

Dispositivo Regulador de Oxigênio e Umidade

Daniel Porto Braz

1

1. Escopo do projeto

O projeto consiste em um dispositivo capaz de ler os níveis de saturação de oxigênio (SpO2) e umidade relativa do ar de um indivíduo. Baseado nos níveis lidos, o sistema verifica se há situações de anormalidade, no caso, níveis acima ou abaixo daqueles definidos, e toma a decisão de liberar oxigênio e umidade para estabelecer níveis normais. Estes níveis são exibidos por barras de porcentagem no display OLED 128x64 (SSD 1306) que recebe os dados via interface I2C, além disso, estão presentes a emissão de sinais sonoros (Buzzer), e LEDs que ligam conforme as verificações. Em função da interação com o usuário, há dois botões: um que ativa/desativa o sinal sonoro e outro que inicia o processo de leitura.

1.1. Objetivos

Idealizado para a área da saúde, o projeto conta com objetivos que busquem a melhor qualidade de vida e o auxílio às pessoas que sofrem com doenças/problemas respiratórios. Contudo, a sua aplicação não substitui a consulta ao profissional de saúde. Ciente disso, os objetivos do projeto são:

1. Monitorar os níveis de oxigenação e umidade do usuário em tempo real.
2. Estabilizar os níveis de oxigenação e umidade do usuário, conforme necessário.
3. Melhorar a qualidade de vida de pessoas portadoras de doenças/problemas respiratórios.
4. Auxiliar no tratamento de doenças/problemas respiratórios de níveis leves a moderados, como asma, rinite alérgica e bronquite aguda.
5. Garantir eficiência e praticidade durante o uso do dispositivo.

2. Funcionalidades

O projeto consiste em um regulador automatizado, portanto seu funcionamento se sustenta em duas etapas principais, que são: a coleta e a liberação. A partir delas, o sistema consegue atuar baseado numa série de decisões e verificações e exibi-las em tempo real ao usuário. Embora seja capaz de fazer todos estes processos de forma autônoma, ele necessita que o usuário inicie as etapas, por um botão, que, logo ao ser pressionado, inicia as rotinas (etapas) e um LED azul.

Na primeira, a coleta, o usuário deve respirar no sensor frontal (SHTC3) que medirá a umidade, enquanto mantém o dedo no sensor lateral (MAX30102), que medirá a saturação de oxigênio. Durante esse processo, o dispositivo exibe os níveis em barras de porcentagem. Ao final, se, ao menos, um dos níveis estiver anormal, ele emite 3 sinais sonoros, sincronizados a um LED vermelho, porém, se os níveis estiverem normais, apenas acende um LED verde por 3 segundos. No display, além dos níveis, são exibidas mensagens para cada situação.

Na segunda etapa, a liberação, o sistema detecta qual(is) dos níveis estão anormais e inicia o processo para estabilizá-los. Assim, o usuário deve receber as cargas de oxigênio e umidade pelo atuador de saída. Este processo ocorre até os níveis serem estabilizados, que vão crescendo/diminuindo em 10 %. Ao final, o sinal sonoro emite um bip indicando o final da rotina. Ressalta-se que o display é continuamente atualizado com os níveis.

Em resumo, as funcionalidades são:

1. Iniciar o processo por meio de um botão, ativando o LED azul.
2. Coletar os níveis de oxigenação e umidade do usuário através dos sensores MAX30102 e SHTC3.
3. Exibir os níveis de oxigênio e umidade no display em tempo real. Analisar os dados coletados e identificar possíveis anormalidades.
4. Alertar o usuário por meio de sinais sonoros e visuais caso algum nível esteja fora do normal.
5. Acender um LED verde caso os níveis estejam normais.
6. Liberar oxigênio e/ou umidade de acordo com a necessidade do usuário.
7. Ajustar os níveis em incrementos de 10 por cento até a estabilização.
8. Finalizar o processo com um sinal sonoro quando os níveis estiverem normalizados.

3. Por que esse dispositivo foi proposto?

Ao decorrer dos anos, doenças respiratórias têm sido cada vez mais evidentes, principalmente após a pandemia de Covid-19. Junto a isso, as mudanças climáticas intensificam ainda mais esses casos, como é alertado pela OMS. Segundo esta, cerca de 4,2 milhões de mortes prematuras ocorrem anualmente devido à exposição à poluição do ar. A partir disso, compreende-se que os níveis de umidade e oxigenação de cada indivíduo são cruciais na manutenção do sistema respiratório e na qualidade de vida. Assim, o monitoramento destes níveis deve ser ressaltado, estes que para o oxigênio considera-se a partir de 95% (entretanto, para pessoas portadoras de asma, 90% ainda é considerado normal), e para a umidade do organismo humano, situa-se entre 40-70%.

Baseado nas premissas e dados, o Dispositivo Regulador de Oxigênio e Umidade surge para uso médico e destinado a pessoas que sofrem com problemas respiratórios. Contudo, ele não é uma ideia totalmente inovadora, na verdade, ele se fundamenta nas funções dos dispositivos já existentes: oxímetro de pulso, concentrador de oxigênio e nebulizador ultrassônico. Apesar de que cada um destes dispositivos exerça suas funções com precisão e eficácia, o dispositivo proposto é idealizado para unir todas elas e oferecer um sistema inteligente que permita monitorar e regular os níveis de oxigênio e umidade de forma prática e eficiente. Entretanto, suas dimensões e capacidade são reduzidas para que seja uma solução de baixo custo e viável.

4. Especificação do Hardware

O sistema embarcado apresentado é baseado nos padrões do curso de capacitação em sistemas embarcados Embarcatech. Apresenta-se o dispositivo que conta com o seguinte hardware:

1. Microcontrolador: ATmega328P.

2. Fonte: Bateria Li-Ion 3.7V (2000mAh - 3000mAh)
3. Sensores
 - MAX30102.
 - SHTC3.
 - Botão 1.
 - Botão 2.
4. Atuadores
 - Válvula solenóide biestável.
 - Microbomba peristáltica DC.
 - Buzzer.
5. Periféricos
 - Display OLED SSD1306: Exibe informações via interface I2C.

4.1. Diagrama

A seguir, na Figura 1, há o diagrama em bloco que representa a interligação do hardware:

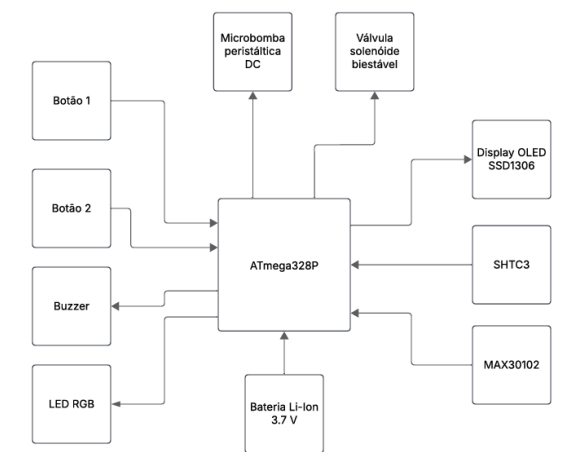


Figura 1. Diagrama em bloco do hardware.

- ATmega328P; Controla todas as entradas e saídas, além de processar os dados para cada função do sistema.
- MAX30102: Mede SpO2 (saturação de oxigênio) e envia o valor do ADC (conversor analógico).
- SHTC3: Mede a umidade e envia o valor do ADC.
- Botão 1: ativa/desativa o buzzer. Configurado como pull-up.
- Botão 2: inicia rotinas. Configurado como pull-up.
- Válvula solenóide biestável: Atua para liberar oxigênio. Aguarda a leitura dos valores digitais pelo microcontrolador para atuar.
- Microbomba peristáltica DC: Ajusta a umidade conforme a necessidade. Aguarda a leitura dos valores digitais pelo microcontrolador para atuar.
- Buzzer: emite alerta sonoro. Controlado indiretamente pelo botão.
- LED RGB: indica sinal de verificação. Recebe os sinais, conforme o microcontrolador processa diferentes valores analógicos.

4.2. Pinagem

Na Tabela 1, a pinagem configurada no projeto é apresentada.

Tabela 1. Pinagem do ATmega328P para o projeto

Componente	Função	Pino ATmega328P	Tipo de Sinal
Sensores			
MAX30102	Sensor de Saturação (SpO2)	A4 (PC4)	SDA (I2C)
MAX30102	Sensor de Saturação (SpO2)	A5 (PC5)	SCL (I2C)
SHTC3	Sensor de Umidade	A4 (PC4)	SDA (I2C)
SHTC3	Sensor de Umidade	A5 (PC5)	SCL (I2C)
Atuadores			
Válvula Solenóide	Liberação de Oxigênio	D3 (PD3)	PWM
Microbomba Peristáltica	Liberação de Umidade	D5 (PD5)	PWM
Controles e Indicações			
Botão 1	Inicia Coleta de Dados	D2 (PD2)	INT0
Botão 2	Ativa/desativa o buzzer	D6 (PD6)	INT1
Buzzer	Alerta Sonoro	D7 (PD7)	PWM
LED Vermelho	Indicação de Alerta	B1 (PB1)	Digital
LED Verde	Indicação de Normalidade	B2 (PB2)	Digital
LED Azul	Indicação de Operação	B3 (PB3)	Digital
Interface de Exibição			
Display OLED SSD1306	Exibição dos Níveis	A4 (PC4)	SDA (I2C)
Display OLED SSD1306	Exibição dos Níveis	A5 (PC5)	SCL (I2C)
Alimentação			
Bateria Li-Ion 3.7V	Fonte de Energia	VCC	3.7V
Regulador DC-DC	Conversão de Tensão	VCC	5V
GND	Terra Comum	GND	0V

5. Especificação do Firmware

O firmware consiste na parte de instruções e definições das funcionalidades do sistema. Nele, também estão todos os programas que permitirão a execução do projeto no hardware específico. Assim, o sistema apresentado possui o seguinte diagrama de camadas do firmware, na Figura 2.

As funcionalidades de cada camada são:

1. Aplicação: Controla a lógica do sistema (coleta, liberação, etc.).
2. Bibliotecas: Oferece funções para facilitar o uso do hardware.
3. Interface: Controla display OLED, LEDs e buzzer.
4. Comunicação: Gerencia I2C (display) e PIO (matriz de LEDs).
5. Camada de Hardware: Configura registradores, GPIO, ADC, PWM, etc.

5.1. Fluxograma do software

O fluxograma pode ser encontrado no seguinte link do repositório no GitHub: Repositório do Projeto Final Unidade 7. O software construído contém um bloco fundamental que se trata da inicialização, na subseção a seguir será melhor descrito.

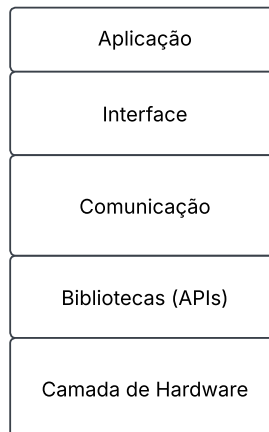


Figura 2. Diagrama em bloco das camadas do firmware.

5.1.1. Inicialização

Nas primeiras partes do código, são chamadas as bibliotecas, definidos os pinos de ADC, PWM, GPIO e I2C (este para o display OLED), e valores utilizados ao longo do programa. Assim, são chamadas as funções como "adc_init()", e "gpio_set_function(pino, GPIO_FUNC_PWM)". Além dessas, outras funções são criadas para fazer inicializações que exigem vários comandos (caso do I2C).

Antes de prosseguir, o protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit) é um barramento serial síncrono que permite a comunicação entre um mestre e múltiplos dispositivos escravos usando apenas duas linhas: SDA (dados) e SCL (clock), ambas com resistores pull-up. Ele utiliza um esquema de endereçamento de 7 ou 10 bits e transmite dados em bytes, neste caso, no padrão 8N1 (8 bits de dados, sem paridade e 1 bit de parada).

Na ordem de inicialização, têm-se: configuração do PWM, inicialização do joystick, inicialização da matriz de LEDs endereçáveis WS2812b, inicialização do display OLED SSD1306 e inicialização das GPIOs (LEDs e botões).

Em conjunto a esta parte de inicialização, estão as variáveis utilizadas no código, que na Tabela 2 têm suas funções descritas.

Tabela 2. Tabela das variáveis de inicialização

Variável	Tipo	Função
HR_MAX	#define	Define o limite máximo da umidade relativa
HR_MIN	#define	Define o limite mínimo da umidade relativa
SPO2_MIN	#define	Define o limite mínimo da saturação de oxigênio
BUZZER_PIN	const uint8_t	Pino GPIO conectado ao buzzer
PERIOD	const uint16_t	Valor de WRAP do PWM
DIVCLK	const float	Divisor do clock do PWM
slice_21	static uint	Identificador do slice PWM
dc_values	const uint16_t[]	Vetor contendo os valores de duty cycle (30% e 0%)
dc_level	static volatile uint16_t	Valor atual do duty cycle
toogle	static volatile bool	Alterna o estado do buzzer
VRx	const uint8_t	Pino GPIO do eixo X do joystick
VRy	const uint8_t	Pino GPIO do eixo Y do joystick
ADC_CHAN_0	const uint8_t	Canal ADC associado ao eixo X
ADC_CHAN_1	const uint8_t	Canal ADC associado ao eixo Y
vrx_value	static uint16_t	Valor lido do eixo Y
vry_value	static uint16_t	Valor lido do eixo X
half_adc	static uint16_t	Metade do valor máximo do ADC (2048)
oxygen	static uint16_t	Valor de oxigenação coletado
humidity	static uint16_t	Valor de umidade coletado
LED_COUNT	#define	Número total de LEDs da matriz
LED_PIN	#define	Pino GPIO conectado à matriz
pixel_t	struct	Estrutura representando um pixel RGB
leds	npLED_t[]	Vetor de pixels da matriz
np_pio	PIO	Máquina PIO utilizada para os LEDs
sm	uint	Identificador da máquina de estado
I2C_PORT	#define	Define a porta I2C utilizada
I2C_SDA	#define	Pino GPIO do barramento SDA
I2C_SCL	#define	Pino GPIO do barramento SCL
endereco	#define	Endereço I2C do display
ssd	ssd1306_t	Estrutura que representa o display OLED
BUTTON_A_PIN	#define	Pino do botão A (liga/desliga o buzzer)
BUTTON_B_PIN	#define	Pino do botão B (inicia coleta de dados)
last_time	static volatile uint32_t	Armazena o tempo da última interação para debounce
leds_pins	const uint8_t[]	Vetor com os pinos dos LEDs RGB (R, G, B)

6. Execução do projeto

6.1. Metodologia

O projeto foi idealizado e construído do dia 19/02 a 26/02, contando com o desenvolvimento do código, relatório, repositório, fluxogramas e, principalmente, o teste prático na placa BitDogLab (placa desenvolvida pela Unicamp, contendo um Raspberry Pi Pico W). No dia 19, foi idealizado o projeto do Dispositivo Regulador de Oxigênio e Umidade, tendo seus requisitos e escopo bem definidos para uma aplicação de sistemas embarcados. Do dia 20 a 22, o código foi desenvolvido, baseando-se nos padrões do curso de

capacitação Embarcotech. Enquanto nos dias 23, 24 e 25, o relatório foi produzido, em conjunto com os fluxogramas e diagramas. Por fim, no dia 26, foram tratados o repositório no GitHub e o vídeo de apresentação.

Durante o desenvolvimento, foram idealizados o projeto do hardware, em que cada componente foi escolhido em foco de sua praticidade e valor (dentre eles, o MAX30102, conhecido por sua frequente aplicação em sistemas embarcados), e o código na linguagem C. A partir desta, o VS Code foi escolhido como IDE do projeto, por conta de suas extensões, como a Raspberry Pi Pico W e Wokwi, fundamentais para a realização da prática na BitDogLab. Embora não tenha sido utilizada uma ferramenta de depuração separada, o código foi depurado pela comunicação serial USB/UART.

6.2. Testes

Foram executados os testes durante o desenvolvimento do código para verificar cada funcionalidade, tais como a matriz de LEDs endereçáveis, e o display OLED. Através da placa BitDogLab, todos passaram com êxito, não havendo nenhuma execução inesperada com exceção da matriz de LEDs. Isto porque esta matriz deveria exibir animações de 3 frames, em que um arco azul se fecha (modo de coleta) e se abre (modo de liberação), porém, na execução apenas os dois últimos frames são executados, o que não afeta significativamente a funcionalidade do sistema.

Com fim de verificar e testar todas as funcionalidades, a seguinte rotina é feita:

1. Ligar o sistema.
2. Apertar o botão 1 para iniciar coleta.
3. Enquanto ocorre a coleta, ajustar os eixos x e y para indicar 0% nos níveis (deixar o analógico na diagonal direita apontada para baixo).
4. Aguardar o término da coleta, para indicar níveis anormais. O display deve exibir uma mensagem, e o LED vermelho e o Buzzer devem fazer o alerta 3 vezes.
5. Esperar o modo de liberação iniciar. Enquanto isso ocorre, o botão 2 é pressionado para desligar o Buzzer.
6. Aguardar a rotina de liberação. Os níveis são ajustados a cada 10% e o display exibe a mudança nas barras.
7. Ao encerrar a rotina de liberação, o Buzzer deve apitar por 800 milissegundos. Neste caso, ele não apitará em função do item 4.

Com essa rotina de testes, o programa é devidamente testado e tem suas funcionalidades garantidas.

6.3. Discussão dos resultados

O projeto proposto é um sistema embarcado para aplicação na área da saúde, em que sua função é dedicada especialmente a pessoas com doenças/problemas respiratórios. Consistindo em um dispositivo automatizado capaz de regular os níveis de saturação de oxigênio e umidade relativa do organismo do indivíduo. Assim, o projeto cumpriu com o que foi proposto, trazendo os seus detalhes de hardware, software e de aplicações, esta que foi realizada com a placa BitDogLab. Embora todas as suas funções estejam estabelecidas, a animação da matriz de LEDs persiste com o problema de exibição do frame, tendo este ponto como pendência do projeto. No entanto, sua aplicação não é comprometida por este ponto, e, portanto, garante a confiabilidade do projeto com todas as características

inicialmente idealizadas. Além disso, o projeto serve como excelente exemplo de prática de sistemas embarcados e na sua importância crescente na sociedade atual.

Referências

- [1] Maxim Integrated. *MAX30102: Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health*. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2025.
- [2] Sensirion. *SHTC3: Humidity and Temperature Sensor*. Disponível em: https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/0_Datasheets/Humidity/Sensirion_Humidity_Sensors_SHTC3_Datasheet.pdf. Acesso em: 23 fev. 2025.
- [3] BARBOSA, G. *Mudanças climáticas afetam o corpo humano*. Jornal Comunicação - UFPR, 2019. Disponível em: <https://jornalcomunicacao.ufpr.br/mudancas-climaticas-afetam-o-corpo-humano/>. Acesso em: 23 fev. 2025.
- [4] MEDICALWAY. *Oxímetro de Pulso: Entenda o que é e como funciona*. 2023. Disponível em: <https://medicalway.com.br/blog/oximetro-de-pulso-entenda-o-que-e-e-como-funciona/>. Acesso em: 23 fev. 2025.
- [5] SPIEGATO. *O que é um nebulizador ultrassônico?*. Disponível em: <https://spiegato.com/pt/o-que-e-um-nebulizador-ultrassonico>. Acesso em: 23 fev. 2025.