

Projeto de tabuleiro de xadrez inteligente para auxílio no aprendizado

1st Italo Barbosa Barros
Estudante de Eng. Eletrônica
Universidade Federal de Itajubá
Itajubá, Brasil
italobbarros@unifei.edu.br

2nd Marcos Thimotti Amaral
Estudante de Eng. Eletrônica
Universidade Federal de Itajubá
Itajubá, Brasil
marcosthimotti@unifei.edu.br

3rd Rodrigo Maximiano Antunes de Almeida
Orientador do TFG
Universidade Federal de Itajubá
Itajubá, Brasil
rodrigomax@unifei.edu.br

Abstract—Este trabalho visa o desenvolvimento de um tabuleiro de xadrez físico com auxílio do aprendizado embarcado. Para isso, utiliza-se de ferramentas de *Engine Open-Source* para análise de partidas, além de desenvolvimento de código inteligente que forneça feedback visual das movimentações das peças para o usuário durante a partida. O projeto foi desenvolvido priorizando a simplicidade de produção, de forma que seja possível implementá-lo em escolas de xadrez.

Index Terms—Engine, Xadrez, Aprendizado

Abstract—This work aims to develop a physical chessboard with the aid of embedded learning. For this, it uses *Open-Source Engine* tools for analysis of matches, in addition to the development of intelligent code that provides visual feedback of the movement of parts to the user during the match. The project was developed prioritizing production simplicity, so that it is possible to implement it in chess schools.

Index Terms—Engine, Chess, Learning

I. INTRODUÇÃO

Segundo o matemático americano Claude Shannon, o número de possibilidades de movimentos em uma partida de Xadrez é estimado em 10^{120} [1]. De fato, se trata de um jogo extremamente complexo, o que, muitas vezes, acaba por intimidar jogadores iniciantes.

Com ajuda da tecnologia, a tarefa de aprender e estudar xadrez se tornou mais fácil. Os motores de análise, também conhecidos como Engines, permitem que jogadores novatos possam compreender, analisar e perceber erros utilizando um computador.

Em partidas presenciais é necessário que as pessoas anotem os lances realizados em um papel, para registrar a partida e, posteriormente, efetuar as análises. O problema desse método é a falta de praticidade, tornando as partidas, que costumam ser longas, ainda mais cansativas.

Para contornar esse problema, surgiram os tabuleiros eletrônicos, que dentre outras funcionalidades, permitem ao usuário registrar os lances sem a necessidade da anotação manual. O grande problema desses tabuleiros é a faixa de preço elevada, restringindo seu acesso pela maior parte da população.

Tendo isso em vista, esse trabalho visa desenvolver um tabuleiro eletrônico acessível que registre os lances de forma automática, permitindo assim, que iniciantes possam ter acesso a uma análise completa logo após o encerramento da partida, auxiliando sua evolução como enxadrista.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. Xadrez

Xadrez é um jogo de estratégia para 2 jogadores, que simula o conflito entre dois exércitos, cada qual composto de 16 peças passíveis de movimento em tabuleiro subdividido em 64 casas. [2] Nas subseções seguintes serão abordados conceitos desse jogo necessários para o entendimento do trabalho.

1) *Notação*: PGN (abreviação de Portable Game Notation) é um formato padrão utilizado para gravar um jogo de xadrez em um arquivo de texto, é utilizado para replicação rápida de partidas em softwares de Xadrez. [3] Os movimentos das peças são descritos utilizando a Notação Algébrica de Xadrez, sendo esta a notação oficial adotada pela FIDE (Federação Internacional de Xadrez). [4].

Nesse sistema, as casas do tabuleiro têm o mesmo nome para os dois jogadores: as colunas vão de “a” a “h” (em letra minúscula) da esquerda para a direita e as linhas de 1 a 8. [5]

	a	b	c	d	e	f	g	h	
8	a8	b8	c8	d8	e8	f8	g8	h8	8
7	a7	b7	c7	d7	e7	f7	g7	h7	7
6	a6	b6	c6	d6	e6	f6	g6	h6	6
5	a5	b5	c5	d5	e5	f5	g5	h5	5
4	a4	b4	c4	d4	e4	f4	g4	h4	4
3	a3	b3	c3	d3	e3	f3	g3	h3	3
2	a2	b2	c2	d2	e2	f2	g2	h2	2
1	a1	b1	c1	d1	e1	f1	g1	h1	1
	a	b	c	d	e	f	g	h	

Fig. 1. Numeração do tabuleiro

A maneira utilizada para representar as peças está indicada na Tabela 1 [6]. Vale ressaltar que, por convenção, o peão é representado pela ausência de letra ou símbolo.

TABLE I
PEÇAS DE XADREZ

Indicação de Peças		
Peça	Tradução	Letra Indicativa
Rei	King	K
Dama	Queen	Q
Torre	Rook	R
Bispo	Bishop	B
Cavalo	Knight	N
Peão	Pawn	-

Para anotar um lance, escreve-se a letra indicativa seguidos pela coluna e linha, nessa ordem. A figura 2 ilustra a famigerada defesa siciliana, com o lance “e4” para as brancas, seguido da resposta “c5”. Anota-se “1. e4 c5”.

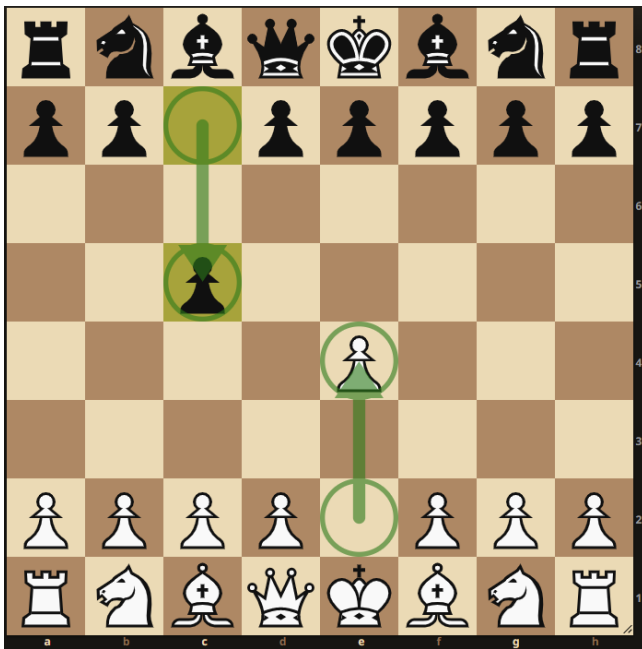


Fig. 2. Defesa Siciliana: “1.e4 c5”

Se o movimento for de captura, coloca-se o símbolo “x” antes da casa destino. Utiliza-se a notação “O-O” para indicar o roque pequeno e “O-O-O” para o roque grande. Para movimentos de cheque adiciona-se o símbolo “+”, enquanto o cheque mate é representado por “#”.

Quando há duas peças iguais com possibilidade de movimentação para a mesma casa pode ocorrer ambiguidade de notação. Nesse caso, adota-se a notação estendida, especificando-se a coluna ou linha da peça de origem.

O exemplo abaixo ilustra essa situação, onde ambos os cavalos podem capturar o peão de “e5”, sendo necessário especificar qual deles fez a captura. No caso, basta indicar a linha de origem para resolver a ambiguidade.



Fig. 3. Representação do problema de ambiguidade

2) *Engine de Xadrez*: Uma Engine de Xadrez é um programa de computador que realiza análises de partidas de xadrez. [7]

Como resultados dessas análises é possível realizar avaliação de momentos específicos da partida, indicando os melhores lances de forma rápida e precisa, além de mostrar uma visão geral sobre quem tem maior probabilidade de vencer e indicar falhas cometidas durante a partida. [8]

Dentre essas Engines, uma das mais relevantes é a Stock-Fish, que foi desenvolvida em 2008 e possui código aberto. É uma das engines mais eficientes disponíveis atualmente e é amplamente utilizada devido a sua versatilidade de plataforma. [9].

É possível utilizar essa Engine de forma gratuita no site lichess.org, um servidor de xadrez gratuito e de código aberto.

3) *Tabuleiro Eletrônico para Xadrez*: Um tabuleiro eletrônico é um tabuleiro de Xadrez com detecção de peças. Dentre os modelos existentes no mercado, um dos mais procurados são os oferecidos pela empresa Digital Game Technology, que utiliza uma tecnologia patenteada para mapeamento das posições, utilizando bobinas com propriedades elétricas e magnéticas individuais em cada peça [10].

Dentre suas funcionalidades tem-se a transmissão de jogos ao vivo, possibilidade de jogar online ou contra Engines e ferramentas de análise de partidas [11].

B. Comunicação

Nessa subseção, serão introduzidos os protocolos de comunicação utilizados no projeto.

1) *HTTP*: O Hypertext Transfer Protocol (HTTP) é um protocolo desenvolvido para permitir a comunicação entre clientes e servidores, definindo um conjunto de métodos de requisição responsáveis por indicar a ação a ser executada [12]

Dentre os métodos mais comuns, temos:

GET: é usado para solicitar dados de um recurso especificado.

POST: é usado para enviar dados a um servidor para criar ou atualizar um recurso.

2) *Call Me Bot API*: Chatbots são softwares utilizados para criação de mensagens automatizadas, amplamente utilizados para agilidade no atendimento a clientes.

CallMeBot é uma API gratuita que facilita a implementação de Chatbots para o aplicativo WhatsApp. [13]

C. Instrumentação

A instrumentação é a ciência que estuda, desenvolve e aplica instrumentos de medição e controle de processos [14]. Os elementos responsáveis pela aquisição do ambiente a sua volta são os chamados sensores.

1) *Reed Switch*: É um tipo de chave que muda seu estado na presença de um campo magnético. Quando expostos a um campo magnético os dois filetes de ferro dentro da ampola de vidro são atraídos e o contato se fecha, permitindo que a eletricidade flua. Quando o campo magnético é removido, os filetes se separam novamente e o contato se abre.

É normalmente utilizado em conjunto com um Ímã, principalmente em sistemas de alarmes de portas e janelas. Para um acionamento correto é necessário que o Ímã esteja alinhado e próximo [15]. A Figura 4 fornece uma imagem de sua estrutura.

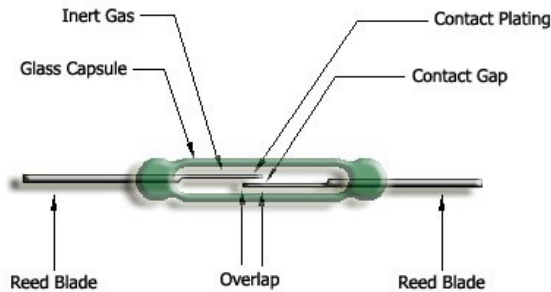


Fig. 4. Estrutura de um Reed Switch

III. DESENVOLVIMENTO

Visando atingir a construção de um tabuleiro instrumentado para o aprendizado do jogo de xadrez, concentrou-se no desenvolvimento em 3 áreas: Hardware, Firmware e Estrutura

Foram levantados os seguintes requisitos para o projeto: simplicidade de construção, relógio de xadrez acoplado ao tabuleiro, não se distanciar da aparência de um tabuleiro de xadrez tradicional e fornecer uma análise rápida ao final da partida.

A. Hardware

As decisões tomadas para o desenvolvimento do hardware do tabuleiro foram realizadas de forma a prevalecer um custo acessível e fácil implementação.

O diagrama abaixo mostra uma visão macro do funcionamento do projeto, sendo as entradas do sistema representadas à esquerda, enquanto as saídas estão representadas à direita.

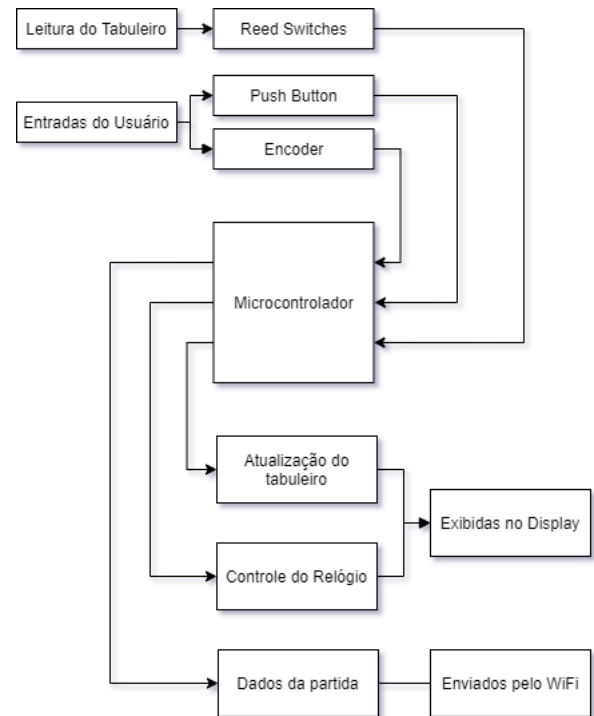


Fig. 5. Diagrama macro do sistema

Uma vez que os dados da partida são enviados pelo WiFi, serão processados no servidor da Lichess, que realizará a análise pela Engine StockFish, retornando a análise detalhada da partida, conforme ilustrado no diagrama abaixo.



Fig. 6. Diagrama envio de dados

Nas subseções abaixo será realizado um detalhamento do hardware utilizado no projeto.

1) *Interface com o usuário*: As entradas são fornecidas através de PushButtons que são utilizados para interação com

o relógio da partida (pausando o próprio relógio e iniciando o do adversário), além de confirmação de lances. Foi adicionado também um Encoder Rotativo, para configuração de menu, que pode ser implementado em futuras atualizações.

Já o Display LCD de 2.4" é responsável por exibir as informações ao usuário conforme destacado na imagem abaixo. O dimensionamento do Display foi realizado buscando um equilíbrio entre o custo e tamanho mínimo para exibição das informações na tela.

Os periféricos da interface são evidenciados na Figura 7.

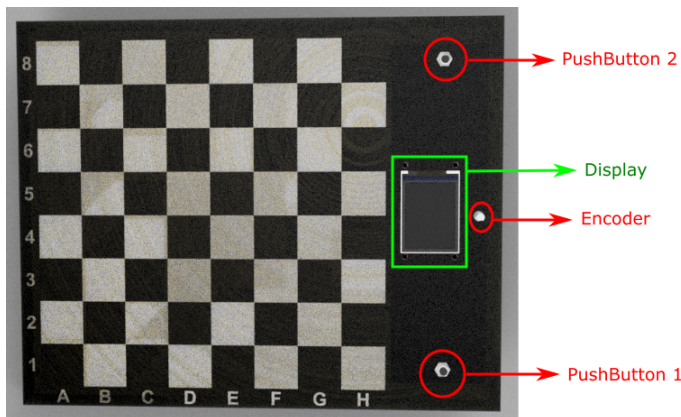


Fig. 7. Indicações dos periféricos da interface

2) *Leitura do Tabuleiro*: A solução adotada para a leitura do tabuleiro foi a utilização de interruptores Reed Switches dispostos sob as 64 casas do tabuleiro, funcionando em conjunto com ímãs circulares acoplados na base de cada peça, conforme ilustra a imagem abaixo. Dessa forma, pode-se identificar se há ou não uma peça sobre determinada casa do tabuleiro.

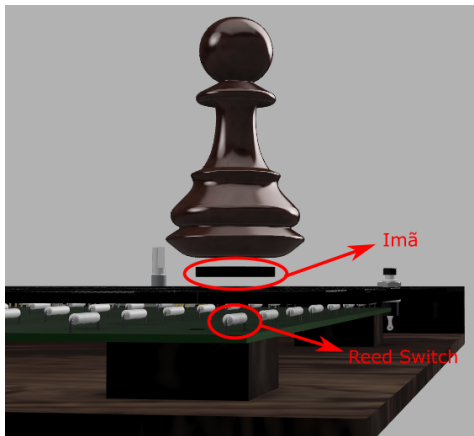


Fig. 8. Representação do sistema de aquisição do tabuleiro

Devido à baixa disponibilidade de portas do microcontrolador escolhido, para ser possível a monitoração das 64 casas do tabuleiro foi necessária a utilização de multiplexação. Utilizou-se de 4 multiplexadores HC4067 de 16 canais para

1 afim de realizar a varredura completa das casas gastando apenas 8 entradas genéricas do microcontrolador.

B. Software

Para o desenvolvimento do firmware, foi utilizado o framework do arduino, devido a vasta disponibilidade de bibliotecas e facilidade de implementação. Para o framework escolhido foi necessária a utilização de "one single loop" [16], uma técnica de arquitetura de software caracterizada por uma estrutura de repetição dentro da rotina principal. Dentro dos requisitos de simplicidade e custo estipulados para o projeto foi necessário que o processamento das Engines fosse realizado em Nuvem. O software se encontra hospedado para consulta no github [17].

O software foi estruturado através de 5 grandes bibliotecas que se comunicam: getboard, regras do xadrez, tft, chessboard e conection.

A primeira delas, getboard, é responsável por abstrair boa parte do hardware para o software, recebendo os pinos de conexão e inicializando-os, além de fazer toda a operação de aquisição utilizando o multiplexador. Ao final da decodificação retorna um **vetor bool de 64 posições** referindo "1" para casa que foi acionada e "0" para casa que não foi acionada.

Para realizar a aquisição temos quatro multiplexadores, cada um mapeando duas linhas do tabuleiro, ou seja, 16 casas. A função:

```
void muxMapping(int selectCanal)
```

irá mapear as casas a partir do *selectCanal* que é um parâmetro que tem 16 posições refletindo o número de opções das chaves de seleção de 4bits do multiplexador escolhido e para cada combinação temos uma casa. Depois de todos os mux mapeados teremos o vetor **bool** board[64], totalmente preenchido.

A biblioteca Regras do xadrez é responsável por agrupar toda a lógica do xadrez, ou seja, ela armazena para cada peça qual a lógica que esta pode se movimentar ou capturar. Para cada uma dessas ações tem-se uma função que recebe um parâmetro representando a peça, retornando um vetor bool de 64 posições.

A biblioteca TFT é responsável por agrupar todos os comandos de abstração do Display TFT para a formação da visualização do jogo em tempo real, mostrando também, a propriedade de "auxilio de jogo", um recurso que será abordado posteriormente. Para a utilização dos displays foi desenvolvido a biblioteca TFT, esta biblioteca usou como biblioteca padrão a: TFT_eSPI [18], responsável por fornecer uma interface entre os diversos displays e o microcontrolador. A partir disso foi possível utilizar a função: *tft.pushImage* para imprimir na tela um *Array*, uma coleção de elementos, que representa a cor de cada pixel expressa em hexadecimal de 16bits. O grande problema na utilização do array é que o arquivo é muito maior do que imagens em formatos comuns, pois este arquivo tem sua informação de forma bruta, não sendo necessário decodificar como por exemplo nas imagens PNG. [19]

Para isso, usou-se o conceito utilizado no sprite, um objeto gráfico que se move numa tela sem deixar traços de sua passagem. Para utilizar o sprite é necessário renderizar somente a região da tela que possui o sprite, assim é possível poupar processamento e tempo de CPU. Foi salvo em um arquivo header uma casa "preta" do tabuleiro e em outro arquivo uma casa "branca", fazendo um sequenciamento de posição e respeitando a ordem do tabuleiro foi possível recriar a imagem do tabuleiro só revezando essas duas imagens com tamanhos muito menores do que a imagem completa seria e assim foi poupado memória flash do dispositivo.



Fig. 9. Visualização da casa e da tela

Dessa forma, modificações na posição das peças no tabuleiro implicam em atualizações pontuais no Display, referente somente aquelas que sofrerão alteração. A técnica utiliza acarreta em otimização de processamento, velocidade de atualização e economia de armazenamento.

A biblioteca chessboard tem a integração de todas as 3 bibliotecas anteriores. Sua entrada principal é o vetor de 1 e 0 recebidos da **GetBoard**, cujo a partir de uma posição inicial, que é predeterminada pelo próprio xadrez, é possível decodificar qual peça esta em cada casa. Utilizando isso e a própria biblioteca da **Regra do xadrez** é possível determinar para onde a peça se moveu e quais são suas opções de jogadas. Nesta lógica não há orientação de melhores jogadas, tendo em vista que isso necessitaria de uma IA embarcada no próprio MCU ou de o desenvolvimento de uma IA na nuvem com API modelada para retornar tal informação, algo que não foi o projeto desse TFG.

Durante o jogo existe a possibilidade de ser habilitado o modo de "auxílio de jogo" que, de forma resumida, executa a função:

```
void auxilioJogo(void)
```

Esta função imprime na tela as possíveis movimentações e jogadas de captura, conforme a peça escolhida, fazendo com que o usuário possa aprender xadrez no decorrer do jogo.

Para prevenir falhas, implementou-se o botão de confirmação de jogada, que faz com que o jogador confirme se o tabuleiro virtual exibido na tela está condizente com a jogada realizada.

Por último, há a biblioteca "Connection". Essa biblioteca atua no nível mais alto de operação do tabuleiro, sendo responsável pela conexão WiFi e posteriormente pelo envio do PGN utilizando o protocolo POST por uma API chamada CallMeBot API que é utilizada para enviar o link do jogo, analisado pela plataforma do Lichess, para o WhatsApp do jogador.

C. Estrutura mecânica

As decisões relacionadas a estrutura mecânica do projeto foram tomadas buscando um equilíbrio entre custo, facilidade de construção e design.

Com o intuito de manter a estética de um tabuleiro tradicional, o material escolhido para estrutura do tabuleiro foi a madeira. Para a face superior, escolheu-se o acrílico, por ser necessário um material de pequena espessura, de forma a influenciar o mínimo possível na aquisição dos Reed Switches.

As dimensões finais do tabuleiro são de 360mm por 290mm. O acrílico possui espessura de 2mm. Foi utilizado corte a laser para abrir o espaço de inserção do Display, Pushbuttons e Encoder conforme representado na Figura 10.

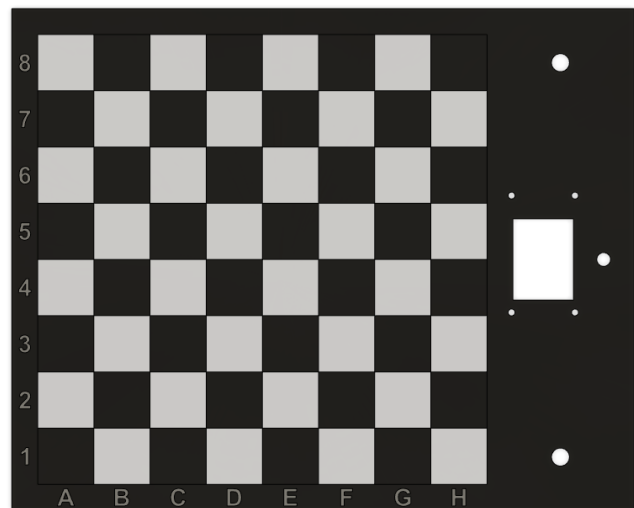


Fig. 10. Chapa de acrílico renderizada

Para fixação da Placa de Circuito Impresso, responsável por abrigar o circuito eletrônico do projeto, utilizam-se calços de madeira na parte interna do tabuleiro, conforme representado na Figura 15.

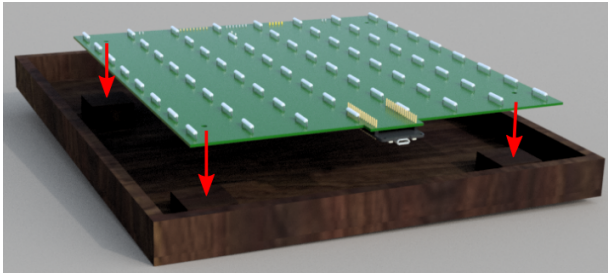


Fig. 11. Fixação da placa eletrônica

IV. RESULTADOS

Para apresentação dos resultados do projeto, será feita uma revisão dos principais pontos, apresentando o que foi alcançado em cada etapa. O projeto cumpriu com excelência os requisitos inicialmente estipulados, fornecendo resultados interessantes em todas as áreas englobadas no seu desenvolvimento. É possível compreender o funcionamento do sistema seguindo o fluxo de jogada representado na Figura 12.

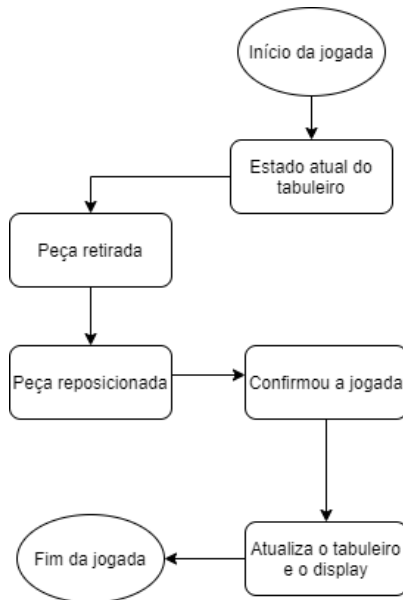


Fig. 12. Fluxograma de uma jogada

No primeiro momento, quando acontece a retirada da peça para movimentação, é constatado o êxito na implementação dos Reed Switches para leitura do tabuleiro, com uma resposta precisa e imediata à interação do usuário.

Após o reposicionamento da peça, a implementação de uma "confirmação de jogada" contribuiu para a robustez do sistema, prevenindo que a derrubada accidental de alguma peça comprometa o registro da partida.

No bloco seguinte, de atualização do Display, pode-se perceber particularidades de implementação do código, dentre eles, o recurso de auxílio, que é acionado imediatamente após a retirada da peça pelo usuário. Nesse recurso é possível identificar a peça que está sendo movimentada, além das casas onde é possível realizar movimentações (pontos vermelhos) e

captura (círculos de contorno). O recurso ficou bastante intuitivo, e auxilia no aprendizado e fixação das regras do Xadrez. A Figura 13 fornece uma imagem de seu funcionamento.

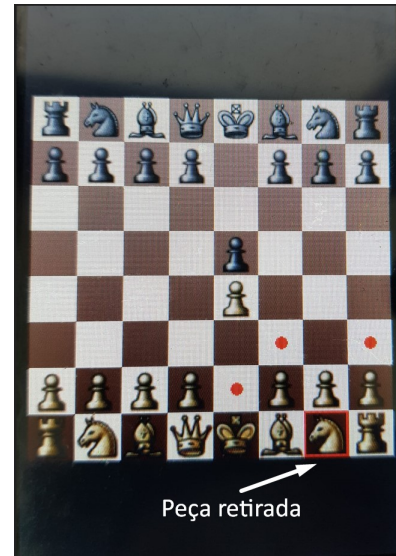


Fig. 13. Imagem do auxílio utilizando o TFT 3,5"

Dentro das características de armazenamento das imagens exibidas no Display, foram realizadas otimizações para aumentar a eficiência. O tabuleiro de xadrez é composto por 8x8 casas, ou seja, a imagem total ocupa a dimensão de 304x304 pixel para o TFT de 3,5" e 240x240 pixels para o TFT de 2,4", pois a casa é um quadrado com lado de 38px para a tela maior e 30px para a outra. O arquivo header codifica para letra ou símbolo 1 byte, ou seja, um pixel de 16 bits, como por exemplo "0xffde", ocupa 6 bytes e levando em consideração a vírgula e o espaço são mais 2 bytes. Logo, cada píxel ocupa 8bytes e os tamanhos ficam da seguinte forma:

$$tabuleiro1 = 8 \times 304 \times 304 = 739.328KBytes \quad (1)$$

$$casa1 = 8 \times 38 \times 38 = 11.552KBytes \quad (2)$$

$$tabuleiro2 = 8 \times 240 \times 240 = 460.8KBytes \quad (3)$$

$$casa2 = 8 \times 30 \times 30 = 7.2KBytes \quad (4)$$

Sendo assim, como só é necessário a utilização casa branca e uma preta para desenhar o tabuleiro, podemos comparar o armazenamento de duas casas com a imagem do tabuleiro em si, representando uma queda significativa no espaço de armazenamento necessário.

Outro ponto interessante a se destacar, foi o desenvolvimento de uma camada de abstração para impressão da tela em diferentes Displays. Isso permitiu a implementação rápida do firmware do projeto em diferentes modelos de Display, com alterações rápidas em parâmetros de configuração da exibição da interface da tela, como largura, altura, resolução e driver.

Esses parâmetros de configuração foram armazenados em variáveis, e organizados em "defines", sendo necessário apenas comentar/descomentar o "define" conforme o modelo de Display utilizado no projeto.



Fig. 14. Imagem da exibição de tela no Display alternativo de 2,4''

No que diz respeito a estrutura do tabuleiro, fica evidente a simplicidade de construção, que implica em fácil escalabilidade e baixo tempo de produção. A Figura 15 fornece uma imagem interna do produto, focando na conexão dos periféricos na placa. Para montagem, é necessário apenas o encaixe da placa, fixação dos periféricos e conexão dos cabos para o Display, Encoder e PushButtons.



Fig. 15. Montagem do tabuleiro



Fig. 16. Foto de uma partida sendo jogada no tabuleiro com TFT de 2,4''

Para análise de custos foi realizado um levantamento numa pequena escala de fabricação, de forma a diluir parte dos gastos e reduzir o preço unitário. A Tabela II mostra esse estudo feito para uma escalabilidade de 20 produtos.

TABLE II
CÁLCULO DE CUSTOS

Planilha de custos			
Itens	qtde	Preço unitário	Total
Reed Switch	64	R\$ 0,50	R\$ 32,00
Módulo ESP32	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
Módulo Display	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
Push Button	2	R\$ 8,00	R\$ 16,00
Módulo Encoder Rotativo	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
Conjunto de Peças Xadrez	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Acrílico + Corte a laser	1	R\$ 60,00	R\$ 60,00
Resistor SMD 0805 10kΩ	6	R\$ 0,10	R\$ 0,60
Capacitor SMD 0805 100nF	4	R\$ 0,10	R\$ 0,40
Multiplexador CD74HC4067	4	R\$ 5,00	R\$ 20,00
Imã	32	R\$ 0,50	R\$ 16,00
Madeira	1	R\$60,00	R\$ 60 ,00
Placa de Circuito Impresso(PCB)	1	R\$ 60,00	R\$ 60,00
Total pago			R\$ 370,00

Como resultado, chegou-se ao custo de fabricação de aproximados R\$ 370,00. Trabalhando com uma margem de lucro de 25% e considerando 30% impostos, o valor de venda indicado seria de R\$ 600,00.

Analisando o mercado nacional de tabuleiros de xadrez, encontraram-se produtos que possuem propostas um pouco diferentes, mas que podemos comparar para ajudar a entender a viabilidade e posicionamento do projeto no mercado.

Um conjunto para iniciantes, contendo tabuleiro de papel, peças de plástico e um relógio de xadrez, possui o valor de venda aproximado de R\$ 369,00, mostrado na Figura 17.



Fig. 17. Conjunto para Jogo De Xadrez Jaehrig

Este conjunto possui um preço abaixo do estimado de venda do nosso projeto, mas, além de não possuir nenhum hardware aplicado, trabalha com material de menor valor agregado, o que acaba por não satisfazer clientes um pouco mais exigentes.

Já no mercado internacional, pode-se encontrar tabuleiros eletrônicos sofisticados, com um ótimo acabamento e hardware robusto. Os oferecidos pela tradicional empresa Digital Game Technology dominam o mercado internacional, sendo adotados como tabuleiro oficial da FIDE (Federação Internacional de Xadrez) (Figura 18). Com tabuleiros dessa linha, é possível gravar suas partidas e analisa-las no computador, conectando um cabo USB.



Fig. 18. Tabuleiro DGT

O preço de aquisição para os modelos de entrada partem de US\$ 435,00. Com a conversão da moeda, acompanhadas dos impostos de importação, tem-se o valor de R\$ 4000,00, o que acaba por não ser coerente com o orçamento da maior parte dos consumidores.

O posicionamento de mercado encontrado para o projeto desenvolvido nesse trabalho seria intermediário entre os dois produtos utilizados para comparação, atendendo clientes um pouco mais exigentes, mas que não pretendem desembolsar uma grande quantidade de dinheiro na aquisição de um tabuleiro.

V. CONCLUSÃO

Dentro dos parâmetros estipulados, obteve-se êxito no desenvolvimento do protótipo, que cumpriu os requisitos de: simplicidade de construção; relógio de Xadrez embutido; não distanciamento da aparência de um tabuleiro de xadrez; fornecimento de uma análise rápida ao final da partida.

A utilização de Reed Switches se mostrou eficiente, gerando uma aquisição precisa, ágil, de custos reduzidos e fácil implementação. Apesar disso, ficou limitada pela não identificação individual das peças, o que gerou maior dificuldade na elaboração do código. Uma jogada mais complexa, como o movimento de promoção de Peão a Cavalo, não foi implementada devido a essa limitação.

A ideia de embutir o relógio de xadrez ao tabuleiro agregou bastante valor ao produto, uma vez que permitiu a contemplação de um conjunto completo de Xadrez em um único produto, não sendo necessária nenhuma aquisição extra. A utilização de chapas de acrílico para a face principal do tabuleiro mostrou-se equilibrada em uma relação entre custo e estética, porém, não manteve o aspecto exato de um tabuleiro tradicional, o que pode afastar enxadristas um pouco mais conservadores.

A. Atualizações futuras

Percebeu-se, durante o desenvolvimento do projeto, a necessidade de algumas atualizações para uma versão comercial do produto.

Para a aquisição das peças, seria interessante a utilização de alguma tecnologia que permitisse a detecção individual de peças, sem um aumento muito significativo do preço final. Uma possibilidade é a utilização de RFID.

Para o software, é possível a implementação de um menu embarcado onde fosse possível a configuração de diferentes modos de partida, como o Chess960, além da configuração rápida e intuitiva do relógio. Além disso, O desenvolvimento de um aplicativo próprio para análise de partidas em tempo real, utilizando o Bluetooth, também é uma possibilidade interessante. Além disso, faz-se necessário uma forma prática de adicionar o SSID e a senha para conexão WiFi, que pode ser futuramente implementa com o desenvolvimento de Web Server.

Atualmente, utiliza-se 70% do espaço total do armazenamento da ESP32, ficando um espaço razoável para as atualizações citadas.

A respeito da estrutura, uma incrementação para que o acabamento seja feito inteiramente em madeira atenderia enxadristas mais exigentes.

VI. AGRADECIMENTOS

Á instituição pelo excelente ambiente de desenvolvimento fornecido. Ao nosso orientador, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho. A empresa PCBWay pelo patrocínio cedido na aquisição das Placas de Circuito Impresso. Ao Arthur Roza Augusto pela generosa doação para financiamento do projeto.

REFERENCES

- [1] C. E. SHANNON, "Xxii. programming a computer for playing chess," *Philosophical Magazine*, vol. 41, no. 314, p. 4, 1950.
- [2] "Chess Terms - Chess." [Online]. Available: <https://www.chess.com/terms/chess>
- [3] S. X. V. T. da Informação, "Notação Algébrica." [Online]. Available: <https://www.soxadrez.com.br/conteudos/notacao/>

- [4] E. Allebest, "Chess Notation - The Language of the Game." [Online]. Available: <https://www.chess.com/article/view/chess-notation>
- [5] R. Leitão, "Como Anotar Uma Partida De Xadrez?" [Online]. Available: <https://rafaelleitao.com/como-anotar-xadrez/>
- [6] O. G. D'Agostini, *Xadrez Básico*.
- [7] H. V. M. D. Santana, "Anatomia de um motor de xadrezs," *Instituto de Matemática e Estatística*, 2014.
- [8] R. Leitão, "Melhores Softwares E Engines Para Treinar Xadrez." [Online]. Available: <https://rafaelleitao.com/software-engines-xadrez/>
- [9] "Chess Terms - StockFish Chess Engine)." [Online]. Available: <https://www.chess.com/terms/stockfish-chess-engine>
- [10] B. J. Bulsink, "Device for detecting playing pieces on a board," Jul. 6 1998, uS6168158B1. [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/US6168158B1/en>
- [11] u. Digital Game Technology, title=What are DGT Board?
- [12] "Métodos de requisição HTTP." [Online]. Available: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/HTTP/Methods>
- [13] "Chatbots para Whatsapp." [Online]. Available: <https://www.chatcompose.com/PT/chatbots-whatsapp.html>
- [14] M. de Roure, "Instrumentação Industrial – Entenda de uma vez por todas." [Online]. Available: <https://instrumentacaoecontrole.com.br/instrumentacao-industrial-guia-completo/>
- [15] "What is a reed switch and how does it work?" [Online]. Available: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/the-reed-switch-ingeniously-simple-sensing>
- [16] C. H. Rodrigo Maximiano and T. F. Piola, *Programação de sistemas embarcados*.
- [17] I. B. and M. T., "Software do TFG," accessed 2021-02-01. [Online]. Available: <https://github.com/italobbarros/TFG>
- [18] Bodmer, "Biblioteca TFT," accessed 2021-05-10. [Online]. Available: https://github.com/Bodmer/TFT_eSPI
- [19] G. Roelofs, "Png: The definitive guide," *O'Reilly Associates, Inc*, 1999.