



RODRIGO HENRIKY DE ASSIS OLIVEIRA

MICROPROCESSADOR SAP 01

CUIABÁ

2024

RODRIGO HENRIKY DE ASSIS OLIVEIRA

MICROPROCESSADOR SAP 01

Trabalho apresentado ao Instituto Federal de Mato Grosso como requisito para a conclusão do curso de Engenharia da Computação.

Professor: Ruy de Oliveira

CUIABÁ

2024

RESUMO

O presente trabalho trata-se de um estudo sobre o microprocessador SAP 01, que criado pelo professor Luiz Carlos Lopes, conhecido como Malvino, é um microprocessador projetado especialmente para fins educacionais, visando auxiliar no aprendizado de conceitos fundamentais de eletrônica digital e microcontroladores. Voltado para estudantes iniciantes que tem interesse de aprender sobre como funciona a arquitetura de um processador. Os CIs estudados incluem componentes essenciais para operações de aritmética binária, controle e transferência de dados em sistemas digitais, como somadores, registradores, multiplexadores e flip-flops.

Cada CI é modelado a partir de portas lógicas básicas e flip-flops, demonstrando como funções computacionais avançadas podem ser construídas a partir desses elementos simples. O somador de 1 bit e o somador-subtrator, por exemplo, mostram como são realizados cálculos binários com precisão, enquanto registradores e buffers asseguram a integridade dos dados e permitem transferências eficientes entre componentes. Já o multiplexador e o demultiplexador controlam o fluxo de dados por meio de linhas de seleção, e o flip-flop tipo D e o contador exemplificam operações de armazenamento e sequência.

A simulação desses CIs no Logisim proporciona uma visão prática e acessível da lógica digital e do funcionamento dos microprocessadores, destacando a importância desses elementos como blocos construtivos de sistemas computacionais modernos. A análise permite uma compreensão aprofundada de como circuitos simples se combinam para formar sistemas complexos, servindo como base para o desenvolvimento de tecnologias digitais e computacionais. Entretanto o trabalho aqui desenvolvido trata-se de uma extensão do sap 01 que contém algumas adicionalidades a mais. Para desenvolver tal atividade foi usado um software chamado Logisim Evolution v3.8.0

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
	<i>2 Desenvolvimento.....</i>	<i>6</i>
3	ARQUITETURA E COMPONENTES	14
4	ARQUITETURA	14
4.1	REGISTRADORES.....	15
4.2	BARRAMENTO	16
5	MODOS DE ENDEREÇAMENTO.....	17
6	COJUNTO DE INSTRUÇÕES	18
7	APLICAÇÕES E USO DO Z80	20
8	CONCLUSÃO	21
9	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	22

1 INTRODUÇÃO

No universo do estudo de microprocessadores, a compreensão dos componentes e funcionalidades fundamentais pode ser um desafio, especialmente devido à complexidade que envolve a maioria dos processadores modernos. Com isso em mente, o aprendizado pode se tornar mais eficiente e menos intimidador ao focarmos em um modelo simplificado de processador, que permita explorar suas operações básicas sem a necessidade de aprofundar em circuitos e tecnologias mais avançadas. Esse é o caso do SAP-01 (Simple As Possible), um processador hipotético de estrutura simplificada, idealizado para propósitos educacionais.

Neste artigo, estudaremos o SAP-01 em detalhes, explorando como seus componentes interagem para executar operações essenciais, desde o processamento básico de instruções até o armazenamento e manipulação de dados. Ao contrário de processadores complexos que incluem diversos registradores, caches e sistemas de interconexão, o SAP-01 é projetado para ser o mais direto possível, com foco na estrutura e funcionamento de um sistema de processamento simples. Isso permite que estudantes e iniciantes em microprocessadores compreendam conceitos fundamentais, como ciclo de busca-decodificação-execução, o papel dos registradores, o controle do fluxo de dados e o funcionamento de unidades aritméticas e lógicas.

Com esse enfoque, o estudo do SAP-01 não apenas facilita o entendimento dos blocos básicos de um processador, como também serve como base para futuras incursões em arquiteturas mais complexas. Ao final desta introdução ao SAP-01, espera-se que o leitor tenha uma compreensão clara das funções essenciais de um processador e esteja preparado para avançar para tecnologias e modelos mais sofisticados, armados com uma base sólida nos princípios fundamentais do processamento computacional.

Circuitos integrados (CIs) são componentes essenciais para a operação de sistemas digitais, permitindo desde operações aritméticas até o controle de fluxo de dados e armazenamento de informações. Este trabalho explora nove CIs implementados no Logisim Evolution, uma ferramenta de simulação que facilita a criação e análise de circuitos lógicos. Cada CI descrito aqui representa uma função específica dentro do processamento digital e auxilia na construção de circuitos mais complexos, como microprocessadores e controladores. A seguir, detalhamos cada um desses componentes, suas funções e suas implementações.

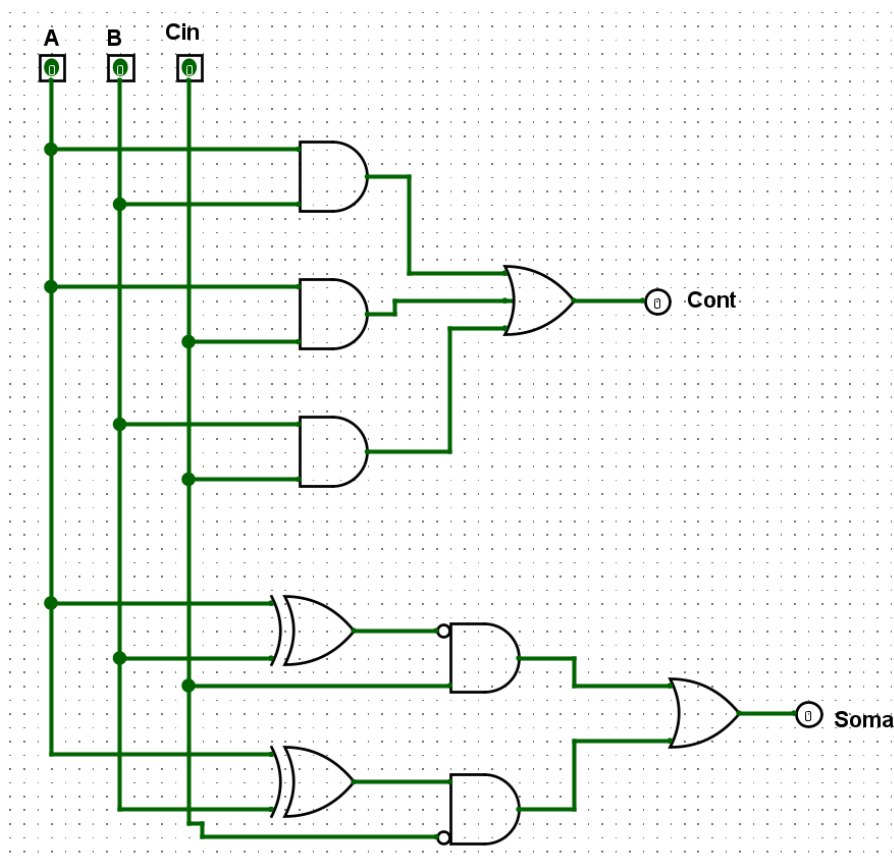
2 DESENVOLVIMENTO

2.1 SOMADOR DE 1 BIT

Função: Realiza a adição de dois bits binários (A e B) e leva em conta um bit de carry-in (C_in), produzindo uma soma (S) e um carry-out (C_out).

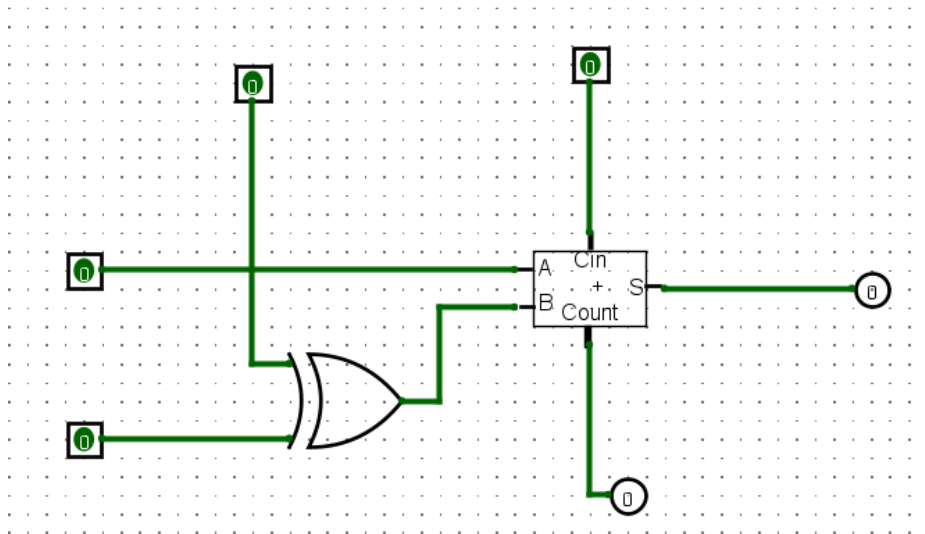
Construção Detalhada: Utiliza portas XOR para calcular a soma ($A \oplus B$), e outro XOR com o carry-in para o resultado final. O carry-out é gerado por uma combinação de portas AND para detectar quando duas ou mais entradas têm valor 1 e uma porta OR para produzir o carry-out final, essencial em somadores binários.

Aplicação: Usado como unidade básica em somadores de múltiplos bits (como somadores ripple-carry) e em ALUs de processadores para cálculos aritméticos.



2.2 SOMADOR-SUBTRATOR

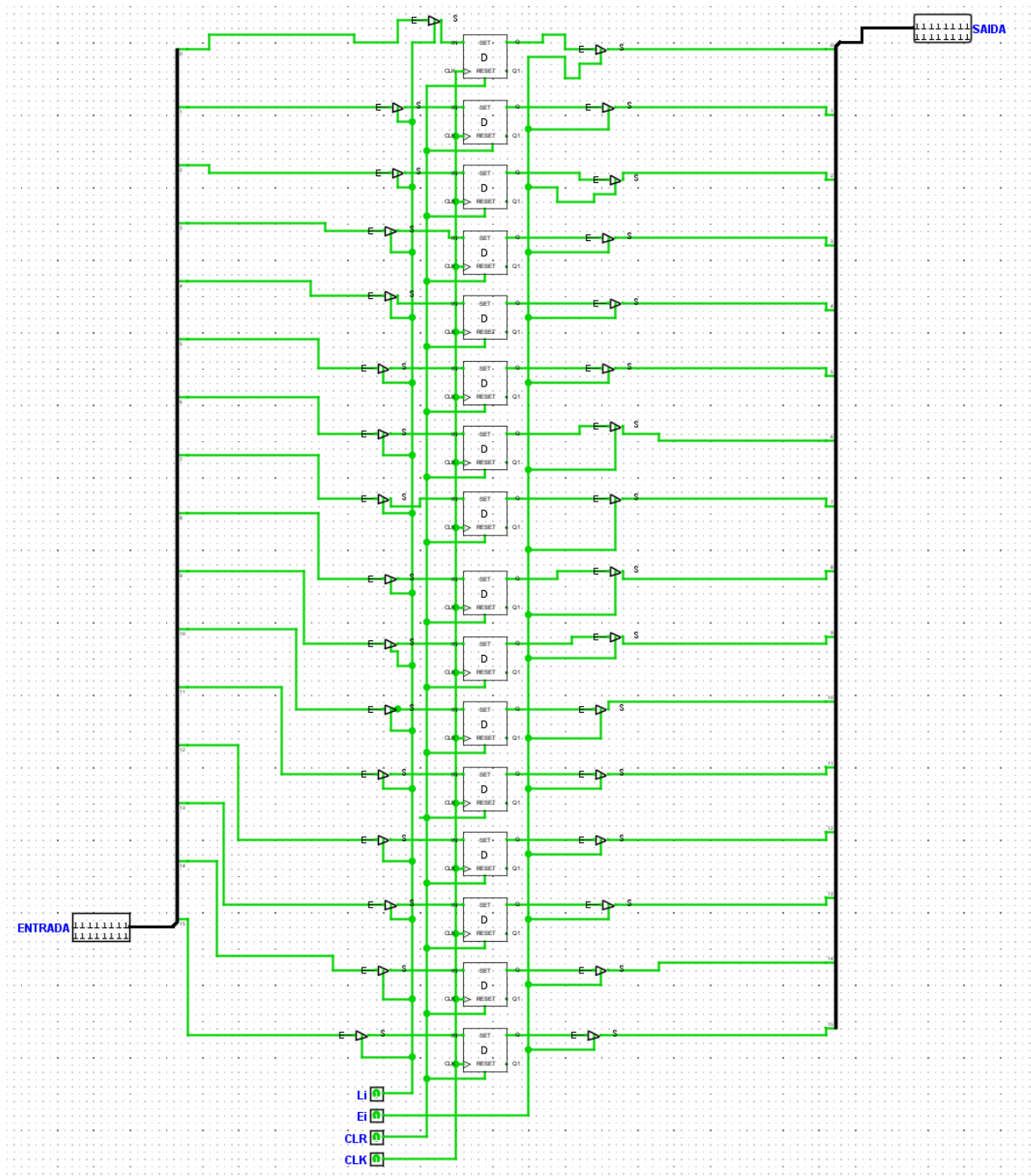
Função: Alterna entre operações de adição e subtração usando um sinal de controle (Subtrair/Somar), permitindo que um único circuito execute ambas as operações.



Construção Detalhada: Emprega o conceito de complemento de 2 para subtração, onde o sinal de controle inverte um dos operandos (através de portas XOR). Em um somador de vários bits, um carry-in adicional é acionado para ajustar a operação de subtração.

Aplicação: Essencial em ALUs para operações aritméticas, especialmente em processadores, onde cada bit de controle é chave para diferenciar operações de adição e subtração com um único CI.

2.3 TRANSFERÊNCIA DE REGISTRADOR



Função: Permite o armazenamento temporário de dados e a transferência entre registradores ou para a memória, mantendo informações para operações subsequentes.

Construção Detalhada: Um conjunto de flip-flops tipo D são usados para armazenar dados binários, com portas lógicas que definem quando os dados são carregados no registrador ou movidos para outro destino. Sinais de controle

habilitam a transferência, coordenando a sincronização dos dados em sistemas sequenciais.

Aplicação: Fundamentais em sistemas de processamento para movimentação de dados, como registradores em CPUs, que facilitam o armazenamento temporário de dados intermediários entre operações.

2.4 BUFFER

Função: Reforça e protege a integridade do sinal, essencial em circuitos onde a distância ou a carga podem enfraquecer o sinal.

Construção Detalhada: Consiste em um circuito de amplificação com portas lógicas que mantêm o valor do sinal, replicando-o sem modificação. Buffers tri-state são comuns, permitindo que o circuito entre em alta impedância e evite interferência.

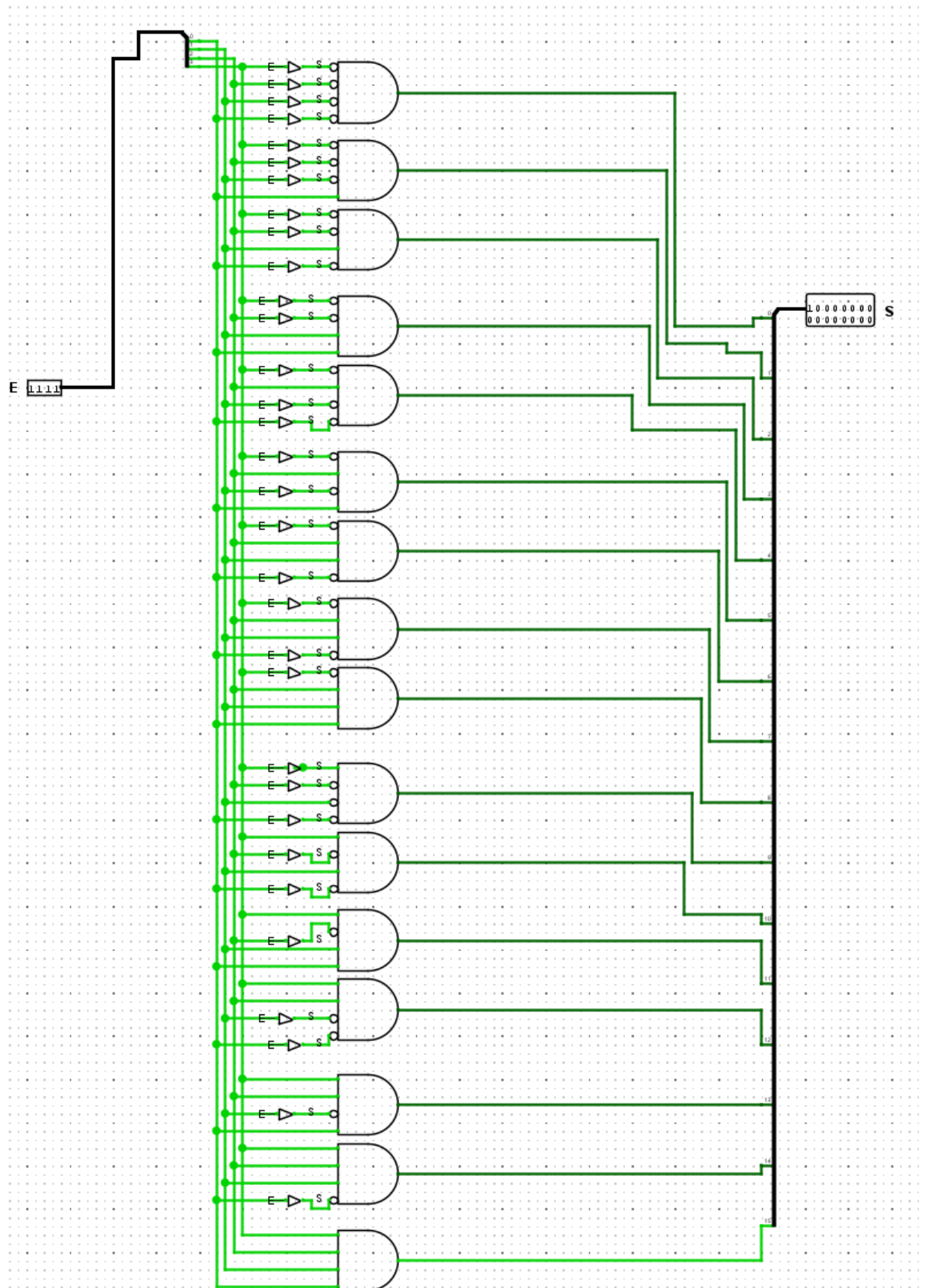
Aplicação: Crucial para o isolamento de diferentes seções do circuito e para reforçar sinais em barramentos, evitando degradação e interferência em sistemas de grande escala.

2.4 DEMULTIPLEXADOR (DEMUX)

Função: Recebe um único sinal de entrada e o direciona para uma das várias saídas, dependendo dos sinais de controle de seleção.

Construção Detalhada: Utiliza combinações de portas AND e NOT para conduzir o sinal de entrada a uma saída específica. A quantidade de saídas é diretamente proporcional ao número de linhas de controle (n saídas exigem $\log_2(n)$ linhas de controle).

Aplicação: Usado em sistemas de comunicação, decodificação de endereços em memória e roteamento de sinais onde é preciso canalizar dados de um ponto a outro em circuitos complexos.

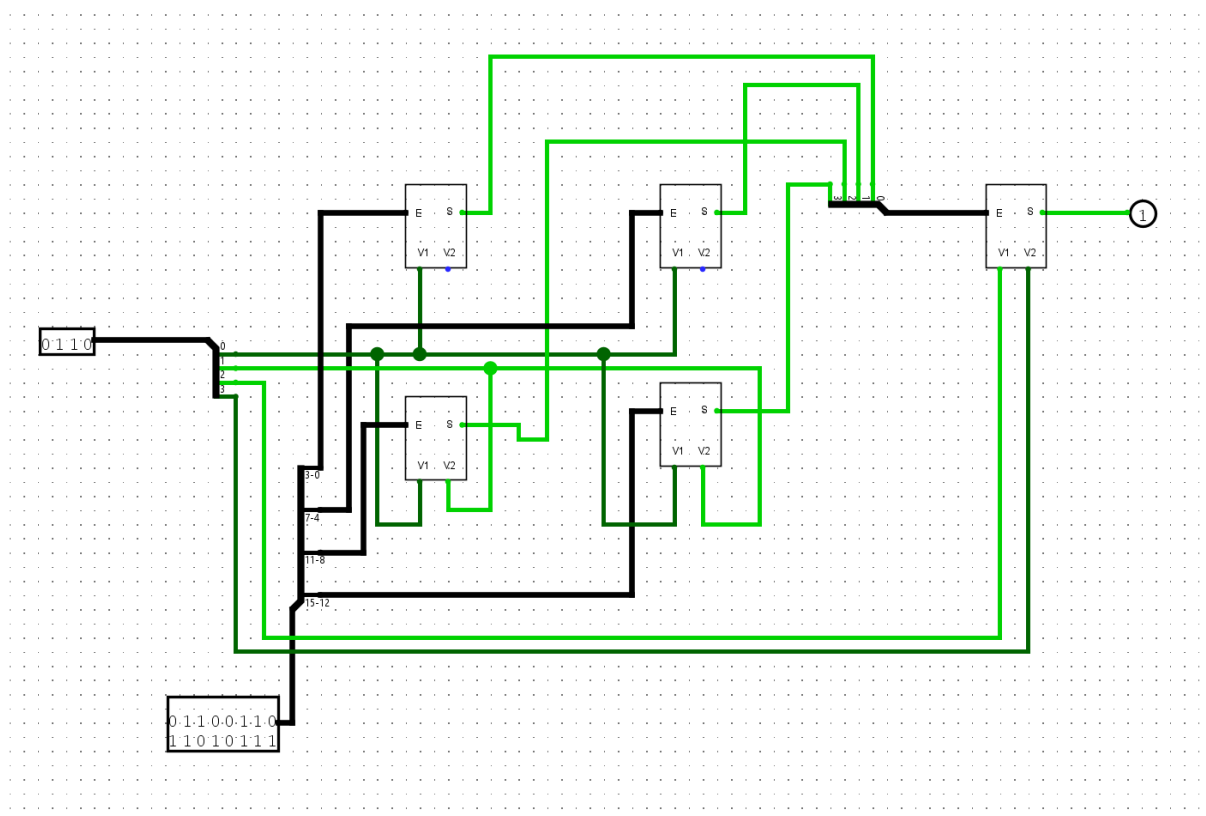


2.5 MULTIPLEXADOR (MUX)

Função: Seleciona um de vários sinais de entrada e redireciona para uma única saída, controlado por linhas de seleção.

Construção Detalhada: As portas AND, OR e NOT combinadas permitem que uma entrada específica seja selecionada e transmitida para a saída. Em multiplexadores de alta complexidade, o número de entradas aumenta de acordo com as linhas de controle.

Aplicação: Essencial em sistemas digitais para selecionar dados ou instruções específicas, como em CPUs e barramentos, onde otimiza o gerenciamento de dados ao escolher uma entrada entre múltiplas.

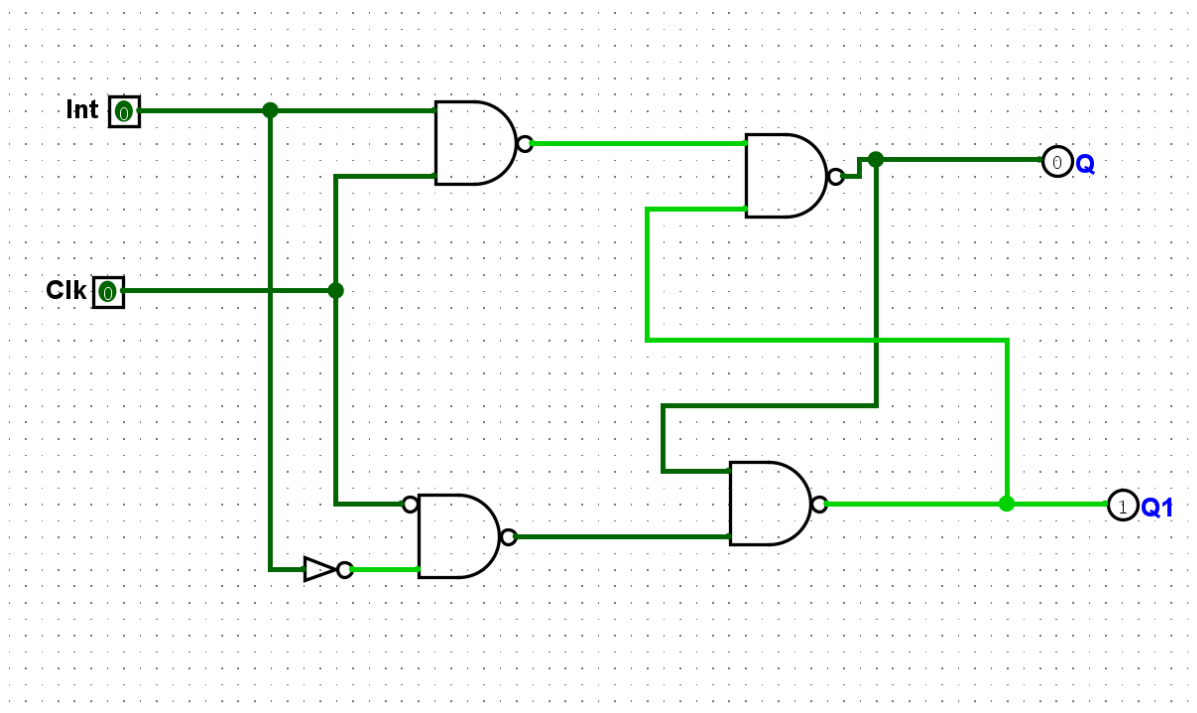


2.6 FLIP-FLOP TIPO D

Função: Armazena um único bit de dados, alterando seu estado com base em pulsos de clock, permitindo a sincronização em sistemas digitais.

Construção Detalhada: Formado por portas NAND ou NOR, o flip-flop D possui uma entrada de dados e uma entrada de clock. Cada pulso de clock armazena o valor de D, com o flip-flop retraindo esse valor até o próximo pulso.

Aplicação: Fundamentais na construção de memórias e registradores, o flip-flop D é usado para registrar estados e dados temporários em dispositivos digitais, essenciais para operações sequenciais.



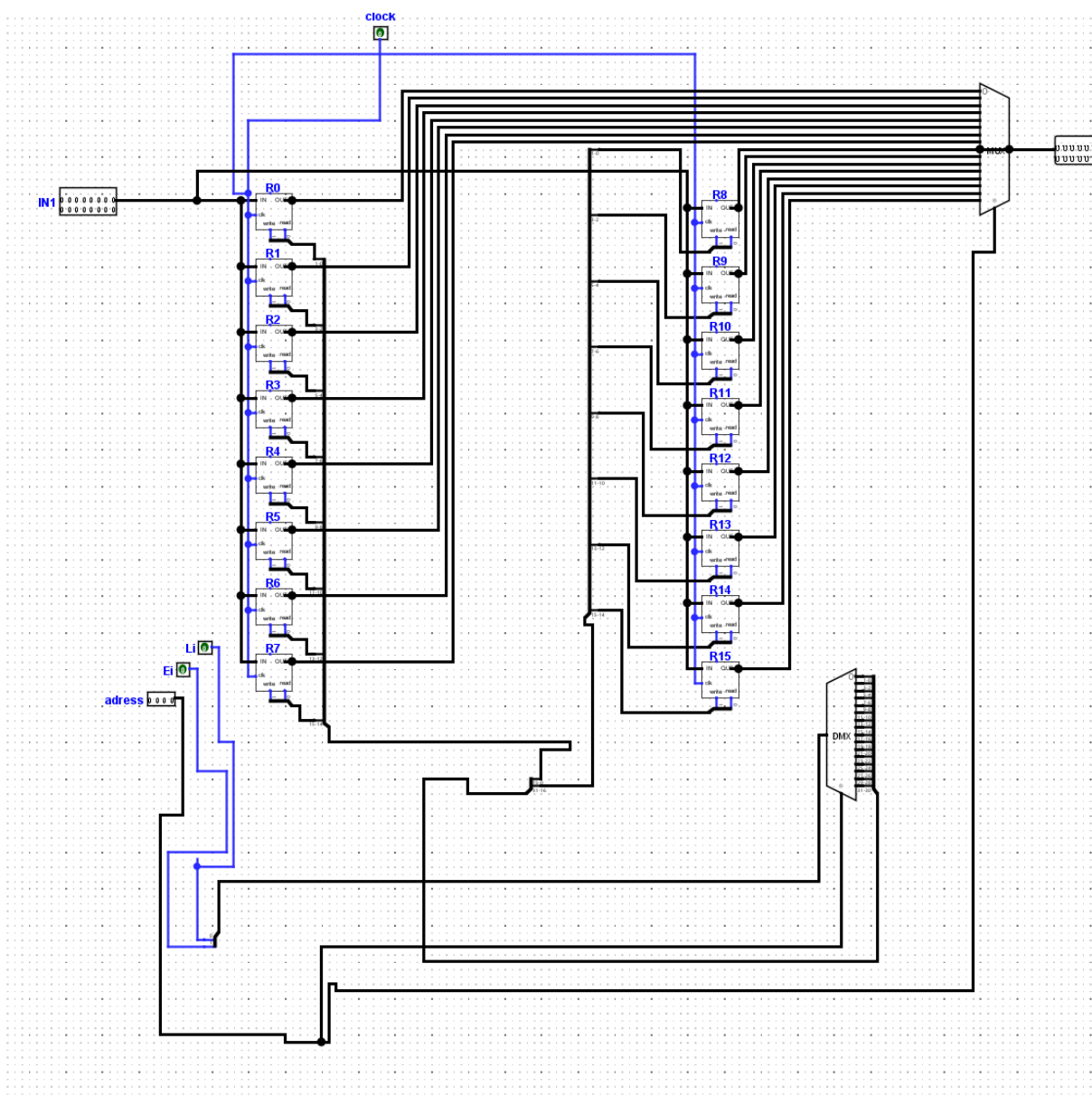
2.7 CONTADOR

Função: Incrementa ou decrementa o valor armazenado em uma sequência binária, a cada pulso de clock, e pode ter estados definidos pelo número de flip-flops.

Construção Detalhada: Em geral, consiste em flip-flops D ou T conectados em série, onde cada flip-flop representa um bit do contador. O contador gera uma sequência específica de números binários.

Aplicação: Comum em sistemas que precisam de controle sequencial de eventos ou de temporização, como contadores de tempo, contagem de instruções e controle de ciclos em sistemas digitais.

2.8 TRANSFERÊNCIA ENTRE REGISTRADORES COM CONTADOR DE 4 BITS



Função: Realiza a transferência de dados entre dois registradores, controlada por um contador de 4 bits que define a sequência e número de operações.

Construção Detalhada: Composto de flip-flops para armazenamento e um contador que monitora cada transferência, gerando os pulsos de clock necessários para sincronizar a movimentação dos dados entre registradores.

Aplicação: Muito útil em unidades de controle, onde operações precisas de transferência entre registradores são essenciais para coordenar e sincronizar dados.

3 ARQUITETURA E COMPONENTES

A arquitetura do SAP é bem simples, dispõe de um barramento de 8 bits que é comum a todos os componentes o que faz a necessidade de se criar controle para entrada e saída de dados dos componentes.

4 ARQUITETURA

A arquitetura do microprocessador Z80 é conhecida por sua versatilidade e eficiência. Baseado em uma arquitetura de 8 bits, o Z80 apresenta uma gama abrangente de registradores, incluindo registradores de uso geral, registradores de índice e registradores de propósito especial, como o registrador de estado. O Z80 oferece uma variedade de modos de endereçamento, permitindo acesso direto à memória, operações de entrada e saída eficientes e suporte para vetores de interrupção. A arquitetura do Z80 também é notável por sua compatibilidade com o conjunto de instruções do Intel 8080, o que facilitou a migração de software e sistemas existentes para a plataforma Z80. Com sua combinação de recursos avançados e compatibilidade, o Z80 se tornou uma escolha popular para uma ampla gama de aplicações, desde computadores pessoais até sistemas embarcados e dispositivos industriais.

É importante falar que o microprocessador Z80 é um exemplo notável de arquitetura Complex Instruction Set Computer (CISC), caracterizada pela presença de um amplo conjunto de instruções complexas e variadas, destinadas a facilitar a programação e a execução de tarefas complexas em um único ciclo de máquina.

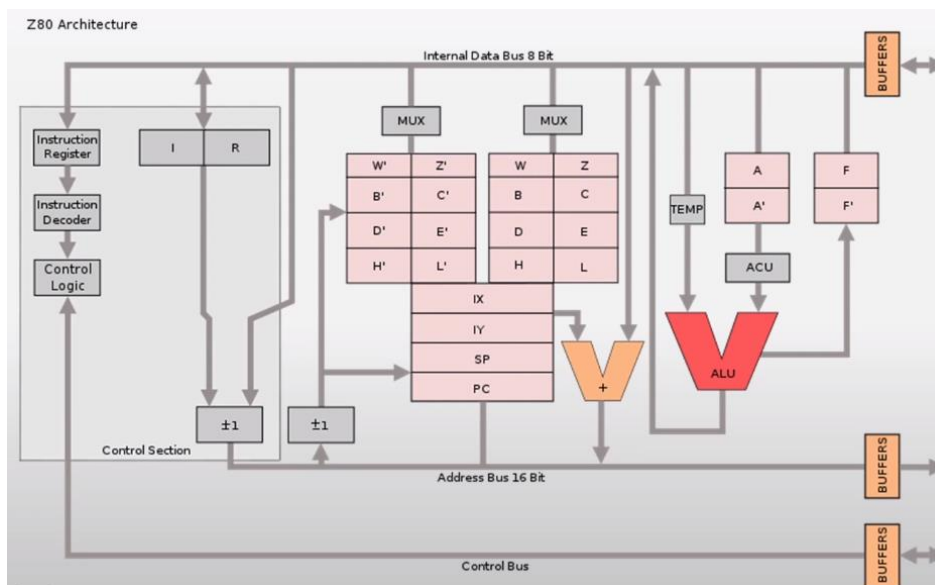


Figura 2: Arquitetura interna do Z80

4.1 Registradores

Os registradores do microprocessador Z80 desempenham um papel crucial no processamento de dados, controle de fluxo e gerenciamento de operações. Eles podem ser divididos em dois grupos principais: registradores principais e registradores de propósito especial.

Registradores Principais:

- A (Acumulador): Usado para operações aritméticas e lógicas, armazenando temporariamente dados e resultados intermediários.
- F (Flags): Mantém informações sobre o estado do processador após a execução de operações, como indicadores de zero, carry, sinal e outros flags de condição.
- B, C, D, E, H, L: Registradores de uso geral de 8 bits, utilizados em pares a fim de formar 16 bits, para armazenar dados temporários, endereços de memória e para operações de manipulação de dados.

Registradores de Propósito Especial:

- PC (Program Counter): Mantém o endereço da próxima instrução a ser executada.
- SP (Stack Pointer): Aponta para o topo da pilha de dados, utilizada para armazenar endereços de retorno de sub-rotinas e dados temporários.

- IX e IY (Registadores de Índice X e Y): Usados para operações de indexação em acessos a tabelas e estruturas de dados.
- I (Registrador de Interrupção): Utilizado em sistemas que lidam com interrupções para indicar o vetor de interrupção a ser executado.
- R (Registrador de Refrescamento de Memória): Auxilia no processo de refrescamento de memória dinâmica (DRAM), garantindo a integridade dos dados armazenados.

4.2 Barramento

O Z80 utiliza três principais barramentos para comunicação: o Barramento de Dados (Data Bus), o Barramento de Endereço (Address Bus), e o Barramento de Controle (Control Bus), como é mostrado na imagem a seguir:

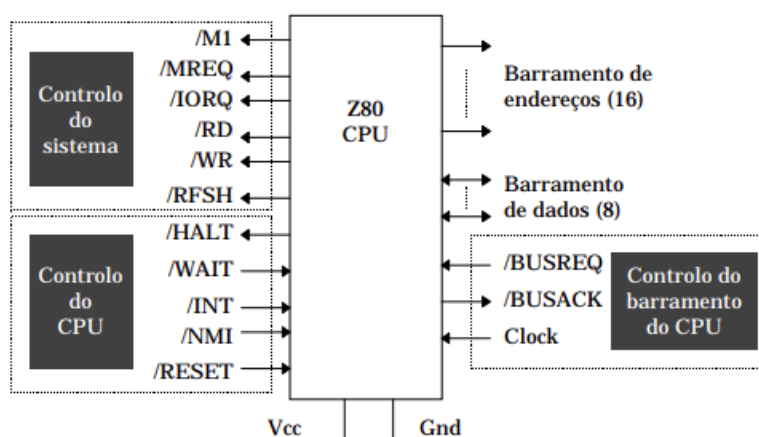


Figura 3: Barramentos do Z80

O Barramento de Dados é bidirecional e transmite dados entre o Z80 e a memória ou periféricos. No Z80, esse barramento é de 8 bits, o que significa que ele pode transferir 8 bits de dados simultaneamente.

O Barramento de Endereço é unidirecional e transmite endereços da CPU para a memória ou periféricos. O Z80 tem um Barramento de Endereço de 16 bits, o que permite endereçar até 64 KB de memória.

O Barramento de Controle é usado para transmitir sinais de controle que coordenam as operações do Z80. Inclui sinais como R/W (Read/Write), MREQ (Memory Request), IORQ (Input/Output Request), etc.

5 MODOS DE ENDEREÇAMENTO

Os modos de endereçamento são métodos ou técnicas utilizadas por um processador para determinar a localização de dados ou instruções na memória durante a execução de um programa. Eles definem como o processador interpreta os operandos das instruções e como acessa os dados na memória. O microprocessador Z80 oferece uma variedade de modos de endereçamento que permitem aos programadores acessar e manipular dados de forma flexível e eficiente. Os modos de endereçamento podem incluir:

- Endereçamento Direto: Permite que o operando de uma instrução esteja diretamente incorporado no código de operação. Por exemplo, LD A, 10h carrega o valor imediato 10h no registrador A.
- Endereçamento de Registro: Os operandos da instrução estão localizados em um registro específico da CPU. Por exemplo, ADD A, B adiciona o conteúdo do registrador B ao registrador A.
- Endereçamento Indireto: O endereço do operando está armazenado em um registrador. Por exemplo, LD A, (HL) carrega o conteúdo da memória cujo endereço está no registrador HL para o registrador A.
- Endereçamento Indexado: Permite acessar elementos de estruturas de dados, arrays ou tabelas. Usa registradores de índice, como IX e IY. Por exemplo, LD A, (IX+d) carrega o conteúdo da memória cujo endereço é calculado como IX+d para o registrador A.
- Endereçamento Baseado em Pilha: Facilita a manipulação da pilha de dados. As operações de push e pop são exemplos de endereçamento baseado em pilha.
- Endereçamento Relativo: Permite operações de desvio condicional ou incondicional baseadas em deslocamentos relativos. Por exemplo, JP NZ, offset desvia para o endereço determinado pelo offset se a flag Z estiver zerada.

Na arquitetura do Z80 em relação dos processadores anteriores foi introduzido 2 registradores de índice IX e IY o que facilitou o acréscimo de novos modos de endereçamento como esse já citado no parágrafo acima, o endereçamento indexado, assim como outros também, o que não era possível fazer antes.

6 COJUNTO DE INSTRUÇÕES

O microprocessador Z80 possui um conjunto de instruções bastante extenso, composto por aproximadamente 158 instruções distintas. Essas instruções abrangem uma variedade de operações aritméticas, lógicas, de transferência de dados, controle de fluxo, manipulação de pilha, acesso à memória, operações de entrada e saída, entre outras funcionalidades.

A variedade e complexidade das instruções do Z80 permitem que programadores desenvolvam uma ampla gama de aplicativos e algoritmos, desde simples operações aritméticas até sistemas mais complexos e sofisticados. A compreensão detalhada do conjunto de instruções do Z80 é essencial para programar de forma eficaz e otimizada para esse microprocessador.

As instruções suportadas pelo Z80 agrupam-se nos onze tipos principais de acordo com a tabela 1, onde possui também o número estimado de instruções para cada tipo. Essas instruções no entanto não se dividem tão rigidamente pois existem algumas instruções cuja funcionalidade levanta dúvidas acerca do grupo em que deveriam ser inseridas.

Tipo de Instrução	Quantidade	Exemplos de Instruções
Transferência de dados de 8 bits (8-bit loads)	11	LD A, B; LD C, (HL); LD (HL), 0x55
Transferência de dados de 16 bits (16-bit loads)	5	LD BC, 0x1234; LD DE, 0xABCD
Instruções de troca, transferência de blocos e pesquisa em blocos	5	EX (SP), HL; LDIR; CPIR
Instruções aritméticas e lógicas para dados de 8 bits (8-bit arithmetic and logic operations)	16	ADD A, B; SUB C; AND D; OR E
Instruções genéricas do tipo aritmético e para controlo do CPU (general-purpose arithmetic and CPU control)	13	INC BC; DEC DE; NOP; HALT
Instruções aritméticas para dados de 16 bits (16-bit arithmetic operations)	11	ADD HL, BC; SBC HL, DE; INC DE
Instruções de rotação e deslocamento (rotates and shifts)	8	RLC A; RRC B; RL C; RR D
Instruções de manipulação ao bit (bit set, reset and test operations)	12	SET 3, (HL); RES 5, C; BIT 2, E
Instruções de salto (jumps)	7	JP 0x8000; JR Z, label; DJNZ loop_start
Chamada de subrotinas e retorno (calls, returns and restarts)	10	CALL 0x1234; RET; RST 0x08
Instruções de entrada e saída (input and output operations)	10	IN A, (0x03); OUT (0x01), A; IN B, (C)

Tabela 1: tipos principais de conjunto de instruções com a quantidade aproximada de cada tipo

7 APLICAÇÕES E USO DO Z80

O microprocessador Z80 foi lançado em meados da década de 1970 e rapidamente se tornou um dos processadores mais populares e influentes da história

da computação. Suas aplicações e uso ao longo das décadas demonstram sua versatilidade e capacidade de adaptação às necessidades tecnológicas emergentes. Aqui está uma visão geral do uso e das aplicações do Z80 ao longo das décadas



Imagem 4: Radio Shack TRS-80
Model 1 microcomputer

TRS-80 da RadioShack e o CP/M, que era um sistema operacional popular para microcomputadores baseados no Z80.

Na década de 70, década de seu lançamento, foi amplamente utilizado em muitos dos primeiros computadores pessoais e microcomputadores, como o Altair 8800, o

Posteriormente continuou a ser o processador central em muitos dos populares computadores domésticos da década de 1980, incluindo o ZX Spectrum, o MSX e o Amstrad CPC. O Z80 também encontrou uso em uma variedade de aplicações industriais e sistemas embarcados devido à sua confiabilidade, baixo custo e eficiência energética.

Nos dias de hoje resta nostalgia. O microprocessador mantém um forte seguimento de entusiastas de retrocomputação e colecionadores de computadores antigos, que continuam a explorar e experimentar com sistemas baseados no Z80. Embora não seja tão prevalente quanto antes, o Z80 ainda é usado em algumas aplicações de microcontroladores e emulações, especialmente em sistemas legados e herdados que precisam de suporte contínuo.

Além disso, o conhecimento do Z80 e de sua arquitetura ainda é valioso para muitos programadores e engenheiros, especialmente aqueles envolvidos em projetos de hardware, sistemas embarcados e desenvolvimento de sistemas operacionais. Sua simplicidade, versatilidade e eficiência continuam a ser apreciadas por uma variedade de aplicações e comunidades técnicas.

8 CONCLUSÃO

O microprocessador Z80 tem desempenhado um papel notável na história da computação, desde seu surgimento na década de 1970 até os dias de hoje. Sua versatilidade, confiabilidade e eficiência fizeram dele uma escolha popular em uma variedade de aplicações, desde os primórdios dos computadores pessoais até sistemas industriais e embarcados.

Na década de 1970, o Z80 emergiu como o coração de muitos dos primeiros microcomputadores e sistemas operacionais, proporcionando aos usuários uma maneira acessível de interagir com a computação. Durante os anos 80, ele desempenhou um papel fundamental na explosão dos computadores domésticos, permitindo o acesso generalizado à tecnologia da informação.

Hoje, embora tenha sido em grande parte substituído por arquiteturas mais avançadas em muitas aplicações, o Z80 ainda mantém um lugar especial na história da computação e na mente de entusiastas de retrocomputação. Sua presença é evidente em projetos de hobby, coleções de retrocomputadores e em algumas aplicações de sistemas legados.

Em resumo, o legado do Z80 vai além de sua arquitetura e especificações técnicas. Ele representa uma era de inovação, acesso à computação pessoal e a fundação para muitos dos avanços tecnológicos que desfrutamos hoje. Sua trajetória ilustra a importância da versatilidade e da adaptação em um mundo em constante evolução tecnológica.

Este trabalho explora a função e construção de nove CIs implementados no Logisim Evolution, abordando desde somadores e subtratores até multiplexadores e flip-flops. Cada CI desempenha um papel fundamental nos circuitos digitais, sendo amplamente utilizado em sistemas de controle e processadores modernos. A simulação desses circuitos no Logisim Evolution oferece uma perspectiva prática sobre como portas lógicas podem ser organizadas para formar circuitos complexos. Assim, o estudo e implementação desses CIs facilitam a compreensão da arquitetura e funcionamento de sistemas digitais e contribuem para o desenvolvimento de dispositivos de computação mais eficientes.

9 REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ZILOG. Z80 CPU: User Manual. San Jose: Zilog, 2002. Disponível em: z80.info

YOUNG, S. The undocumented Z80 documented. 2003. Disponível em: z80.info

J. M. Martins Ferreira. Microprocessador Z80. Faculdade de Engenharia da UP (DEEC) Disponível em: <https://web.fe.up.pt/~jmf/mp0001/downloads/z80a.pdf>

QUADROS, Daniel. O Microprocessador Zilog Z80. DQSoft, 17 de jan. de 2017. Disponível em: <https://dqsoft.blogspot.com/2017/01/o-microcontrolador-zilog-z80.html>

PISARRA, Frederico Lamberti. Processadores de 8 bits: MOS Tech 6502 e Zilog Z80. Bit Is Myth, 04 de out. de 2017. Disponível em: <https://bitismyth.wordpress.com/2017/10/04/processadores-de-8-bits-mos-tech-6502-e-zilog-z80/>