

Projeto e construção de uma mesa de pinball utilizando circuitos digitais

RESUMO

Este artigo tem por objetivo apresentar o processo de projeto e de construção da lógica eletrônica para o funcionamento de uma mesa de pinball feita através da aplicação de conceitos adquiridos na disciplina de Eletrônica Digital do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Medianeira (UTFPR-MD). Serão explanados o projeto e a elaboração da mesa de pinball desde os sensores, a lógica de funcionamento para os diferentes valores de pontuação, o funcionamento dos displays, até o registro do record, que foram implementados com os circuitos lógicos estudados durante a disciplina. São apresentados os layouts dos circuitos utilizados, e ao final podem ser observadas fotografias do processo de construção até a mesa de pinball finalizada.

PALAVRAS-CHAVE: eletrônica digital; circuitos digitais; pinball.

INTRODUÇÃO

Os primeiros jogos de mesa considerados ancestrais das máquinas de *pinball*, conhecidos como *Bagatelle*, foram desenvolvidos durante o século XVIII na França. Nos EUA, durante a depressão econômica na década de 1930, foram fabricadas as primeiras versões operadas por moedas, que ficaram conhecidas como “*pin games*”. Cada vez apresentando mais inovações, no ano de 1947 foi lançada a primeira mesa de *pinball* com *flippers* (paletas acionadas pelo jogador para bater na bola) e o jogo tornou-se cada vez mais popular (BMI GAMING, 2016).

Este artigo apresenta as fases de elaboração e construção do projeto proposto durante a disciplina de Eletrônica Digital do curso de Engenharia Elétrica da UTFPR-MD, o qual visava à construção lógica e estrutural de uma mesa de *pinball*.

A aplicação da eletrônica digital na construção do *pinball* trouxe como desafio a utilização apenas de componentes elétricos (resistores e capacitores) e circuitos lógicos compostos por portas lógicas básicas, contadores, decodificadores, *flip-flops*, bem como a elaboração de placas de circuito impresso. A utilização de outros recursos, além dos já citados, foi permitida apenas em partes que não exerceriam maior influência na estrutura lógica do jogo.

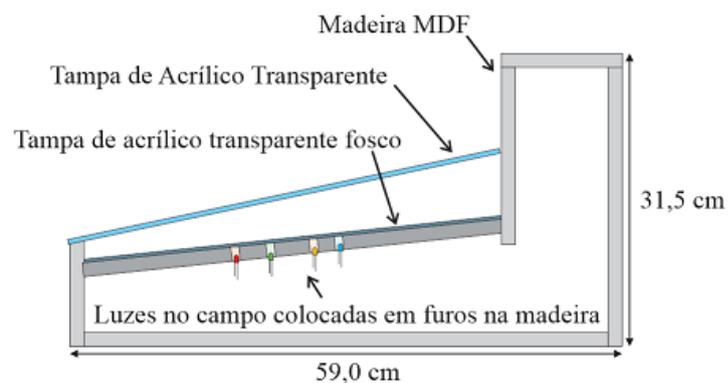
De acordo com os autores Tocci e Widmer (2008), portas lógicas são circuitos que possuem uma ou mais entradas e que tem como saída uma combinação entre as entradas através de uma operação booleana. Contadores são circuitos compostos por *flip-flops* que evoluem à entrada de *clock*, dessa forma são capazes de contar através de uma sequência pré-estabelecida pelo circuito lógico que o compõe (TOCCI; WIDMER, 2008). *Flip-flops* são circuitos compostos por portas lógicas básicas capazes de memorizar um nível lógico. Ainda segundo Tocci e Widmer (2008), o flip-flop é o elemento de memória mais importante.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A estrutura da mesa de *pinball* foi construída em madeira MDF reaproveitada de partes de um móvel descartado. As peças (base, laterais e tampa) foram cortadas com auxílio de uma serra elétrica. As dimensões da mesa foram

escolhidas para proporcionar uma angulação de aproximadamente seis graus, pois dessa forma a esfera metálica utilizada no jogo terá liberdade para percorrer o circuito sem que deslize diretamente para o buraco. O projeto da mesa é mostrado na Figura 1, onde é possível observar que também foi prevista a colocação de LEDs no campo de jogo. O Diodo Emissor de Luz (LED, do inglês *Light Emitting Diode*) é um diodo que emite luz visível quando energizado (BOYLESTAD, 2004). Desta forma foi necessária a colocação de uma placa de acrílico sobre a base principal de madeira permitindo a passagem da luz e impedindo que a bolinha de metal possa cair nos furos das luzes. Uma tampa de acrílico transparente foi prevista para melhorar o acabamento da mesa de *pinball*.

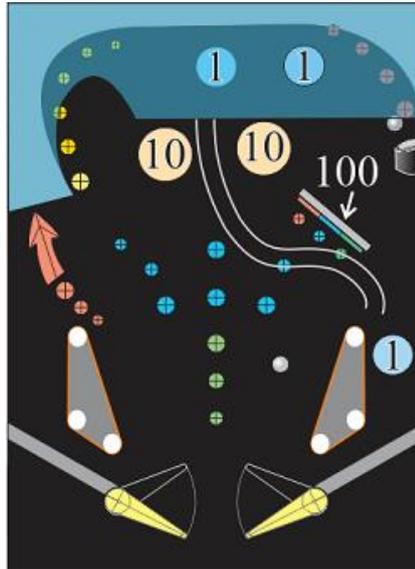
Figura 1 – Projeto da estrutura da mesa de *pinball*



Fonte: Autoria Própria (2016)

A Figura 2 mostra o projeto do campo de jogo, onde foram dispostos os pinos da pontuação e as luzes com as possíveis cores já definidas. Os pinos de pontuação (que estão indicados na figura) foram pensados de forma a marcarem um (01), dez (10) e cem (100) pontos. Cada um deles funciona da seguinte maneira: quando a esfera metálica encosta no pino ela acaba fechando um circuito; este circuito envia um sinal para os circuitos lógicos utilizados, o que resulta na alteração da pontuação e no acendimento de um LED colocado sobre o pino; após uma fração de segundos, o LED apaga e o pino fica disponível para ser atingido novamente.

Figura 2 – Projeto do campo de jogo para o *pinball*.



Fonte: Autoria Própria (2016)

Para os pinos de cem (100) pontos, foram colocadas três chaves fim de curso com um alvo aparente, para que seja possível detectar quando a bolinha atingir esses alvos. Na Figura 2 os alvos são representados pelos três retângulos coloridos (vermelho, azul e verde) colocados lado a lado.

A Figura 3 apresenta o projeto dos pinos de um (01) e dez (10) pontos, que consiste em uma mola em torno de um pino de material isolante com metal a sua volta, permitindo que o contato entre a mola e o metal interno possa servir como sensor para detectar quando a bolinha bate no pino. As barras de material condutor interno à mola devem estar ligadas à referência do circuito e a mola deve ser conectada ao seu respectivo circuito lógico.

A Figura 4 apresenta o circuito que foi projetado para os pinos de um e dez pontos. Para este circuito lógico, a bola e o pino funcionariam como uma chave normalmente aberta sem trava, a qual só estaria fechada no momento do contato entre a bola e os terminais do pino. O pulso de nível lógico baixo, gerado pelo contato da bola de metal ao pino, é enviado à entrada de *clock* do *flip-flop* fazendo com que este armazene o nível lógico alto da entrada D na saída Q. Com isso o LED no topo do pino acenderá, e a saída Q estará em nível lógico alto, valor que será enviado ao contador para que seja computada a pontuação no valor desejado.

Figura 3 – Projeto dos pinos para o pinball

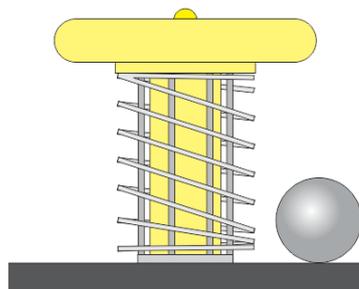
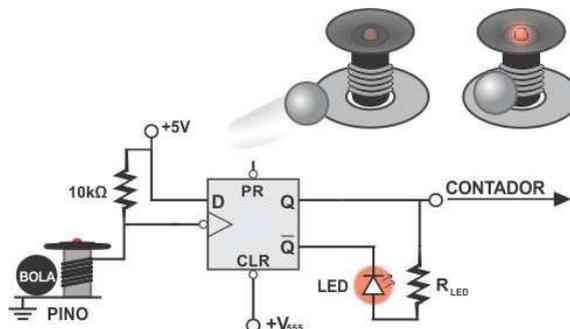


Figura 4 – Circuito lógico dos pinos e representação do funcionamento



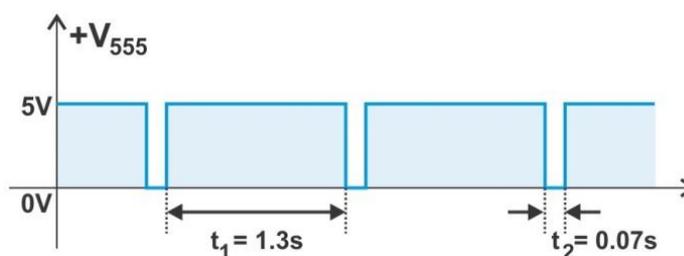
Fonte: Autoria Própria (2016)

Por se tratar de um *flip-flop* tipo D, o pino tende a ficar no estado acionado até que seja alterada a entrada D e enviado novamente um pulso ao *clock* ou até que seja enviado nível lógico baixo à entrada *clear* (CLR), isso tornaria o nível lógico da saída Q baixo, voltando ao estado inicial. De acordo com os autores Tocci e Widmer (2008), o nível lógico baixo é definido como um valor de tensão entre 0 V e 0,8 V e o nível lógico alto é definido como um valor de tensão entre 2 V e 5V.

Para a geração do *clock* foi utilizado como temporizador um CI LM555, que pode emitir um pulso de nível lógico baixo em frequência constante, com o período preestabelecido com precisão através do valor de dois resistores externos e um capacitor (TEXAS INSTRUMENTS, 2015).

A Figura 5 apresenta a forma de onda de saída do CI LM 555 para os valores de: $R_1 = 2 \text{ M}\Omega$; $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$; $C_1 = 1 \mu\text{F}$; e $C_2 = 100 \text{ nF}$.

Figura 5 – Forma de onda de saída do CI temporizador LM555



Fonte: Autoria Própria (2016)

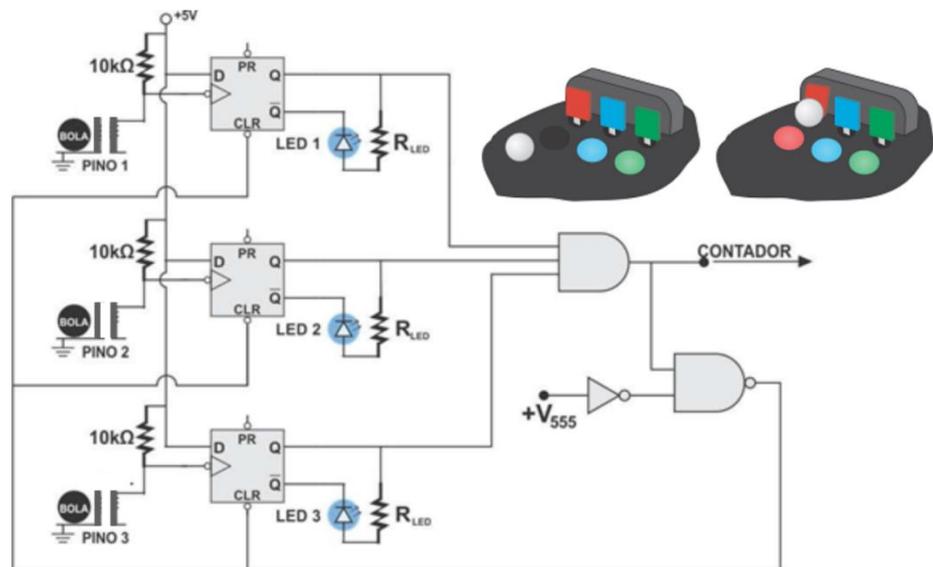
Com a utilização deste sinal na entrada *clear* do *flip-flop* é possível manter a saída Q em nível lógico alto por até 1,3 segundos. Esse valor de tempo poderá ser menor, uma vez que o pino pode ser atingido a qualquer instante pela esfera metálica, havendo a probabilidade de coincidir com o fim do ciclo em nível alto.

Para o grupo de cem (100) pontos, o projeto foi elaborado para que seu circuito envie o sinal de pontuação ao contador somente após a bola atingir três alvos, um da cada vez. Até que isso ocorra cada LED dos alvos já atingidos permanece aceso aguardando os outros serem acionados.

A Figura 6 apresenta o circuito lógico desse arranjo de pinos e um exemplo do seu funcionamento.

O princípio de funcionamento dos alvos é o mesmo dos pinos, porém o *flip-flop* destes só poderá voltar ao estado inicial após todos estiverem acionados. Por isso, como pode ser observado na Figura 6, foi necessária a utilização de portas lógicas básicas (AND, NOT e NAND) com o intuito de garantir tal funcionamento. É necessário que a saída Q dos três *flip-flops* esteja em nível lógico alto para que todos assim possam ser reiniciados pelo sinal do LM 555.

Figura 6 – Circuito lógico do arranjo de cem pontos



Fonte: Autoria Própria (2016)

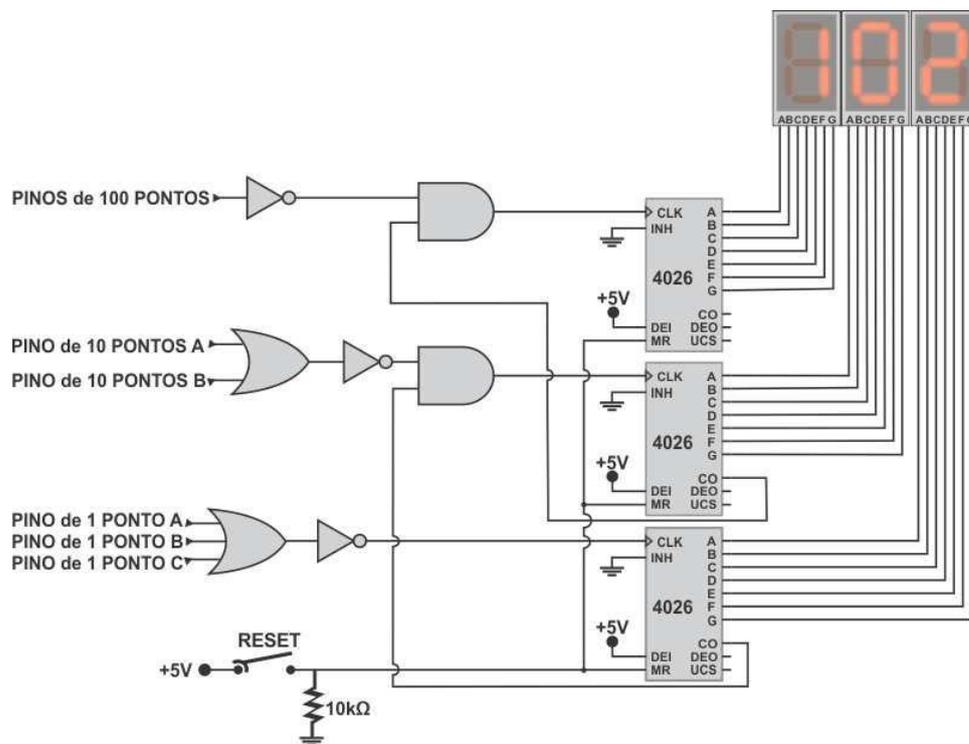
Para o circuito de contagem dos pontos do jogo foram utilizados os circuitos integrados contadores de décadas, que são circuitos digitais que

variam seu estado sob o comando de um *clock*, efetuando a contagem de 0 a 9 (IDOETA, 2012).

No projeto da mesa de *pinball* foram utilizados três CIs CD4026 contadores de décadas, permitindo que a contagem de pontos varie de zero (000) a novecentos e noventa e nove (999) pontos. O circuito integrado CD4026 foi escolhido por fornecer a saída já em código adequado para ser conectada ao *display* de sete segmentos (TEXAS INSTRUMENTS, 2003).

A Figura 7 apresenta o circuito do contador implementado para a contagem da pontuação, incluindo a entrada dos sinais provenientes de três pinos de um ponto, dois pinos de dez pontos e um arranjo de pinos de cem pontos (totalizando oito pinos). Para a visualização da pontuação foram utilizados três *displays* de sete segmentos. A chave *reset* tem a função de reiniciar a contagem da pontuação.

Figura 7 – Circuito lógico do contador de pontos e *displays* de sete segmentos



Fonte: Autoria Própria (2016)

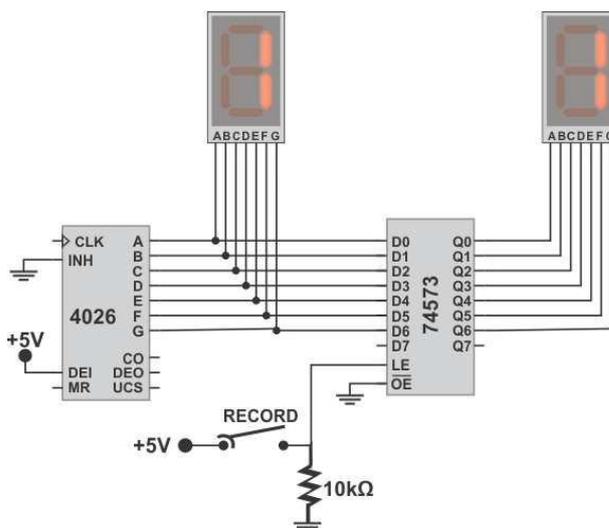
Além do circuito de contagem de pontos, o projeto visou a utilização de um placar de *record*. O placar tem o objetivo de armazenar a pontuação considerada mais alta durante as partidas de forma manual, ou seja, quando o

jogador desejar armazenar um valor de pontuação ele deverá pressionar o botão de impulso denominado *record*. Para isso foi utilizado o circuito integrado 74HC573, que é composto por um conjunto de oito *flip-flops* tipo D, que trabalham simultaneamente através de um *clock* enviado a entrada LE (PHILIPS, 2006).

A Figura 8 apresenta o funcionamento do placar de *record* para um dígito, onde os terminais de saída do contador de década são conectados nas entradas D_N do CI 74HC573. Quando a chave normalmente aberta sem trava for acionada, as saídas Q_N passam a armazenar os valores de suas respectivas entradas D_N .

Este circuito foi triplicado para atender aos três dígitos do placar de pontuação, sendo necessária a utilização de três circuitos integrados 74HC573.

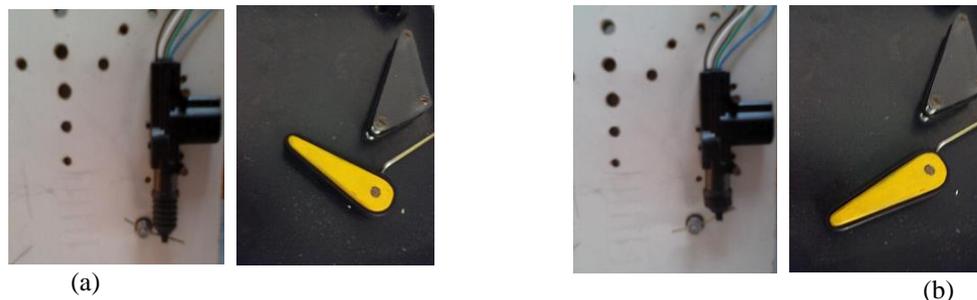
Figura 8 – Circuito de um dígito do placar de *record*



Fonte: Autoria Própria (2016)

Os *flippers* são as raquetes acionadas pelo jogador para bater na bolinha de metal. O funcionamento dos *flippers* consiste na utilização de pistões movimentados por motor CC de 12V que permitem a inversão com uma simples lógica de relés e possuem um custo muito inferior com relação às bobinas eletromecânicas utilizadas em mesas de *pinball* comerciais que são encontradas facilmente em lojas virtuais. Na Figura 9 pode ser observado o pistão e o respectivo *flipper* acionados e não acionados.

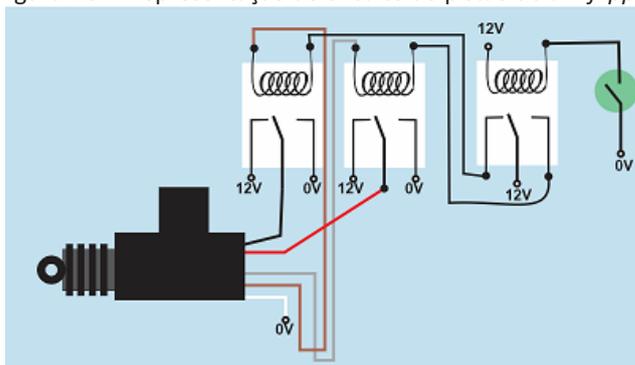
Figura 9 – Pistão e respectivo *flipper* acionados (a) e não acionados (b)



Fonte: Autoria Própria (2016)

O funcionamento do *flipper* ocorre quando um botão de impulso é pressionado, com isso o pistão é acionado com +12V, o que faz com que este se desloque para a direção de abertura. Quando o jogador solta o botão o pistão é acionado com -12V, o que faz com que este se desloque para a direção de fechamento e consequentemente o *flipper* sofre o deslocamento angular proporcional e na mesma velocidade de ação do pistão. O pistão em questão é o mesmo utilizado em fechaduras automáticas de carros, especificamente na porta do motorista, pois este possui uma chave de fim de curso responsável por cortar a alimentação do motor de 12V quando o pistão atinge o deslocamento máximo e mínimo. A Figura 10 apresenta o circuito projetado para o funcionamento dos *flippers*.

Figura 10 – Representação do circuito do pistão de um *flipper*



Fonte: Autoria Própria (2016)

Como pôde ser observado na Figura 10 o pistão possui cinco fios. O preto e o vermelho são utilizados para a alimentação e os demais para a chave fim de curso. Quando o pistão está em seu máximo deslocamento a chave fecha os contatos respectivos aos fios cinza e branco; e quando o pistão está em seu deslocamento mínimo a chave fecha os contatos respectivos aos fios marrom e

branco. Estes contatos são responsáveis por cortar a alimentação para evitar que o motor seja sobrecarregado, fato que pode resultar em sua queima.

O projeto conta com um relé de fim de curso capaz de fazer a leitura de quando a bolinha de metal for perdida no jogo, além disso, a bolinha segue através de um cano de PVC até o local de lançamento, permitindo que ela seja lançada novamente através de um dispositivo de lançamento.

A Figura 11 apresenta o dispositivo de lançamento que foi todo construído utilizando retalhos de cano PVC com um êmbolo de madeira preso a uma mola.

Para funcionar o jogador deve puxar o êmbolo de madeira estendendo a mola, ao soltar o êmbolo a bolinha será lançada para dentro do campo de jogo.

Foram construídos dois triângulos que repulsam a bolinha quando são atingidos.

Esses dispositivos foram construídos com três pequenos pinos e uma borracha de vedação que possui uma boa elasticidade para repulsar a bolinha. A Figura 12 mostra o dispositivo com a borracha de vedação envolvendo os pinos de metal (à direita), essas borrachas são do mesmo tipo das utilizadas nos *flippers*, mostrados à esquerda (na cor amarela) na Figura 12.

Figura 11 – Dispositivo de lançamento para a bolinha



Figura 12 – Dispositivo e *flipper* utilizando borracha de vedação



Fonte: Autoria Própria (2016)

Para a confecção das placas de circuito impresso o projeto foi dividido em quatro placas, sendo uma responsável pela lógica dos pinos e seus componentes; outra para o circuito temporizador do CI LM555; outra para a contagem de pontos e *record*; e a última é responsável pelo funcionamento dos *flippers* e luzes do campo de jogo. As placas de circuito impresso foram

confeccionadas utilizando o método de transferência térmica da impressão para as placas de fenolite com dupla face cobreada, que foram imersas em uma solução de percloroeto de ferro (também chamada de cloreto férrico) para a corrosão. Após a limpeza das placas os componentes foram soldados manualmente.

Para a alimentação do *pinball* foi utilizada uma fonte ATX de 250W que seria descartada junto de um microcomputador inutilizado. As placas de pontuação, oscilador e *displays* foram alimentadas com a saída de 5V da fonte, e a saída de 12V foi utilizada para o circuito dos pistões que acionam os *flippers*.

A estrutura da mesa de *pinball* em construção pode ser observada na Figura 13(a) e com o campo de jogo em construção nas Figuras 13(b) e 13(c). As peças em madeira foram fixadas posteriormente com parafusos para viabilizar a processo de montagem e a necessidade de manutenção ou qualquer modificação posterior.

Figura 13 – Estrutura da mesa de *pinball* em construção



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autoria Própria (2016)

O resultado atual do projeto pode ser observado na Figura 14.

Figura 14 – Resultado atual da mesa de *pinball* com vista externa (a) e em funcionamento (b)



Fonte: Autoria Própria (2016)

Alguns fatores que podem ser considerados em possíveis modificações são a inserção de mais itens de pontuação e de interação com a bolinha de metal, visando manter ela por um tempo maior no campo de jogo sem que seja necessário acionar os *flippers* com uma grande frequência. Desta forma seria aumentada a vida útil dos pistões e tornaria o campo de jogo mais interessante.

CONCLUSÃO

O projeto e a construção da mesa de *pinball* permitiram uma melhor compreensão do funcionamento das portas lógicas, dos circuitos digitais, bem como o desenvolvimento de uma aplicação divertida para o estudo da Eletrônica Digital. Proporcionou aos autores do trabalho a experiência de confeccionar placas de circuito impresso, além de estimular e desafiar a criatividade ao permitir a livre escolha dos componentes eletrônicos necessários bem como dos materiais para a construção da mesa.

A mesa de *pinball* construída possui uma boa jogabilidade, no entanto podem ser realizadas melhorias. Poderiam ser adicionados mais pinos de pontuação no campo de jogo; poderia ser estipulada uma quantidade de bolinhas para o jogador, e assim que elas fossem perdidas (caíssem no buraco) acenderia uma indicação de “game over”.

O acionamento dos *flippers* foi feito com pistões de trava elétrica de portas de carro. Durante o jogo os *flippers* são constantemente acionados pelo jogados,

ainda não obteve-se informação sobre a vida útil com a utilização na mesa, mas é possível que este componente seja o primeiro a apresentar problemas. Espera-se que este trabalho possa servir como um guia de estudos e de projeto, no qual a lógica do funcionamento dos circuitos seja de fácil compreensão e que a implementação deste projeto possa ser facilmente realizada por estudantes no desenvolvimento de atividade práticas ou atividades extracurriculares na área da Eletrônica Digital.

Design and construction of a pinball table by using digital circuits

ABSTRACT

This paper aims to present the design process and construction of electronic logic for the operation of a pinball table made by applying concepts acquired in the Digital Electronics classes of the course of Electrical Engineering at the Federal University of Technology - Paraná, campus Medianeira (UTFPR-MD). It will be explained the design and preparation of the pinball table since the sensors, the operating logic for the different punctuation values, the operation of the displays, to the record registration, which were implemented with logic circuits studied during the discipline. Will be presented the used circuit layouts, and the end can be seen photos of the construction process until the binball table finished.

KEYWORDS: digital electronics, digital circuits, pinball.

REFERÊNCIAS

BMI GAMING. **The History of Pinball Machines and Pintables**. Disponível em: <<http://www.bmigaming.com/pinballhistory.htm>>. Acessado em 18 de março de 2016.

BOYLESTAD, Robert L. **Dispositivos Eletrônicos e teoria de circuitos**. 8 ed. rev. São Paulo, SP: Prentice Hall, 2004. 656 p.

IDOETA, Ivan Valeije. **Elementos de Eletrônica Digital**. Francisco Gabriel Capuano. 41. ed. rev. e atual. São Paulo, SP: Erica, 2012. 544 p.

PHILIPS. **Datasheet 74HC573, 74HCT573: Octal D-type transparent latch**. Revised January 2006.

TOCCI, Ronald J.; WIDMER, Neal S. **Sistemas Digitais: princípios e aplicações**. 11 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

TEXAS INSTRUMENTS. **Datasheet LM555 Timer**. Revised January 2015.

TEXAS INSTRUMENTS. **Datasheet CD4026B, CD4033B Types**. Revised July 2003.

Recebido: 05 set. 2016.

Aprovado: 23 nov. 2017.

DOI:

Como citar: Projeto e construção de uma mesa de pinball utilizando circuitos digitais. R. Eletr. Cient. Inov. Tecnol, Medianeira, v. 8, n. 15, 2017. E – 4606.

Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/recit>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

