



- **MEMS (MICRO ELECTROMECHANICAL SYSTEMS) – A IMPORTÂNCIA DA MICRO-TECNOLOGIA NO ENSINO DE ENGENHARIA NAS UNIVERSIDADES BRASILEIRAS**

Manuel M. P.Reimbold – manolo@unijui.edu.br

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias

R. Lulu Fitzgerald, 501, B. São Beraldo

CEP 98700-000 – Íjuí – Rio Grande do Sul

Marcos B. Ketzer – marcos.ketzer@ee.ufcg.edu.br

Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Elétrica

R. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó

CEP 58429-140 – Campina Grande – Paraíba

Maurício de Campos – campos@unijui.edu.br

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias

R. Lulu Fitzgerald, 501, B. São Beraldo

CEP 98700-000 – Íjuí – Rio Grande do Sul

Cursino B. Jacobina – jacobina@dee.ufcg.edu.br

Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Elétrica

R. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó

CEP 58429-140 – Campina Grande – Paraíba

Airam Sausen – airam@unijui.edu.br

Paulo Sausen – sausen@unijui.edu.br

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias

R. Lulu Fitzgerald, 501, B. São Beraldo

CEP 98700-000 – Íjuí – Rio Grande do Sul

Resumo: *O ensino da engenharia em diversos países vem sofrendo várias mudanças, sendo algumas decorrentes do amadurecimento de micro-tecnologias. Uma das tecnologias com maior destaque é a dos dispositivos conhecidos como MEMS (Micro Electromechanical Systems). A incorporação destes nos conteúdos programáticos exige uma adequação e renovação dos currículos tradicionais, ou ainda, a proposição de novos currículos para as engenharias, principalmente, nas áreas de Engenharia Elétrica e Mecânica. Este trabalho objetiva motivar a criação de cursos de graduação com ênfase em Engenharia de MEMS nas universidades brasileiras, apresentando seu projeto como agente estruturador dos cursos, sendo sua diretriz definida a partir da evolução dos MEMS, seu conceito estrutural e funcional e as etapas de projeto e desenvolvimento.*

Palavras-chave: Engenharia, Micro-Tecnologia, MEMS.

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



**O ENGENHEIRO
PROFESSOR E O
DESAFIO DE EDUCAR**



1. INTRODUÇÃO

Os MEMS (*Micro Electromechanical Systems*) são microssistemas constituídos de elementos mecânicos e eletrônicos integrados em pastilhas de silício (Nguyen, 1995), (Wang, 1999) que têm se destacado, especialmente na indústria, pela diversidade de aplicações que possuem (Harsányi, 2005), (Fernholz, 2006). A *Yole Development* estima que o mercado para MEMS no ano 2012 deve alcançar valores próximos a US\$14 bilhões. Isto representa o dobro de 2007, ano em que os valores se encontravam em torno de US\$7,1 bilhões (Minipan, 2006).

De acordo com a balança comercial do Brasil, “O Panorama Econômico – de Janeiro a Fevereiro de 2011”, editado anualmente pela ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica), as importações de Componentes Elétricos e Eletrônicos totalizaram US\$ 2,9 bilhões, representando 52% do total do setor. Entre seus itens estão os produtos mais importados do setor: semicondutores (US\$ 722 milhões), componentes para telecomunicações (US\$ 693 milhões) e componentes para informática (US\$ 428 milhões), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Produtos mais importados no Brasil (Janeiro-Fevereiro 2010-2011).

Fonte: (ABINEE, 2011).

Produtos US\$ Milhões	2010	2011	Var.%
Semicondutores	594	722	22
Componentes p/ Informática	527	428	-19
Comp. p/ Telecomunicações	508	693	36
Instrumentos de Medida	178	231	29
Eletrônica Embarcada	188	220	17
Comp. p/ Equip. Industriais	122	157	29
Aparelhos Eletromédicos	90	117	30
Maq. p/ Processam. Dados	81	115	42
Comp. p/ Utilid. Domésticas	55	113	103
Componentes Passivos	90	101	11

Entre os dez produtos mais importados do setor (Tabela 1), apenas os componentes para informática apontaram queda nas compras externas. Porém houve uma expansão de 103% nas importações de componentes para utilidades domésticas, que somam a quantia de US\$ 113 milhões. Com as exportações somando US\$ 1,05 bilhão e as importações, US\$ 5,59 bilhões, o déficit da balança comercial de produtos eletroeletrônicos, no período acumulado de janeiro-fevereiro de 2011, atingiu US\$ 4,54 bilhões. Este resultado é 25% superior ao registrado em igual período de 2010 (US\$ 3,63 bilhões).

Nos países onde este cenário econômico se destaca, é verificado um fortalecimento das capacidades de conceber, desenvolver e aplicar novas micro-tecnologias, as quais consolidam o setor industrial e comercial, tanto interno como externo, de forma que influenciam positivamente na balança comercial. A melhoria da qualidade de vida dos habitantes do próprio país é notória, portanto, caracterizado como país rico no cenário mundial (Zaghloul, 1999).



Este trabalho objetiva motivar a criação de cursos de graduação em Engenharias para Micro-tecnologias nas universidades brasileiras, apresentando o caso particular de MEMS, cujo design venha a ser o agente estruturador dos cursos. Para tal, a diretriz aqui apresentada focará sobre a evolução dos MEMS, o conceito estrutural e funcional, as etapas de projeto, as formas de ensino em países estrangeiros.

2. MICRO-TECNOLOGIA

A micro-tecnologia revela o desejo do homem em imitar e controlar a natureza em seu movimento e tempo. Seu domínio em nível microscópico é fundamental para alterar convenientemente a aparência da própria natureza (Breton, 1991). Assim, a miniaturização e a integração de dispositivos, através da Microeletrônica consolidaram o advento dos “microssistemas” (Feynman, 1992) (Plaza, 2004) que são providos das capacidades de processamento computacional, transdução, condicionamento de sinal, transferência de dados e transporte (Feynman, 1993). Ao serem conjugados com algoritmos matemáticos, que imitam o comportamento da inteligência humana, tornam a interação com o meio inteligente, versátil e eficiente (Fujita, 1996), (Lang, 1999). O sucesso da interatividade dos mesmos com o meio em que se encontram chama a atenção dos diferentes setores industriais, conforme é mostrado na Figura 1 (Wong, 2006).

Vários são os prefixos que caracterizam a funcionalidade destes microssistemas. Se a finalidade destes é monitorar, são denominados de micro-sensores, caso seja atuação, são chamados de micro-atuadores. O processamento de algoritmos matemáticos que imitam a inteligência permite atribuir-lhes o prefixo “inteligente” ou *smart* (Ribas, 2000). Neste contexto, o MEMS é uma micro-estrutura ou um meio físico que comporta a base e os elementos necessários da micro-eletrônica, dos micro-sensores e dos micro-atuadores para comunicar-se e interagir com o meio.

Portanto, os MEMS são uma das micro-tecnologias consideradas como referência no desenvolvimento tecnológico. Nos últimos anos, a diretriz estabelecida pela indústria, é que, a concepção, o projeto e a fabricação de MEMS devem possuir baixo custo permitindo acessibilidade (Judy, 2002).

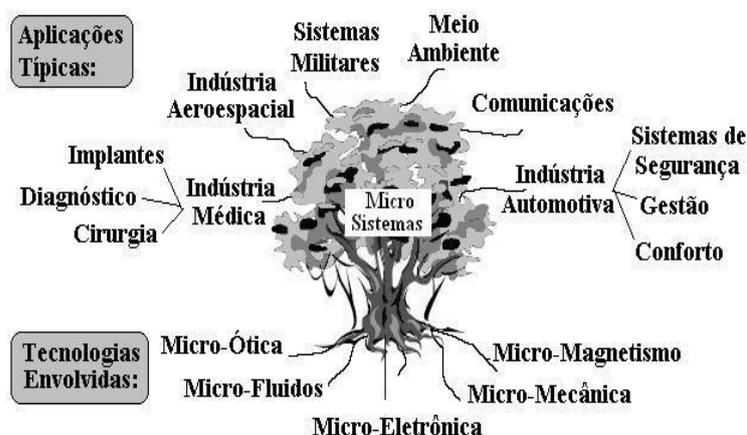


Figura 1. Tecnologias envolvidas e aplicações típicas de microssistemas.
Fonte: (Manobianco, 2003).



3. DESENVOLVIMENTO DE MEMS

Três diferentes estágios descrevem a trajetória de um MEMS, desde a matéria prima até a produção final: Pesquisa, Desenvolvimento e Produção. A Pesquisa define os requisitos do microsistema, sintetizando o conceito, os possíveis processos de fabricação, de integração, de encapsulamento em protótipos de teste. O segundo estágio, o Desenvolvimento, tem como propósito discutir requisitos de projeto, formação de equipe, maturação dos processos de fabricação, processos de controle, verificação de metas e qualificação dos processos de produção. Finalmente, o último estágio, Produção, converte o dispositivo projetado em produto, gerencia etapas de produção, testa amostras e coloca o produto no mercado. O elevado custo no projeto do produto é o gargalo que induz a uma maior investigação (Polosky, 2006).

O projeto de MEMS é dividido em seis fases: comportamento do produto, processo de fabricação, integração, teste, análise *post-mortem* e verificação de requisitos. A conclusão de cada fase exige revisão, de modo que a mesma esteja completa, exata e aprovada, antes que seja iniciada a próxima fase. No projeto, o objetivo principal é obter o melhor modelo de MEMS que tenha implementação viável, dentro dos pré-requisitos estabelecidos, com razoável predição de comportamento.

A modelagem computacional de MEMS - simulação ou verificação - é uma tarefa complexa. Estas envolvem acoplamento de múltiplos domínios da energia, estruturas geométricas complexas, modelos de várias funções base e ordem elevada, discretização no tempo e no espaço. A discretização de Equações Diferenciais Parciais (EPDs) conduz a um sistema de equações diferenciais ordinárias que permite análise estática, modal, harmônica e transitória. Os níveis de subsistema, como de sistema, visam ao uso de modelagem compacta, onde são abordadas técnicas utilizadas para obter o modelo que apresente o menor número de funções base e a menor ordem.

As três modelagens citadas participam da simulação e verificação de MEMS em quatro níveis: processo, físico, componente e sistema, como apresentado na Figura 2.

A interação entre os diferentes níveis é critério do projetista e da especialidade. A simulação ocorre quando a modelagem acontece de um nível superior para um nível inferior, e, objetiva obter informação. Caso contrário denomina-se de “verificação”, e esta tem como objetivo focar a análise. Cada nível apresenta características próprias.

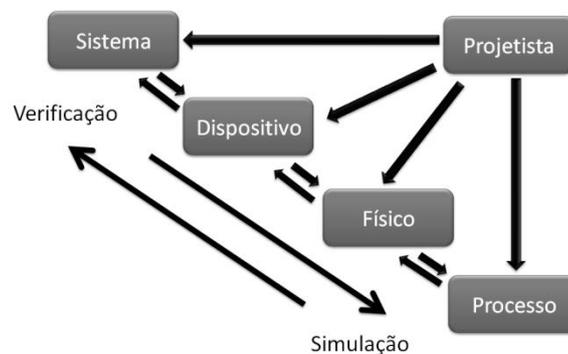


Figura 2. Níveis de modelagem MEMS.

Fonte: (Senturia, 1992).



4. DESAFIO PARA O ESTUDO MEMS

O tempo de desenvolvimento do MEMS é prolongado. Trabalhos científicos estabelecem que, para desenvolver um novo dispositivo, a média é de cinco anos, e ainda é necessário outro período igual para fazer este chegar ao mercado (Deng, 2005). Outros autores ainda declaram que o desenvolvimento de MEMS necessita aproximadamente de quinze anos (Litovski, 2005). Este fato se justifica pela falta de um sistema de gerenciamento abrangente e eficaz, durante o projeto dos dispositivos MEMS até os pormenores da produção e sua entrega ao mercado. Logo, a falta de padrão, ou a formalização do processo, e a falta de instrumentos adequados conduzem ao método quase empírico de "construir e testar" aproximações de dispositivos MEMS inicialmente idealizados.

Também, deve considerar-se que a modelagem computacional, a simulação e a verificação têm limites. A investigação de técnicas de discretização, compactação e de redução da ordem do modelo continua a diminuir a demora no processamento dos modelos comportamentais, porém ainda não atingindo a automatização do processo.

Garantir a robustez e a confiabilidade é extremamente difícil devido à complexidade e à natureza heterogênea da maioria dos dispositivos MEMS. É necessário salientar que ter o conhecimento de todos os fenômenos que se manifestam nos MEMS não é trivial, devido às iterações diferenciadas em sistemas micrométricos, daqueles macroscópicos. É evidente que, na medida do avanço da miniaturização e da integração, também avançam as dificuldades na compreensão dos novos fenômenos que surgirão. Isto dificulta a obtenção de um modelo para projeto (Lienemann, 2006).

Cabe considerar que o encapsulamento de MEMS, devido à unicidade e às áreas específicas de aplicação dos mesmos, requerem alta confiabilidade. Dispositivos RF-MEMS necessitam ser encapsulados a vácuo, ao contrário de micropinças para cauterização de vasos sanguíneos. Deve-se levar em consideração que os estímulos utilizados em testes não são unicamente elétricos. Os dispositivos podem necessitar de estímulos e medições não elétricas, incluindo som, luz, vibração, pressão e temperatura, entre outras. Os métodos utilizados nos testes, atualmente, necessitam explorar todo o espectro de frequências, o que implica na utilização de diferentes geradores durante o teste, principalmente quando o assunto são testes modais. Consequentemente, as metodologias de teste e instrumentação apresentam elevado custo.

No estágio de produção, é necessário otimizar a capacidade de fabricação em volumes (batch), desenvolver soluções para equipamentos de produção e também satisfazer as necessidades de testes. Os ensaios e diagnósticos demandam repetitivas análises necessárias não só para aperfeiçoar o projeto, mas também para constatar se houve cobertura de todas as possíveis falhas, e só então, criar uma biblioteca de falhas. Obter os modelos de falha em nível de sistema dos dispositivos MEMS é necessário (Litovski, 2005).

Fundamentalmente, a interação do MEMS depende de atuadores. A causa disto talvez tenha sido o exacerbado desenvolvimento de microssores durante a II Guerra Mundial e após, no período da Guerra Fria dominado pela corrida armamentista e conquista do espaço. A prioridade aos sensores criou, indiretamente, uma falta de investimento e pesquisa de atuadores, a qual atingiu seu ápice ao alterar o cronograma que rege o advento de micro e nano robótica (Monzón, 2003).

Conforme o exposto, a caracterização de dispositivos MEMS em uma faixa de frequência estreita e em um intervalo de tempo reduzido, assegurando a qualidade e o baixo custo destes dispositivos é desejável. Os parâmetros característicos contêm informação da geometria e das



propriedades dos materiais utilizados na construção dos próprios dispositivos. A inserção destes parâmetros em um modelo matemático linear ou não linear facilita e permite que o projetista agilize as etapas de análise e projeto. Todos os fatores citados justificam a necessidade de formação de engenheiros nestas áreas de micro-tecnologia.

5. CURSO DE ENGENHARIA COM ÊNFASE EM MEMS NO EXTERIOR

As universidades estrangeiras, desde 1990, iniciaram a modificação do currículo de engenharia e a utilização de meios multimídia como recursos didáticos, ambos otimizados para o ensino de microssistemas. Como exemplo citar-se-á a Universidade de Michigan, a qual reestruturou o curso de engenharia mecânica, convertendo-o em um curso curricular de microssistemas (Lin, 2001). Outro exemplo que deve ser examinado com detalhes é o caso da China. A China é o país que mais forma engenheiros no mundo, inclusive quando comparada com os Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha e Japão. Seu sucesso se deve ao programa TEE (*Total Education Engineering*), o qual visa à formação de talentos, onde os estudantes são o centro das atenções. A produção de documentos científicos não é prioridade (Tu, 2006). É importante observar que países que apresentam maior crescimento econômico também têm apresentado crescimento acentuado nos cursos de engenharia (Wu, 2004).

Exemplo de otimização dos recursos didáticos para o ensino de microssistemas, é o projeto TRANSTEC. Este foi desenvolvido pela Comissão Européia, que objetiva utilizar meios multimídia e Internet. O propósito é ensinar tecnologia e projeto a custos baixíssimos, pois o ensino tradicional demanda elevados investimentos (Hahn, 2001). Cursos de curta duração, também através da Internet, são atrativos. É o caso dos cursos desenvolvidos pelo Departamento de Tecnologia Eletrônica da Budapest University of Technology and Economics (Harsányi, 2005).

Os cursos de Engenharia de Microssistemas, ministrados no exterior, obedecem à sólida proposta de ensino em modelagem e simulação. Os conceitos básicos de MEMS são ensinados em aulas teóricas e desenvolvidos de forma interativa. O conteúdo versa sobre conceitos fundamentais, porém é necessário o embasamento em processos de fabricação de maneira confiável, e ao mesmo tempo, conciliar ferramentas para análise e verificação. Consequentemente, o currículo de Engenharia com ênfase em MEMS obedece ao projeto dos mesmos. O currículo se constitui em: domínio de Ciências Básicas, necessárias à compreensão dos dispositivos; conceituação e utilização de ferramentas CAD e análise, experiência em fabricação, testes e caracterização de MEMS; onde cada um destes itens requer ponderação para obter os resultados desejados (Lin, 2001), (Da Silveira, 2005).

5.1. Ciências Básicas de Relevância

A concepção de MEMS é resultado do conceito firme em ciências básicas: física, química, matemática (cálculo e equações diferenciais) e ciências dos materiais. Sendo estas caracterizadas como ensino fundamental para introdução ao estudo de MEMS. A miniaturização, conceitos e problemas de dimensionamento, são assuntos de total relevância e devem estar inseridos no currículo, de modo que os estudantes obtenham a intuição de como encarar os fenômenos que ocorrem durante a interação dos MEMS com o meio (Sheeparamatti, 2006).



5.2. Concepção de Ferramentas para Análise

O desenvolvimento de microssistemas e suas aplicações, sempre demandaram longos períodos e etapas a cumprir tais como: elaboração de layout, verificação do processo, e construção do protótipo. Esta sequência de etapas como forma clássica de abordagem na realização do projeto é cara. Estudos revelam que o projeto final não apresenta otimização ou consolidação. Portanto, o processo clássico foi substituído pela prototipagem virtual de inovações MEMS, a qual é desenvolvida através de eficientes modelos e desenhos com elevada precisão assistidos por ferramentas computacionais (CAD - *Computer Aided Design*) (Senturia, 1998). Este novo procedimento motiva o estudante de engenharia a desenvolver ferramentas CAD para MEMS, pois há necessidade de investigar processos complexos devido à presença de diferentes domínios de energia (mecânica, elétrica, fluídica, química, biológica, óptica, entre outras) nos microssistemas.

5.3. Experiência em Fabricação, Testes e Caracterização de MEMS

A maior parte das instituições de ensino carece da falta de infra-estrutura, como laboratórios para fabricação de dispositivos MEMS. Um exemplo de referência é a empresa Burbank, Califórnia (E.U.A.) que desenvolveu o EFAB, micro-tecnologia para fabricação em 3D, que permite fabricar dispositivos funcionais MEMS, em apenas alguns dias após terem sido concebidos utilizando softwares convencionais CAD. Isto, também, oferece oportunidade para uma maior integração do estudante, pois a caracterização de MEMS o capacita a encontrar defeitos como também a detectar falhas e a verificar operacionalidade, aprendendo a realizar testes nos dispositivos.

5.4. Estratégias para Promoção do Curso de MEMS

As universidades, que oferecem o curso de Engenharia em com ênfase em MEMS, fornecem as seguintes facilidades e recursos para a formação de engenheiros com excelência (Laudares, 2008):

1. Integrar a modelagem e simulação ao longo de todo o curso de engenharia.
2. Ensinar o uso de ferramentas básicas CAD e ferramentas de simulação de microssistemas. Ajudar os estudantes a visualizar simulações e dominar a micro-usinagem.
3. Disponibilizar o EFAB aos estudantes de engenharia.
4. Integrar a concepção de projetos nos cursos.
5. Prover o curso de graduação com número suficiente de livros.
6. Trabalhar com grupos industriais sobre a definição de educação padrão de MEMS.
7. Desenvolver EFAB de baixo custo.

6. REFLEXÕES PEDAGÓGICAS E RECURSOS DIDÁTICOS

O ensino da engenharia em MEMS tem que ser eficiente para satisfazer as exigências do rápido crescimento do país. O ritmo deve ser imposto pelas necessidades da indústria ou mercado, demandando o nível necessário de educação (Castro-Cedeno, 2005). O desafio consiste em ensinar engenharia de MEMS com o mínimo de infra-estrutura, porém com



eficácia. O ensino tradicional baseado em leitura de livros e salas de aula sem computadores não é recomendado para o ensino de MEMS (Matai, 2008).

Literatura científica sobre MEMS é encontrada em livros, artigos, relatórios, na Internet, porém não podem constituir-se nos únicos recursos de ensino, pois sua prioridade é relatar resultados obtidos de pesquisa e difusão tecnológica, não tendo cunho didático (Almeida, 2007). A utilização de computadores permite fortalecer mais ainda a compreensão de MEMS. A pirâmide da aprendizagem e fixação de conhecimento revela que o homem aprende 30% através da visão, retém 50% do que ouve e diz, mas ao ouvir e praticar, 90% do aprendizado fica retido conforme mostrado na Figura 3 (Dale, 1954).

Logo a pirâmide da aprendizagem permite concluir que o exercício prático é uma forma ideal de aprender e ensinar. Os estudantes de engenharia costumam construir seus protótipos enfrentando sérios problemas financeiros. MEMS lhes oferece uma possibilidade diferente, pois o protótipo depende diretamente da disponibilidade de computadores. Porém, compreender e expressar as limitações do software e dos processos utilizados na fabricação de MEMS é fundamental para o estudante de engenharia e informática, uma vez que softwares não são absolutos. De fato, a modelagem matemática de alguns macro-fenômenos, o qual é o foco de maior parte dos CADs em engenharia, não é válida sob estas dimensões, pois novos fenômenos se manifestarão e necessitarão ser modelados. A virtualização destes sistemas é difícil, tanto pelas próprias dimensões, quanto pela falta de equipamentos para sua observação. É evidente que a criatividade e a inventividade terão que ser aguçadas (Souza e Silva, 2000).



Figura 3. Pirâmide da aprendizagem
Fonte: (Meister, 1999).

A natureza dos MEMS requer a integração de diferentes disciplinas como: matemática, física (eletromagnetismo, mecânica, termodinâmica e ondulatória), química, eletrônica, ciências da computação, entre outras. Também devem considerar-se as disciplinas de Ciências Humanas, tais como economia, sociologia, história e educação, pois tem muito a ver com os impactos e consequências desta nova tecnologia sobre a economia, segurança, empregos, vida social e saúde. O resultado é a multi-inter-disciplinaridade, que permite aos estudantes de



engenharia ter visão holística, assim como também, o desenvolvimento de inúmeras habilidades (Polla, 1994).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O início do crescimento dos cursos de engenharia, do Brasil como o de países estrangeiros, coincidiu com a consolidação da miniaturização através do advento da Micro-Eletrônica em 1947 (Oliveira, 2005). Uma nova era começa e a nação brasileira não deve esperar que países estrangeiros atinjam o auge da micro-tecnologia para recém definir novos cursos de engenharia. O estudo descrito mostra que a Engenharia de Microdispositivos com ênfase de MEMS é indicada para ser um curso sequencial de graduação nas universidades do Brasil. A elaboração e aplicação de currículos se apresenta como uma excelente oportunidade para que universidades participem do desenvolvimento de micro e nano tecnologias. Universidades poderão implantar estes cursos, pois o convênio com centros maiores permitirá a confecção de dispositivos (prototipagem) a distância. Urge que o Brasil acompanhe o desenvolvimento tecnológico mundial fortalecendo a sinergia entre a indústria e a universidade, de forma que ambos revertam os resultados econômicos e de qualidade da vida brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINEE. Balança Comercial - Janeiro-Fevereiro/2011. *Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica*. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon10.htm>> Acesso em: Abr 2011.

ALMEIDA, T. L. Uma Experiência alternativa em avaliação. *Revista de Ensino de Engenharia*, v. 26, no2, p. 25-34, jul.-dez 2007.

BRETON, P. *História da Informática*. São Paulo : Universidade Estadual Paulista, 1991.

CASTRO-CEDENO, M. H. *The MEMS Applications Engineer*. R I T - Digital Media Library. 16 jul, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1850/990>>. Acesso em: 27 ago. 2008.

DALE, E. *Audio-visual methods in teaching*. New York : The Dryden Press, 1954.

DA SILVEIRA, M. A.; ÁRAUJO, M. A. V., Algumas Sugestões sobre Perfis de Formação em Engenharia. *Revista de Ensino de Engenharia*, v. 24, no2, p. 17-25, 2005.

DAO, D. V. Six-degree of Freedom Micro Force-moment Sensor for Application in Geophysics. In: THE IEEE INT'L CONFERENCE ON MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS, 2002, Las Vegas, USA, *Proceedings*. [S.I]: IEEE, 2002, p. 312-315.

DENG, Y. M.; LU, W. F. *Performance-Driven Microfabrication-Oriented Methodology for MEMS Conceptual Design with Application in Microfluidic Device Design*. MITLibraries, DSpace Janeiro de 2005. Disponível em: <<http://dspace.mit.edu/handle-/1721.1/7460>>. Acesso em: Out 2008.



FEDDER, G. K. Structured Design of Integrated MEMS. In: INTERNATIONAL MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEM CONFERENCE, 12, 1999. *Proceedings*. [S.I.] : IEEE, 1999, p. 1-8.

FERNHOLZ, G. *Roadmaps em MEMS/MST: o que eles oferecem e em que direção eles estão indo?* MINAPIM – A Revista de Micro e Nanotecnologia do Pólo Industrial de Manaus. SUFRAMA – Super Intendência da Zona de Manaus, 2006. Disponível em: <<http://www.suframa.gov.br/minapim/news/visArtigo.cfm?Ident=29&Lang=BR>>. Acesso em: Ago 2006.

FEYNMAN, R. P. There's plenty of room at the bottom. *Journal of Electromechanical Systems*, v. 1, no1, p. 60-66, 1992.

FEYNMAN, R. P. Infinitesimal machinery. *Journal of Microelectromechanical Systems*, v. 2, no1, p. 4-14, 1993.

FUJITA, H. Future of actuators and microsystems. *Sensors and Actuators A*, v.56, p.105-111, 1996.

HAHN, K.; BRÜCK, R.; POPP, J.; PRIEBE, A. Web-based training for microsystem technologies and design. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICROELECTRONIC SYSTEMS EDUCATION, 2001, Las Vegas, Nevada, U.S.A., *Proceedings*. [SI] : IEEE, 2001, p. 69-70.

HARSÁNYI, G. An internet course for teaching basic MEMS technologies and applications : MEMSEdu. In: ELECTRONIC COMPONENTS AND TECHNOLOGY CONFERENCE. *Proceedings*. 2005, p. 1935-1942.

JUDY, J J.; MOTTA, P.S. Introduction to micromachining and MEMS: A lecture and hands-on laboratory course undergraduate and graduate students from all backgrounds. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING EDUCATION. 2002, Manchester, England, *Proceedings*. [SI] : ICEE, 2002, p. 1-6.

LANG, W. Reflexions on the future of microsystems. *Sensors and Actuators A*, v. 72, p. 1-15, 1999.

LAUDARES, J. B.; PAIXÃO, E. L.; VIGGIANO, A. R. O Ensino de Engenharia e a Formação do Engenheiro: Contribuição do Programa de Mestrado em Tecnologia do CEFET-MG - Educação Tecnológica. *Revista de Ensino de Engenharia*, v. 27, no1, p. 8-16, jan.-jun. 2008.

LIENEMANN, J. *Complexity reduction techniques for advanced MEMS actuators simulations*. Freiburg, 2006. Tese, Institut für Mikrosystemtechnik, 2006.

LIN, L. Curriculum Development in Microelectromechanical Systems in Mechanical Engineering. *IEEE Transactions on Education*, v. 44, no1, p. 61-66, 2001.



LITOVSKI, V.; ANDREJEVIC, M.; ZWOLINSKI, M. Behavioural Modelling, Simulation, Test and Diagnosis of MEMS using ANNs. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS. 2005, Kobe, Japan, *Proceedings*. [SI] : IEEE, 2005.

MANOBIANCO, J.; CASE, J. L.; EVANS, R. J.; SHORT, D. A.; PISTER, K. S. GEMS: microsystems, nanotechnology, and environmental monitoring in the 21st century. In: BIO, MICRO, AND NANOSYSTEMS-ASM CONFERENCES. 2003, Cocoa Beach, FL, U.S.A. *Proceedings*. [SI]: IEEE, 2003, p. 0-15.

MATAI, P. L.; MATAI, S. Ensino cooperativo: espaço físico. *Revista de Ensino de Engenharia*, v. 27, no1, p. 24-37, 2008.

MINIPAN. The Micro and Nano Technology Magazine for Latino America. *MINIPAN News*. SUFRAMA - Superintendece of the Manaus Free Trade Zone, Feb de 2006. Disponível em: <www.suframa.gov.br/minapim/news/visArtigo.cfm>. Acesso em: Ago 2008.

MONZÓN, I. L. Una aproximación a los sistemas microelectromecánicos. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, v. XXIV, no3, p. 10-15, 2003.

MEISTER, J.C. *Educação Corporativa – A Gestão do Capital Intelectual Através das Universidades Corporativas*. São Paulo : Makron Books, 1999.

NGUYEN, C. T. Micromechanical resonators for oscillators and filters. In: INTERNATIONAL ULTRASONIC SYMPOSIUM. 1995, Seattle, USA. *Proceedings*. [S.I.] : IEEE, 1995, p. 489-499.

OLIVEIRA, V. F. Crescimento, evolução e o futuro dos cursos de engenharia. *Revista de Ensino de Engenharia*, v. 24, no2, p. 3-12, 2005.

PLAZA, J. A.; ESTEVE, J.; SAUL, C. K. *Sensores y Microsistemas*. Buenos Aires : Liliana B. Fraigi, 2004.

POLLA, D. L.; ROBBINS, W. P.; GLUMAC, D. E.; FRANCIS, L. F.; ERDMAN, A. G., (1994). An undergraduate instructional course on microelectromechanical systems fabrication. In: FRONTIERS IN EDUCATIONS CONFERENCE - TWENTY-FOURTH ANNUAL CONFERENCE. 1994, Minneapolis, U.S.A. *Proceedings*. [S.I.] : IEEE, 1994, p. 297-301.

POLOSKY, M. A.; GARCIA, E. *Microsystem product development*. Italy : TIMA Editions/DTIP, 2006.

RIBAS, R. P. *Microsistemas Integrados (MEMS)*. Universidade Estadual de Campinas, 2000. Disponível em: <<http://www.ccs.unicamp.br/cursos/fee107/download/-cap14.pdf>>. Acesso em: Nov 2008.

SENTURIA, S. D. A Computer-Aided Design System for Microelectromechanical Systems (MEMCAD). *Journal of Micro Electromechanical Systems*, v. 1, no1, 1992.



SENTURIA, S. D., CAD Challenges for Microsensores, Microactuators, and Microsystems. *Proceedings of the IEEE*, v. 86, no8, p. 1611-1626, 1998.

SHEEPARAMATTI, B. G.; ANGADI, S. A.; SHEEPARAMATTI, R. B., KADADEVARATH, J. S. A teaching - Learning Framework for MEMS Education. *Journal of Physics*, v. 34, p. 247-252, 2006.

SOUZA E SILVA, M. F. Diversificação de Técnicas Ensino nos Currículos de Engenharia: Aplicação e Análise. *Revista de Ensino de Engenharia*, v. 19, no1, p. 19-21, 2000.

TU, Shan-Dong. Total Engineering Education: the Way to Shape our Future Leadership. *Global Journal of Engineering. Education*, v. 10, no2, p. 117-128, 2006.

WANG, K.; NGUYEN, C. T. C. High-order medium frequency micromechanical electronic filters. *Journal of Microelectromechanical Systems*, v. 8, no4, p. 534-556, 1999.

WONG, J. C. C. Nanotecnología: ¿hacia dónde nos llevará? In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INNOVACIÓN CTS+1, 2006, México. *Anais. Ciudad Universitaria, México* : Universidad Nacional Autónoma de México, 2006.

WU, M-K.; YANG, J-C. El Programa Nacional de Nanotecnologia em Taiwán. *Journals of Materials Education*, v. 26, no1-2, p. 165-170, 2004.

ZAGHLOUL, M. E.; NAGEL, D. J. The teaching of microelectromechanical systems (MEMS). In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICROELECTRONIC SYSTEMS EDUCATION, 1999, Arlington, Virginia, U.S.A. *Proceedings*. 1999, p. 92-93.

MEMS - A CHALLENGE IN SCHOOL OF ENGINEERING IN BRAZILIAN UNIVERSITIES

Abstract: *The engineering education has undergone many changes, some due to the maturity of micro-technologies. One of the technologies that have gained prominence is of the devices known as MEMS (Micro Electromechanical Systems). In this context, the objective of this paper is the design of MEMS as structuring agent of the PPP in undergraduate courses and, together, to motivate creation of undergraduate programs in engineering with emphasis on MEMS at the Brazilian universities. The directives of the course are defined from the evolution of MEMS, their structural and functional concept and the steps of design and development.*

Key-words: *Engineering, Micro-technology, MEMS.*