

## O DESENVOLVIMENTO DE PROCESSADORES USANDO LÓGICA PROGRAMÁVEL COMO FERRAMENTA DIDÁTICA

**Valfredo Pilla Jr** – [vpilla@unicenp.edu.br](mailto:vpilla@unicenp.edu.br)

Centro Universitário Positivo, Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas, Curso de Engenharia da Computação

Rua Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza, 5300

Bairro Campo Comprido

81280-330 – Curitiba – PR

**Edson Pedro Ferlin** – [ferlin@unicenp.edu.br](mailto:ferlin@unicenp.edu.br)

***Resumo:** A busca permanente no equilíbrio entre teoria e prática no processo de ensino-aprendizagem é um desafio para todos os envolvidos no sistema educacional, especialmente para os professores que devem ser os agentes catalisadores (motivadores). Uma das iniciativas adotadas no Curso de Engenharia da Computação do UnicenP é a utilização dos recursos de lógica programável para o desenvolvimento de processadores didáticos usando linguagem de descrição de hardware e sintetizados em dispositivos lógicos programáveis. Este tipo de ação vem sendo utilizado nas disciplinas da área digital, como Sistemas Digitais e Microprocessadores, nas quais se têm constatado melhorias tanto quantitativas, como na quantidade de atividades prática, quanto qualitativas, como um maior entendimento de assuntos complexos por parte dos estudantes.*

***Palavras-chave:** Processadores, Lógica Programável, Processo Ensino-Aprendizagem*

### 1 INTRODUÇÃO

A busca permanente no equilíbrio entre teoria e prática no processo de ensino-aprendizagem é um desafio para todos os envolvidos no sistema educacional, especialmente para os professores que devem ser os agentes catalisadores (motivadores).

Uma das iniciativas adotadas no Curso de Engenharia da Computação do UnicenP é a utilização dos recursos de lógica programável para o desenvolvimento de processadores didáticos usando linguagens de descrição de hardware (HDL – *Hardware Description Hardware*) (D'AMORE, 2005) e sintetizados em dispositivos lógicos programáveis como os FPGAs (*Field Programmable Gate-Arrays*) e os CPLDs (*Complex Programmable Logic Devices*) (ZEIDMAN, 2002) da Altera Corporation (<http://www.altera.com>).

Com estes recursos torna-se possível o rápido desenvolvimento de sistemas de diferentes níveis de complexidade, os quais podem ser adequados ao nível de conhecimento do estudante. Isto permite aos estudantes desenvolverem soluções que podem ser implementadas

com facilidade, diminuindo o tempo para que resultados práticos possam ser alcançados, o que muitas vezes implica em aumento da satisfação pela capacidade de realização e conseqüente aumento do interesse pelos conteúdos ministrados.

A teoria é a base para a prática, e esta por sua vez desenvolve, justifica e experimenta novos conceitos que se tornam novas teorias ou formulações proporcionando uma nova prática, e assim sucessivamente.

Desta forma, este binômio teoria-prática deve produzir uma espiral ascendente, representando o conhecimento que está sendo agregado pelo estudante ao longo do processo. Isto deve se dar ao longo das séries, de modo que seja um processo sólido e consistente para a formação do profissional que se está ajudando no desenvolvimento do saber técnico-científico do estudante.

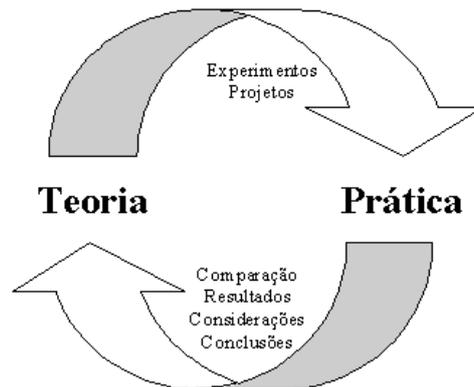


Figura 1 – Relação Teoria – Prática do Processo de Ensino-Aprendizagem

Na Figura 1 observa-se que a Teoria por meio dos experimentos e projetos produz a Prática, que consolida e reforça os conhecimentos. Por outro lado, a Prática através da comparação/discussão, resultados, considerações e conclusões agrega novos elementos à Teoria, propiciando novas maneiras de se ensinar, inclusive com novas ferramentas produzidas neste processo.

## 2 BREVE HISTÓRICO DO CURSO

O Curso de Engenharia da Computação do UnicenP, apresentado em TOZZI *et al* (1999), tem regime seriado anual e é oferecido nos turnos Matutino e Noturno. O curso oferecido no turno matutino tem duração de 4 anos e o curso oferecido no turno noturno tem duração de 5 anos. A grade curricular nos dois turnos contém exatamente as mesmas disciplinas e cargas horárias, diferindo apenas em sua distribuição ao longo do período de duração do curso, devido à quantidade de aulas ofertadas em cada turno. Ambos os turnos tem uma carga horária total de 4.210 horas-aula, sendo 160 horas de Estágio Supervisionado Obrigatório, 80 horas para o Projeto Final de Curso e 50 horas de Atividades Complementares, sem contar com as atividades extra-classe, como trabalhos, pesquisas e projetos.

A estrutura curricular reúne o conjunto de disciplinas em duas grandes áreas de formação Profissional, *hardware* e *software*, conforme descrito em PILLA JR *et al* (2003), juntamente com disciplinas da área de formação Fundamental (Cálculo, Física e outras), de formação Humanística (Humanidades), de Formação Gerencial (Gestão Empresarial e Gestão de Projetos) e de Formação de Especialidade (Computação Configurável, Inteligência Computacional).

Detalhes adicionais do curso encontram-se descritos no Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia da Computação do UnicenP, apresentado em FERLIN & TOZZI (2002).

### 3 LÓGICA PROGRAMÁVEL E O CURSO

A Figura 2 apresenta um breve histórico da tecnologia de lógica programável e o Curso de Engenharia da Computação do UnicenP.

- **1999.** Assinatura do convênio de Parceria entre o UnicenP e a PI-Componentes, representante no Brasil da Altera.
- **2000.** Aquisição de kits de dispositivos e softwares; início da utilização da tecnologia na Disciplina Sistemas Digitais.
- **2001.** Laboratório de Lógica Programável é concluído; primeiro ano de uso Pleno da Tecnologia - Fase I.
- **2002.** Instituição incluída na Fase II da parceria – uso pleno da tecnologia. A disciplina Microprocessadores passa a fazer uso da tecnologia de Lógica Programável.
- **2003.** Prêmio – classificação da Instituição como Parceira Preferencial (com base na avaliação das atividades de uso da tecnologia de lógica programável no ano de 2002) – nível máximo de parceria é alcançado.
- **2004.** Laboratório de Projetos também é constituído e também dispõe das ferramentas de Lógica Programável; Prêmio – classificação da Instituição como Parceira Preferencial (com base na avaliação das atividades de uso da tecnologia de lógica programável no ano de 2003) – nível máximo de parceria.
- **2005.** Laboratório de Projetos é constituído e também dispõe das ferramentas de Lógica Programável; Prêmio – classificação da Instituição como Parceira Preferencial (com base na avaliação das atividades de uso da tecnologia de lógica programável no ano de 2004) – nível máximo de parceria; A disciplina Optativa denominada Computação Reconfigurável passa a fazer uso da infra-estrutura de lógica programável.
- **2006.** Prêmio – classificação da Instituição como Top (com base na avaliação das atividades de uso da tecnologia de lógica programável no ano de 2005) - nível máximo de parceria instituída a partir do ano de 2005; um Curso de Pós-Graduação Latu-Sensu intitulado “Projeto de Sistemas Digitais e Analógicos Reconfigurável” passa a ser ofertado.

Figura 2 – Histórico da Parceria Curso de Engenharia da Computação / UnicenP e Altera (anos de 1999 a 2006).

#### 3.1 Vantagens e Desvantagens da Lógica Programável

Os dispositivos lógicos programáveis permitem que se efetue a programação/reprogramação dos mesmos, o que garante um tempo de desenvolvimento menor e também uma rápida alteração no projeto do sistema.

Com poucos componentes, do tipo FPGA ou CPLD, consegue-se desenvolver os projetos digitais complexos, e isto resulta em uma área menor de placa de circuito integrado, tornando o projeto mais compacto. Em função do encapsulamento, os componentes eletrônicos e a complexidade das ligações (interligação) são escondidos, possibilitando uma maior segurança do projeto. Deste modo, a possibilidade de se copiar o circuito é preservada, o que garante o direito referente à propriedade intelectual do projeto.

Como decorrência da utilização de poucos circuitos integrados, tem-se a eliminação de uma grande quantidade de ligações externas aos dispositivos, reduzindo significativamente os problemas relacionados com ligação, como soldas mal-feitas, soldas frias, pontos sem solda, e outras.

A mudança da programação dos dispositivos garante uma rápida alteração do projeto, pois basta conectar o cabo para a gravação no dispositivo e efetuar a programação do dispositivo, e o dispositivo passará a desempenhar a nova função programada.

Em virtude da maior parte do circuito estar em alguns poucos integrados ou até mesmo em um único dispositivo, o tempo de atraso é menor, isto por que os componentes estão fisicamente muito próximos um dos outros, e também a imunidade a ruídos/interferências externas é garantida, por meio do encapsulamento que garante este aspecto.

O uso de Linguagem de Descrição de *Hardware*, como VHDL e AHDL, para efetuar o desenvolvimento do projeto do sistema digital e do ambiente de desenvolvimento Quartus II, da ALTERA, agiliza enormemente o processo de desenvolvimento, prototipação e testes.

Em virtude da utilização destes dispositivos pode-se desenvolver projetos mais complexos, com a utilização de microprocessadores, memórias, e outros, podendo agregar as bibliotecas prontas.

Assim, o processo de desenvolvimento com esta tecnologia é acelerado, o que permite ao estudante alcançar rapidamente resultados o que pode ser muito estimulador no processo ensino-aprendizado. Ainda, com uma única ferramenta de desenvolvimento pode-se desenvolver muitos conteúdos relacionados às disciplinas de Sistemas Digitais e de Microprocessadores, dentre outras.

Porém, um problema observado com o uso destas ferramentas é que inicialmente os estudantes tentam desenvolver projetos esquecendo-se que se trata de *hardware* e não de *software*, o que pode muitas vezes trazer dificuldades ao aprendizado, em especial, para aqueles estudantes que são mais afeitos à área de *software*.

## 4 DISCIPLINAS ENVOLVIDAS

A seguir descreve-se as disciplinas diretamente relacionadas com o aprendizado com a ferramenta de lógica programável (PILLA JR *et al*, 2003) no Curso de Engenharia da Computação.

### 4.1 Disciplina Sistemas Digitais

A disciplina Sistemas Digitais ocorre na segunda série do curso matutino e na terceira série do turno noturno. Possui uma carga horária de 160 horas-aula anuais. Ela contempla uma revisão de dispositivos semicondutores aplicados tanto aos circuitos como tecnologias de circuitos integrados, revisão de álgebra booleana (já desenvolvida em disciplina de Lógica Matemática na primeira série do curso), simplificação de funções e custo, projeto de lógica combinacional e seqüencial, aplicação de dispositivos de baixa, média e alta integração de dispositivos TTL (*Transistor Transistor Logic*) e CMOS (*Complementary MOS*) e dispositivos de altíssima integração como os FPGAs e CPLDs. Além disso, há as técnicas de projeto de sistemas digitais convencionais e baseadas em linguagens de descrição de hardware. Complementarmente, estuda-se outros dispositivos como memórias semicondutoras.

No primeiro semestre desta disciplina são desenvolvidos os conteúdos de tecnologia de circuitos digitais, que seguem uma revisão de dispositivos eletrônicos como elementos de chaveamento e de instrumentação eletrônica básica (conteúdos estudados na disciplina Eletrônica que a precede). Estudam-se também os dispositivos como multiplexadores, demultiplexadores, codificadores, decodificadores, transcodificadores, *buffers* com terceiro estado, elementos de armazenamento como *latches* e *flip-flops* e circuitos seqüenciais assíncronos. O projeto de uma pequena unidade de lógica e aritmética com tecnologia de baixo e médio níveis de integração é uma das tarefas desenvolvidas neste semestre, seguindo a arquitetura de álgebra booleana reversa. Este trabalho é integrado com a disciplina Arquitetura e Organização de Computadores, que é concomitante (PILLA JR *et al*, 2003; FERLIN *et al*, 2004). A ferramenta básica para projeto de lógica programável, o *software* Quartus II (<http://www.altera.com>), é neste momento empregado como ferramenta de

simulação. Assim, os estudantes tomam um primeiro contato com a mesma e principalmente começam a se habituar à interface de simulação que é complexa, porém de fundamental aplicação.

No segundo semestre são aborda-se projetos com lógica seqüencial síncrona através de técnicas tradicionais e o projeto tanto de lógica combinacional quanto seqüencial com o apoio da linguagem de descrição de *hardware* e implementação em FPGAs e/ou CPLDs. Um projeto final é devolvido novamente em estreita parceria com a disciplina Arquitetura e Organização de Computadores, um processador didático CISC (*Complex Instruction Set Computer*) em que todos os elementos são alvo de projeto, além de sua linguagem de máquina. A avaliação é realizada em FPGA onde programas desenvolvidos pelos estudantes são processados pelo mesmo. Ainda, alguns kits didáticos são utilizados em experiências optativas envolvendo, por exemplo, o projeto de lógica digital para controlador de sistema de semáforos, automação de máquina de lavar, entre outras experiências.

## 4.2 Disciplina Microprocessadores

A disciplina Microprocessadores ocorre na terceira série do curso matutino e na quarta série do curso noturno, com uma carga horária total de 160 horas-aula teóricas e práticas.

A ênfase desta disciplina é o projeto de sistemas dedicados com processadores e microcontroladores. Tópicos relacionados com a organização do computador de propósito geral ou arquiteturas para alto desempenho são também estudados. As arquiteturas mais utilizadas são as do microcontrolador 8051 (principal tópico da disciplina em seu segundo semestre) e de um processador RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) (CICHACZEWSKI *et al.*, 2003) desenvolvido em linguagem de descrição de *hardware* (abordado no primeiro semestre da disciplina). Outros exemplos de arquiteturas comerciais de processadores e microcontroladores são também usados como exemplos ilustrativos. Ainda, é tratado o uso de periféricos necessários para a construção de sistemas dedicados como conversores analógico-digitais e digitais-analógicos, *watch-dog timers*, sistema de interrupção e temporização, entre outras arquiteturas.

O processador RISC baseado em lógica programável utilizado nesta disciplina pode ser utilizado tanto como alvo de projeto em si como também ser utilizado base para projeto de unidades funcionais como sistemas de interrupção, *watch-dog timer*, contadores e temporizadores embarcados, fundamentais para aplicações dedicadas ou subsistemas voltados ao desempenho como estruturas de *pipeline*, gerenciamento de memória cache, entre outros. Ainda, este processador pode ser aplicado no projeto de sistemas completos dedicados, como simples processador.

## 5 PROJETOS DE PROCESSADORES EM LÓGICA PROGRAMÁVEL

O projeto de processadores nas disciplinas Sistemas Digitais e Microprocessadores faz uso da lógica programável como ferramenta didática, a qual permite uma participação direta do aluno na construção de sistemas complexos e sua compreensão.

A elaboração de sistemas complexos com sua implementação e teste torna-se viável em termos do tempo necessário através das ferramentas da lógica programável (FERLIN & PILLA JR, 2004).

### 5.1 Processador CISC

Este processador é um projeto que desenvolvido ao final da disciplina Sistemas Digitais conta com o apoio da disciplina Arquitetura e Organização de Computadores, sendo inclusive objeto de avaliação em ambas as disciplinas.

O principal objetivo do desenvolvimento deste projeto na disciplina Sistema Digitais é a apreensão, o aprofundamento e a integração de diversos conhecimentos:

- Circuitos lógicos combinacionais e seqüenciais;
- Tecnologia de lógica programável;
- Arquitetura de processadores;
- Programação de processadores em linguagem *assembly* e de máquina.

O processador é constituído por unidades funcionais descritas em HDL com uma integração através de RTL (Figura 3) (POLLI *et al*, 2004). O diagrama em blocos encontra-se na Figura 3. As unidades funcionais são:

- A – Acumulador;
- ULA – Unidade lógica aritmética;
- B – Registrador auxiliar;
- RI – Registrador de instruções;
- PC – Contador de programa;
- LD – *Latch* de dados;
- LA – *Latch* de endereço;
- MUX – Mutiplexador;
- UC – Unidade de controle;
- MEMORIA – memória para programa e dados.

Há um total de dezesseis instruções em seu conjunto de instruções.

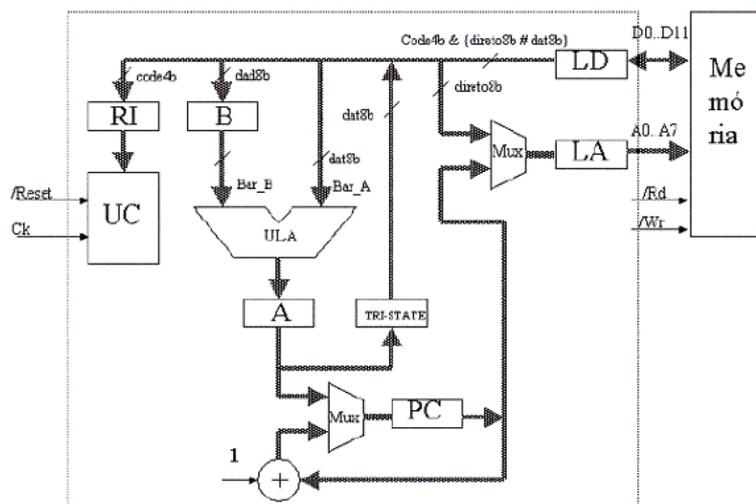


Figura 3 – Arquitetura do processador CISC.

## 5.2 Processador RISC

Este projeto é desenvolvido na disciplina Microprocessadores servindo como base para vários outros experimentos. Além dos objetivos relacionados ao desenvolvimento do processador CISC (seção 5.1), pode-se ainda destacar que este projeto tem como meta ser:

- Arquitetura simples e flexível;
- Base para elaboração de sistemas dedicados (CÚNICO & PILLA JR, 2005);
- Permitir a instalação de sistemas dedicados para ao aumento do desempenho e ao interfaceamento de periféricos;

A arquitetura deste processador (CICHACZEWSK *et al*, 2003), apresentada na Figura 4, possui os seguintes elementos básicos:



Na Figura 6 tem-se um gráfico que apresenta a quantidade de horas-aula destinadas ao estudo e desenvolvimento de projetos com a tecnologia de lógica programável no Curso de Engenharia da Computação. É importante destacar que o uso deste recurso ocorreu a partir do ano de 2000 somente na disciplina de Sistemas Digitais, pois o curso matutino estava em seu segundo ano, e o curso noturno estava em seu primeiro ano. Em 2001 adotou-se também na disciplina de Microprocessadores na turma matutina. Em 2003 a disciplina de Sistemas Digitais da turma noturna passou também a utilizar esta tecnologia. No ano de 2004 este recurso passou a fazer parte da disciplina de Microprocessadores da turma noturna, ao mesmo tempo em que passou a integrar os Projetos de Final de Curso na turma matutina. E, a partir de 2005 a utilização desta tecnologia foi consolidada com a adoção em ambas as turmas (matutina e noturna) e também com a oferta de uma disciplina optativa de Computação Reconfigurável.

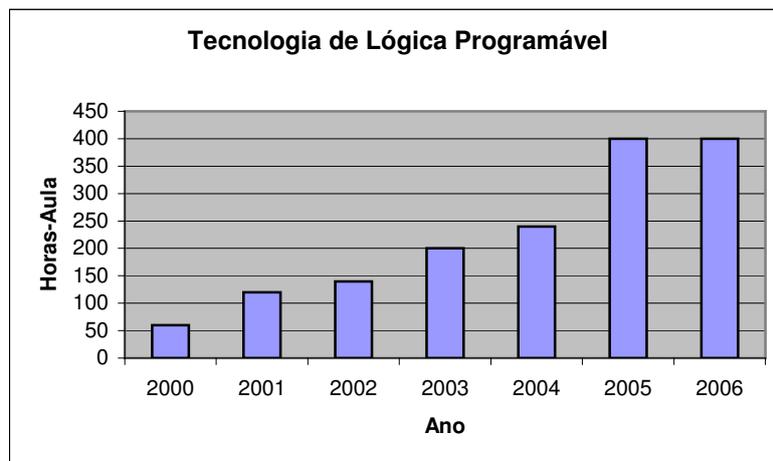


Figura 6 – Quantidade de horas-aula aplicadas para a utilização da tecnologia de lógica programável.

## 7 CONCLUSÕES

A incorporação desta tecnologia trouxe uma série de benefícios diretos e indiretos para o curso e para a formação profissional do nosso estudante, preparando-o melhor para o mercado de trabalho cada vez mais competitivo e exigente.

No curso pode-se constatar um aumento no número de Projetos de Final de Curso que utilizam esta tecnologia, além dos projetos de pesquisa e de parceria que também incorporaram em seu desenvolvimento as ferramentas e recursos da lógica programável. Isto trouxe como resultado direto um menor tempo de desenvolvimento, possibilitando a incorporação de outras características e funcionalidades que antes não eram possíveis com a utilização somente de dispositivos discretos.

Esta mudança de comportamento fez com que se ofertasse desde 2005 uma disciplina optativa anual de 80 horas-aula, denominada de Computação Reconfigurável, que possibilita um maior aprofundamento dos conhecimentos dos estudantes nesta área, capacitando-os ainda mais no desenvolvimento de sistemas computacionais complexos utilizando *hardware* reconfigurável.

## 8 REFERÊNCIAS

D'AMORE, R. **VHDL**: descrição e síntese de circuitos digitais. São Paulo: LTC, 2005.

FERLIN, E. P.; TOZZI, M. J. First Integrated Examination of the Computer Engineering Program. In: FIE 2002 - 32rd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference. Boston - MA - USA, 2002.

FERLIN, E. P.; PILLA JR, V. Microprocessors: From Theory to Practice, a Didactic Experience. In: FIE 2004 - 34rd ASEE/IEEE - Frontiers in Education Conference, [CDROM]. Savanaah - USA, 2004.

FERLIN, E. P.; PILLA JR, V.; CUNHA, J. C.. A Multidisciplinarietà no Ensino no Curso de Engenharia da Computação: Uma Questão Fundamental. In: COBENGE 2004 - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. POLLI, V. A.; MALDONADO, L. A.;

PILLA JR, V. Microprocessador CISC em FPGA. In: IX PIBIC - Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica CEFET-Pr/CNPq, p.205-208. Curitiba-PR, 2004.

TOZZI, M. J.; DZIEDZIC, M.; FERLIN, E. P.; NITSCH, J. C.; RODACOSKI, M. Os Cursos de Engenharia do UnicenP. In: COBENGE 1999 - XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO EM ENGENHARIA, Natal. **Anais do COBENGE 1999**, Natal, 1999, p. 2662-2669.

ZEIDMAN, B. **Designing with FPGAs and CPLDs**. CPM Books, 2002.

## **THE DEVELOPMENT OF PROCESSORS USING PROGRAMMABLE LOGIC AS DIDACT TOOL**

***Abstract:** The permanent search for the theory and practice balance in the teaching-learning process is a challenge for everyone involved in the educational system, specially for the professors who must be the catalyser agent. One of the adopted initiatives in the Computer Engineering Program at UnicenP is the use of the programmable logic resources for the development of didactic processors with hardware description hardware and synthesized in programmable logic devices. This kind of action has been used in the digital area courses, as Digital Systems and Microprocessors, in which it has been evidenced a quantitative learning improvement as the growth of the practical activities and qualitative improvement, as the better understanding of complex matters from the part of the students.*

***Key-words:** Processors, Programmable Logic, Teaching-Learning Process*