

O USO DA SIMULAÇÃO NO ENSINO DE ENGENHARIA

Renato V. Belhot¹, Reginaldo S. Figueiredo², Cesar O. Malavé³

USP - Escola de Engenharia de São Carlos¹.
Caixa Postal 359.
13560-970 - São Carlos - SP
rvbelhot@sc.usp.br

Universidade Federal de São Carlos².
Rodovia Washington Luís (SP-310),
Km 235
13565-905 - São Carlos - SP
santana@power.ufscar.br

Texas A & M University³, Department
of Industrial Engineering
238 Zachry Building
77843 - College Station -TX, USA
malave@tamu.edu

Resumo. *A atividade de ensino precede a aprendizagem, dentro do conjunto que relaciona ensino com causa e aprendizagem com efeito. No entanto, essa afirmação, para se tornar verdadeira, depende da consideração de muitos fatores. Entre tantos podem ser citados: (i) a questão dos estilos de ensino e de aprendizagem; (ii) a identificação do ciclo de aprendizagem; (iii) a escolha das técnicas de ensino apropriadas e (iv) os recursos instrucionais utilizados. Outras questões, como o perfil do aluno, a estrutura curricular e as condições do mercado, poderiam ser também relacionadas. Em consequência, os alunos tornam-se desatentos em classe, mostram-se aborrecidos, demonstram baixo aproveitamento, desencorajamento pelo curso, currículo e, em alguns casos, chegam inclusive a abandonar o curso. Por outro lado, os professores confrontam-se com notas baixas, falta de interesse dos alunos, hostilidade e baixa cooperação. A aula pode se entendida como o “momento da verdade”, onde devem ocorrer o ensino e a aprendizagem. Existem alunos criativos e inovadores que têm facilidade de reconhecer problemas e que gostam de saber o valor do que irão aprender (por que), ou alunos que estão mais interessados na lógica e no conceito que propriamente na sua aplicação prática (o que). Existe ainda outro tipo de aluno que gosta de integrar teoria e prática, para resolver problemas reais (como). E, finalmente existem alunos que aprendem por ensaio e erro, extrapolam condições iniciais, demonstram independência e sua questão favorita é (e - se). Tomando por base essas hipóteses, este trabalho procura discutir como inserir a simulação em todos os estágios do ciclo de ensino -aprendizagem, principalmente na fase E -SE.*

Palavras-chave: *Simulação, Dynamic Systems, Modelagem, Ciclo de Ensino-Aprendizagem*

1. CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE O ENSINO DE ENGENHARIA

O modelo tradicional de ensino adotado na Educação em Engenharia está apoiado na transmissão de conhecimentos, que normalmente focaliza os aspectos conceituais das diversas teorias, sem a sua necessária contextualização. A reprodução desses conhecimentos é valorizada por meio do estímulo à memorização, pela prática repetitiva dos mecanismos e da lógica de funcionamento dos modelos conceituais e pela aplicação de técnicas e métodos como forma única e otimizante de solução de problemas.

Essa postura resulta da utilização de um modelo mental fundamentado na idéia de que o conhecimento pode ser dividido em pequenas partes, reduzido a seus elementos últimos, finais, e que essa fragmentação é feita a favor da eficiência, do melhor modo de se realizar uma tarefa, da máxima utilização dos recursos produtivos. Essa visão é também sustentada pela suposição da independência das partes, isto é, pela consideração explícita da não existência de outras relações entre elas que não a causa - efeito.

A evolução para o ensino em massa foi só uma questão de tempo e de perceber a possibilidade da padronização do conteúdo a ser ministrado nas diferentes disciplinas, dos diversos cursos. É a economia de escala assolando o ensino. Medidas de desempenho, à semelhança das estabelecidas na indústria, começaram a ser estabelecidas também para avaliar o ensino de engenharia. É a fase do quantitativo, do padronizado, do volume contra a variedade.

Decorrem as tão conhecidas e bastante discutidas relações entre professor, aluno e conteúdo. O professor como o centro do conhecimento, especialista e transmissor. O aluno passivo e receptor, um recipiente a ser completado, com um conhecimento repassado em frações ideais (conteúdo programático) de modo a propiciar a máxima utilização de todos os recursos envolvidos, incluindo-se o tempo e espaço.

Enquanto as condições externas e as exigências de mercado não eram sequer identificadas, esse modelo resistiu e evoluiu. Os demais conhecimentos disponíveis nas outras áreas do conhecimento e seus desenvolvimentos passaram, por anos a fio, despercebidos para o ensino de engenharia. Entretanto, bastou mudar uma condição- a globalização - e tudo aquilo que se pensava e se aceitava passou a ser questionado.

Competitividade e produtividade assumiram dimensões muito mais significativas que: ser grande, produzir muito, ao mínimo custo possível e com a máxima eficiência. A qualidade deixou de ser uma variável interna à organização, o cliente assumia uma posição de destaque, com novos valores e exigências. A concorrência internacional oferecia produtos alternativos com preço e qualidade até então fora do alcance do consumidor.

As empresas tiveram que reagir e se adaptar a essa ordem, com modernização tecnológica e gerencial. Novos valores foram incorporados aos recursos humanos dessas organizações. A sociedade, por sua vez, passou a demandar novas soluções para novos problemas que surgiam, provocados por uma essa nova ordem, agora mundial. Uma nova forma de “ver o mundo” tomava conta de empresas e clientes, em termos de ameaças e oportunidades. Era preciso preparar-se e, se possível, antecipar-se a elas.

O desenvolvimento e a facilidade de acesso às tecnologias de informática e de telecomunicações aceleraram as mudanças. As mudanças envolviam, não somente mudanças estruturais e organizacionais, mas também de aprendizagem organizacional. Esta última era afeta ao elemento humano. O diferencial competitivo viria também pelo desenvolvimento dos recursos humanos. Soluções não convencionais foram propostas e implementadas para enfrentar essa situação.

O ensino de engenharia acabou sendo afetado por essas mudanças de várias maneiras. Em um primeiro momento a pressão veio das empresas solicitando soluções novas e imediatas. Em um segundo momento, passou a delinear um perfil profissional desejado para o mercado de trabalho. Esse perfil não necessariamente era compatível com a estrutura curricular vigente e com os padrões e técnicas de ensino adotados, mesmo porque a empresa passava a demandar por profissionais criativos, flexíveis participantes, colaborativos e cooperativos. Esse definitivamente não era a ênfase do ensino.

Pressionada, a academia reagiu, como era de se esperar. Primeiro, por intermédio da tecnologia e sua rápida evolução, depois pela busca de um novo padrão para as questões ligadas ao processo de ensino e de aprendizagem. Essas questões passavam pela própria inserção da tecnologia, pela redefinição do papel do professor e do aluno, pela proposição de novas formas de ensino, pela ‘valorização das técnicas empregadas no ensino de engenharia, pela incorporação do conhecimento disponível nas áreas da psicologia e da educação ou mesmo pela discussão da qualidade e sua avaliação.

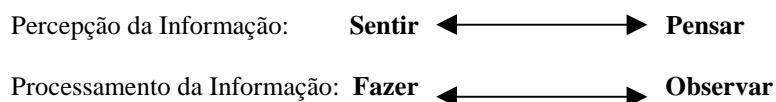
Nesse particular, o Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia- COBENGE- tem tido uma participação expressiva e pioneira. Nos últimos anos as temáticas permitem uma discussão bastante ampla das questões que afetam o ensino de engenharia, nas diferentes dimensões. Mesmo porque seria impossível enfrentar um fenômeno multifacetado de outra maneira.

Com a finalidade de orientar a discussão desse fenômeno e permitir que o objetivo deste trabalho seja atingido é apresentada a teoria de KOLB (Stice [1]). A partir de apropriações e adaptações dessa teoria serão discutidos aspectos relacionados a estilos de ensino e de aprendizagem, das técnicas de ensino, e da utilização coerente de estilos e técnicas. A partir desse referencial é inserida a tecnologia e discutida a participação da simulação.

2. CICLO DE ENSINO E DE APRENDIZAGEM

Trabalhando com estudantes de engenharia do MIT, Kolb (Ref. [1]) desenvolveu um modelo empírico que forneceu as bases para a compreensão dos estilos de aprendizagem. Segundo esse modelo, a aprendizagem pode ser

entendida como um processo envolvendo duas dimensões: a percepção da informação e o processamento da informação. Cada uma dessas dimensões foi colocada em um eixo, com os seguintes valores colocados em seus pontos finais e opostos:



Esses eixos cruzados (ortogonais) dão origem a quatro quadrantes que representam as interseções : Q(I) sentir/observar ; Q(II) observar/pensar ; Q(III) pensar/fazer ; e Q(IV) fazer/sentir. A partir dessas quatro possibilidades, foram estabelecidos os tipos de estudantes e suas preferências (Ref. 1).

Essa estrutura, apesar de ter um propósito bem definido, presta-se para outras análises bastante interessantes. Uma delas, é aproveitar esses quadrantes e os tipos de estudantes, para associar técnicas e métodos de ensino que melhor se ajustem às características e preferências dos estudantes de cada quadrante.

O ciclo de ensino - aprendizagem (POCE), derivado dos quadrantes de Kolb, é um modelo que tem muita utilidade no entendimento das questões ligadas ao ensino. O ciclo é um processo estruturado, ordenado, onde cada passo depende da execução do anterior: Por Que (P); O Que (O); Como (C); E - Se (E) - (POCE), conforme pode ser visto na figura 1.

Na etapa “POR QUE” a temática deve ser apresentada aos estudantes, o contexto e os problemas decorrentes. É uma fase de convencimento, onde é apresentada uma determinada

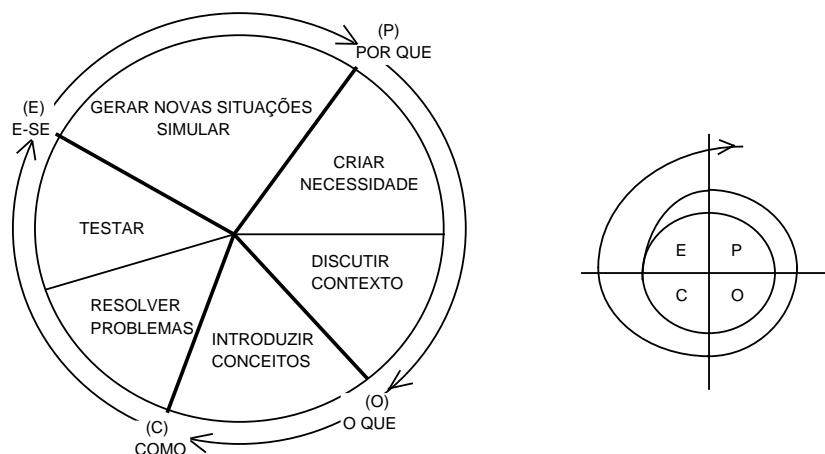


Figura 1 - O Ciclo de Ensino-Aprendizagem - POCE.

realidade. Na etapa “O QUE” são apresentados os conceitos necessários para modelar e para analisar os problemas identificados na etapa anterior.

Na fase “COMO” os conceitos são aplicados na solução de problemas bem estruturados e que normalmente aceitam soluções ótimas. Na etapa “E - SE”, modifica-se a condição inicial dos parâmetros, criando-se novos problemas, sob novas restrições, exigindo novas abordagens de solução.

O método de ensino representa a sistemática de trabalho a ser adotada pelo professor e pode envolver várias técnicas. Os métodos de ensino comumente citados na literatura são: exposição, tutoria, simulação, questionamento. Por outro lado, aula expositiva, projetos, seminários, estudo de caso, ensino de laboratório são as técnicas mais utilizadas, principalmente no ensino de engenharia. Para cada passo do ciclo pode-se identificar o método e a técnica que melhor se ajustam, considerando as restrições ambientais (Belhot [2]).

O ciclo também pode ser usado para analisar o uso e a inserção computador no ensino. O uso do computador no processo de ensino-aprendizagem começou na etapa “COMO” do ciclo, e foi aplicado na solução de problemas que envolviam muitos cálculos. Depois, passou a ser utilizado na etapa “O QUE”, em função crescente necessidade por educação e treinamento, decorrente do aumento da obsolescência do conhecimento, transferindo ao computador um importante papel nas atividades de ensino e treinamento (Guerra [3]).

Os sistemas baseados em computadores são exemplos de como o computador pode ajudar na reciclagem de conceitos e na transferência de conhecimento, isto é na etapa “O QUE”. Três tipos básicos de programas computacionais de apoio ao processo de ensino podem ser desenvolvidos (Belhot & Lima [4]):

Computer-based Teaching -

indicado para a introdução de conhecimento teórico ou conceitos gerais, normalmente desenvolvido em ambientes acadêmicos.

Computer-based Tutoring -

refere-se a apresentação de conhecimentos restritos a determinados domínios, e que pressupõe um conhecimento básico do assunto.

Computer-based Training -

voltado para o desenvolvimento de habilidades, visando a melhorar o desempenho em tarefas específicas, voltado para ambientes industriais.

Seguindo sua evolução, o computador passou a ter uma nova aplicação dentro do ciclo, na etapa “E - SE” em atividades que envolviam a construção de cenários a análise de sensibilidade , a simulação.

Dentro desta orientação, este trabalho combina o ciclo de ensino - aprendizagem com o emprego da tecnologia, e discute o uso da Simulação nos diferentes quadrantes. A simulação passa a ser entendida como uma forma de “ver sistemicamente” o problema e sua solução.

3. A SIMULAÇÃO E O CICLO DE ENSINO - APRENDIZAGEM

O modelo mental descrito no início do texto, apoiado no reducionismo, no método analítico e na idéia de eficiência, precisou ser revisto e complementado por outro que pudesse dar uma resposta efetiva às novas exigências e demandas colocadas sobre as empresas e seus profissionais.

Um novo modelo baseado nas idéias de sistemas passava a ser introduzido nas empresas e nas universidades. Do ponto de vista teórico, um sistema pode ser entendido como um conjunto de partes interagentes, interdependentes e inter-relacionadas, que guardam importantes propriedades:

- a) O comportamento e propriedades de cada elemento influenciam o comportamento e as propriedades de pelo menos outro elemento do sistema. Isto significa que nenhum elemento existe em completa isolamento, isto é, de uma forma independente.
- b) O mesmo vale para qualquer grupo de elementos.

A idéia de eficiência deve ser complementada pelo conceito de eficácia, que procura estabelecer uma relação com objetivos pretendidos, e não com meios a serem utilizados. Nessa linha de raciocínio, o determinismo cede lugar à teleologia. Enquanto no determinismo, os recursos disponíveis determinam os objetivos possíveis de serem atingidos, a teleologia rege os sistemas com propósitos, sistemas que podem definir seus objetivos e os meios necessários para atingi-los. Dito de outra forma, primeiro são estabelecidos os objetivos desejados, e depois são definidos quais os recursos necessários.

O reducionismo é complementado pelo expansionismo, onde o papel do objeto em estudo depende do sistema mais amplo, no qual está envolvido. Desse modo, os objetivos globais devem extraídos do meio (sistema mais amplo) e depois internalizados, transformados em objetivos funcionais.

Entretanto, entender essas idéias é mais fácil do que colocá-las em prática. As idéias de sistemas são facilmente confundidas com uma filosofia que não vai além do discurso da retórica, mesmo reconhecendo-se a lógica dessas idéias. É aí que entra a simulação, para colocar em ação as idéias de sistemas.

A simulação consiste em emulação de uma situação real, a partir de um modelo, que por sua vez corresponde a uma representação simplificada da realidade. Simulação é um processo de experimentação com um modelo detalhado de um sistema real, para determinar como o sistema responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno. Um modelo bem construído auxilia a encontrar as respostas às questões importantes e, portanto, torna a simulação uma técnica útil e poderosa para a solução de problemas. Muito freqüentemente o modelo em si torna-se o objeto de estudo, fornecendo informações e conhecimento sobre o sistema, suas variáveis e a inter-relação entre elas.

Até pouco tempo atrás, grande parte das técnicas de modelagem e de simulação foram desenvolvidas como ferramentas para lidar com situações passíveis de estruturação matemática com forte tendência para a previsão e otimização (Morecroft & Sterman [5]), compatível com o modelo mental e valores da época. Atualmente, a aplicação de simulação e modelagem visa a dar suporte ao desenvolvimento da visão sistêmica, da prática de pensar estrategicamente, da capacidade de trabalhar em equipe, de compartilhar conhecimentos e de aprender em grupo. Nesse contexto, a modelagem pode ser explorada, no mínimo, de três maneiras: (1) como um processo de mapeamento cognitivo que captura o conhecimento e estimula a aprendizagem; (2) como um meio propício à experimentação e; (3) como uma forma de aprender a lidar com conflito de interesses.

Hoje em dia, devemos valorizar a complexidade e a magnitude dos problemas reais, dando oportunidade aos estudantes de manipular esses tipos de problemas, dentro de condições de aprendizagem controlada. Uma estratégia educacional que está sendo usada com muito sucesso é a simulação combinada com o ciclo de ensino - aprendizagem, a qual vai além da simulação convencional.

Apesar do uso da simulação no ensino não ser uma idéia nova , usá-la como uma ferramenta isolada tende a simplificar o ambiente, restringir o escopo do problema e a limitar o envolvimento das pessoas. Parece evidente que para dotar os estudantes de engenharia com conhecimento, experiência e compreensão da realidade, precisamos do suporte de estratégias educacionais adequadas. Nesse sentido, todos precisamos desenvolver a capacidade de **construir conhecimento** e de **repartir o conhecimento disponível**.

Os fundamentos da metodologia de *System Dynamics* foram estabelecidos por Jay Forrester em 1961 e estão registrados em um livro (Forrester [6]). Foi feito um estudo sobre o comportamento de sistemas, e desenvolvido o primeiro software - Dynamo. Tendo por finalidade fazer uma apresentação gráfica dos mecanismos de aprendizagem, estaremos usando a linguagem dos softwares de baseados em *Dynamic Systems*. Para representar qualquer situação são

utilizados os seguintes elementos: estoque, fluxo, conversores e conectores, cuja simbologia está retratada na figura 2. Veja também Figueiredo [7].

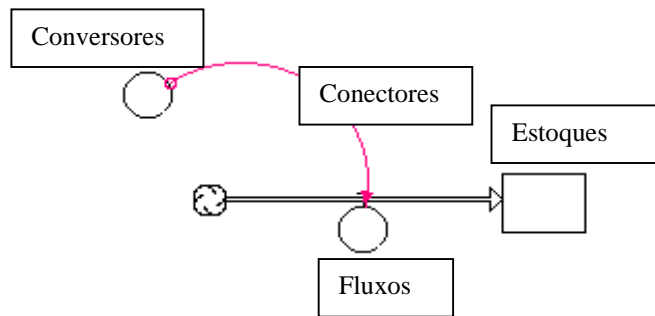


Figura 2. Simbologia básica dos softwares baseados em *System Dynamics*

Os estoques são acumuladores e são representados por retângulos. Tomemos como exemplo o conhecimento que adquirimos que é armazenado em nossa memória ou nosso cérebro, que passa a ser o estoque de conhecimento. Os fluxos representam a ação, o movimento, e são atividades que preenchem ou esvaziam os estoques, e são representados por setas com uma hélice na outra ponta. Os conversores são representados através de círculos e são complementares aos outros elementos. Finalmente os conectores são os elementos que estabelecem as relações entre os elementos, por onde passa a informação.

A partir desse referencial, é apresentado na figura 3 o Sistema de Aprendizagem proposto por Richmond et al. [8], utilizando a linguagem gráfica dos softwares baseados em *System Dynamics*. Como pode ser observado na figura 3, parte do conhecimento distribuído é esquecido pelos estudantes, e por essa razão outros mecanismos são necessários. É o caso da participação do Conhecimento Construído (construções de relações) e do Conhecimento Praticado (“*hands-on*”) que ajuda a alimentar o Conhecimento Assimilado, e que regulam o fluxo de esquecimento dos estudantes, funcionando como um reforço positivo.

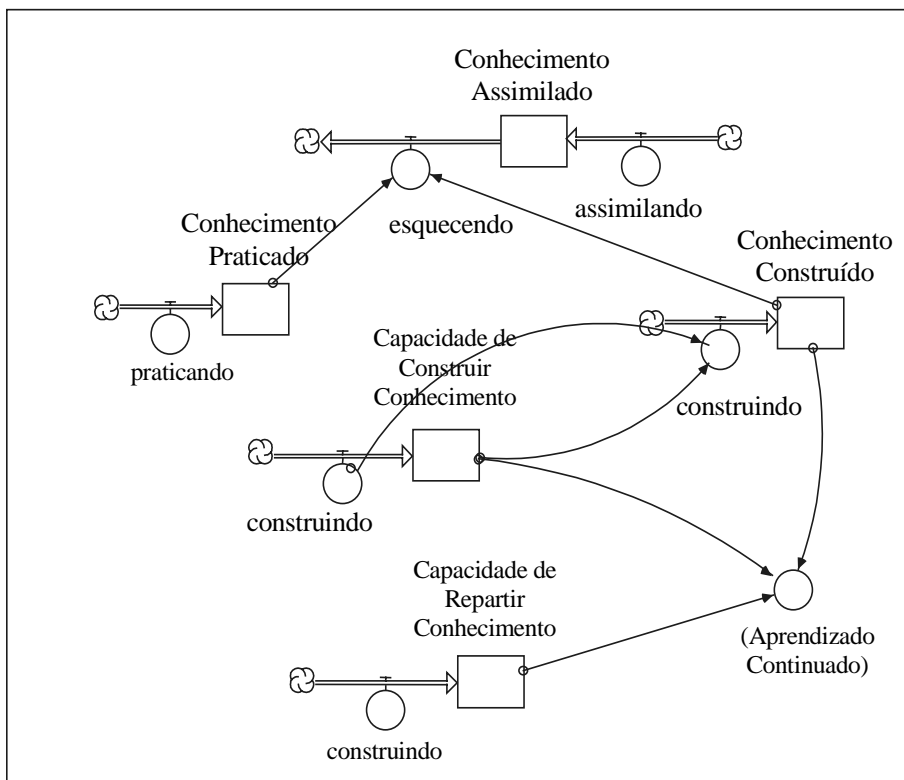


Figura 3. O sistema de aprendizagem de Richmond

Pesquisando sobre o assunto, identificamos na literatura diversas estratégias de ensino - aprendizagem que explicam muito do que está acontecendo no ensino de engenharia. Estas estratégias serão agrupadas, para fins deste trabalho, em: 1) acumulação de conhecimento, 2) aquisição de conhecimento, 3) construção de conhecimento, 4) compartilhamento de conhecimento.

Na acumulação de conhecimento, os estudantes devem mostrar sua habilidade de reproduzir o conhecimento recebido, aplicando em situações similares. A aquisição de conhecimento envolve uma construção ativa. Os estudantes são solicitados a descobrir e estabelecer um conjunto de relações, por si próprios. É uma atividade que requer uma participação ativa dos estudantes, chamada de “*hands-on*”. Na construção do conhecimento, novas aptidões são exigidas para poder lidar com situações novas ou mesmo desconhecidas. Depende da combinação sinérgica de dados, processamento de informações e do emprego da tecnologia. Compartilhar conhecimento significa melhorar os meios através dos quais o conhecimento é comunicado e operado.

Com base nesses conceitos criamos uma estrutura de referência para relacionar todos esses conceitos e estratégias com o ciclo de ensino - aprendizagem. Modificamos a proposta de Richmond, a partir da nossa experiência no ensino de engenharia. O resultado dessa investigação permite afirmar que a prática de modelagem e de simulação pode ser aproveitada em todos os quadrantes do referido ciclo, tendo como referência o sistema de aprendizagem de Richmond. Apesar de ser mais evidente a sua aplicação nas etapas “*COMO*” e “*E - SE*”, a metodologia de *System Dynamics* terá um uso valioso nas outras etapas, principalmente para compensar o aspecto “esquecimento” apontado na figura 3, e outros fatores como: falta de interesse, desmotivação por parte dos alunos, e ausência de ligação do conteúdo com a realidade.

Na etapa “*POR QUE*” (Compartilhamento de Conhecimento) o contexto do curso deve ser discutido. É o momento no qual ocorrem as diferentes situações, quando pode ser discutida a relevância de cada problema e o benefício relativo de sua solução. A realidade deve ser desmascarada para o estudante, revelando o objeto de estudo e os problemas comumente encontrados. Um problema é priorizado, para permitir que seja discutido o que é necessário saber para poder formula-lo, modela-lo e resolvê-lo. É uma fase importante de motivação e convencimento do estudante para a apresentação dos conceitos e teorias. Nesta etapa, surge o emprego de softwares de simulação, com aplicações práticas previamente preparadas, envolvendo as situações comentadas.

Na fase “*O QUE*” (Aquisição de Conhecimento) os estudantes devem ter contato com os conceitos necessários para resolver os problemas ilustrados na fase anterior. Neste momento, os estudantes devem estar motivados para tal tarefa. Nesta fase, os estudantes devem ser municiados com modelos, regras de decisão e instrumentos de medida, visando a melhorar as percepções pessoais do problema e oferecer modos alternativos de solução. A habilidade de formular problemas e construir modelos deve ser desenvolvida. Neste momento, as aplicações, vistas na etapa anterior, são re-apresentadas em termos de formulação, e discutidas a modelagem empregada, os valores dominantes, as variáveis e seus relacionamentos, como na figura 3. Os softwares baseados em *Dynamic Systems* permitem a visualização de uma aplicação em três níveis: do usuário (usado na etapa *POR QUE*); do modelo (para a etapa *O QUE*); e o da formulação matemática.

Na etapa “*COMO*”, os problemas apresentados na primeira etapa são resolvidos usando os conceitos da etapa anterior. É neste momento que é feita a integração entre teoria e prática, dentro de um contexto pré-estabelecido. Caracteriza-se pelo envolvimento direto na solução de problemas através de diferentes técnicas e algoritmos. Modelagem e simulação são praticadas nesta fase, exigindo dos estudantes a solução de exercícios e trabalhos práticos, a partir do envolvimento direto com o software. O aprendizado e o envolvimento com diferentes softwares faz parte desta etapa. A simulação acaba sendo usada na solução e teste de problemas cada vez mais complexos e que dependem do entendimento e consideração simultânea de vários parâmetros.

Depois que o estudante teve contato com a formulação, análise e solução de problemas normalmente bem-estruturados (com todas as informações disponíveis e que exigem uma lógica comum na sua solução), novos problemas podem ser apresentados, mais complexos e com menor grau de estruturação. Situações semi-estruturadas, com problemas abertos nos quais uma boa solução deve ser escolhida entre várias soluções alternativas, são ideais para a etapa “*E - SE*”, principalmente para reforçar os aspectos de levantamento e análise das conseqüências e impactos de diferentes alternativas. A construção de cenários, a partir da variação de parâmetros existentes ou da incorporação de novos. Nesta fase, o uso de softwares de simulação agiliza a criação desses cenários e permitem uma interação direta com os resultados obtidos, seja em forma gráfica ou numérica.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os autores têm consciência de que a Educação em Engenharia no Brasil ainda é muito apoiada na Acumulação de Conteúdo e na Reprodução do Conhecimento, e que esse modelo começa a ser substituído por iniciativas pioneiras em várias Instituições de Ensino no país. No entanto, também temos consciência que não devemos abandonar completamente o conhecimento e experiência adquiridos, A questão é potencializar a aprendizagem, descobrindo novos e adaptando os meios existentes.

Muitos autores (Stermann [9], Ref. [5]. Forrester & Senge [10]; Hartley [11] e Lane [12]) têm sugerido o uso de experimento direto na forma de jogo, no qual as pessoas desempenham o papel do agente que toma as decisões no sistema que está sendo modelado. Este jogo ou laboratório experimental está sendo chamado de “*Microworld*”

A construção de modelos pode ser auxiliada pela metodologia “Strategic Options Development and Analysis” - SODA, que segundo Eden [13] é uma técnica de estruturação de problemas complexos que utiliza mapeamento cognitivo para auxiliar a lidar com subjetividade e questões nebulosas.

Além disso, estudos de casos podem ser desenvolvidos para dar suporte as atividades desenvolvidas na etapa “POR QUE” e na etapa “COMO”. A estrutura curricular pode ser revista e , planejada como nos trabalhos de Fournier-Bonilha et al. [14] e de Watson & Malavé [15].

4. REFERÊNCIAS

- [1] J.E. Stice, “Using Kolb’s learning cycle to improve student learning”, *Engineering Education*, vol. 77, no. 15, feb. 1987, pp.291-296.
- [2] R.V. Belhot, “Searching for new ways of teaching” in *Proceedings of the International Conference on Engineering Education*, 1998, CD-ROM.
- [3] J.H. . Guerra, *Utilização do Computador no Processo de Ensino-Aprendizagem: uma Aplicação em Planejamento e Controle da Produção*, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 2000, p.173.
- [4] R.V. Belhot and R. V. Lima, “Computer-based training: a new man-machine interface”, in *Proceedings of the Fifth International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing: Agility & Hibrid Automation*, 1997, pp.56-60.
- [5] J. Morecroft and J. Sterman (editors) “Modeling for learning”, *European Journal of Operational Research* (Special issue), vol. 59, no. 1, may 1992.
- [6] J.W. Forrester, *Industrial Dynamics*, Productivity Press, MA., 1961.
- [7] R.S. Figueiredo, “Modelagem e simulação dinâmica de fenômenos organizacionais para o ensino de engenharia”, in *Anais do XXV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*, 1997, vol. 1, pp. 196-212.
- [8] B. Richmond , S. Peterson et al., *Stella - an introduction to system thinking*, High Performance Inc., NH, 1997.
- [9] J.D. Sterman, “Testing behavioral simulation models by direct experiment”, *Management Science*, vol. 33, no. 12, 1987, pp. 1572-1592.
- [10] J.W. Forrester and P.M Senge, “Tests for building confidence in system dynamics models”, *TIMS Studies in Management Sciences*, vol. 14, 1980, pp. 209-228.
- [11] W.C.F. Hartley, *Uma introdução aos jogos*, Management Development Branch, International labour office, Geneva, 1985.
- [12] D.C. Lane, “Modeling as learning: a consultancy methodology for enchanting learning in management teams”, *European Journal of Operational Research*, vol. 59, no. 1, 1992, pp. 64-83.
- [13] C. Eden, *Using cognitive mapping for strategic options development and analysis (SODA)*, in: *Rational Analysis for a Problematic World*. Edited by J. Rosenhead, John Wiley & Sons Ltd., 1989.
- [14] S.D. Fournier-Bonilha, K.L. Watson and C.O. Malavé, “Quality planning in engineering education: analysis of alternative implementations of new first-year curriculum at Texas A&M University”, *International Journal of Engineering Education*, vol. 89, no. 3, 2000, pp. 315-332.
- [15] K.L. Watson and C.O. Malavé “Motivating a change process for the engineering curricula”, *IEEE Transactions in Education*, 2001 (to appear).