

QUEIMANDO CHIPS: UMA EXPERIÊNCIA DE ABP UTILIZANDO ELEMENTOS DE ENGENHARIA REVERSA

Cesar Ramos Rodrigues

Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Engenharia Elétrica

Av. Roraima, 1000

97 105-900 – Santa Maria – RS

cesar@ieee.org

***Resumo:** Descobrir e explicar como funciona e como é feito um chip a partir da sua observação em um microscópio ótico. Este é o desafio proposto aos alunos de materiais elétricos e eletrônicos, no quarto semestre de engenharia elétrica da Universidade Federal de Santa Maria. Esta e outras disciplinas têm sido planejadas para proporcionar a compreensão de engenharia do ponto de vista top-down, ou seja, da compreensão do todo, das suas aplicações para motivar o aluno a buscar o aprofundamento nos detalhes, abordando: as propriedades, a origem dos fenômenos, métodos de fabricação e suas relações com as características dos sistemas e dispositivos estudados. A ementa da disciplina para materiais semicondutores compreende as propriedades elétricas, métodos de fabricação e aplicações de materiais semicondutores, e dentre os objetivos propostos, destaca-se a habilidade para relacionar as características dos dispositivos às dos processos de fabricação. Como a universidade não dispõe de laboratório de processos e os estudos meramente teóricos, associados a provas dissertativas tendem a desmotivar os alunos. Foi concebido este desafio como tentativa de conduzir o aluno a descobrir a necessidade de estudar a teoria de semicondutores e os processos de fabricação. O objetivo é instigá-los a construir associações que permitam compreender e ser capaz de explicar: o funcionamento e a fabricação dos chips de silício, e como o primeiro depende do segundo.*

***Palavras-chave:** Engenharia Reversa, ABP, Materiais Eletrônicos.*

1. INTRODUÇÃO

A implantação das diretrizes curriculares no ensino superior e dos parâmetros curriculares nacionais (PCN) para o ensino médio está intensificando o emprego de metodologias de ensino-aprendizagem baseadas em experiências práticas e na contextualização dos temas. A movimentação ao encontro desse novo paradigma vem despertando o interesse por metodologias e concepções consideradas, há menos de uma década, meras curiosidades pedagógicas por boa parte do corpo docente de nossas universidades. Um número crescente de cursos de engenharia, e de outras áreas, vêm incorporando, seja no âmbito de seus projetos pedagógicos, ou ainda, por iniciativa dos professores, de forma isolada no âmbito de algumas disciplinas, metodologias como: Abordagem top-down (Andrades, 2006), aprendizado baseado em problemas (APB) (Jacoski, 2007), inclusão de disciplinas específicas de projetos, avaliação transversal, ações integradoras, obrigatoriedade atividades extracurriculares, etc...

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Engenharia reversa + PBL

Dentre as diversas estratégias que buscam deslocar o foco da aprendizagem para o aluno, o aprendizado baseado em problemas tem apresentado resultados interessantes, sendo adotado

de forma crescente, em diversos graus de abrangência nos cursos de engenharia (Macías-Guarasa, 2006). O interesse pelo APB decorre da adequação de suas características ao atendimento de requisitos considerados relevantes na atual formação em engenharia, conforme preconizam as diretrizes curriculares no Brasil, pela ABET, nos Estados Unidos, no acordo de Bologna, na Europa, assim como em diversas outras regiões.

O APB foi proposto na década de 1960, na Faculdade de Medicina da McMaster University – Canada. Camp (1996) postula que o APB guarda uma forte correlação com o próprio processo de aprendizagem:

“A autonomia do estudante, construída no conhecimento e experiências anteriores, e a oportunidade de sua aplicação imediata facilitadores são bem conhecidos no processo de aprendizagem com adultos.”

Os projetos geralmente são estabelecidos com base em um ambiente colaborativo, onde os estudantes compartilham as responsabilidades de planejamento, concepção e aplicação das soluções, estimulando de forma eficaz uma postura ativa no processo de aprendizagem.

Do ponto de vista cognitivo, um dos diferenciais das experiências com APB é a de evidenciar o significado das informações trabalhadas, vinculando-as aos problemas onde serão necessárias. Algumas abordagens conhecidas há décadas para ampliar a eficiência de memorização com base na associação de significados aos conteúdos estão atualmente sendo desvendadas pelas neurociências. A associação de técnicas como tomografia computadorizada e a marcação química de receptores neuronais tem auxiliado pesquisadores, como Lin (2007), a compreender o papel do processo de codificação de informações na formação das memórias. Outro ponto positivo do APB é o papel do ambiente e da vivência propiciada ao estudante durante seu trabalho com o projeto. O papel das emoções na seleção e reforço de eventos concorrentes na formação de memórias já possui bases lógicas (Damásio, 2003) e bioquímicas (Ledoux, 2006) bastante elucidadas.

A tarefa de conceber e planejar projetos para propiciar ao estudante um ambiente fértil ao desenvolvimento de suas experiências de aprendizagem geralmente demanda um esforço considerável da parte do educador. As experiências devem ser abrangentes e ao mesmo tempo possuírem profundidades adequadas. O grau de dificuldade, o prazo de execução, a relação com outros conteúdos e com a prática profissional, também devem ser planejados com cuidado. As características acima são contempladas por um método bastante conhecido em engenharia, e especialmente utilizado na área de software: A engenharia reversa.

Segundo Bothe (2001), a engenharia reversa, quando comparada ao fluxo tradicional de projeto, possui as seguintes vantagens do ponto de vista educacional:

- Os estudantes podem ser confrontados diretamente com um sistema completo, ao passo que na abordagem de projeto, os estudos precisam ser limitados a pequenas partes do todo no período normal de uma disciplina;
- Projetos de sistemas de grande escala a partir do esboço inicial demandam tempo e esforços consideráveis. Estas iniciativas, nos semestres iniciais da graduação, geralmente acabam em resultados desastrosos ou incompletos.
- Na engenharia reversa é possível abordar um sistema completo e em perfeito funcionamento.
- Sistemas que passaram por aperfeiçoamentos de versões anteriores são fruto de investimentos da ordem de diversos engenheiros-hora. A utilização desta experiência pode abreviar o tempo de aprendizagem e a pressão resultante da possibilidade de falha.
- Em resumo, a engenharia reversa pode ser concebida para abranger quase todos atributos requeridos às experiências de engenharia encontradas no “mundo real”.

Por outro lado, importantes limitações geralmente precisam ser resolvidas:

- O estudo de um sistema completo requer simplificações, que podem induzir o estudante a adotar uma postura menos rigorosa na solução de problemas;

- Sistemas bem documentados podem despertar a tendência à simples cópia dos resultados, ao invés da opção por desvendá-los;

- Os estudantes tendem a usar justificativas de que os conhecimentos requeridos e o grau de dificuldade das tarefas estão além das capacidades típicas de um aluno do quarto semestre do curso.

Portanto, o planejamento deve incluir um esclarecimento bastante completo dos objetivos, a ponto de permitir ao aluno um vislumbre dos resultados almejados. O acompanhamento deve ocorrer em regime contínuo, preferencialmente com a utilização do período das aulas para a abordagem dos problemas relacionados ao trabalho, em sincronismo com um planejamento estabelecido pelos próprios alunos (Rodrigues, 2007). O grau de envolvimento da turma quase nunca é pleno, devido à heterogeneidade dos perfis dos ingressantes nos cursos. O professor deve estar ciente de que o envolvimento do aluno com atividades de grande correlação com as práticas profissionais podem provocar desistências na disciplina, e até mesmo no curso. Esta constatação expõe uma das causas conhecidas da evasão nos cursos de engenharia, o desconhecimento e a falta de identificação dos estudantes com a profissão. Ao longo de seis semestres de atividades com base em projetos, o índice médio de desistências girou em torno de 15%. A APB pode, portanto, ser utilizada como uma ferramenta de diagnóstico do perfil dos estudantes. Seus resultados podem ser apropriadamente realimentados para um trabalho de esclarecimento aos potenciais candidatos ao curso de engenharia.

2.1 Concepção do curso x papel da disciplina no curso

O curso de engenharia elétrica da Universidade Federal de Santa Maria foi concebido com uma estrutura progressiva de aprendizagem, onde cada semestre possui objetivos específicos na formação profissional. Os objetivos projetados para a disciplina e o papel do quarto semestre no curso, expressos no projeto pedagógico (Engenharia Elétrica/UFSM, 2008) são:

“aprofundar, ampliar e fortalecer as habilidades e conhecimentos construídos nos semestres anteriores”, tais como: “emprego da metodologia científica, do pensamento crítico, da capacidade de análise, noção dos sistemas de engenharia elétrica, com a identificação de alguns de seus componentes, seus principais problemas, e das ferramentas para solucioná-los.”

As metas propostas minimizam a abordagem exclusivamente teórica e demandam a combinação de metodologias capazes de, ao mesmo tempo, garantir a abrangência dos conteúdos e oferecer oportunidades para o desenvolvimento das habilidades propostas no semestre.

Metodologias de aprendizagem baseadas em projetos têm sido adotadas desde a inclusão da disciplina de materiais elétricos e eletrônicos no currículo. A cada semestre novos problemas envolvendo trabalhos de síntese e/ou análise de sistemas são propostos ao aluno. O objetivo é conduzi-los ao estabelecimento de relações entre funcionamento e desempenho de sistemas com as propriedades dos materiais utilizados, e dessas com os processos de fabricação. Os problemas propostos são elaborados a partir da avaliação das disciplinas profissionalizantes das sub-áreas que constituem o curso. Assim, a cada semestre são propostos entre dois e quatro projetos de sistemas eletrônicos ou de potência, envolvendo as propriedades de materiais semicondutores, isolantes, condutores, magnéticos e piezelétricos com os respectivos métodos de fabricação.

3. METODOLOGIA

Os circuitos integrados podem ser divididos em duas grandes categorias: Bipolares e Metal-Óxido-Semicondutor (MOS). A grande maioria dos circuitos comercializados atualmente é construída em tecnologia MOS, devido à maior escala de integração (bilhões de dispositivos em alguns mm^2 de silício) e ao menor consumo de energia (Razavi, 2001). Contudo, a análise de dispositivos no estado da arte, i.e., com dimensões nanométricas, requer o uso da microscopia eletrônica (SEM) ou de força atômica (AFM), estas técnicas além de indisponíveis para uso em sala no nosso curso, distanciam o aluno do processo de análise, pois normalmente são efetuadas por técnicos. Por isto, o estudo foi baseado em dispositivos comerciais CMOS com porta metálica. Nesta tecnologia, da década de 90, os transistores são fabricados com dimensões micrométricas, perfeitamente observáveis em microscópios ópticos.

Uma das principais dificuldades dos alunos que iniciam na área de projeto de dispositivos eletrônicos é conseguir estabelecer relações entre as representações esquemáticas, construtivas e de layout (máscaras). A superação desta dificuldade suscitou a proposta de trabalho baseado na engenharia reversa (parcial) de um dispositivo semicondutor.

A metodologia proposta consiste em associar a observação dos aspectos construtivos do chip, à revisão de seu princípio lógico de funcionamento como estímulo para despertar o interesse pelo processo de fabricação, pelas propriedades dos materiais, e da relação destes com o funcionamento físico, chegando ao nível das equações de Poisson. O estímulo baseia-se em induzir o aluno à constatação da necessidade de conhecer os processos, as propriedades e a teoria para poder compreender e explicar o funcionamento e a construção dos dispositivos.

3.1 Apresentação do problema

As atividades propostas foram apresentadas aos alunos da seguinte maneira (Materiais Elétricos e Eletrônicos/Engenharia Elétrica/UFSM, 2008):

Problema proposto: Engenharia reversa de um circuito integrado digital CMOS.

O aluno receberá a especificação de um chip de silício, e a partir de sua observação no Microscópio, ele deverá buscar conhecimentos para:

- 1) Compreender o que está visualizando: Ao final desta etapa os estudantes deverão estar aptos a relacionar a topologia (vista superior) do circuito físico ao circuito elétrico (diagrama esquemático do mesmo).
- 2) Compreender como o circuito é fabricado, partindo do minério de silício até o circuito integrado na forma recebida.
- 3) Compreender o que ocorre no material durante o funcionamento do circuito e dominar as relações entre os aspectos construtivos, as propriedades dos materiais e as características do circuito integrado.
- 4) Realizar a simulação elétrica do circuito observado e desenhar o layout de um circuito com as mesmas funções do circuito visto.

As aulas iniciais sobre de materiais semicondutores são reservadas para esclarecer os alunos sobre os objetivos, para o planejamento do trabalho, apresentação das ferramentas disponíveis, para a simulação elétrica, layout, e para a leitura e interpretação das especificações dos circuitos. Em seguida, são abordados os temas previstos programa da disciplina, porém, sob a forma da resolução das questões apresentadas no enunciado do trabalho. Com isto, a opção de acompanhar integralmente as aulas pode tornar-se bem mais atraente, pois os itens de avaliação do trabalho são resolvidos diretamente em sala de aula. Um importante requisito para o desenvolvimento da autonomia e iniciativa do aluno é uma

boa organização das atividades e estruturação das informações. Neste trabalho, os objetivos, o conteúdo, a metodologia e a leitura recomendada para cada aula, assim como as respectivas datas de cada aula, são publicadas na página da disciplina antes do início do semestre. Assim, o aluno que elaborar um planejamento para o seu trabalho, encontrará pleno suporte às suas ações e sempre terá nas aulas, a oportunidade de resolver os problemas em sincronismo com seu planejamento. O quadro abaixo (Figura 1) mostra a forma como o planejamento das aulas é disponibilizado aos estudantes.

Aula nº 3 - 24/03
Objetivos: <ul style="list-style-type: none">• Ao final da aula o aluno deverá ser capaz de: a) Explicar o princípio de funcionamento da porta lógica CMOS utilizada neste estudo, nos níveis lógico e elétrico.
Conteúdo: <ul style="list-style-type: none">• Funcionamento de transistores MOS em portas lógicas.
Metodologia: <ul style="list-style-type: none">• Estudo das folhas de dados.• Análise de circuitos• Formulação e apresentação de hipóteses
Leitura Recomendada: <ul style="list-style-type: none">• Folhas de dados dos integrados da família lógica CMOS 40XX

Figura 1 – Informações típicas contidas em um plano de aula.

3.2. Execução da engenharia reversa nos chips

Após a apresentação detalhada da metodologia de trabalho, das ferramentas de simulação e projeto e das informações que mostrem ao aluno como chegar às referências necessárias. Cada grupo deve adquirir seus circuitos integrados ($\approx R\$2,00$) e proceder a extração da pastilha de silício (die) onde se encontra o circuito eletrônico. O método mais fácil, embora um tanto desconfortável devido ao cheiro e à fumaça, consiste na queima do encapsulamento plástico. Três minutos sobre a boca de um fogão residencial são suficientes para carbonizar o encapsulamento tornando-o quebradiço. Nesta condição o encapsulamento pode ser partido com o auxílio de uma ferramenta cortante, expondo facilmente a pastilha de silício. Não há risco da pastilha ser derretida, pois o silício funde a 1410°C , muito acima da temperatura gerada nestas condições. A vantagem deste método sobre o corte mecânico a frio, é que a força necessária para quebrar o encapsulamento é bastante reduzida, minimizando o risco da quebra do die. O choque térmico proporciona ainda o descolamento do silício do encapsulamento plástico, o que torna sua retirada bastante fácil. Deve-se lembrar que as pastilhas são posicionadas bem no centro dos encapsulamentos, e medem geralmente entre 2 e 4 mm. Assim, é recomendável efetuar o corte em uma linha situada a mais de 2 mm do centro do encapsulamento e tomar cuidado para não descartar justamente a porção que contém o silício. A Figura 2 ilustra a seqüência de queima, quebra e extração do chip.

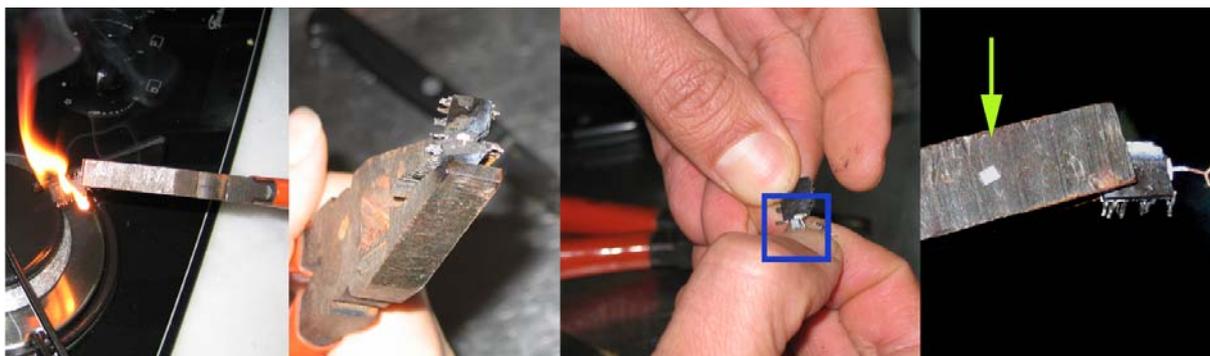


Figura 2 – Processo de queima do encapsulamento e extração do *die* de silício.

Após a extração, o circuito deve ser colado em uma lâmina para microscópio óptico, para facilitar o posicionamento da amostra no campo de visualização. A disponibilidade de microscópios com adaptador para câmera digital é muito importante, pois permite ao aluno analisar e trabalhar as imagens fora do laboratório, estendendo o tempo de observação e de análise, e também, facilitando a inclusão da imagem nos relatórios.

3.2. Análise e síntese

A análise da imagem do circuito integrado, obtida no microscópio, serve apenas para proporcionar um contexto adequado e de motivação para o estudo dos materiais, seu processamento, e da relação destes com o funcionamento dos chips. O projeto constitui ainda, uma boa motivação para o aprendizado e aplicação da metodologia científica, pois associa etapas de análise teórica, simulação e síntese. As etapas de análise teórica são aplicadas: na compreensão do funcionamento do circuito no nível dos transistores individuais e de suas partes. Nestas etapas, as ferramentas utilizadas são a lógica booleana, teoria de funcionamento do transistor MOS e as equações de Poisson. Portanto, a jornada do aluno em busca da compreensão do circuito, parte de seu funcionamento lógico ao nível de sistema e chega às bandas de energia no semicondutor. Já o estudo do funcionamento do transistor é baseado em sua estrutura física. A partir desta abordagem o aluno deve ser capaz de estabelecer uma relação desta com a imagem obtida no microscópio.

Quando os estudantes tiverem alcançado o objetivo de compreender o funcionamento e a construção do circuito em seus diversos níveis de abstração, a turma estará apta a fazer seu próprio projeto. A síntese do circuito começa com a discussão sobre as diferenças entre a representação dos níveis lógicos de sinal (0 e 1, falso e verdadeiro) e os sinais elétricos reais, com suas limitações de amplitude, frequência e tolerâncias. Este estudo comparativo pode ser utilizado para aprofundar o uso do simulador elétrico, cuja utilização é introduzida na disciplina de estudo de casos em engenharia elétrica, no terceiro semestre do curso. Para facilitar o acesso do estudante à ferramenta, foi sugerida a utilização do LTspice (LINEAR, 2008). Esta versão gratuita do Spice é muito fácil de utilizar e permite a inclusão de modelos elétricos bastante completos (BSIM3). Para tornar a experiência ainda mais próxima de um projeto verdadeiro, é exigido que o aluno utilize os modelos elétricos de um processo real de fabricação de circuitos integrados (MOSIS, 2008). O sucesso na etapa de simulação indica que o circuito foi corretamente projetado.

Com base na simulação, o aluno deve desenhar um circuito com características equivalentes às especificadas pelo fabricante. Além das características elétricas, as características físicas do layout são estudadas em sala de aula, introduzindo o aluno nas técnicas de layout mais utilizadas em circuitos integrados.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos com este trabalho podem ser analisados em dois níveis de objetivos: Papel da disciplina no curso, domínio do assunto proposto.

4.1 Contribuição aos objetivos do curso

Embora o projeto do curso (Engenharia Elétrica/UFSM, 2008) estabeleça estratégias específicas para o desenvolvimento de habilidades e conhecimentos, bem como para a solução de problemas diagnosticados nas versões anteriores do currículo, sua execução adequada requerer mudanças culturais e administrativas na instituição. Uma parte do corpo docente ainda desconhece o projeto do curso e se abstém da adequação de suas metodologias ao projeto do curso. Com isto, após três anos da entrada em vigor do atual projeto pedagógico, apenas algumas iniciativas isoladas vão, lentamente, reconfigurando a formação praticada no curso.

Este conflito de metodologias e níveis de exigência confunde os discentes, que tendem a responder às propostas de avaliação na forma tradicional, assumindo a prática da revisão bibliográfica como sinônimo de pesquisa. Nota-se que no quarto semestre do curso, apenas cerca de 50% dos estudantes, em média, é capaz de assimilar propostas deste tipo com uma postura adequada, focalizando a solução do problema e o aprendizado, em oposição à mera obtenção de uma nota para a aprovação.

Um dos principais resultados obtidos com a adoção do ensino/aprendizagem baseado em problemas (ou projetos) tem sido contribuir para esta mudança de atitude do corpo discente. Esta alteração é nitidamente observável ao longo da disciplina, e os efeitos tem sido observados também nos semestres subseqüentes, pelo próprio autor, por outros docentes e pelos próprios estudantes. Uma amostra desta alteração de comportamento pode ser constatada na última semana do prazo de execução do trabalho. Oito, entre dez grupos no total, haviam elaborado projetos exclusivamente com base na folha de dados dos fabricantes, fugindo da proposta do trabalho e buscando soluções prontas. Ao observarem os dois grupos restantes, resolveram mostrar os resultados ao professor. A confirmação da inadequação da abordagem acarretou uma “corrida contra o relógio” para a elaboração de um projeto de fato, em conformidade com a proposta. Embora cerca de 45% da turma tenha obtido resultados pouco satisfatórios, os alunos foram capazes de assimilar os objetivos, resultando uma mudança radical de abordagem no segundo trabalho. Após o primeiro trabalho, houve uma desistência de 10% da turma, alguns grupos foram reconfigurados e o nível de interação entre os grupos e destes com o professor aumentou significativamente. Na segunda avaliação, todos os grupos produziram projetos de acordo com a metodologia proposta.

4.2 Conhecimentos e Habilidades

O curso de engenharia elétrica da UFSM adotou uma flexibilização de ênfases, que permite ao estudante planejar o perfil desejado à sua formação. Os principais núcleos de formação existentes foram mantidos, atualizados, e alguns novos foram criados, como é o caso da microeletrônica. Por isso, é importante a diversificação dos temas propostos entre as diversas áreas de formação disponíveis no curso. É bastante nítida a variação do desempenho, em função do interesse dos alunos pelas diversas áreas. No caso específico deste trabalho, cerca de 55% da turma atingiu resultados considerados plenamente satisfatórios, e 30% excedeu as expectativas em diversos aspectos do trabalho, especialmente aqueles relativos às atividades de projeto. A figura 3 sintetiza o sucesso desses grupos, mostrando os resultados obtidos nas principais etapas.

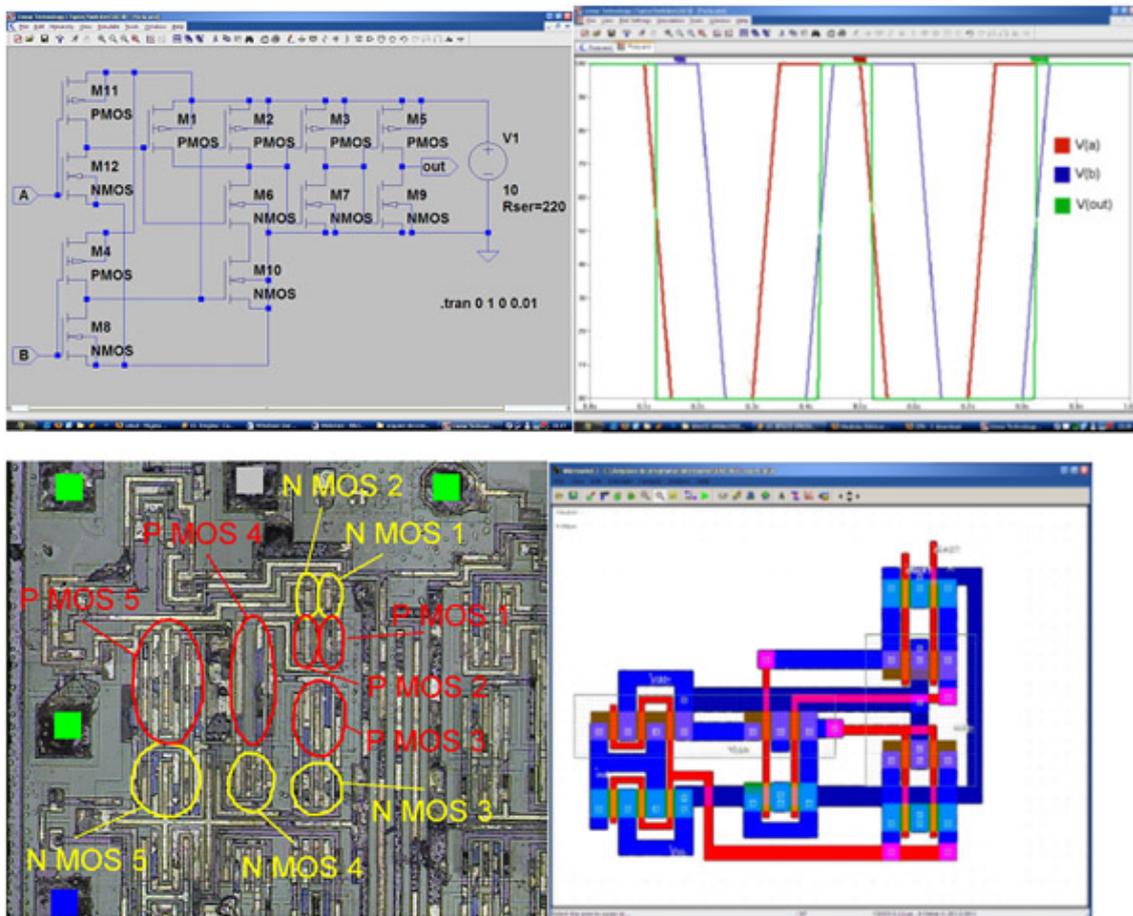


Figura 3 – Resultados obtidos com a engenharia reversa e reprojeto do circuito integrado.

Uma análise qualitativa dos resultados confirma a preferência dos alunos pela abordagem prática e pelas atividades de projeto, em detrimento às etapas que envolvem estudos teóricos. Esta constatação indica a necessidade de modificações no método visando induzir os alunos à valorização do estudo teórico, sem detrimento dos demais resultados. Os resultados atingidos são resumidos na Tabela 1.

Figura 3 – Resultados obtidos com a engenharia reversa e re-projeto do circuito integrado.

Objetivos	Avaliação
Funcionamento do circuito	71,2%
Processo de fabricação	92,0%
Teoria da condução em semicondutores	14,1%
Simulação elétrica	47,5%
Re-projeto/Layout	51,4%

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresenta uma experiência didática onde a aplicação de elementos de engenharia reversa em circuitos integrados digitais é empregada como um caso para o aprendizado baseado em problemas (APB). A oportunidade de executar um projeto ainda no quarto semestre do curso, mostrou-se nitidamente capaz de motivar os estudantes ao estudo dos materiais semicondutores, contextualizado ao re-projeto de um dispositivo real. Embora os percentuais e tolerâncias típicas de desempenho das turmas de engenharia elétrica tenham se mantido, pode-se constatar que a proposta foi capaz de induzir mudanças significativas de comportamento para o trabalho subsequente. Mesmo assim, cerca de 55% da turma foi capaz de satisfazer plenamente aos objetivos propostos, e aproximadamente 30% superou as expectativas. A avaliação quantitativa dos resultados mostra, contudo, a necessidade de ajustes na metodologia visando induzir os alunos a um maior aprofundamento na teoria, e ao reconhecimento desta como base para a solução de problemas em engenharia.

Além de envolver os estudantes em um grande número de horas extra-classe, o método se revelou uma alternativa interessante para o desenvolvimento de habilidades e conhecimentos complementares, como: trabalho em equipe, planejamento, uso de ferramentas de auxílio ao projeto, capacidade de análise e síntese. A avaliação dos resultados e a observação do comportamento dos estudantes durante o projeto é também uma excelente oportunidade para caracterização dos perfis dos alunos no curso. Após o trabalho, houve uma desistência de 10% da turma. A postura destes estudantes perante o problema proposto já indicava claramente a fraca disposição em abordar o problema como um desafio real. A confirmação de que uma mera revisão bibliográfica é insuficiente para os objetivos propostos, redundou com o abandono da disciplina.

Agradecimentos

Agradeço ao professor Altamiro Amadeu Susin (UFRGS) pela inspiração. A visão de dezenas de alunos ansiosos por descobrir a “mágica” que se esconde dentro de pequena pastilha preta de plástico, queimando-a, mostrou-me como é possível motivar os jovens a fazer grandes sacrifícios em nome da curiosidade. Meus agradecimentos ao professor Inácio da Fontoura Limberger do laboratório de metalurgia física pela disponibilização dos microscópios e pela ajuda prestada aos alunos com a visualização e gravação das imagens. Thanks also to my friend Jane, for her helping hand in the abstract.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADES, J. C. C.; FIGUEIREDO, C. H.; LEAL, M. G. F. O uso da abordagem top-down como metodologia integradora no curso de engenharia eletrônica. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 34, 2006, Passo Fundo. **Anais**. Passo Fundo: Abenge, 2006. p. 1329 – 1340.

BOTHE, K. Reverse Engineering: The Challenge of Large-scale Real-World Educational Projects. In: Software Engineering Education and Training, 14, 2001. Charlotte. **Proceedings**. Charlotte: IEEE, 2001. p.115 – 126.

CAMP, G. Problem-Based Learning: a paradigm shift or a passing fad? Medical Education Online [serial online] 1996;1,2. Disponível em: <http://www.utmb.edu/meo/f0000003.pdf>
Acesso em 11 de junho de 2008.

DAMÁSIO, A. **Em busca de Espinosa: prazer e dor na ciência dos sentimentos**. São Paulo: Companhia das Letras, 2003.

ENGENHARIA ELÉTRICA/UFMS, **Projeto Político Pedagógico do Curso de Engenharia Elétrica – Estrutura Curricular**. Disponível em http://www.ufsm.br/pppnovo/PDF/CURSOS_DE_GRADUACAO/ENGENHARIA_ELETRICA/08_CURRICULO/01 ESTRUTURA_CURRICULAR/ESTRUTURA_CURRICULAR.pdf. Acesso em 11 de junho de 2008.

JACOSKI, C. A. Estímulo competitivo e aprendizagem baseada em problemas (PBL) - Estudo no ensino de Estruras de Concreto Armado. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 35, 2007, Curitiba. **Anais**. Curitiba: Abenge, 2007. p. 2B133-2B144.

LE DOUX, J.E. Emoção, memória e o cérebro. **SCIENTIFIC AMERICAM BRASIL. ESPECIAL SEGREDOS DA MENTE**. DUETTO EDITORIAL. SÃO PAULO. PP. 66-75, 2006.

LIN, L; CHEN, G; KUANG, H; WANG, D E TSIEN, J.Z. Neural Encoding of the concept of nest in the mouse brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.1104, N.14, p.6066-6071, 2007. USA

LINEARTECHNOLOGY. LTSpice. Disponível em <http://www.linear.com/designtools/software/#Spice>. Acesso em 11 de junho de 2008.

MACÍAS-GUARASA, J.; MONTERO, J. M.; SAN-SEGUNDO, ARAUJO, R. A.; NIETO-TALADRIZ O. A Project-Based Learning Approach to Design Electronic Systems Curricula. *IEEE Transactions on Education*, v. 49, n. 3, p. 389-398, 2006.

RODRIGUES, C.R. **Estudo Dirigido: Materiais Semicondutores, materiais condutores, materiais isolantes, primeiro semestre de 2008**. Disponível em <http://www.ufsm.br/materiais/P1.pdf>. Acesso em 11 de junho de 2008.

RODRIGUES, C. R. PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO FORMATIVA PARA O ENSINO DE ENGENHARIA. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 35, 2007, Curitiba. **Anais**. Curitiba: Abenge, 2007. p. 3E05-1-3E05-9.

RAZAVI, B. **Design of analog CMOS integrated circuits**. New York: McGraw-Hill, 2001.

SICARD, E. Microwind V3.1. Disponível em <http://www.microwind.net/downloads.html>. Acesso em 11 de junho de 2008.

BURNING CHIPS: A PBL EXPERIENCE USING REVERSE ENGINEERING ELEMENTS

Abstract: *Revealing and being able to explain how a silicon chip is made and how it works, starting from its observation in an optical microscope. This is the challenge proposed to students enrolled in the Electric and Electronic Materials course, in the fourth semester of Electric Engineering Undergraduate program from the Federal University of Santa Maria. This and other subjects have been conceived to establish a top-down approach of engineering, this is, the understanding of a whole system, its applications causing on the student motivation to go deep into details, comprising: specifications, the origins of phenomena, fabrication methods and their relationships to characteristics of systems and devices under study. The content of the subject on semiconductor materials covers: electrical properties, fabrication methods, and applications. Among the proposed objectives, one that stands out is the ability to relate the characteristics of the system, or device, to its fabrication methods. As the University does not have a semiconductor process laboratory, and the combination of purely theoretical studies to dissertative assessments tend to make students to reduce student's interest on this matter. This challenge was thought as an attempt to awake in the students the need of studying the semiconductors theory and their fabrication processes, developing associations which allow them understand and be capable of explaining the operation, how the silicon chips are made and the relation between them.*

Key-words: *Reverse engineering, PBL, electronic materials.*