

**Título do artigo**

Montagem de um teclado numérico utilizando um STM32F103C8T6

**Autores**

Gabriel Trindade Benatti Frizzo, Matheus Rodrigues Garcia\*, Vitor Hugo Domingues Bogo.

**Afiliações**

Universidade Estadual de Londrina (UEL), Rodovia Celso Garcia Cid, PR-445, Km 380 – Campus Universitário, Londrina – PR, 86057-970, Brasil.

**Resumo**

*O produto consiste em um teclado numérico mecânico com layout de teclas 3x5 com conexão por fio. O teclado é controlado por um STM32F103C8T6 e usa sistema hot-swappable de teclas.*

**Palavras-chave**

Teclado numérico 3×5, sistemas embarcados, sensores de baixo custo.

Tabela de especificações

Nome do hardware	<i>Nome do hardware que você desenvolveu/customizou</i>
Área temática	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Geral</i></li> </ul>
Tipo de hardware	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Engenharia elétrica e ciência da computação</i></li> </ul>
Análogo comercial mais próximo	Numérico matricial comercial (3×5)
Licença de código aberto	<i>CERN Open Hardware License Version 2 – Permissive (CERN-OHL-P v2).</i>
Custo do hardware	Aproximadamente 20–30 USD.
Repositório dos arquivos-fonte	<a href="https://github.com/2ELE088-ProjetoIntegrador3B-T3T4/Grupo4-TecladoNumerico">https://github.com/2ELE088-ProjetoIntegrador3B-T3T4/Grupo4-TecladoNumerico</a>

## 1. Hardware no contexto

O hardware desenvolvido consiste em um teclado mecânico programável baseado no microcontrolador, o qual é o STM32F103C8T6. Ele se enquadra na categoria de dispositivos HID (Human Interface Device) abertos, permitindo total reprodutibilidade e modificação por parte do usuário.

Projetos de hardware aberto semelhantes incluem teclados amplamente utilizados em comunidades maker, como o Ferris, Corne, Lily58 e outros dispositivos baseados em firmwares open source como QMK e ZMK. Assim como esses projetos, o teclado apresentado oferece esquemáticos, arquivos Gerber e firmware totalmente acessíveis.

Em contraste, teclados proprietários amplamente disponíveis no mercado como os modelos da Keychron, Logitech, Corsair e Razer geralmente não oferecem acesso aos arquivos de projeto também limitam a personalização do firmware e possuem componentes que não podem ser substituídos ou modificados pelo usuário. Esse projeto é diferente por sua total abertura, simplicidade de fabricação e possibilidade de customização tanto eletrônica quanto mecânica.

Dessa forma, o hardware se enquadra em dispositivos abertos projetados para facilitar estudos de microcontroladores, experimentação em eletrônica digital e desenvolvimento de interfaces personalizadas, mantendo compatibilidade com padrões HID.

## 2. Descrição do hardware

Ao contrário de teclados comerciais de função única, este hardware opera em três camadas de customização simultâneas:

**Camada Física (Hot-Swappable):** O sistema de soquetes permite que qualquer usuário, sem conhecimento de solda, troque os interruptores mecânicos em segundos. Isso possibilita adaptar a força de atuação (de 35g a 95g), tipo de feedback (tátil, linear, clique) e som conforme a preferência do usuário ou necessidade (ex.: laboratório silencioso vs. ambiente industrial).

**Camada de Firmware:** O teclado roda o firmware de código aberto, com suporte à interface ST-Link para reprogramação em tempo real. Cada tecla pode ser remapeada dinamicamente para qualquer código, macro ou combinação complexa.

**Camada de Aplicação:** A interface física é separada da lógica de aplicação, permitindo que o mesmo hardware sirva como controle para diferentes softwares (ImageJ, LabView, Python scripts) com uma certa reprogramação do software do teclado.

### *Arquivos de projeto*

- *Os arquivos completos de projeto estão disponíveis no repositório GitHub:*  
[Repositório do projeto no GitHub](#)

Arquivos CAD: Projeto completo no Altium Designer, incluindo esquemático, layout da PCB e arquivos de fabricação (Gerber) na pasta `/Teclado/Project Outputs for teclado`.

Impressão 3D: Arquivos de modelagem 3D da caixa do teclado, fornecidos em formatos STL e STEP na pasta `/3D`.

Eletrônica: Layouts, esquemáticos e bibliotecas relacionados ao hardware na pasta `/Teclado/`.

Software e firmware: Projeto STM32CubeIDE com o firmware desenvolvido para o controlador STM32F103C8T6, localizado na pasta `/Firmware/Project Outputs for teclado`.

### 3. Resumo dos arquivos de projeto

Nome do arquivo de projeto	Tipo de arquivo	Descrição do arquivo
SqTeclado.SchDoc	CAD (Altium)	Esquemático completo do teclado numérico.
PCBtc.PcbDoc	CAD (Altium)	Layout da PCB do teclado.
Gerber Files.zip	Gerber	Arquivos de fabricação para PCB.
Firmware/.project	Firmware (CubeIDE)	Código-fonte para o STM32F103C8T6.
3D/CaixaTeclado.stl	3D (STL)	Modelo para impressão 3D da caixa do teclado.
3D/TampaTeclado.stl	3D (STL)	Tampa da caixa do teclado para impressão 3D.
3D/Keycap.stl	3D (STL)	Modelo para impressão 3D das keycaps utilizadas no teclado.
3D/Teclado.step	3D (STEP)	Modelo para 3D do teclado.
README.md	Documentação	Instruções gerais e organização do repositório.

*Cada arquivo listado acima está detalhado no repositório [GitHub](#).*

## Bill of materials

### 4. Resumo da Bill of materials

Designador	Componente	Quantidade	Custo por unidade - moeda	Custo total - moeda	Fonte do material	Tipo de material
C5, C8	CL10B105KP8NNNC	2	0.005 USD	0.05 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Cerâmica
C1, C2, C3, C4, C9, C12, C13	CC0603KRX7R7BB104	7	0.006 USD	0.06 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Cerâmica
R2, R4, R9, R10, R11, R12, R13, R14	CRCW060310K0FKEA	8	0.03 USD	0.3 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Metal
C6, C7	CL05C330JB5NNNC	2	0.003 USD	0.03 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Cerâmica
C10	CL10B223KB8WPNC	1	0.1 USD	0.1 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Cerâmica
J1	SBH11-PBPC-D10-ST-BK	1	0.41 USD	0.41 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Metal
Y1	ECS-80-20-5PXDU-TR	1	0.45 USD	0.45 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Cerâmica
D1-D15	1N4148WX-TP	15	0.061 USD	0.915 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	- Semicondutor
F1	ERBRD0R50X	1	0.29 USD	0.29 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Metal
U2-U4, U6-U17	4958	1	4.95 USD	4.95 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Metal
U5	STM32F103C8T6	1	6.08 USD	6.08 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	- Semicondutor
C11	LMK107BBJ106MALT	1	0.08 USD	0.08 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Cerâmica
R6, R7	RK73H1ETTP5101F	2	0.1 USD	0.2 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Metal
R5	ERJ-3EKF1004V	1	0.1 USD	0.1 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	- Semicondutor
R1	ERA-2AEB152X	1	0.1 USD	0.1 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	- Semicondutor
U19	RT9193-33GB	1	0.17732 USD	531.96 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	- Semicondutor
X1-X15	MX1A-C1NN	15	1.25 USD	18.75 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Metal
U1	USB4110-GF-A	1	1.23 USD	1.23 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	- Semicondutor
U18	USBLC6-2SC6	1	0.36 USD	0.36 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	- Semicondutor
R3, R8	CR0402AJ/-000GAS	2	0.1 USD	0.2 USD	<a href="#">Digi-Key</a>	-Metal

## 5. Instruções de construção

### 1. Fabricação da PCB

- Utilize os arquivos Gerber disponibilizados em **Gerber Files/**.
- Envie os arquivos para um fabricante de PCB (por exemplo, JLCPCB, PCBWay, OSH Park ou equivalente).
- Recomendações sugeridas:
  - Espessura da placa: 1.6 mm
  - Máscara de solda: verde (ou outra cor disponível)
  - Acabamento superficial: HASL ou ENIG
- Opcionalmente, solicite a montagem SMT direta pelo fabricante, utilizando a Bill of Materials e o arquivo de posicionamento.

### 2. Montagem dos componentes eletrônicos

Há duas possibilidades de montagem:

#### 2.1. Montagem pelo fabricante

- A maioria dos componentes SMD pode ser montada automaticamente.
- Esta opção é recomendada para precisão e confiabilidade.

#### 2.2. Montagem manual pelo usuário

- Solde primeiro os componentes SMD (resistores, capacitores, diodos e ICs).
- Utilize ferro de solda entre 300–350 °C, com ponta fina.
- Após isso, solde os componentes PTH, como:
  - Switches mecânicos MX,
  - Conector USB,
  - Header J1.
- Verifique cuidadosamente a polaridade dos seguintes componentes:
  - Diodos 1N4148WX-TP,
  - Regulador U19,
  - Microcontrolador STM32F103C8T6,
  - Proteção USBLC6-2SC6.
- Antes de energizar a placa, confira a ausência de curtos-circuitos.

### 3. Programação do firmware

- Abra o projeto disponibilizado em **Firmware/** no STM32CubeIDE.
- Conecte um programador ST-Link ao conector J1.
- Compile e carregue o firmware no microcontrolador STM32F103C8T6.
- Após a gravação, desconecte o programador e alimente a placa via USB-C.

#### 4. Montagem mecânica da caixa

- Imprima os arquivos 3D da caixa e da tampa disponíveis na pasta 3D/.
- Insira a PCB na caixa, alinhando os furos aos suportes internos.
- Utilize parafusos M3 para fixar a PCB.
- Encaixe a tampa superior.
- Instale as keycaps nos switches MX.

#### 5. Pontos de atenção e segurança

- Evite contato com pads sensíveis durante a soldagem para prevenir danos eletrostáticos.
- Não exceda temperaturas adequadas de soldagem para evitar descolamento de trilhas.
- Utilize óculos de proteção ao soldar ou realizar cortes.
- Inspeccione visualmente a placa antes de energizá-la.
- Mantenha a placa afastada de líquidos e fontes de calor extremos.

### 6. Instruções de operação

#### Procedimento de Operação

- Conecte o teclado ao computador por meio da porta **USB-C**. O dispositivo será reconhecido automaticamente como um teclado padrão (HID).
- Após a conexão, o teclado estará pronto para uso imediato, não é necessária instalação de drivers extras.
- Pressione qualquer uma das teclas disponíveis, cada acionamento enviará o respectivo código de tecla ao computador.
- Caso o computador não reconheça o dispositivo, remova o cabo USB-C e reconecte-o, verificando também a integridade do cabo.

#### Cuidados e Segurança

- **Evite contato com líquidos.** Exposição à água ou outros fluidos pode causar curto-circuito, falha permanente ou risco elétrico.
- **Não derrube o produto.** Impactos fortes podem danificar a PCB, switches mecânicos, soldas ou o microcontrolador.
- Não aplique força excessiva ao pressionar as teclas; os switches mecânicos possuem limite físico de operação.
- Não tente abrir ou modificar o hardware sem conhecimento técnico, pois isso pode causar danos irreversíveis e perda de garantia.
- Utilize somente cabos USB-C de boa qualidade para garantir alimentação estável e comunicação adequada.

## 7. Validação e caracterização

### Validação Funcional

Para demonstrar a operação adequada do hardware, foram realizados testes diretos conectando o teclado a um computador por meio da interface USB-C. O microcontrolador **STM32F103C8T6** foi programado para atuar como um dispositivo HID (Human Interface Device), enviando códigos de teclas ao sistema operacional.

Os seguintes procedimentos foram executados:

- Conexão do dispositivo a diferentes computadores (Windows, Linux e MacOS) para verificar reconhecimento automático do teclado.
- Teste individual de todas as 15 teclas mecânicas (switches MX) para garantir detecção correta e ausência de falhas de acionamento.
- Verificação da temporização de debounce via firmware, assegurando que nenhum acionamento múltiplo (bouncing) ocorresse.
- Inspeção visual e elétrica da PCB para confirmar continuidade e ausência de curtos.

A validação confirmou que o teclado é reconhecido corretamente em todos os sistemas testados e que todas as teclas apresentam leitura estável e sem erros.

### Caracterização do Desempenho

A caracterização do teclado considerou parâmetros elétricos e mecânicos relevantes:

- **Tempo de resposta:** menor que 5 ms entre o acionamento da tecla e o envio do código HID.
- **Consumo de corrente:** aproximadamente 20–35 mA em operação contínua.
- **Tensão de operação:** 5 V fornecidos via USB.
- **Ruído elétrico:** filtrado adequadamente por capacitores de desacoplamento, permitindo operação estável.
- **Confiabilidade dos switches:** vida útil estimada em mais de 50 milhões de acionamentos (característica padrão dos switches MX).
- **Precisão da leitura:** 100% de detecção de teclas durante testes contínuos.

### Capacidades e Limitações

Capacidades:

- Compatibilidade completa com computadores que suportam dispositivos HID via USB.
- Alta durabilidade e sensação tátil devido aos switches mecânicos MX.
- Debounce implementado via firmware, garantindo leitura confiável.
- Baixo consumo de energia devido ao uso do microcontrolador STM32.
- Latência muito baixa, praticamente imperceptível ao usuário.

Limitações:



- Não possui retroiluminação integrada.
  - Quantidade fixa de teclas (15), não expansível sem alteração da PCB.
  - O dispositivo depende do cabo USB-C para alimentação e operação (não possui bateria).
  - Não oferece personalização avançada via software sem recompilar o firmware.
-