



## ENSINO PARA A PRÁTICA DE PROJETO DE ESTRUTURAS

**Henrique Innecco Longo** – [hlongo@civil.ee.ufrj.br](mailto:hlongo@civil.ee.ufrj.br)

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Escola de Engenharia

Rua Brigadeiro Trompowsky s/n, Centro de Tecnologia, Bloco D, sala 205, Ilha do Fundão  
21945-970 – Rio de Janeiro - RJ

***Resumo:** A finalidade desse trabalho é apresentar uma metodologia de ensino para a prática do projeto de estruturas. Os fatores que determinam a escolha da melhor solução para um projeto são explicados neste artigo. Alguns exemplos práticos são mostrados para esclarecer como deve ser feita essa escolha. O projeto da estrutura de uma edificação também é um dos assuntos importantes no ensino para a prática de projeto. Nem sempre é fácil projetar as plantas de fôrmas de uma maneira satisfatória. Para resolver essa dificuldade, está sendo proposta a elaboração de uma planta de arquitetura integrada com a planta de fôrmas. Essa planta integrada pode ser feita facilmente com o auxílio de programas de computador. Os projetos de final de curso são muito importantes para a formação dos estudantes e podem ser utilizados para que eles possam fazer uma análise comparativa entre as diversas soluções para resolver os problemas de engenharia.*

***Palavras-chave:** Ensino, Projeto, Estruturas., Engenharia*

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios do curso de Engenharia Civil é capacitar o aluno para elaborar um projeto de estruturas. Muitas tentativas já foram feitas, mas as dificuldades sempre aparecem. O aluno não consegue entender muito bem como deve ser feito o lançamento dos elementos estruturais de uma maneira satisfatória. Além disso, nem sempre é fácil escolher a melhor solução para um projeto dentre as várias possibilidades que se apresentam na prática.

Durante as aulas da disciplina Estruturas de Concreto Armado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro, pude perceber que os alunos tinham uma certa dificuldade em escolher a melhor solução para um problema de engenharia. Daí a necessidade de se discutir nas aulas os critérios que influenciam a escolha de uma solução.

Uma outra dificuldade que observei é no lançamento da estrutura de uma edificação a partir das plantas de arquitetura. Nem sempre os alunos conseguem projetar as vigas e os pilares embutidos nas paredes de maneira satisfatória.

O objetivo desse trabalho é apresentar uma metodologia de ensino para a prática de projeto de estruturas. Para melhorar a visualização do projeto, está sendo proposta uma outra maneira de lançamento da estrutura, integrando as plantas de arquitetura com as plantas de fôrmas.

## 2. FATORES QUE DETERMINAM A ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO

A escolha da melhor solução de um problema de engenharia é uma das maiores dificuldades que os alunos costumam ter durante a elaboração do projeto. De uma maneira geral, essa questão não é levada em consideração no ensino convencional. O professor costuma apresentar o assunto em sala de aula, sem maiores questionamentos. A pergunta inicial que deveria ser feita antes de se iniciar um projeto é a seguinte: *Quais os fatores que determinam a escolha da melhor solução?* Nem sempre é fácil responder a esta pergunta, tendo em vista as características da obra e as imposições da empresa construtora.

De acordo com a norma de projeto NBR-6118 (2003), as estruturas de concreto devem atender aos requisitos mínimos de qualidade durante a sua construção e ao longo de toda sua vida útil. É necessário que a solução estrutural adotada em projeto satisfaça aos requisitos de qualidade, considerando o seguinte:

- Capacidade resistente da estrutura - consiste basicamente na segurança à ruptura
- Desempenho da estrutura em serviço – está relacionado com a capacidade da estrutura de manter-se em condições plenas de utilização
- Durabilidade da estrutura - para que a construção possa resistir às influências ambientais previstas.

A qualidade da solução adotada no projeto deve ainda considerar as condições arquitetônicas, funcionais, construtivas, estruturais, integração com os demais projetos (instalações elétricas, hidráulicas, ar condicionado etc.) e econômicas.

Na prática, nem sempre é possível satisfazer a todos esses fatores. Em determinadas construções, alguns aspectos devem ser privilegiados. Por exemplo, durante a construção de uma passarela sobre uma avenida de grande movimento, a rapidez na execução da obra é importante para evitar que a circulação de veículos seja interrompida. Nesse caso, a solução de estruturas pré-moldadas deve ser a mais satisfatória.

Em outras obras, pode haver uma imposição arquitetônica. Na Barra da Tijuca no Rio de Janeiro, por exemplo, algumas edificações estão sendo construídas com lajes lisas, sem vigas. Esse tipo de estrutura está sendo feito para que o morador possa escolher a disposição dos cômodos do seu apartamento, sem que as vigas fiquem aparentes.

### 3. COMO ESCOLHER A MELHOR SOLUÇÃO PARA O PROJETO

Depois de determinarmos os fatores que influenciam a escolha, a questão principal é saber como escolher a melhor solução estrutural para o projeto. Para isso, é recomendável que se faça uma análise comparativa entre as possíveis soluções, considerando todos os fatores que influenciam na escolha. Na prática, nem sempre isso é feito pois muitas vezes o arquiteto, o engenheiro construtor ou até mesmo o cliente é que determinam a solução para o projeto. Em alguns casos, a solução adotada não satisfaz aos requisitos mínimos de qualidade.

No entanto, com o auxílio do computador, a análise comparativa de soluções se tornou bem mais fácil, tendo em vista que todos os cálculos são feitos de uma maneira bem mais rápida e precisa.

Por exemplo, a Figura 1 está mostrando um piso usual de uma edificação de concreto armado constituído por lajes maciças apoiadas em vigas. A estrutura desse piso também poderia ser de laje lisa (laje cogumelo) apoiada diretamente em pilares, conforme mostrado na Figura 2. Seria possível também projetar lajes nervuradas e até mesmo lajes pré-moldadas neste piso. O cálculo desses sistemas estruturais poderia ser feita através de um programa de computador sem grandes dificuldades, mesmo se o piso tivesse uma geometria mais complicada. A análise comparativa iria determinar a melhor solução para esse projeto.

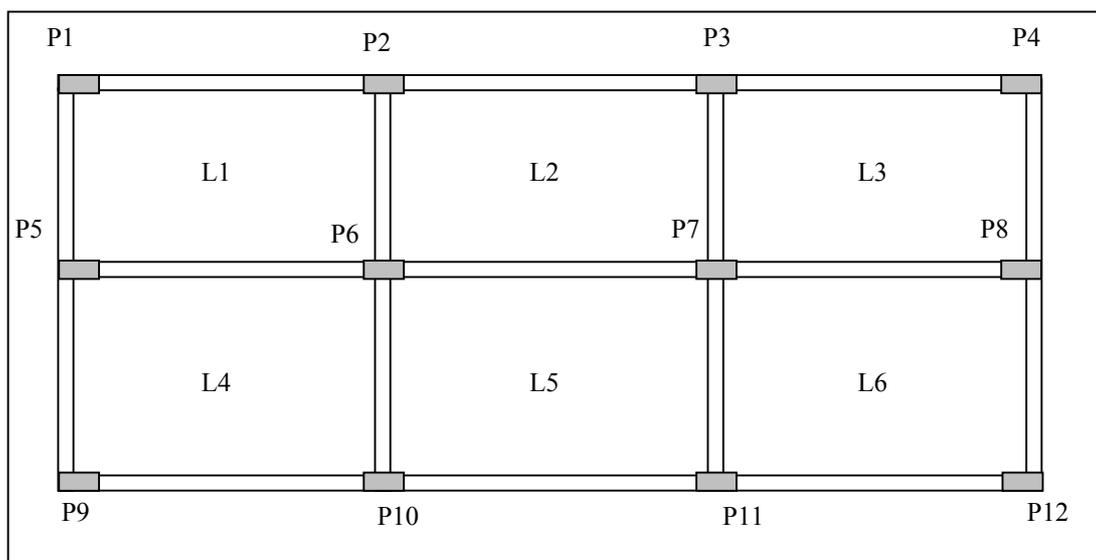


Figura 1 – Piso com lajes maciças e vigas

Durante as aulas de projeto, algumas perguntas podem ser feitas pelo professor para que os alunos possam refletir melhor sobre esse assunto:

*Quais os parâmetros que influenciam a escolha da melhor solução estrutural para esse piso?*

*A melhor solução sempre vai estar relacionada ao menor custo?*

*A localização da obra pode influenciar a escolha?*

*Como avaliar o custo da mão-de-obra para cada uma dessas soluções?*

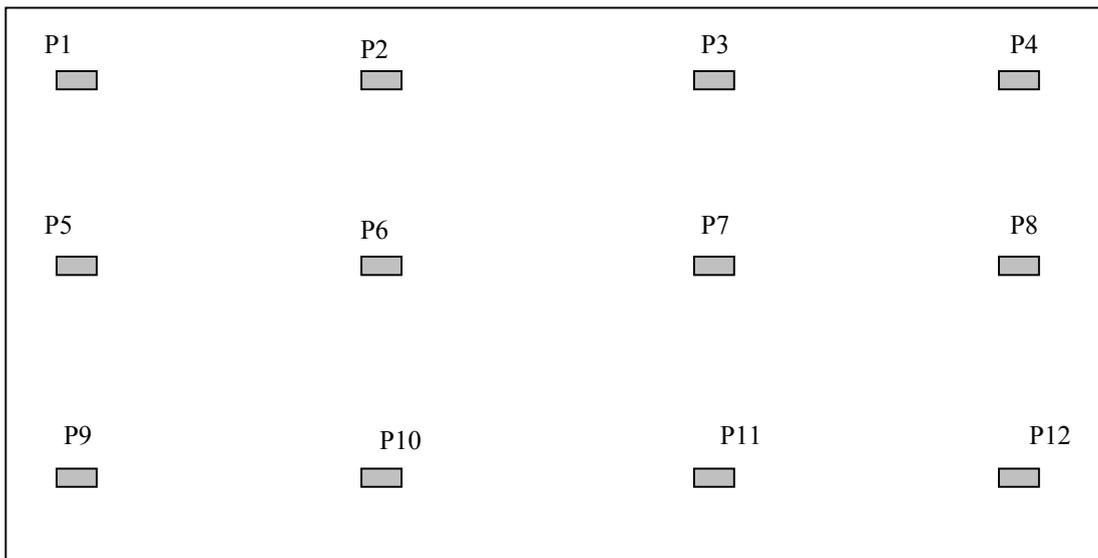


Figura 2 – Piso com laje lisa (laje cogumelo) apoiada diretamente em pilares

Durante as aulas, o professor pode também propor que os seus alunos avaliem a melhor solução para outros tipos de sistemas estruturais. A Figura 3, por exemplo, está mostrando duas possibilidades para a estrutura de uma escada de edifício. Na primeira opção, a escada está apoiada em vigas, situadas no contorno e na segunda opção a escada está apoiada apenas nas vigas V1 e V2.

*Qual a melhor estrutura para essa escada, considerando o custo e o aspecto construtivo?*

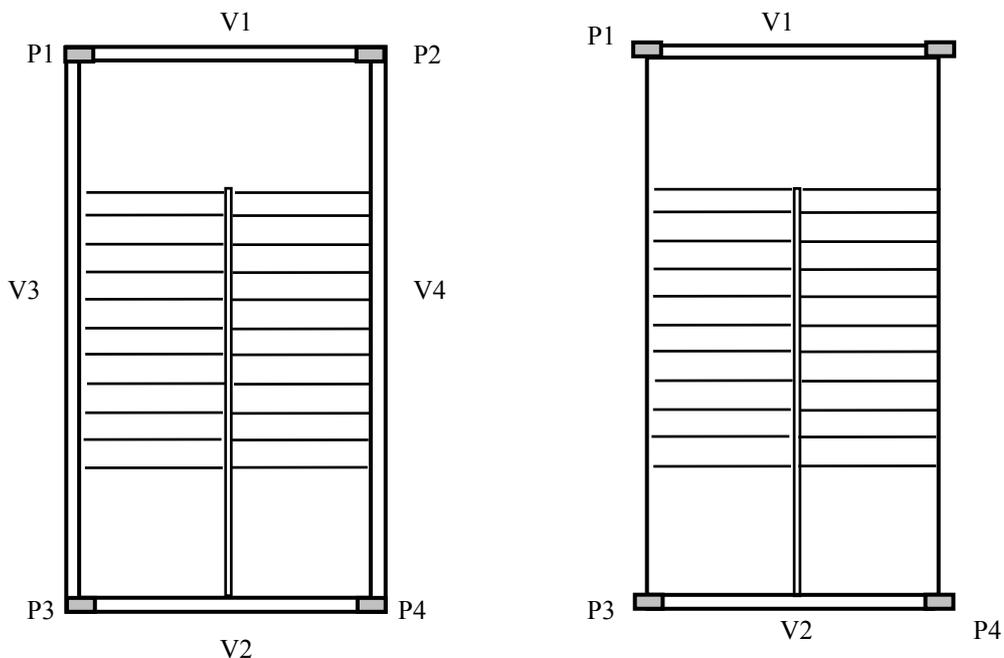


Figura 3 – Sistemas estruturais possíveis para uma escada usual de edifício

#### 4. LANÇAMENTO DA ESTRUTURA DE UMA EDIFICAÇÃO

O lançamento da estrutura de uma edificação consiste em definir as posições dos elementos estruturais, tais como lajes, vigas e pilares na planta de fôrmas do pavimento. Este lançamento representa uma das etapas mais importantes do projeto, exigindo do engenheiro muita experiência e conhecimento. A concepção estrutural mais adequada deve atender a segurança, economia (custo e durabilidade) e ao aspecto arquitetônico (estética e funcionalidade). Um lançamento bem feito irá facilitar os cálculos, simplificar a execução e reduzir os custos da construção. Por outro lado, um lançamento mal feito poderá comprometer a construção, trazer grandes dificuldades no cálculo estrutural e até mesmo prejuízos financeiros.

LONGO (2003) apresentou critérios para o lançamento das vigas, lajes e pilares em uma estrutura de edificação. Na prática, o lançamento da estrutura de cada pavimento pode ser feito em papel transparente colocado sobre as plantas de arquitetura. Se o aluno estiver utilizando um programa gráfico, esse lançamento é feito na própria tela do computador. Nesse caso, os diversos pavimentos podem ser também desenhados sobre as plantas de arquitetura. Desta maneira, o estudante poderá ter uma visão melhor do posicionamento das vigas e das interferências dos pilares em todos os níveis da edificação.

A Figura 4 está mostrando um trecho de uma planta de arquitetura de um pavimento tipo de uma edificação em concreto armado. A partir dessa planta, o estudante vai lançar a planta de fôrmas da estrutura.

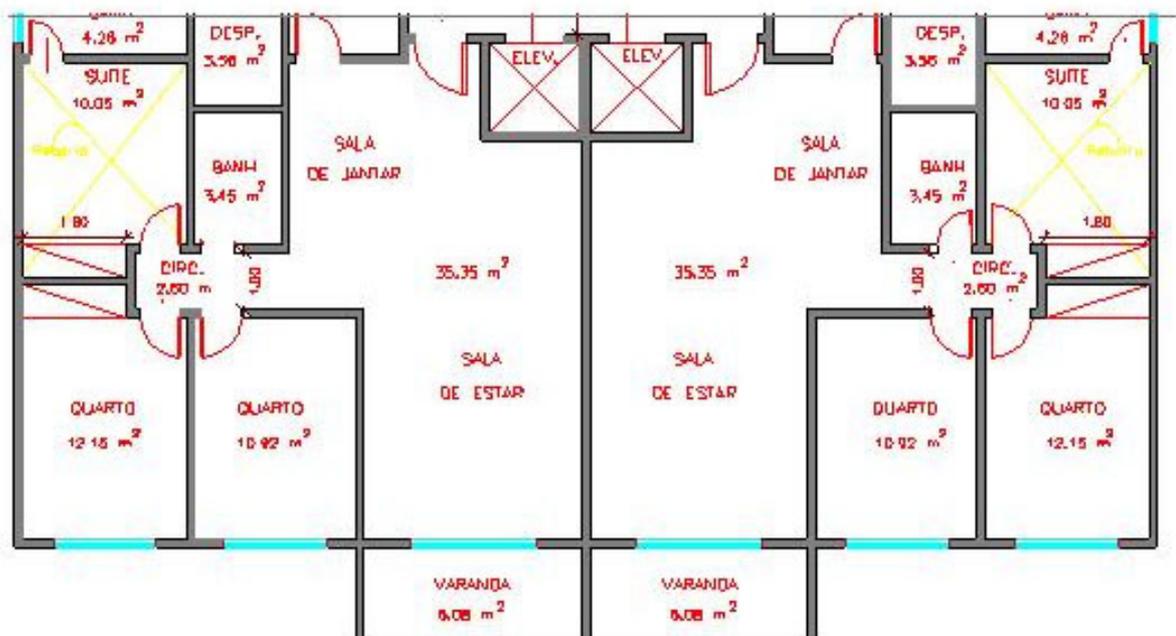


Figura 4 – Trecho de uma planta de arquitetura de um pavimento tipo

A Figura 5 está mostrando um trecho da planta de fôrmas correspondente a planta de arquitetura anterior. Nesta planta, podemos observar que não é possível avaliar se as vigas e os pilares lançados estão ou não aparentes. Para isso, seria necessário verificar os arquivos no computador ou então ter em mãos as plantas de arquitetura e as plantas de fôrmas, desenhadas em papel transparente.

Na prática, esse problema pode acontecer, tendo em vista que nem sempre é fácil posicionar as vigas e os pilares de uma maneira satisfatória. Por exemplo, quando as vigas ficam aparentes na sala ou em algum outro cômodo do apartamento, é necessário fazer o rebaixamento do teto para evitar que as vigas fiquem visíveis. A situação fica mais difícil ainda quando o pilar interfere no projeto arquitetônico.

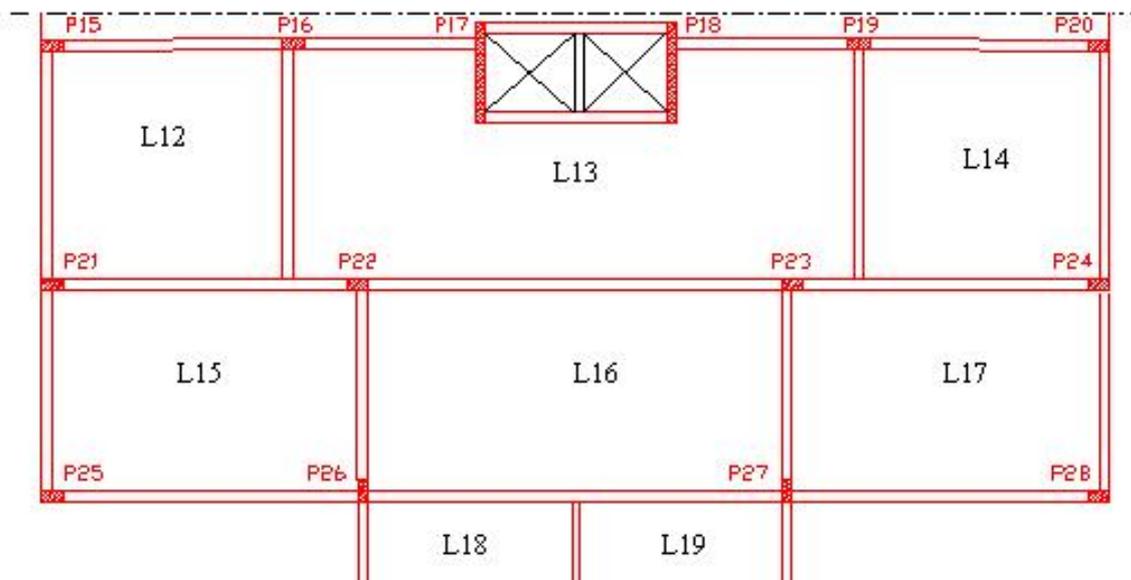


Figura 5 – Trecho de uma planta de fôrmas de um pavimento tipo

## 5. PLANTA DE ARQUITETURA INTEGRADA COM A PLANTA DE FÔRMAS

Para avaliar se o lançamento foi feito de uma maneira satisfatória, a planta de fôrmas pode ser feita junto com a planta de arquitetura. Nessa planta conjunta, as paredes de alvenaria são desenhadas em linha cheia e as vigas em linha pontilhada. Os pilares são também mostrados em linha cheia para melhor visualizar as interferências. Dessa maneira, é possível evitar que as vigas e pilares fiquem mal posicionados.

Essa planta de arquitetura integrada com a planta de fôrmas pode ser feita facilmente com programas de computador que utilizem a opção das camadas (*layers*) na elaboração dos desenhos. Assim sendo, o desenho da planta de arquitetura é desenhado em uma determinada camada e a planta de fôrmas em outra camada. Se o computador não for utilizado, não seria muito viável desenhar essa planta, pois iria acarretar na elaboração de mais um desenho trabalhoso.

A Figura 6 está mostrando a planta integrada para o exemplo anterior. Nesta planta, podemos observar que os pilares estão bem posicionados, mas existe uma viga aparente cruzando a sala, conforme mostrado no detalhe da Figura 7.

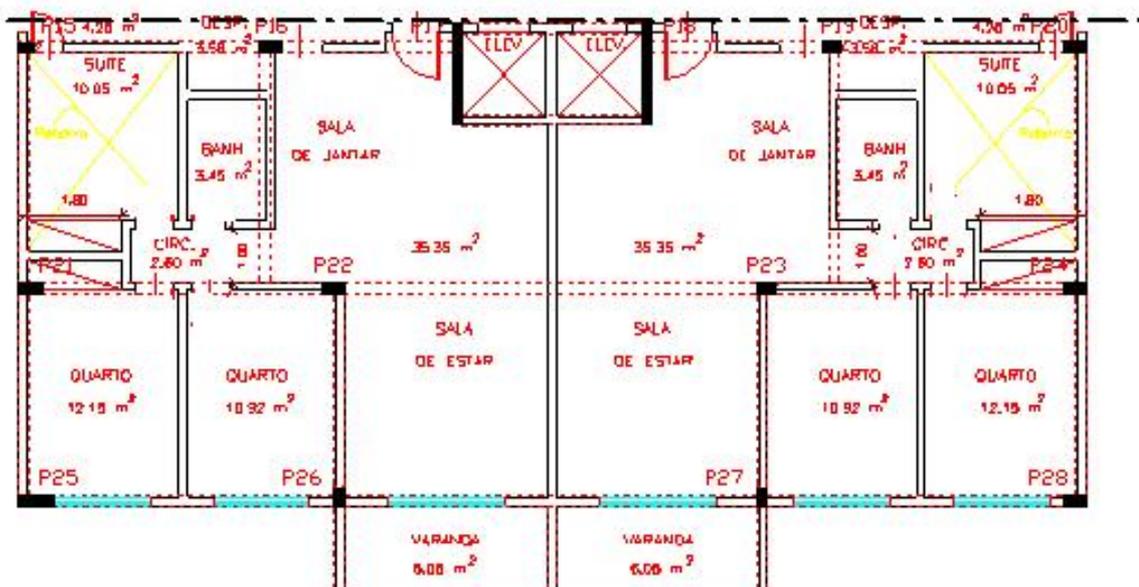


Figura 6 – Planta de arquitetura integrada com a planta de fôrmas

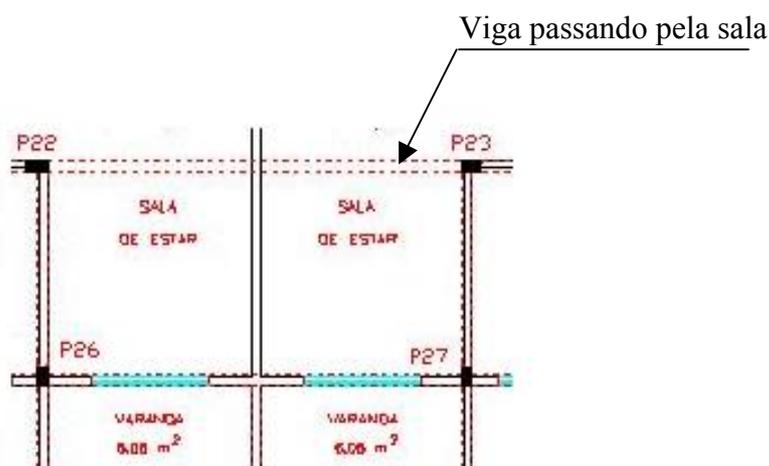


Figura 7 – Detalhe da planta mostrando a viga aparente passando pela sala

Essa idéia de desenhar a planta integrada surgiu durante os projetos elaborados pelos alunos da disciplina Estruturas de Concreto Armado para o Curso de Engenharia Civil da UFRJ. Durante as aulas práticas de projeto, alguns alunos costumavam desenhar o esquema da planta de fôrmas do pavimento tipo no mesmo papel da planta de arquitetura, sem que pudessem verificar as interferências dos pilares nos pavimentos inferiores. Essa dificuldade foi superada quando eles passaram a desenhar essa planta integrada utilizando programas de computador com o auxílio da opção das camadas (*layers*). As plantas de fôrmas de cada pavimento são feitas em uma camada diferente tomando como base a planta de arquitetura.

É importante observar que essas plantas integradas servem como um auxílio para verificação do projeto e podem ser utilizadas tanto durante os cursos com também na prática na elaboração do projeto de engenharia. As plantas de arquitetura e as plantas de fôrmas devem ser desenhadas separadamente para melhor clareza dos desenhos.

## **6. PROJETOS DE FINAL DE CURSO**

Essa metodologia nos projetos de finais de curso no Departamento de Mecânica Aplicada da Escola de Engenharia da UFRJ está sendo realizada desde 1995. Tais projetos são elaborados pelos alunos do último ano do Curso Civil da ênfase Estruturas sob orientação de um professor e são apresentados para uma banca de três professores. Esses trabalhos são muito importantes para melhorar o aprendizado dos alunos e despertar neles a busca de melhores soluções para o projeto de engenharia.

Nos últimos anos, tenho orientado alunos que realizaram interessantes estudos comparando alternativas de projetos. JARANDILLA (2002) realizou um estudo comparativo de sistemas estruturais, comparando os esforços e o custo de um piso de lajes apoiadas em vigas, lajes lisas (cogumelo), lajes nervuradas e lajes pré-moldada. NOBRE (2001) fez uma comparação entre lajes treliçadas e lajes maciças de um prédio comercial. GONÇALVES (2003) fez uma análise comparativa de custos para um projeto de edificação de pequeno porte, analisando uma estrutura com vigas metálicas e uma outra com vigas de concreto armado.

Alguns projetos também foram desenvolvidos para comparar diferentes métodos de cálculo. SANTOS (1999), por exemplo, realizou uma análise comparativa para o cálculo de lajes cogumelo, comparando os esforços obtidos pelo método simplificado proposto pela norma NBR-6118 (2003) com os esforços calculados por um programa de computador que utiliza o Método dos Elementos Finitos.

## **7. AULAS PRÁTICAS DE PROJETO**

Na disciplina Estruturas de Concreto Armado, oferecida para os alunos do 9º período do Curso de Engenharia Civil da UFRJ das ênfases Estruturas e Construção Civil, tenho dado aulas práticas de projeto com muito bons resultados. Os alunos recebem as plantas de arquitetura e a planta de situação de uma edificação. Durante a aula, é feita uma análise preliminar dessas plantas e de outros dados disponíveis. Procuro discutir com os alunos a necessidade de se ter uma noção global do projeto. Nessa fase, são analisadas as possíveis modificações no projeto a serem sugeridas ao arquiteto para facilitar o projeto estrutural. Posteriormente, os alunos fazem o lançamento inicial da estrutura, posicionando os pilares e as vigas do pavimento tipo em papel manteiga e verificando as interferências dos pilares nos outros pavimentos. Esse lançamento inicial da planta de fôrmas serve como base para a elaboração do projeto que é realizado em casa utilizando um programa de computador. Nessa etapa, eles então desenham as plantas de fôrmas integradas com as plantas de arquitetura.

## **8. CONCLUSÕES**

Durante a fase de elaboração de um projeto, é importante levar em consideração os fatores que influenciam a solução de um problema de engenharia. Além disso, é preciso também fazer um estudo comparativo entre as possíveis soluções para garantir a qualidade do projeto e da construção.

Os projetos de final de curso têm sido um importante meio para que os alunos desenvolvam capacidade crítica para a definição da escolha da melhor solução. Interessantes projetos estão sendo desenvolvidos pelos alunos da ênfase de Estruturas do Curso de Engenharia Civil da UFRJ. As aulas práticas também são fundamentais para que os alunos possam adquirir experiência necessária para a elaboração de um projeto de engenharia. No projeto de uma edificação, a planta de arquitetura integrada com a planta de fôrmas se constitui em uma ótima maneira de avaliar se o lançamento das vigas, lajes e pilares foi feito de uma maneira satisfatória.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LONGO, H.I. - **Projeto de Estruturas de Edificações de Concreto Armado de acordo com a Norma NBR-6118 (2003)**, 2003, apostila, Escola de Engenharia da UFRJ.

GONÇALVES, L.R.G.L. - **Análise Comparativa de Custos do Projeto de uma Edificação de Pequeno Porte**, 2003, Projeto Final de Curso, Escola de Engenharia da UFRJ.

JARANDILLA, F.L. - **Estudo Comparativo de Sistemas Estruturais**, 2002, Projeto Final de Curso, Escola de Engenharia da UFRJ.

NOBRE, P.A .F. - **Lajes Treliçadas – Estudo Comparativo com Lajes Maciças**, 2001, Projeto Final de Curso, Escola de Engenharia da UFRJ.

NORMA NBR-6118 - **Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**, 2003, Associação Brasileira de Normas Técnicas

SANTOS, D. E. - **Análise Comparativa de Métodos de Cálculo de Lajes Cogumelo**, 1999, Projeto Final de Curso, Escola de Engenharia da UFRJ.

## EDUCATION FOR THE PRACTICAL STRUCTURES DESIGN

**Abstract:** *The scope of this work is to present a education method for the structures design. The elements which determine the best choice to the design are explained in this article. Some practical examples are shown to explain how this choice should be done. The design of building structure plant also is one of the important subjects in the civil engineering structures. It is not easy to project form plants in a satisfactory manner. To solve this problem, we can draw an architectural plant integrated with the form plants. This plant can be easily drawn with a computer program. The final course projects are very important to the students and can be used in order to do a comparative analyses among many solutions for the engineering problems.*

**Key-words:** *Education, Design, Structures, Enginnering*