



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA

**LESC-86: COMPUTADOR DIDÁTICO PARA AUXÍLIO NO  
DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE  
COMPUTADORES**

Mário Wilson Paiva Pereira

Fortaleza - Ceará

Dezembro/2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA

**LESC-86: COMPUTADOR DIDÁTICO PARA AUXÍLIO NO  
DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE COMPUTADORES**

Autor:

Mário Wilson Paiva Pereira

[mario@lesc.ufc.br](mailto:mario@lesc.ufc.br)

Orientador:

Helano de Sousa Castro

[helano@lesc.ufc.br](mailto:helano@lesc.ufc.br)

*Projeto Final de curso submetido à  
Coordenação do programa de  
Graduação em Engenharia de  
Teleinformática da Universidade  
Federal do Ceará como parte dos  
requisitos para obtenção do grau de  
**Engenheiro de Teleinformática.***

Fortaleza - Ceará

Dezembro/2009

Mário Wilson Paiva Pereira

**LESC-86: COMPUTADOR DIDÁTICO PARA AUXÍLIO NO  
DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE COMPUTADORES**

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheiro de Teleinformática e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Graduação em Engenharia de Teleinformática da Universidade Federal do Ceará.

---

Mário Wilson Paiva Pereira

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Helano de Sousa Castro  
Orientador

---

Prof. MsC. Jarbas Aryel Nunes da Silveira  
Universidade Federal do Ceará

---

Prof. MsC. Alexandre Moreira de Moraes  
Universidade Federal do Ceará

Fortaleza, 11 de Dezembro de 2009

## Resumo

*O ensino da Eletrônica Digital compreende, entre outras coisas, o desenvolvimento de habilidades de projetos de circuitos baseados em microprocessadores. Nesse sentido, iniciou-se um projeto com vistas a conceber um Computador baseado no processador 8086 da Intel, na forma de um kit didático que pudesse ser utilizado como um sistema de desenvolvimento para a disciplina de Sistemas Microprocessados do Curso de Engenharia de Teleinformática da Universidade Federal do Ceará (UFC). A principal motivação para isso deveu-se a carência de sistemas desse tipo no mercado. O LESC-86 permite que os alunos possam aprender a projetar seus próprios computadores, bem como exercitar a programação dos mesmos em linguagem de programação Assembly. A interface com o usuário é feita através de um display LCD e um teclado matricial, além de ser possível conectar o LESC-86 a um computador via interface RS-232. O primeiro passo na confecção do kit foi a criação do esquemático do projeto e uma lista de materiais a serem comprados. Com todo o kit funcionando partiu-se para a realização do software Monitor. Os protótipos iniciais, primeiramente em protoboard e depois em PCI, permitiram a detecção de vários os erros. É importante ressaltar que, embora o projeto visasse uma aplicação didática, este também corresponde a um grande projeto de Iniciação Científica, visto que, ao empregar metodologias investigativas, realizou uma inovação tecnológica, com resultados pioneiros em todo o Brasil. Tendo em vista a sua robustez e capacidade de memória, planeja-se portar o sistema operacional Linux especialmente para esse computador.*

**Palavras-Chave:** *Sistemas de Computação, Microprocessador 8086, Sistemas Microprocessados.*

## Abstract

*This paper describes the conception and implementation of a computer meant to be used as a laboratory tool for the discipline of Microprocessor Systems, in the undergraduation course of Teleinformatics Engineering of Federal University of Ceará. The computer, named LESC-86, is based on the Intel 8086 microprocessor and has the main interfaces found on other didactic computer systems. The reason for its choice is due to the fact the it has the main features found on the Intel X86 family, without the complexities of the more sophisticated X86 Pentium family. Besides the development of the computer platform, we also implemented a small Monitor program meant to be used by the student as a software interface unit. A technical manual, as well as a experiments manual were developed to be used by the laboratory instructor. The whole system was fully tested and is complete operational, being already in use in the course it was meant for. Besides its use as a laboratory tool the teaching purposes, LESC-86 can also be used as a development system, given its wide number of interfaces. As a next step we plan to port Linux operating system onto LESC-86. No other such a educational kit was found to be developed in Brazil or abroad.*

**Key words:** *Computer System, 8086 Microprocessor, Microprocessing systems, computer educational kit.*

## AGRADECIMENTOS

- *Primeiramente a Deus;*
- *À minha família, principalmente minha mãe;*
- *À minha namorada pelo apoio em todos os momentos;*
- *Ao professor Helano de Sousa Castro pelo convite feito a mim no ano de 2005 para fazer parte do LESC, pela confiança dispensada ao longo desses anos e pela orientação durante esse trabalho;*
- *Aos professores Jarbas Aryel, Alexandre Moraes, Carlos Pimentel e Paulo César Cortez;*
- *Aos meus amigos e colegas de trabalho Eng. Alexandre Coelho, Eng. Jardel Silveira, Eng. Jilseph Lopes, Eng. Marcelo Araújo, Eng. Vanilson Leite, os quais tenho como exemplo de dignidade e dedicação ao trabalho;*
- *A todos os outros colegas e amigos que fazem parte do LESC;*
- *A todos os meus colegas e amigos graduandos ao longo desses 6 anos de graduação, principalmente os que fazem parte da primeira turma do curso de Engenharia de Teleinformática.*

# SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
1.1. Motivação .....	3
1.2. Objetivos .....	4
1.2.1. Objetivos Gerais.....	4
1.2.2. Objetivos Específicos .....	4
1.3. Organização do texto .....	5
2. Computador .....	6
2.1. Processador.....	7
2.1.1. Arquitetura .....	7
2.1.2. Modelos de Computação .....	8
2.2. Memória.....	9
2.2.1. Memórias Voláteis.....	10
2.2.2. Memórias Não Voláteis .....	11
2.3. Entrada/Saída (I/O) .....	12
2.4. Programas .....	13
3. Processador 8086.....	15
3.1. EU – Execution Unit .....	15
3.2. BIU – Bus Interface Unit .....	15
3.3. Registradores .....	17
3.3.1. Registradores de Dados.....	17
3.3.2. Registradores de Endereço.....	17
3.3.3. Registradores de Segmento .....	18
3.3.4. Ponteiro de Instruções (IP).....	18
3.3.5. Registrador de Flags .....	18
3.4. Modo Mínimo/Máximo.....	19
3.5. Pinagem .....	19
3.6. Conjunto de Instruções .....	22
3.7. Modos de Endereçamento .....	22
3.8. Configuração do 8086 em modo mínimo .....	23
4. Sistemas Operacionais.....	24
4.1. Sistemas Operacionais Monousuário .....	26

<b>5. Ferramentas utilizadas .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1. Microsoft Macro Assembler .....</b>	<b>27</b>
<b>5.2. EMU8086.....</b>	<b>28</b>
<b>5.3. PCB Design .....</b>	<b>28</b>
<b>5.4. Linha LPKF de prototipagem de PCB e Stencil .....</b>	<b>29</b>
<b>6. Projeto.....</b>	<b>31</b>
<b>6.1. Desenvolvimento.....</b>	<b>31</b>
<b>6.2. Descrição .....</b>	<b>36</b>
<b>6.2.1. Hardware .....</b>	<b>36</b>
<b>6.2.2. Monitor LESC-86 .....</b>	<b>38</b>
<b>7. Resultados.....</b>	<b>43</b>
<b>8. Conclusão.....</b>	<b>45</b>
<b>9. Referências .....</b>	<b>46</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Os principais componentes de um PC .....	6
Figura 2 – Arquitetura Von Neumann .....	8
Figura 3 – Arquitetura Harvard .....	8
Figura 4 – O processador 8086 se divide em Unidade de Execução (EU) e Unidade de interface de Barramento (BIU) .....	15
Figura 5 – Flags de status e controle do processador 8086 .....	18
Figura 6 – Pinagem do processador 8086, pinos descritos entre parênteses são usados no modo de configuração mínimo. Nomes com fundo preto indicam ativação em nível lógico baixo .....	19
Figura 7 – Configuração do 8086 em modo mínimo e dispositivos utilizados .....	22
Figura 8 – Elementos que compõem um sistema operacional .....	24
Figura 9 – Prototipadora PROTOMAT M60 .....	28
Figura 10 – Prensa Multi Press III .....	29
Figura 11 – Diagrama de blocos do LESC-86 .....	30
Figura 12 – Primeiro protótipo do LESC-86, realizado em placa do tipo “Protoboard” .....	31
Figura 13 – Diagrama de blocos da metodologia empregada na validação do LESC-86 .....	32
Figura 14 – O projeto da placa-mãe do LESC-86 .....	33
Figura 15 – O Monitor LESC-86 foi desenvolvido em blocos funcionais e validado totalmente.....	34
Figura 16 – Uso do comando Dump no LESC-86 .....	39
Figura 17 – Uso do LESC-86 junto a um notebook .....	41

<b>Figura 18 – Resultado final do projeto LESC-86 .....</b>	<b>43</b>
---	-----------

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Os principais tipos de memória ROM.....	11
--	----

# 1. Introdução

O ensino na área de engenharia demanda o treinamento do aluno em atividades de laboratório que, por sua vez, necessita de equipamento adequado para que os objetivos didático-pedagógicos sejam alcançados. No caso do curso de Engenharia de Teleinformática, o ensino da eletrônica digital compreende, entre outras coisas, o desenvolvimento de habilidades de projetos de circuitos baseados em microprocessadores, na disciplina de Sistemas Microprocessados. Essas habilidades incluem práticas de laboratório que permitam os alunos elaborar experimentos em sistemas de desenvolvimento adequados.

Esses sistemas são constituídos por computadores, geralmente em forma de kits didáticos, que possibilitam o rápido aprendizado e desenvolvimento de aplicações básicas de sistemas computacionais, como escrita em portas, manipulação de dados, controle de dispositivos externos, entre outros. Aliado a isso deve-se ter um hardware simples e fácil de ser compreendido, diferentemente dos principais sistemas computacionais da atualidade.

Segundo o dicionário Aurélio a palavra Computador é <sup>1</sup>:

*adj. e s.m. Que ou aquele que computa. / Cibern. Máquina composta de um número variável de unidades especializadas, comandadas por um mesmo programa gravado, que, sem intervenção humana direta, permite efetuar complexas operações aritméticas e lógicas com fins estatísticos, administrativos, contabilísticos etc. (Diz-se também computador eletrônico para processamento de dados.) &151; Um computador compreende uma parte material, dita hardware e constituída de circuitos eletrônicos integrados, e um software. O hardware compõe-se de um ou vários processadores, uma memória, unidades de entrada/saída e unidades de comunicação. O processador executa, instrução por instrução, o(s) programa(s) contido(s) na memória. As unidades de entrada/saída compreendem teclado, monitor, unidades de memória, meios de armazenamento secundário (discos, fitas magnéticas), impressoras etc. Elas permitem a introdução de dados e a saída dos resultados. As unidades de comunicação possibilitam a relação do computador com os terminais ou com outros computadores organizados em rede. Os softwares são escritos numa linguagem que o computador é capaz de traduzir numa série limitada de instruções elementares diretamente executáveis pelos circuitos eletrônicos. O encadeamento das instruções é suscetível de ser alterado pelos próprios resultados das operações efetuadas ou pela chegada de novas informações vindas do exterior. A função de um computador limita-se a ordenar, classificar, calcular, escolher, procurar, editar ou representar informações antes codificadas segundo uma representação binária.*

O primeiro computador eletrônico foi o ABC (Atanasoft Berry Computer), construído em 1937 pelo doutor Vincent. V. Atanasoft e Clifford E. Berry. Pesava 320 Kg e ocupava o espaço de uma mesa. Sua principal função era resolver problemas de álgebra com maior exatidão <sup>2</sup>.

Em 1946 foi apresentada publicamente a ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), criada por John Presper Eckert e John William Mauchly. Tratava-se de um colosso de 167m<sup>2</sup> e pesava 27 toneladas, cujo funcionamento podia elevar a temperatura ambiente a 50°C. Diferentemente de seus contemporâneos, a ENIAC prescindia completamente de processos analógicos <sup>2</sup>.

Durante as décadas de 50 e 60 gerou-se outro grande avanço: os computadores deixaram de funcionar á base de tubos a vácuo e começaram a utilizar circuitos com transistores. Inventados em 1947 por William Shockley, John Bardeen e Walter Brattain, os transistores podem funcionar como pequenos interruptores de transmissão elétrica. O desenvolvimento de circuitos integrados permitiu, em 1971, o aparecimento do primeiro microprocessador, o 4004 da Intel, que continha 2000 transistores <sup>2</sup>.

Em 1981 apareceu o processador 8088 da Intel. O mesmo era de 16 bits, trabalhava com um máximo de 10MHz e dispunha de 29.000 transistores. Um ano depois, o processador Intel 80286, que contava com 39.000 transistores, foi lançado no mercado. A Intel desenvolveu em 1985 um processador que dispunha de 287.000 transistores, ou seja, cem vezes mais que o processador 4004 de quinze anos atrás: era o Intel 80386, que com seus 32 bits foi o primeiro que permitiu a execução de tarefas múltiplas <sup>2</sup>.

O processador Intel Pentium foi lançado em 1991. Ocupava uma superfície de 0.8 micron e continha 3 milhões de transistores. Oito anos depois a quantidade de transistores passou a ser três vezes maior (9.5 milhões) com o processador Intel Pentium III <sup>2</sup>.

No começo do novo milênio, a Intel encontrava-se desenvolvendo processadores de 90nm que ofereciam um maior desempenho e um menor consumo de energia. Foram os primeiros processadores fabricados em Silício <sup>2</sup>.

Em 2005 surgiu o primeiro processador multicore do mercado: o Intel Pentium D. Foi o começo da tecnologia dual-core em microprocessadores, que um ano depois levou ao desenvolvimento do processador Intel® Core™2 Duo. Seu processo de

fabricação de 65nm permitiu que se chegasse a dispor de até 290 milhões de transistores <sup>2</sup>.

Os avanços na tecnologia multicore continuaram seu curso e os processadores de quatro núcleos Intel Core 2 Quad surgiram em 2007. Desta forma, a liderança da Intel novamente traduziu-se em um maior desempenho para o usuário, que agora pode aproveitar ao máximo a experiência multimídia <sup>2</sup>.

Finalmente, chegou a era dos 45nm em 2008, conhecidos sob o código de Nehalem. Um dos menores processadores do mundo, que usam o Háfênio como componente, foram implementados no desenvolvimento do Intel Core 2 Duo, Intel Core 2 Quad, Intel Xeon e também na linha mais recente de processadores, Intel Atom, que representa a maior inovação dentro da eletrônica nos últimos 40 anos <sup>2</sup>.

As inovações na arquitetura da informática permitiram que um poder muito maior que o daquele enorme colosso ENIAC aparecesse em um microchip menor que a ponta de um dedo. Assim, os processadores Intel de 45nm são a nova era dentro do avanço tecnológico no qual a Intel continua fazendo história <sup>2</sup>.

## **1.1. Motivação**

Procurou-se, inicialmente, encontrar sistemas de desenvolvimento comerciais baseados no processador 8086, da INTEL, por se tratar de um processador de 16 bits, e principalmente por seu modelo básico de programação permanecer o mesmo nos dispositivos atuais.

No entanto, surpreendentemente, não se encontrou no mercado nacional, nem no mercado internacional, um sistema desse tipo (apenas alguns utilizando processadores de 8 bits). Devido a essa carência no mercado, o LESC (Laboratório de Engenharia de Sistemas de Computação), do Departamento de Engenharia de Teleinformática (DETI) da Universidade Federal Ceará (UFC) que possui um dos maiores laboratórios de prototipagem de placas eletrônicas da América do Sul, além de poderosas ferramentas para o projeto de circuitos eletrônicos, bem como para o projeto das placas eletrônicas para os mesmos, vislumbrou a oportunidade de conceber um computador baseado no processador 8086 da INTEL, na forma de um kit didático que pudesse ser utilizado como um sistema de desenvolvimento para a disciplina.

## **1.2. Objetivos**

Conforme visto na sessão anterior, existe uma grande carência por um sistema de desenvolvimento didático, no mercado comercial, que dê suporte ao treinamento prático dos alunos na área de projeto de computadores. Esse fato motivou o professor responsável pela disciplina, a propor um trabalho de monitoria que incluísse em seu programa a concepção de um sistema desse tipo. Nesse sentido, podemos dizer que os objetivos do trabalho podem ser relacionados como, objetivos gerais e objetivos específicos.

### **1.2.1. Objetivos Gerais**

Prover os alunos de uma ferramenta para a melhoria do aprendizado da disciplina de Sistemas Microprocessados, do curso de Engenharia de Teleinformática. Essa ferramenta deverá ser acompanhada de uma metodologia para o ensino da disciplina, em termos de prática de laboratório, que possibilite a simulação e desenvolvimento de programas em linguagem de programação Assembly, além de facilitar o aprendizado através de práticas de laboratório compatíveis com a realidade do engenheiro de projeto de computadores.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Projetar, construir e testar um computador didático, baseado no processador 8086, da família x86 da INTEL. O computador deve possuir todos os recursos necessários para contemplar os objetivos gerais, além de ser equipado com recursos que possibilitem seu uso em projetos de final de curso dos alunos. Além disso, o computador projetado deve permitir que placas de expansão possam ser acopladas à placa-mãe concebida, de modo a permitir seu uso em outras disciplinas do curso. Tendo esses objetivos em vista, foi levantado um conjunto de requisitos que permitissem se produzir as especificações do computador. Desta forma, o computador construído e testado possui a seguinte especificação:

- Processador 8086 INTEL;
- Memória RAM 256kB (Dois bancos de memória 128kB cada);
- Memória EPROM UV 256kB (Dois bancos de memória 128kB cada);
- Interface Serial (8251);

- Interface Paralela (8255);
- Contador/Temporizador programável (8254);
- Controlador de Interrupções (8259);
- Fonte de Alimentação 5V Externa;
- Circuito Gerador de Clock e Reset (8284);
- NMI ativada por push-button;
- Sistema de I/O isolado;
- Display LCD 16x2;
- Software Monitor.

### **1.3. Organização do texto**

No capítulo 2 (dois) é feita uma introdução ao computador caracterizando-o através dos seus componentes principais. No capítulo 3 (três) é mostrado toda a estrutura que compõe o processador 8086 da Intel. O capítulo 4 (quatro) traz um breve resumo sobre sistemas operacionais com destaque para os sistemas operacionais monousuário. O capítulo 5 (cinco) faz uma explanação de todas as ferramentas utilizadas no desenvolvimento do projeto LESC-86. O capítulo 6 (seis) resume todas as etapas de desenvolvimento e a descrição do projeto. Já o capítulo 7 (sete) apresenta os resultados obtidos com o projeto LESC-86 e por fim o capítulo 8 (oito) diz respeito as conclusões.



## 2. Computador

Denomina-se computador uma máquina capaz de variados tipos de tratamento automático de informações ou processamento de dados. Exemplos de computadores incluem o ábaco, a calculadora, o computador analógico e o computador digital. Um computador pode prover-se de inúmeros atributos, dentre eles armazenamento de dados, processamento de dados, cálculo em grande escala, desenho industrial, tratamento de imagens gráficas, realidade virtual, entretenimento e cultura <sup>3</sup>.

Assumiu-se que os computadores pessoais e laptops são ícones da era da Informação, e isto é, o que muitas pessoas consideram como "computador". Entretanto, atualmente as formas mais comuns de computador em uso são os sistemas embarcados, pequenos dispositivos usados para controlar outros dispositivos, como robôs, câmeras digitais ou brinquedos <sup>3</sup>.

Um computador é composto de cinco partes principais: o processador (às vezes denominado unidade central de processamento ou CPU), a memória (da qual existe vários tipos), os circuitos de Entrada/Saída (mais comumente denominado I/O – Input/Output), a área de armazenamento em disco e os programas. Também existem outros componentes que formam parte do gabinete e servem de apoio a esses componentes básicos, como fonte de alimentação, a placa-mãe, o barramento (que realmente faz parte do conjunto de circuitos de I/O) e as placas periféricas. A Figura 1 mostra esses componentes básicos e como eles estão agrupados.

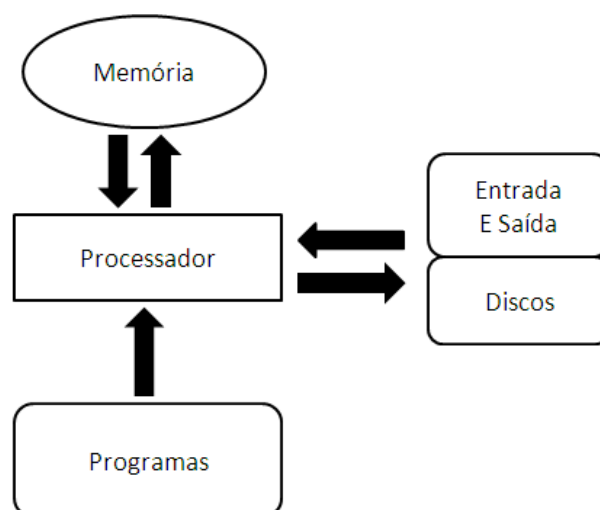


Figura 1 – Os principais componentes de um PC.

## **2.1. Processador**

O processador realiza as funções de cálculo e tomada de decisão de um computador, por isso é considerado o cérebro do mesmo.

A maioria dos processadores trabalham apenas com linguagem de máquina (lógica booleana). Realizam as seguintes tarefas <sup>4</sup>:

- Busca e execução de instruções existentes na memória. Os programas e os dados que ficam gravados no disco, são transferidos para a memória. Uma vez estando na memória, o computador pode executar os programas e processar os dados.
- Controle de quase todos os circuitos integrados do computador;

O computador é composto de quatro partes principais:

- Unidade Lógica e Aritmética (ULA) – realiza todas as operações lógicas e de cálculo que serão usadas para executar uma tarefa;
- Unidade de Controle – responsável pelo controle das ações a serem realizadas pelo computador, comandando todos os outros componentes;
- Registradores – pequenas memórias velozes que armazenam comandos ou valores que são utilizados no controle e processamento de cada instrução. Os registradores mais importantes são: contador de programa (PC) e o registrador de instrução (IR);
- Memory Management Unit (MMU) – dispositivo de hardware que transforma endereços virtuais em endereços físicos e administra a memória principal do computador.

### **2.1.1. Arquitetura**

Existem duas principais arquiteturas usadas em processadores:

- Arquitetura Von Neumann – os computadores possuem quatro sessões principais, a unidade lógica e aritmética, a unidade de controle, que juntas compõe o processador, a memória e os dispositivos de entrada e saída. Essas partes são interconectadas por barramentos. A unidade lógica e aritmética, a unidade de controle, os registradores e a parte básica de

entrada e saída são conhecidos como a CPU. Na Figura 2 tem-se ilustrado a arquitetura Von Neumann;



Figura 2 – Arquitetura Von Neumann.

- Arquitetura Harvard – se distingue por possuir duas memórias diferentes e independentes em termos de barramento e ligação ao processador. Baseia-se na separação de barramentos de dados das memórias onde estão as instruções de programa e das memórias de dados, como ilustrado na Figura 3, permitindo que um processador possa acessar as duas simultaneamente, geralmente, obtendo um desempenho melhor do que a da Arquitetura de Von Neumann, pois pode buscar uma nova instrução enquanto executa outra.

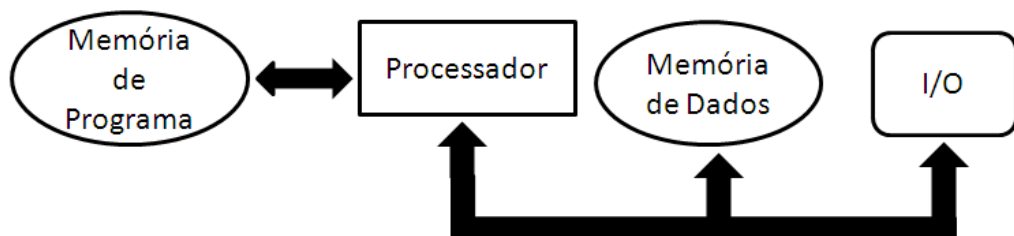


Figura 3 – Arquitetura Harvard.

### 2.1.2. Modelos de Computação

Existem dois modelos de computação usados em processadores <sup>4</sup>:

- CISC (em inglês: Complex Instruction Setting Computing, Computador com um Conjunto Complexo de Instruções) – comumente usada em processadores fabricados pela Intel e AMD. Possui um grande conjunto de instruções (tipicamente centenas) que são armazenadas em uma pequena memória não-volátil interna ao processador. Cada posição desta memória

contém as microinstruções, ou seja, os passos a serem realizados para a execução de cada instrução. Quanto mais complexa a instrução, mais microinstruções ela possuirá e mais tempo levará para ser executada. Ao conjunto de todas as microinstruções contidas no processador denominamos microcódigo. Esta técnica de computação baseada em microcódigo é denominada microprogramação.

- RISC (em inglês: Reduced Instruction Set Computing, Computador com um Conjunto Reduzido de Instruções) – comumente usada em processadores PowerPC (da Apple, Motorola e IBM) e SPARC (SUN). Possui um conjunto pequeno de instruções (tipicamente algumas dezenas) implementadas diretamente em hardware. Nesta técnica não é necessário realizar a leitura em uma memória e, por isso, a execução das instruções é muito rápida (normalmente um ciclo de clock por instrução). Por outro lado, as instruções são muito simples e para a realização de certas tarefas são necessárias mais instruções que no modelo CISC.

## 2.2. Memória

São todos os dispositivos que permitem a um computador guardar dados, temporariamente ou permanentemente.

Podemos distinguir os vários tipos de memórias <sup>5</sup>:

- Memória principal – também chamadas de memória real, são memórias que o processador pode endereçar diretamente, sem as quais o computador não pode funcionar. Estas fornecem geralmente uma *ponte* para as secundárias, mas a sua função principal é a de conter a informação necessária para o processador num determinado momento; esta informação pode ser, por exemplo, os programas em execução. Nesta categoria insere-se a memória RAM (*volátil*), memória ROM (*não volátil*), registradores e memórias cache;
- Memória secundária – memórias que não podem ser endereçadas diretamente, a informação precisa ser carregada em memória principal antes de poder ser tratada pelo processador. Não são estritamente necessárias para a operação do computador. São geralmente *não-voláteis*, permitindo guardar os dados permanentemente. Incluem-se, nesta categoria, os discos rígidos, CDs, DVDs e disquetes;

- Memória terciária – semelhante a memória secundária, mas necessita de operações de montagem (inserção de uma mídia em um dispositivo de leitura/gravação) para acessar os dados, como nos discos ópticos e fitas magnéticas, entre outros.

### 2.2.1. Memórias Voláteis

Memórias voláteis são as que requerem energia para manter a informação armazenada. Estas memórias são mais conhecidas como memórias RAM. Este atributo vem do nome inglês random access memory (memória de acesso aleatório), que significa que os dados nela armazenados podem ser acessados a partir de qualquer endereço. É um tipo de memória essencial para o computador, sendo usada para guardar dados e instruções de um programa. Além de serem voláteis e possuírem acesso aleatório aos dados, as mesmas dão suporte a leitura e gravação de dados, sendo o processo de gravação um processo destrutivo e a leitura um processo não destrutivo <sup>6</sup>.

São fabricadas com base em duas tecnologias: dinâmica e estática <sup>5</sup>.

- Dinâmica – memória baseada na tecnologia de capacitores e requer a atualização periódica do conteúdo de cada célula do chip consumindo assim periodicamente pequenas quantidades de energia, no entanto possui um acesso lento aos dados. Uma importante vantagem é a grande capacidade de armazenamento oferecida por este tipo de tecnologia;
- Estática – memória baseada na tecnologia de transistores e não requer atualização dos dados. Consome mais energia (o que gera mais calor) comparando-se com a memória dinâmica sendo significativamente mais rápida. É freqüentemente usada em computadores rápidos. Possui uma capacidade de armazenamento bem maior que a memória dinâmica.

Outro tipo de memória volátil é a memória Cache, que faz a interface entre o computador e a memória do sistema. A arquitetura da memória *cache* é muito diferente da arquitetura da memória principal e o acesso a ela é muitas vezes mais rápido (p.ex: 5 ns contra 70 ns). No entanto, o custo de fabricação da memória *cache* é muito maior que o da memória principal. Desta forma, não é econômico construir um computador somente com tecnologia de memória *cache*.

### 2.2.2. Memórias Não Voláteis

São aquelas que guardam todas as informações mesmo quando não estiverem a receber alimentação. Como exemplos, citam-se as memórias conhecidas por ROM, cachê, FLASH, bem como os dispositivos de armazenamento em massa, disco rígido, CDs e disquetes <sup>7</sup>.

- Memória ROM – tipo de memória que contém dados imutáveis, nela estão localizadas as rotinas que inicializam o computador quando este é ligado. É uma memória de acesso aleatório. Dentre as memórias ROM destacam-se os tipos da Tabela 1;

Sigla	Nome	Tecnologia
ROM	Read Only Memory (Memória somente de leitura)	Gravada na fábrica uma única vez
PROM	Programable Read Only Memory	Gravada pelo usuário uma única vez
EPROM	Erasable Programable Read Only	Pode ser gravada ou regravada por meio de um equipamento que fornece as voltagens adequadas em cada pino. Para apagar os dados nela contidos, basta iluminar o chip com raios ultravioleta. Isto pode ser feito através de uma pequena janela de cristal presente no circuito integrado.
EEPROM	Electrically Erasable Programable Read Only Memory (memória programável e apagável eletronicamente somente leitura)	Pode ser gravada, apagada ou regravada utilizando um equipamento que fornece as voltagens adequadas em cada pino.

Tabela 1 – Os principais tipos de memória ROM.

- Memória Flash – permite armazenar dados por longos períodos, sem precisar de alimentação elétrica. Este simples fato acabou fazendo com que a memória Flash se tornasse uma das tecnologias mais importantes das últimas décadas, possibilitando o surgimento dos cartões de memória, pendrives, SSDs, celulares, câmeras e players de mídia com armazenamento interno e assim por diante.

Se a memória Flash não existisse, todas essas áreas estariam muito atrasadas em relação ao que temos hoje. Os celulares e os palmtops provavelmente ainda utilizariam memória SRAM para armazenar os dados e seriam por isso mais caros e perderiam os dados quando a bateria fosse removida. Os pendrives simplesmente não existiriam e os cartões de memória estariam estagnados nos cartões CompactFlash, utilizando microdrives ou pequenas quantidades de memória SRAM alimentada por uma pequena bateria. Formatos mais compactos, como os cartões SD e miniSD simplesmente não existiriam.

Nem todos os chips de memória Flash nascem iguais. Embora a função seja sempre a mesma (armazenar dados), existem diferenças nas tecnologias usadas, que determinam onde o chip será usado.

Existem dois tipos de memória Flash. A primeira tecnologia de memória Flash a se popularizar foi o tipo **NOR**, que chegou ao mercado em 1988. Os chips de memória Flash NOR possuem uma interface de endereços similar à da memória RAM, incluindo o suporte ao XiP (eXecute in Place), que permite que softwares armazenados no chip de memória Flash sejam executados diretamente, sem precisarem ser primeiro copiados para a memória RAM.

### **2.3. Entrada/Saída (I/O)**

Os dispositivos de entrada e saída (E/S) ou input/output (I/O) são também denominados periféricos. Eles permitem a interação do processador com o homem, possibilitando a entrada e/ou a saída de dados.

O que todos os dispositivos de entrada têm em comum é que eles codificam a informação que entra, em dados que possam ser processados pelo sistema digital do computador. Já os dispositivos de saída decodificam os dados em informação que pode ser entendida pelo usuário <sup>8</sup>.

Os dispositivos de entrada e saída podem ser, de modo genérico, divididos em duas categorias: dispositivos de bloco e dispositivos de caractere <sup>5</sup>.

Um dispositivo de blocos é aquele que armazena informação em blocos de tamanho fixo, cada um com seu próprio endereço. A propriedade essencial de um dispositivo de blocos é que cada bloco pode ser lido ou escrito independentemente de todos os outros. Discos e fitas são exemplos de dispositivos de entrada e saída de bloco.

Os dispositivos de entrada e saída de caractere, enviam ou recebem um fluxo de caracteres, sem considerar qualquer estrutura de blocos. Ele não é endereçável e não dispõe de qualquer operação de posicionamento. Impressoras, interfaces de rede, mouses e a maior parte de outros dispositivos que são diferentes do disco podem ser considerados dispositivos de caractere.

Os dispositivos de entrada e saída podem apresentar uma ampla variação de velocidades, as quais impõem uma considerável pressão sobre o software, que tem o dever de trabalhar bem em taxas de transferência de dados com diferentes ordens de magnitude <sup>5</sup>.

## **2.4. Programas**

Coleção de instruções que descrevem uma tarefa a ser realizada por um computador. O tempo pode ser uma referencia ao código fonte, escrito em alguma linguagem de programação, ou ao arquivo que contém a forma executável deste código fonte <sup>9</sup>.

Um programa de computador é a formalização de um algoritmo em qualquer linguagem capaz de ser transformada em instruções que serão executadas por um computador gerando os resultados esperados.

O termo software pode ser utilizado quando se quer designar um conjunto de programas ou, mais freqüentemente, quando é feita uma referência à parte não física do sistema computacional, em contraposição ao termo "hardware", que designa o conjunto de componentes eletrônicos que constituem um computador.

Os programas de computador utilizados diretamente por pessoas comuns, como os editores de texto, são chamados de software aplicativo, ou de aplicação. Os programas voltados para dar suporte funcional aos computadores, como os sistemas



operacionais, são chamados de software de sistema. Esses softwares, assim como aqueles embutidos em outros sistemas (firmware), podem ser genericamente chamados de "programas" <sup>5</sup>.

### 3. Processador 8086

O 8086 é um microprocessador de 16 bits projetado pela Intel e introduzido no mercado em 1978, que deu origem a arquitetura x86. É um dos mais antigos e conhecidos microprocessadores de 16 bits <sup>10</sup>. Sua popularidade se deve a ter sido escolhido como processador para a linha de computadores pessoais da IBM. Na verdade, o IBM-PC tradicional usa uma versão simplificada do 8086, o 8088. Novos membros da família IBM-PC (como o PC AT e o PS/2) usam extensões (versões melhoradas e parcialmente compatíveis) do 8086 <sup>9</sup>.

Fisicamente, o 8086 possui 20 linhas para endereçamento, resultando em 1MB de memória física endereçável. Interna e externamente, o 8086 tem barramentos de dados de 16 bits (o 8088 apresenta barramento externo de dados de apenas 8 bits). Para aumentar a velocidade de processamento, o 8086 opera sobre uma fila de instruções pré-carregadas (*fetch look ahead*) <sup>11</sup>. Todos os registradores de dados e/ou endereços são de 16 bits. O 8086 é um processador de arquitetura Von Newmann e modelo de computação CISC.

O processador 8086 divide-se internamente em duas unidades separadas que funcionam de forma independente: EU e BIU.

#### 3.1. EU – Execution Unit

É a parte responsável por todo o processamento das instruções. É composta por um barramento de dados de 16 bits, ULA, registradores de flags e registradores de uso geral. O acesso a memória e aos dispositivos de IO são requisitados a BIU (Bus Interface Unit) para obter ou armazenar dados <sup>25</sup>.

#### 3.2. BIU – Bus Interface Unit

É responsável pelo acesso a memória, até 1MB de endereços, e acesso aos dispositivos de IO, até 64k de endereços, além da busca antecipada de instruções.

É composta por cinco registradores de 16 bits, uma estrutura de armazenamento de dados do tipo fila (FIFO, first in first out) para o armazenamento de até 6 bytes de instruções e um sistema para gerar o endereçamento de 20 bits, a partir de registradores de 16 bits cada <sup>25</sup>.

Na Figura 4, tem-se o diagrama de blocos do 8086, onde são mostradas as Unidades de Execução (EU) e Unidade de Interface de Barramento (BIU).

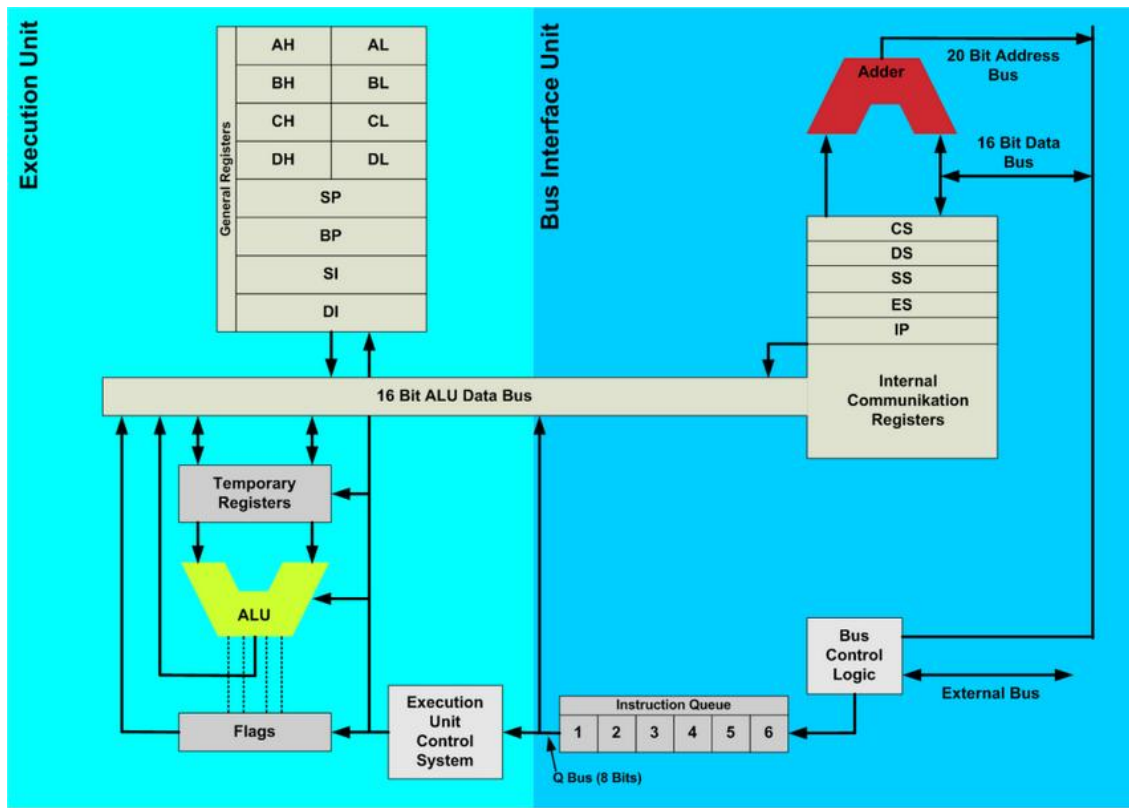


Figura 4 – O processador 8086 se divide em Unidade de Execução (EU) e Unidade de Interface de Barramento (BIU).

A operação independente e paralela da EU e da BIU permitem uma busca antecipada de instruções (pre-fetch) e, portanto, um aumento de desempenho, enquanto a EU executa uma instrução a BIU busca a próxima instrução e seus parâmetros e os armazena na fila (Instruction Queue).

A otimização do tempo de execução acelera programas sem muitos desvios e com pequenos laços (6 bytes).

Este artifício caracteriza um pipeline de execução composto de dois estágios, onde o ciclo de instrução é composto de ciclo de busca (BIU) e ciclo de execução (EU)

### **3.3. Registradores**

A arquitetura da família 8086 apresenta 8 registradores de uso geral (divididos em 4 registradores de dados e 4 registradores de endereços), 4 registradores de segmento, 1 ponteiro de instruções (IP) e 1 registrador de flags <sup>12</sup>.

#### **3.3.1. Registradores de Dados**

Os registradores de dados podem ser acessados como um registro de 16 bits, assim como dois registros de 8 bits, são eles:

- AX – accumulator register (dividido em AH/AL), usado em operações de multiplicação, divisão e IO;
- BX – base address register (dividido em BH/BL), pode ser usado como base de endereçamento para manipulação de tabelas;
- CX – count register (dividido em CH/CL), usado em instruções de loop, shift e rotate;
- DX – data register (dividido em DH/DL), pode ser usado como uma extensão do AX em operações de multiplicação e divisão e endereçamento indireto de IO.

#### **3.3.2. Registradores de Endereço**

- SI – source index register, aponta para a origem dos dados que serão movimentados, usado para indexação de tabelas no endereçamento indireto;
- DI – destination index, aponta para o destino dos dados que serão movimentados, usado também para indexação no endereçamento indireto;
- BP – base pointer, é usado para endereçamento de memória (registrador de base para a pilha). Pode conter o endereço inicial de uma tabela a ser manipulada pela CPU;
- SP – stack pointer, sempre aponta para o topo da pilha de dados, também é usado como endereços de offset relativo ao segmento de pilha.

### 3.3.3. Registradores de Segmento

Os registradores de segmento armazenam os 16 bits mais significativos do endereço de 20 bits (endereço real). Assim, o endereço base de um segmento é sempre múltiplo de 16 (ou seja, tem os quatro bits menos significativos implicitamente em zero) <sup>25</sup>.

Para acessar um byte ou palavra particular na memória, é necessário um offset, ou seja, uma distância em bytes do início do segmento. O endereço real de memória de 20 bits é o resultado da soma de um registrador de segmento (deslocado de 4 bits para a esquerda) e um offset de 16 bits (seção 4.1.2).

O registrador de segmento e a fonte do offset dependem do tipo de referência à memória desejado, dados, pilha ou código. A seguir tem-se a descrição dos registradores de segmento do processador 8086:

- CS – code segment, aponta para o segmento contendo o programa corrente;
- DS – data segment, aponta para o segmento onde as variáveis são definidas;
- ES – extra segment, é usado para acessar outro segmento que conterà dados. Normalmente, é usado para manipulação de tabelas e strings;
- SS – stack segment, aponta para o segmento contendo a pilha de dados.

A referência a uma posição de memória é dada por: reg\_segmento:reg\_offset.

- Por exemplo: CS:IP, SS:SP, DS:SI, ES:DI.

### 3.3.4. Ponteiro de Instruções (IP)

Sempre trabalha junto com o registro de segmento CS e aponta para a próxima instrução a ser executada.

### 3.3.5. Registrador de Flags

Determina o estado corrente do processador, é modificado automaticamente pelo mesmo depois de operações matemáticas, isto permite determinar o tipo de resultado e determinar condições para transferência de controle para outras partes do

programa. As flags são divididas em status e controle. Na Figura 5 tem-se a disposição das mesmas no registrador.

Tabela: Flags de Status do 8088/8086			
CF	Bit 0	vai-um	(carry)
PF	Bit 2	paridade	(parity)
AF	Bit 4	vai-um auxiliar	(auxiliary carry)
ZF	Bit 6	zero	
SF	Bit 7	sinal	(signal)
OF	Bit 11	overflow	
Tabela: Flags de Controle do 8088/8086			
TF	Bit 8	trap	
IF	Bit 9	interrupt enable	
DF	Bit 10	direção	(direction)

Figura 5 – Flags de status e controle do processador 8086.

### 3.4. Modo Mínimo/Máximo

O 8086 possui dois subconjuntos de sinais para controle das suas operações em memória e IO, estes subconjuntos são mutuamente exclusivos e são ativados através do pino MN/MX do processador, como será visto na sessão a seguir. O modo mínimo contém sinais de controle básicos usados quando o 8086 é o único processador nos barramentos do sistema, já o modo máximo fornece sinais de controle mais sofisticados que são usados quando há outros processadores, além do 8086, nos barramentos do sistema.

### 3.5. Pinagem

O processador 8086 é fabricado em um encapsulamento DIP (Dual Package in Line) de 40 pinos e sua pinagem corresponde a Figura 6 <sup>13</sup>.

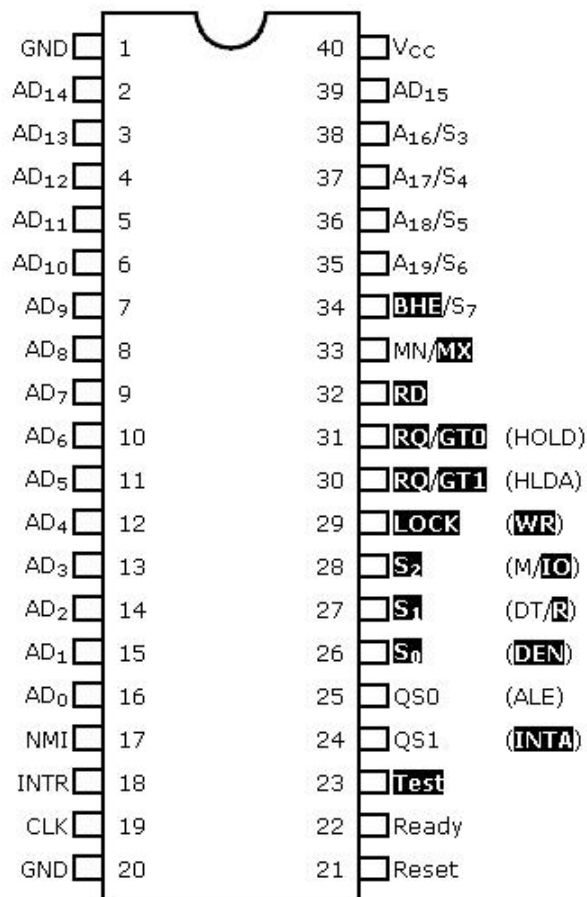


Figura 6 – Pinagem do processador 8086, pinos descritos entre parênteses são usados no modo de configuração mínimo. Nomes com fundo preto indicam ativação em nível lógico baixo.

A seguir tem-se a descrição das funções de cada pino:

- AD<sub>15</sub>-AD<sub>0</sub> – barramento de dados e endereços, se o pino ALE = 1, o barramento contém um endereço, se ALE = 0, o barramento contém um dado;
- A<sub>19</sub>/S<sub>6</sub>, A<sub>18</sub>/S<sub>5</sub>, A<sub>17</sub>/S<sub>4</sub>, A<sub>16</sub>/S<sub>3</sub> – endereçamento e status, são pinos multiplexados que contém os bits do barramento de endereços A<sub>19</sub>-A<sub>16</sub> durante ALE = 1, e no restante do ciclo de barramento do 8086, contém os bits de status quando o processador está em modo máximo;
- BHE/S<sub>7</sub> – habilita banco alto de dados em modo mínimo, em modo máximo funciona como status;
- MN/MX – modo de mínimo se 1, máximo se 0;

- RD – controle leitura;
- READY – controle do estado de espera (wait control);
- TEST – pino de teste;
- INTR – requisição de interrupção;
- NMI – interrupção não mascarada;
- RESET – reset do sistema;
- CLK – clock do sistema, pode ser 5MHz ou 8 MHz;
- VCC – 5 Volts, pino de alimentação do processador;
- GND – referência (terra) do processador;

Sinais exclusivos do modo mínimo (MN/MX = VCC):

- HOLD – requisito de espera, muito usado para requisitar DMA;
- HLDA – reconhecimento de espera;
- WR – controle de escrita;
- M/IO – controle de memória e IO;
- DT/R – controle de transmissão e recebimento de dados;
- DEN – habilita barramento de dados;
- ALE – habilita latch de endereços;
- INTA – reconhecimento de interrupção;

Sinais exclusivos do modo máximo (MN/MX = GND):

- RQ/GT1, RQ/GT0 – pedido e concessão do controle do barramento por co-processador externo;
- LOCK – coloca o barramento de controle em alta impedância;
- S2, S1, S0 – status do ciclo de barramento;



- QS1, QS0 – status da fila de dados do processador.

### **3.6. Conjunto de Instruções**

O conjunto de instruções do processador 8086 consiste das seguintes instruções <sup>14</sup>:

- Instruções de movimento de dados – mov;
- Aritméticas – adição, subtração, incremento, decremento, conversão de byte para word, comparação;
- Lógicas – AND, OR, XOR, shift, rotate, test;
- Manipulação de Strings – load, store, move, compare, scan for byte/word;
- Transferência de controle – condicional, incondicional, procedures e retorno de procedures;
- Entrada e Saída (IO) – in, out;
- Outras – setting/clearing flag bits, operações com pilha, interrupções de software.

### **3.7. Modos de Endereçamento**

O 8086 possui 12 modos de endereçamento que podem ser classificados em 5 grupos <sup>15</sup>:

- Modo registrado e imediato – contém pelo menos um registrador de dados como operando;
- Modo de endereçamento de memória – contém pelo menos um endereço de memória ou um registro de endereçamento;
- Modo de endereçamento de portas – contém instruções in ou out;
- Modo de endereçamento relativo – faz uso de transferência de controle para definir o endereço de destino do dado;
- Modo de endereçamento implícito – não contém operandos, os dados e endereços estão associados a instrução.

### 3.8. Configuração do 8086 em modo mínimo

Na Figura 7, tem-se a configuração do 8086 em modo mínimo, e os dispositivos básicos usados junto ao processador, são eles: gerador de clock, latches, transceivers, memórias RAM e ROM e periféricos MCS-80 <sup>11</sup>.

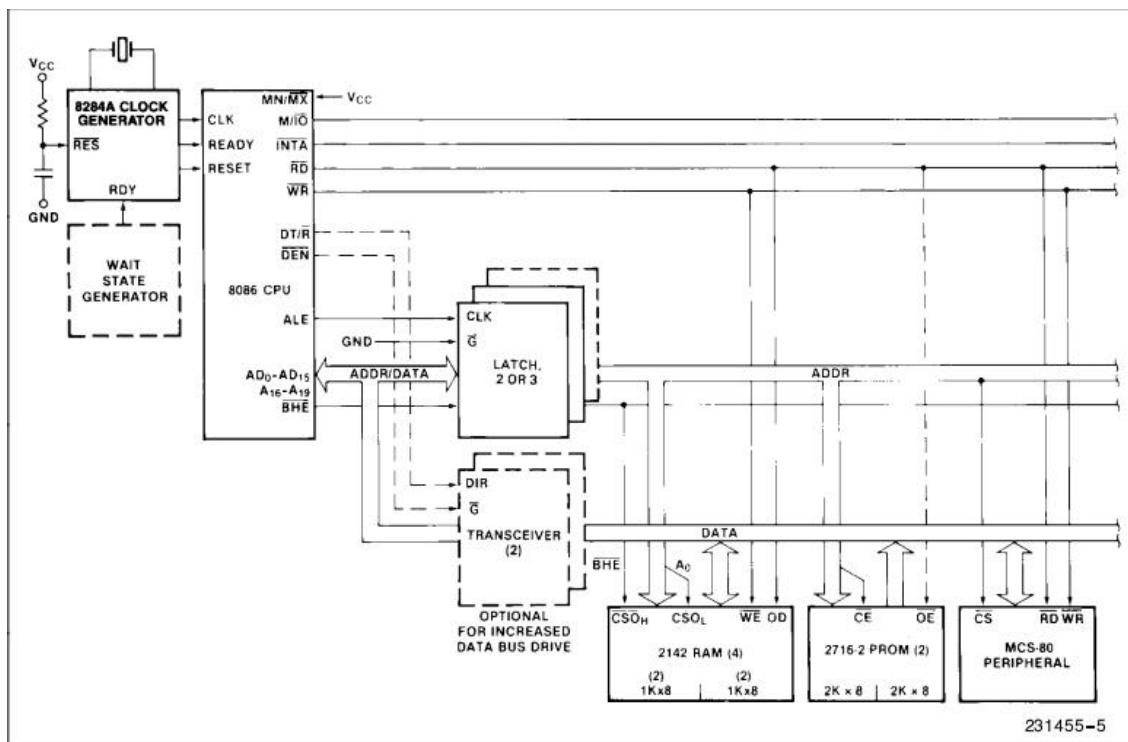


Figura 7 – Configuração do 8086 em modo mínimo e dispositivos utilizados.

A série MCS-80 é composta por vários dispositivos desenvolvidos para trabalhar com a família 8086 <sup>16</sup>.

## 4. Sistemas Operacionais

Para que o hardware ou parte física de um computador possa funcionar faz-se necessário um conjunto de regras e ordens que coordenem todos os processos realizados. Tal conjunto é denominado software ou parte não material do sistema. Graças ao software (integrado por uma enorme quantidade de programas que interagem entre si) todos os recursos podem ser utilizados em qualquer sistema informático <sup>17</sup>.

Todo o conjunto de programas que compõem o software pode ser dividido em dois grupos bem diferenciados:

- Software básico: conjunto de programas imprescindíveis para o funcionamento do sistema;
- Software aplicativo: conjunto de programas a serem utilizados pelo usuário.

Neste capítulo serão abordados conceitos do software básico, o qual também é denominado de Sistema Operacional.

Um sistema operacional (SO) é uma interface entre o hardware e o usuário, que é responsável pelo gerenciamento e coordenação de atividades, e da partilha dos recursos do computador para aplicações de computação. Um dos propósitos de um sistema operacional é lidar com os detalhes do funcionamento do hardware. Isto exige programas de aplicação de ter de gerir esses detalhes e torna mais fácil escrever aplicações.

Como ilustrado na Figura 8, os sistemas operacionais oferecem uma série de serviços aos programas aplicativos e usuários. Aplicações de acesso a estes serviços são feitas através de interfaces de programação de aplicações (APIs) ou chamadas do sistema. Ao invocar essas interfaces, o aplicativo pode solicitar um serviço a partir do sistema operacional, passar parâmetros, e receber os resultados da operação. Os usuários também podem interagir com o sistema operacional com algum tipo de interface de usuário de software como digitar os comandos usando a interface de linha de comando (CLI) ou usando uma interface gráfica do usuário (GUI) <sup>5</sup>.

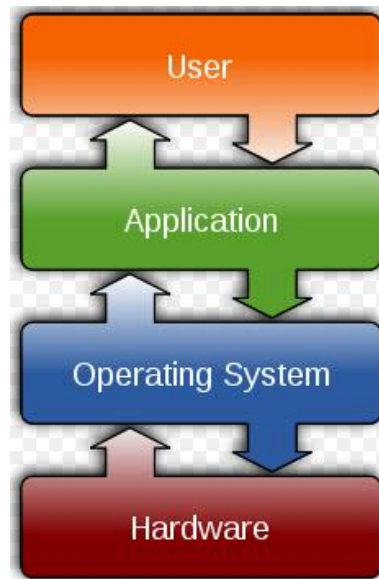


Figura 8 – Camadas básicas de um sistema computacional.

Os principais tipos de sistemas operacionais são <sup>5</sup>:

- Sistemas Monoprogramáveis/Monotarefa – Single - Tasking: não admite ser usado por mais de um usuário simultaneamente, gerenciando uma mesma CPU. O MSDOS, da Microsoft é o sistema operacional monousuário mais utilizado até hoje;
- Sistemas Multiprogramáveis/Multitarefa – usuário executa mais de uma tarefa de cada vez, permitindo que dois programas alternem o uso da CPU e de outros recursos. São exemplos: UNIX, VMS, MS VS, G-COS, entre outros;
- Sistemas com múltiplos processadores – caracterizam-se por possuir duas ou mais CPUs interligadas, trabalhando em conjunto.
- Sistemas Distribuídos – distribuem a realização de uma tarefa entre vários computadores interconectados através de algum tipo de rede de comunicação.
- Sistemas de Tempo Real – empregados para controle de procedimentos que devem responder dentro de um certo intervalo de tempo. Por exemplo, experimentos científicos, tratamento de imagens médicas, controle de processos, entre outros.

No decorrer do capítulo será abordada a descrição dos sistemas operacionais monousuário, mais especificamente, o monitor residente.

#### **4.1. Sistemas Operacionais Monousuário**

Os sistemas operacionais monousuários se caracterizam por permitir que o processador, a memória e os periféricos fiquem dedicados a apenas um usuário e geralmente enfatizam a facilidade de uso, já que eles não são dispendiosos e, desta maneira, a eficiência de máquina passa a ser uma preocupação secundária <sup>18</sup>.

Uma preocupação de quem desenvolve este tipo de produto é de fazê-lo ocupar o mínimo de memória principal possível oferecendo o máximo de recursos para os usuários (recursos visuais, por exemplo). Quanto maior o espaço ocupado pelo sistema operacional menos espaço para os programas.

Os sistemas operacionais monousuário se baseiam em um modelo datado da década de 50, denominado Monitor Residente. Suas principais características são <sup>5</sup>:

- Ficam permanentemente em memória;
- Sua função é automatizar a transição entre programas;
  - Funcionamento;
  - Execução inicial;
  - Controle transferido para programa do usuário;
  - Quando o programa é terminado o controle retorna para o monitor;
- O Monitor Residente carrega o próximo programa;
- O Monitor Residente centraliza as rotinas de acesso aos periféricos disponibilizando aos programas de usuários;
- Os programas dos usuários não acessam os periféricos diretamente.

## 5. Ferramentas utilizadas

Para o desenvolvimento do projeto foram utilizadas quatro ferramentas de grande importância:

- Microsoft Macro Assembler (MASM) <sup>19</sup> – ferramenta que gera arquivos binários e executáveis a partir de programas de linguagem assembly x86;
- EMU8086 <sup>20</sup>– emulador de processador 8086 desenvolvido por emu8086.com;
- PCB Design <sup>21</sup>– conjunto de ferramentas de design e produção de sistemas eletrônicos da empresa Cadence;
- Linha LPKF de Prototipagem de PCB e Stencil <sup>22</sup> – conjunto de máquinas da empresa LPKF destinadas à prototipagem de placas de circuito impresso.

### 5.1. Microsoft Macro Assembler

O Microsoft Macro Assembler é um montador para linguagem de programação Assembly x86 de alto nível desenvolvido para DOS e Microsoft Windows. Ele suporta uma larga variedade de expressões para macros e programação estruturada, incluindo funções de alto nível para laços e procedures. Versões posteriores acrescentaram a capacidade de produzir programas para Windows. O MASM é uma das poucas ferramentas de desenvolvimento da Microsoft que trabalha com plataformas de 16, 32 e 64 bits.

O Microsoft Macro Assembler possui um conjunto de comandos que juntos tem a finalidade principal de, a partir de um programa em linguagem Assembly (extensão .asm), gerar um arquivo executável (extensão .exe ou .com). Os principais comandos são:

- MASM – a partir do programa em linguagem assembly, gera os arquivos objeto (.obj), listing (.lst) e cross-reference (.crf);
- LINK – a partir do arquivo objeto (.obj) e de bibliotecas da linguagem assembly que venham a ser utilizadas, gera os arquivos executável (.exe) e mapeamento (.map).

## **5.2. EMU8086**

O EMU8086 é um emulador do microprocessador 8086 (compatível com Intel e AMD) que possui linguagem assembler x86 integrada e tutoriais para iniciantes. O emulador executa programas de forma mais lenta em relação ao processador real, e também em modo passo-a-passo. Ele mostra registros, memória, pilhas, variáveis e flags. Todos os valores de memória podem ser visualizados e editados. As instruções podem ser executadas em ordem direta, como executadas no processador real, e também em direção inversa, diferentemente do chip 8086.

O EMU8086 pode criar pequenos sistemas operacionais e escrever códigos binários para disquetes de boot. Este pacote de software inclui vários dispositivos virtuais externos: robot, motor de passo, displays e cruzamentos com semáforos. Todos os programas estão abertos para modificações e clonagem (código-fonte está disponível). O emulador pode gerar programas de console que podem ser executados em qualquer computador que rode código de máquina x86.

## **5.3. PCB Design**

A empresa Cadence, com sede em San Jose, Califórnia, é um dos principais fornecedores do mundo das tecnologias de projeto eletrônico e serviços de engenharia na automação de projeto eletrônico. O principal produto da empresa são softwares usados para projetar chips e placas de circuito impresso.

O PCB Design, desenvolvido pela Cadence, consiste de um conjunto de ferramentas de design e produção de sistemas eletrônicos que vão de placas de circuito impresso (PCI) até circuitos integrados.

O PCB Design é subdividido nas seguintes ferramentas:

- AMS Simulations – ferramenta de simulação de circuitos;
- FPGA-PCB co-design – ferramenta de configuração de pinagem em FPGA's;
- Layout and Routing – ferramenta de roteamento de placas de circuito impresso.
- Signal and power integrity – ferramenta de análise da integridade dos sinais elétricos na placa;

- Library and design data management – ferramenta que prove informações a respeito dos componentes eletrônicos utilizados no projeto.

#### 5.4. Linha LPKF de prototipagem de PCB e Stencil

A LPKF, fundada em 1976, opera nas áreas de eletrônica, de movimento e controle, solda a laser plásticos e fotovoltaica. Sua principal atuação é na área de criação de protótipos e micro-usinagem para circuitos, na qual possui uma ampla linha de maquinários para prototipagem de placas de circuito impresso e Stencil. A linha utilizada neste trabalho foi <sup>23</sup>:

- Prototipadora Rápida – sistema compacto de prototipagem e produção de baixo volume, ideal para aplicações multicamadas e RF. A prototipadora PROTOMAT M60 é mostrada na Figura 9.

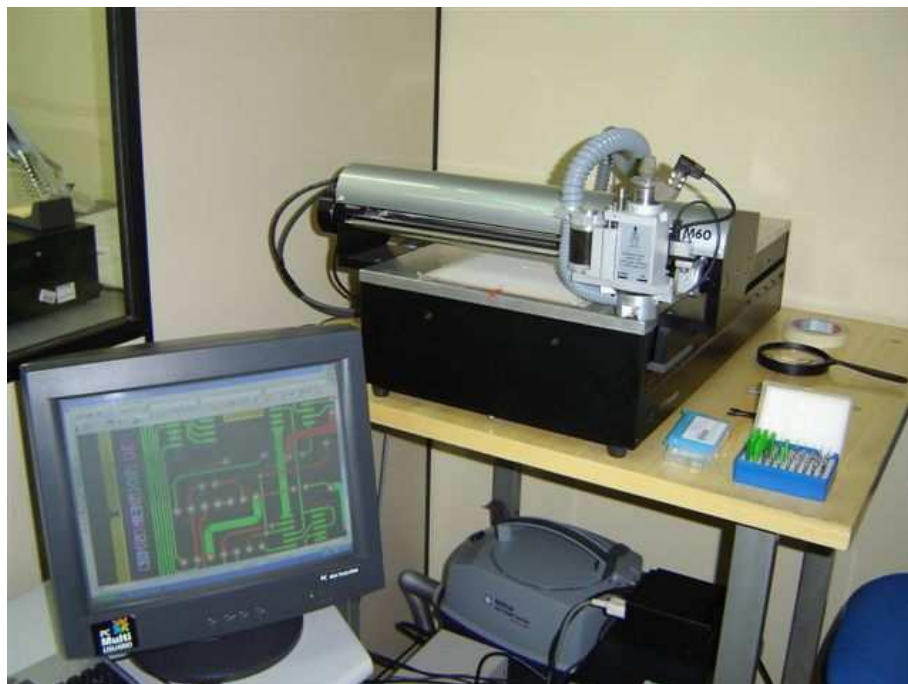


Figura 9 – Prototipadora PROTOMAT M60.

- Metalizador de Furos – (CONTAC III) o sistema utiliza o processo de metalização por pulso reverso comutável. Ideal para qualquer situação de prototipagem rápida de PCB, especialmente para pequenas tiragens. A figura 10 ilustra sistema.





Figura 10 – Metalizadora de furos CONTAC III.

- PCB Multicamada – sistema de prensagem de camadas de circuito impresso para confecção de placas multicamadas. A prensa multicamada Multi Press III é mostrada na Figura 11.



Figura 11 – Prensa Multi Press III.

## 6. Projeto

O projeto LESC-86 visa atender os objetivos conforme citado no Capítulo 1, Introdução, na sessão 1.3, Objetivo, a fim de garantir uma ferramenta de auxílio aos alunos nas atividades práticas e no projeto da disciplina de Sistemas Microprocessados, permitindo a validação de seus programas em linguagem de programação Assembly, o desenvolvimento de aplicações usando o LESC-86, a familiarização com sistemas computacionais e a melhora do próprio do computador didático, tendo em vista que seu código fonte é aberto.

Ao longo desse capítulo será descrito o desenvolvimento deste projeto, desde a definição dos requisitos para a confecção do LESC-86, até os resultados alcançados após sua conclusão.

### 6.1. Desenvolvimento

As etapas de criação do computador didático LESC-86 tiveram como base os requisitos e as especificações gerados para o mesmo, representado pelo diagrama de blocos da Figura 12, e criados na concepção do projeto, sendo divididas em duas partes principais e seqüenciais: o desenvolvimento de sete protótipos que foram manufaturados e o desenvolvimento de um software monitor residente, denominado Monitor LESC-86.

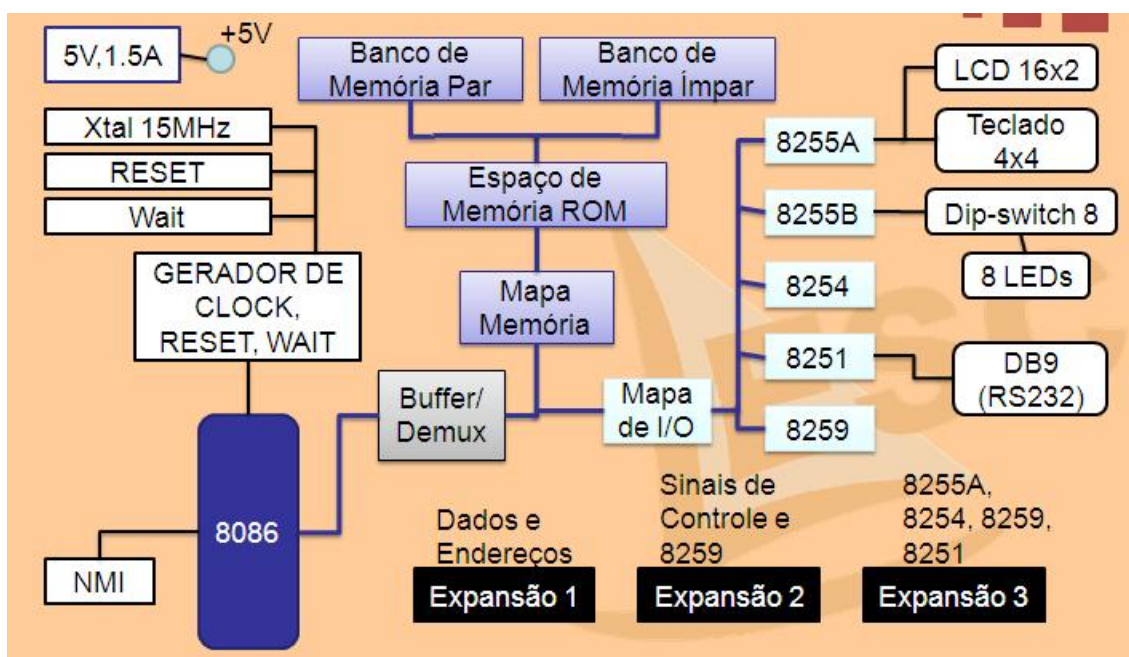


Figura 12 – Diagrama de blocos do LESC-86.

O primeiro passo da confecção do computador foi a criação do esquemático do projeto, baseado nos esquemas elétricos do livro base da disciplina e de handbooks da Intel <sup>10:24</sup>. O esquema elétrico foi confeccionado com o uso do programa Orcad da ferramenta PCB Design <sup>21</sup>, no qual se pode fazer o mapeamento de todas as ligações elétricas dentre os componentes do projeto. Ao final da criação do esquemático foi gerada uma lista de materiais a serem comprados para a montagem do primeiro protótipo do LESC-86.

O primeiro protótipo foi montado em Protoboard (Figura 13), a fim de se ter uma melhor flexibilidade na mudança das ligações elétricas, se necessário, e por se tratar de uma montagem de baixo custo.

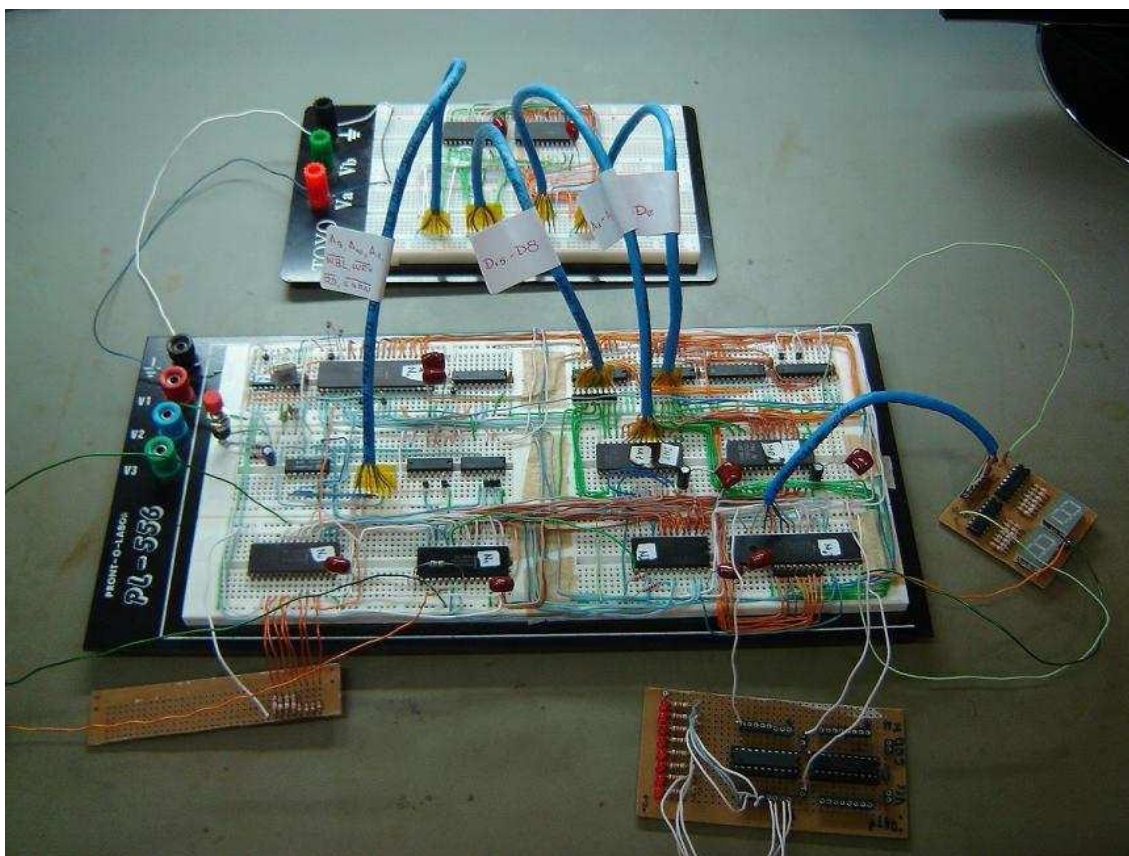


Figura 13 – Primeiro protótipo do LESC-86, realizado em placa do tipo “Protoboard”.

Na montagem do primeiro protótipo, a metodologia do projeto compreendia a verificação do diagrama esquemático, através de testes específicos de validação de um determinado bloco do computador. À medida que erros eram detectados, os mesmos eram corrigidos e o esquemático, se necessário, também era atualizado, conforme mostra o diagrama da Figura 14. Utilizando este processo o primeiro protótipo, com as funcionalidades básicas, foi validado.

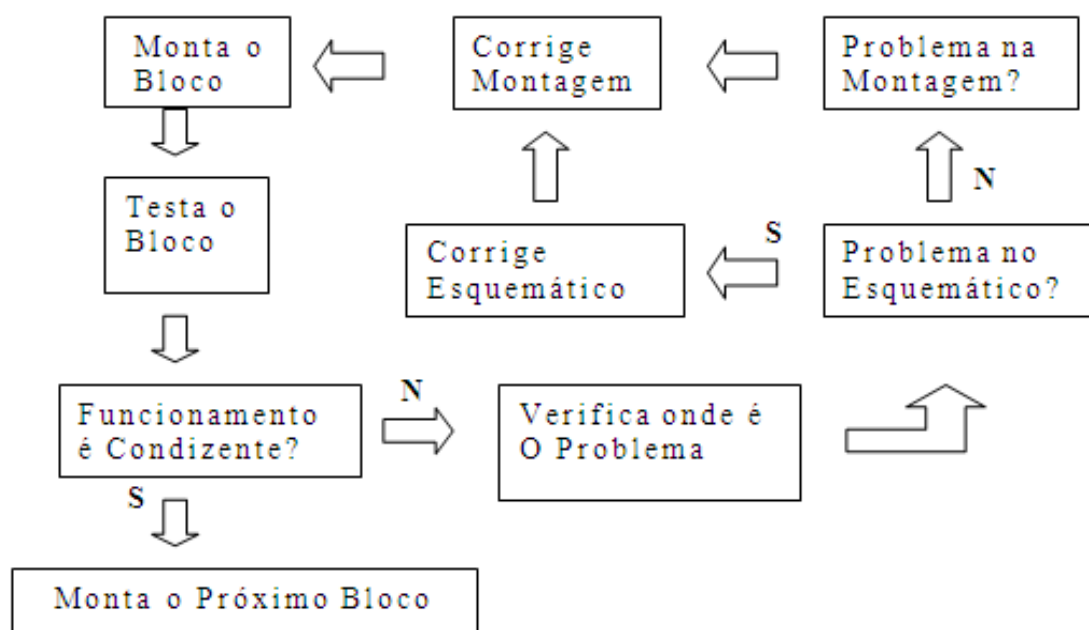


Figura 14 – Metodologia empregada na validação do LESC-86.

Após o sucesso na montagem em Protoboard partiu-se para o desenvolvimento de um protótipo do computador em placa de circuito impresso (PCI), como mostra a Figura 15. Para o projeto e concepção da PCI do LESC-86, utilizou-se o software Allegro da ferramenta PCB Design <sup>21</sup>. Todo o roteamento foi realizado de forma manual, a fim de obter uma melhor qualidade e otimização das ligações entre os componentes. Devido à grande densidade de componentes, bem como ao grande número de ligações na placa, optou-se por fazer o roteamento utilizando 4 camadas de cobre, ao invés de duas, como seria o convencional. Isso foi importante porque possibilitou a redução do tamanho da PCI de dimensões em torno de 25x25cm, para 17x17 cm.



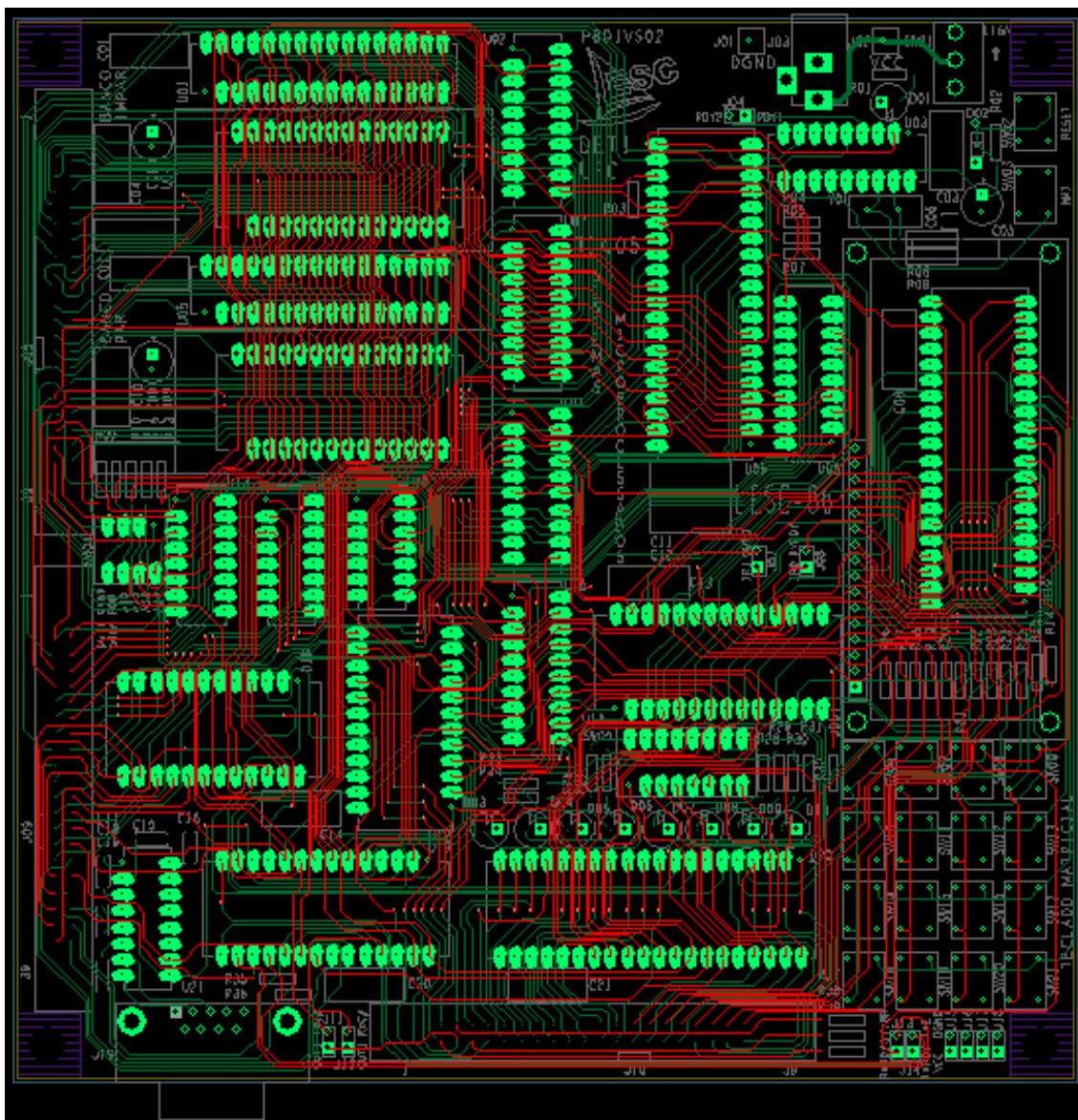


Figura 15 – O projeto da placa-mãe do LESC-86.

Para a confecção do protótipo da PCB, utilizou-se o maquinário do LESC (Laboratório de Engenharia de Sistemas de Computação), do Departamento de Engenharia de Teleinformática (DETI) da UFC. Dentre o maquinário destacam-se as máquinas de prototipação de PCI semi-automáticas, como fresadora (PROTOMAT M60), Metalizadora (CONTAC III), prensa (MULTIPRESS III), descritas na seção 4 do capítulo 5 (Ferramentas Utilizadas).

Com um protótipo operacional e totalmente testado, o próximo passo foi a manufatura de sete placas do LESC-86, para serem usadas na disciplina de Sistemas Microprocessados. Esse número levou em conta a quantidade de 12 alunos no laboratório, sendo cada computador para dois alunos. A sétima placa deve ser usada

pelo monitor da disciplina, para preparar as práticas de laboratório com base nos programas apresentados no livro base da disciplina e outros livros com aplicações didáticas<sup>10:24:25</sup>.

Com todas as placas funcionando partiu-se para a confecção do Monitor LESC-86, baseado na documentação do DOS-86 e Seattle Computer Products<sup>26</sup>. Usou-se o emulador de processador 8086 Emu8086 da empresa Emu8086<sup>20</sup>, o qual possibilitou a simulação do software monitor residente nas configurações a serem utilizadas pelo LESC-86.

Assim como na montagem dos protótipos de PCI do computador, a criação do Monitor LESC-86 também foi feita gradualmente, bloco a bloco. Nesse caso, foi empregada uma metodologia de desenvolvimento que compreendia a geração dos blocos mostrados na figura 16.

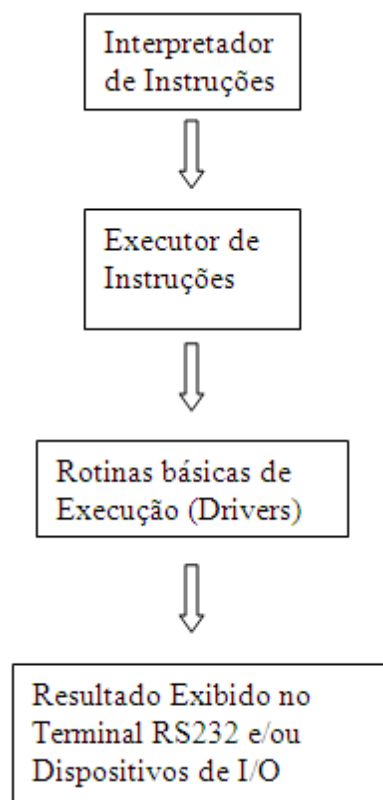


Figura 16 – O Monitor LESC-86 foi desenvolvido em blocos funcionais e validado totalmente.

Por fim o Monitor LESC-86 foi embarcado nas sete placas manufaturadas do computador didático LESC-86.

## **6.2. Descrição**

O 8086 é um dos processadores de 16 bits mais utilizado de todos os tempos, seu modelo básico de programação permanece o mesmo nos dispositivos mais recentes. Basicamente, todos os recursos no nível do aplicativo, como registradores, tipos de dados e modos de endereçamento tem sido simplesmente utilizados como extensões do conjunto de recursos do 8086 original, em especial para aceitar endereços e tipos de dados maiores <sup>9</sup>. Essa característica, aliada a simplicidade do seu hardware faz com que esse processador seja uma ótima escolha para a confecção de um kit de desenvolvimento didático para auxílio de projeto de computadores.

O LESC-86 foi desenvolvido para ser um kit de desenvolvimento para aplicações didáticas no ensino de projeto de computadores, mas o mesmo também se faz útil para aplicações de controle e processamento de sinais.

O projeto é descrito em duas subseções, Hardware e Monitor LESC-86, os quais estão interligados através das aplicações que o LESC-86 pode desempenhar.

### **6.2.1. Hardware**

Com base na Figura 10 da sessão Desenvolvimento deste mesmo capítulo, que representa o diagrama de blocos do computador didático tem-se que a interface com o usuário é feita através de um Display LCD e um teclado matricial, além de ser possível conectar o LESC-86 a um computador via interface RS-232 com o uso de um programa terminal, como por exemplo, o programa Hyperterminal do Windows. Essa característica dá uma grande flexibilidade ao seu uso.

Os blocos Conectores de Expansão tornam possível se conectar outras placas eletrônicas ao computador projetado. O bloco 8255B possibilita o uso do teclado matricial, bem como o do Display LCD 16x2. O bloco 8255A permite a conexão de outros dispositivos de interface paralela, e também a 8 leds vermelhos através de chaves de estado identificadas pelo bloco DipSwitch 8. O bloco 8254 e o bloco 8259 são responsáveis respectivamente, pela temporização e contagem digital programada, e pelo gerenciamento de interrupções, existe também a possibilidade de gerar interrupção via botão do bloco NMI.

Nos blocos Mapa de Memória e Mapa de I/O, as faixas de endereço acessíveis na memória e os endereços dos dispositivos de I/O são determinados.

O bloco Espaço de Memória ROM possibilita que a faixa de endereços acessíveis na memória do LESC-86 seja reduzida pela metade ou em quatro vezes ou em até oito vezes.

O sistema conta com a possibilidade de ser resetado ao ser ligado (Power-up reset), ou através de botão (bloco Reset). No bloco Gerador de CLOCK, RESET, WAIT, estão contidos um gerador de clock utilizando cristal de 15MHz e um gerador de estados de espera (wait).

O processador é configurado para trabalhar em modo mínimo, assim não se pode fazer uso de processadores trabalhando em paralelo com o 8086, inclusive o co-processador matemático 8087 <sup>27</sup>.

A seguir uma lista dos recursos que o LESC-86 oferece:

- Display LCD 16 colunas por 2 linhas acessada através da porta A e porta C da Interface Paralela A (8255A);
- Teclado Matricial 4x4 acessado através da porta B e porta C da Interface Paralela A (8255A);
- Três portas paralelas de comunicação acessadas através da porta A, porta B, porta C da Interface Paralela B (8255B);
- 8 Leds vermelhos conectados a porta A da interface Paralela B (8255B), os mesmos são isolados através de chaves tipo dip-switchs;
- Interface Serial RS232 sem controle de fluxo através de conector DB9 macho;
- Três contadores de uso geral acessados através do Contador/Temporizador programável (8254);
- Oito canais de interrupção mascarável, sendo um para contador e outro para interface serial através do Gerenciador de Interrupções (8259);
- Dois chips de memória RAM 61C512, somando 128kB de memória volátil;
- Dois chips de memória ROM 27C512, somando 128kB de memória estática;



- Gerador de clock com cristal de 15MHz;
- Gerador de estado de espera (wait);
- Dois conectores para ligação entre os blocos 8251 (Interface Serial) e 8254 (Contador/Temporizador programável);
- Conector para ligação entre os blocos 8251 (Interface Serial) e 8259 (Gerenciador de Interrupções);
- Conector para ligação entre os blocos 8254 (Contador/Temporizador programável) e 8259 (Gerenciador de Interrupções);
- Chave para seleção de espaço de memória;
- Três conectores de expansão, contendo todos os sinais fundamentais do LESC-86;
- Interrupção não mascarável (NMI) ativada através de botão;
- Reset ativado através de push-button;
- Processador 8086 configurado em modo mínimo;
- Fonte de alimentação externa de 5V/2A;
- Chave Liga/Desliga;

### **6.2.2. Monitor LESC-86**

O LESC-86 é um computador didático que funciona como um monitor residente, no qual um programa fica permanentemente em memória automatizando a transição entre programas de eventuais usuários do kit, um por vez. O software foi baseado na documentação do DOS-86 e Seattle Computer Products <sup>26</sup>, mais especificamente no 8086 Monitor Instruction Manual.

Para exercer a função de monitor residente, têm-se o programa Monitor LESC-86 gravado nas memórias estáticas do computador. Com isso o usuário tem disponível quase todos os recursos do kit no momento em que seu programa está em execução.

O programa permite que códigos gerados pelo usuário sejam transferidos para a memória RAM do computador e executados na mesma. Outras características

permitem o gerenciamento efetivo de memória e registros, e execução passo-a-passo de programas.

Outra função importante do monitor LESC-86 é a manipulação de interrupções de timer e de buffer de dados da interface serial, além de outras seis interrupções de uso geral. Também é possível configurar breakpoints nos programas a serem executados pelo usuário.

Além de poder transferir seu programa e executá-lo no LESC-86, o usuário também pode ter acesso a todos os recursos citados na sessão anterior, usando comandos que são interpretados pelo Monitor LESC-86, são eles:

- B – comando de Boot, transfere um programa de usuário para o LESC-86;
- D – comando Dump, visualiza conteúdos de memória;
- E – comando Enter, insere valores hexadecimais em posições de memória especificadas pelo usuário;
- F – comando Fill, insere uma lista de valores em faixas de memória especificadas pelo usuário;
- G – comando Go, executa instruções a partir do endereço de memória especificado pelo usuário;
- I – comando Input, lê um valor de uma porta de entrada do LESC-86;
- K – comando Key, lê o valor digitado no teclado matricial;
- L – comando LCD, limpa e imprime valores no Display LCD;
- M – comando Move, faz transferência de dados de um endereço de origem para um endereço de destino;
- O – comando Output, envia um valor para uma porta de saída do LESC-86;
- R – comando Register, mostra o conteúdo dos registros do usuário, também possibilita que o mesmo possa editá-los;
- S – comando Search, faz a varredura de um dado em uma faixa de memória do LESC-86;

- T – comando Trap, possibilita que a execução do programa do usuário seja feita passo-a-passo.

Todas essas funcionalidades estão descritas e exemplificadas em um manual chamado Manual Monitor LESC-86. Na Figura 17, têm-se um exemplo de uso dos comandos do Monitor LESC-86.

```
>D 400 421
00400 FA B0 82 E6 70 E6 30 B0-00 E6 40 E6 60 B0 00 E6 z0.fpf00.f@f'0.f
00410 00 E6 20 90 BE 3E 00 0E-1F E8 47 02 E8 44 02 8A .f .>>...hG.hD..
00420 04 E6 .f
>
>D 30
00030 5F 57 00 54 FF 75 00 40-FE F7 00 55 FF DF 02 50 _W.T.u.@~w.U._.P
00040 00 A0 7F AE 04 20 FF AB-00 20 FF 6F 08 82 FF BB . . . . .+ . . .o . . ;
00050 EF FD 00 11 FB 7D 80 15-FF D7 00 44 EF FD 00 14 o} . . { } . . .W.Do} . .
00060 02 A2 FF BF 08 02 FF 3F-00 8A 7F BF 08 0A FB FA . . .? . . .? . . .? . . {z
00070 EF 5D 00 00 FF 7D 00 05-FF F5 80 51 FD 7F 00 14 ol . . .} . . .u.Q} . .
00080 00 80 FE AB 00 A8 FF FB-00 2A FF EB 00 8A FF AA . . ~+ . . { . * . k . . *
00090 BE 5D 00 45 DF 5D 00 01-F3 55 00 14 BF 7D 00 45 >l.E_l..sU..?}.E
000A0 00 20 FF BB 00 A0 FF AC-00 80 7F AA 00 22 F3 EB . . ; . . . . * . "sk
>
>D 5A0 L20
005A0 30 20 20 20 20 20 20 20-20 20 20 00 0A 00 20 20 0
005B0 2B 2B 2B 20 20 20 20 20-30 30 20 20 20 20 20 20 +++ 00 ...
>_
```

Figura 17 – Uso do comando Dump no LESC-86.

Outro recurso disponível ao usuário é a possibilidade de usar macros já definidas de API's (Interface de Programação de Aplicativos) que fazem parte do código do programa Monitor LESC-86, a seguir tem-se listado as principais:

- crcXmodem – rotina de comunicação do protocolo Xmodem;
- delay\_15ms – rotina de espera de 15 milissegundos;
- escreve\_dado\_lcd – rotina de escrita de dados no display LCD do LESC-86;
- escreve\_dado\_serial – rotina de escrita de dados na interface serial do LESC-86;
- inicializa\_lcd – rotina de inicialização do display LCD do LESC-86;
- le\_dado\_serial – rotina de leitura de dados da interface serial;
- le\_dado\_teclado – rotina de leitura de dados do teclado matricial do LESC-86;

- printmes – rotina de escrita de mensagens de caracteres na interface serial e no display LCD do LESC-86;
- out16 – rotina de conversão e escrita de um valor em hexadecimal de 4 dígitos;

Através dos conectores de expansão, dispositivos periféricos como motores, controladores de DMA, vídeo, entre outros podem ser conectados a placa. Os conectores de expansão também servem como ferramenta de aprendizado para o usuário, pois é possível avaliar o comportamento de determinado sinal ao longo do funcionamento de um programa específico, possibilitando assim aplicações junto a instrumentos de medição e controle de sinais.

Na figura 18, o LESC-86 é utilizado junto a um notebook, mostrando que o mesmo pode ser usado em vários ambientes.

Todas essas características tornam o LESC-86 uma poderosa ferramenta de apoio didático ao ensino da arte de projetar computadores, alcançando todos os objetivos pretendidos.

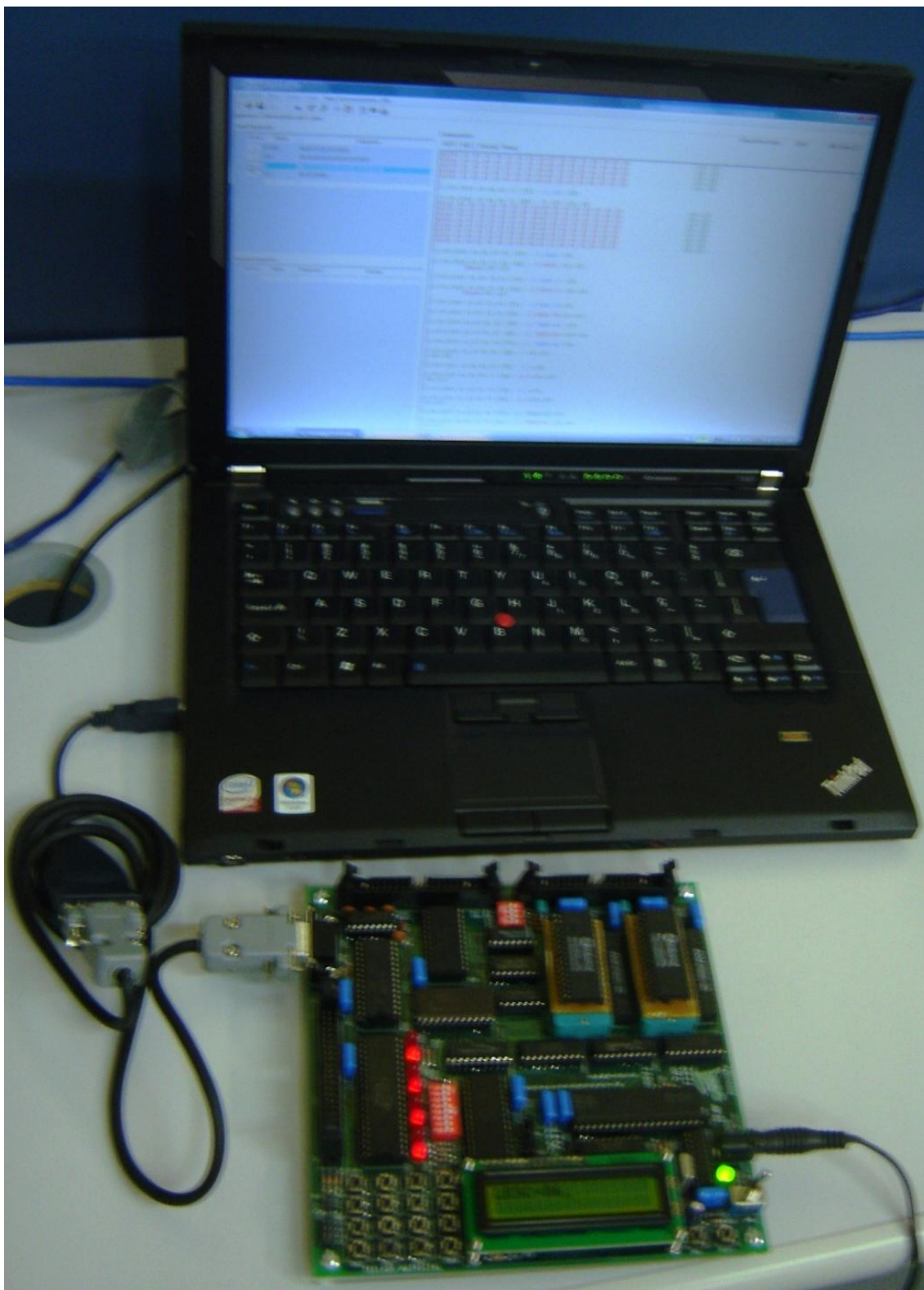


Figura 18 – Uso do LESC-86 junto a um notebook.

## 7. Resultados

Ao longo do desenvolvimento do LESC-86, os resultados se mostraram excelentes, principalmente nas várias etapas de montagem e validação, seguindo os passos citados na sessão 6.1. Isso se deveu à metodologia empregada, que primou pela excelência do projeto lógico do computador, bem como a validação passo a passo dos blocos tanto de hardware, como de software.

Todos os circuitos lógicos funcionaram perfeitamente, bem como a parte elétrica do sistema. Os protótipos iniciais, primeiramente em protoboard, e em seguida em PCI, permitiram a detecção de todos os erros encontrados, sejam de projeto, ou de implementação.

Como resultado final, a UFC pode se orgulhar de possuir o primeiro kit de desenvolvimento de computadores para aplicações didáticas, totalmente concebido, implementado e testado nas dependências do Laboratório de Engenharia de Sistemas de Computação (LESC), como fruto de um trabalho de iniciação a docência. É importante ressaltar que, embora o projeto visasse uma aplicação didática, o LESC-86 também corresponde a um grande projeto de iniciação científica, na medida em que, ao empregar metodologias investigativas, realizou uma inovação tecnológica, com resultados pioneiros em todo Brasil, os quais foram apresentados no 37º Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, vide anexo A. A Figura 19 mostra o produto final deste projeto de iniciação à docência, o LESC-86, que fora apresentado no XVIII Encontro de Iniciação à Docência da UFC, vide anexo B. É importante salientar que, além da parte visível do projeto, o hardware, existe todo outro grande esforço de desenvolvimento representado pelo software Monitor LESC-86 <sup>26</sup>, que reside nas memórias do computador, além, é claro, de um manual de práticas, com base no livro base da disciplina e nos handbooks da Intel <sup>10:12:24:25</sup>, que começou a ser gerado, e que será utilizado no laboratório, juntamente aos manuais de uso da placa LESC-86 e do programa Monitor LESC-86.





Figura 19 – Resultado final do projeto LESC-86.

## 8. Conclusão

Embora esteja satisfeito com os resultados do projeto, novos planos para uso do LESC-86 estão sendo elaborados. Devido à sua robustez, capacidade de memória, planeja-se portar o sistema operacional Linux, especialmente para esse computador, e embarcá-lo na sua memória, tendo como base as aplicações desenvolvidas pelo ELKS (Embeddable Linux Kernel Subset) e livros da área de Linux embarcado <sup>28:29</sup>. Além disso, outro projeto visa o emprego de FPGA's para interfacear o LESC-86 com outros circuitos eletrônicos, tais como monitores de vídeo, impressoras, entre outros <sup>30</sup>.

Apesar do projeto e implementação do LESC-86 ter sido motivado pela oportunidade de uso como um kit didático para a disciplina de Sistemas Microprocessados, outras disciplinas poderão utilizá-lo como ferramenta de laboratório. Como exemplo, tem-se a disciplina de Sistemas de Computação, na qual o LESC-86 pode contribuir para o desenvolvimento de rotinas simples de algoritmos de escalonamento e comunicação entre processos (IPC). Outro exemplo de aplicação do computador didático seria na disciplina de Laboratório de Processamento Digital de Sinais, com o uso de um conversor analógico/digital.

Além disso, esse projeto inspirou o professor orientador a conceber outros kits de desenvolvimento para outras disciplinas que não possam ser beneficiadas pelo LESC-86. A concretização desse projeto, além de ter proporcionado um grande impacto positivo na disciplina para a qual ele foi pensado, proporcionou a oportunidade do aluno trabalhar em conteúdos da disciplina, dado que o uso do LESC-86 demandou um profundo estudo em toda sua teoria. Além disso, as freqüentes discussões com o professor orientador o levaram a reprogramar a disciplina, de forma a potencializar o uso do computador, provocando uma modernização em seu conteúdo.



## 9. Referências

- 1 – Dicionário Aurélio. **Dicionário Aurélio**. Disponível em <<http://www.dicionariodoaurelio.com/>>. Acesso em: 03 dez.09.
- 2 – Intel. **A história dos processadores, desde ENIAC até Nehalem**. Disponível em <[http://cache-www.intel.com/cd/00/00/40/17/401775\\_401775.pdf](http://cache-www.intel.com/cd/00/00/40/17/401775_401775.pdf)>. Acesso: 03nov.09.
- 3 – Wikipedia. **Computador**. Disponível em < <http://pt.wikipedia.org/wiki/Computador>>. Acesso: 03nov09.
- 4 – Wikipedia. **Microprocessador**. Disponível em <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Microprocessador>>. Acesso: 03nov09.
- 5 – Tanenbaum, Andrew S. **Sistemas Operacionais Modernos**. Segunda Edição. Ed. PEARSON, 2005.
- 6 – Instituto de Matemática e Estatística da Universidade São Paulo (IME-USP). **Memória**. Disponível em <<http://www.ime.usp.br/~weslley/memoria.htm>>. Acesso: 30nov09.
- 7 – Wikipedia. **Memória (computador)**. Disponível em <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Memória\\_\(computador\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Memória_(computador))>. Acesso: 30nov09.
- 8 – Universidade Federal do Pará (UFPA). **Microinformática**. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/dicas/mic/mic-e-s.htm>>. Acesso: 30nov09.
- 9 - ROSH, WINN L. **Desvendando o Hardware do PC**. Primeira Edição. Ed. Campus, 1992.
- 10 - BREY, Barry B. **Intel Microprocessors: 8086/8088, 80186, 80286, 80386, 80486, Pentium, Pentium Pro Processor, Pentium II, Pentium Architecture, Programming, and Interfacing**. Ed.Pearson Education Ltd., 2004/05.
- 11 – Universitatea Tehnica Cluj-Napoca, Romania. **16-BIT HMOS MICROPROCESSOR 8086/8086-2/8086-1**. Disponível em: <<http://ftp.utcluj.ro/pub/users/calcing/PMP/231455.pdf>>. Acesso: 25nov09.
- 12 - INTEL CORPORATE. **iAPX 86,88 USER'S MANUAL**. Ed. No Starch, 1981.

- 13 – CPU WORD. **Pinouts – 8086 Family**. Disponível em: <<http://www.cpu-world.com/Arch/8086.html>>. Acesso: 25nov09.
- 14 – CPU WORD. **Intel 8086 microprocessor architecture**. Disponível em: <<http://www.cpu-world.com/Arch/8086.html>>. Acesso: 25nov09.
- 15 – Faculdade de Informática PUCRS. **Microprocessador Intel 8086**. Disponível em: <<http://www.inf.pucrs.br/~eduardob/disciplinas/microprocessadores/8086/AC-Intel.doc>>. Acesso: 26nov09.
- 16 – CPU WORD. **Support/peripheral/other chips – 8086 family**. Disponível em: <<http://www.cpu-world.com/Support/8086.html>>. Acesso: 25nov09.
- 17 – Departamento de Engenharia de Computação e Automação. **Noções de Sistemas Operacionais**. Disponível em: <<http://www.dca.ufrn.br/~xamd/dca0800/Cap03.pdf>>. Acesso: 25nov09.
- 18 – Cyber Tech CSE Informática. **Sistema Operacional**. Disponível em: <<http://www.cybertechcse.com.br/sistOperacionais/Frame.htm>>. Acesso: 25nov09.
- 19 – Wikipedia. **Microsoft Macro Assembler**. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Macro\\_Assembler](http://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Macro_Assembler)>. Acesso: 25nov09.
- 20 – EMU8086.com. **8086 Microprocessor Emulator**. Disponível em: <<http://www.emu8086.com/>>. Acesso: 25nov09.
- 21 - Cadence Design Systems. **Cadence PCB Design**. Disponível em: <<http://www.cadence.com/products/pcb/Pages/default.aspx>>. Acesso: 28 nov. 09.
- 22 – LPKF Laser & Electronics. **About LPKF Laser & Electronics**. Disponível em: <<http://www.lpkf.com/>>. Acesso: 28nov09.
- 23 – LPKF Laser & Electronics. **Products LPKF Laser & Electronics North America**. Disponível em: <<http://www.lpkfusa.com/products/index.htm>>. Acesso: 28nov09.
- 24 - INTEL CORPORATE. **Microprocessor and peripheral handbook**. Ed. Intel Corporation, 1987.
- 25 - HYDE, Randall. **The Art of Assembly Language**. Ed. No Starch, 2003.
- 26 - Paterson, Technology. **8086 Monitor Instruction Manual**. Disponível em: <<http://www.patersontech.com/Dos/manuals.aspx>>. Acesso em: 01 dez. 09.

27 - Hummel, Robert L. **The Processor and Coprocessor**. Ed. Ziff-Davis PRESS, 1992.

28 - ELKS, sourceforge.net. **The Embeddable Linux Kernel Subset**. Disponível em: <<http://elks.sourceforge.net/index.html>>. Acesso em: 18 jun. 09.

29 - Yaghmour, Karim. **Building Embedded Linux Systems**. Ed.O'Reilly, 2003.

30 - ROSH, WINN L. **Desvendando o Hardware do PC**. Segunda Edição. Ed. Campus, 1992.