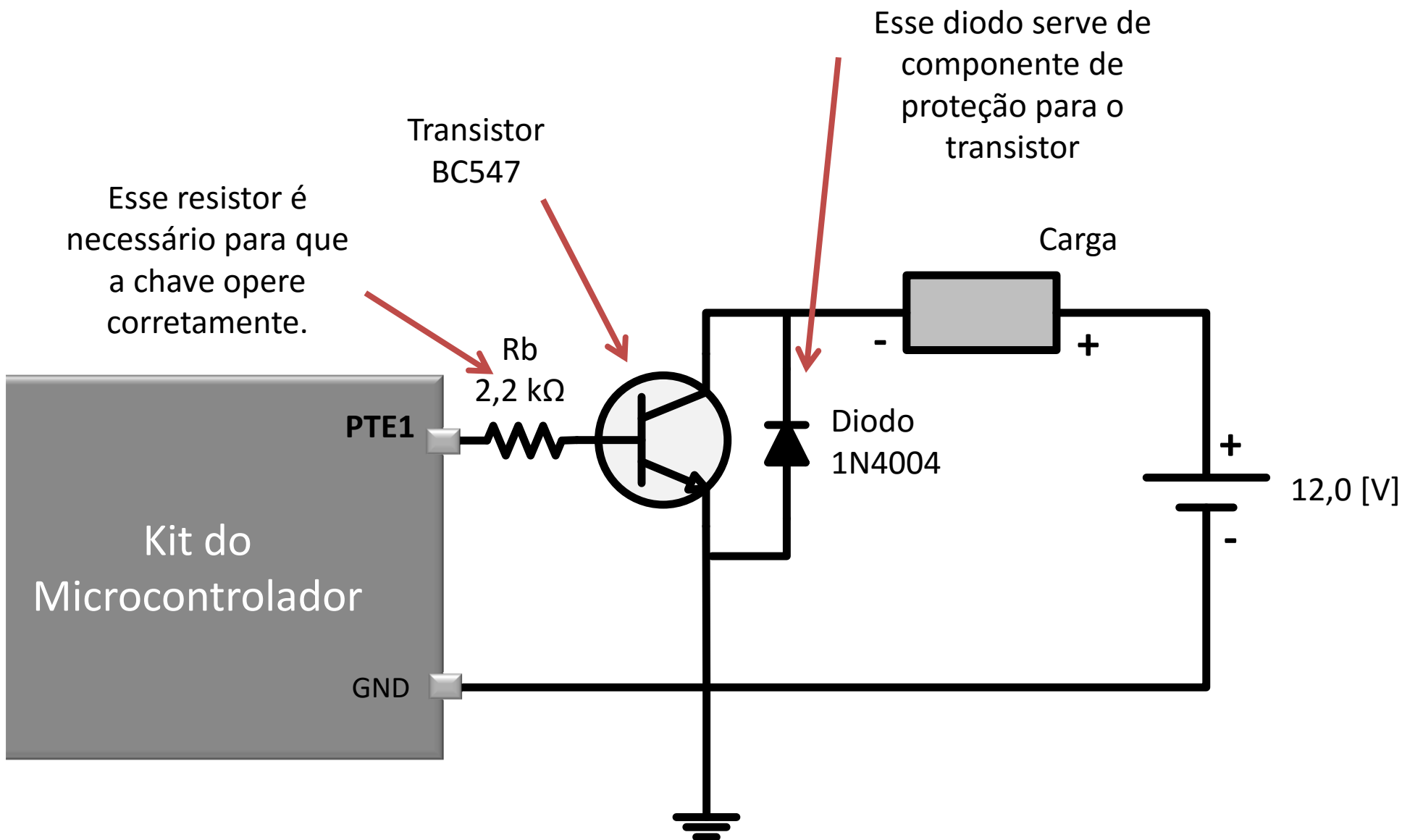
- Funcionamento

- Quando a chave fecha, o terminal de terra é ligado à carga, cujo outro terminal já está conectado ao positivo de outra fonte auxiliar.
- Quando a chave abre, a carga é desconectada.





Ex: Detalhes do circuito com o transistor





Atividade 2 – Ligação de cargas externas com transistor

- Montar um circuito para ligar cargas externas ao kit.

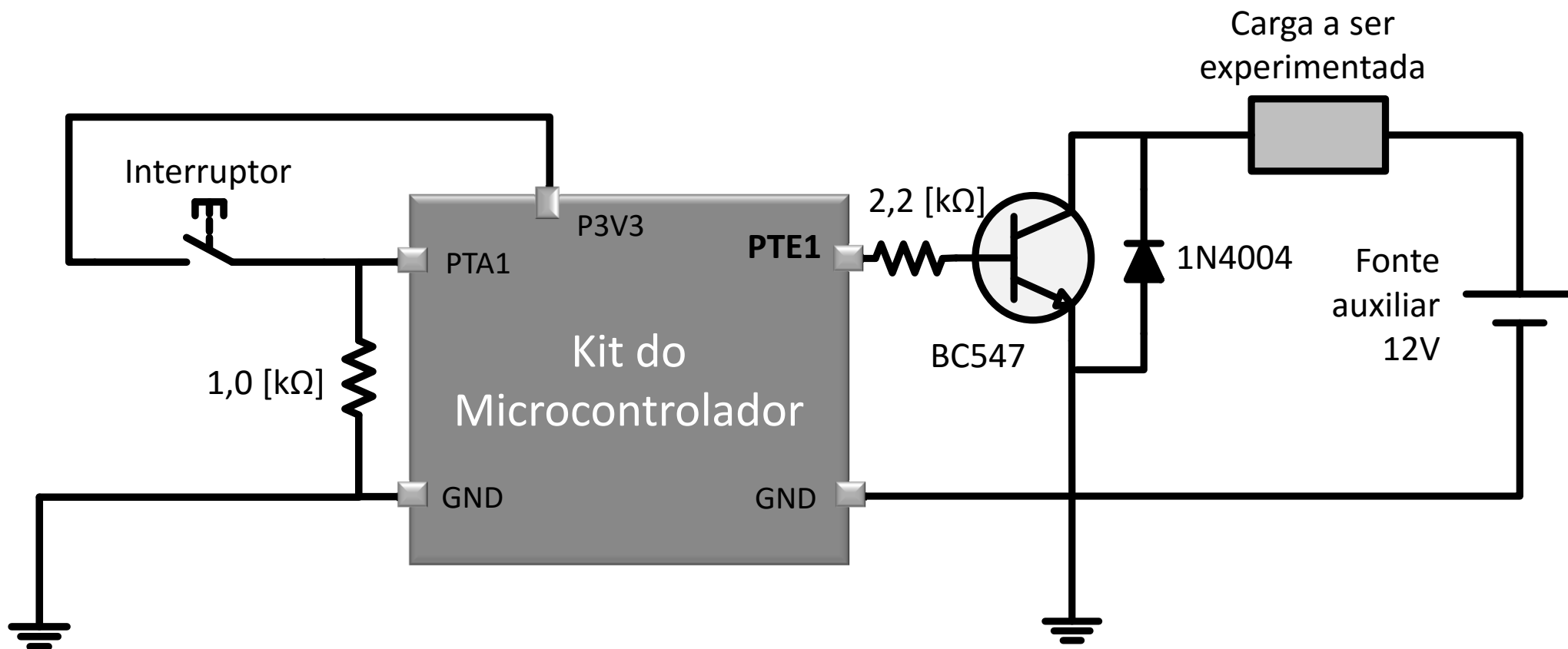
Material:

- Uma protoboard.
- Um botão micro-switch (identifique seus terminais com teste de continuidade do multímetro).
- Um transistor BC547 ou BC548.
- Um diodo 1N4001 ou 1N4004.
- Resistores de valor adequado (identifique o resistor com a função de ohmímetro do multímetro).
- Fios e conexões elétricas.
- Várias cargas (ventoinha, buzzer, micro-lâmpada incandescente).
- Fonte auxiliar de 12,0 [V].



Montagem de exemplo de acionamento de LED

- Fazer com que o kit acione uma carga externa.



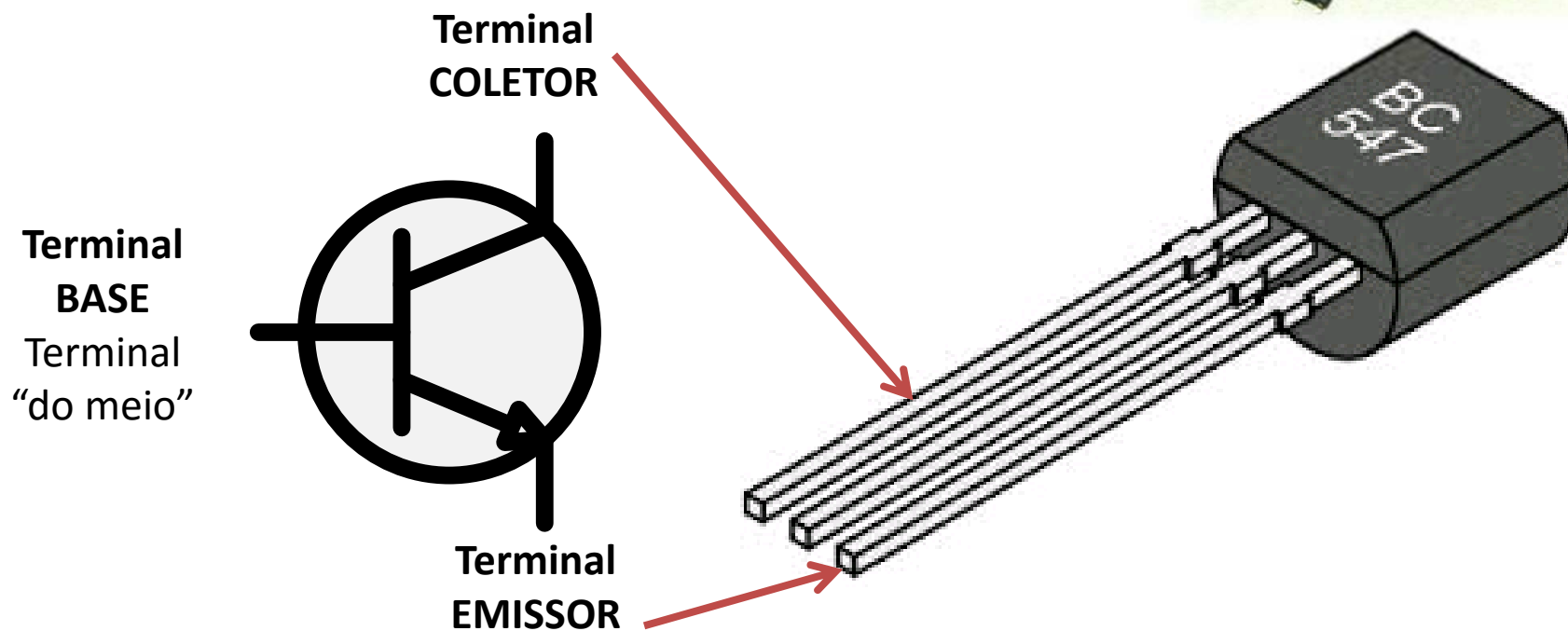
Como montar na protoboard?





Conhecendo um transistor

- Vários tipos, tamanhos e capacidades.
- Várias tecnologias de fabricação e características elétricas (FET, MOSFET, Bipolar, etc.).
- Deve-se identificar seus terminais corretamente.
- No caso do BC547, temos:





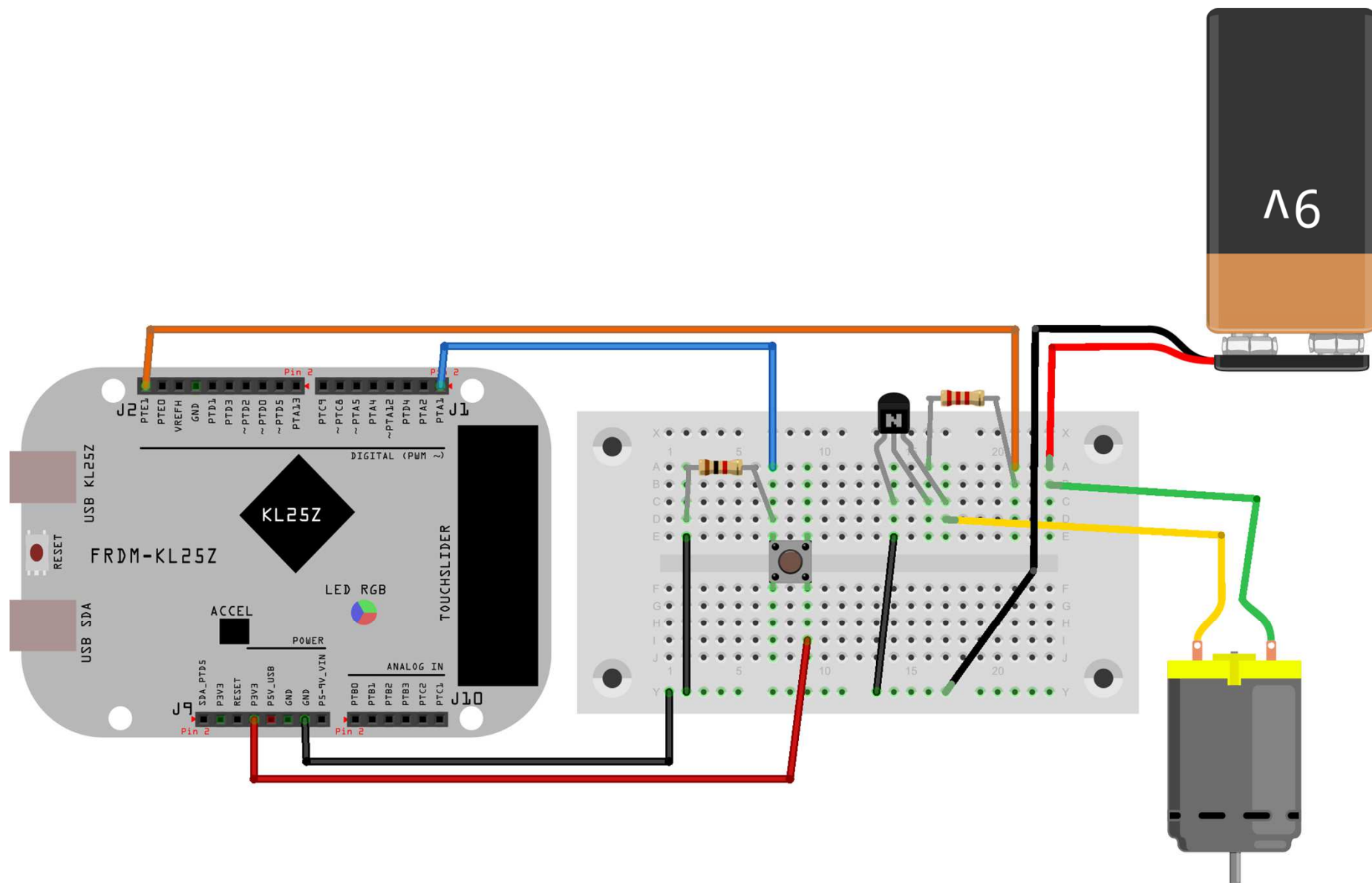
Atividade 2 – Desenhe o circuito no Fritzing

- Desenhe o esquema do kit acionando uma carga externa.
- Use como fonte auxiliar uma bateria de 9,0 [V], a título de exemplo.
- Use como carga um motor de corrente contínua (DC MOTOR), com dois terminais.
- Use o transistor NPN da paleta “Core”.
- Chame o professor para mostrar o resultado.

- Após a anuência do professor, faça a montagem na protoboard.
- Teste com o mesmo programa usado com o LED externo.
- Meça as correntes consumidas por cada tipo de carga.
- Atenção: Cuidado com a polaridade do motor *brushless* da ventoinha!!! Diferente de um motor DC tradicional, ligar com a polaridade invertida não faz o motor girar no outro sentido.



Exemplo de circuito para ativ. 2





Para saber mais

- Fritzing, <http://fritzing.org>, ultimo acesso Ago/2014.
- Mbed, <http://mbed.org> , ultimo acesso Ago/2014.
- Freescale Freedom Board FRDM-KL25Z, http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=FRDM-KL25Z , ultimo acesso Ago/2014.
- Monk, S., “Hacking Electronics. An illustrated DIY guide for makers and hobbyists”, Mc Graw Hill Education, 2013.