

A IMPORTÂNCIA DA VISUALIZAÇÃO DOS EFEITOS DOS ESFORÇOS SOLICITANTES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO PARA OS ALUNOS DE ENGENHARIA CIVIL

Ricardo Gaspar¹ ; Osvaldo Shigueru Nakao²

¹ Universidade Federal do ABC, Centro de Engenharia, Modelagens e Ciências Sociais Aplicadas - CECS
Rua Siqueira Bueno, 2295 – Belenzinho
CEP: 03173-010 – São Paulo – SP
ricardo.gaspar@ufabc.edu.br

² Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica – PEF
Av Professor Luciano Gualberto – travessa 3 – 83
CEP : 05508-900 – São Paulo – SP
osvaldo.nakao@poli.usp.br

***Resumo:** A visualização dos efeitos de um mau dimensionamento ou de má execução de uma obra em concreto, muitas vezes, só é possível depois de decorrido um certo tempo. Frequentemente, os erros ocorrem porque não se dá o devido valor à conceituação precisa da ação dos esforços solicitantes numa estrutura. O concreto é um material que não apresenta facilidade de manipulação e uma resposta imediata visível que potencialize o seu aprendizado na Escola nem sempre é possível. Quando levadas à sala de aula, as peças de um eventual mostruário são de dimensões que, às vezes, tiram as características de realidade. Além disso, no ensino de engenharia civil, nas escolas mais tradicionais que têm uma carga horária grande em matérias teóricas, fica difícil o complemento do aprendizado apenas por estágios ou trabalhos complementares. A alternativa que resta é trazer as imagens do que de fato ocorre nas estruturas para a sala de aula, mesmo nas aulas meramente expositivas. A apresentação dos efeitos dos esforços solicitantes numa estrutura de concreto de dimensões reais certamente traz grandes contribuições para a formação de um bom engenheiro civil, alertando o quanto é importante o pleno entendimento dos conceitos, tanto no desenvolvimento de um projeto, como no acompanhamento da execução de uma obra.*

***Palavras-chave:** Ensino, Esforços, Engenharia Civil, Concreto, Resistência dos Materiais.*

1. INTRODUÇÃO

O objetivo principal deste trabalho é destacar um caminho para os professores dos cursos de Engenharia Civil despertarem a motivação em seus alunos. O outro objetivo é enfatizar a importância dos conceitos estudados nos cursos de graduação, tanto no desenvolvimento de um projeto, como no acompanhamento da execução de uma obra, como já fizeram NAKAO et al. (2003).

Atualmente valoriza-se muito a rapidez com que se obtém os resultados, contudo, a abreviação de etapas nem sempre deixa de ser mutilante, mesmo no processo de ensino e aprendizagem. Como o tempo é o senhor da razão, o estudante mal avisado só valorizará o investimento de tempo e de atenção no pleno aprendizado dos conceitos quando estiver cometendo erros.

Para os estudantes de Engenharia Civil, as disciplinas de Mecânica das Estruturas não são vistas como obrigatórias para uma boa formação. E, principalmente por exigirem muito estudo e dedicação, são classificadas pelos alunos como demasiadamente teóricas, acima do que seria necessário, conforme já apontado por BRINGHENTI (1993).

Ao se tentar estabelecer uma ligação entre o que é estudado com o que é exigido na prática, muitas vezes esquece-se da devida experiência, a qual auxilia o profissional no momento de tomar as decisões corretas. Esquecer a importância da presença de um profissional bem formado e bem qualificado em todas as etapas do projeto e da obra é um erro.

2. CONCEITUAÇÃO DO APRENDIZADO

As grandes transformações da sociedade iniciaram-se em 1960 e foram rapidamente acentuadas nas décadas seguintes. Os progressos da tecnologia — acesso rápido a quaisquer tipos de informações, avanços nas comunicações e nos transportes — e a globalização, sem dúvida alguma, modificaram o comportamento humano em vários aspectos.

Essas mudanças no modo de ser das pessoas afetaram também toda a sistemática do ensino e do aprendizado. É evidente o efeito da televisão na formação da “civilização da imagem”, como é batizada por especialistas.

As altas velocidades com que as mensagens e as imagens são transmitidas pela mídia, diminuem, em alguma medida, a capacidade de raciocínio e a imaginação das pessoas, pois estas necessitam de mais tempo para assimilar adequadamente as informações.

Assim, não é conveniente utilizar-se apenas do método de ensino tradicional, com exposições concatenadas de raciocínios e conceitos. Os relatos das experiências didáticas nos congressos de ensino de engenharia comprovam a dificuldade de concentração e de visualização de conceitos abstratos pelos alunos de hoje. No ramo das Engenharias, a evidência de um fenômeno físico abstrato é de difícil absorção. Portanto, para se ter sucesso no processo de ensino e aprendizagem, é fundamental fazer uso também da “imagem” para ilustrar os conceitos apresentados em sala de aula.

Esta necessidade aparece, por exemplo, nas aulas que envolvem a Mecânica das Estruturas. Para o aluno, é difícil a visualização dos esforços solicitantes que atuam em uma estrutura ou peça estrutural. É difícil para o aprendiz aceitar o modelo matemático que muitas vezes lhe é imposto sem o devido entendimento.

Além disso, mesmo nas escolas de engenharia onde se desenvolvem programas experimentais de pós-graduação, as pesquisas são pouco divulgadas e na graduação, os alunos ainda não se interessam por estes temas e acabam não aproveitando essa oportunidade de compreender melhor os conceitos enunciados.

Por outro lado, as aulas que são ministradas somente com recursos multimídia, também não alcançam muita popularidade entre os alunos.

Portanto, para se ter sucesso no ensino de engenharia convém associar o conceito ao fenômeno físico e ilustrar os efeitos deste fenômeno aos casos reais.

Da mesma forma que NAKAO e LINDENBERG-NETO (2001) e LINDENBERG-NETO e AREVALO (1998), defende-se a utilização de imagens em aulas de Mecânica das Estruturas, ilustrando as aulas puramente expositivas. Em particular, as imagens dos efeitos dos esforços solicitantes em estruturas de concreto.

3. SOLICITAÇÕES TANGENCIAIS

No caso das aulas referentes às Solicitações Tangenciais em estruturas de concreto, o professor pode apresentar a clássica definição de tensões tangenciais depois da análise de um elemento de viga de comprimento infinitesimal dx , submetido a um carregamento genérico p , sem esforço normal, como indicado na Figura abaixo.

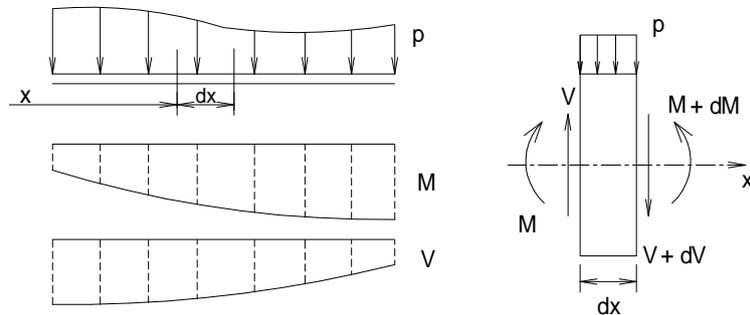


Figura 1 Barra submetida a cargas transversais p

Do equilíbrio passa-se para o estudo das tensões normais que atuam neste elemento de viga, deduzindo-se a expressão que define as tensões de cisalhamento.

Em seguida, aplicando-se os princípios enunciados às estruturas lineares de concreto, o professor pode mostrar a Analogia de Treliça, explicando que, quando uma viga de concreto armado é submetida a carregamentos suficientemente elevados, aproximando-a dos estados limites últimos, ocorrerá uma intensa formação de fissuras.

Mas, será que é suficiente pedir aos alunos que acreditem que o comportamento das vigas de concreto armado se assemelha ao modelo resistente das treliças?

O professor pode continuar, dizendo que o dimensionamento das armaduras necessárias para resistir aos esforços cortantes, decorrentes das solicitações tangenciais, pode ser feito utilizando-se a Analogia de Treliça.

Desenvolvido por Mörsch, esse modelo resistente ficou conhecido como Analogia Clássica da Treliça ou Treliça de Mörsch e baseia-se nas hipóteses de que a treliça seja formada por banzos paralelos e que as bielas diagonais tenham inclinação $\theta = 45^\circ$ em relação ao eixo longitudinal da viga.

O banzo comprimido e o tracionado são formados, respectivamente, pela região comprimida do concreto e pela armadura longitudinal de tração. As diagonais são formadas pelas bielas comprimidas de concreto e os tirantes, pelos estribos. A Figura 2 ilustra o modelo resistente baseado na Analogia Clássica de Treliça.

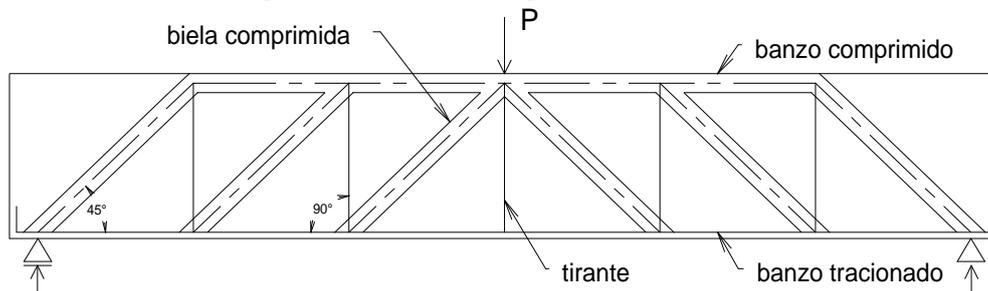


Figura 2 Analogia Clássica de Treliça

A armadura transversal é geralmente constituída por estribos, os quais podem ser montados com barras perpendiculares ao eixo da viga ou, eventualmente, com barras inclinadas denominadas cavaletes ou estribos inclinados.

Em seguida, o professor pode mostrar o caso geral (Figura 3) e o conceito da Treliça Generalizada, chegando-se, finalmente às tensões nas armaduras transversais e no concreto.

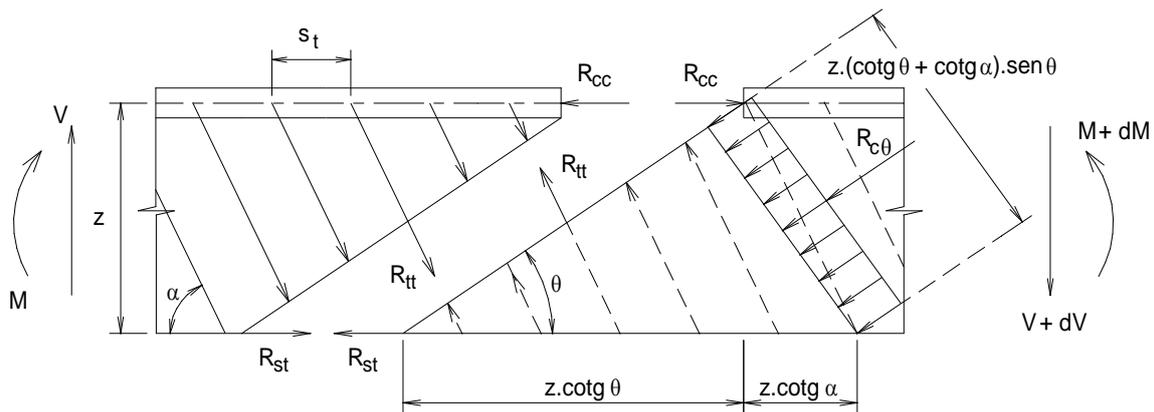


Figura 3 Esforços internos na treliça – caso geral (FUSCO 1995)

Passando para o dimensionamento das estruturas de concreto, mostram-se as prescrições da norma brasileira de concreto NBR 6118/2003, chegando-se, finalmente ao dimensionamento da armadura transversal e a verificação do concreto.

Assim, o professor demonstra a teoria de Solicitações Tangenciais, de tensões de cisalhamento e mostra como dimensionar as vigas para resistir às forças cortantes.

Mas como o professor pode justificar o modelo adotado? Será que basta dizer ao aluno que se formarão fissuras que deram a pista para essa teoria? Mesmo que o aluno acredite na existência das fissuras, mesmo sabendo dimensionar os estribos, dificilmente visualizará o aparecimento dessas fissuras em vigas.

Não seria perfeito se fossem apresentadas imagens dessas vigas?

Bem, GASPAR (2003) realizou uma pesquisa experimental sobre o comportamento de vigas I de concreto armado, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Essa pesquisa é uma análise da composição de cisalhamento com flexão transversal em vigas I de concreto e teve a finalidade de aprofundar o estudo do comportamento das vigas de seção caixão, muito utilizadas nas construções de pontes.

Observando-se que a seção I é a metade da seção caixão. Foram analisados os seguintes modos de colapso: esmagamento das bielas comprimidas de concreto (VIGA 1), alongamento plástico excessivo dos estribos (VIGA 2) e ruptura dos estribos por fadiga (VIGA 3 e VIGA 4).

As vigas foram montadas com as seguintes características geométricas:

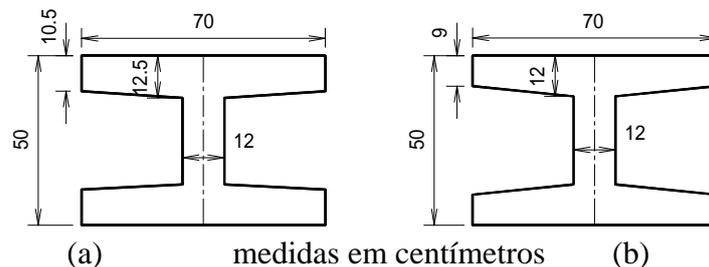


Figura 4 Seção transversal das vigas

O esquema estrutural adotado foi o de viga simplesmente apoiada, submetida a uma carga concentrada (P) no meio do vão e a carregamentos auto-equilibrados de flexão transversal (F) nas extremidades de um dos lados da mesa, como ilustra a Figura 5.

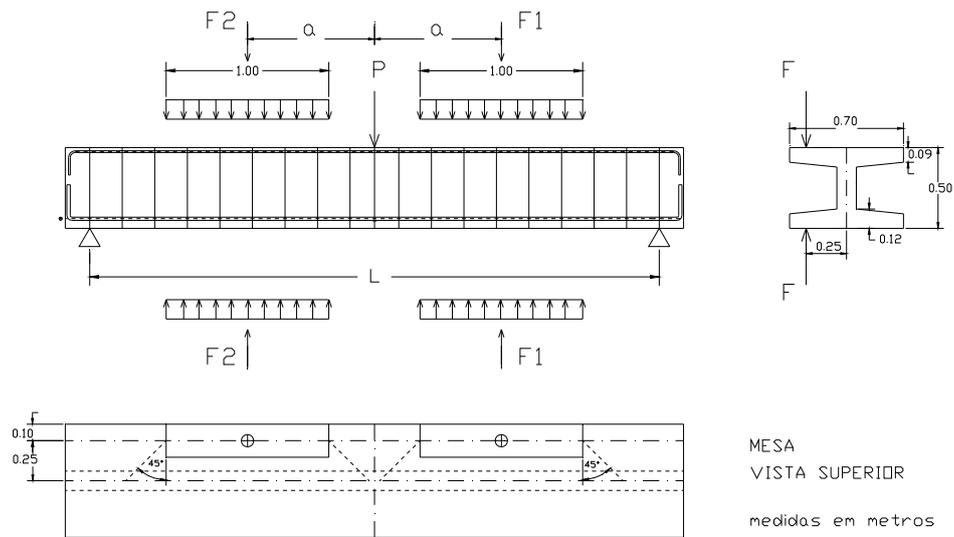


Figura 5 Esquema estrutural dos ensaios

A Figura 6 ilustra a montagem da viga em um pórtico metálico, devidamente fixado em uma laje de reação.



Figura 6 Esquema de ensaio

Nessa montagem, tem-se a oportunidade de apresentar aos alunos os tipos de vinculação reais associados aos modelos adotados em salas de aula. Na Figura 7, vê-se uma articulação móvel. Os dois roletes do nível inferior permitem liberdade de translação, enquanto que o rolete superior permite liberdade de rotação.



Figura 7 Articulação móvel

Carregamento

Inicialmente, carregou-se a viga com a carga vertical (P) até o aparecimento de fissuras na alma, para garantir o funcionamento do esquema biela-tirante e logo depois se procedeu ao descarregamento. Nas Figuras 8 e 9, estão mostradas as fissuras na alma, desenvolvidas nesta etapa.



Figura 8 Fissuras abertas na alma da viga devido à carga vertical (P)

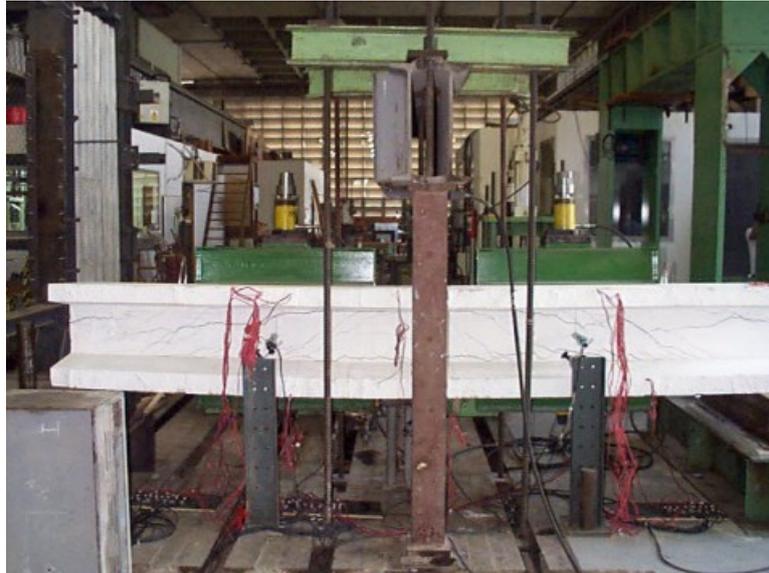


Figura 9 Fissuração indicativa do esquema biela-tirante

Pode-se notar claramente a formação do esquema biela-tirante da Analogia de Treliça com bielas diagonais inclinadas.

Em seguida, aplicou-se novamente a carga vertical (P) até a um certo valor que foi mantido constante e iniciou-se o carregamento de flexão transversal até a ruptura em um dos casos analisados.

Como se tratava de um carregamento vertical aplicado pela carga P e de carregamentos auto-equilibrados de flexão transversal em uma das extremidades das mesas, no instante da ruptura notou-se um aumento exagerado do campo de fissuração na alma do lado tracionado, conforme indica a Figura abaixo.



Figura 10 Fissuras na alma do lado tracionado

Um dos tópicos das aulas de Solicitações Tangenciais versa sobre os modos de ruptura. As peças de concreto armado, submetidas à flexão estão sujeitas às solicitações normais e tangenciais que podem atingir os estados limites últimos.

Vários dos modos de ruptura por solicitações tangenciais provocam colapso não avisado. Portanto, deve-se prevenir para que as solicitações tangenciais não sejam as responsáveis pelo colapso da peça, isto é, não definam a sua resistência.

O professor pode mostrar que as deficiências de resistência a solicitações tangenciais podem determinar os seguintes modos de ruptura:

- ruptura por força cortante – compressão: esmagamento das bielas diagonais de concreto em regiões solicitadas por elevado nível de força cortante;
- ruptura por força cortante – tração: ocorre por insuficiência de armadura transversal, separando a viga em duas partes, através de fissura inclinada;
- ruptura por força cortante – flexão: ocorre também por insuficiência de armadura transversal, quando as fissuras diagonais de cisalhamento atingem a região comprimida do concreto, ocasionando diminuição de sua área e, conseqüentemente, a ruptura da peça por esmagamento do banzo comprimido;
- ruptura do concreto por flexão da armadura longitudinal: mesmo que a peça tenha área de armadura transversal adequada, esse tipo de ruptura ocorre quando os estribos estão muito espaçados entre si, obrigando as bielas diagonais de concreto a se apoiarem na armadura longitudinal da viga, acarretando flexão dessa armadura e impedindo o correto funcionamento do modelo de treliça. A ruptura se dá por fissura inclinada, com forte flexão da armadura longitudinal;
- ruptura da peça por escorregamento da armadura: ocorre por insuficiência de ancoragem e nos apoios extremos, podendo provocar o escorregamento da armadura longitudinal de tração.

Na Figura 11 estão ilustrados os tipos de ruptura acima citados.

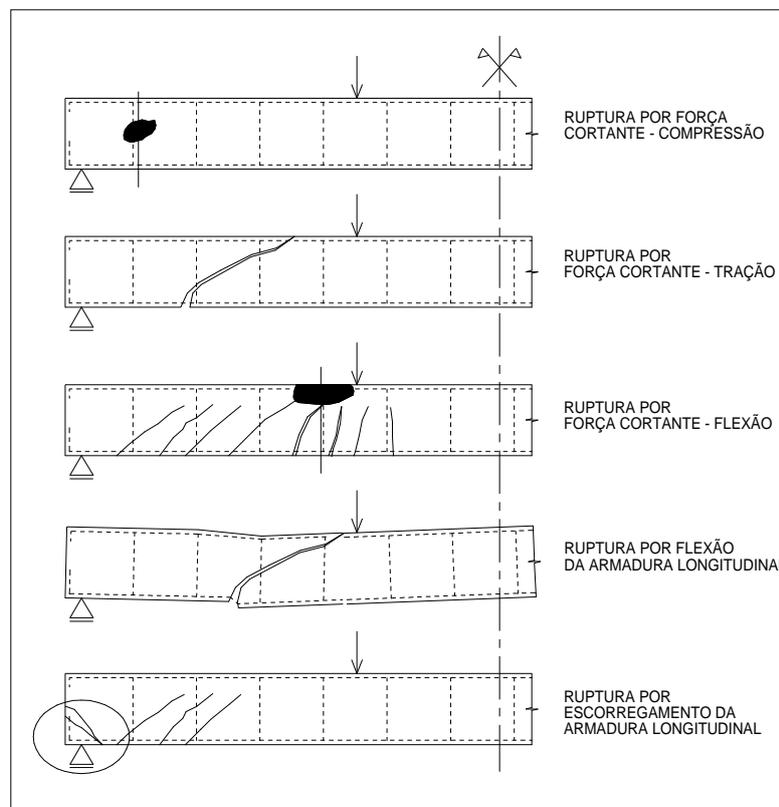


Figura 11 Tipos de ruptura por cisalhamento (FUSCO, 1984)

Se a exposição sobre os modos de ruptura for ilustrada com fotos de ensaios de laboratório, ou mesmo de rupturas reais ocorridas em estruturas, o aluno terá uma “vivência” dos conceitos teóricos aprendidos no seu curso de Engenharia.

Na pesquisa, observou-se também um estufamento da alma na região comprimida pelo carregamento de flexão transversal e, por fim, o esmagamento do concreto na face comprimida da alma, conforme a Figura 12.



Figura 12 Ruptura por esmagamento do concreto

As imagens devem também incluir diagramas do comportamento da viga. Os resultados experimentais obtidos pelos sensores instalados na viga permitiram a montagem de vários gráficos.

Na Figura 13, mostram-se os deslocamentos verticais da viga, comumente denominadas flechas, captados por um transdutor de deslocamentos (LVDT-1).

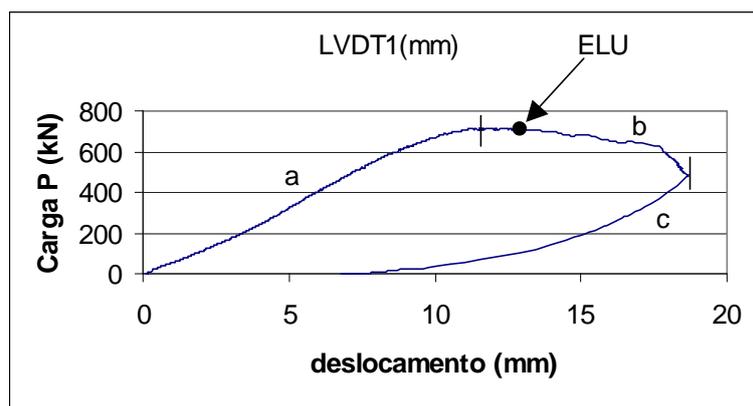


Figura 13 Gráfico - carga vertical (P) x deslocamentos verticais

Os deslocamentos verticais da viga evidenciam as etapas do ensaio: no trecho (a) há a aplicação da carga vertical (P); no trecho (b) ocorre a aplicação do carregamento de flexão transversal e no trecho (c) há o descarregamento.

No gráfico seguinte, da Figura 14, indicam-se as deformações nas armaduras longitudinais, tracionada e comprimida. Neste caso, ao se atingir P_{max} , as deformações nas barras das armaduras longitudinais de tração (ϵ_t) e de compressão (ϵ_c) alcançaram,

respectivamente, $\varepsilon_{st} = 2,0 \text{ ‰}$ e $\varepsilon_{sc} = -2,51 \text{ ‰}$. As deformações máximas atingiram, respectivamente, $\varepsilon_{st} = 3,86 \text{ ‰}$ e $\varepsilon_{sc} = -2,51 \text{ ‰}$.

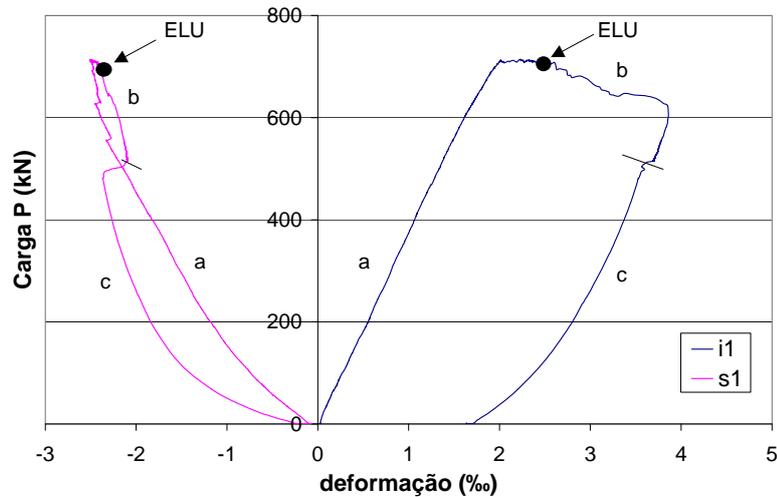


Figura 14 Deformações nas armaduras longitudinais de tração (i1) e de compressão (s1)

* * *

As fotografias das diversas etapas da pesquisa e os gráficos construídos permitem visualizar uma série dos conceitos teóricos apresentados em salas de aula.

O aluno de graduação não terá acesso a essas informações a menos que esteja estagiando em um centro de pesquisa. Assim, se o professor puder apresentar essas cenas de casos reais em sala de aula ou até mesmo utilizando os diversos recursos de mídia hoje existentes, o aprendizado do estudante terá mais consistência e ele poderá se motivar mais com o seu curso. Logo, cabe ao professor estabelecer essa ligação entre a teoria e a prática.

A disseminação de escolas de engenharia sem os mesmos recursos das escolas tradicionais, embora dê a oportunidade a mais pessoas estudarem, cria uma necessidade que pode ser suprida com o auxílio destas mesmas escolas tradicionais. Para essas escolas privadas, algumas delas com cursos em período noturno, o contato com centros de pesquisa, como o existente na Escola Politécnica da USP, permitiria apresentar aos alunos fotografias, vídeos ou até peças já submetidas a ensaios. Cada escola poderia criar mostruários de peças como estas que aqui foram apresentadas. O Laboratório de Estruturas e Materiais estruturais – LEM ou o Laboratório Didático de Resistência dos Materiais do Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, pretendem disponibilizar imagens e peças dos experimentos realizados. Assim, toda escola poderia ter o seu laboratório de demonstrações ou o seu mostruário de peças submetidas a ensaios.

As aulas dos cursos de Engenharia seriam mais ilustradas e permitiriam uma melhor visão e compreensão dos fenômenos físicos relativos aos problemas de engenharia.

Com a utilização deste método, o estudante de graduação pode encerrar um primeiro ciclo de aprendizagem com muitas vantagens NAKAO (2003):

- 1) Abordam-se as diversas etapas do projeto, tentando investigar os eventuais efeitos que podem conduzir a alguma patologia;
- 2) Analisa-se o partido adotado na concepção e na modelagem, verificam-se as hipóteses sobre o comportamento estrutural, sobre as medidas geométricas e sobre as vinculações. Verifica-se se não existem hipóteses mal formuladas sobre as constituições dos

- materiais e ações como as do vento, que possam conduzir ao aparecimento de efeitos não previstos em projeto;
- 3) No dimensionamento, verifica-se a observância aos requisitos dos materiais e às restrições das normas;
 - 4) Verifica-se o detalhamento da ancoragem, das emendas, dos cobrimentos, da armadura de pele, dos estados limites;
 - 5) Na execução, investiga-se o cumprimento das especificações. As juntas, os tipos de protensão, as fôrmas e o posicionamento das armaduras, o controle dos materiais, o lançamento, a cura do concreto estão sujeitos a erros se não houver um acompanhamento rotineiro e cuidadoso por dependerem da ação do homem;
 - 6) Na manutenção, são verificadas a periodicidade e a forma de como se mantêm as proteções existentes. Os reparos devem restituir as condições previstas em projeto;
 - 7) Na operação, observa-se se não houve modificações de uso ou reformas mutiladoras.

4. CONCLUSÕES

A sistemática do aprendizado foi afetada pelas modificações de vários aspectos do comportamento humano advindas dos avanços da tecnologia principalmente pela diversidade das formas de comunicações e pela alta velocidade com que mensagens e imagens são transmitidas pela mídia.

Essa rapidez com que as informações são disseminadas e o grande volume delas não permitem ao estudante de hoje, a devida absorção da mesma maneira que as gerações anteriores faziam.

Não é conveniente utilizar-se apenas do método expositivo tradicional, sem interatividade, sem as imagens dos fatos comentados, sem o traçado de gráficos comparativos, sem o processamento de muitas informações.

É, portanto, saudável que os professores das escolas de engenharia entrem em contato com os centros de pesquisa, a fim de obter subsídios para a montagem de laboratórios de demonstrações, de mostruários de peças já ensaiadas ou de imagens de casos reais estudados para ilustrar as aulas. Com isso, os conceitos e os fenômenos físicos seriam ilustrados, facilitando a compreensão.

Conforme já dito por NAKAO [9], essa ligação entre os alunos de graduação e os laboratórios aumenta a motivação dos estudantes para a autonomia do aprendizado e permite um acoplamento e uma adesão maiores ao curso de engenharia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – (ABNT). Projeto de estruturas de concreto – Projeto de Revisão NBR 6118. Rio de Janeiro: 2003.

BRINGHENTI, I. O ensino na Escola Politécnica da USP: fundamentos para o ensino de engenharia. São Paulo, EPUSP: 1993.

FUSCO, P. B. Construções de concreto solicitações tangenciais: problemas básicos de cisalhamento no concreto estrutural – problemas gerais de dimensionamento. São Paulo: EPUSP/PEF, 1984.

FUSCO, P. B. Técnica de armar as estruturas de concreto. São Paulo: PINI, 1995.

GASPAR, R. Dimensionamento das almas de pontes celulares. 2003. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

LINDENBERG-NETO, H.; ARÉVALO, L. A. T. Using images to teach the beginnings of structural engineering. International Conference on Engineering Education. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 1998.

NAKAO, O. S.; LINDENBERG-NETO, H. Didactic Improvement on a Course about Mechanics of Structures. International Conference on Engineering Education. Oslo: EP Innovations, 2001.

NAKAO, O. S.; OYAMADA, R. N.; ISHITANI, H. A importância dos fundamentos da engenharia das estruturas na formação do engenheiro civil. V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. São Paulo: PEF/PCC EPUSP, 2003.

NAKAO, O. S. Participação de alunos de graduação de engenharia civil nas atividades de pesquisa e extensão. XXI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Rio de Janeiro: IME, 2003.

THE VISUALIZATION OF THE EFFORTS EFFECTS IN CONCRETE STRUCTURES FOR THE STUDENTS OF CIVIL ENGINEERING

***Abstract:** The visualization of the effects of a bad design or a bad execution in concrete structures is only possible after having elapsed a certain time. Frequently, the mistakes happen because it does not feel the value to the necessary concepts of the efforts acting in a structure. The concrete is a material that does not present easiness manipulation and their visible effects to learning in the School it is not always possible. When taken to the classroom, the concrete pieces are dimensions that, sometimes, remove the reality characteristics. Besides, in the teaching of civil engineering, in the most traditional schools than they have a big charge in theoretical matters, it is just difficult the complement of the learning for complementary works. The alternative that remains is to bring the images than in fact it happens in the structures to the classroom, even in the classes expository. The presentation of the efforts effects in a concrete structure of real dimensions certainly brings great contributions for a good civil engineer formation.*

***Key words:** Teaching, Efforts, Civil Engineering, Concrete, Strength of Materials.*