

## PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA

**Marcos Azevedo da Silveira** – marcos@ele.puc-rio.br

PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica

Rua Marquês de São Vicente, 225

22453-900 – Rio de Janeiro - RJ

**Luiz Carlos Scavarda do Carmo** – scavarda@vrad.puc-rio.br

PUC-Rio, Vice Reitoria para Assuntos Acadêmicos

**José Alberto dos Reis Parise** – parise@mec.puc-rio.br

PUC-Rio, Departamento de Engenharia Mecânica

**Reinaldo Calixto de Campos** – recampos@ctc.puc-rio.br

PUC-Rio, Decanato do Centro Técnico Científico

***Resumo:** Discute-se a área de pesquisa Educação em Engenharia, analisando-se suas questões fundamentais, suas bases teóricas e os problemas que a justificam. Mostra-se assim que possui questões próprias e atende a problemas novos, não sendo uma mera aplicação da pesquisa tradicional em educação nem da educação em ciências. Se a lista de temas de pesquisa é em grande parte apoiada nas conclusões recentes sobre o assunto no âmbito da American Society for Engineering Education (ASEE), o artigo também apresenta um quadro mais explícito das mudanças de atuação dos engenheiros na sociedade atual e na “nova economia”, de forma a desenvolver a fundamentação citada acima. Alguns temas de pesquisa e algumas questões não constantes da proposta norte-americana são sugeridos, ampliando o seu escopo na direção da história e sociologia da engenharia.*

***Palavras-chave:** Educação em engenharia, Pesquisa científica, Engenharia, Nova economia.*

### 1 INTRODUÇÃO

Até o momento a área de pesquisa “educação em engenharia” se encontra na situação que FOUREZ (2003) chamou de pré-paradigmática: não foi ainda estabelecido um consenso sobre quais são seus problemas e questões de interesse e sobre quais são seus métodos; não há ainda uma lista de conceitos (uma teoria) mínima que possa ser reconhecida como própria à área e que a singularize em relação às demais disciplinas academicamente reconhecidas. As perguntas fundamentais são: “O que é pesquisa em educação em engenharia, quais seus problemas fundamentais?” e “No que esta área difere das demais áreas de pesquisa?” ou “Vale a pena definir uma nova área de pesquisa?”.

As agências governamentais NSF (USA), CNPq e CAPES (BRASIL) estão às voltas com

o problema da concessão de bolsas e auxílios à pesquisa nesta área: quais os critérios para reconhecer que um trabalho é boa pesquisa nesta área e merece receber uma dotação orçamentária? Revisores e editores de periódicos da área recebem artigos descrevendo equipamentos, softwares ou pequenas mudanças incrementais na forma de apresentação de conteúdos que, pretendem os autores, melhoram o aprendizado do assunto. Isto é pesquisa em educação em engenharia?

A primeira reação tem sido exigir que cada artigo contenha uma descrição abstrata das idéias pedagógicas e um experimento estatisticamente controlado, além da descrição da suposta melhora incremental. Esta visão pragmática e positivista não resistiu aos primeiros artigos de fundo com considerações conceituais. Como separar os que traziam contribuições relevantes das análises genéricas com contribuições superficiais? O que define esta relevância? Como reconhecê-la? O que é “rigor científico” neste campo? Do outro lado, artigos preenchidos por cálculos estatísticos sobre as mais diversas enquetes têm se multiplicaram sem ganho aparente para o ensino/aprendizagem. No contexto brasileiro é comum o autor dedicar boa parte do texto à apresentação do tipo de pesquisa (experimental, documental, quantitativa, qualitativa etc.) sem expor com clareza uma conclusão, mostrando ser uma pesquisa ainda em definição.

Os norte-americanos vêm realizando reuniões sistemáticas para responder a estas perguntas e estabelecer um paradigma disciplinar para a área (JEE, outubro de 2006), que culminarão com a criação de um comitê junto à NSF, a ser discutida em junho de 2007 durante a International Conference on Research in Engineering Education, em Honolulu, Hawai. No Brasil, a ABENGE fez uma proposta à CAPES (ABENGE, 1998), onde a nova área Educação em Engenharia seria dividida em quatro sub-áreas: Teoria da Educação em Engenharia, Projeto e Gestão de Sistemas Educacionais em Engenharia, Projeto Pedagógico, Currículo e Formação Acadêmica em Engenharia, e Habilitação e Exercício Profissional em Engenharia. Esta divisão atende pragmaticamente às decisões a serem tomadas e se aproxima das divisões atuais da área de Educação no Brasil, mas não expõe claramente nem as perguntas que definiriam a nova área de pesquisa nem as metodologias de pesquisa ou tipos de resultados de interesse.

Neste artigo será apresentada uma proposta de criação desta área a partir da proposta norte-americana (Special Report do número de outubro de 2006 da JEE, Vol. 95, n. 4).

## **2 O QUE FAZ O NOVO ENGENHEIRO?**

Será a área de educação em engenharia apenas um campo de aplicação das teorias da educação existentes? Existe algum novo problema relevante a exigir inovações conceituais e metodológicas? Qual a história destes novos problemas e porque ainda não tinham sido atacados por outras disciplinas? Existe um novo ponto de vista a ser considerado que singularize a educação em engenharia em relação à área tradicional de educação e em relação à “educação em ciências”?

A resposta a estas perguntas considera a história da técnica e a emergência de novos problemas que tornaram muito mais complexa a educação profissional em determinadas áreas (como a engenharia), para além do treinamento técnico ou da educação científica habitual. Além disso deve-se considerar que, no final do Século XX, a chamada “nova economia” mudou o trabalho do engenheiro e aumentou o escopo da engenharia.

Em pesquisa realizada em 2000, (SINVAL, 2002) não encontrou engenheiros elétricos formados na PUC-Rio, UERJ e UFRJ contratados no setor elétrico do Estado do Rio de Janeiro nos doze anos anteriores. Encontrou apenas engenheiros de escolas de menor ambição em funções de manutenção. Em pesquisa ainda em andamento, (SILVA, 2007), encontrou que a maior parte dos ex-alunos de engenharia elétrica da PUC-Rio e da UERJ formados entre

2002 e 2004 estão trabalhando em empresas de telecomunicações, em bancos e financeiras e em empresas de consultoria (Accenture e Promon). Mas sua atividade não está limitada às atividades características de sua especialidade. Está estendida ao projeto de “sistemas”, palavra ubíqua aplicada a trabalhos de engenharia cobrindo dimensões técnicas insuspeitadas há apenas meio século. Exemplos particulares são o projeto de intranets empresariais (um produto para uso interno na empresa), que exige uma intensa negociação com os diferentes tipos de usuários, inclusive sobre os códigos e os bancos de dados a serem utilizados; o projeto de "call-centers" e de sistemas de informação telefônicos (URAs), que regulam a comunicação dos clientes com a empresa; o projeto de linguagens técnicas de alto nível para uso específico, como MATLAB™ e MATEMATICA™; o projeto de planilhas para aplicações financeiras envolvendo complicados modelos matemáticos; e o projeto de interfaces entre diferentes plataformas (como são chamados atualmente os sistemas controlando aplicativos e mecanismos). Ver também (OLSEN, 2007).

Mesmo passando a ramos mais tradicionais, como a engenharia aeronáutica, a descrição de (PUPPIN-MACEDO, 2005) dos problemas mais prementes em empresas como a EMBRAER é clara: já houve a "transição da era industrial para a era da informação", onde predominam as aplicações sistema-a-sistema, com foco em sincronizar – coordenar-fazer cooperar plataformas e sistemas entre si (sistemas de sistemas). Exemplos de sistemas de interesse comercial são o gerenciamento do tráfego aéreo e o gerenciamento da logística do transporte, ambos entregues com razão a engenheiros (colaborando com psicólogos, designers etc.). O projeto de uma aeronave passa mais pela interligação de um enorme conjunto de sub-sistemas (projetados e fabricados por outras empresas) em “sistemas de sistemas” confiáveis e robustos, que pelo projeto – já resolvido – de sua estrutura física. Assim, as tecnologias chave passaram a ser as tecnologias de integração, conforme o texto citado: "comunicação assegurada e em tempo real (conectividade e protocolos, ambiente seguro, gerenciamento de informação distribuído, exploração diferenciada da largura de banda, redes avançadas sem fio); entendimento situacional superior (exploração da capacidade cognitiva humana, processo decisório rápido e infalível, capacidade inteligente de compartilhamento de informação, displays avançados e ambientes virtuais, “data fusion” / integração de informação / sensores); autonomia de automação confiável (minimização de intervenção humana, redução da carga de trabalho do operador, planejamento / execução / reação a circunstâncias, sistemas tolerantes a falhas, agentes inteligentes / tecnologia associativa / algoritmos “smart”)".

Não é de estranhar que a progressão profissional estagiário → analista júnior → analista pleno → analista senior → coordenador → gerente → diretor rivalize com a que passa por engenheiro júnior → engenheiro pleno etc. (SILVA, 2007). O raciocínio analítico está sendo considerado preponderante sobre o conhecimento de técnicas específicas de engenharia, esperando-se que o jovem engenheiro esteja capacitado a apreender não só as técnicas e os conhecimentos (explícitos ou tácitos) próprios à empresa e às suas operações (sempre diferentes do que foi ensinado na escola de engenharia), mas também seu contexto interno e externo<sup>1</sup>. A flexibilidade e a maleabilidade são características exigidas dos novos engenheiros (SILVA, 2007; PUPPIN-MACEDO, 2005) nos ambientes corporativos.

Não que engenheiros especialistas não sejam necessários em determinadas funções, afinal alguém tem de projetar a estrutura física de novos aviões, controles aerodinâmicos, ou a potência exigida para os motores. O que ocorre é que cada vez mais essas tarefas ou estão a cargo de empresas especializadas (que as realizam para todas as empresas interessadas), ou foram reduzidas a considerações técnicas padronizadas, ou ocupam o núcleo técnico existente

---

<sup>1</sup> Há uma razão histórica para o cargo de "analista": o aparecimento do computador gerou a necessidade de um profissional na época ainda não oficializado, que foi denominado "analista de sistemas", o ubíquo uso de computadores terminando por fixar o termo por cima de outras denominações.

essencialmente em grandes corporações (PETROBRAS, Siemens etc.) O processo histórico no qual a produtividade global é aumentada através da padronização e modularização da produção conduziu à engenharia tipo “Lego”: uma montagem de módulos já prontos (aí está o “sistema” a ser projetado), o projeto dos módulos tecnologicamente cruciais ou inovadores ficando a cargo de poucas empresas. Nesse sentido “hardware passou a ser uma *commoditie*”, assim como os elementos fundamentais do software: algumas empresas os projetam, a maioria os usa para montar “sistemas” que constituem os produtos que comercializam (para o consumidor final ou para outras empresas que os usarão como módulos em um outro nível)<sup>2</sup>.

Dois casos extremos são o das pequenas empresas e o dos inovadores tecnológicos que são, ao mesmo tempo, empreendedores. Nestes casos ou o engenheiro é o dono da empresa e realiza todas as tarefas técnicas e de gestão (SILVA, 2007), ou, uma vez lançada a operação, a empresa dispensa o engenheiro, considerando-o desnecessário até segunda ordem (OLSEN, 2007).

### 3 UMA NOVA ENGENHARIA COM NOVAS NECESSIDADES

A argumentação acima pode ser melhor explicitada, chegando-se a uma listagem das novas competências que passaram a ser exigidas de forma generalizada pelo mercado de trabalho:

- A complexidade cada vez maior dos problemas de engenharia e da tecnologia associada gerou a necessidade de novas metodologias que organizem as técnicas e os saberes entre si em relação ao problema de engenharia a ser resolvido e ao aumento de produtividade. Entre outros, aparece o problema da gerência do conhecimento.
- Todo problema de engenharia é multidisciplinar, o que leva ao trabalho em equipes multidisciplinares (eventualmente distribuídas mundialmente) e ao trabalho em redes tecnológicas, o que exige novas competências. Quais são? Como desenvolvê-las?
- A extensão tecnológica e científica crescente leva à maior especialização ou à busca de uma multi-especialização? Isto significa a multiplicação de novas formações e novas especializações ou alguma nova estrutura de formação que capacite o engenheiro a trabalhar sobre uma maior extensão de conhecimentos?
- A rápida mudança tecnológica está exigindo dos engenheiros educação continuada e capacidade de alteração *on-line* do perfil de formação. Como prepará-los para tal?
- Muitos dos problemas antes imediatos (solúveis por técnicas empíricas) tornaram-se complexos a ponto de necessitar de formalização e de soluções “engenheiradas”: distribuição de produtos e serviços e logística em geral, redes e TICs, software especializado, controle de estoque e organização da produção, análise de situações em vista de inovações envolvendo novas tecnologias, etc. Na reorganização destas tarefas e na convergência das soluções (FRIEDMAN, 2005) se encontra a maior parte do aumento de produtividade atual. Qual o futuro da técnica? Que novas necessidades de formação aparecerão?
- Ao mesmo tempo, e gerando os mesmos comentários, o uso de métodos computacionais intensivos permitiu abandonar os modelos empíricos simplificados em favor de modelos mais realistas. Um exemplo portentoso é o CFD (Computational Fluid Dynamics), usado na modelagem da combustão em equipamentos, da aerodinâmica veicular e aeronáutica, e da distribuição de temperatura em ambientes controlados, por exemplo.
- Aparecem continuamente novos problemas conjugando a tecnologia em desenvolvimento

---

<sup>2</sup> Esta estratégia foi muito facilitada pela eletrônica digital e pela informática, que permitiram a criação e generalização de alguns poucos “elementos universais”, como microprocessadores, sistemas operacionais e motores de indução baratos e confiáveis, e pelas novas estruturas em redes mediadas por sistemas de telecomunicações, que permitiram concentrar operações complexas em poucos lugares.

a áreas do conhecimento e situações sociais antes estranhas à engenharia. Por exemplo, engenharia de software, engenharia ambiental, bio-materiais e biotecnologias e desenvolvimento sustentável. A questão recente do licenciamento ambiental em oposição ao desenvolvimento econômico coloca o engenheiro no centro de decisões que extrapolam as áreas tradicionais de conhecimento técnico, e, mais ainda, a sua área tradicional de atuação (atingindo o nível político e colocando o raciocínio estratégico no cerne da decisão técnica).

- A engenharia mudou da simples construção de estruturas físicas e da transformação de materiais para incluir, no processo de transformação, uma engenharia “abstrata”, onde as atividades se concentram na gerência de conhecimento e dos processos e serviços em função da resolução do problema contextualizado (isto é, considerando seus impactos econômicos, sociais, ambientais etc.), incluindo aí a integração de sistemas e a comunicação entre diferentes plataformas (isto é, sub-sistemas autônomos) (PUPPIN-MACEDO, 2005; CASTELLS *et al.*, 2006). Mais ainda, dados os suportes físicos (os aparelhos de telefonia móvel, por exemplo), as empresas que vendem os serviços neles apoiados (CLARO, TIM, Oi, por exemplo) necessitam essencialmente desta “engenharia abstrata” para desenvolver seus novos produtos<sup>3</sup>. Se a engenharia mudou, a educação em engenharia não pode mais se resumir à educação técnico-científica tradicional.
- A alfabetização científico-tecnológica, exigida pela UNESCO, pelas autoridades educacionais brasileiras e pela NSF/USA, envolve o conhecimento dos aspectos científicos e tecnológicos necessários para todo e qualquer cidadão operar as ferramentas atuais (computadores, Internet, telefones celulares e equipamentos domésticos ou de uso público) e tomar decisões políticas devidamente informadas. A educação em engenharia não só deveria aprofundar estes temas, mas também considerar a solução dos problemas sociais de base tecnológica em relação direta com o setor produtivo. Estes problemas levam a uma nova atitude diante do conhecimento, não apenas prospectiva, mas inovadora e empreendedora, além de exigir que o futuro engenheiro ganhe a capacidade de relacionar-se com os mais diversos tipos de atores sociais, gerando “ilhas de racionalidade” (FOUREZ, 2003) que permitam uma negociação racional dos problemas e de seus objetivos e limitações. Donde a educação em engenharia não pode limitar-se aos temas e objetivos da educação científica.

---

<sup>3</sup> Não faremos distinção entre “produtos” e “serviços”, assim como já o faz a linguagem coloquial, mesmo porque a fronteira entre produtos materiais e produtos “imateriais” tornou-se fluida junto com a fronteira entre hardware e software, e, na sociedade da informação, mais e mais os produtos materiais são vistos como suporte para um serviço – este o “produto” motivador. O tema carece de um estudo aprofundado, classificando as diferentes relações entre consumidor e produtor ou fornecedor e as diferentes formas de uso.

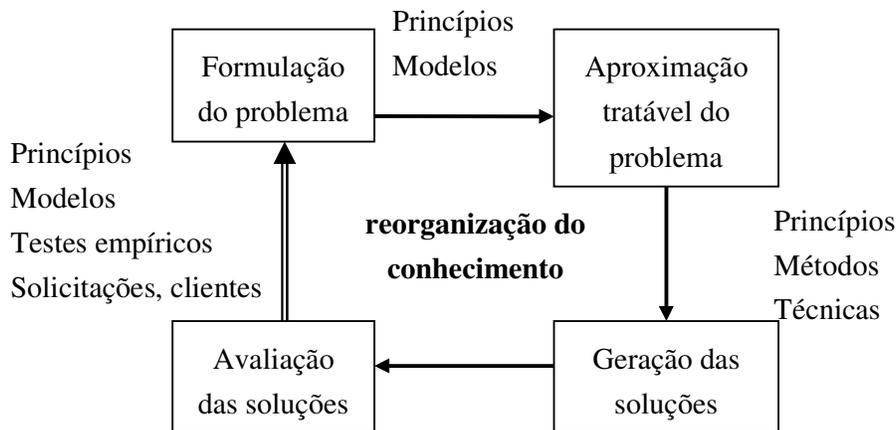


Figura 1. Ferramentas epistemológica em pesquisa e desenvolvimento. A seta dupla indica o fechamento do ciclo, onde ocorre a reorganização do conhecimento. Adaptação da Figura 3.6, página 107 de (DE SOUZA, 2004).

- Houve o deslocamento do foco de trabalho e do perfil de formação do engenheiro contemporâneo: de técnico a gerente do conhecimento, do raciocínio linear tecnocrático ao raciocínio estratégico tecnologicamente informado, de solucionador de problemas que lhe são apresentados ao empreendedor que decide por si qual problema resolver (eventualmente organizando seu próprio negócio), de representações padronizadas a um sistema de representações abstratas em rápida mudança (incluindo representações metacognitivas), de intervenções exclusivamente técnicas à consideração de impactos sociais, econômicos, ambientais, etc. Isto é, de competências essencialmente técnicas referidas a uma lista de conhecimentos e técnicas estabelecidas a uma lista muito mais abrangente de competências de alto nível, várias delas nas áreas gerencial e cultural, porém todas articuladas em torno do problema de engenharia a ser formulado e resolvido de forma compatível com as exigências crescentes da sociedade contemporânea, o que inclui o aumento de produtividade dentro de limites aceitáveis para os impactos decorrentes. Estas competências de alto nível correspondem a representações mais abstratas que as usadas pelos técnicos, passando por meta-conhecimento (projetar exige tratar as técnicas como objeto do pensamento, em um nível lógico acima do pensamento técnico habitual) e meta-linguagens (na informática temos os exemplos das linguagens orientadas a objetos e a engenharia semiótica). Em (SIMON, 1981; SCHÖN, 1983; DE SOUZA, 2004) o trabalho de projeto é associado a uma reorganização do conhecimento, apoiada em princípios analíticos de ordem epistêmica (meta-conhecimento), usando os métodos analíticos conhecidos como procedimentos para a transformação de dados apenas quando necessários no encaminhamento do projeto (ver a Figura 1).

Estas questões conduzem a três paradoxos para a formação do engenheiro. O primeiro é o *paradoxo da multidisciplinaridade*: a maior parte dos problemas concretos em engenharia exige a integração de conhecimentos apresentados em muitas diferentes disciplinas. Com a mudança tecnológica acelerada e a integração cada vez maior de tecnologias, problemas multidisciplinares aparecem a uma velocidade incompatível com o redesenho curricular (DA SILVEIRA & SCAVARDA DO CARMO, 1999).

O segundo é o *paradoxo do especialista*: é impossível ensinar, em tempo hábil, todo o conhecimento que se espera que um engenheiro venha a usar hoje, devido a limitações de extensão (a profundidade necessária *pode* ser muito grande) e de tempo (quando o

aprendizado termina o conhecimento já está obsoleto) (DA SILVEIRA & SCAVARDA DO CARMO, 1999). O aprender a aprender torna-se essencial, e a prática da educação continuada deve suceder o enciclopédismo, que hoje é um problema e não uma solução, ainda mais porque não sabemos quais conhecimentos um dado engenheiro precisará no futuro.

O terceiro é o *paradoxo do pensamento em rede*. Atualmente espera-se aplicar ao mesmo tempo o pensamento analítico, que exige um trabalho profundo desenvolvido e expresso em linguagem técnica especializada – em geral solitário, e o pensamento em rede, que exige a interação do engenheiro com um grande número de atores e de instâncias trabalhando em linguagens técnicas diferentes (CASTELLS, 2003; DA SILVEIRA, 2005). Como conciliar a atitude quase solitária do técnico, designer ou cientista em seu trabalho individual, com a atitude eminentemente relacional necessária para o trabalho em equipe e em rede?

## **4 A PROPOSTA NORTE-AMERICANA**

A proposta, apresentada no *Special Report* do JEE de outubro de 2006, separa a pesquisa em Educação em Engenharia em cinco áreas, cada uma definida a partir de algumas perguntas fundamentais e seus possíveis desenvolvimentos.

### **4.1 Epistemologia da engenharia**

A primeira área é a das “epistemologias da engenharia”, colocada no plural. As perguntas fundamentais são:

1. Quais conhecimentos, habilidades, processos, valores e atitudes caracterizam a engenharia como um campo único, e quais os mecanismos pelos quais estes elementos que a definem mudam ao longo do tempo?
2. Como elementos tais como inovação, pensamento crítico, sistemas de pensamento, matemática e ciências da natureza, ciências da engenharia, *problem solving*, projeto, análise, julgamento e comunicação se relacionam entre si caracterizando o núcleo da engenharia como profissão?
3. Qual a fonte desses elementos centrais e qual sua forma? A engenharia é melhor caracterizada por quem ela serve, pelos problemas que ela trata, pelos métodos de aplicação do conhecimento, ou por sua relevância social e seus impactos?
4. Qual a conexão entre o que os estudantes pensam e o como (se for o caso) eles praticam a engenharia uma vez graduados? Onde os engenheiros aprendem ou onde deveriam aprender os elementos centrais, e quem está envolvido nestas decisões?

O item (2) expõe tanto um problema epistemológico (como se relacionam saberes e habilidades em um conhecimento que se vê como ação sobre o mundo) quanto um problema educacional: desta relação depende o como educar os engenheiros, o aprendizado ativo passando a ser essencial por definição. Aí está a chave da estrutura curricular dos cursos de engenharia (DA SILVEIRA, 2005). Dado que a atividade de projeto é essencialmente epistêmica, exigindo o domínio de representações abstratas, a capacidade de negociação, e o uso de meta-conhecimentos e, eventualmente, de meta-linguagens, o engenheiro projetista não se confunde com o técnico (entenda-se aqui o engenheiro que trabalha sobre problemas previamente definidos aplicando técnicas estabelecidas)) ou com o cientista – o que implica em uma formação de alto nível que não se reduz ao treinamento técnico ou à preparação para a pesquisa.

### **4.2 Mecanismos de aprendizagem**

A segunda área discute o desenvolvimento de conhecimentos e competências

contextualizadas. As perguntas fundamentais são:

1. Como estudantes adquirem, compreendem e sintetizam os conhecimentos específicos a este domínio de atividades? Quais as barreiras que impedem o aprendizado com compreensão?
2. Como os estudantes progredem de concepções ingênuas e compreensões parciais para habilidades e conhecimentos ricos o suficiente para facilitar o pensamento inovador? Qual progressão de conteúdos, conceitos, habilidades, competências<sup>4</sup> e atitudes desenvolve engenheiros motivados e competentes?
3. Quais conhecimentos, habilidades e atitudes os estudantes trazem para sua educação como engenheiros que influenciam o que e como aprendem? Quais os fatores que definem como os estudantes se engajam em atividades relacionadas à engenharia e sua disposição a nelas permanecerem? Como considerar a diversidade da população estudantil frente ao problema do aprendizado de engenharia?

### **4.3 Sistemas de aprendizagem**

A terceira área discute o sistema de aprendizado, isto é, a cultura e estrutura institucional e a epistemologia dos professores. As perguntas fundamentais são:

1. Quais teorias instrucionais podem guiar a comunidade de educação em engenharia para tomar decisões sobre o sistema educacional (currículos, cursos, organização, práticas pedagógicas)?
2. Como caracterizar a cultura implícita ao aprendizado em engenharia (interações sociais, crenças sobre ensino e aprendizagem, formação da comunidade de educadores) de maneira a informar o desenvolvimento dos professores atuais e futuros quanto às práticas escolares?
3. Quais teorias sistêmicas podem guiar a sustentabilidade e o desenvolvimento contínuo dos sistemas de educação em engenharia em contextos instrucionais diversos e em todos os níveis? Isto inclui graduação e pós-graduação, relação com os ensinamentos fundamental e médio, e o problema da interdisciplinaridade.

Não se exige que todo professor seja um pesquisador em Educação em Engenharia, e se reconhece que as escolas precisam estar continuamente se adaptando ao ambiente social e profissional cambiante. Como gerar este sistema de ensino-aprendizado continuamente adaptável?

### **4.4 Diversidade e inclusão**

A quarta área discute como a diversidade dos seres humanos pode contribuir para o alcance social das soluções dos problemas da engenharia e como atrair e aproveitar alunos vindos de diferentes culturas, gêneros, etnias e camadas sociais. As perguntas fundamentais são:

1. Quais as melhores práticas para desenvolvimento do ensino relativamente à diversidade? Como criar um corpo comum de conhecimentos e competências?
2. Como promover a inclusão social nas escolas de engenharia?

### **4.5 Avaliação**

A quinta área discute a pesquisa e o desenvolvimento de métodos e instrumentos de avaliação de maneira a informar a prática da educação em engenharia e o aprendizado. Tanto

---

<sup>4</sup> “Skills” foi traduzido por “habilidades e competências”, seguindo (DA SILVEIRA, 2005).

a avaliação do aprendizado dos alunos individualmente, como a avaliação da eficácia das atividades e metodologias pedagógicas e a avaliação da instituição, para fins de *feedback* corretivo e de certificação. O grande problema é a avaliação de competências complexas, que não se reduz a testes simples, e a avaliação da capacidade de abstração e de compreensão conceitual.

A discussão da avaliação em educação é um bom exemplo de como a área de educação em engenharia se singulariza sem cortar os pontos de contato com as disciplinas estabelecidas e com outras disciplinas emergentes (educação “de alguma coisa”, pedagogia das ciências). Todo o discurso habitual sobre avaliação em educação permanece válido e soa muito natural no novo contexto. Por exemplo, a defesa de que a primeira pergunta deve ser: Avaliação para que? No contexto da engenharia, onde o *motu* é o objetivo a ser alcançado, os meios devendo ser adequados aos fins, esta é sempre a primeira pergunta. Agir para quê? Qual o objetivo?

A segunda pergunta, natural em engenharia – mas não na disciplina tradicional de educação – é: quais os efeitos esperados, quais os impactos indesejados, como o mundo se modifica após a avaliação? Os processos de avaliação em educação costumam ser pensados como não interferindo nos processos avaliados, o que soa no mínimo estranho para alguém educado na ciência e na tecnologia do século XX.

A terceira pergunta pode ser: Como fazer a avaliação *on-line*, isto é, em processo? É uma das idéias fundadoras da Revolução Industrial (DA SILVEIRA, 2007): o *feedback* para corrigir o comportamento. Tratando-se de seres humanos e instituições sociais, há uma malha externa (adaptativa) que pode alterar os objetivos a serem alcançados em função de mudanças no contexto ou de uma melhor compreensão do processo a partir das avaliações realizadas até o momento.

## 5 PROPOSIÇÃO DE UMA SEXTA ÁREA

Uma pergunta que parece faltar na proposta norte-americana diz respeito à história e sociologia das tecnologias, de forma a esclarecer e ajudar as decisões políticas quanto à educação em engenharia: Porque e como o mundo se transformou (e se transforma) levando à necessidade do desenvolvimento da engenharia atual? Esta pergunta pode ser quebrada em diversas perguntas que estabelecem um programa de pesquisa, tanto analisando o passado quando tentando antever o futuro (pois dele é que se trata, ao menos para nossos alunos): Quais são as tendências tecnológicas, como elas podem mudar o mundo em que vivemos, e qual a engenharia correspondente? Como trabalha o novo engenheiro? Como ele se integra nas novas cadeias de produção, quais as tarefas que executa nas novas distribuições de trabalho nas empresas? É uma pergunta (implicitamente) abordada em (FRIEDMAN, 2005), que não chega a falar de engenharia, embora fale de técnicas, tecnologia e seu gerenciamento em quase todos os capítulos. Como as contingências históricas (sociais, políticas, culturais, econômicas) determinam e são determinadas pela tecnologia e pelos problemas resolvidos ou gerados pelas novas tecnologias? Como estas questões influenciam o quadro político mundial e são por ele influenciadas?

Os textos que iniciaram ou têm discutido e alimentado as reformas educacionais em engenharia partem destas questões (FINEP, 1995; NSF, 2005; NSF e NAE, 2005; NSF, NAE *et al.*, 2006). Parte dos artigos do European Journal of Engineering Education (EJEE) é dedicada à política da educação em engenharia, nem todos restritos a estatísticas descrevendo a situação atual. Outro exemplo é o recente estudo (ANDERL *et al.*, 2007) sobre excelência internacional na educação de engenheiros. Os estudos citados acima receberam dotações de agências governamentais para serem realizados, e com razão. Precisam da pesquisa em educação em engenharia e a motivam, sendo aprovados pelos critérios de reconhecimento de uma pesquisa válida.

Donde a sugestão de agregar o contexto externo da educação em engenharia, ou a “história e política da educação em engenharia” à pesquisa em educação em engenharia, estendendo o seu sentido. Esta sexta área pode ser definida pelas perguntas desta seção, que a colocam em função do problema de saber para onde devemos dirigir a educação em engenharia.

Isto a distingue da história e da sociologia, mesmo aplicadas à engenharia. Como exemplo, se (BOURDIEU & PASSERON, 2001), fazendo sociologia, influenciou a pesquisa e as decisões em educação, não tratou dos problemas próprios a esta disciplina. Da mesma forma, a história e a sociologia da engenharia influenciam a sexta área aqui proposta, mas não tratam de seu problema próprio— muito mais pragmático que os tratados por estas ciências.

## 6 CONCLUSÃO

Os argumentos mostrados neste artigo justificam a formalização da Educação em Engenharia como uma nova área de pesquisa. Esta área não pode ser reduzida a mera aplicação de outras áreas de pesquisa, pois possui suas próprias questões, seu próprio ponto de vista, e um escopo muito amplo e profundo derivado da situação epistêmica da atividade de projeto. De fato, este novo ponto de vista, este escopo estendido e esta nova epistemologia são resultado das mudanças sociais e tecnológicas que vêm ocorrendo desde a metade do Século XX. Ao longo do artigo propôs-se uma estruturação para a Educação em Engenharia, vista como área de pesquisa, agregando à proposta norte-americana uma crítica epistêmica e uma nova sub-área de interesse político, alimentada a partir da História e da Sociologia da Tecnologia. A nova sub-área foi denominada História e política da Educação em Engenharia. esperando-se que sirva como fundação para as demais sub-áreas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABENGE. **Proposta de diretrizes curriculares para os cursos de engenharia**, ABENGE, 1998. Disponível em <http://www.abenge.org.br/>.
- ANDERL, L., GONG, K., PLATTNER, B., KAMINSKI, P. C., NETO, M. L., LOHMANN, J., KIMURA, F., WIDDIG, B., WINKELMAN, T. e LIU, N. C. **Global engineering excellence study**. Disponível em [www.global-engineering-excellence.org/study-order](http://www.global-engineering-excellence.org/study-order).
- BESTERFIELD-SACRE, M., SHUMAN, L. J., WOLFE, H., ATMAN, C. J., MCGOURTY, J., MILLER, R. L., OLDS, B. M., ROGERS, G. M. Defining the Outcomes: a framework for EC2000. **IEEE Trans. Education**, v. 43, n. 2, May 2000, p. 100-110.
- BOURDIEU, P., PASSERON, J. C. **La reproduction**. Paris: Editions Minuit, 1970.
- CASTELLS, M. **The rise of the network society**. 5<sup>th</sup> edition. New York: Blackwell Pub., 2003.
- CONTINENTAL. **In search of global engineering excellence**. Hannover: Continental AG, 2006. Disponível em [www.conti-online.com](http://www.conti-online.com).
- SILVEIRA, M. A. **A formação do engenheiro inovador**. Rio de Janeiro: CTC/PUC-Rio, 2005. Disponível em [maxweell.lambda.ele.puc-rio.br](http://maxweell.lambda.ele.puc-rio.br) > publicações on-line.
- SILVEIRA, M. A. A posição da epistemologia da engenharia. In: DA SILVEIRA, M. A. (ed.), **Epistemologia, pedagogia e formação multicultural e internacional do engenheiro**. A aparecer em [maxweell.lambda.ele.puc-rio.br](http://maxweell.lambda.ele.puc-rio.br) > publicações on-line.
- SILVEIRA, M. A. Bases para o processo pedagógico em Controle e Automação. In AGUIRRE, L. A. (org.) **Enciclopédia de Automática**. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2007.

SILVEIRA, M. A, SCAVARDA C., L. C. Sequential and Concurrent Teaching: Structuring Hands-On Methodology. **IEEE Trans. Education**, Vol. 42, n. 2, pp. 103-108, May 1999.

SILVEIRA, M. A., ARAÚJO, M. A. V., CARDONA, T. S. Une méthodologie d'analyse cognitive & pragmatique des représentations graphiques en pédagogie de la biologie. *In*: GIORDAN, A. (ed.), **XXVIIes Journées Internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques, techniques et industrielles**. Genève: LDES, Université de Genève, 2005.

SOUZA, C. S. **The semiotic engineering of human-computer interaction**. Cambridge, MAS: MIT Press, 2004.

DEWEY, J. **How we think**. Lexington: D. C. Health Co., 1933.

DUCOMMUNN, J. "A educação a partir de projetos na Suíça" (Project-based education in Switzerland). *In*: M. A. DA SILVEIRA E M. A. V. ARAÚJO, **Novas ferramentas para o ensino de ciências**. 2005, Disponível em [maxweell.lambda.ele.puc-rio.br](http://maxweell.lambda.ele.puc-rio.br) > publicações on-line.

ETZKOWITZ, H., GULBRANDSEN, M. Public entrepreneur: the trajectory of United States science, technology and industrial policy. **Science and Public Policy**, V. 26, n. 1, 1999 pp 53-62.

FOUREZ, G. **Apprivoiser l'épistémologie**. (learning Epistemology) Bruxelles, Bélgica: De Boeck Université. 2003.

FINEP/MCT. PRODENGE/REENGE: Termo de Referência. Rio de Janeiro: FINEP, 1995.

FRIEDMAN, T. L. **The world is flat**. New York: Farrar, Straus and Giroux 2005.

MALAVE, C. Ensino Cooperativo. Workshop apresentada no ICEE 1998 at Rio de Janeiro.

MEIRELLES, L. A. **Miniaturização e Redução da Necessidade de Trabalho**. Tese de Doutorado, Programa de PG em Engenharia Elétrica, PUC/RJ, 1991.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **PRODENGE – Programa de desenvolvimento da engenharia: documento básico**. Rio de Janeiro: FINEP/MCT, 1995.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). **Diretrizes curriculares nacionais para os cursos de engenharia**. Resolução CNE/CNS 11/2002. Disponível em [www.mec.gov.br](http://www.mec.gov.br).

NAE (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES). **National Science Education Standards**. Washington, DC: National Academy Press, 1996. Disponível em [www.nap.edu/readingroom/books/nses](http://www.nap.edu/readingroom/books/nses).

NATIONAL ENGINEERING EDUCATION RESEARCH COLLOQUIES. Special Report. **Journal of Engineering Education**, v. 95, n. 4, October 2006, p. 257-261.

NSF (NATIONAL SCIENCE FOUNDATION). **Engineering Education to the New Century**, Washington, DC: NSF, 2005.

NSF e NAE (NATIONAL SCIENCE FOUNDATION, NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING). **Educating the Engineer of 2020: Adapting engineering education to the new century**. Washington D.C.: National Academies Press, 2005. Disponível em <http://www.nap.edu/catalog/11338.html>.

NSF, NAE e IM. **Rising above the gathering storm: energizing and employing America for a brighter economic future**. Washington D.C.: National Academies Press, 2006. Disponível em <http://www.nap.edu/catalog/11463.html>.

OLSEN, O. **Projeto Engenharia, Brasil do futuro**. Apresentação na Iª Reunião Plenária do INOVA Engenharia, São Paulo, 23 de abril de 2007.

PUPPIN-MACEDO, A. Uma visão da indústria. *In*: M. A. DA SILVEIRA (ed.), **O aprendizado a partir de projetos**, 2005. Disponível em [maxweell.lambda.ele.puc-rio.br](http://maxweell.lambda.ele.puc-rio.br) > publicações on-line.

SCAVARDA C. L. C., HAGUENAUER, C., PARISE, J. A., SILVEIRA, M. A., CARNEIRO JR., S., COUTINHO, S. V. **ICEE98 White Pages: An International View of Engineering Education**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2000. ISBN 85-87926-01-2.

SCHÖN, D. A. **The reflective practitioner**. New York: Basic Books, 1983.

SILVA, E. M. Comunicação pessoal, 2007.

SIMON, H. **The sciences of the artificial**. Cambridge, Mass: MIT Press, 1981.

SINVAL, Z. G. **O perfil de formação do engenheiro elétrico para o século XXI**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio, 2002.

URNS, J., ATMAN, C., ADAMS, R. Concept Maps for Engineering Education: A Cognitively Motivated Tool Supporting Varied Assessment Functions. **IEEE Trans. Education**, V. 42, n. 2, May 2000, p. 164-173.

UNESCO. Project 2000, Disponível em <http://unesdoc.unesco.org/images/0009/000977/097743eo.pdf>.

VENTURA-DIAS, V., ACOSTA, M. J., LIMA, J. E. D., KUWAYAMA, M., MATTOS, J. C. **Globalización y servicios: cambios estructurales em el comercio internacional**. Santiago de Chile: CEPAL/ONU, 2003.

## RESEARCH ON ENGINEERING EDUCATION

**Abstract:** *The research in Engineering Education is discussed, in special its fundamental questions, its theoretical basis and the problems justifying this research. We show that this research area has its own questions issued from new problems, do not being merely an application of the traditional research in education or in science education. If the research subject rol is supported by the recent conclusions about this subject presented in the American Society of Engineering Education (ASEE), the paper also presents a more explicit description of the changes in the engineering functions in the today society and in the “new economy” to allows the argumentation cited above. Some research subjects and questions do not presented in the north-american proposal are suggested, enlarging its field in the direction of the history and sociology of engineering.*

**Key-words:** *Engineering education, Scientific research, Engineering, New economy.*