

PROPOSTA DE MÁQUINAS DE ENSINO-APRENDIZAGEM NO ENSINO DE PROJETOS DE CIRCUITOS INTEGRADOS CMOS

C. A. Rosa¹; W. A. M. Van Noije²

USP - Escola Politécnica, PSI – Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos

Av. Prof Luciano Gualberto – travessa 3 - 158

CEP: 05508-900, São Paulo, SP

¹carlos.rosa@usp.br ,

²wilhelmus.noije@poli.usp.br

Resumo: *Esse trabalho apresenta proposta na área de Educação em Microeletrônica que visa enriquecer práticas de ensino adotadas na área de projetos de circuitos integrados através do uso de máquinas de ensino-aprendizagem (TLMs) em aulas de laboratórios como instrumentos auxiliares e complementares ao ensino teórico. As TLMs propostas permitem a verificação experimental de conceitos fundamentais em VLSI Design, tais como: polarização de transistores NMOS e PMOS, inversores CMOS, curvas de transferência do inversor CMOS, implementação de diversas portas lógicas CMOS estática e dinâmica usando transistores de passagem ou portas de transmissão (NAND, NOR, AND, OR, XOR, XNOR, MUX, DECODER, Half ADDERs e Full ADDERs), Latches, Flip-flops e células de memória (RAM e ROM). A metodologia usada foi baseada em pesquisa bibliográfica, observações em sala de aula, participação em projetos didáticos, entrevista de alunos e professores de microeletrônica. As TLMs foram construídas na forma de painéis de papelão de 100 cm x 70 cm com eletrônica embarcada ou conjuntos de módulos de circuito impresso com tamanhos A4 até A10, interligados entre si por meio de conectores, cabos elétricos padronizados e acondicionados em caixas flexíveis de borracha sintética. Considerou-se o uso combinado desses materiais com diferentes técnicas de montagens eletrônicas. No leiaute das TLMs foram considerados aspectos da interação homem-máquina (MMI e HCI) e projetos de interações por PREECE (2002), e da transposição didática de CHEVALHARD e JOSHUA (1981). Os resultados efetivos da aprendizagem usando TLMs foram obtidos por meio de dinâmica de microensino baseado em ALLEN (1967).*

Palavras-chave: *Educação em Microeletrônica, IC Design, Transposição didática, Práticas de ensino, Máquinas de ensino-aprendizagem.*

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento sem dúvida é o instrumento essencial no mundo moderno. O homem moderno cada vez mais se vê envolvido com máquinas e aparelhos eletrônicos criados artificialmente para potencializar algumas de suas habilidades humanas. Nesse sentido, podemos destacar alguns exemplos de máquinas com as quais o homem moderno se interage frequentemente no seu cotidiano. Os carros de passeios são máquinas modernas criadas com a mais alta tecnologia, fruto do conhecimento humano, onde o homem se interage com elas para se deslocar a grandes distâncias com o maior conforto e segurança. Essas máquinas são especialmente construídas para potencializar a limitada capacidade do sistema biofísico

humano que fatalmente sucumbiria ao percorrer grandes distâncias. Usando essas máquinas o homem preserva facilmente todas as suas atividades vitais dentro de níveis aceitáveis e que, dependendo de cada modelo de máquina, ainda experimenta diferentes sensações de conforto, segurança, satisfação e prazer, não tendo que se preocupar com sua circulação e pressão sanguínea, capacidade respiratória, temperatura de seu corpo, transpiração, cansaço físico e capacidade muscular de suas pernas, etc.

Do exemplo anterior, podemos inferir que o conhecimento como instrumento essencial no mundo moderno permitiu ao homem criar máquinas dedicadas capazes de libertá-lo de atividades rotineiras, cansativas, tediosas decorrentes de atividades prolongadas, ou que exigem alta precisão, ritmos constantes etc. Com isso, o homem passou a desfrutar de maior tempo livre para trabalhar em atividades mais prazerosas ou que exigem maior nível de abstração, tais como: criação, planejamento e supervisão de atividades. Nesse sentido, podemos enumerar um infinidade de máquinas já criadas pelo homem para atender às diversas variedades de suas necessidades utilitárias do dia-a-dia, a saber: as máquinas de lavar louças, máquinas de lavar roupas, máquinas de cozinhar alimentos, máquina de datilografar, máquinas de calcular e muito mais.

Com os avanços alcançados pela eletrônica e a microeletrônica nos últimos 30 anos mais facilidades foram sendo incorporadas às máquinas e novas habilidades humanas foram também potencializadas. Nas últimas décadas, os seres humanos passaram a se comunicar com outros seres humanos utilizando-se de diversas máquinas móveis com a tecnologia da telefonia celular com cobertura global, sendo suportada por uma complexa rede de outras máquinas satélites interligadas por complexos sistemas eletrônicos dedicados. Nesse sentido, podemos falar do advento das máquinas computadorizadas analógicas e digitais, computadores pessoais e servidores, satélites de comunicação, telefones celulares, rádio e TV, televisão digital interativa, todos os sistemas portáteis com microprocessadores embarcados, etc. Nesse exato momento estamos presenciando um importante fenômeno histórico chamado convergência tecnológica graças ao avançado grau de maturidade da microeletrônica.

A sociedade humana não desfrutaria de tais progressos se o conhecimento não fosse especializado e não tivesse sistematicamente organizado. Tudo isso só está sendo possível por que o homem descobriu um jeito de transmitir seus conhecimentos através das gerações e assim vem sendo preservado os avanços alcançados pelas gerações passadas.

Para assegurar à sociedade o atual estado da arte alcançado pela microeletrônica os nossos educadores precisam se unir e aprimorar as técnicas de ensino, desenvolvendo novas práticas que visem a popularização, de uma vez por todas, dos conhecimentos já dominados na área de microfabricação e microeletrônica passando a ser ensinados regularmente nos níveis mais elementares: educação básica (fundamental e médio) e educação profissional. Assim, teremos a oportunidade de atrair mais e melhores alunos para o fascinante mundo da microeletrônica.

Segundo PLAISANCE e VERGNAUD (2003), esse mecanismo que promove o progresso numa sociedade é garantido pela Educação e intensamente estudado por várias Ciências da Educação. O instrumento que permite a interação entre diferentes gerações (professores e alunos) é conhecido por Ensino e deve ser entendido como um processo de ensino-aprendizagem constituído por diferentes técnicas pedagógicas que envolvem atividades e práticas escolares que se voltam para a formação de hábitos de interesse da sociedade. E assim, todas as máquinas especializadas dirigidas para a área educacional, que permitem potencializar a transmissão de conhecimentos aplicáveis aos processos de ensino-aprendizagem serão denominadas, neste trabalho, máquinas de ensino-aprendizagem ou simplesmente TLMs (teaching-learning machines).

Podemos considerar o ensino sob vários aspectos num contexto escolar. Os autores do presente trabalho consideram as TLMs como recursos didáticos complementares no contexto

da Tecnologia Educacional que segundo AURICCHIO (1978), estuda e analisa os diversos aspectos metodológicos além de identificar os possíveis problemas críticos de qualidade de ensino, propondo ainda ações efetivas que garantam os objetivos instrucionais planejados com excelentes níveis de aprendizagem.

2. A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

PERRELLI (1996) explica que o termo “transposição didática” foi introduzido em 1975 pelo sociólogo Michel Verret e, alguns anos depois, passou a ser rediscutido pelo francês Yves Chevallard, pesquisador em didática das matemáticas.

Para CHEVALLARD e JOSHUA (1991), a transposição didática é um processo complexo que, através de métodos e técnicas didáticas, permite realizar transformações em objetos de saberes conhecidos (*du savoir savant*) em objetos que compõem os saberes de ensino (*au savoir enseigné*). Sabendo-se que de todos os conhecimentos pesquisados, assimilados, desenvolvidos e publicados pelos cientistas raramente estes saberes conhecidos farão parte de qualquer grade curricular de um programa de ensino nos sistemas escolares atuais. Isso justifica o fato de as escolas, de uma maneira geral, optarem por uma formação mais generalista que dá mais atenção ao ensino de conteúdos gerais em oposição aos conhecimentos pesquisados e recentemente desenvolvidos nas universidades que se movimentam em direção contrária, isto é, aprofundando-se cada vez mais em conhecimentos especializados.

Por esses motivos, observamos que a maior parte dos conhecimentos dominados no contexto acadêmico jamais participarão de uma grade curricular de ensino nas escolas de ensino médio.

Diante do exposto, concluímos duas importantes conseqüências do ensino, uma baseada na formação generalista e a outra na formação especialista. Uma formação generalista permite que saberes conhecidos (*savoir savant*) seja ensinado ao público (*savoir enseigné*) apenas de forma enciclopédica, isto é, de forma geral e resumida, visando principalmente desenvolver nos alunos habilidades mais abstratas baseadas na articulação conceitual que cercam tais conhecimentos.

A abordagem generalista é o princípio que vem norteando as diretrizes curriculares estabelecidas pelos órgãos oficiais reguladores dos sistemas de ensino fundamental e médio em quase todos os países, há pelo menos um século. Para PERRELLI (1996) essa formação generalista visa proporcionar aos alunos as condições necessárias para um ingresso em qualquer área de uma formação acadêmica futura.

No entanto, CHEVALLARD (1991) afirma que a formação especialista permite que os conhecimentos sejam ensinados de uma forma mais particularizada e aprofundada sobre certos aspectos práticos da vida, dentro de contextos particulares do cotidiano. Com isso, uma formação especialista para ser eficaz precisa dirigir-se para o desenvolvimento de habilidades profissionais, visando transformar alunos em profissionais com conhecimentos técnicos, capacitados para atender às necessidades do mercado de trabalho e não para o mundo acadêmico.

A transposição didática consiste num processo que se preocupa com as questões de como transformar objetos de saberes sábios, em saberes a ensinar e, finalmente, em objetos de saberes ensinados.

Para esse trabalho, o conhecimento do processo de transposição didática permitiu o desenvolvimento de diversas atividades práticas de ensino elaboradas por uma metodologia de instrução programada, acompanhadas por conjuntos didáticos construídos por alunos e professores com diversos recursos, características, e funcionalidades eletrônicas embarcadas. Os circuitos eletrônicos projetados para as TLMs são apenas os meios encontrados pelos

autores necessários para tornar as aulas práticas de laboratório mais interessante e atraentes aos alunos de eletrônicas, oferecendo um completo suporte operacional aos conceitos relevantes na área de projetos de circuitos integrados com tecnologia CMOS.

3. NECESSIDADE DE UMA FORMAÇÃO PROFISSIONAL EM PROJETOS DE CIRCUITOS INTEGRADOS NO BRASIL

As constantes mudanças sociais e culturais, os movimentos políticos e as inovações tecnológicas condicionam freqüentemente a criação ou o desaparecimento de algumas profissões e exigem uma adequação contínua dos agentes da educação nas instituições de ensino profissional e tecnológico.

Na última década a ciência e a tecnologia alcançaram avanços excepcionais em novos materiais e técnicas de fabricação promovendo uma acentuada redução na área ocupada pelos transistores baseados em tecnologia MOS. Esse aspecto tornou possível a integração de sofisticados sistemas eletrônicos em apenas um único encapsulamento (SoP) ou num único chip (SoC). O surgimento de linguagens descritoras de hardware (HDL), tais como, o VHDL e o Verilog HDL, tornaram possível a reutilização de códigos de propriedade intelectual (IP Core) em novos projetos.

A implementação de sistemas SoC, com complexidades sempre crescentes, vem sendo possível graças ao surgimento de sofisticadas ferramentas automáticas destinadas para sínteses automáticas (EDA) e ambientes de simulação para protótipos em FPGA e CPLDs. Por exemplo, os simuladores ISE da [Xilinx](#), Libero da [Actel](#), Quartus da [Altera](#), Active-HDL da [Aldec](#) e o ModelSim da [Menthor Graphics](#). Hoje, é praticamente impossível projetar um circuito integrado VLSI sem fazer uso dessas ferramentas para protótipos em FPGA ou de ferramentas profissionais para sistemas ASICs como as oferecidas pelas empresas [Cadence](#), [Mentor Graphics](#), [Synopsys](#), [Magma](#) e outras.

Atualmente, no mundo todo, existe pelo menos uma centena de fábricas de circuitos integrados, porém, podemos destacar que apenas duas destas processam um volume superior a 65% das lâminas de silício processadas mundialmente. Essas fábricas encontram-se localizadas na Ásia, mais particularmente em Taiwan, a [TSMC](#) e a [UMC](#).

O governo brasileiro está implantando a sua primeira fábrica de circuitos integrados no Rio Grande do Sul, chamada [CEITEC](#), com previsão de entrar em operação no final de 2009. O [CEITEC](#) licenciou a tecnologia XCO6 – SP331 da [X-FAB](#), uma empresa alemã com cinco fábricas, sendo duas instaladas na Alemanha, Erfurt e Dresden, e as outras três instaladas na Malásia, na Inglaterra e nos Estados Unidos (Texas).

Segundo informações divulgadas no próprio sítio do [CEITEC](#), a fábrica irá operar em rede estruturada com centros de pesquisa, universidades e empresas conveniadas, visando o desenvolvimento de projetos de sistemas eletrônicos integrados, em processamento físico-químicos, desenvolvimento de sensores e dispositivos especializados, caracterização e teste de dispositivos eletrônicos e novos materiais.

A tecnologia a ser utilizada pela fábrica brasileira será baseada no processo CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) e CMOS *mixed signal* com comprimento de canal de 0,6 µm com até três níveis de metalização. Com essa tecnologia será possível a fabricação de memória volátil (EEPROM) embarcada em SoC. Também será possível fabricar resistores de poli-silício de alta resistividade e diodos do tipo Schottky. Essa tecnologia será aplicada em lâminas de silício de 150 mm de diâmetro cujos dispositivos produzidos poderão ser utilizados em equipamentos de telecomunicações, processamento de dados, entretenimentos, e dos setores automotivo, automação industrial e médico. O [CEITEC](#) prevê uma evolução destes procedimentos através da implantação de equipamentos de processo para a prototipagem de CIs com comprimento de canal de 0,35µm até 2011.

A tecnologia [X-FAB](#), licenciada pelo [CEITEC](#), possui um núcleo CMOS de 5U que permite uma densidade de até 4,5 Kgates/mm² e diversos capacitores, resistores e diferentes transistores bipolares para aplicação analógicas.

Em OLIVEIRA e ADRIÃO (2007), no capítulo III da LDB (Lei 9.394, de 20 de Dezembro de 1996), observamos toda a Educação Profissional em apenas quatro artigos (art. 39 a 42). Regulado por leis complementares, a Educação Profissional é permitida aos egressos do ensino fundamental, médio e superior, bem como, o trabalhador em geral, jovem ou adulto; podendo ser ministrada por diferentes estratégias de educação continuada, seja em instituições especializadas ou no ambiente de trabalho. Segundo a LDB, a Educação Profissional é considerada uma instrução técnica com formação de ênfase prática voltada para o desenvolvimento de aptidões para o exercício de uma atividade produtiva, visando favorecer a sua inclusão no mercado de trabalho.

Assim como ocorreu há poucos anos atrás, quando a internet chegou à população brasileira de uma maneira geral, criar páginas *WEB* e fazer programação em HTML eram conhecimentos por demais sofisticados, tendo proporcionado o surgimento de novas profissões antes mesmos da existência de qualquer regulamentação governamental para os programas regulares de ensino profissional e tecnológico. A profissão de *Web Designer*, acabou sendo regulamentada pela Secretaria de Ensino Profissional e Tecnológica do MEC ([SETEC](#)), no final da década de 90, consolidou recentemente um Catálogo Nacional de Cursos Técnicos com os parâmetros curriculares para os Cursos Técnicos de Informática para Internet.

Dessa mesma forma os autores acreditam que surgirá no Brasil um novo profissional com conhecimentos especializados na área de projetos de CIs e que serão conhecidos por *IC Designers*. Assim, o MCT lançou nesse ano 2008 um Programa Nacional de Formação de Projetistas de Circuitos Integrados chamado Programa CI-Brasil que consolidou em Porto Alegre/RS, o primeiro Centro de Treinamento (CT#1) para formação de *IC Designers*, coordenado pelo Núcleo de Suporte em VLSI/CAD, conhecido por NSCAD/URFGS. As aulas são ministradas por profissionais da empresa americana Cadence, para a formação inicial de 100 profissionais *IC Designers* nos primeiros 5 meses iniciais (de abril à agosto), e destes 100, os 36 melhores alunos participarão do curso de formação de líderes em projeto de CIs, com uma duração de mais 8 meses de treinamento. Seguindo esse mesmo formato e modelo do CT#1, um segundo centro de treinamento (CT#2) entrou em operação no início de agosto de 2008 em Campinas/SP, no CTI/MCT, para formar mais 100 profissionais *IC Designers* nos próximos 4 meses e, a partir de janeiro de 2009, outros 36 líderes de projeto durante os 8 meses seguintes. Em ambos os centros de treinamento estão sendo treinados *IC Designers* nas áreas de Digital, Analógico & Sinais Mistos e RF. Mais dois centros de treinamento (CT#3 e CT#4) serão viabilizados pelo MCT até o final de 2009. A meta do MCT é formar dentro dos próximos 4 anos, através desses quatros centros de treinamento, um total de 1500 *IC Designers*.

Como sugestão, os autores recomendam os seguintes nomes para os futuros cursos de formação: Curso Técnico em *IC Design*; Curso de Tecnologia em *IC Design*; Engenharia Elétrica com Habilitação em *IC Design* e Curso de Especialização em *IC Design*. Ou ainda, poderia ser utilizada a tradução da expressão inglesa *IC Design* pela a expressão portuguesa “Projeto de Circuitos Integrados”.

4. PRÁTICAS ATUAIS DE ENSINO EM PROJETOS DE CIRCUITOS INTEGRADOS NO BRASIL

Uma prática bastante comum e extensamente coberta pelos cursos de engenharia elétrica no Brasil é desenvolver atividades didáticas embasadas nas obras de WESTE e HERRIS

(2004) ou em SEDRA e SMITH (2008). Essas atividades didáticas são baseadas em projetos simulados de circuitos eletrônicos utilizando a descrição do tipo SPICE. Usando programas tais como WinSPICE, HSPICE ou SPICE Opus, os alunos aprendem como simular a funcionalidade de circuitos eletrônicos rapidamente e com essa ferramenta realizam diversos tipos de análise: DC, transientes, modelagem de dispositivos, caracterizações elétricas e subcircuitos.

Observamos em geral, que os projetos pelos professores são desenvolvidos nos laboratórios para permitir que os seus alunos se envolvam diretamente com diversas questões inerentes aos projetos de sistemas eletrônicos e participem de todas as etapas de projetos: especificação, desenvolvimento de propostas de circuitos eletrônicos, pesquisa de componentes através de consultas na literatura, internet, em *datasheets* ou *application notes* de fabricantes, desenho do leiaute das placas de circuito impresso, corrosão das placas, soldagem de componentes, verificação, testes e documentação final do projeto.

Essa abordagem baseada em projetos experimentais proporciona aos alunos um ambiente controlado que permite desenvolver habilidades práticas e investigativas visando uma familiarização em solucionar diversos problemas inerentes das montagens eletrônicas no mundo real, tais como: erros de projeto, erros funcionais, falhas de montagem e maus contatos ou problemas de soldagens. Assim, por questões de tempo, é comum que professores busquem usar nesse tipo de abordagem, projetos de circuitos simples, cuja funcionalidade e comportamento elétrico poderiam ser facilmente simulados com SPICE para, em seguida, serem confrontados com resultados experimentais realizados através de montagens de diversos tipos de montagens: em *protoboard*, em *kits* didáticos padronizados, ou em placas de circuito impresso confeccionadas pelos próprios alunos.

Conforme apresentado por KUETHE (1978): “Os projetos são valiosos porque promovem o desenvolvimento da capacidade de auto-reforço. O indivíduo se orgulha de estar trabalhando no seu projeto e é ainda mais motivado por compreender que o mestre conta com a execução de um bom trabalho por parte dele e expressou confiança na sua capacidade de levar a termo a tarefa com pouca ou nenhuma ajuda. Há um reforço adicional quando o produto final de um projeto é exibido ou apresentado à classe.”

Alguns professores alegam que deixaram de utilizar as montagens eletrônicas ou nunca confrontaram os resultados simulados pelos alunos com os experimentais obtidos em bancada, por não terem tempo disponível nos programas. Com isso, a vantagem da abordagem baseada em projetos simulados de circuitos eletrônicos — que está na sua rapidez e na facilidade de ajustes de parâmetros para atender as restrições de projetos —, pode estimular os alunos a preterirem as montagens eletrônicas que normalmente são mais lentas e difíceis de serem realizadas ou custosas quando ligações errôneas provocam danos permanentes nos componentes elétricos ou eletrônicos.

5. METODOLOGIA UTILIZADA

Este trabalho não apresenta resultados de avaliações do uso efetivo das TLMs no processo de ensino-aprendizagem sob o ponto vista psicológico, tal como considerado por SKINNER (1999), em sua visão behaviorista ou em seus estudos sobre as máquinas de ensinar, realizadas em seu doutorado em 1956 no MIT. Atualmente, as máquinas de ensinar de Skinner foram suplantadas pelos avanços tecnológicos que permitiram o barateamento dos microcomputadores, possibilitando o uso destes na educação de forma intensiva.

Os autores concordam com as considerações de CAMPOS (1970), na área da psicologia da aprendizagem, que sabiamente recomenda que a verdadeira aprendizagem ou rendimento escolar consiste na soma de um conjunto de transformações operadas no aluno, com relação a:

forma de pensamento, linguagem técnica, maneira de agir, atitudes, idéias e preferências, face às situações e problemas da matéria ensinada.

Os resultados foram obtidos pela observação de comportamentos terminais desejados e potencializados com o uso decorrente das TLMs propostas combinados com metodologia de microensino conceituada e desenvolvida por ALLEN (1967).

CARVALHO (1985) define o microensino como uma técnica simples aplicada normalmente na formação de professores que objetiva o desenvolvimento de habilidades em candidatos à docência antes mesmo que estes venham a entrar em sala de aula definitivamente. Os autores utilizaram essa técnica por sua simplicidade e agilidade no desenvolvimento de uma prática de ensino controlada, necessitando de apenas cinco etapas conforme apresentadas e descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Etapas da metodologia de microensino.

	Etapa	Descrição
1	Planejamento de Habilidades de Ensino-aprendizagem	Cada habilidade de ensino-aprendizagem foi especificamente focalizada num pequeno período de aula que variou entre 15 e 50 minutos. Considerou-se, primeiramente, a mesma aula com e sem o uso de uma TLMs com turmas distintas.
2	Planejamento de Microaulas	Cada microaula foi aplicada à um pequeno grupo de alunos, entre 5 e 10 alunos. Em algumas situações professores das instituições visitadas participaram de microaulas como alunos. Os alunos foram avaliados por provinhas práticas e pesquisados por questionários de avaliação simplificados.
3	Registro das Microaulas	Algumas microaulas foram gravadas com uma câmera digital e outras com gravadores visando fornecer detalhes para a análise posterior.
4	Análise das Microaulas	As aulas gravadas foram analisadas e discutidas com alguns colegas professores de eletrônica e microeletrônica, visando melhorias nas práticas de ensino.
5	Ajuste	Algumas aulas precisaram ser replanejadas e foram executadas com outros grupos de alunos.

6. IMPLEMENTAÇÃO DO HARDWARE DAS MÁQUINAS DE ENSINO-APRENDIZAGEM PROPOSTAS

Visando sempre envolver os professores para estimularem seus alunos nas práticas introdutórias do ensino em projetos de CIs CMOS, os autores propõem a utilização de pequenas máquinas de ensino-aprendizagem, na forma de *kits* eletrônicos didáticos padronizados contendo CIs CMOS comuns (SSI, MSI e LSI).

Para facilitar o nosso entendimento sobre a utilização das máquinas propostas, utilizou-se uma taxionomia própria indicada pelas siglas TM, LM, TLM com os seguintes significados: TM (teaching machine), para indicar que a máquina possui desenho e funcionalidade, visando atender às necessidades didáticas do professor; LM (learning machine), para indicar que a máquina foi desenhada para permitir o desenvolvimento de atividades práticas de aprendizagem, focando hábitos especiais nos alunos alvo da aprendizagem; TLM (teaching-learning machine), para designar a classe de máquinas que contempla, de uma maneira geral e irrestrita, todos os tipos possíveis de máquinas utilizadas nos processos de ensino-

aprendizagem; e MMI (man-machine interface), para qualificar que o projeto da máquina proposta contemplou aspectos relevantes das interações decorrentes entre o homem e a máquina, nos termos conceituados em PREECE (1994, 2002) sobre HCI (human-computer interaction).

Essa abordagem metodológica baseada em máquinas de ensino-aprendizagem CMOS pode incrementar dramaticamente as atividades experimentais quando organizadas convenientemente para serem utilizadas ao longo dos semestres em disciplinas com ensino serializado.

Embora a principal vantagem dos programas de computador seja a velocidade de verificação de erros em projetos sem a necessidade de realizar as montagens práticas, uma vez que são bastante lentas e limitadas, a abordagem virtual acaba gerando uma desvantagem como consequência, que é o distanciamento cada vez maior dos alunos do fascinante mundo dos projetos baseados nas montagens práticas dos circuitos eletrônicos.

As TLMs devem ser utilizadas nas aulas de laboratórios para cristalizar o entendimento dos alunos sobre diversos aspectos importantes sobre a tecnologia CMOS em modernos projetos de CIs VLSI.

Os conceitos utilizados nas TLMs podem ser obtidos facilmente em livros textos tais como: MEAD e CONWAY (1980), MUKHERJEE (1986), FABRICIUS (1990, 1992), UYEMURA (1992), HILL e PETERSON (1993), PUCKNELL (1994), GAJSKI (1997), REIS (2000), OKLOBDZIJA (2002), RABAEY (2003) e ROZO (2003).

O projeto de um CI compreende dezenas de etapas que podem ser arrançadas em diferentes fases para formar um fluxo de projeto. De uma forma simplificada, este fluxo de projeto pode ser decomposto por 3 fases: especificação, projeto e validação.

Segundo REIS (2000), a fase de especificação é o ponto de partida de qualquer projeto. A especificação é responsável por definir a aplicação do produto, requisitos de comportamento, a sua arquitetura, tecnologia de implementação, condições de operação, pinagem, entre outros. Esta fase pode ainda incluir etapas de análise de custo e viabilidade do projeto, especificação de IPs e definição dos fornecedores e prestadores de serviço.

Segundo GAJSKI (1997), a fase de projeto é a fase responsável pela concepção do projeto, e é formada por diferentes etapas dependendo do tipo de projeto, podendo ser digital, analógico ou projeto de sinais mistos. Todos os desenhos das TLMs foram concebidos considerando-se os diversos aspectos de abstração em projetos de CI abordados em GAJSKI (1997): abstração comportamental, abstração estrutural e abstração física-geométrica.

O hardware utilizado pelos autores em algumas TLMs foi baseado na funcionalidade do CI CMOS CD4007, lançado pela Fairchild no final da década de 70, e vem sendo utilizado como interface entre sinais analógicos e digitais. Este CI contém apenas seis transistores, sendo três NMOS e três PMOS. Um par desses transistores está ligado como um inversor CMOS. Um segundo par de inversor CMOS apresenta os drenos dos transistores desconectados. E, o último par, apresenta os terminais de dreno e fonte desconectados.

Uma boa prática de ensino para desenvolver habilidades de estilo de projetos e verificação de erros em projetos *full custom*, onde o desenho do CI é livremente produzido e verificado pelos próprios alunos, baseia-se completamente na observação de regras de projetos sobre papel milimetrado ou quadriculado. Em ambas as situações, o professor poderá utilizar os recursos de exibição de grades do programa MS-WORD para orientar a documentação dos desenhos coloridos das células padronizadas cujos tamanhos poderão ser modularizados de forma adequada.

Como um jogo de quebra-cabeças, as *Standard-Cells* utilizadas no MS-WORD poderão ser usadas na montagem de TLMs embarcando circuitos integrados com funcionalidade compatível.

A Figura 1 mostra o desenho de uma TLM com *Standard-Cell* de uma porta AND2 com tamanho de 3 cm por 5 cm. Sobre um laminado de papelão grosso (1 ou 2 mm), ou uma placa de circuito impresso (1,6 mm), é colado esse desenho colorido feito no MS-WORD. E, na parte posterior se fixa o CI equivalente (que pode ser soquetado ou soldado em SMD). Na versão em papelão utiliza-se pequenos fios (AWG 28) para ligar os terminais de alimentação (VDD e GND), sinais de entrada (A e B) e saída (C). Assim, facilmente implementa-se uma funcionalidade real com eletrônica embarcada à geometria utilizada por uma *Standard-Cell*. Várias células foram desenhadas e implementadas rapidamente por essa técnica, proporcionando várias atividades práticas em laboratório.

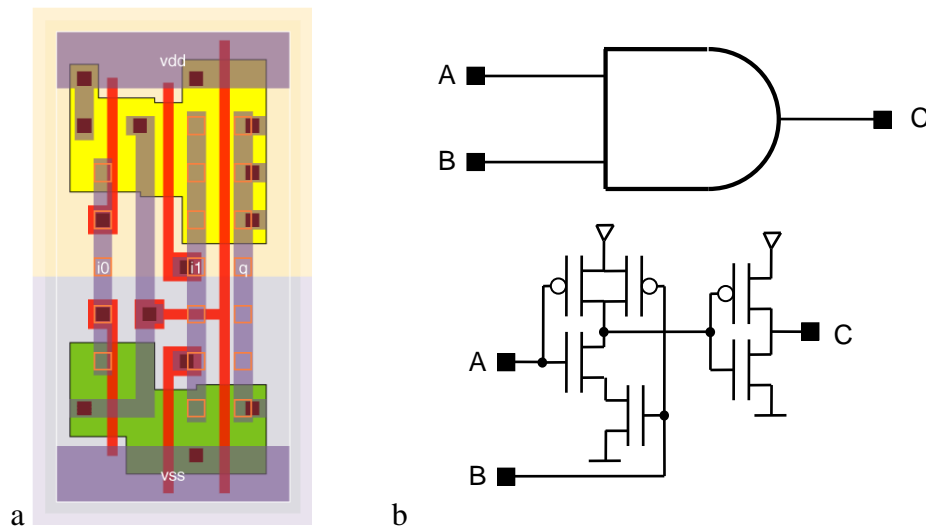


Figura 1 – (a) TLM de um módulo de porta AND2 *Standard-Cell* (3 cm x 5 cm) e (b) o símbolo lógico da porta AND2 com o equivalente esquemático de transistores MOS.

A Figura 2 mostra o desenho do painel frontal de uma TLM para orientar práticas de projetos de CI, utilizando-se os conceitos de *Sea-of-gates* comumente empregados na arquitetura de funções reconfiguráveis das FPGAs. O painel contém um conjunto de três LEDs de entrada digital chaveada e dois LEDs para Y e Z para analisar sinais de saída. Dois conectores USB-A são utilizados para alimentação de 5 V com fonte de alimentação chaveado do tipo MP3.

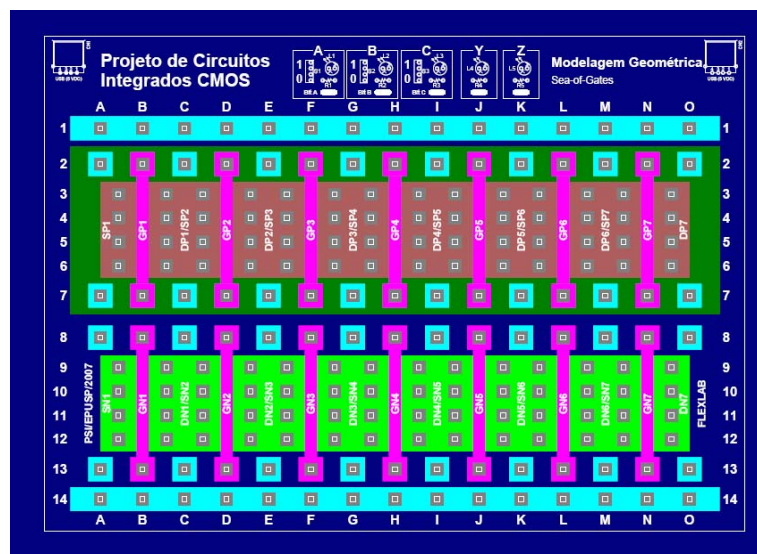


Figura 2 – Leioaute do painel frontal da TLM Sea-of-gates (21 cm x 30 cm).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os autores acreditam que as máquinas de ensino-aprendizagem propostas para auxiliar os professores nas atividades práticas de ensino em projetos de CIs CMOS, além de facilitar a compreensão dos alunos das diversas propriedades elétricas e práticas em projetos de circuitos eletrônicos integrados, reforça também a aprendizagem de conceitos relevantes em *IC Design*, estimula a criatividade e desenvolve habilidades em projetos microeletrônicos.

Desenhos de TLMs modulares usando descrição VHDL e Verilog HDL sobre etiquetas foram ainda elaborados para atender às necessidades da compreensão da síntese de alto nível de circuitos integrados digitais.

Para finalizar, concluímos que o presente trabalho com as máquinas de ensino-aprendizagem podem colaborar para a criação de novos espaços de aprendizagem muito superiores aos estudados por OBLINGER (2006) quando considerados em conjunto os princípios psico-pedagógicos por CAMPOS (1970), os elementos envolvidos nos processos de transposição didática de CHEVALHARD e JOSHUA (1991), e as questões de interface homem-máquina tratadas por PREECE (1994, 2004).

Agradecimentos

Os autores agradecem aos dirigentes das instituições de ensino: PSI/EPUSP, MPCE/FATEC-SP, CEFET/SP, SENAI/SP, ETESP/CEETEPS e Informática/UFRGS. E, também, por permitirem visitas às instalações durante os anos de 2006 a 2008, fazendo observações em sala de aula, e exercitando algumas atividades didáticas experimentais com seus alunos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, D. W. **Microteaching: A Description**. Stanford Press, Stanford, 1967.
- AURICCHIO, Lígia de Oliveira. **Manual de Tecnologia Educacional**, Livraria Francisco Alves Editora S.A., Rio de Janeiro, 1978.
- CAMPOS, Dinah M. S. **Psicologia da Aprendizagem**. Editora Vozes, Petrópolis, RJ, 1970, p. 232.
- CARVALHO, Anna M. P. **Prática de Ensino: Os Estágios na formação do professor**. Livraria Pioneira Editora, São Paulo, 1985.
- CHEVALHARD, Yves et JOSHUA, Marie-Alberte. **La transposition didactique du savoir savant au savoir enseigné: suivie de un exemple d'analyse de la transposition didactique**, La Pensee Sauvage Editions, 1991.
- FABRICIUS, Eugene D. **Introduction to VLSI Design**. McGraw-Hill, USA, 1990.
- FABRICIUS, Eugene D. **Modern Digital Design and Switching Theory**. CRC Press, Boca Raton, USA, 1992.
- GAJSKI, Daniel D. **Principles of Digital Design**. Prentice-Hall, New Jersey, 1997.
- HILL, Frederick J.; PETERSON, Gerard R. **Computer Aided Logical Design With Emphasis on VLSI**. John Wiley & Sons, Fourth Edition, USA, 1993.
- KUETHE, James L. **O Processo de Ensino-Aprendizagem**. Editora Globo, Porto Alegre, 3ª Edição, 1978.
- MEAD, Carver; CONWAY, Lynn. **Introduction to VLSI Systems**. Addison-Wesley, USA, 1980.
- MUKHERJEE, Amar. **Introduction to nMOS and CMOS VLSI Systems Design**. Prentice-Hall, Englewood Cliff, USA, 1986.
- OBLINGER, Diana G. (Editor) **Learning Spaces**, Educause, 2006.

- OKLOBDZIJA, Vjin G., editor-in-chief. **The Computer Engineering Handbook**. CRC Press, Boca Raton, USA, 2002.
- OLIVEIRA, Romualdo P.; ADRIÃO, Theresa. **Organização do Ensino no Brasil: Níveis e modalidades na Constituição Federal e na LDB**. Xamã, São Paulo, 2ª Edição, 2007.
- PERRELLI, Maria A. S. **Uma Epistemologia dos Conteúdos das Disciplinas Científicas: As Contribuições da “Transposição Didática”**. 1996. Artigo CED, Universidade Federal de Santa Catarina.
- PLAISANCE, Eric; VERGNAUD, Gerard. **As Ciências da Educação**. Edições Loyola, São Paulo, 2003.
- PREECE, Jennifer [et al.] **Interaction Design: beyond human-computer interaction**, John Wiley & Sons, New York, 2002.
- PREECE, Jenny [et al.] **Human-Computer Interaction**, Pearson Addison-Wesley, Boston, 1994.
- PUCKNELL, Douglas A. [et al.] **Basic VLSI Design**. Prentice-Hall, Third Edition, 1994.
- RABAEY, Jan M. [et al.] **Digital Integrated Circuit: A Design Perspective**. Prentice-Hall, New Jersey, USA, Second Edition, 2003.
- REIS, Ricardo Augusto da Luz. **Sistemas Digitais: Síntese Física de Circuitos Integrados**. CYTED, Bogotá, Colombia, 2000, 373 p.
- ROZO, Antônio García. **Sistemas Digitais: Metodologías de Diseño VLSI**. CYTED, Bogotá, Colombia, 2003, 252 p.
- SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth C. **Microeletrônica**, Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2008.
- SKINNER, B. F. **Sobre o Behaviorismo**. Editora Cultrix, São Paulo, 1999.
- UYEMURA, John P. **Circuit Design for CMOS VLSI**. Kluwer Academic Publishers, USA, 1992.
- WESTE, Neil H. E.; HARRIS, Davis. **CMOS VLSI Design: A Circuits and Systems Perspective**, Addison-Wesley, Boston, Third Edition, 2004.

REFERÊNCIAS ELETRÔNICAS

- [1] Página oficial do Programa CI Brasil do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT): <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/31525.html>
- [2] Primeiro Centro de Treinamento para Formação de Projetistas de Circuitos Integrados (CT#1): <http://www.nscad.org.br/>
- [3] Segundo Centro de Treinamento para Formação de Projetistas de Circuitos Integrados (CT#2): <http://www.ci-brasil.gov.br/>
- [4] Estratégias de Fomento à criação e implantação de empresas de Projetos de Circuitos Integrados – Design Houses (DH). Documento integrante do programa Ci Brasil, 2005. Acessado em 10/08/2008: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8078.pdf
- [5] Página oficial do Programa Nacional de Microeletrônica do Ministério de Ciência e Tecnologia (PNM/MCT): <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/2781.html>
- [6] Primeira fábrica de circuitos integrados do Brasil (CEITEC/MCT): <http://www.ceitecmicrosistemas.org.br/>
- [7] Empresa de EDA tools para FPGA: <http://www.altera.com/>
- [8] Empresa de EDA tools para FPGA: <http://www.xilinx.com/>
- [9] Empresa de EDA tools para FPGA: <http://www.actel.com/>
- [10] Empresa de EDA tools para FPGA: <http://www.aldec.com/>
- [11] A maior empresa de EDA tools para ASIC: <http://www.cadence.com/>
- [12] A segunda maior empresa de EDA tools para ASIC: <http://www.synopsys.com/>
- [13] A terceira maior empresa de EDA tools para FPGA/ASIC: <http://www.mentor.com/>

- [14] A quarta maior empresa de EDA tools para ASIC: <http://www.magma-da.com/>
- [15] A maior fábrica de circuitos integrados do Mundo: <http://www.tsmc.com/>
- [16] A segunda maior fábrica de Cis de Taiwan: <http://www.umc.com/>
- [17] Fábrica alemã de circuitos integrados: <http://www.xfab.com/>
- [18] Projeto de bibliotecas Standard Cell CMOS / VLSI usando o Software Alliance: <http://vlsitechnology.org/>
- [19] Software Alliance, baseado no conceito de software livre voltado para projetos VLSI da [Universite Pierre & Marie Currie](http://www.univ-pierre-marie-currie.fr/), França. Disponível em: <http://www-asim.lip6.fr/recherche/alliance/>
- [20] Página oficial da Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica do MEC. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec/>
- [21] Catálogo Nacional de Cursos Técnicos da SETEC/MEC. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf3/catalogo_tecnicos.pdf

PROPOSAL OF TEACHING-LEARNING MACHINES FOR CMOS IC DESIGN TEACHING

Abstract: *This paper presents proposal in the area of Education in Microelectronics which aims to enrich the educational practices adopted in the area of projects of integrated circuits through the use of teaching-learning machines (TLMs) in classes, laboratories and auxiliary instruments and complementary to the theoretical. The TLMs proposals allow the experimental verification of fundamental concepts in VLSI design, such as: NMOS and PMOS transistors biasing, CMOS inverters, curves of transferring CMOS inverter, implementation of various static and dynamic CMOS logic using the pass-transistor or transmission gates (NAND, NOR, AND, OR, XOR, XNOR, MUX, DECODER, Half Full ADDERs and ADDERs), Latches, flip-flops and cells of memory (RAM and ROM). The methodology used was based on a literature search, observations in the classroom, participation in educational projects, student's interview and professors of microelectronics. The TLMs were constructed in the form of cardboard panels, 100 cm x 70 cm loaded with electronic modules, or sets of printed circuit boards with A4 size up to A10 size, interlinked with each other through connectors, cables and electrical standardized packed in synthetic rubber flexible boxes. It was the combined use of these materials with different techniques of electronic assemblies. On layout of TLMs were considered aspects of human-machine interaction (MMI and HCI) and design interactions from PREECE (2002), and the didactical implementation from CHEVALHARD and JOSHUA (1981). The effective learning results using TLMs were obtained through dynamic based on microteaching from ALLEN (1967).*

Key-words: *Microelectronics Education, IC Design, Didactical transposition, Teaching practices, Teaching-learning machines.*