



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS PAU DOS FERROS
CURSO BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

FRANCISCO LINDOLFO TEÓFILO

KIT DIDÁTICO PARA A PRÁTICA DE CIRCUITOS DIGITAIS

Pau dos Ferros/RN
2015

FRANCISCO LINDOLFO TEÓFILO

KIT DIDÁTICO PARA A PRÁTICA DE CIRCUITOS DIGITAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semiárido –
UFERSA, Campus Pau dos Ferros, para a
obtenção do título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

Orientador: Prof. M.Sc. Rodrigo Soares Semente

Pau dos Ferros/RN
2015

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Campus Pau dos Ferros (BCPDF)
Setor de Informação e Referência

T314k Teófilo, Francisco Lindolfo.

Kit didático para a prática de circuitos digitais/ Francisco Lindolfo Teófilo -- Pau dos Ferros, 2015.
58f.: il.

Orientador: Prof. Ms. Rodrigo Soares Semente

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) –
Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

1. Eletrônica digital. 2. Álgebra booleana. 3. Circuitos integrados - ttl. I. Título.

RN/UFERSA/BCPDF

CDD: 621.381

Bibliotecário: Eugênio Pacelli Ferreira da Costa
CRB-15/658

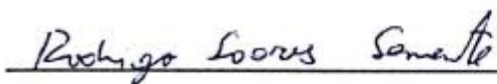
FRANCISCO LINDOLFO TEÓFILO

KIT DIDÁTICO PARA A PRÁTICA DE CIRCUITOS DIGITAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, Campus Pau dos Ferros, para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Aprovado em: 03/12/2015

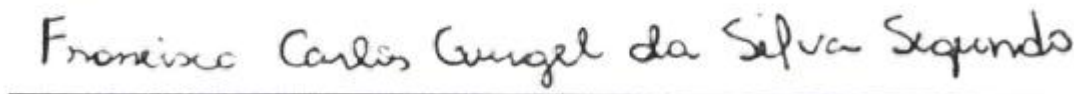
BANCA EXAMINADORA



Prof. M.Sc. Rodrigo Soares Semente – UFRSA
Presidente



Prof. M.Sc. Ernane Arrais Junior – UFRSA
Primeiro Membro



Prof. M.Sc. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo - UFRSA
Segundo Membro

DEDICATÓRIA

À Maria Marlene Estevam, querida esposa e grande companheira de todas as horas;

Ao meu filho e grande amigo, Pedro Bruno Estevam Teófilo pelo apoio e companheirismo em todos os momentos;

Aos meus pais, José Teófilo Filho e Maria de Lourdes Nogueira, que apesar das dificuldades criaram seus filhos, oferecendo a educação e a oportunidade da busca do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

A todos os professores da UFERSA- Pau dos Ferros que contribuíram na minha vida acadêmica. Agradeço sinceramente.

A meus colegas da UFERSA – Pau dos Ferros, especialmente a turma 2012.1 que iniciou juntos essa jornada, vocês foram essenciais na minha conquista.

Ao Professor Adller de Oliveira Guimaraes, que fomentou a ideia, e incentivou esse projeto. Posso afirmar que a sua contribuição foi muito importante.

Ao professor Rodrigo Soares Semente, que me orientou na execução de meu Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, contribuindo consideravelmente na conclusão desse trabalho. Meus sinceros agradecimentos.

Feliz o homem que descobre a sabedoria e
adquire inteligência! Pois adquiri-la vale
mais do que prata, e seu lucro mais que o
ouro.

Provérbios 3, 13-14

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso - TCC, tem como finalidade o desenvolvimento de um kit eletrônico didático de baixo custo a ser utilizado por professores e estudantes para a prática experimental de eletrônica digital. A sua implementação foi realizada por meio de sistemas lógicos combinacionais e sequenciais, utilizando-se de componentes da tecnologia TTL. O kit possibilitará a realização os experimentos aplicados a disciplina de circuitos digitais, com o objetivo de explorar conceitos envolvidos nos elementos lógicos reais e proporcionar um aprendizado mais dinâmico e estimulante, oferecendo a possibilidade de se colocar em pratica os conceitos teóricos, possibilitando ao aluno um conhecimento mais abrangente de eletrônica digital.

Palavras-chaves: Álgebra Booleana, Eletrônica Digital, Kit educacional.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Função E (AND).....	18
Figura 2– Tabela da Verdade da função E (AND).....	19
Figura 3– Porta lógica E (AND).....	19
Figura 4 – Função OU (OR).....	20
Figura 5– Tabela da Verdade da função OU (OR).....	21
Figura 6– Porta lógica OU (OR).....	21
Figura 7 – Função NÃO (NOT).....	22
Figura 8 – Tabela da Verdade da função NÃO (NOT).....	22
Figura 9 – Porta lógica Inversora (NOT).....	23
Figura 10– Circuito Integrado 74LS04.....	24
Figura 11– Circuito Integrado 74LS08 e 74LS11.....	25
Figura 12– Circuito Integrado 74LS32.....	26
Figura 13 – Circuito integrado 74LS00 e 74LS10.....	27
Figura 14– Circuito Integrado 74LS02.....	28
Figura 15– Circuito Integrado 74LS13.....	28
Figura 16– Circuito Integrado 74LS73.....	29
Figura 17– Circuito Integrado 74LS73.....	30
Figura 18– Lógica interna e disposição dos terminais do 74LS90.....	31
Figura 19– Lógica interna e disposição dos terminais do 74LS93.....	32
Figura 20– Diagrama interno do Circuito integrado 74LS47.....	33
Figura 21– Display de 7 segmentos.....	34
Figura 22– Diagrama de Blocos do Kit didático Digital.....	37
Figura 23 – Fonte AC_ DC 5 V e 2,5 A.....	38
Figura 24– Bloco de funções lógicas implementadas com chaves.....	39
Figura 25– Barramento BCD com complemento bit a bit.....	40
Figura 26- Circuito conformador de onda.....	41
Figura 27- Chave com circuito antibouncig.....	42
Figura 28 – Portas lógicas.....	43
Figura 29 – Saída de dados.....	44
Figura 30 – Protótipo do Kit.....	46
Figura 31 – Sinal de clock de 60 Hz, 1Hz e Manual.....	47
Figura 32 – Diagrama do circuito contador de 60 Hz.....	48
Figura 33 – Diagrama da coincidência.....	49
Figura 34 – Diagrama da Função OU Exclusivo.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Escala de Integração de Circuitos Integrados Digitais.....	16
Tabela 2- Características Básicas de CIs da família TTL	17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BCD	<i>Binary-coded digital</i> (codificação digital binária)
BIT	<i>Binary digit</i> (digito binário)
CI	Circuito integrado
CMOS	<i>Complementary metal-oxide-semiconductor</i> (semicondutor de metal-óxido complementar)
DTL	<i>Diode transistor logic</i> (lógica diodo transistor)
LED	<i>Light emitting diode</i> (diodo emissor de luz)
MOS-FET	<i>Metal Oxide Semiconductor field effect transistor</i> (transistor de efeito de campo de óxido de metal semicondutor)
TTL	<i>Transistor transistor logic</i> (lógica transistor transistor)

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 MÉTODO DE ENSINO	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
1.3 OBJETIVOS	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 SISTEMAS DIGITAIS	15
2.2 FUNÇÕES LÓGICAS	17
2.3 CIRCUITOS INTEGRADOS TTL	23
2.3.1 Inversor	23
2.3.2 Porta E ou AND	24
2.3.3 Porta OU ou OR	25
2.3.4 Porta NÃO E ou NAND.....	26
2.3.5 Porta NÃO OU ou NOR	27
2.3.6 Porta Schmitt trigger	28
2.3.7 Flip-Flop J-K	29
2.3.8 Flip Flop D	29
2.3.9 Contadores.....	30
2.3.10 Decodificador BCD para 7 segmentos.....	32
2.3.11 Display de 7 segmentos.....	33
2.4 KIT'S DIDÁTICOS COMERCIAIS.....	34
2.4.1 Módulo MPL-D10A	34
2.4.2 Módulo 8410.....	35
3. METODOLOGIA E PROJETO	36
3.1 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	36
3.1.1 Fonte de Alimentação.....	38
3.1.2 Funções lógicas básicas com chaves	38
3.1.3 Barramento BCD	39
3.1.4 Gerador de Clock.....	40
3.1.5 Bloco de Portas lógicas	42
3.1.6 Bloco de saída de dados	43
4. DESENVOLVIMENTO E TESTES.....	45
4.1 TESTES DE FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO.....	46
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
5.1 Trabalhos futuros.....	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
ANEXO A – Diagramas esquemáticos e Layout das PCI's	53
ANEXO B – Planilha de Custos	58

1. INTRODUÇÃO

A forma tradicional de ensino em sala de aula na qual os professores, baseados em um programa pré-estabelecido, tem a incumbência de transmitir o máximo de informações ao aluno, tem demonstrado que em alguns casos o aluno não alcança o nível desejado de conhecimento. Esse fato é observado na disciplina de circuitos digitais, na qual a prática limita-se a simulações em computador em *softwares* de simulação, uma vez que neste ambiente algumas características de sistemas reais não são apresentadas.

Para a prática experimental dos conceitos de circuitos digitais, é necessário a implementação de circuitos eletrônicos com a interligação de componentes, tais como circuitos integrados, resistores, chaves, Leds, fontes de alimentação etc. Isto implica na necessidade de um conhecimento prévio de cada componente e de técnicas específicas.

A utilização de *protoboard* é uma das formas de se realizar experimentos em eletrônica digital, como restrições do uso dessa ferramenta pode-se elencar as seguintes limitações:

- Tempo disponível em sala de aula para a implementação desse circuito para depois se observar o funcionamento;
- Custo de tais componentes, logo se houver algum erro de montagem é comum a inutilização do mesmo.

Caracterizando, assim, a inviabilidade de montar o circuito para a utilização na prática experimental.

1.1 MÉTODO DE ENSINO

O ambiente de aprendizagem, segundo AEBLI (1982), é um mesclado de meios e atitudes dos componentes aos quais os arranjam, sendo: os alunos, com o seu aprendizado como objetivo final, os professores, através da didática, e por fim, os meios que tornam possível promover o ensino.

No ensino de conceito inovadores em todos os níveis, além do exercício e da repetição, deve-se promover a aplicação dos conceitos de forma constante e

consciente. Por imposição não só de razões práticas da vida, mas porque a aplicação complementa a explicação dos conceitos. (Aebli, 1982).

Ainda segundo AEBLI (1982), o principal objetivo não é resposta encontrada na tarefa aplicada. O encontrar de uma resposta, é somente um sinal do êxito da aplicação. O principal objetivo da aplicação é, senão, a compreensão e cristalinidade da situação a que o aluno foi exposto.

Segundo LIMA (2011), na concepção epistemológica de Gaston Bachelard é pela superação e depuração dos erros que se chega à solução de um problema. Assim sendo um novo processo de raciocínio para criar uma nova formula ou uma diferente forma de abordagem sobre o problema, deve indubitavelmente passar pelo processo de erro cometido junto a sua devida avaliação.

O sucesso educacional em hipótese alguma pode ser garantido pela simples inovação do meio de aprendizado por recursos tecnológicos, uma vez que, prática sem o respaldo da teoria incorre na não observação de todas as nuances e peculiaridades do conteúdo teórico. De tal forma, torna-se clara a função primordial dos modelos experimentais, que é, senão, um método de complementação, fixação, reflexão e aprofundamento no conhecimento, mas nunca substituindo a função de facilitador de um professor e sua tradicional abordagem no aprendizado teórico.

Segundo KUETHE (1977), os projetos experimentais são fundamentais ao aprendizado e desenvolvimento do saber por promoverem o desenvolvimento da capacidade do esforço próprio. O estudante, portanto é motivado a aprofundar-se no conhecimento devido à perspectiva de realizar seu próprio projeto e estará ainda mais motivado nesta tarefa, quando há a expectativa do professor com a execução de um bom trabalho por parte do acadêmico. Há ainda um esforço adicional quando produto final de um projeto é destino à exibição ou mesmo apresentado aos próprios colegas acadêmicos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Frente a isto, qual seria a maneira de se colocar em execução um circuito, considerando a possibilidade de minimizar erros de montagem e como consequência não danificar os componentes, de maneira que a montagem do circuito seja ágil e

eficiente, dando a possibilidade de estudar o circuito não se desperdiçando o tempo com a ligação das portas e alimentação dos circuitos discretos?

Diante do exposto, a resposta pode ser o uso de um kit eletrônico didático para prática de circuitos digitais, que possibilitará ao professor e ao aluno a aplicação dos conceitos teóricos da disciplina, preenchendo a ausência de práticas laboratoriais onde os mesmos terão a oportunidade de fazer as experimentações, e colocar em prática de maneira segura sem necessidade de produzir um circuito com componentes discretos. A sua utilização possibilitará experiências dinâmicas e a praticidade na montagem, levando assim a maximização do aproveitamento do tempo em sala de aula e tornando as experiências práticas durante o aprendizado mais eficiente.

1.3 OBJETIVOS

Com a proposta de suprir essa necessidade e contribuir para a melhoria do ensino de eletrônica digital, o trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma plataforma de aprendizagem em forma de um equipamento lógico-didático portátil, para ser utilizado como ferramenta educacional, que permita a experimentação de circuitos lógicos com a finalidade de auxiliar no ensino da disciplina.

Utilizando componentes encontrados no mercado especializado, de custo relativamente baixo, o kit será elaborado de forma a se obter um equipamento compacto que o docente levará para sala de aula. O equipamento terá a capacidade de suprir parcialmente a ausência de laboratório para a disciplina de circuitos digitais.

Composto por circuitos integrados, utilizando dispositivos TTL (*Transistor-Transistor Logic*), com as portas e blocos lógicos dispostos de maneira que se possa fazer a conexão destes elementos com um barramento BCD (*Binary-coded decimal*) de 4 bits, utilizando led (*Light Emitting Diode*) como monitor dos estados lógicos de entrada e saída. Poderá ser utilizado na sala de aula pelos estudantes e professores para a prática dos conceitos da disciplina de circuitos digitais.

Com a aplicação dos componentes da linha comercial da família TTL, pode ser utilizado portas lógicas, flip-flop's e contadores já implementados em um chip, e usando a rede elétrica como uma base precisa para gerar o sinal de clock. O

equipamento terá a possibilidade de ser utilizado em experimentos de circuitos lógicos combinacionais ou sequenciais, apresentando os resultados em leds ou em um display de 7 segmentos.

Este equipamento terá o funcionamento dos blocos lógicos aplicados ao aprendizado da disciplina, assim, de maneira simples, o aluno poderá alterar e propor novas disposições do circuito, onde o aluno e o docente, por meio de uma metodologia adequada entrelaçando teoria e prática, terão contato com circuitos reais, analisando as características e limitações implícitas dos componentes eletrônicos utilizados nos circuitos digitais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMAS DIGITAIS

De acordo com IDOETA e CAPUANO (1998), o engenheiro americano Claude Elwood Shannon no ano de 1938, utilizou pela primeira vez as teorias da álgebra de Boole e solucionou os problemas apresentados nos circuitos de um sistema de telefonia, publicando em seguida um trabalho intitulado de ***Symbolic Analysis of Relay and Switching***, iniciando a eletrônica digital na área tecnológica.

Sistemas digitais são circuitos que utilizam as teorias da álgebra de Boole para implementação de suas aplicações, diferente da eletrônica analógica onde os problemas são resolvidos por sistemas lineares.

Atualmente as tecnologias mais utilizadas pelos projetistas têm como base os sistemas digitais, que são sistemas nos quais os sinais têm um número finito de valores discretos. Com este atributo, eles são mais simples de serem projetados, são menos afetados por ruídos de sinal, são mais amoldados à integração, além disto, possuem maior exatidão que os sistemas analógicos. (TOCCI; WIDMER, 1998).

Este ramo da eletrônica emprega blocos básicos conhecidos como portas lógicas na solução dos problemas, utilizando-se convenientemente estes módulos, implementa-se blocos com funções determinadas e estes são a base dos projetos dos sistemas digitais.

Existe uma série de circuitos integrados disponível no mercado com circuitos lógicos básicos, disponíveis nas famílias TTL e CMOS. De acordo com IDOETA e CAPUANO (1998), na construção dos circuitos na tecnologia TTL é utilizado transistores bipolares, ou seja, transistores de junção, que são dispositivos semicondutores de três terminais, formados por três camadas consistindo de: duas camadas de material tipo "n" e uma de tipo "p" ou de duas de material tipo "p" e uma de tipo "n".

De acordo com o arranjo das camadas, são chamado de transistor, NPN ou de transistor PNP. Através de uma polarização de tensão adequada consegue-se estabelecer um fluxo de corrente, permitindo que o transistor seja utilizado em

inúmeras aplicações como: chaves comutadoras eletrônicas, amplificadores de tensão e de potência, etc.

Na tecnologia CMOS, é utilizado transistores MOS-FET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), são componentes compostos de um canal de material semicondutor de tipo N ou de tipo P e é chamado respectivamente de NMOSFET ou PMOSFET. Geralmente o semicondutor escolhido é o silício, mas alguns fabricantes, usam uma mistura de silício e germânio (SiGe) nos canais dos MOSFETs.

Os circuitos integrados digitais são classificados também pela quantidade de portas lógicas no seu substrato, esta classificação recebe uma designação de acordo com o número destes componentes. A Tabela 1 apresenta a escala de integração, bem como a faixa de porta por circuito integrado de cada designação.

Tabela 1- Escala de Integração de Circuitos Integrados Digitais

Designação	Significado	Densidade (portas por chip)
SSI	<i>Small Scale Integration</i>	< 12
MSI	<i>Medium Scale Integration</i>	13 a 99
LSI	<i>Large Scale Integration</i>	100 a 99
VLSI	<i>Very Large Scale Integration</i>	1000 a 99999
ULSI	<i>Ultra Large Scale Integration</i>	> 100000

Fonte: Idoeta e Capuano (1998)

Os circuitos integrados das famílias TTL e CMOS, estão enquadrados nos níveis de integração SSI e MSI respectivamente; já outros sistemas de maior complexidade, enquadram-se nos níveis de maior integração (Idoeta e Capuano (1998).

A família TTL é originada a partir da antiga DTL, são comercializados nas séries 74 e nas séries 54, sendo esta última denominada série militar ou profissional, por ter maior margem nos parâmetros temperatura e alimentação.

Trata-se de uma família pioneira, por ser consistido de várias versões ou séries de circuitos. A série 54/74 (*Standard*) foi a primeira série de CIs TTL, atualmente não é mais utilizada em projetos, sendo substituídas por séries de melhor desempenho, no que se refere aos parâmetros relativos à velocidade e

consumo de energia. Na Tabela 2 é apresentado um quadro comparativo das especificações entre as versões de CIs TTL.

Tabela 2- Características Básicas de CIs da família TTL

Versão	Identificação da série	Tempo de atraso de propagação típico por porta	Consumo de potência por porta	Frequencia de clock máxima para flip-flop	Observações
Standard	54/74	10ns	10mW	35 Mhz	comum
Low power	54L/74L	33ns	1mW	3 Mhz	baixíssimo consumo
High speed	54H/74H	6ns	22mW	50 Mhz	alta velocidade
Schottky	54S/74S	3ns	19mW	125 Mhz	altíssima velocidade
Advanced Schottky	54AS/74AS	1,5ns	8,5mW	200 Mhz	altíssima velocidade e baixo consumo
Low power Schottky	54LS/74LS	10ns	2mW	45 Mhz	baixíssimo consumo
Advanced Low power Schottky	54ALS/74ALS	4ns	1mW	70 Mhz	altíssima velocidade e baixíssimo consumo

Fonte : Idoeta e Capuano (1998)

As séries não fazem distinção dos pinos ou nas operações lógicas realizadas pelos circuitos internos dos chips, diferenciando-se somente nas características de velocidade e consumo.

2.2 FUNÇÕES LÓGICAS

. As funções em um sistema digital são de formas binárias, ou seja apresentam somente dois estágios e os principais circuitos básicos em que se baseiam tais sistemas, conhecidos como portas lógicas, ou circuitos lógicos são E(AND), OU(OR) e NÃO(NOT)

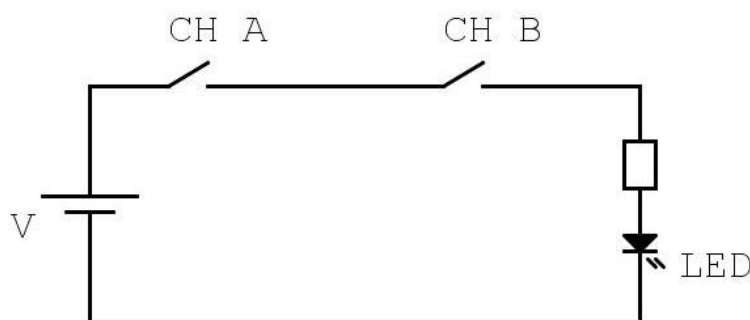
Portanto a combinação desses elementos são utilizados para a implementação das equações algébricas booleanas criadas na metade do século XIX por G. Boole. Teoricamente qualquer sistema pode ser construído a partir da combinação de tais circuitos lógicos básicos ou funções lógicas que derivam-se dos postulados da álgebra de Boole.

As funções lógicas apresentam somente dois estados, o estado 0 (zero) e o estado 1 (um), para o nosso trabalho, o estado 0 (zero) será representado como ausência de tensão ou zero volt, chave desligada e led apagado, já o estado 1 (um) será representado com presença de tensão ou 5 V, chave ligada e led aceso. Cada função booleana pode assumir somente duas situações distintas ou 0 ou 1.

2.2.1 Função E (AND)

A função E (AND) faz a multiplicação de variáveis booleanas, a Figura 1 traz a apresentação com duas variáveis de entrada implementadas com chaves e led como monitor de saída.

Figura 1– Função E (AND)



Fonte: própria.

De acordo com a convenção adotada temos que: chave aberta=0; chave fechada=1; led apagado=0; led aceso=1.

Temos as seguintes possibilidades:

- 1) Se a chave A estiver aberta e a chave B aberta, o circuito não terá circulação de corrente, logo o led se apresentará apagado.
- 2) Fechando somente a chave B e a chave A permanecendo aberta o circuito continuará aberto e o led permanecerá apagado.

3) Fechando a chave A e abrindo a chave B, o circuito continuará aberto com o led apagado.

4) Com a chave A e chave B fechadas a corrente poderá fluir pelo circuito e o led acenderá.

Observando as possibilidades apresentadas, verifica-se que o led só acenderá se ambas as chaves estiverem fechadas. Logo pela álgebra booleana se $A=0$ e $B=0$ teremos o resultado $S=0$, ou seja $A.B=0$. Se $A=0$ e $B=1$, teremos $A.B=0$. Teremos portanto a saída igual a 1, somente com as duas chaves (A e B) ligadas, ou seja se $A=1$ e $B=1$, $S=1$ ($A.B=1$).

Através dos resultados apresentados, obtém-se uma tabela com as possíveis situações das chaves e os respectivos resultados, essa tabela é designada de Tabela da Verdade e mostra o comportamento da função booleana E (AND). A Figura 2 é a representação da tabela da verdade para a função E (AND) com duas variáveis de entrada.

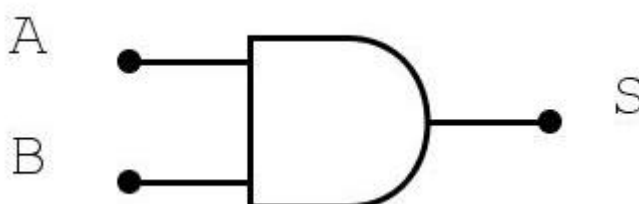
Figura 2– Tabela da Verdade da função E (AND)

Entradas		Saída
A	B	S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Fonte: própria.

A porta lógica E (AND), representa a função booleana E, e nos circuitos lógicos é representada pelo símbolo apresentado na Figura 3.

Figura 3– Porta lógica E (AND)

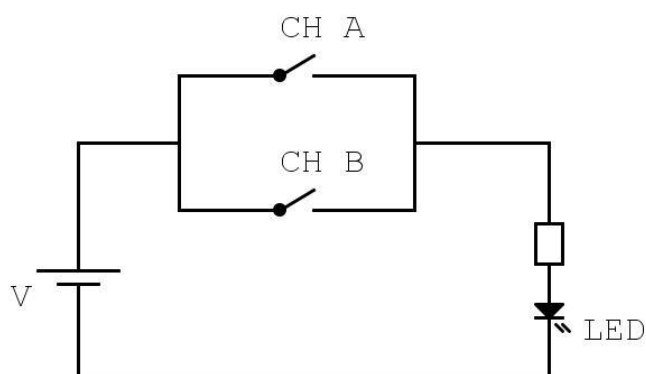


Fonte: própria.

2.2.2 Função OU (OR)

A função OU (OR), algebricamente executa a soma entre as variáveis de entrada, na Figura 4, observa-se a função lógica utilizando chaves como entrada e led na saída, usando a mesma convenção já adotada.

Figura 4 – Função OU (OR)



Fonte: própria.

Analisando o circuito temos as seguintes possibilidades:

- 1) Com as duas chaves (A e B) abertas, não circula corrente, logo o led estará apagado;
- 2) Chave A aberta e Chave B fechada, sendo possível a circulação da corrente o led irá acender;
- 3) Chave A fechada e Chave B aberta, da mesma forma que na possibilidade anterior, teremos circulação de corrente e o led acenderá;
- 4) As duas chaves (A e B) fechadas, teremos corrente no circuito e led permanecerá aceso.

Pelas situações possíveis apresentadas pelas chaves, observa-se que se pelo menos uma das chaves estiver fechada, haverá circulação de corrente e o led deverá acender, concluindo que o led só apagará se, e somente se todas as chaves estiverem abertas, logo algebricamente a função terá o seguinte comportamento $A+B=S$.

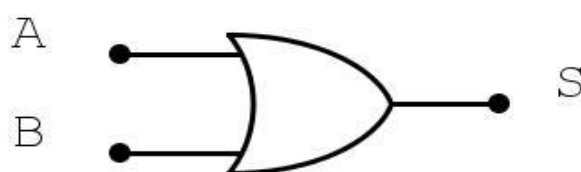
A tabela da verdade para a função OU (Or) é apresentada na Figura 5, onde se observa o comportamento para duas variáveis.

Figura 5– Tabela da Verdade da função OU (OR)

Entradas		Saída
A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Fonte: própria.

A porta lógica OU (OR), representa a função booleana OU, e nos circuitos lógicos é representada pelo símbolo apresentado na figura 6.

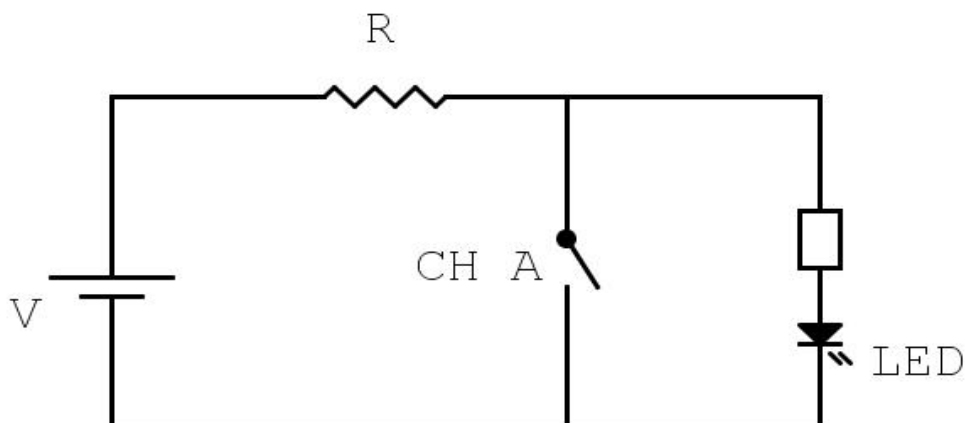
Figura 6– Porta lógica OU (OR)

Fonte: própria.

É salutar informar que as portas apresentadas podem dispor de mais que duas entradas, e o conceito pode se estender para qualquer número de variáveis de entrada.

2.2.3 Função NÃO (NOT)

É a função booleana de negação ou complemento, pois ela inverte o estado lógico da variável de entrada, ou seja, se na entrada tiver 1 na saída terá 0, se tiver 0 na entrada na saída terá 1, algebricamente a função será representada da seguinte maneira: $S = \bar{A}$, a barra sobre a variável de entrada significa a negação de A, o circuito da Figura 7 apresenta a função NOT.

Figura 7 – Função NÃO (NOT)

Fonte: própria.

Analisando a função NOT na Figura 7 utilizando as convenções das funções anteriores temos as seguintes possibilidades:

- 1) Chave A fechada (1), a corrente circulará pela chave e o led estará apagado (0). Logo se $A=1$, teremos $S=0$, ou $S=\bar{A}$;
- 2) Com a chave A aberta (0), a corrente irá circular pelo led e o mesmo irá acender (1), então com $A=0$, teremos $S=1$, ou $S=\bar{A}$.

A tabela da verdade para a função NÃO (NOT) é apresentada na Figura 8 , onde se observa o comportamento da variável A.

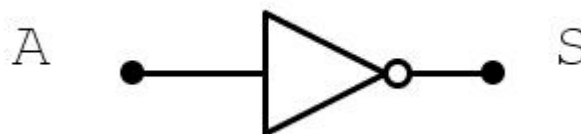
Figura 8 – Tabela da Verdade da função NÃO (NOT)

Entrada	Saída
A	S
0	1
1	0

Fonte: própria.

O inversor é o bloco lógico que representa a função booleana NOT, e nos circuitos lógicos é representada pelo símbolo apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Porta lógica Inversora (NOT)



Fonte: própria.

A função NOT , também é conhecida como complemento, e diferentemente das funções apresentadas anteriormente tem somente uma variável de entrada, e é utilizada com as portas AND e OR na composição de outras funções.

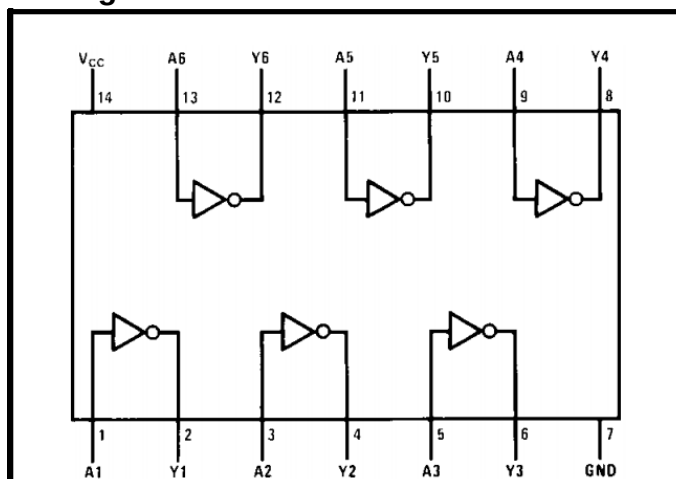
2.3 CIRCUITOS INTEGRADOS TTL

Na área de Eletrônica digital, as duas famílias de circuitos lógicos mais utilizadas são, a família TTL e a CMOS com uma vasta linha de circuitos lógicos disponíveis comercialmente.

Para a elaboração dos circuitos, foram usados os componentes da família TTL, por atender as necessidades estabelecidas que fosse baixo custo, fácil manuseio e fácil aquisição no mercado. Utilizou-se os circuitos integrados da família 74LS, que como característica principal apresenta um baixíssimo consumo de energia, tendo como dissipação típica por porta somente 2 miliWatt.

2.3.1 Inversor

O Circuito integrado utilizado nos inversores é o 74LS04 que dispõe de seis portas inversoras independentes, a Figura 10 apresenta a disposição dos terminais do CI e a tabela verdade da porta inversora.

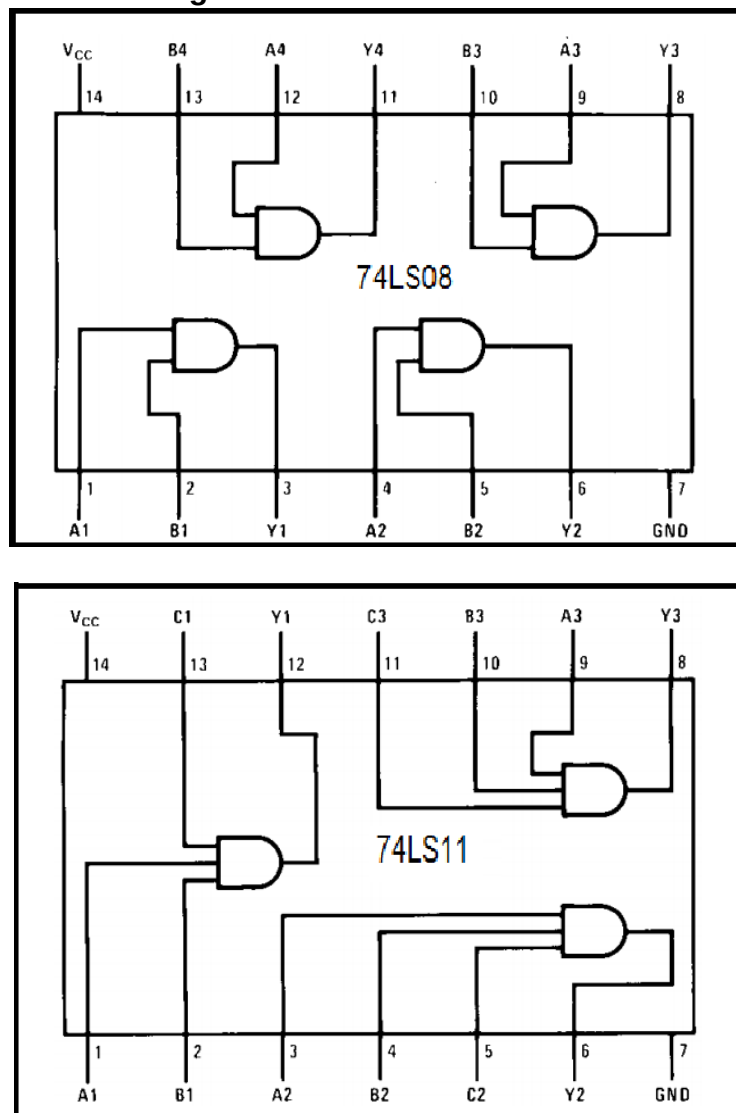
Figura 20– Circuito Integrado 74LS04

Fonte: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets>

2.3.2 Porta E ou AND

Na função And se dispõe de portas com duas e três entradas, para a porta And de duas entradas, utilizou-se o CI 74LS08 e para a porta And de três entradas, foi utilizado o CI 74LS11, a Figura 11 apresenta a simbologia com a disposição dos terminais de entrada/saídas e os pinos de alimentação e tabela verdade dos referidos Circuitos Integrados.

Figura 11– Circuito Integrado 74LS08 e 74LS11

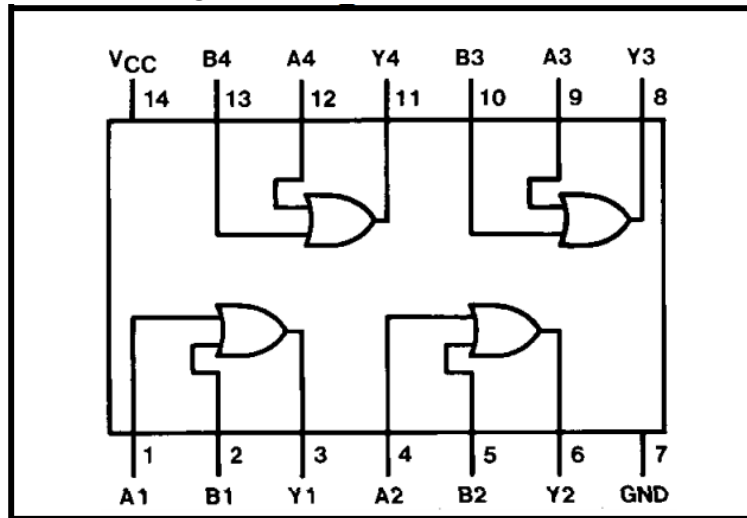


Fonte: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets>

2.3.3 Porta OU ou OR

Para a Função OR, utilizou-se o CI 74LS32, que dispõe de quatro portas com duas entradas, conforme se pode observar a disposição dos terminais e a tabela verdade na Figura 3.

Figura 12– Circuito Integrado 74LS32

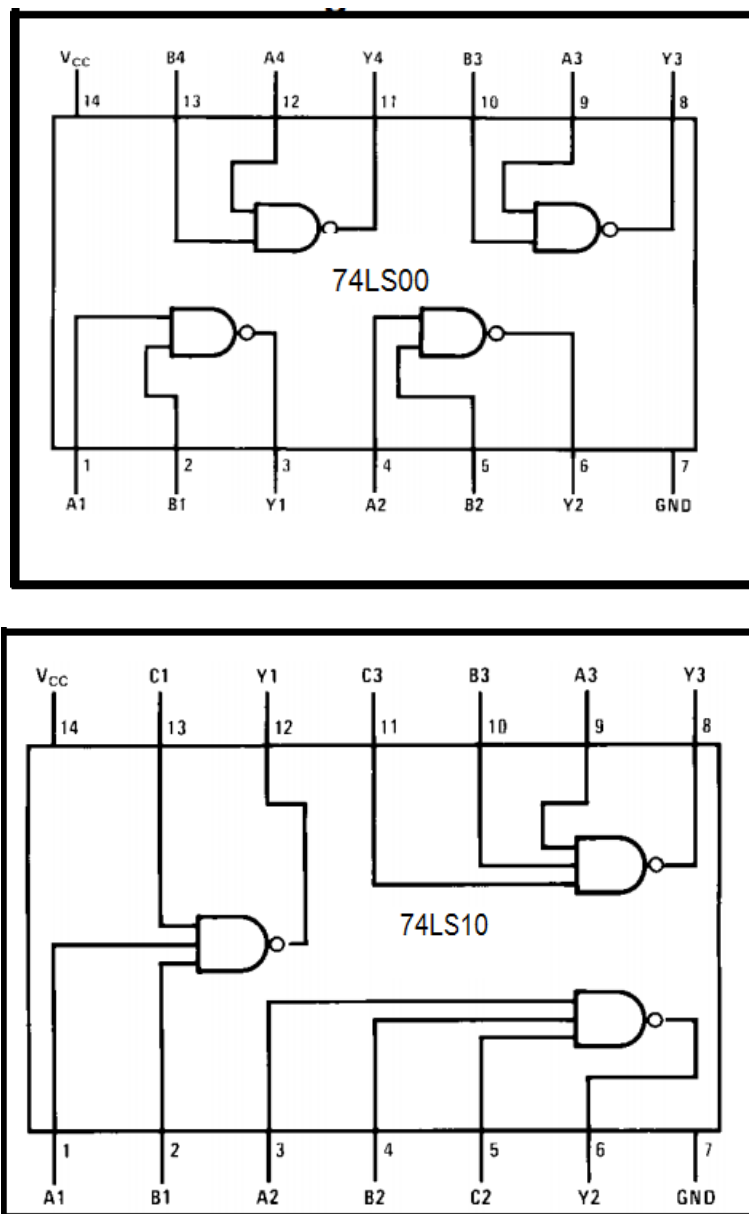


Fonte: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets>

2.3.4 Porta NÃO E ou NAND

Na função NAND utiliza-se portas com duas e três entradas, para a porta NAND de duas entradas, aplicou-se o CI 74LS00 e para a porta NAND de três entradas, foi utilizado o CI 74LS10, a Figura 13 apresenta a simbologia com a disposição dos terminais de entrada/saídas e os pinos de alimentação, a função booleana e tabela verdade dos referidos Circuitos Integrados.

Figura 13 – Circuito integrado 74LS00 e 74LS10

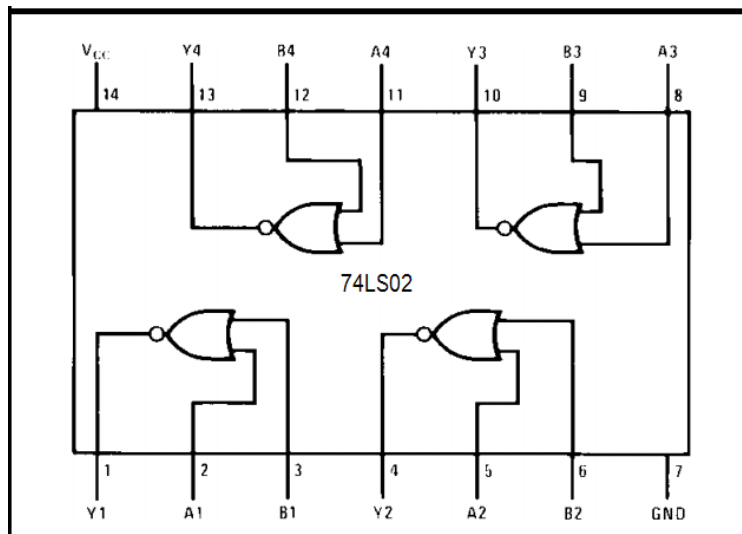


Fonte: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets>

2.3.5 Porta NÃO OU ou NOR

Para função OR na linha de CIs TTL é utilizado o 74LS02, composto por quatro portas de duas entradas, na Figura 14 observa-se a disposição de seus terminais, a função booleana e a tabela verdade.

Figura 14– Circuito Integrado 74LS02

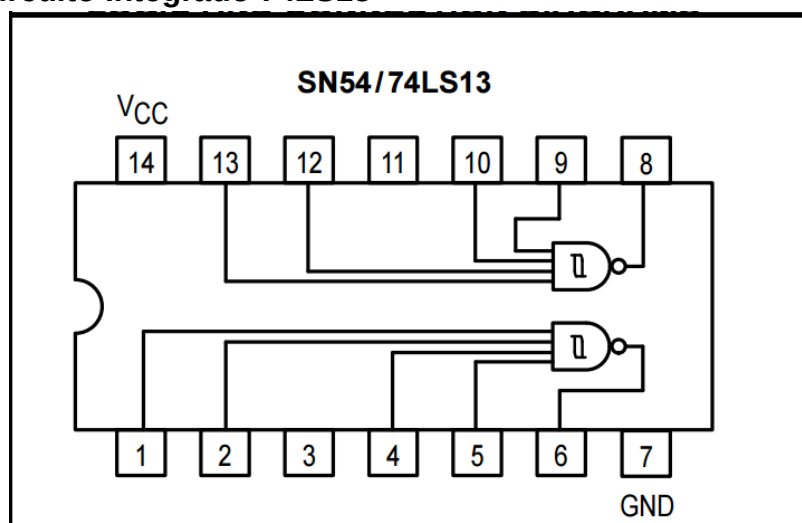


Fonte: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets>

2.3.6 Porta Schmitt trigger

O circuito integrado 74LS13 que é um dispositivo TTL de 14 pinos, o mesmo contém duas portas NAND de quatro entradas *Schmitt trigger* cada, as portas tem funcionamento independente e alimentação de 5 V, onde utilizou-se as porta com as entradas interligadas funcionando como uma porta inversora. A Figura 15 apresenta a simbologia e o diagrama interno do CI 74LS13 e seus respectivos pinos de entrada e saída.

Figura 15– Circuito Integrado 74LS13

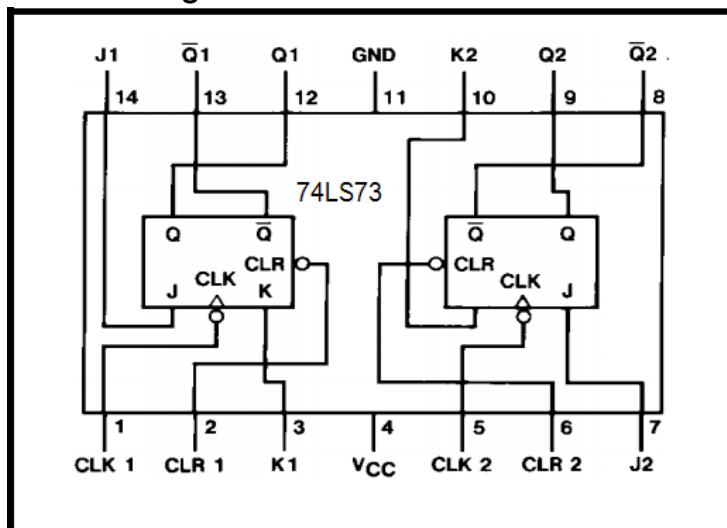


Fonte: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets>

2.3.7 Flip-Flop J-K

O CI 74LS73 é composto por dois *flip-flops* do tipo J-K com entrada de *Clear* (CLR) e *clock* (CLK) ativado na borda de descida. A disposição dos pinos de entrada, saída e tabela verdade deste circuito integrado é mostrada na Figura 16.

Figura 16– Circuito Integrado 74LS73

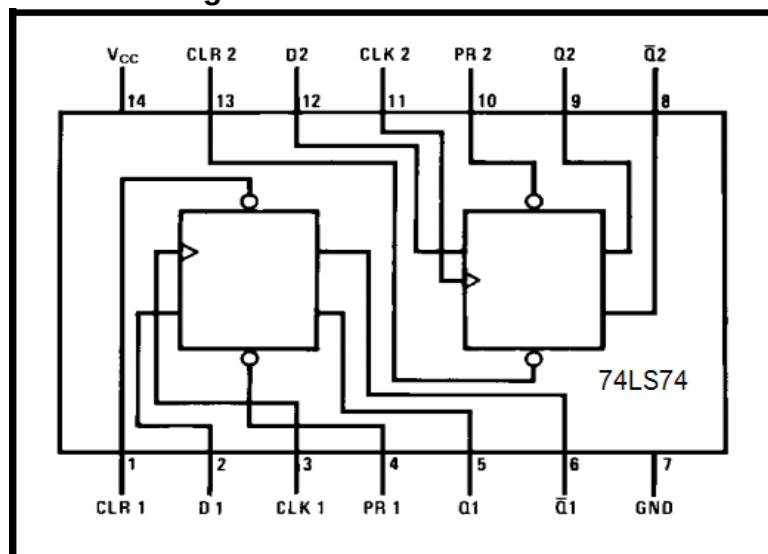


Fonte: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets>

2.3.8 Flip Flop D

O CI 74LS74 é composto por dois *flip-flops* do tipo D com entrada de Reset e Clear ativados em nível baixo e o clock ativado na borda de subida. A disposição dos pinos de entrada, saída e tabela verdade deste circuito integrado é demonstrado na Figura 17.

Figura 17– Circuito Integrado 74LS73



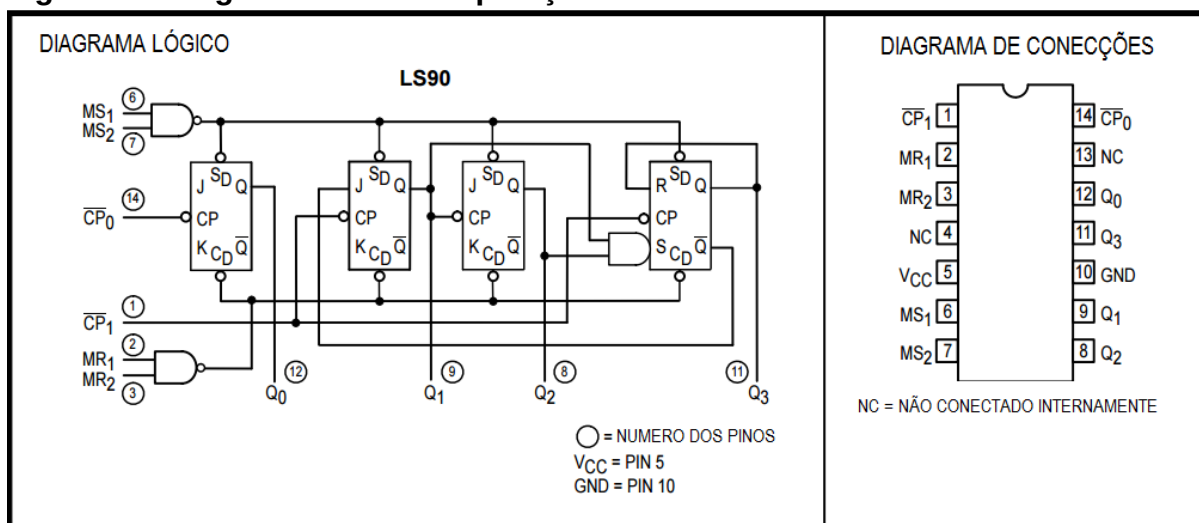
Fonte: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets>

2.3.9 Contadores

Contadores são circuitos digitais que variam os seus estados, sob o comando de um clock, de acordo com uma sequência pré-determinada. São utilizados para contagens diversas, divisão de frequência, medição de frequência e tempo, geração de formas de onda e conversão de sinais analógicos para digital. (Idoeta e Capuano, 1998).

2.3.9.1 74LS90

O circuito integrado 74LS90 é um contador de décadas (decimal) de uso bastante difundido, e será utilizado neste projeto. Sua lógica interna e disposição dos terminais são fornecidas na Figura 18.

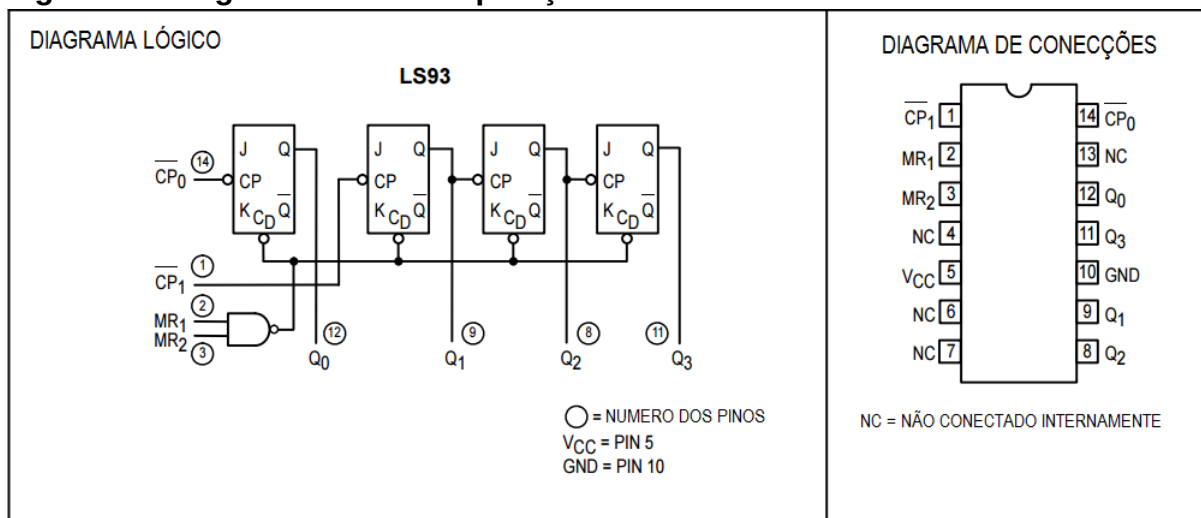
Figura 18– Lógica interna e disposição dos terminais do 74LS90

Fonte: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets>

Da observação do circuito, observa-se que o mesmo dispõe de 2 pinos de *reset* (MR1 e MR2), ativos em nível alto. Portanto, estes pinos deverão permanecer em nível baixo se não forem utilizados. De maneira análoga, os 2 pinos de *preset* (MS1 e MS2) deverão permanecer em nível baixo se não forem utilizados. O sinal de clock do primeiro *flip-flop* (responsável pelo bit menos significativo, Q₀) é CP₀, e é independente do sinal de clock dos outros 3 *flip-flops* (CP₁). Verifica-se a necessidade de conectar a saída Q₀ em CP₁ para que se tenha um contador decimal de 4 bits.

2.3.9.2 74LS93

O circuito integrado 74LS93 é um contador assíncrono de quatro bits com transição na borda negativa do sinal de *clock*. Sua lógica interna e disposição dos terminais são fornecidas na Figura 19, onde observa-se que o mesmo possui quatro *flip-flop* JK configurado internamente na forma de um contador de três bits e tendo o primeiro *flip-flop* com a saída Q desconectada internamente, possibilitando ser conectada externamente a entrada de *clock* do próximo *flip-flop*. O Contador dispõe de 2 pinos de *reset* (MR1 e MR2), ativos em nível alto. Portanto, estes pinos deverão permanecer em nível baixo se não forem utilizados.

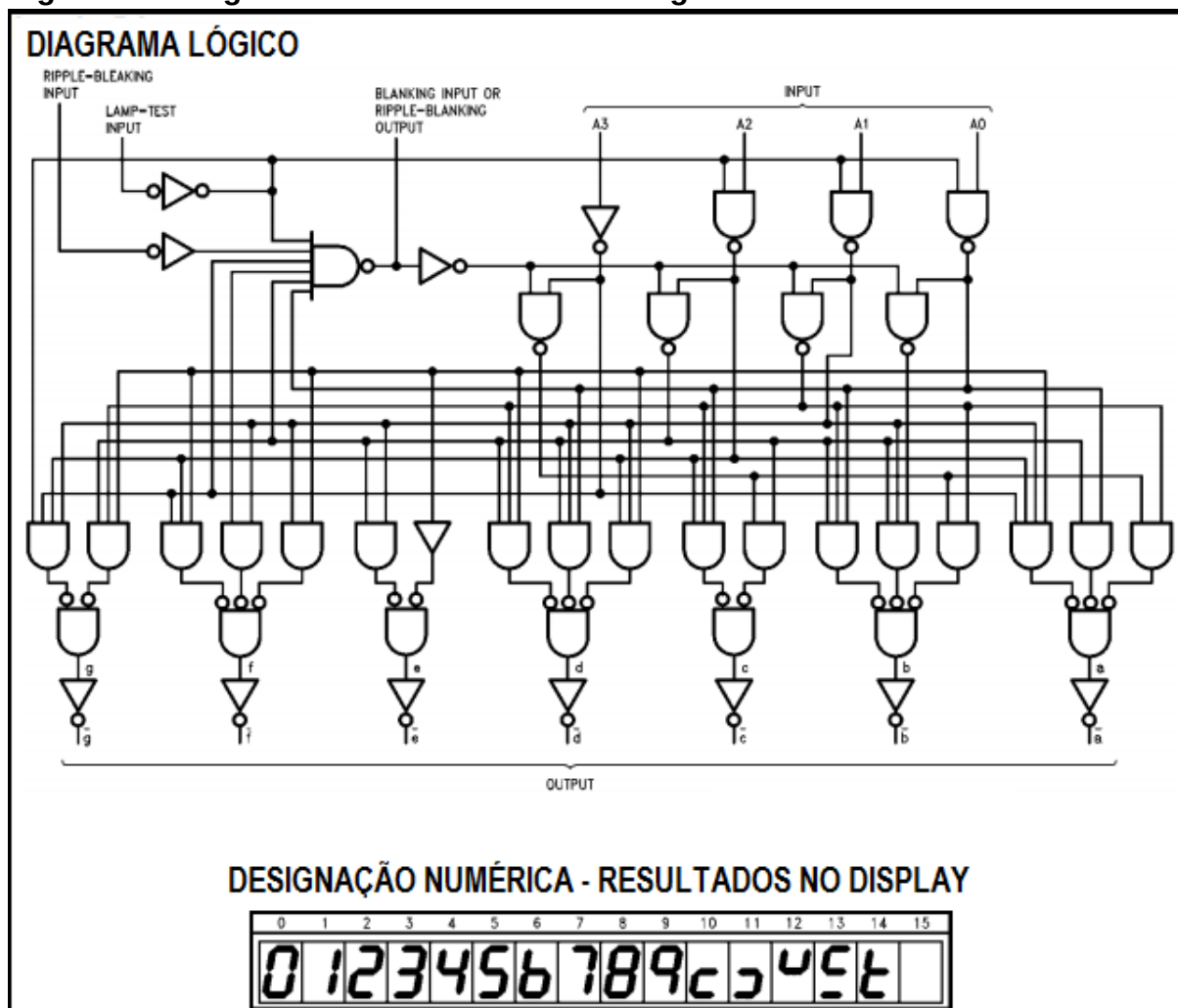
Figura 19– Lógica interna e disposição dos terminais do 74LS93

Fonte: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets>

2.3.10 Decodificador BCD para 7 segmentos

Nesta etapa do circuito utilizou-se o circuito integrado 74LS47, trata-se de um circuito que utiliza as entradas BCD, faz a decodificação para apresentação dos dados em um display de led de 7 segmentos de forma legível ao usuário, no CI 74LS47 as saídas de **a** até **g** deverão ser ligadas através de um resistor limitador de corrente a um display led de 7 segmentos do tipo anodo comum. Na Figura 20 visualiza-se o diagrama interno do CI 74LS47 e pode-se observar o resultado da saída de cada dígito quando se apresenta no display de 7 segmentos.

Figura 20– Diagrama interno do Circuito integrado 74LS47

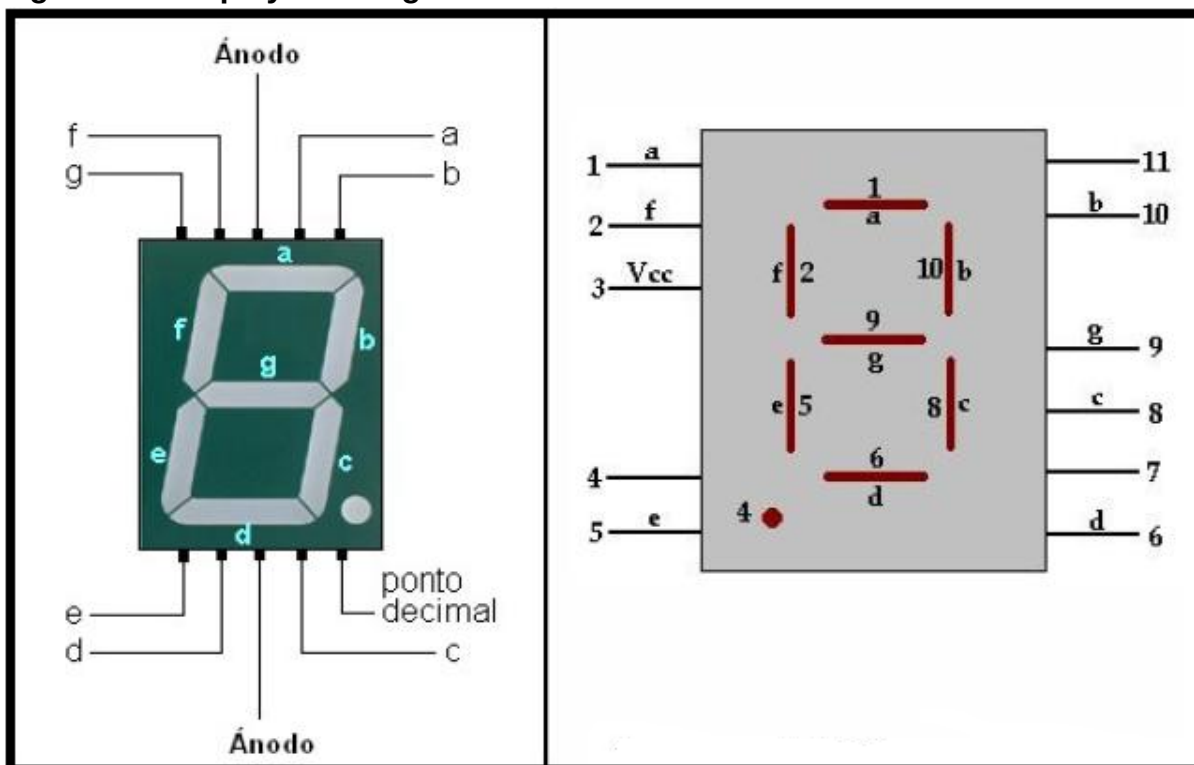


Fonte: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets>

2.3.11 Display de 7 segmentos

Utilizou-se um display de led de 7 segmentos com ânodo comum, onde as entradas de **a** à **g** e o ponto decimal devem ser levadas a nível baixo para o acendimento do respectivo segmento, na prática utiliza-se um resistor em cada entrada, como limitador de corrente para o funcionamento correto do led em função da tensão aplicada ao ânodo, na Figura 21 é apresentado o display, com a respectiva disposição dos seus terminais.

Figura 21– Display de 7 segmentos



Fonte: <http://myaudi.club/forum/thread/display-7-segmentos-anodo-comum-pinagem>

2.4 KIT'S DIDÁTICOS COMERCIAIS

Com o intuito de contemplar o objetivo de desenvolver um kit didático que atenda a ementa da disciplina de circuitos digitais, executou-se uma consulta com fabricantes de dois modelos de kit's educacionais encontrados no mercado, observando que eles executam basicamente as mesmas funções, variando em complexidade de acordo com o nível dos experimentos que podem oferecer. Eles permitem estudos e montagens experimentais utilizando logica digital, realizando operações binárias e armazenamento de dados.

2.4.1 Módulo MPL-D10A

O Módulo MPL-D10A, fabricado pela empresa Zilocchi Materiais Didaticos, é um equipamento desenvolvido para o auxílio das aulas práticas de laboratório de eletrônica digital, utiliza dispositivos lógicos programáveis para implementação das funções lógicas. Composto de um bastidor em aço e em sua base dispõe de uma placa de circuito impresso (PCI) com importantes recursos didáticos como proto-

boards (matrizes de contatos com 1100 pontos) para as montagens, fontes protegidas, chaves com circuito anti-bounce (anti-vibração). O preço do módulo MPL-D10A, é de R\$ 1.250,00, sendo comercializado pelo próprio fabricante.

2.4.2 Módulo 8410

Fabricado pela Datapool Eletrônica, o módulo 8410, é idealizado para aplicações básicas de eletrônica digital utilizando circuitos integrados TTL para implementação das funções lógicas do equipamento. Equipado com protoboard, gerador de clock, detector de níveis lógicos, ponta de prova, fontes de alimentação, chaves binárias de alavancas metálicas e conjunto de componentes para a execução das experiências com ponta de prova para a localização de falhas dos circuitos, operação estática e operação dinâmica.

Este módulo é fornecido pelo fabricante com o preço de R\$ 2.611,40. Juntamente com o módulo são fornecidos os manuais de operação e manutenção e de teoria e prática.

3. METODOLOGIA E PROJETO

O processo metodológico será baseado na pesquisa experimental, pois segundo GIL (2010) este método de pesquisa consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

Inicialmente será realizado a elaboração do projeto, composto pelo desenho do diagrama em bloco.

A etapa seguinte será delineada pela criação dos desenhos dos esquemas dos circuitos eletrônicos e realizada um levantamento relacionado aos componentes disponíveis no mercado.

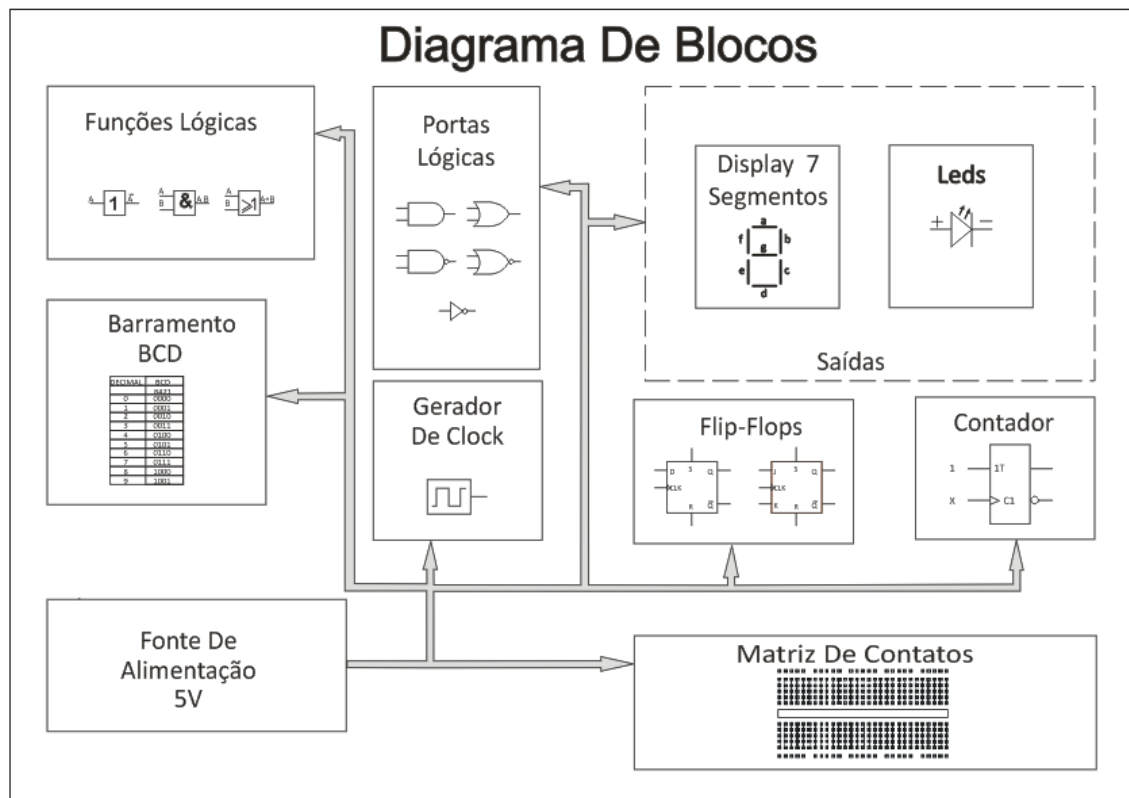
Em seguida será elaborada a montagem, inicialmente em um protoboard para a realização dos testes de funcionamento. Partindo para o desenvolvimento das placas de circuito impresso, utilizando um software apropriado, onde será efetivada inserção e soldagem dos componentes na montagem final.

Terminada a montagem final, testes serão realizados, ocasião em que o kit será apresentado em sala de aula para a prática de alguns experimentos pelos professores da disciplina.

3.1 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Para o desenvolvimento do projeto utilizou-se o programa Proteus versão 8 que é um software que combina ferramentas para o desenvolvimento esquemático do circuito com a simulação e capacidade para o roteamento manual ou automático da placa de circuito impresso. O diagrama de blocos do Kit proposto está representado na Figura 22, onde se observa cada modulo do equipamento.

Figura 22– Diagrama de Blocos do Kit didático Digital.



Fonte: própria.

A proposta para o kit didático será composta de módulos assim compostos:

- Fonte de Alimentação dos circuitos;
- Funções lógicas básicas com chaves;
- Barramento BCD, com quatro bits e seus respectivos complementos;
- Gerador de sinal de clock;
- Módulo de portas lógicas;
- Flip flop JK;
- Flip flop D;
- Módulo contador;
- Módulo de saídas com led's e display 7 segmentos;
- Matriz de contato para expansão de experiências.

3.1.1 Fonte de Alimentação

Os circuitos integrados da linha TTL necessitam de uma fonte de alimentação com tensão contínua de 4,5 a 5,5 V, com valor precisamente de 5 V para poderem funcionar adequadamente, necessitando de um controle preciso dentro dessa faixa de tensão. Como não faz parte do escopo do projeto e dispondo no mercado de fontes que atendam a este propósito, optou-se por utilizar uma fonte chaveada com entrada automática de 100 a 240 volts e tensão de saída de 5 volts com corrente de 2,5 Amperes, por atender a demanda de tensão e corrente exigida pelo circuito, encontrada comercialmente. A Figura 23 demonstra a fonte utilizada no projeto.

Figura 23 – Fonte AC_ DC 5 V e 2,5 A.



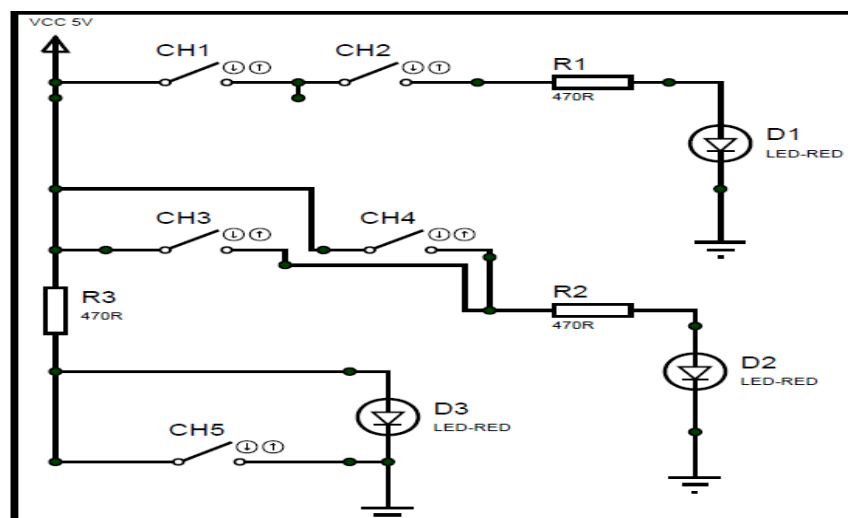
Fonte: própria.

3.1.2 Funções lógicas básicas com chaves

No Bloco de funções com chaves, a entrada de dados é feita através de chaves retentivas, que apresentam o estado lógico através da indicação da opção 1 e 0 e apresentando a saída através dos leds, com aceso e apagado, representando os níveis lógicos alto e baixo respectivamente. A

Figura 24 apresenta o circuito do bloco de funções básicas implementadas com chaves.

Figura 24– Bloco de funções lógicas implementadas com chaves



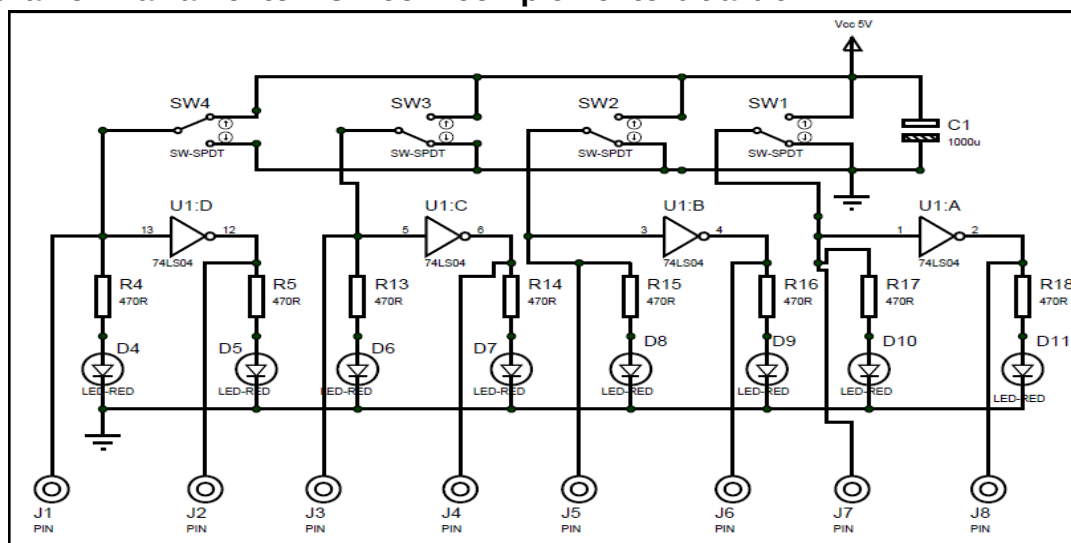
Fonte: própria.

As chaves CH1 e CH2 representam a entrada de uma função AND e o Led D1 a respectiva saída, analogamente as chaves CH3 e CH4 são as entradas de uma função OR e o Led D2 a saída e a chave CH5 a entrada de um inversor com o Led D3 a saída

3.1.3 Barramento BCD

O Barramento BCD, tem a função de gerar um código BCD, e seu respectivo complemento em quatro bits, para ser utilizado como entrada nos circuitos combinacionais. A figura 25 apresenta o circuito onde se visualiza as chaves retentivas e o inversor para cada bit do barramento, as saídas de cada bit, estarão disponíveis através de bornes tipo “banana”.

Figura 25– Barramento BCD com complemento bit a bit.



Fonte: própria.

3.1.4 Gerador de Clock

A rede elétrica no Brasil é padronizada com a frequência de 60 Hz, podemos utilizar essa frequência convertendo o sinal senoidal, para uma onda quadrada, e assim gerar uma onda de 60 Hz no padrão utilizável por circuitos digitais, utilizando para isso um circuito conformador de pulso.

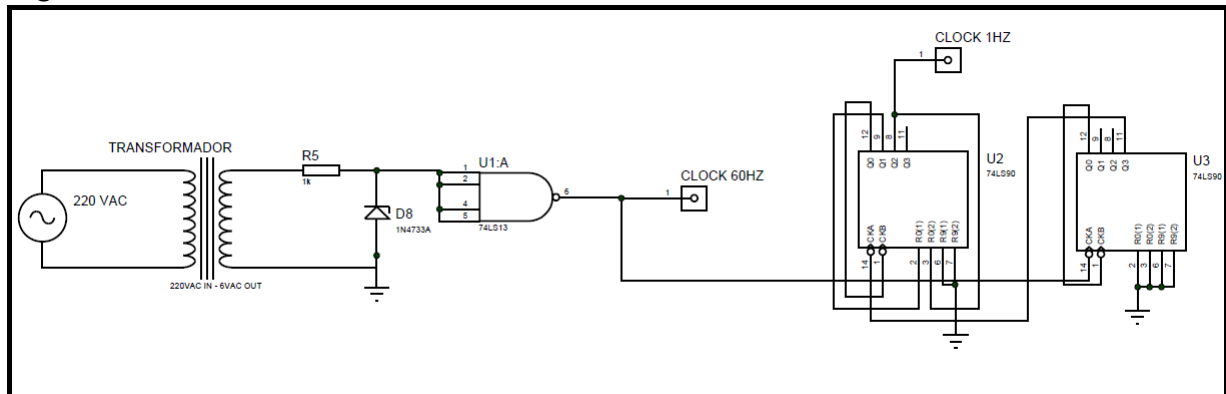
Deve-se para isto utilizar um tipo de porta especial, do tipo *Schmitt trigger*, que tem como característica um circuito comparador de realimentação positiva, logo quando o nível do sinal na entrada é maior que um limiar determinado, a saída é levada ao nível alto, e quando estiver abaixo de um determinado limiar a saída estará em nível baixo. A função desses limiares é conhecida como histerese, e como o sinal de entrada é uma onda senoidal a porta *Schmitt trigger*, terá como função tornar o sinal quadrado.

Para a aplicação no projeto, onde se utiliza led's para visualização dos estados lógicos, a frequência de entrada não deverá ser alta, optou-se por o circuito de clock de 60 Hz, de 1 Hz e um clock manual, onde através de uma chave se consegue a mudança de estado lógico necessária para usar como clock.

O sinal senoidal que será utilizado como base de tempo é retirado de um enrolamento secundário de 6 V, de um transformador com o primário de 220 V ligado a rede elétrica, e será aplicado a entrada da porta *Schmitt trigger*, na função

de conformador de onda e na saída se obtém o sinal quadrado de 60Hz, A Figura 26 apresenta o diagrama esquemático dessa etapa.

Figura 26- Circuito conformador de onda



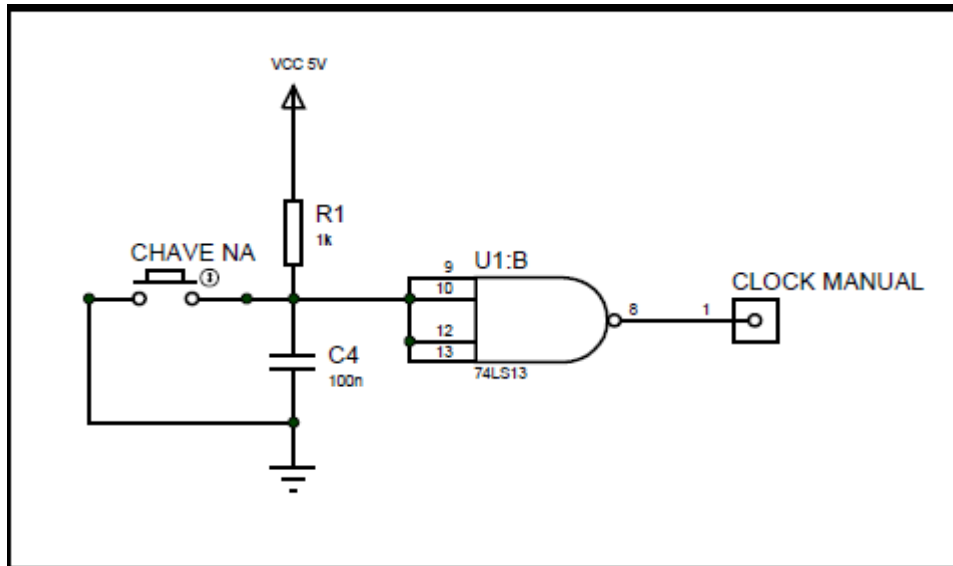
Fonte: própria.

O sinal de 60Hz obtido na saída da porta NAND Schmitt trigger, será aplicado a um divisor por 60 implementado com dois contadores 74LS90, conforme demonstrado na Figura 26, na saída do contador obtém-se o sinal retangular de 1Hz.

No circuito além do clock com um sinal periódico, gerado pelo circuito descrito acima, é implementado um circuito para obter o sinal de clock manual através de uma chave, mudando manualmente os níveis lógicos, como se observa na Figura 27.

Como a chave de contatos momentâneos tem contatos mecânicos, existe um problema inerente devido a trepidação dos contatos, conhecidos como *bouncing*, onde poderão ocorrer transições indesejadas do nível lógico. A correção desse efeito indesejado pode ser implementado com circuitos antibounce, e nesse caso utilizou-se um resistor e um capacitor mostrado na Figura 27, o capacitor por não permitir uma transição abrupta de tensão em seus terminais terá como função suavizar a mudança de nível do sinal.

Figura 27- Chave com circuito antibouncig.

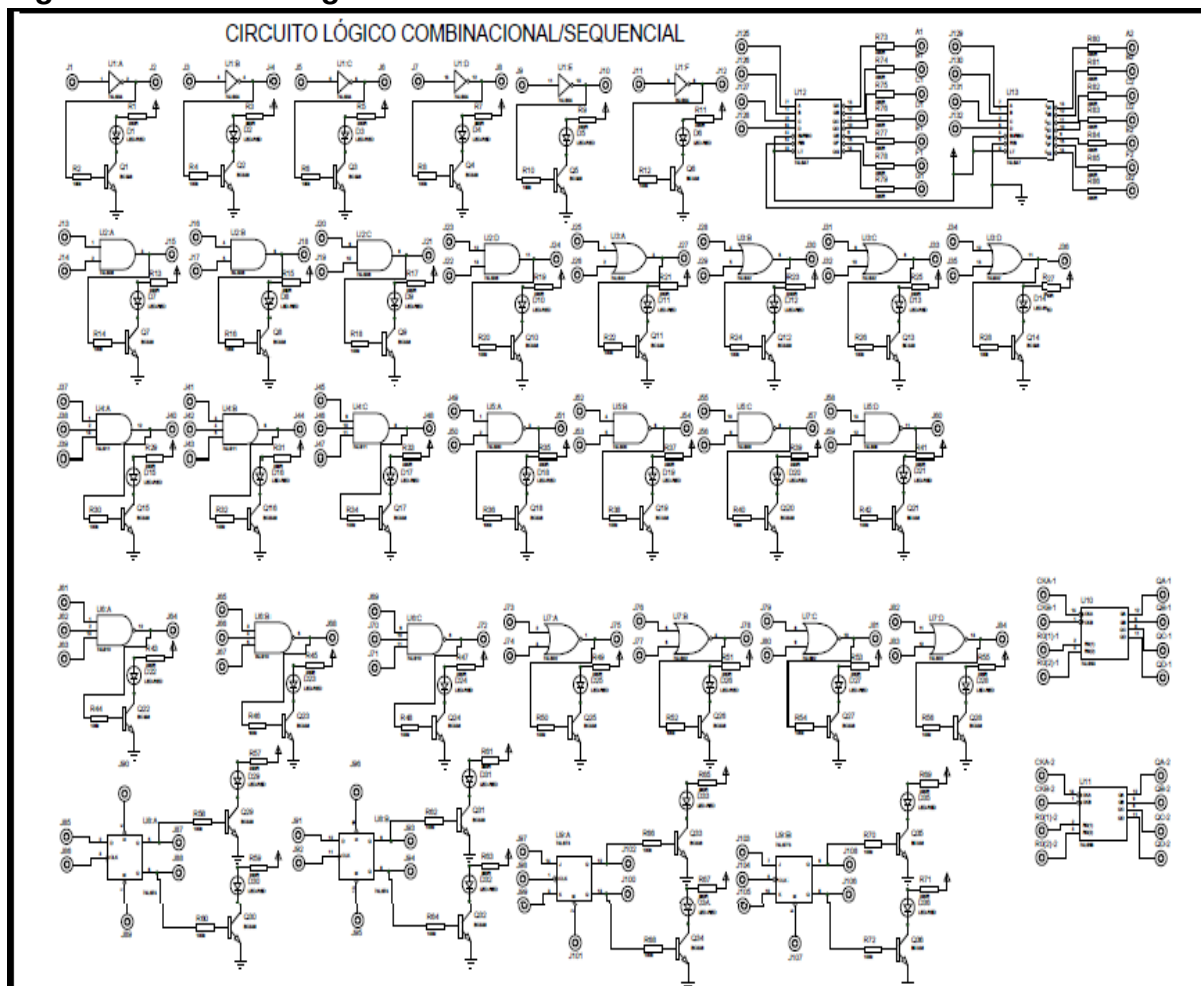


Fonte: própria.

3.1.5 Bloco de Portas lógicas

Esse bloco de circuito é composto por portas lógicas com as entradas conectadas a um borne tipo “banana”, onde pode ser injetado um sinal lógico proveniente de outra porta ou circuito, e a saída tem um borne “banana” para saída do sinal, bem como um led indicador do status do pino da respectiva porta. A Figura 28 demonstra o esquema do bloco de portas, com as entradas e saídas conectadas aos bornes.

Figura 28 – Portas lógicas



Fonte: própria.

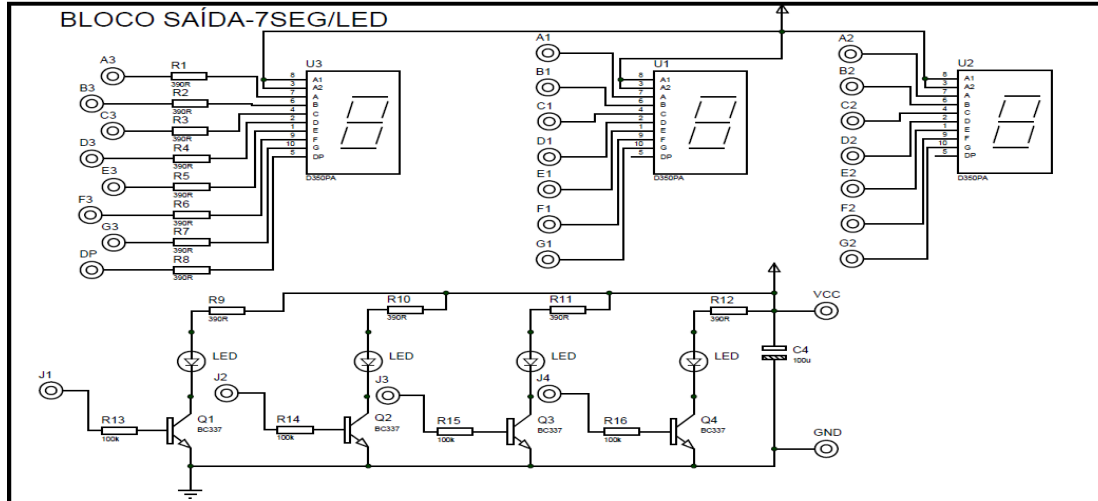
Nas saídas de cada porta utiliza-se um transistor configurado como chave para excitar o led indicador de nível lógico, objetivando não drenar corrente da saída da porta.

3.1.6 Bloco de saída de dados

O bloco de saída de dados é constituído dos display de 7 segmentos e leds monitores de dados, e contém dois display conectados aos devidos decodificadores, a entrada de sinal desse circuito deve ser através de código BCD e a saída de forma alfanumérica nos display, o bloco também é composto por um display de anodo comum devidamente polarizado para ser utilizado, e de quatro leds para serem

utilizados como resultado dos níveis de saída nos circuitos em experimentais. A Figura 29 mostra o diagrama esquemático do bloco de saída.

Figura 29 – Saída de dados



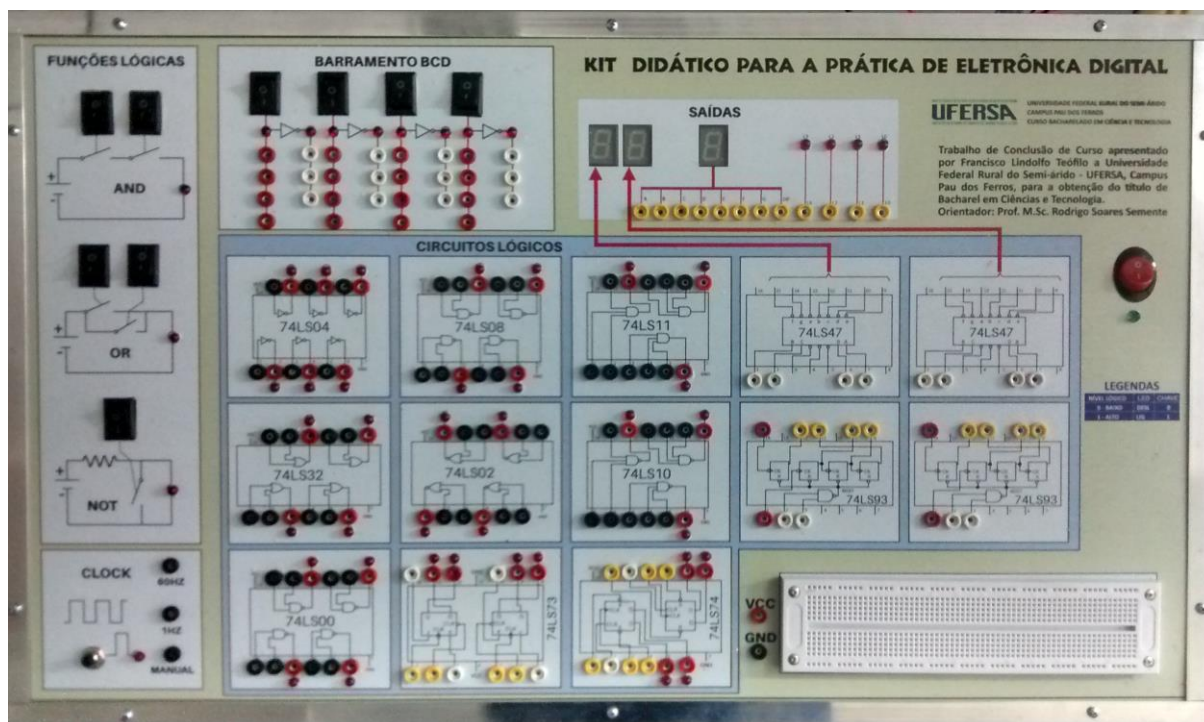
Fonte: própria.

4. DESENVOLVIMENTO E TESTES

Os diagramas eletrônicos, a simulação de funcionamento e o layout das placas de circuito impresso foram gerados utilizando-se a ferramenta de software Proteus versão 8. O Anexo A apresenta os diagramas esquemáticos e os layout das placas de circuito impresso. Após se obter o layout das placas desenhadas, as mesmas foram confeccionadas utilizando-se de um equipamento fresador para a retirada da película de cobre, ficando no fenolite somente as trilhas e ilhas para a soldagem dos componentes, após essa etapa foi feito a inserção e soldagem dos componentes nas placas, e executado um teste preliminar em cada uma das placas, observando o funcionamento, verificando e corrigindo possíveis erros como curto-circuito ou trilhas interrompidas.

Com as devida correções foi executado a soldagem dos bornes de entradas e saídas a fonte de alimentação e instalados em um gabinete confeccionado de placas de acrílico e alumínio, e acrescentou-se uma matriz de contatos (protoboard) de 760 furos com a finalidade de possibilitar a implementação de circuitos extras quando algum experimento assim necessitar. O protótipo final está representado na Figura 30. Onde se observa que foi disposto um layout demonstrando de forma didática as portas ou circuitos lógicos sequenciais da mesma forma que no circuito integrado, e a sua entrada e saída referenciadas com o borne de conexão possibilitando a interligação entre esses componentes.

Figura 30 – Protótipo do Kit



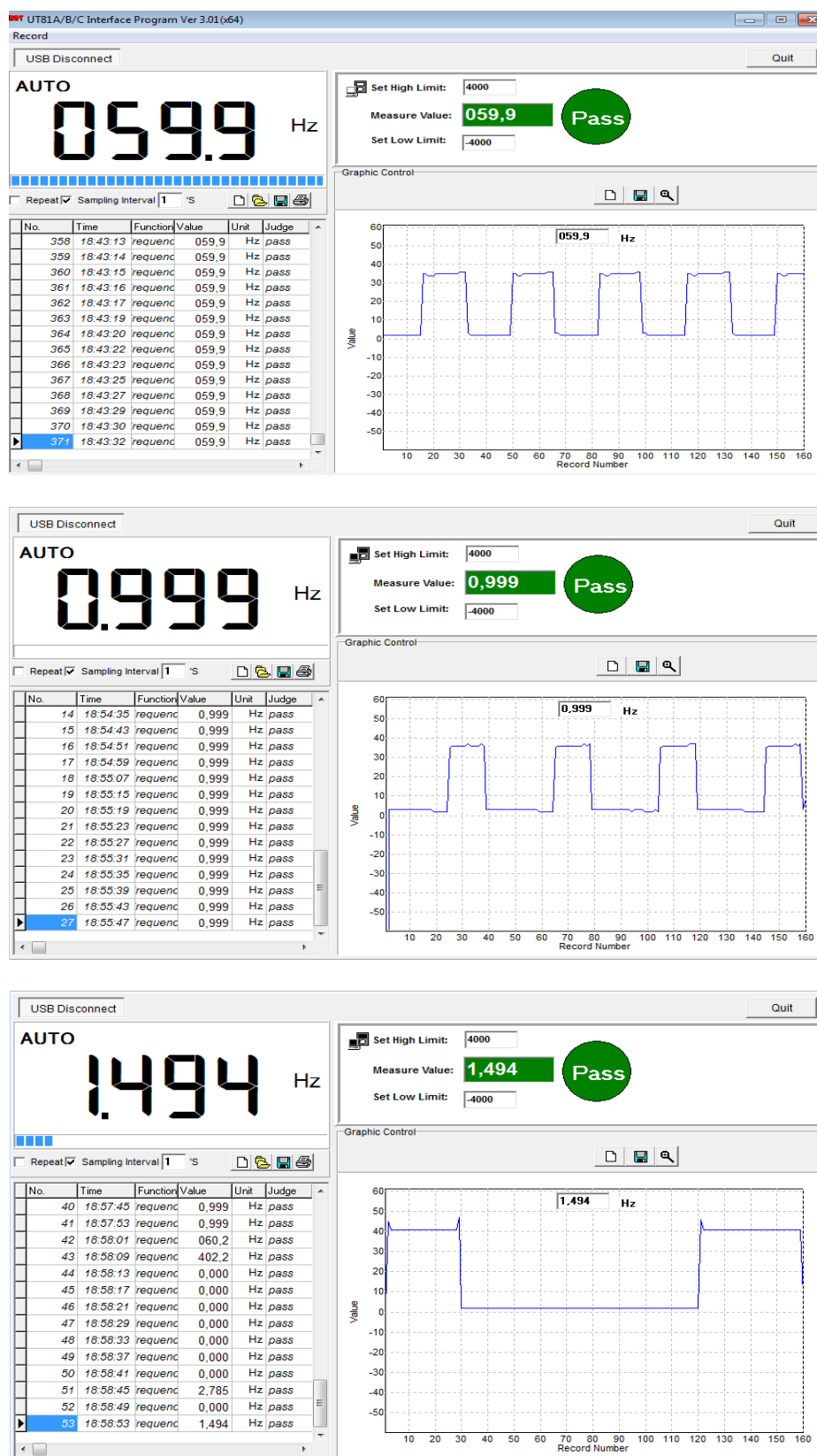
Fonte: própria.

4.1 TESTES DE FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO.

Nos testes finais, testou-se todas as portas lógicas, injetando níveis lógicos na entradas e obtendo-se o nível de saída de acordo com a tabela verdade de cada porta, em seguida foram montados alguns circuitos lógicos, aplicando níveis adequados nas entradas obtendo a saída de acordo com a tabela verdade do circuito.

Utilizando o osciloscópio observou-se o sinal de saída do circuito de clock. Na Figura 31 pode-se observar a medição das frequências dos sinais de clocks implementado no protótipo.

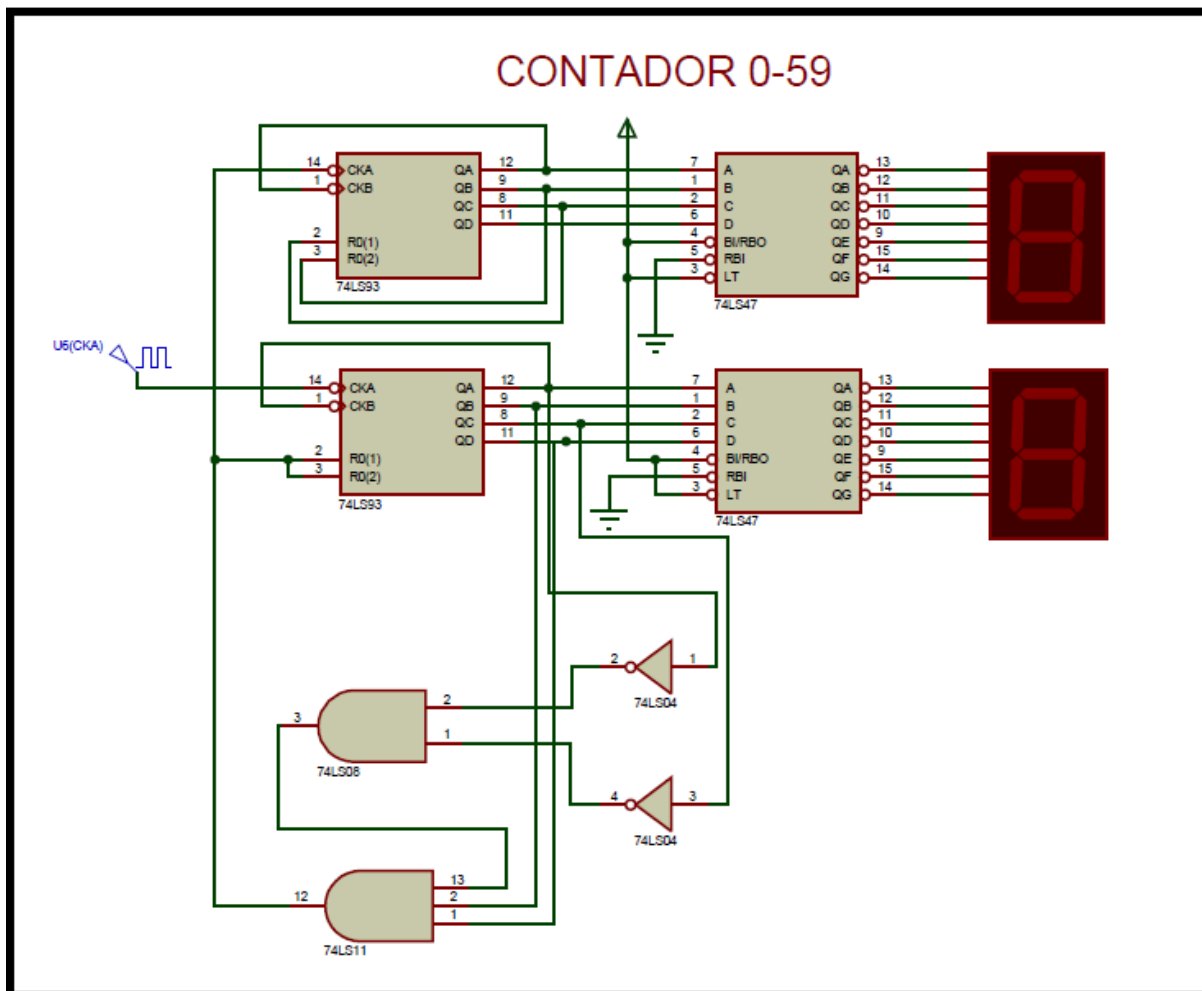
Figura 31 – Sinal de clock de 60 Hz, 1Hz e Manual.



Fonte: própria.

Foi montado um circuito contador de 0 - 59, que demonstrou funcionamento adequado do sistema. O diagrama do contador esta apresentado na Figura 32. Na entrada de clock foi aplicado o sinal de 60 Hz, de 1 Hz e o clock manual.

Figura 32 – Diagrama do circuito contador de 60 Hz.



Fonte: própria.

Utilizando as portas inversora do CI 74LS04, portas AND do CI 74LS08 e porta OR do CI 74LS32, foi implementado dois blocos lógicos que são importantes dentro de sistemas digitais: O bloco Coincidência (XNOR), com o circuito e a tabela verdade apresentado na Figura 33, e o Bloco lógico OU Exclusivo (XOR), com diagrama e tabela verdade na Figura 34.

Figura 33 – Diagrama da coincidência

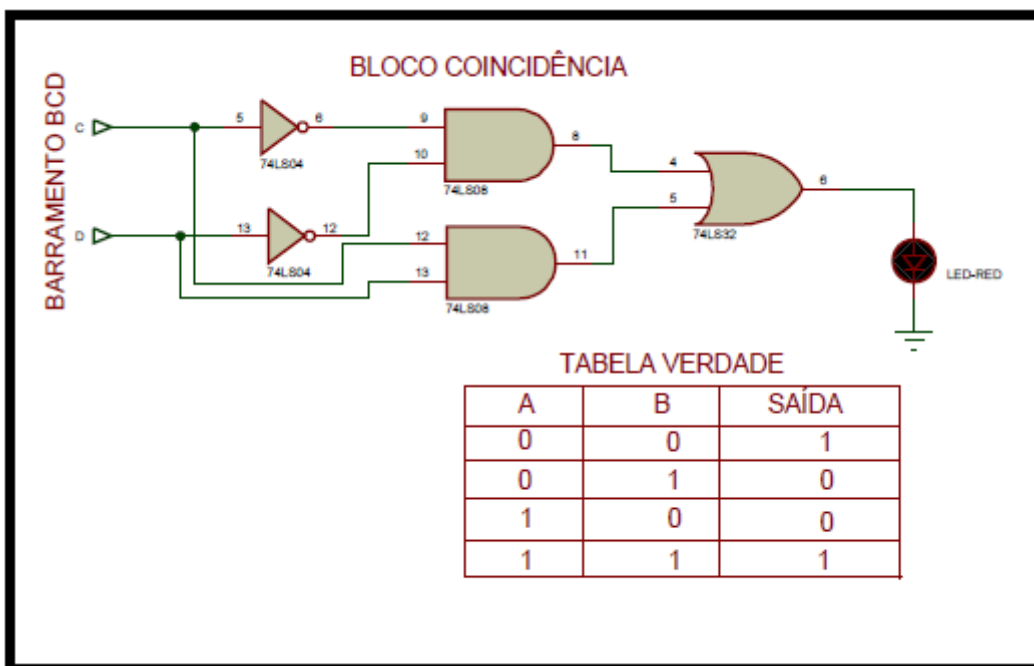
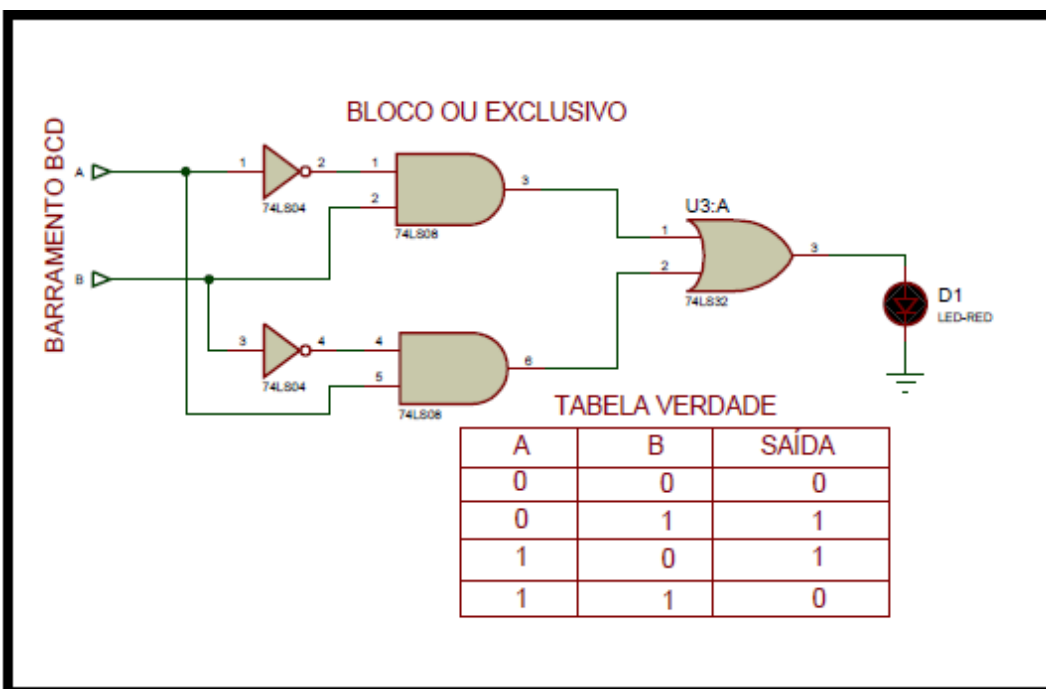


Figura 34 – Diagrama da Função OU Exclusivo



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, buscou-se o desenvolvimento de um kit didático para experimentos de eletrônica digital. o kit foi concebido com a intenção de se demonstrar, de forma prática, conceitos relacionados a ementa da disciplina de circuitos digitais. Conforme planilha apresentada no Anexo B, o projeto teve um custo final de R\$ 750,00, um valor considerado baixo, comparando o custo dos kits pesquisados, demonstrando que é possível a construção de plataformas educacionais de funcionamento similar as encontradas no mercado.

Nos testes finais, ao se realizar os circuitos implementados para testes do protótipo, ficou demonstrado que os módulos que compõe o kit são adequados para o desenvolvimento da maioria dos experimentos da disciplina de circuitos digitais.

5.1 Trabalhos futuros

Algumas melhorias que podem ser realizadas futuramente são:

- Acréscimo de mais blocos lógicos e utilizando-se de um gerador de clock controlado por cristal de quartzo, com uma gama maior de frequência.
- Expansão de entradas no barramento BCD e na saída de leds é outra melhoria possível, visto que neste protótipo foram limitadas apenas 4 bits de entradas e 4 bits de saídas, podendo dessa forma ser implementados circuitos mais complexos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEBLI, Hans. Prática de Ensino. 4ª ed. Petrópolis/RJ: Vozes, 1982. 287 p.

BECKER, F. Aprendizagem – concepções contraditórias. Revista Eletrônica de Psicologia e Epistemologia Genéticas, vol 1, jan/jun, 2008. Disponível em: <<http://www2.marilia.unesp.br/revistas/index.php/scheme/article/viewFile/552/445>>. Acesso em: 03 de abr. 2015.

DATAPOOL ELETRÔNICA LTDA. Disponível em: <<http://eletronica.datapool.com.br/categorias/eletroeletronica/eletronica-digital/modulo-410/>>. Acesso em 20 jun 2015.

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. Disponível em: <[http:// www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/7/4/L/S/74LS04.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/7/4/L/S/74LS04.shtml)> . Acesso em 22 jul 2015

GIL, Antônio Carlos. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 5ª Ed. São Paulo/SP: ATLAS, 2010. 184 p.

IDOETA, I. V; CAPUANO, F. G. Elementos de Eletrônica Digital. 7 ed. São Paulo: Érica, 1998, 524p.

KUTHE, James L. Processo de Aprendizagem. 3ª ed. São Paulo/SP: GLOBO, 1977. 191 p.

LIMA MAM, Marineli M. A epistemologia de Gaston Bachelard: uma ruptura com as filosofias do imobilismo. Revista Ciencias Humanas, Florianópolis, out 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/revistacfh/article/viewFile/2178-4582.2011v45n2p393/22358>> . Acesso em 23 de maio de 2015.

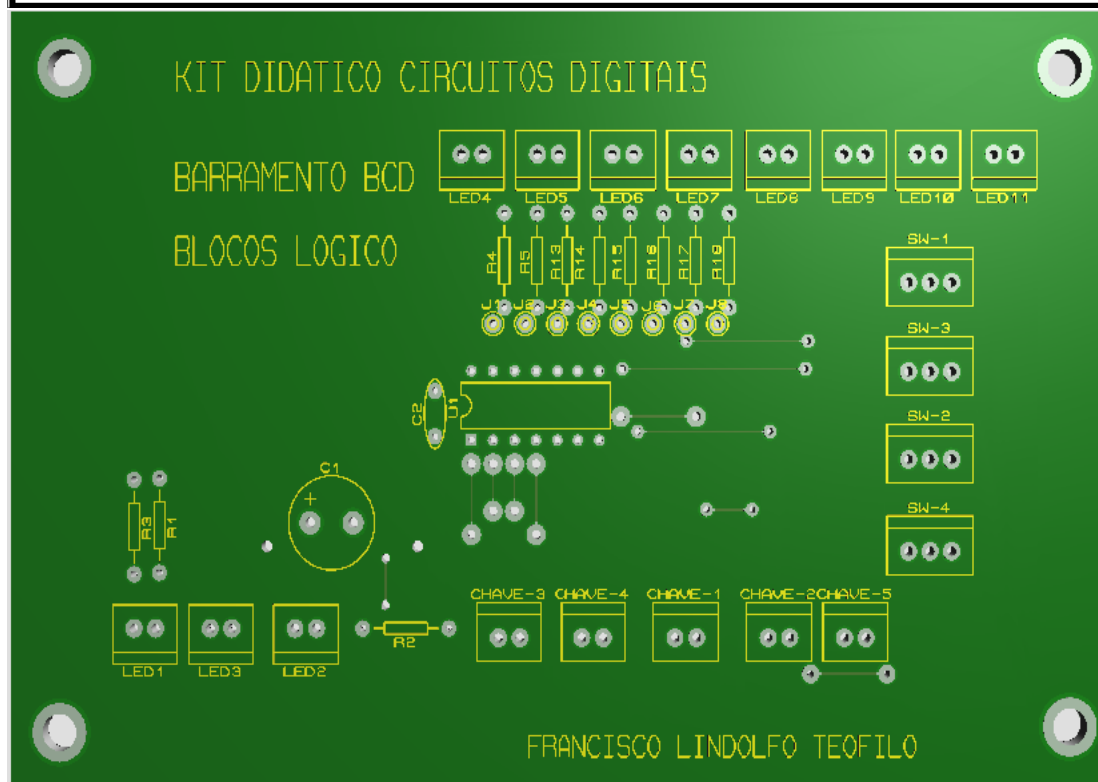
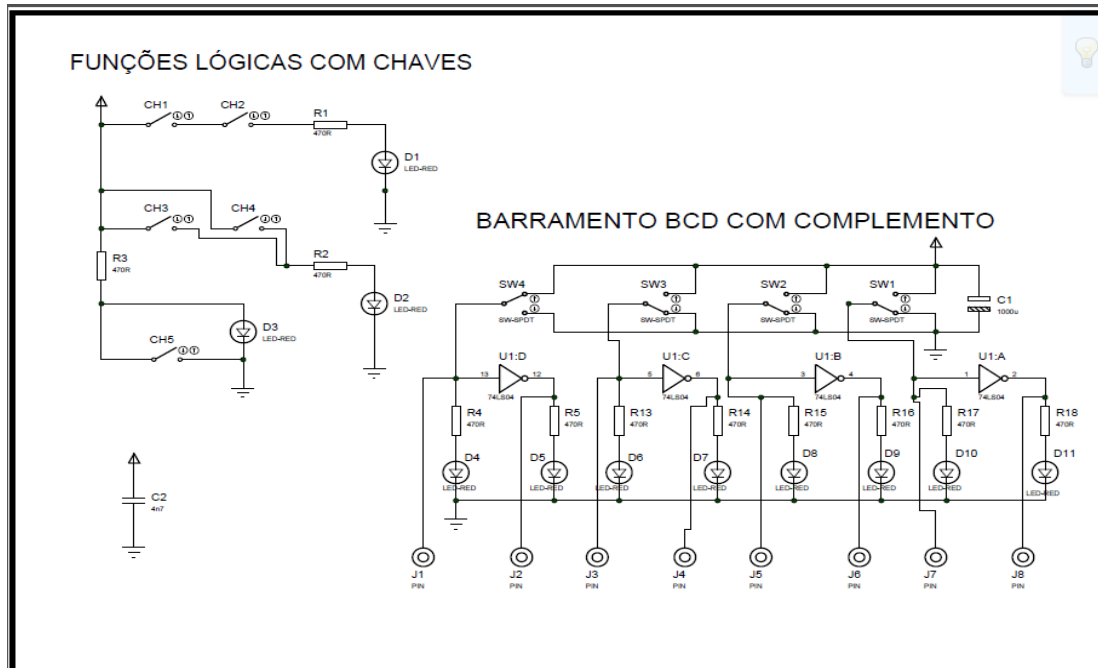
TOCCI, R. J.; WIDMER, N. S. Sistemas digitais: princípios e aplicações. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1998. 910 p.

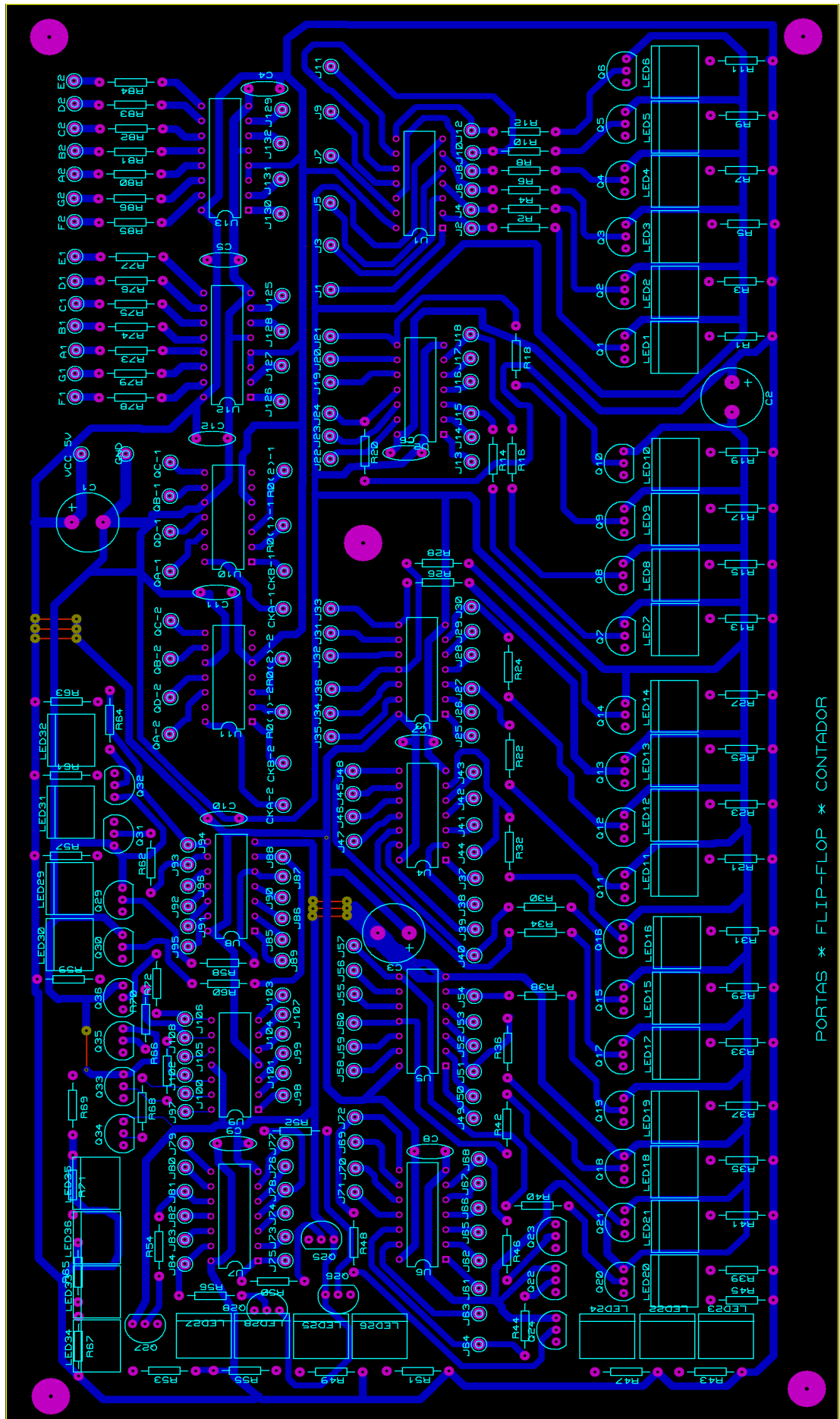
WORLD COMPONENTS NETWORK SERVICE LTD. Disponível em: <<http://myaudi.club/forum/thread/display-7-segmentos-anodo-comum-pinagem>>
.Acesso em 02 jul 2015.

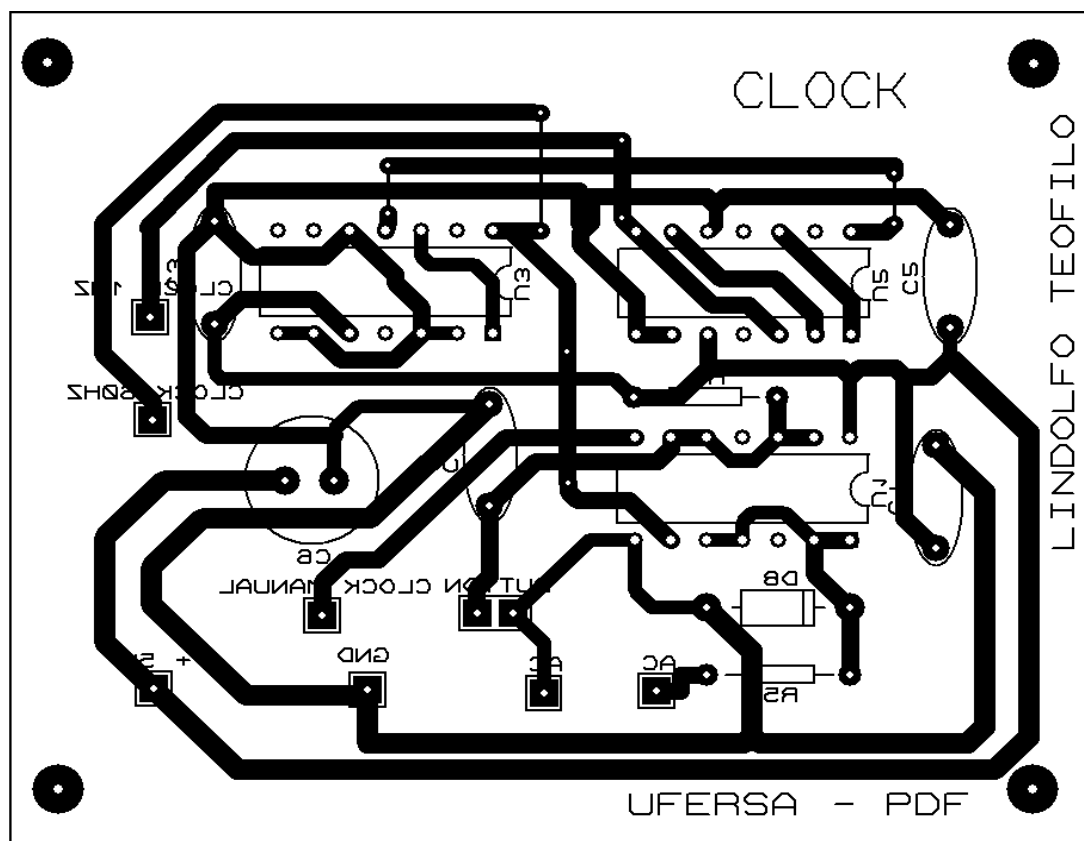
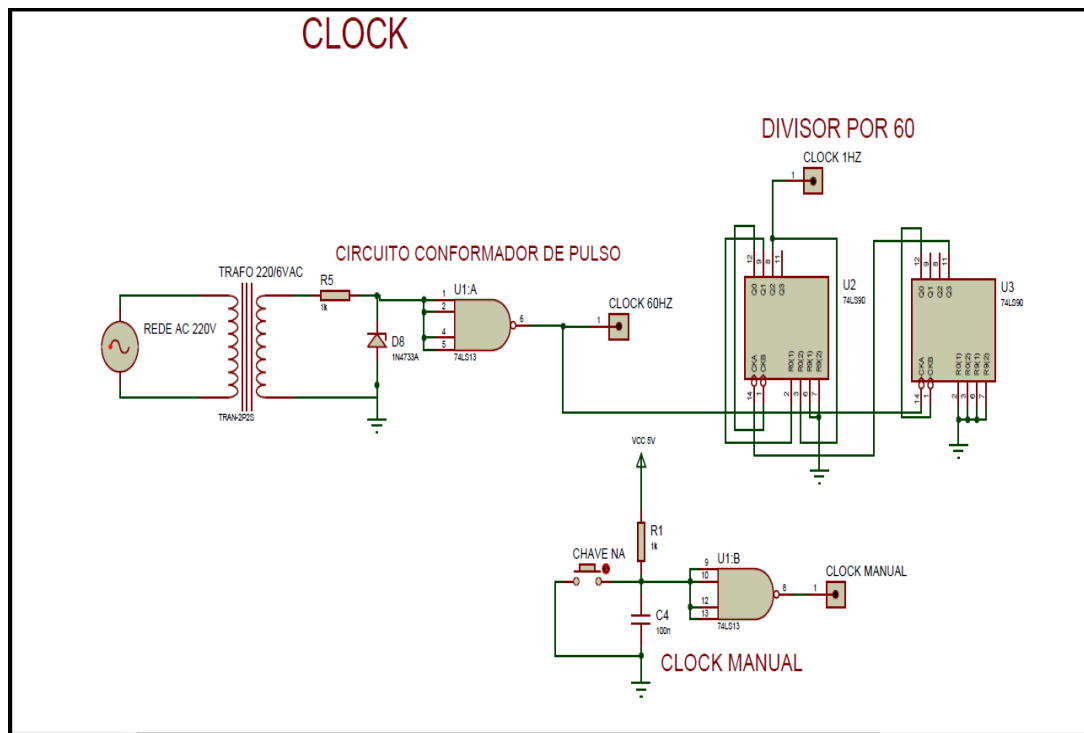
ZAPELINI, W. B. Um Ambiente de Experimentação Educativa em Eletrônica Digital. XXIX COBENGE: PUCRS - Porto Alegre/RS, 2001. 165f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Santa Catarina.

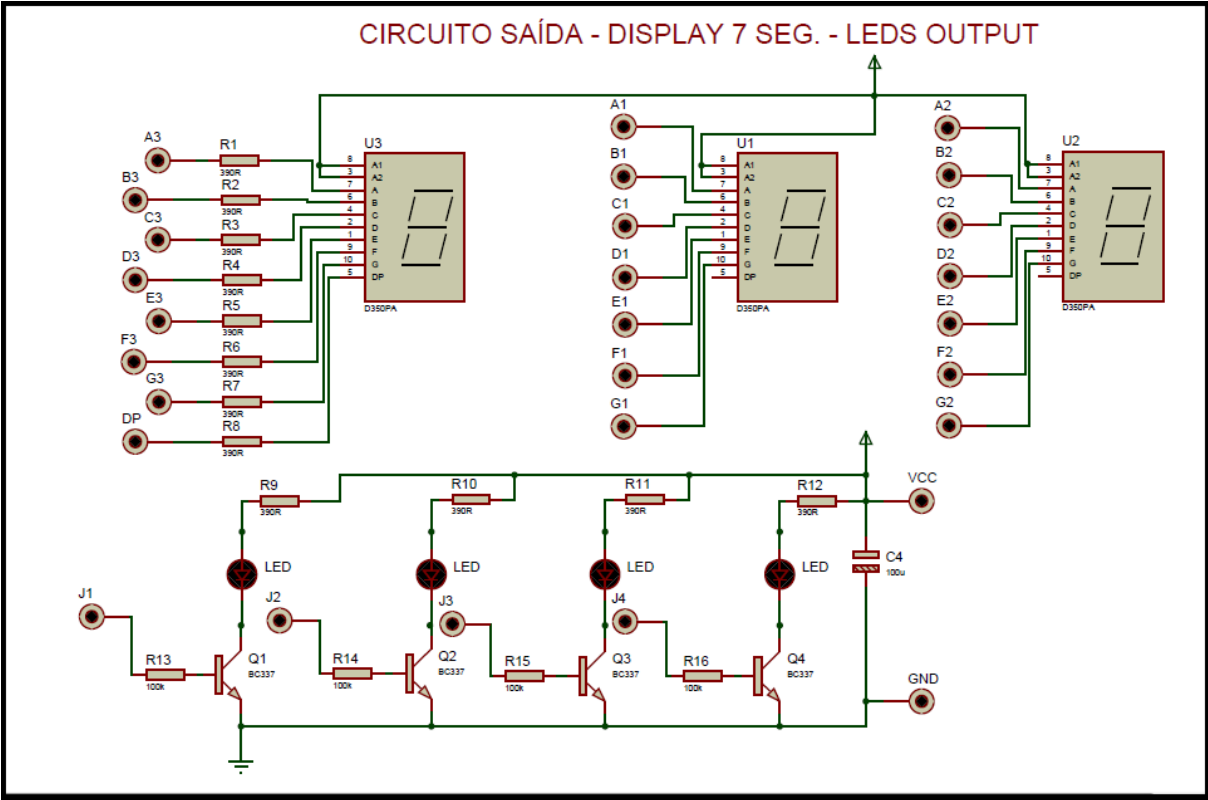
ZILOCCHI LTDA, disponível em: <<http://www.zilocchi.com.br/modulos-didaticos/>>.
Acesso em 20 jun 2015.

ANEXO A – Diagramas esquemáticos e Layout das PCI's









ANEXO B – Planilha de Custos

PLANILHA DE CUSTOS - KIT DE APOIO DIDÁTICO				
DESCRIÇÃO	NOME	PREÇO UNITÁRIO	QUANT.	PREÇO TOTAL
CI	CIRCUITO INTEGRADO	3,00	17	51,00
Q	TRANSISTOR	1,00	44	44,00
R	RESISTOR	0,15	113	16,95
C	CAPACITOR	0,30	9	2,70
TR	TRANSFORMADOR	12,00	1	12,00
FONTE	FONTE DC	20,00	1	20,00
U	DISPLAY 7 SEGMENTOS	7,50	3	22,50
CH	CHAVES L/D	2,00	11	22,00
BR	BORNES BANANA 2mm	2,80	150	420,00
D	LED	0,80	45	36,00
	CABO DE FORÇA	5,00	1	5,00
	FIOS	8,00	1	8,00
	PROTO-BOARD	35,00	1	35,00
				-
PCI	PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO	16,00	1	16,00
	GABINETE	39,00	1	39,00
				-
				-
				-
	VALOR TOTAL MATERIAL			750,15