



MODELAGEM E VISUALIZAÇÃO NA PRÁTICA DE CÁLCULO ESTRUTURAL

SILVA, Athos Souza e (1); KAPP, Silke (2); SANTOS, Roberto Eustáquio dos (3)

(1) UFMG, athosilva7@gmail.com; (2) UFMG, kapp.silke@gmail.com; (3) UFMG, ro1234ro@gmail.com

RESUMO

Em escolas de arquitetura no Brasil, o ensino de estruturas raramente incorpora ferramentas digitais 3D avançadas. Muitas disciplinas são superficiais, baseadas em apostilas antigas e representações rudimentares, que dificultam a compreensão de estudantes não familiarizados com canteiros de obras. Os professores parecem supor que arquitetos devem saber o bastante para valorizar as soluções de engenheiros, mas não para propor concepções estruturais. Com o objetivo de descobrir se e como essa prática de ensino reflete a prática profissional, o primeiro autor deste artigo, estudante de graduação, realizou entrevistas com engenheiros de estruturas e observações nos seus escritórios. Depois analisamos juntos os resultados. Eles mostram que os entrevistados que trabalham com projetos não convencionais, de fato, exploram visualização e modelagem digitais na análise estrutural, na discussão com arquitetos e na integração dos requisitos técnicos e econômicos nos projetos. Por outro lado, os entrevistados que trabalham sobretudo para a indústria comum da construção usam ferramentas 3D mais para apresentar do que para criar soluções. A pesquisa indica ainda que é comum fragmentar formas arquitetônicas complexas em elementos simples, mais fáceis de calcular, mesmo que sejam estruturalmente menos eficientes. Reuniões com arquitetos, discussões sobre concepções estruturais e cálculos extravagantes são vistos como perda de tempo. Nesse sentido, o ensino de estruturas nas escolas de arquitetura condiz com a prática profissional comum, mas não com os recursos disponíveis. Usá-los no ensino implicaria mudanças nessa prática.

Palavras-chave: Ferramentas digitais 3D; Visualização; Engenharia estrutural.

ABSTRACT

At Brazilian architecture schools, structure teaching rarely incorporates advanced 3D digital tools. Many courses are superficial, and rely on outdated leaflets and rough representations, which complicate understanding for students unfamiliar with construction sites. Lecturers seem to assume that architects require the knowledge to understand and value engineers' solutions, but not to propose structural concepts. Aiming to discover if and how this common teaching practice mirrors professional practice, the first author of this paper, an undergraduate student, conducted interviews with structural engineers and observations in their offices. We then analysed the results together. They show that the interview partners working more often on unconventional commissions actually do explore digital visualization and modelling as a means of structural analysis, discussion with architects, and integration of technical and economic requirements into their designs. On the other hand, the interview partners working mostly for the ordinary building industry use digital 3D tools rather to present than to create solutions. The research also indicates that it is common to split complex architectural forms into simple elements, easier to calculate, even if structurally less efficient. Meetings with architects, discussions on structural concepts, and unusual calculations tend to be seen as a waste of time. In this sense, structure teaching in architecture schools conforms to main professional practice, but not to the available tools. Using them in teaching would imply changes in this professional practice.

Keywords: 3D digital tools; Preview; Structural engineering

1. INTRODUÇÃO

Os escritórios de engenharia de estruturas contam com crescentes possibilidades de modelagem e visualização tridimensional desde os anos 1980. A incorporação de tais ferramentas por outras áreas da construção civil, como os escritórios de arquitetura e de instalações prediais, ocorreu tardiamente, quase duas décadas depois. Essa defasagem parece corresponder ao ensino nas escolas de arquitetura, especialmente no campo das estruturas.

De uma maneira geral, a carga horária dedicada a esse tema nos cursos de arquitetura é reduzida, seja em comparação com disciplinas de projeto, tecnologia e história, seja em comparação com os currículos dos cursos de engenharia. Além disso, o tema tende a ser tratado sem profundidade teórica nem exercícios práticos úteis ao trabalho profissional de um arquiteto. Não são raras as apostilas de décadas atrás, com representações apenas de esquemas de barras¹, que pouco contribuem para o entendimento do funcionamento de estruturas construtivas reais, principalmente para estudantes que não têm contato com o canteiro. Recursos de visualização de modelos realísticos ou mesmo de modelos de barras não são utilizados. O argumento dos professores – via de regra engenheiros – em defesa dessa prática de ensino é que bastaria a um arquiteto ter noções básicas dos problemas estruturais que podem surgir nas diversas situações de projeto e que, de resto, arquitetos deveriam se restringir a entender e aceitar as soluções propostas pelos engenheiros.

A pesquisa cujos resultados apresentamos aqui teve por objetivo descobrir em que medida essa rotina de ensino reflete a prática profissional dos engenheiros de estruturas nos seus próprios escritórios em dois sentidos. Primeiro, queríamos saber se ela condiz com a relação que os engenheiros têm com arquitetos nessa prática. Além disso, estávamos interessados em descobrir se e como os engenheiros de estruturas usam ferramentas digitais de modelagem e visualização no trabalho rotineiro nos seus escritórios, e se essas poderiam ser introduzidas no ensino de estruturas para arquitetos.

Nas seções seguintes, explicitamos os procedimentos de coleta de dados, a análise desses dados, as possibilidades vislumbradas a partir de ferramentas digitais numa nova lógica de ensino de estruturas e alguns apontamentos finais.

2. MÉTODOS

Com o objetivo indicado, foram realizadas entrevistas individuais, abertas, com sete engenheiros atuantes no mercado, todos à frente de escritórios próprios, especializados em análise e cálculo estruturais. O primeiro autor deste texto, graduando em arquitetura e urbanismo da UFMG e bolsista de iniciação científica, conduziu sozinho essas entrevistas. Entendemos que isso deixaria os entrevistados mais à vontade na exposição de suas práticas e suas opiniões sobre o campo profissional do que uma conversa com professores da Escola

¹ Denominamos *esquemas*, as representações bidimensionais (2D) e, *modelos*, as representações tridimensionais (3D). Tanto esquemas quanto modelos podem ser *de barras*, isto é, reduzidos a linhas que representam os eixos de força dos respectivos elementos estruturais, ou então *realísticos*, representando a geometria completa de tais elementos (altura, largura, espessura).

de Arquitetura. Se doravante escrevemos na primeira pessoa do plural é para simplificar o texto e porque compartilhamos a responsabilidade pelos procedimentos e resultados.

Também a constatação de que o ensino de estruturas nas escolas de arquitetura tende a não ser orientado para formar arquitetos capazes de conceber propostas estruturais provém principalmente da experiência, na graduação, do primeiro autor deste texto. A generalização dessa experiência para outras escolas brasileiras se baseia em trocas com estudantes de diversas cidades e no fato de os *engenheiros-arquitetos* terem se tornado *arquitetos-urbanistas* desde a década de 1990. Porém, não se trata de uma assertiva decorrente de um levantamento sistemático e sabemos que há exceções notáveis (ver SARAMAGO, 2011).

A primeira entrevista realizada teve o caráter de experiência piloto e exploração de temas. Expusemos a intenção de conhecer o trabalho do entrevistado, seu processo de concepção estrutural, as ferramentas que utiliza e como costuma se relacionar com os arquitetos. Com isso, pudemos definir melhor o tom das abordagens, as perguntas a fazer, sua ordem e os temas a privilegiar.

As demais entrevistas sempre se iniciavam com o pedido de explanação geral acerca do processo de concepção estrutural do entrevistado, dando particular atenção à sua abordagem dos projetos arquitetônicos e à possibilidade de esses chegarem ao escritório já com uma proposta estrutural, isto é, contrariando em alguma medida a divisão de competências transmitida no ensino. Em seguida, eram abordados diversos temas concernentes às ferramentas digitais: seu uso no cálculo e na análise das estruturas; os recursos de visualização e apresentação; e o compartilhamento por sistemas de *Building Information Modeling* (BIM)².

Todas as entrevistas foram realizadas nos respectivos escritórios e gravadas, além de registradas em relatos imediatamente depois. As análises das entrevistas enfocaram sobretudo dados objetivos. Não realizamos análises de discurso no sentido estrito do termo. Além disso, testamos os *softwares* para compreender melhor os tipos de recursos e interfaces que oferecem. Tivemos acesso a cinco dos entrevistados por indicações pessoais. Apenas uma pessoa nos atendeu a partir de um contato espontâneo por telefone. Tentamos contatar outros profissionais dessa maneira, sem indicação prévia, mas não se dispuseram a nos atender (alguns disseram estar sem tempo, outros explicitaram que não tinham interesse em participar de uma pesquisa acadêmica).

O Quadro 1 indica as idades dos entrevistados, se são ou não membros da Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE), o tamanho dos seus escritórios, os tipos de projeto com que trabalham e os recursos digitais de modelagem e visualização 3D que utilizam. O conjunto é pequeno, mas contempla profissionais de diferentes períodos de formação e escritórios com diferentes volumes e tipos de trabalho. A amostra não é equilibrada quanto ao gênero; apenas uma entrevistada é mulher. Um entrevistado é professor da UFMG.

² BIM, literalmente, modelagem de informações para a construção, é um processo de gerenciamento de dados a partir de modelos, compartilhados entre agentes e *softwares* diversos, com o objetivo de facilitar a tomada de decisões e a compatibilização de projetos. O termo surgiu na década de 1990, embora sistemas de compartilhamento existissem antes.

Quadro 1 – Perfil dos entrevistados e escritórios.

	Idade (anos)	ABECE (associado)	Escritório (pessoas)	Tipos de projeto	Softwares		
					TQS	SAP	Tekla
P	50 a 60	sim	10 a 15	Comerciais e residenciais de grande porte	X		
F	30 a 40	sim	5 a 10	Industriais variados e residenciais de pequeno porte	X	X	X
N	30 a 40	não	< 5	Comerciais e residenciais de médio porte	X		
H	60 a 70	sim	10 a 15	Comerciais e residenciais de grande porte	X		
L	30 a 40	sim	5 a 10	Comerciais e residenciais de médio porte	X		X
R	60 a 70	não	< 5	Uni- e multifamiliares de pequeno porte			

Fonte: Os autores, 2017.

3. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

Três dos entrevistados (P, H, L) insistiram muito em descrever, de uma maneira formal e quase idealizada, as atribuições dos diversos profissionais da construção civil e as relações que existem – ou deveriam existir – entre eles. A palavra *respeito* foi chave nesse sentido e usada por todos os seis entrevistados para caracterizar as interações, em particular aquela entre engenheiros e arquitetos ou entre projeto estrutural e projeto arquitetônico. *Respeito* parece significar uma divisão clara de incumbências, sem riscos de invasão de território alheio.

Assim, dada a premissa do respeito mútuo pelas especialidades, todos os entrevistados disseram, inicialmente, que seu processo de concepção estrutural começa pelo projeto arquitetônico, respeitando definições geométricas, dimensões e materiais indicados ali, bem como limitações econômicas que lhes são comunicadas pelo arquiteto ou pelo cliente. Ao longo das entrevistas, à medida que a conversa se tornava menos formal e alguns dos programas e projetos eram mostrados, descobrimos um pouco mais sobre como os entrevistados lidam com os projetos arquitetônicos e eventuais pré-concepções estruturais.

As respostas foram enfáticas: as estruturas propostas pelos arquitetos seriam, em sua grande maioria, equivocadas e incoerentes, sem correspondência entre planos sobrepostos e com quantidade de elementos estruturais exagerada ou subestimada. Disseram que raramente seguem os indicativos do projeto arquitetônico. Uma frase de R. resume a questão: “A gente respeita o projeto do arquiteto, mas se ele vier com uma concepção estrutural, eu faço do meu jeito”.

Nesse sentido, o respeito pela divisão do trabalho entre os especialistas (que na prática muitas vezes prejudica a construção) significa que os arquitetos devem reconhecer sua incompetência para o lançamento estrutural. Por outro lado, pudemos observar também o inverso: o engenheiro, na intenção de simplificar o cálculo, transforma formas complexas em elementos ortogonais simples. Por exemplo, vimos um pilar em “V” sendo considerado, para

efeito de cálculo, como pilar vertical comum, acompanhado da sugestão de que se fizessem enchimentos laterais para preservar a forma plástica. A possibilidade de que ele teria sido proposto pelo arquiteto para reduzir balanços da laje ali apoiada não foi sequer cogitada.

Ainda sobre a questão da concepção estrutural, é interessante notar que houve diferenças segundo os períodos de formação dos entrevistados. Os mais novos na profissão demonstraram interesse maior por temas mais presentes nas universidades hoje do que algumas décadas atrás: geologia e morfologia dos sítios, drenagem, permeabilidade, materiais locais etc. Outra diferença foi o meio em que fazem o lançamento inicial da estrutura. Enquanto os mais velhos o fazem manualmente, sobre as pranchas impressas das plantas arquitetônicas ou em desenhos próprios, os mais jovens utilizam ferramentas digitais desde o início e trabalham diretamente a partir dos arquivos que os arquitetos proveem.

Nesse contexto, um dos entrevistados comentou que frequentemente faz correções de projetos estruturais elaborados por outros profissionais. Ele considera que a origem de muitos erros e concepções pouco eficientes está no fato de engenheiros mais jovens simplesmente confiarem nas definições do *software*, sejam gerais ou de detalhes (de armaduras, por exemplo). Por ignorância, falta de experiência ou para poupar tempo, eles se eximem de desenvolver um raciocínio espacial, estrutural e construtivo próprio.

4. USO DE SOFTWARES

A segunda parte das entrevistas abordou os *softwares* usados no trabalho dos escritórios. Perguntamos sobre suas vantagens e limitações, e sobre os recursos de modelagem, visualização e representação gráfica disponíveis e usados de fato no dia a dia do trabalho.

Todos os entrevistados fazem uso de alguma ferramenta digital. No entanto, dos *softwares* citados, alguns servem exclusivamente ao cálculo de elementos estruturais isolados e geram relatórios quantitativos, gráficos e esquemas rudimentares, sem possibilidade de modelagem estrutural. É o caso, por exemplo, dos programas PROVIGA, PROPILAR e PROLAJE desenvolvidos pela empresa ALTOQI em 1990, não mais comercializados desde 1996, mas ainda usados por um dos entrevistados. Também é o caso do MSCALC, hoje em dia usado sobretudo como aplicativo de smartphone. Ainda que essas ferramentas possam auxiliar disciplinas de cursos de arquitetura, não as abordamos aqui, porque não contribuiriam muito para uma concepção arquitetônica articulada à concepção estrutural. Um dos entrevistados usa apenas cálculos manuais e esse tipo de *software* mais básico. Nesse caso, predominam soluções estruturais simplificadas, baseadas na experiência profissional. Porém, este entrevistado terceiriza a elaboração de desenhos técnicos em programas de CAD.

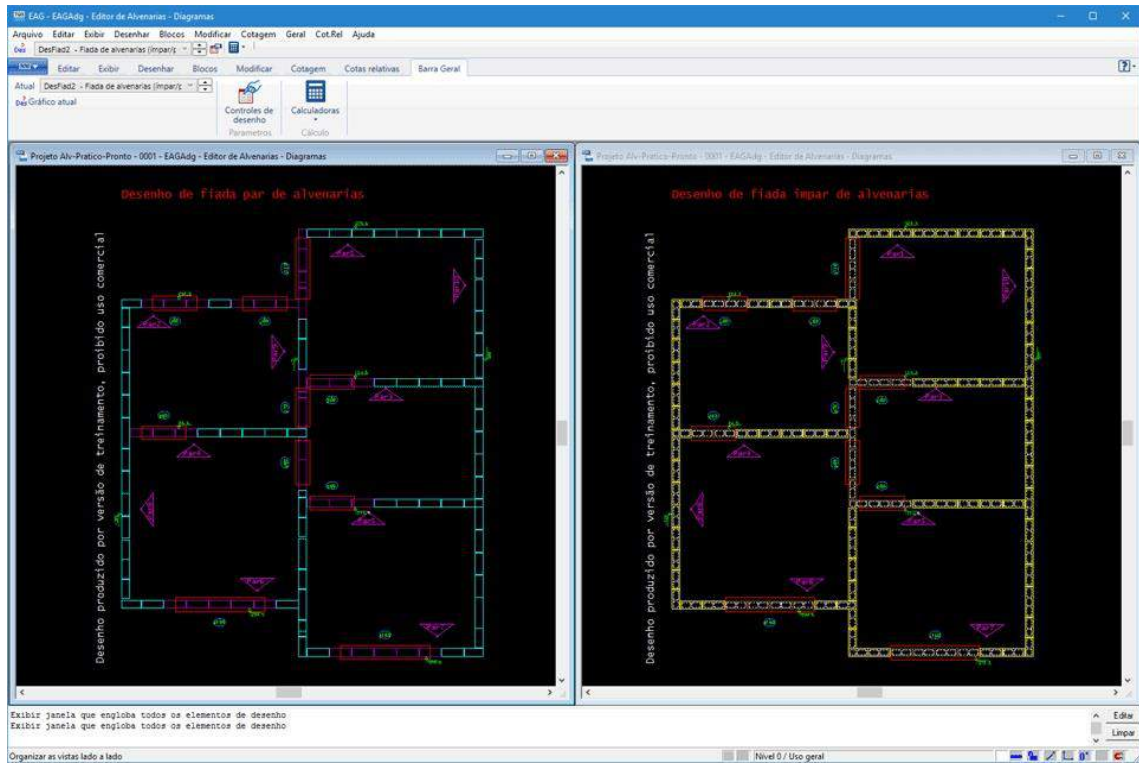
Cinco entrevistados disseram fazer uso de *softwares* de modelagem e visualização, seja pessoalmente ou por intermédio de outras pessoas do escritório: o CAD/TQS, citado pelos cinco; o SAP 2000, citado por um entrevistado; e o Tekla Structures, citado por dois deles.

Produzido desde 1986 pela TQS Informática Limitada, uma empresa brasileira, o programa CAD/TQS foi concebido para o cálculo e a análise global de estruturas de concreto armado, protendido, pré-moldado e, também, de alvenaria estrutural. Ele não é usado para estruturas metálicas. Trata-se de um *software* em que os elementos – vigas,

pilares e lajes – são desenhados num ambiente 2D, que se assemelha ao do AUTOCAD (Figura 1). Esse ambiente também permite elaborar desenhos técnicos finais, incluindo detalhamento de fôrmas e armaduras.

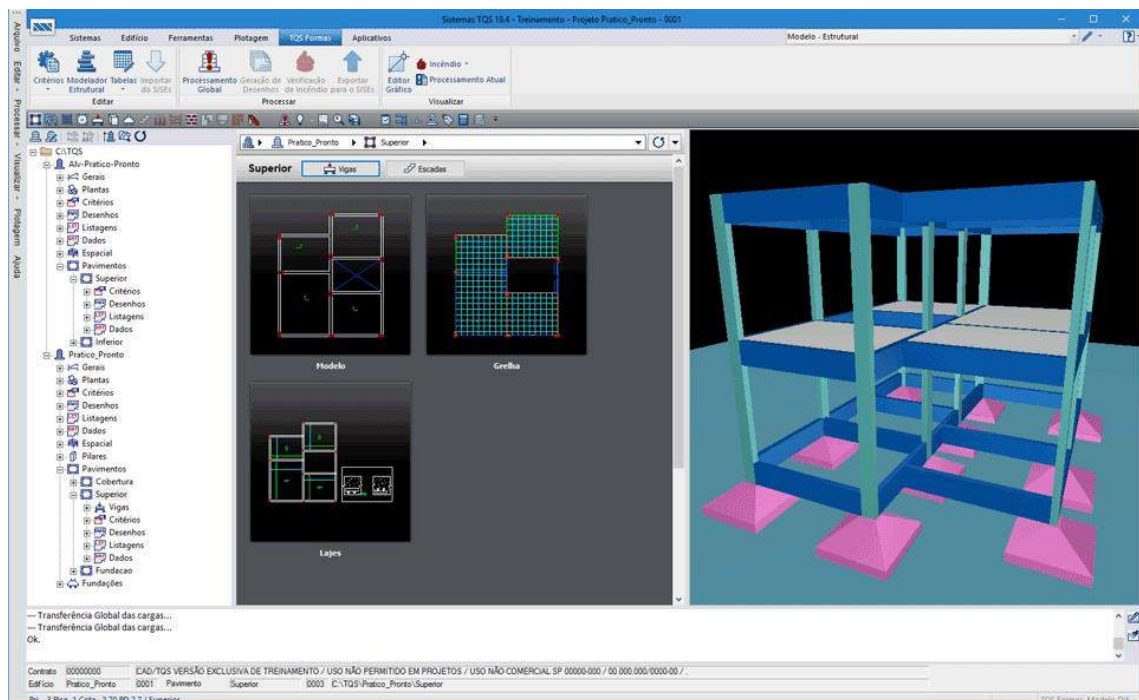
Figura 1 – CAD/TQS: Ambiente de desenho 2D.

909



Fonte: TQS, 2017.

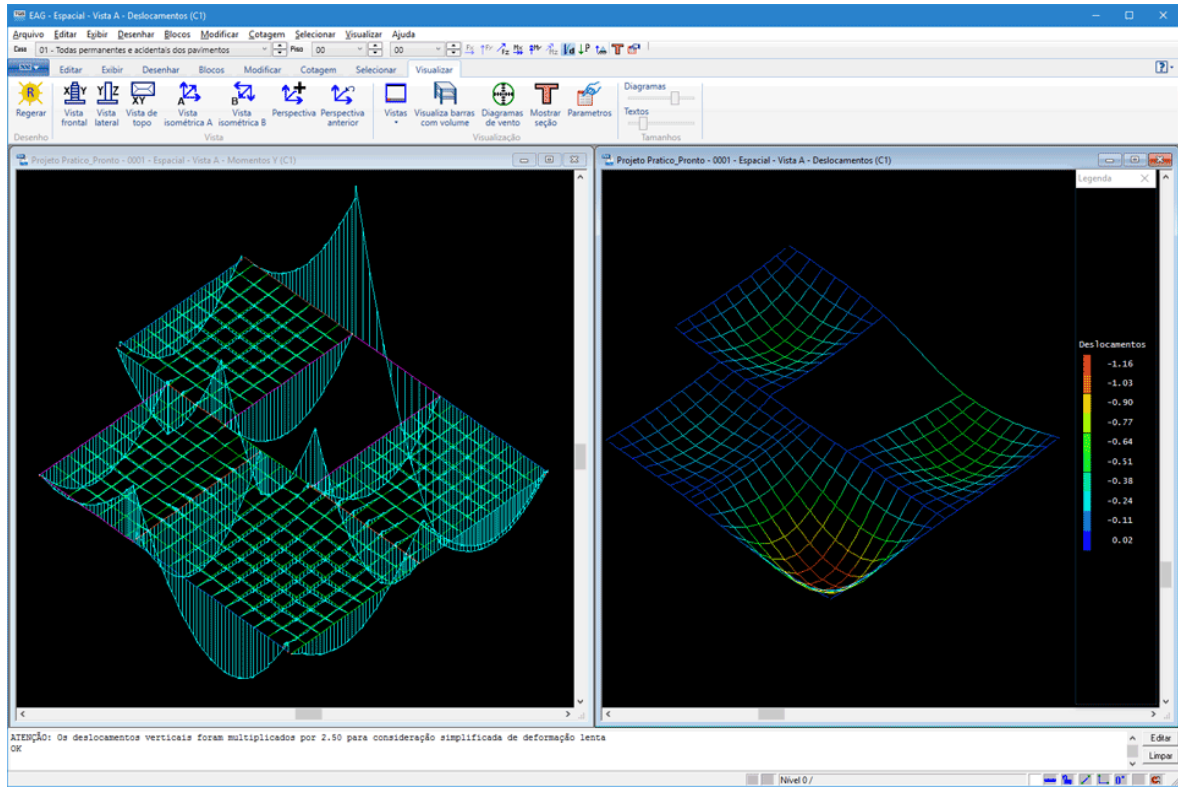
Figura 2 – CAD/TQS: Modelo realístico apenas para visualização.



Fonte: TQS, 2017.

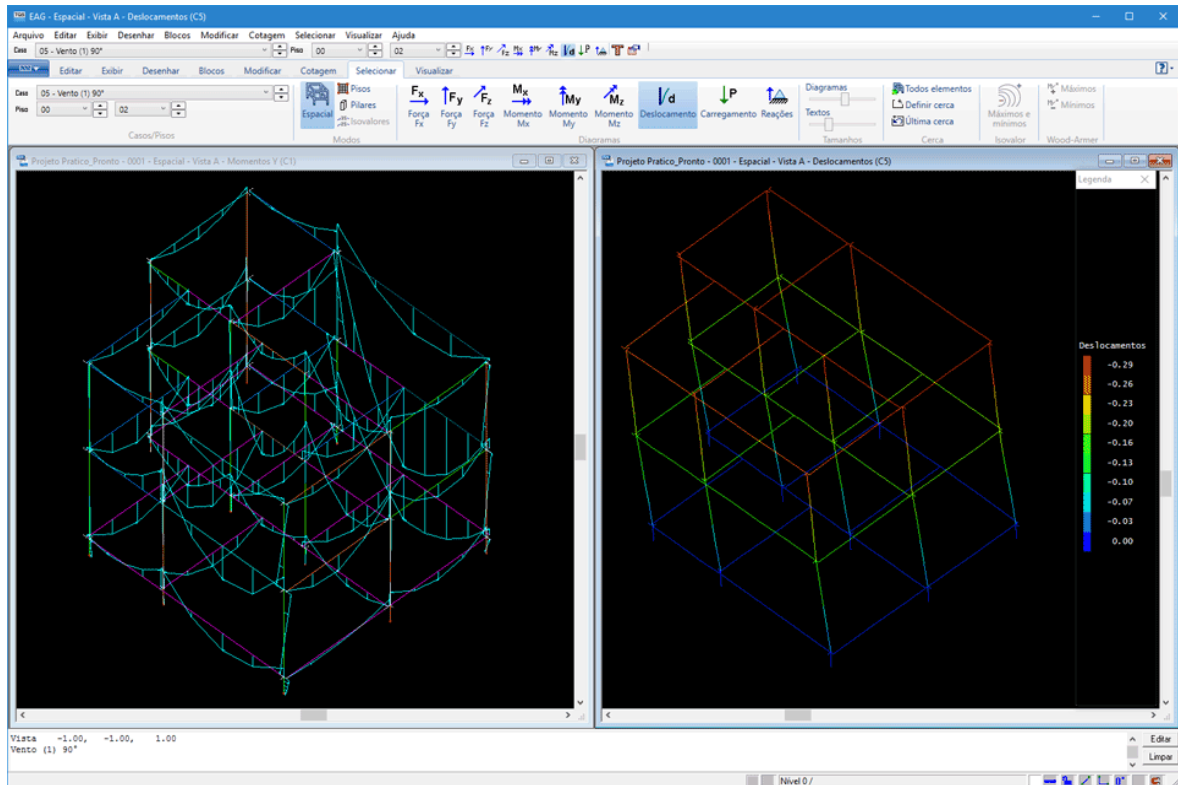
Figura 3 – CAD/TQS: Modelo de barras para análise estrutural de uma laje.

910



Fonte: TQS, 2017.

Figura 4 – CAD/TQS: Modelo de barras para análise estrutural global.



Fonte: TQS, 2017.

Já a conformação espacial é determinada por valores numéricos. O usuário configura tais valores, mas não interfere diretamente nos modelos que o programa gera para a visualização (Figuras 2, 3, 4). Quando se muda um valor, a atualização no modelo não é automática. Além disso, os elementos são sempre extrudados ortogonalmente; não há, por exemplo, possibilidade de modelar um pilar de seção variável.

Os entrevistados consideram o TQS mais eficiente do que outros programas para a análise global da estabilidade da edificação, particularmente em estruturas de médio e grande porte. Isso porque o programa permite incluir efeitos externos, ações e cargas acidentais com relativa facilidade.

Todos disseram que usam o TQS partindo do projeto arquitetônico: dispõem as plantas arquitetônicas como pano de fundo da área de trabalho 2D, de modo que servem de base para o desenho plano dos elementos estruturais. Então inserem os valores numéricos para definir alturas e outras características desses elementos, bem como sobrecargas e demais efeitos externos. Como já dito, o programa gera automaticamente os modelos com esses dados.

Três dos entrevistados (F, N, L) disseram usar a visualização do modelo realístico junto com o desenho 2D e a inserção dos valores, para avaliar, continuamente, o resultado espacial. Os outros dois não usam a visualização paralelamente, mas apenas para uma checagem final ou para eventuais apresentações a arquitetos e clientes. Os entrevistados também observaram que são vantagens do programa a geração de memórias de cálculo, quantitativos de materiais e desenhos técnicos finais (não perfeitos, mas editáveis).

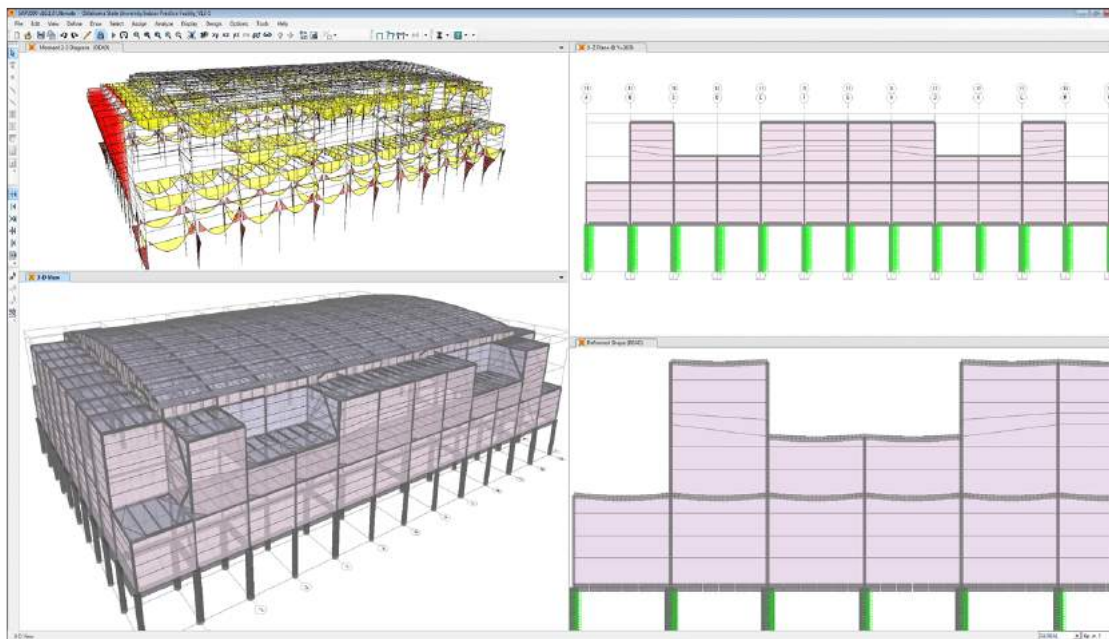
Uma das razões para a preferência pelo TQS é, certamente, o preço. Comparado com os demais *softwares* citados, ele é relativamente acessível. Ainda assim, não é uma ferramenta que qualquer pequeno escritório poderia ter. Notamos que a atualização, o *upgrade* de uma versão para outra ou a aquisição de funcionalidades adicionais (*plug-ins*) dependem do tipo de projeto que um escritório realiza e de uma avaliação custo-benefício. Um dos entrevistados disse que, para as estruturas que projeta, a versão básica mais antiga é suficiente.

A empresa que desenvolve o TQS afirma que suas versões mais recentes seriam compatíveis com a plataforma BIM. No entanto, todos os entrevistados disseram, categoricamente, que a exportação dos arquivos do TQS para o formato IFC, pressuposto da compatibilidade no BIM, não funciona bem. Por isso, um desenvolvedor externo comercializa um *plug-in* apenas com essa função, que, no entanto, nem todos os escritórios adquirem.

Pode-se dizer, portanto, que nem o desenvolvimento do programa TQS, nem o uso que se faz dele nos escritórios priorizam o compartilhamento com profissionais de outras áreas; o que se aplica, também, à possibilidade de uma concepção estrutural integrada à arquitetura.

Na pequena amostra de entrevistas que realizamos, o TQS foi absolutamente predominante. O entrevistado L mencionou que usa também o programa Tekla Structures, mas não deu nenhuma informação adicional a respeito. Nesse sentido, foi atípica a entrevista com F, que, além de profissional atuante no mercado é também doutorando e professor em cursos de engenharia e de arquitetura. Ele é o único que utiliza prioritariamente os programas SAP 2000 e Tekla Structures, trabalhando com projetos de instalações industriais em estruturas metálicas e de concreto.

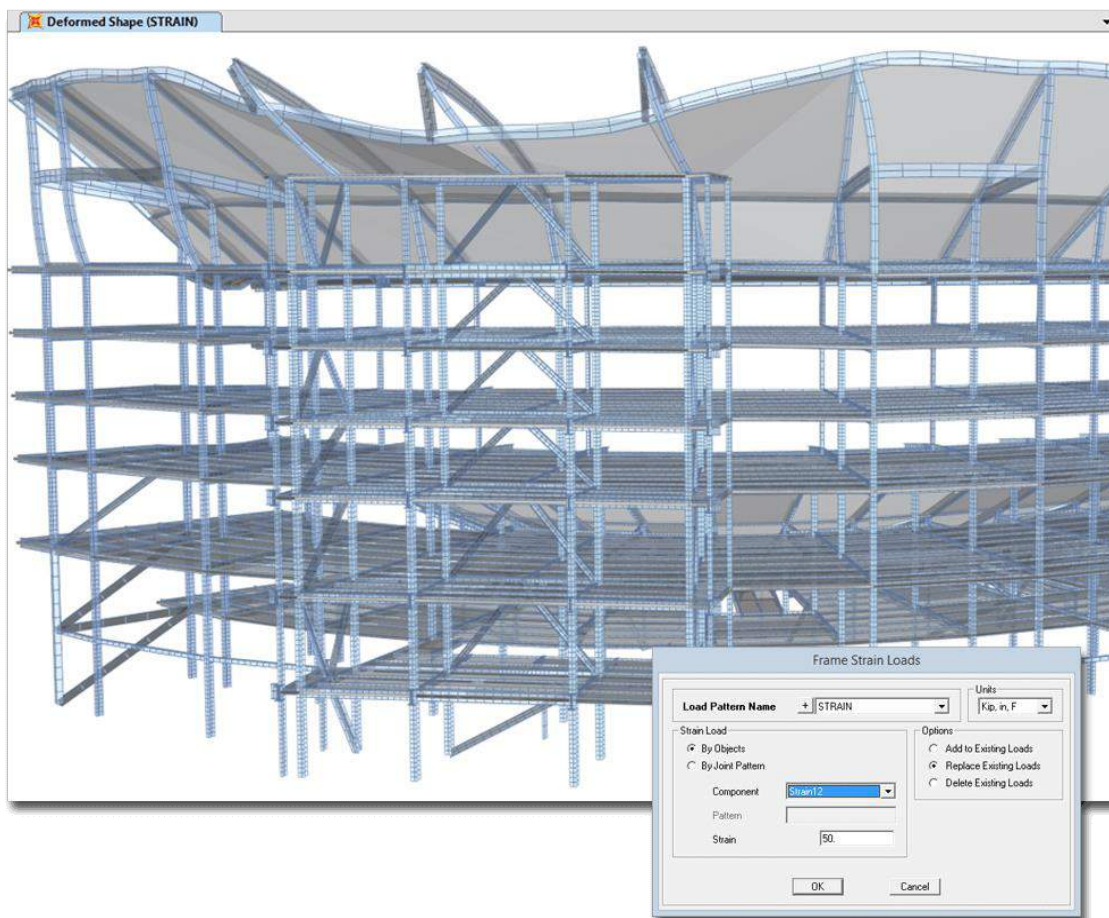
Figura 5 – SAP 2000: modelagem e análise simultâneas em ambientes 2D e 3D.



912

Fonte: CSI Portugal, 2017.

Figura 6 – SAP 2000: modelo 3D com deformações.

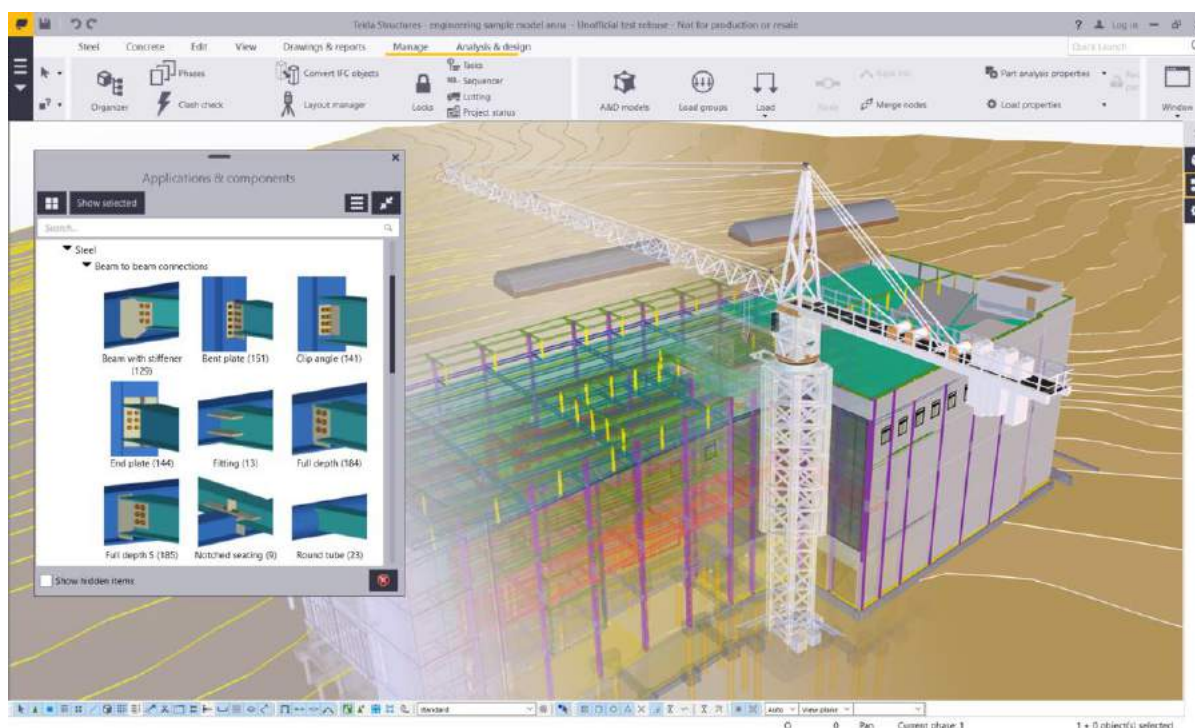


Fonte: CSI Portugal, 2017.

O programa SAP 2000 é produzido pela *Computers and Structures Incorporated (CSI)*, sediada na Califórnia (EUA). Ele foi concebido para realizar modelagem, análise e dimensionamento de estruturas de forma integrada, nos mais diversos sistemas e materiais. Assim como o TQS, o SAP realiza cálculos e análises pelo método dos elementos finitos (MEF), que consiste na resolução de um problema complexo por “discretização”, isto é, subdivisão da geometria submetida a carregamentos e restrições num número limitado de pequenas partes, que representam o domínio contínuo do problema. As funções e interfaces do SAP se assemelham às do TQS. No entanto, ele permite a modelagem e a análise de estruturas geometricamente mais complexas. A modelagem das estruturas também se faz a partir de desenhos 2D e valores numéricos que então definem o modelo (Figura 5), mas o ambiente de visualização dos modelos é, também, um ambiente de edição. Pode-se selecionar um elemento no modelo para alterá-lo e qualquer alteração é apresentada em tempo real. Outro ponto importante é que a análise estrutural do SAP fornece demonstração de deformações no modelo realístico (Figura 6).

O programa Tekla Structures é produzido desde 1996 pela Trimble Incorporated, também sediada na Califórnia (EUA). A modelagem é feita no próprio ambiente 3D e os modelos são totalmente editáveis, à semelhança do SketchUp (Figura 7). Além disso, há mais recursos de detalhamento desses modelos.

Figura 7 – Tekla Structures: Modelo com detalhes construtivos.



Fonte: Tekla, 2017.

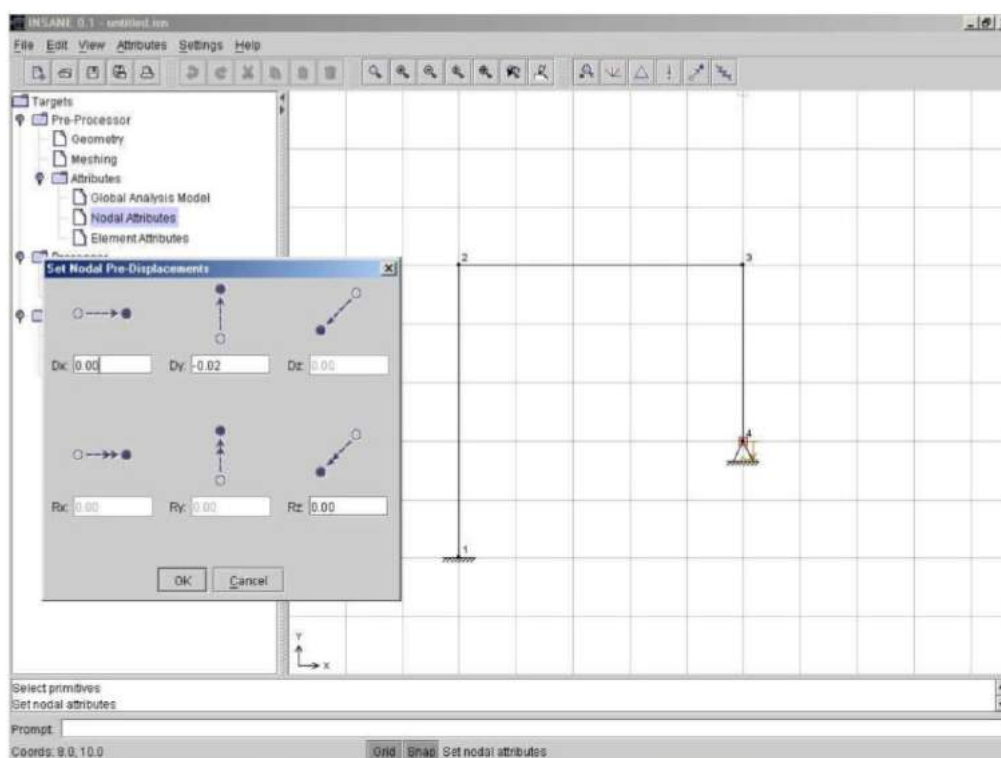
O entrevistado F utiliza os dois programas paralelamente: o SAP para a análise e o cálculo estruturais, e o Tekla para o detalhamento construtivo e o compartilhamento na plataforma BIM. Os dois programas interagem bem. O SAP exporta um tipo de arquivo que o Tekla lê sem problemas. No entanto, esse entrevistado também prefere usar o TQS para fundações,

contenções e alguns casos de estruturas de concreto armado, pela facilidade de extração de pranchas de desenhos técnicos finais e quantitativos de materiais.

O entrevistado F também nos apresentou o chamado *Interactive Structural Analysis Environment* (INSANE). Trata-se de um *software* livre de análise estrutural pelo método dos elementos finitos, com o objetivo específico de apoiar disciplinas na graduação em engenharia, oferecendo aos estudantes um ambiente interativo de experimentação de efeitos estruturais. O *Laboratório de Software Livre* do Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG desenvolve o INSANE desde 2002 e ele vem sendo aplicado em aulas desde 2005.

O usuário começa pela definição da geometria e dos elementos finitos e configura as restrições estruturais: forças atuantes, deslocamentos prescritos, apoios, cargas distribuídas e concentradas, deformações prévias e variação de temperatura. Com esses dados, o programa faz o processamento (Figura 8). As funcionalidades pós-processamento são a visualização de relatórios de cálculo, esquema de deformações, diagramas de momentos, reações, esforço cortante etc. (Figura 9).

Figura 8 – INSANE 0.1: Definição da geometria.

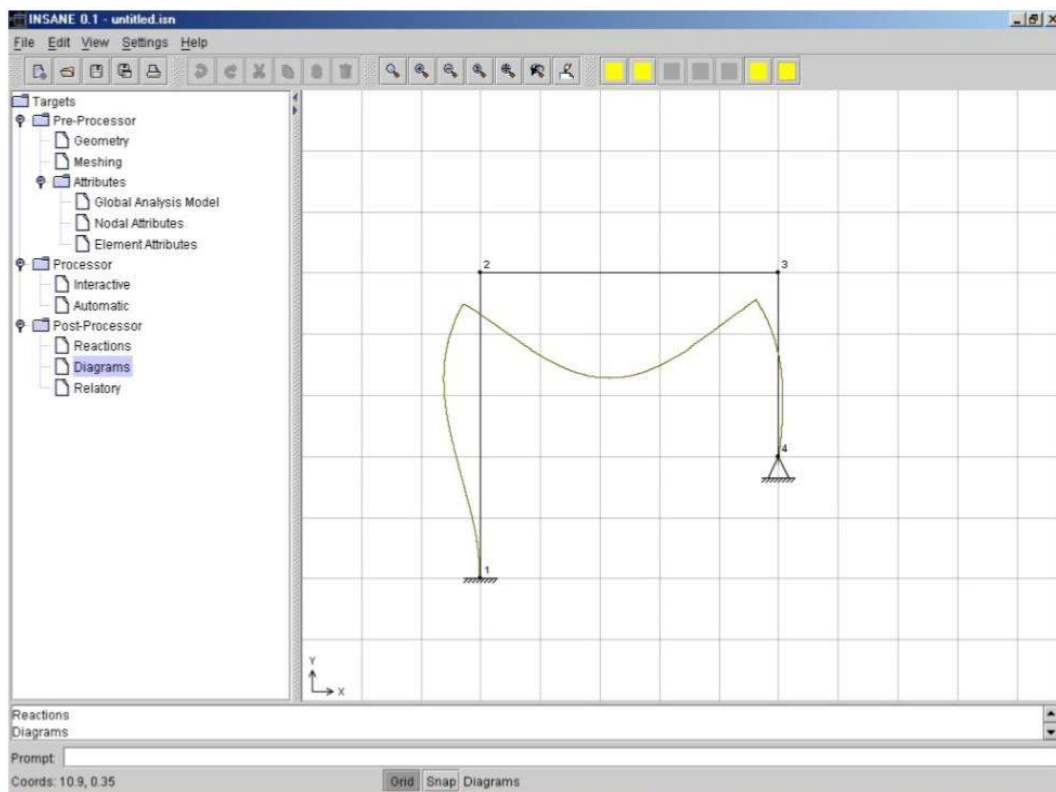


Fonte: Fonseca e Pitangueira (2004, p. 12).

A primeira versão do programa oferece somente esquemas de barras, isto é, a mesma representação gráfica abstrata usada tradicionalmente nas disciplinas de análise estrutural, seja na graduação em engenharia ou arquitetura. A partir de 2007, o Laboratório de Software Livre desenvolve a segunda versão do programa, que se aproxima mais dos que vimos nos escritórios de engenharia visitados. A principal evolução está na possibilidade de geração de modelos (não realísticos, mas de barras) que ajudam na compreensão das relações e deformações espaciais (Figuras 10).

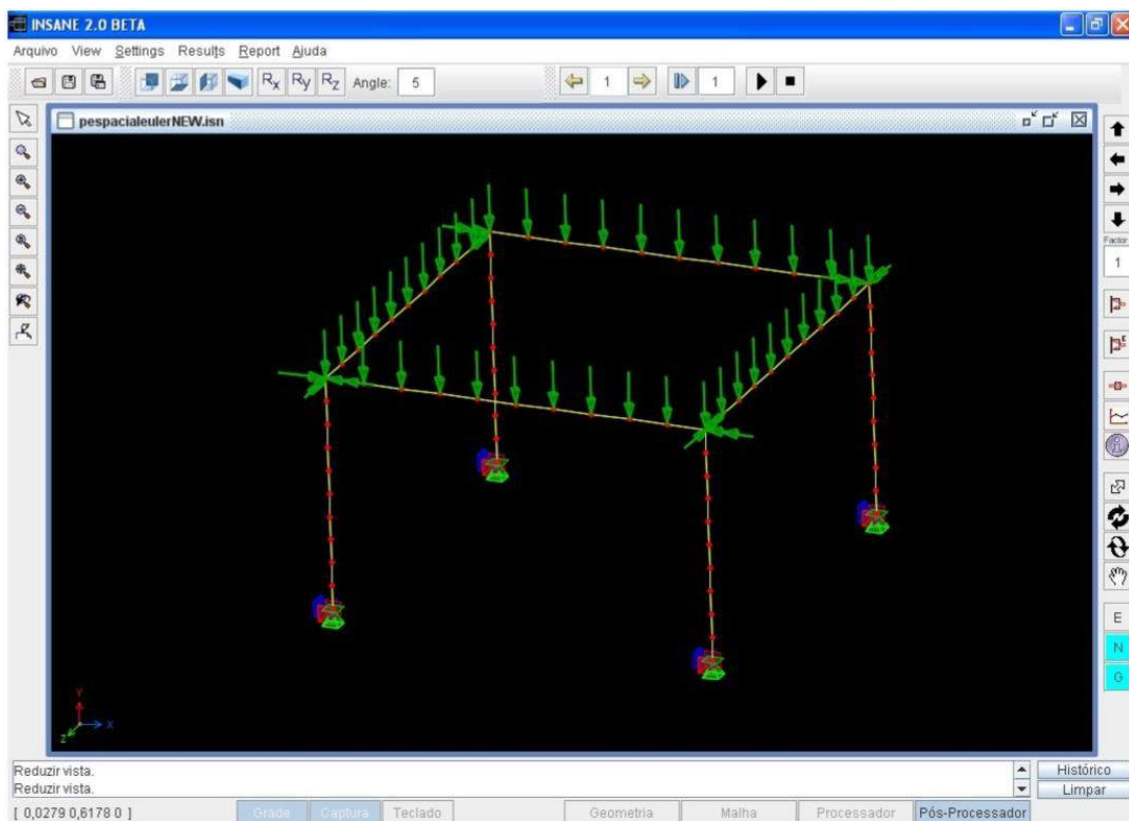
Figura 9 – INSANE 0.1: Visualização de deformações

915



Fonte: Fonseca e Pitangueira (2004, p. 14).

Figura 10 – INSANE 2.0: Modelo de barras



Fonte: Pitangueira et al. (2007, p. 5).

O entrevistado, no entanto, considera que o INSANE deveria tornar os cálculos mais transparentes para os estudantes. Da maneira como o programa está hoje, apenas se veem os resultados, sem acesso ao processamento em si.

5. APONTAMENTOS

916

As entrevistas e observações realizadas, embora não sejam uma amostra representativa, permitem apontar algumas conclusões preliminares que podem embasar futuras investigações. Elas mostram que os entrevistados que trabalham com projetos não convencionais de fato exploram visualização e modelagem digitais na análise estrutural, na discussão com arquitetos e na integração dos requisitos técnicos e econômicos nos projetos. Por outro lado, os entrevistados que trabalham sobretudo para a indústria comum da construção usam ferramentas 3D mais para apresentar do que para criar soluções. A pesquisa indica também que é comum fragmentar formas arquitetônicas complexas em elementos simples, mais fáceis de calcular, mesmo que sejam estruturalmente menos eficientes. Reuniões com arquitetos, discussões sobre concepções estruturais e cálculos extravagantes tendem a ser vistos como perda de tempo.

Nesse sentido, o ensino de estruturas nas escolas de arquitetura condiz com a prática profissional comum, não quanto às ferramentas usadas, mas quanto ao papel atribuído ao arquiteto. O conhecimento apenas superficial do tema por parte desses profissionais preserva de críticas e questionamentos às incumbências dos engenheiros.

Também a relativa negligência de desenvolvedores de *softwares* e dos próprios profissionais quanto ao compartilhamento de informações durante o processo de elaboração dos projetos (via BIM) indica que uma interação mais estreita ou mesmo a interdisciplinaridade não são interesses prementes, ainda que nenhum dos entrevistados tenha negado sua importância explicitamente.

Situações como o exemplo do pilar em "V" indicam que há falhas no ensino de ambas as áreas. Aos engenheiros falta disposição e conhecimento para trabalhar com concepções estruturais de alguma complexidade espacial e, como diz Yopanan Rebello (SARAMAGO, 2011, p. 219), um repertório mais amplo de possibilidades estruturais. À exceção de projetos muito vultuosos, todas as situações tendem a ser enquadradas nos sistemas rotineiros de vigas, pilares e lajes ortogonais. Os arquitetos, por sua vez, convivem com aulas que não chegam nem à elucidação das possibilidades estruturais e do funcionamento físico das estruturas.

Por outro lado, o ensino poderia incorporar possibilidades de modelagem e visualização com alguma facilidade, porque elas são efetivamente usadas nos escritórios. Acreditamos que os *softwares*, ainda que com certas ressalvas, deveriam apoiar não somente aulas de engenharia de estruturas, mas principalmente aulas de projeto, uma vez que aliados a esse exercício seriam de mais fácil assimilação. Além de possibilitarem a visualização realística das estruturas propostas e a análise do seu funcionamento mecânico, promoveriam uma aproximação entre ensino e prática profissional.

AGRADECIMENTOS

Aos engenheiros que nos concederam entrevistas e acesso a seus escritórios.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES) e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro e pelas bolsas que possibilitaram as pesquisas de que resultou o presente trabalho.

917

REFERÊNCIAS

FONSECA, F. T.; PITANGUEIRA, R. S. Um programa gráfico interativo para modelos estruturais de barras. 2004. In: Congresso Ibero-Latino-Americano de Métodos Computacionais em Engenharia, 15., Recife. **Anais do XXV Congresso Ibero-Latino-Americano de Métodos Computacionais em Engenharia**. Recife: UFPE, 2004.

PITANGUEIRA, R. S.; FONSECA, F. T. Insane: uma plataforma para computação científica. In: Encontro de Modelagem Computacional, 10., Nova Friburgo, 2007. **Anais do X Encontro de Modelagem Computacional**, Nova Friburgo, 2007.

PITANGUEIRA, R. S.; FONSECA, F. T.; FUINA, J. S.; CAMARA, L. S.; FONSECA, M. T.; FERREIRA, R. L.; MOREIRA, R. N.; SALIBA, S. S.; PENNA, S. S. Insane - Versão 2.0. In: Congresso Ibero-Latino-Americano de Métodos Computacionais em Engenharia, 29., Maceió, 2008. **Anais do XXIX Congresso Ibero-Latino-Americano de Métodos Computacionais em Engenharia**, Maceió: UFAL, 2008.

SARAMAGO, R. C. P. **Ensino de estruturas nas escolas de Arquitetura do Brasil**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.