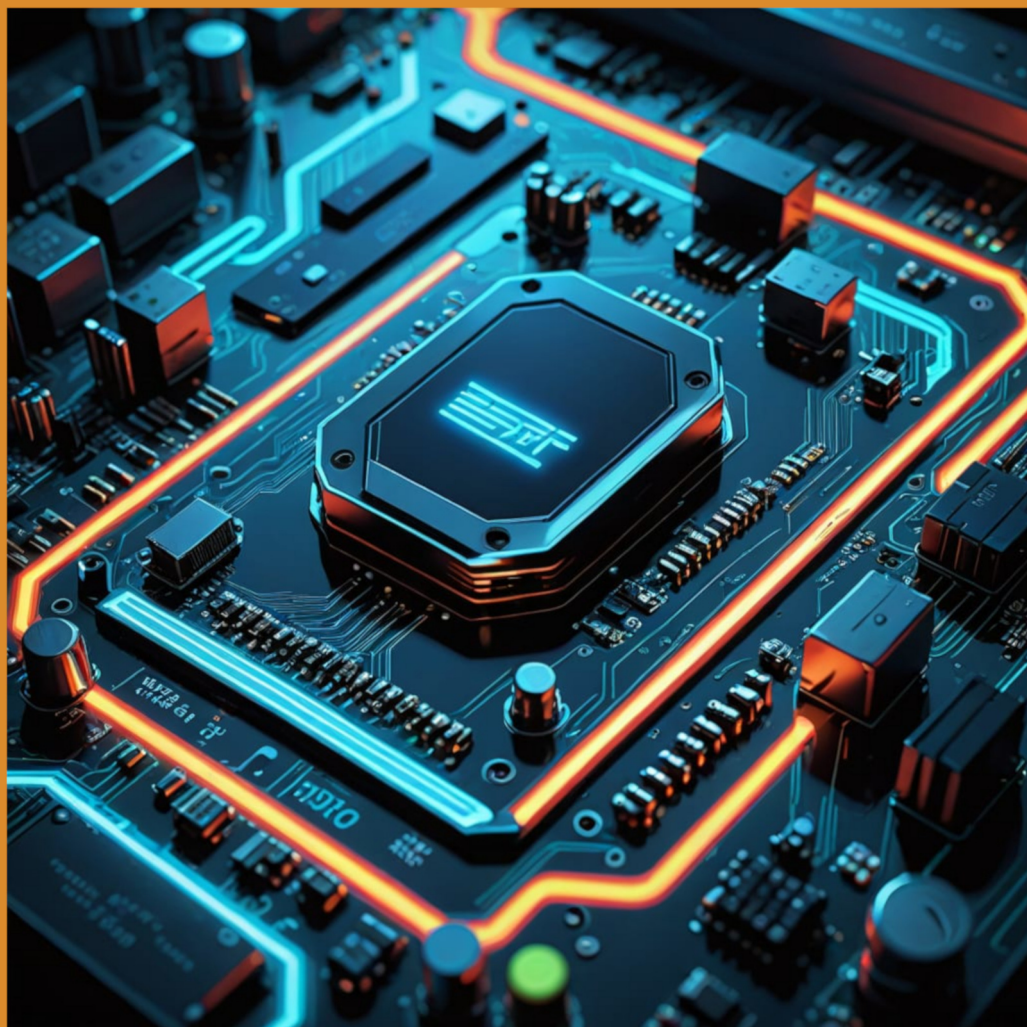


Projeto de Equipamentos



Microcontrolados

Roberto Tavares

Ei, psiu! Um recado importante!

Este livro foi escrito com muito esforço, café e talvez algumas madrugadas sem dormir. Então, por favor, não copie, não compartilhe sem autorização e não jogue spoilers por aí! Se você curtiu o conteúdo e acha que alguém mais deveria ler, a melhor forma de apoiar é recomendando a compra oficial.

A cópia, distribuição ou compartilhamento não autorizado, seja em formato impresso ou digital, prejudica o trabalho do autor e desvaloriza o esforço dedicado à produção deste conteúdo. Lembre-se: cada cópia não autorizada é um escritor chorando em um canto (e possivelmente planejando vingança literária). Seja legal, apoie o autor!

Copyright @ 2025 por Roberto Tavares

Histórico de impressões:

- Março/2025 Segunda edição Digital e Física
- Maio 2025 Revisão 2.1 Digital
- Junho 2025 Revisão 2.2 Digital

Todos os direitos reservados e protegidos pela lei 9.610 de 19/02/1998. É proibida a reprodução desta obra, mesmo parcial, em qualquer processo, sem prévia autorização, por escrito, do autor e da editora.

Para interagir com o autor, visite o canal eletrohow, no YouTube, ou a página eletrohow.com.

Projeto de equipamentos microcontrolados

Uma abordagem prática e abrangente -
Segunda edição

Roberto Tavares

Sumário

1. Uma visão geral deste livro	1
2. Um dia comum... ..	5
2.1. Considerações preliminares sobre um projeto	7
2.2. Uma visão executiva sobre um novo projeto.	8
2.3. O ciclo de vida de um projeto de equipamentos	9
3. Os diagramas do sistema	17
3.1. O diagrama de contexto	17
3.2. Detalhando o diagrama de contexto	18
3.3. Considerações sobre a escolha do microcontrolador	20
4. A escolha do ambiente de desenvolvimento para o ESP32.	27
4.1. Arduino IDE.	27
4.2. PlatformIO.	28
4.3. ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework).	29
4.4. MicroPython	30
4.5. NodeMCU (Lua)	31
4.6. Eclipse com ESP-IDF.	31
4.7. VSCode com ESP-IDF Extension.	32
4.8. Qual escolher?	33
5. Conhecendo a placa DoIt Kit ESP32 v.1. 30 pinos.	35
5.1. O pino D22	35
5.2. O pino D23	43
6. Instalando a IDE Arduino no Linux Mint	55
6.1. Adicionar Suporte ao ESP32.	56
7. O ambiente de desenvolvimento de hardware.	59
7.1. Módulos para a prototipagem.	59
7.2. Atribuindo periféricos aos pinos do ESP32.	60
7.3. Um teste rápido dos ambientes de software e hardware ...	70
8. Configurando dados sensíveis fora do código fonte	75
8.1. Uso de Arquivo de Cabeçalho Externo ('secrets.h'):	75
8.2. Armazenamento em Memória Não Volátil (NVS):	76
8.3. Uso de Bibliotecas de Gerenciamento de Wi-Fi:	77
8.4. Considerações Adicionais:	78
8.5. Detalhes operacionais da biblioteca WiFiManager.	78

8.6. Passos para Utilização:	80
8.7. Considerações Importantes:	81
8.8. Utilizando a WifiManager para outros campos de dados	82
8.9. Explicação do Código	84
8.10. Como Funciona na Prática	86
8.11. Personalização Adicional.	87
8.12. Considerações Finais	87
8.13. Configurando de forma persistente, salvando os dados em memória não volátil	88
8.14. Explicação do Código	93
8.15. Considerações Finais	97
9. O módulo RTC do ESP32	99
9.1. Principais Características do Módulo RTC do ESP32:	99
9.2. Uso Típico:	101
9.3. Exemplo de Código (Usando o Arduino IDE):.	101
9.4. Corrigindo o RTC através da internet.	106
9.5. Explicação do Código:	109
10. Interagindo com a memória não volátil do ESP32.	113
10.1. A API da biblioteca Preferences	113
10.2. Exemplo de firmware para acessar a memória.	118
10.3. Considerações Importantes	120
11. Conhecendo a interface I2C	123
11.1. Características Principais da comunicação I2C:.	123
11.2. A I2C no ESP32.	126
12. Conhecendo a interface SPI	131
12.1. Características Principais do SPI:.	131
12.2. Funcionamento:	132
12.3. Aplicações:	132
12.4. Vantagens:.	133
12.5. Desvantagens:.	133
12.6. A SPI na CPU ESP32.	133
12.7. Exemplo de conexão SPI com leitor/gravador de cartões microSD	137
12.8. Explicação do Código:	140
12.9. Saída Esperada no Monitor Serial:	141
13. A interface 1-Wire	143

13.1. Características do 1-Wire:	143
13.2. Componentes necessários para este experimento:	144
13.3. Conexão física:	144
13.4. Código na IDE Arduino para ESP32:	144
14. A interface Wifi No ESP32	149
14.1. Consumo de Energia	149
14.2. Interferência e Alcance	150
14.3. Limitações de Conexões Simultâneas	151
14.4. Desempenho e Latência	151
14.5. Segurança	152
14.6. Estabilidade da Conexão	152
14.7. Limitações de Memória	153
14.8. Compatibilidade com Redes	153
14.9. Aquecimento	154
14.10. Limitações de Firmware	154
14.11. Concorrência com Outras Funcionalidades	155
14.12. Configuração de Rede	155
14.13. Conclusão	156
14.14. Código do ESP32	156
14.15. Explicação do Código	159
14.16. Acessando a Interface	165
14.17. Personalização	165
15. Conhecendo os sensores utilizados	167
15.1. Conhecendo o sensor AHT10	167
15.2. Conhecendo o sensor DS18B20	173
16. Conhecendo o módulo gravador/leitor MicroSd HW-125	177
16.1. Características:	177
16.2. Funcionamento:	178
16.3. Considerações Importantes:	179
16.4. Outras Aplicações:	180
16.5. Conexões com o ESP32 DoIT V1.1:	180
16.6. Código de Exemplo:	181
16.7. Explicações e Considerações:	183
16.8. Como Utilizar:	183
16.9. Dicas:	184
17. Medindo a tensão da bateria	185

17.1. Opção divisor resistivo na entrada	186
17.2. Opção MOSFET para Controlar o Divisor Resistivo	190
17.3. Opção amplificador Operacional.	192
17.4. Opção IC Específico para Medição de Tensão	193
17.5. Opção Capacitor para Amostragem	194
17.6. A solução empregada. Carga de um capacitor	197
18. Interagindo com o Telegram	203
18.1. Por que utilizar o telegram?	203
18.2. Telegram no Controle de Dispositivos IoT:	204
18.3. Controle de Dispositivos via Telegram com o ESP32	205
18.4. Configuração do Bot no Telegram:	206
18.5. Bibliotecas Necessárias:	206
18.6. Código fonte	206
18.7. Operação:	209
19. Iniciando o desenvolvimento do programa do registrador	211
19.1. Implementação da tarefa Tick e acionamento da tarefa AcendeLed.	212
19.2. Melhorando a eficiência energética do pisca pisca	215
19.3. Interface WEB preliminar	219
20. Inserindo o processamento de um cartão microSD (SPI)	227
20.1. Definindo a estrutura de dados.	230
21. Inserindo o código de controle do sensor de temperatura DS18B20	241
22. Inserindo o sensor de temperatura e umidade ATH10	249
22.1. Características do ATH10:	249
22.2. Conexão do ATH10 com o ESP32:.	250
22.3. Programa para ESP32 (Interface Arduino):	250
22.4. Uma visão geral do software desenvolvido até o momento	257
23. Inserindo a monitoração da bateria.	263
23.1. Código com medida da bateria inserido	263
23.2. Descrição do código	272
24. Mantendo o relógio sempre acertado	277
24.1. Código com sincronismo do RTC via WEB	277
24.2. Detalhamento do código	287
25. Mantendo o relógio sempre acertado	293
25.1. Código com sincronismo do RTC via WEB	293

25.2. Detalhamento do código	303
26. Sugestões de novas funcionalidades	309
26.1. Melhoria na Gestão de Memória.	309
26.2. Tratamento de Erros	310
26.3. Eficiência Energética	310
26.4. Melhoria na Interface Web	310
26.5. Sincronização de Tempo	311
26.6. Melhoria na Leitura de Temperatura	311
26.7. Melhoria na Leitura de Tensão da Bateria	311
26.8. Documentação.	312
26.9. Testes e Validação	312
26.10. Exemplo de Melhorias no Código:	312
26.11. Conclusão	314
27. RMT. Copiando um controle infravermelho	315
27.1. O que é o RMT?.	315
27.2. Por que o RMT é usado para infravermelho?	315
27.3. Como o RMT funciona (visão simplificada).	316
27.4. Exemplo de uso típico	316
27.5. Bibliotecas úteis	317
27.6. Aplicações do RMT além do IR:	317
27.7. O que você precisa:	317
27.8. Instalação da biblioteca	318
27.9. Conexões sugeridas	318
27.10. Código completo	318
27.11. Código para gravar vários botões e repetir via WiFi	320
27.12. Como funciona	321
27.13. Como usar:	325
27.14. Estendendo a funcionalidade	326
27.15. Bibliotecas adicionais necessárias:	326
27.16. Organização da EEPROM:	326
27.17. Código atualizado	327
27.18. Como usar:	331
28. E chegamos ao final...	333
Apêndice A: Proteção IP.	335
A.1. Primeiro dígito (proteção contra sólidos):	335
A.2. Segundo dígito (proteção contra líquidos):	336

A.3. Exemplos de classificação IP:	337
Apêndice B: Manual do Usuário.	339
B.1. Introdução.	339
B.2. Especificações Técnicas	340
B.3. Instalação e Configuração Inicial	340
B.4. Operação do Equipamento	341
B.5. Manutenção e Solução de Problemas	342
B.6. Segurança e Normas	343
B.7. Anexos.	343
B.8. Considerações Finais	343
B.9. Dicas para Redação do Manual	344
Apêndice C: Padrões mais comuns dos controles remotos infravermelhos.	345
C.1. NEC (ou NEC IR Protocol)	345
C.2. Sony SIRC (Sony Infrared Remote Control)	346
C.3. LG	346
C.4. Samsung	346
C.5. Mitsubishi, Daikin, Panasonic, Fujitsu, etc (Ar- Condicionado)	347
C.6. RC-5 e RC-6 (Philips)	347
C.7. Resumo dos principais parâmetros:	348

1. Uma visão geral deste livro

No mundo cada vez mais conectado e automatizado em que vivemos, os microcontroladores emergem como peças fundamentais na construção de sistemas inteligentes e eficientes. O avanço da tecnologia embarcada tem revolucionado a forma como desenvolvemos produtos eletrônicos, tornando possível a criação de dispositivos cada vez mais inteligentes, acessíveis e interconectados.

Presentes em uma infinidade de aplicações, desde dispositivos médicos e automotivos até sistemas industriais e dispositivos IoT (Internet das Coisas), esses pequenos componentes são a espinha dorsal da tecnologia moderna. Projetar sistemas baseados em microcontroladores, no entanto, não é uma tarefa trivial. Exige uma combinação de conhecimento teórico, habilidades práticas e uma visão abrangente das necessidades do projeto.

Entre as plataformas mais populares para esse tipo de desenvolvimento estão o ESP32 e o Arduino, que oferecem recursos poderosos aliados a uma comunidade vibrante e um ecossistema rico de ferramentas. É com estas plataformas que vamos mostrar experimentos práticos que exemplificam os conceitos apresentados.

Este livro foi concebido como um guia prático e teórico para engenheiros, estudantes e entusiastas que desejam dominar a arte e a ciência do projeto de equipamentos baseados em microcontroladores. Nosso objetivo é fornecer uma abordagem clara e estruturada, que vá desde os conceitos básicos até

as técnicas avançadas, permitindo que o leitor não apenas compreenda os fundamentos, mas também seja capaz de aplicar esse conhecimento em projetos reais.

Ao longo dos capítulos, exploraremos os principais aspectos do projeto de sistemas embarcados, incluindo a seleção de microcontroladores, o desenvolvimento de firmware, a integração de sensores e atuadores, e a otimização de desempenho e consumo energético. Também abordaremos tópicos essenciais como depuração, testes e documentação, que são cruciais para o sucesso de qualquer projeto técnico.

Este livro não pretende ser apenas um repositório de informações técnicas, mas sim uma ferramenta que inspire a criatividade e a inovação. Acreditamos que, ao dominar os conceitos e práticas apresentados aqui, você estará preparado para enfrentar os desafios do desenvolvimento de sistemas embarcados e contribuir para a criação de soluções tecnológicas que impactem positivamente a sociedade.

Nosso compromisso com a atualização constante faz com que esta obra seja revisada anualmente, incorporando novas tecnologias, melhores práticas e as tendências mais relevantes do setor. Assim, garantimos que você tenha sempre em mãos um material atualizado e alinhado com a evolução do mercado.

Agradecemos a você, leitor, por embarcar nesta jornada conosco. Que este livro seja um recurso valioso em sua trajetória profissional e acadêmica, e que ele o ajude a transformar suas ideias em

realidade.

Boa leitura e bons projetos!

Roberto Tavares

Março/2025

2. Um dia comum...

Imagine você, contratado como responsável pelo desenvolvimento de produtos cyber-físicos de uma pequena empresa. Você estava tranquilo, atualizando o software de um produto recém entregue ao mercado, quando, de repente, uma mensagem chega pelo WhatsApp. O pessoal de marketing estava solicitando uma reunião. Queriam a sua opinião sobre a viabilidade técnica e econômica de um novo desenvolvimento.

E deviam estar esperando a sua resposta bem por detrás da porta de sua sala, pois bateram cinco segundos depois que você respondeu dizendo que estava livre, e que a reunião poderia acontecer agora. E logo após os cumprimentos de praxe, apresentaram o que para eles era toda a especificação de um equipamento que tinham identificado como de bom potencial de mercado.

— Dev. Identificamos uma oportunidade de mercado para um produtos que estamos chamando de Thermo Duo. Definimos o seguinte:

- O Thermo Duo é um equipamento que tem como objetivo o registro de temperatura de dois pontos distintos ao mesmo tempo. Seu uso inicial é o registro da temperatura da água de um aquário e da temperatura ambiente.
- O equipamento deve fornecer tanto os valores instantâneos de temperatura como os valores registrados no ano. Neste último caso precisamos da informação em formato gráfico.

-
- A temperatura deve ser medida com a precisão mínima de 0.5 graus centígrados.
 - As medidas devem ser realizadas em intervalos programáveis, de 1 em 1 minuto, de 1 a 60 minutos de intervalo total.
 - O equipamento deve poder trabalhar sem energia externa por no mínimo 24 horas.
 - A visualização dos dados deve ser realizada por WiFi. O acesso deve ser habilitado a plataformas diversas, tais como Linux, Windows, Mac,Android e IOS.
 - O gabinete deve atender no mínimo à proteção IP54.

Um silêncio indicou o fim das especificações. Estas especificações tinham sido levantadas pelo pessoal de marketing junto aos clientes mais fieis da empresa, e também por pesquisa de mercado. Tinham investido bastante tempo e recursos financeiros para o levantamento, e esperavam que isto fosse algo factível de ser realizado antes do final do ano. Algo como 9 meses entre a concepção e a disponibilidade do produto. Um tempo muito curto, eles sabiam.

— Deixe o resto com nossa equipe, você responde com um sorriso. Ainda sem uma ideia formada de como seria isto, mas afinal é para resolver estas situações que você conseguiu este emprego...

Este é o desejo do marketing. Como responsável pelos novos produtos, cabe a você transformar estas ideias em algo real, competitivo e eficiente.

Embora você não tenha falado nada quando o marketing especificou o gabinete IP54, você não se lembrava bem quais eram os requisitos específicos para este tipo de gabinete. Mas bastou ver o Apêndice 1 deste livro para ficar tranquilo. Os requisitos não eram nada difíceis de serem atendidos.

O próximo passo é o ante-projeto do sistema.

2.1. Considerações preliminares sobre um projeto

Enquanto todos tomavam um café após a reunião, você não pode deixar de pensar como a tecnologia veio permitir que projetos deste tipo fossem viáveis para empresas com relativamente poucos recursos, como a sua.

O surgimento dos microcontroladores tornou possível o desenvolvimento de instrumentos sofisticados a um custo muito baixo comparado com a opções de algum tempo atrás. A possibilidade de prototipagem rápida com módulos disponíveis do mercado encurta o tempo entre a concepção do produto e a disponibilização para o mercado a valores inacreditáveis para aqueles acostumados com o projeto de sistemas puramente analógicos ou com integração em baixa escala.

A criação de um projeto de equipamentos baseados em microcontroladores envolve várias etapas, que vão desde a concepção inicial até a embalagem final do produto. O sucesso técnico e comercial do

equipamento exige um trabalho que se inicia bem antes de compramos os módulos ou sentarmos na frente do computador de desenvolvimento. Veja a seguir as etapas típicas de um projeto deste tipo.

2.2. Uma visão executiva sobre um novo projeto

Antes de iniciarmos o ante-projeto, uma visão executiva ampla deve decidir pelo interesse no desenvolvimento.

- **Identificação da Necessidade:** Defina o problema a ser resolvido ou a necessidade do mercado. Neste caso, esta parte já foi realizada pela equipe de marketing.
- **Especificações do Produto:** Determine as funcionalidades desejadas, desempenho, interface do usuário, consumo de energia, dimensões e custo-alvo. Praticamente tudo já realizado pela equipe de marketing. Você pode estabelecer alguns limites neste ponto, sempre em conjunto com a equipe que irá comercializar o equipamento.
- **Avaliação de Viabilidade:** Verifique a viabilidade técnica e econômica do projeto. Esta é uma responsabilidade totalmente sua. Exige experiência e conhecimento de mercado. A partir de um diagrama de blocos inicial você identifica os componentes principais do produto e faz uma avaliação preliminar do custos e prazos envolvidos. Quanto mais experiência com

projetos similares você tiver, mais precisa será a sua avaliação.

Isto realizado, e decidido pela pertinência do projeto, entramos no ciclo de vida de um projeto.

2.3. O ciclo de vida de um projeto de equipamentos

Veja as atividades que iremos precisar realizar durante o projeto de um equipamento. Não é nosso objetivo aqui detalhar cada item, isto é muito material para um único livro, mas será assunto de livros a serem lançados nos próximos meses. O nosso objetivo é te mostrar tudo que precisa ser dimensionado. E não se preocupe se algum item não for compreendido por você. Tudo será explanado no seu devido tempo.

2.3.1. Você compreendeu mesmo o que o cliente deseja?

- **Documentação Inicial:** Crie um escopo do projeto, incluindo um diagrama de blocos funcional. Faça algo como um "manual de usuário " e encaminhe para o marketing ou para o cliente que lhe solicitou o projeto.



É com este manual que formamos a convicção que o projeto foi

compreendido por nós como foi idealizado pelo solicitante. NÃO avance no projeto antes de receber o aval do solicitante. É muito fácil nos enganarmos na interpretação do que nos foi solicitado para implementação.
--

Mas antes de partirmos para os diagramas do anteprojeto, vamos abrir espaço para uma visão geral do ciclo de vida do projeto de um equipamento. É importante termos a visão global do que precisamos fazer antes de focarmos nos detalhes.

2.3.2. Avaliação do hardware necessário

- **Escolha o Microcontrolador:** Selecione um microcontrolador que atenda às especificações de processamento, memória, periféricos e custo.
- **Componentes Adicionais:** Defina sensores, atuadores, fontes de alimentação, displays e interfaces de comunicação necessários.
- **Esquemático:** Desenvolva o diagrama esquemático com todas as conexões elétricas.
- **Layout da PCB:** Projete a placa de circuito impresso (PCB), levando em consideração o roteamento das trilhas de potência e dados e os requisitos da montagem. Esta placa não deve ser fabricada ainda. Serve apenas para termos ideias das dimensões e complexidade. A placa final só deve ser definida quando os testes