



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LARISSA FIRMINO SUASSUNA

RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS PARA CONCEPÇÃO DE PROJETOS
ESTRUTURAIS DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO

João Pessoa - PB

2017

LARISSA FIRMINO SUASSUNA

**RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS PARA CONCEPÇÃO DE PROJETOS
ESTRUTURAIS DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO**

Monografia apresentada à Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a Andrea Brasiliano Silva

Co-orientador: Prof Hidelbrando José Farkat Diógenes

João Pessoa

2017

S939r Suassuna, Larissa Firmino

Recomendações práticas para concepção de projetos estruturais de edifícios em concreto armado./ Larissa Firmino Suassuna. – João Pessoa, 2017.

50f. il.:

Orientador: Prof^a. Dr^a. Andrea Brasiliano Silva

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Projeto Estrutura 2. CAD/TQS 3. Concreto Armado 4. Isoterma
5. Modelo Índices de Consumo dos Materiais I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed. 621.81 (043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

LARISSA FIRMINO SUASSUNA

**RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS PARA CONCEPÇÃO DE PROJETOS
ESTRUTURAIS DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso em 10/11/2017 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Andrea Brasiliano Silva

Professora Andrea Brasiliano Silva
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovada

Hidelbrando José Farkat Diógenes

Professor Hidelbrando José Farkat Diógenes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADA

Enildo Tales Ferreira

Professor Enildo Tales Ferreira
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Prof^ª. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Matrícula Siape: 1668619
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso apresenta um estudo de caso de projeto estrutural informatizado através do comparativo entre concepções de distintos modelos estruturais por meio do *software* CAD/TQS® de um mesmo projeto arquitetônico, onde foi realizada a análise e comentário acerca de alguns critérios pertinentes para elaboração de um projeto de estruturas. O material adotado foi o concreto armado e na primeira versão do modelo nomeada de PROJETO I a proposta foi o desenvolvimento de um modelo baseado na manipulação de recursos mais simples e práticos. Já o outro modelo nomeado de PROJETO II, contou com a aplicação de técnicas como plastificação de elementos, redução de seções de pilares visando um refinamento estrutural que resultasse em ganho econômico para o cliente. Tais ações resultaram na diminuição dos índices de consumo dos materiais, ou seja, permitem ao construtor uma redução dos custos considerável quanto à etapa de execução do edifício.

Palavras-chave: projeto estrutural, CAD/TQS, concreto armado, índices de consumo dos materiais.

ABSTRACT

The present undergraduate thesis consists of a computerized structural project study case that compares distinct structural models of the same architectural project, all this making use of the software CAD/TQS® and addressing some relevant aspects with regard to the elaboration of a structural project. The material chosen was the Reinforced Concrete. For the first version of the model named as PROJECT I, the purpose was to develop a model based on the manipulation of the simplest and most practical resources. The second model named as PROJECT II implemented techniques such as plasticizing of elements and reduction of columns cross sections as a structural refinement to provide more economic gains to the client. Such actions resulted in the reduction of material consumption, which means less costs during the building construction.

Key-words: structural project, CAD/TQS, reinforced concrete, material consumption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Colunas e capitéis no Templo de Zeus Olímpico, Atenas, Grécia	12
Figura 02 - Arcos romanos (Coliseu).	13
Figura 03 - Esquema de uma viga biapoiada flexionada.	14
Figura 04 - Laje maciça de concreto armado.	17
Figura 05 - Esquema de uma viga de concreto armado	17
Figura 06 - Esquema de um pilar.....	18
Figura 07 - Marca da empresa fabricante do software TQS.	19
Figura 08 - Marca do software AltoQi Eberick.....	19
Figura 09 - Simbologia da etapa de Concepção Estrutural.	20
Figura 10 - Laje maciça.	22
Figura 11 - Laje nervurada.	22
Figura 12 - Esquema de lajes lisas e cogumelos.	23
Figura 13 - Simbologia da etapa de Análise Estrutural.	23
Figura 14 - Esquema representativo da Análise Linear.	24
Figura 15 - Esquema representativo da Análise Não-Linear.	25
Figura 16 - Comportamento não-linear do concreto armado.	26
Figura 17 - Simbologia da etapa de Dimensionamento e Detalhamento.	26
Figura 18 - Esquema da Planta baixa da edificação.	30
Figura 19 - Esquema da barra de plastificação.....	34
Figura 20 - Planta de Fôrma do Pavimento Tipo do PROJETO I (esquema).	36
Figura 21 - Planta de Fôrma do Pavimento Tipo do PROJETO II (esquema).	37
Figura 22 - Esquema da posição e dimensões mínimas da verga e contra verga.	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Classes de agressividade ambiental.....	46
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de agressividade ambiental	28
Tabela 2 – Dados dos pavimentos.	30
Tabela 3 – Cobrimentos.	31
Tabela 4 – Coeficientes de Arrasto.	32
Tabela 5 – Combinações	32
Tabela 6 – Parâmetros de concreto e fôrma dos tipos do PROJETO I.....	41
Tabela 7 – Parâmetros de concreto e fôrma dos tipos do PROJETO II.....	41
Tabela 8 – Parâmetros de aço dos tipos do PROJETO I.....	41
Tabela 9 – Parâmetros de aço dos tipos do PROJETO II.....	41
Tabela 10 – Dados do consumo de concreto e aço na execução das vergas.	43
Tabela 11 – Dados atualizados do consumo de concreto e aço do PROJETO I com a execução das vergas.....	43
Tabela 12 – Dados atualizados do consumo de materiais do PROJETO II.....	44
Tabela 13 – Estimativa de custo para pavimento tipo do PROJETO I.....	44
Tabela 14 – Estimativa de custo para pavimento tipo do PROJETO II.....	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO	11
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1. MATERIAL CONCRETO.....	12
3.1.1. História e evolução	12
3.1.2. Características e peças estruturais	13
3.2. CONCRETO ARMADO	14
3.2.1. Vantagens e restrições do Concreto Armado	15
3.2.2. Principais elementos estruturais	16
3.3. TECNOLOGIA NA ENGENHARIA ESTRUTURAL.....	18
3.4. PROJETO DA ESTRUTURA.....	19
3.4.1. Concepção estrutural.....	19
3.4.2. Passo a passo para a concepção estrutural	20
3.4.3. Sistema Estrutural.....	21
3.4.4. Análise Estrutural	23
3.4.5. Dimensionamento e Detalhamento Estrutural.....	26
3.4.6. Geração das Plantas	27
3.5. CRITÉRIOS DE PROJETO.....	27
3.5.1. Qualidade do projeto.....	27
3.5.2. Agressividade do ambiente	28
4. METODOLOGIA	29
4.1. DADOS DOS PROJETOS.....	29
4.1.1. Normas em uso.....	30
4.1.2. Critérios de projeto para os estudos de caso	31
4.1.3. Modelo estrutural.....	32
4.1.4. Recursos aplicados apenas no modelo estrutural do PROJETO II.....	33
5. ELEMENTOS CONSTITUINTES DO SISTEMA DE FÔRMAS	35
5.1. PILARES.....	35
5.2. VIGAS E LAJES	38
6. ÍNDICES DE CONSUMO	39
6.1. AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS	39
6.1.1. Índice de concreto.....	39
6.1.2. Índice de aço.....	39

6.1.3. Índice de fôrma.....	40
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
7.1. QUANTO AOS MATERIAIS	41
7.2. QUANTO A ESTIMATIVA DE CUSTOS DE EXECUÇÃO.....	44
7.3. QUANTO À CARGA HORÁRIA	46
8. CONCLUSÃO	47
9. REFERÊNCIAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

Em todo o mundo o concreto armado pode ser encontrado nos mais variados formatos e estilos, sendo utilizado, em rodovias, edifícios, usinas hidrelétricas e nucleares, entre outros. Em nível da construção civil o concreto armado é o material mais utilizado, e em nível geral fica atrás apenas do consumo da água. (DINIZ, 2009). No Brasil, o uso do concreto armado foi iniciado em 1907 na construção da Represa do Cabuçu localizada em Guarulhos – SP e já há alguns anos conquistou o domínio de aplicação (TOMAZ, 2006). Em se falando de edifícios, foi no estado de São Paulo no final do ano 1907 que foi construído com três pavimentos o primeiro edifício, relatado, do país (BASTOS, 2006).

Tal versatilidade deve-se a determinadas características positivas como elevada velocidade de execução, capacidade de trabalhabilidade e molde nas mais diversas fôrmas, alta resistência aos esforços após seu endurecimento quando dimensionado e detalhado corretamente, assim como apresenta boa durabilidade em presença de água (o que não acontece com o aço e a madeira), podendo apresentar um comportamento impermeável quando dosado e aplicado corretamente para tal finalidade (BASTOS, 2006).

Há também o aspecto econômico, pois assim como a mão de obra necessária, seus componentes, além de serem facilmente encontrados, exigem baixo investimento quando comparados a outros materiais utilizados na construção. Ainda sobre o concreto armado, este também apresenta bom comportamento quando exposto a incêndios, e é capaz de resistir de maneira eficiente quando exposto a choques e vibrações, apresentando menores problemas quanto à fadiga e desgaste mecânico. Outra vantagem é o abrangente e fácil acesso às informações tecnológicas, normas e procedimentos pertinentes ao concreto armado (PINHEIRO, 2010).

Também é verdade que a revolução computacional iniciada há algumas décadas modificou incontestavelmente e significativamente a forma com a qual os projetos estruturais dos edifícios de concreto armado são desenvolvidos. Objeto essencial há um tempo, hoje a régua de cálculo é exemplo e símbolo da história clássica da Engenharia de Estruturas, período este que tinha por principal discrepância com o atual o fator tempo, pois era preciso um largo período para a conclusão de um projeto estrutural (KIMURA, 2007).

A utilização de *softwares* estruturais deve-se por sua extraordinária capacidade de resolução de problemas, velocidade de processamento, assim como a sofisticação e precisão dos detalhes e desenhos das peças. Com o aumento da produtividade e dinâmica da concepção do modelo estrutural, é possível lançar e testar diferentes disposições estruturais para definir o mais funcional e econômico projeto (VERGUTZ, 2010).

Criou-se então, um novo ambiente de trabalho, onde os calculistas são convidados a modificar a maneira de aplicar seus conhecimentos conceituais de engenharia, mas que por diversas vezes o que acontece é que acabam se equivocando no uso do *software*. Em decorrência, tem-se crescido os casos de patologia nas estruturas decorrente do uso insipiente da ferramenta computacional (KIMURA, 2007).

Espera-se que uma edificação de concreto armado possua considerável vida útil, ou seja, apresente estabilidade e bom desempenho quanto ao funcionamento por um extenso período, sem exigir altos custos quanto a reparos e manutenção. Para tal, é necessário um coletivo esforço dos diversos profissionais envolvidos nas diferentes etapas do processo construtivo. Mas, no que compete aos projetistas estruturais, profissionais de destaque na temática deste trabalho, é fundamental que estejam preparados para conceberem e exporem com clareza as especificações e particularidades de projeto, assim como exigindo a execução e uso da edificação compatível com as considerações por eles adotadas para cálculo (HARB, 2001).

Para os profissionais da engenharia que atuam na área de projeto de estruturas de concreto armado, é fundamental que eles desenvolvam uma sequência lógica de procedimentos e medidas a serem tomadas durante todas as etapas da elaboração do projeto estrutural.

A escolha do sistema estrutural de um edifício, em geral, é influenciada por imposições arquitetônicas, por rotinas construtivas ou ainda pela infraestrutura da região. Mesmo assim o engenheiro de estruturas tem de buscar, entre todas as possibilidades, a estruturação mais econômica para o seu projeto (ALBUQUERQUE, 1999, p.1)

De modo geral, o presente trabalho tem como proposta oferecer recomendações básicas e orientações para a elaboração de projetos estruturais em concreto armado, que além de atenderem aos requisitos obrigatórios que uma estrutura deva possuir, ou seja, Segurança Estrutural, Durabilidade e Funcionalidade, e ainda recomendações quanto à perspectiva econômica do projeto.

A partir de um edifício-exemplo, serão desenvolvidas duas versões do projeto estrutural em concreto armado. Tendo como principal diferença entre tais versões o embasamento teórico e a observância de alguns critérios referentes às boas práticas para a elaboração de um projeto estrutural econômico.

“O projeto estrutural, individualmente, responde pela etapa de maior representatividade no custo total da construção (15% a 20% do custo total)” (COSTA, 1997 *apud* ALBUQUERQUE, 1999)

Ressalta-se que as orientações a serem detalhadas no desenvolvimento deste trabalho partiram do princípio que o profissional atuante na área de estruturas possui pleno conhecimento das Normas Técnicas Nacionais vigentes e pertinentes à atividade do projeto. Espera-se que este guia proporcione orientação de maneira prática e direta para se alcançar qualidade no projeto estrutural de modo que esta repercuta na qualidade da execução, ou seja, reduza custos pertinentes à etapa de construção, sendo este o grande desafio do engenheiro calculista.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo geral ofertar ao engenheiro inexperiente que atue ou possa vir a atuar no setor da Engenharia de Estruturas, instruções básicas quanto à utilização das ferramentas computacionais e um roteiro de pontos a serem considerados com a finalidade de desenvolver o projeto estrutural de um edifício com segurança, qualidade e economia.

Assim como, estabelecer relações entre os índices de consumo e custos da estrutura através da aplicação de práticas voltadas para o refinamento estrutural do edifício em estudo.

Apontar e analisar o impacto na qualidade do projeto final quando o engenheiro preza pelo questionamento dos dados, valores e resultados ofertados pelo programa computacional, e estabelecer uma relação entre as cargas horárias dedicadas a cada um dos projetos também incorpora os itens que objetivam o trabalho atual.

O estudo será realizado a partir de um edifício-exemplo, onde será concebido o projeto estrutural convencional com lajes maciças com a utilização do programa CAD/TQS®.

Além disso, pretende-se mostrar que o programa computacional não garante a qualidade do produto final (estrutura), esclarecer e ressaltar a importância do profissional conhecer seus limites. Dessa forma será possível praticar a engenharia com responsabilidade e ética, pois cabe ao engenheiro ter capacidade de manipular a seu favor todas as vantagens oferecidas pelos *softwares* disponíveis no mercado.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. MATERIAL CONCRETO

3.1.1. História e evolução

Observando nas Figuras 01 e 02 o desenvolvimento da Engenharia desde a Antiguidade percebemos a influência que os diversos tipos de materiais empregados têm no tipo de estruturas criadas. Sendo a pedra e o tijolo de fundamental importância para as construções mais remotas, tomando como exemplo a Grécia, notamos que a característica de baixa resistência à tração da pedra exigiu vãos reduzidos, o que formou a identidade da arquitetura grega, a predominância das colunatas (FUSCO, 2008).

Figura 01 - Colunas e capitéis no Templo de Zeus Olímpico, Atenas, Grécia.



Fonte: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.138/4125> (2011).

Já em Roma, com a elaboração do tijolo cerâmico, surgiram os arcos de alvenaria, que revolucionaram a engenharia. Porém, em suas obras portuárias foi preciso uma alternativa, que foi encontrada na produção de um concreto, no qual o cimento era constituído de pozolanas (FUSCO, 2008).

Figura 02 – Arcos romanos (Coliseu)



Fonte: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquiteturismo/02.020/1467> (2008).

Só na Revolução Industrial, com o desenvolvimento do cimento Portland e do aço laminado surgiu o concreto armado por volta do ano de 1850. Essa junção do concreto (resistente à compressão) com o aço (resistente à tração) trouxe a solução para problemas existentes até então, vencer grandes vãos e chegar a alturas extraordinárias (SANTOS, 2006).

Logo o concreto foi ganhando espaço, no que culminou no material mundialmente mais utilizado na construção civil, por poder ser utilizado em uma gama bastante diversificada de peças estruturais e de vedação. Outras vantagens que dão ao concreto armado superioridade sobre outros materiais são a economia na construção e na manutenção, a boa resistência aos esforços dinâmicos (choques e vibrações) e a segurança contra o fogo (PFEIL, 1990).

3.1.2. Características e peças estruturais

O concreto é um material compósito pela presença da água, cimento e agregados, todos em proporções adequadas. Podendo também conter adições e aditivos químicos com o propósito de aprimorar ou alterar suas propriedades básicas. O cimento em contato com a água transforma-se no meio aglomerante, comumente chamado de pasta (CARVALHO, 2007).

PASTA= CIMENTO + ÁGUA

No instante em que é adicionado à pasta o agregado miúdo, ou seja, a areia, passa-se a ter então a configuração de uma argamassa de cimento (CARVALHO, 2007).

ARGAMASSA= PASTA + AGREGAGO MIÚDO

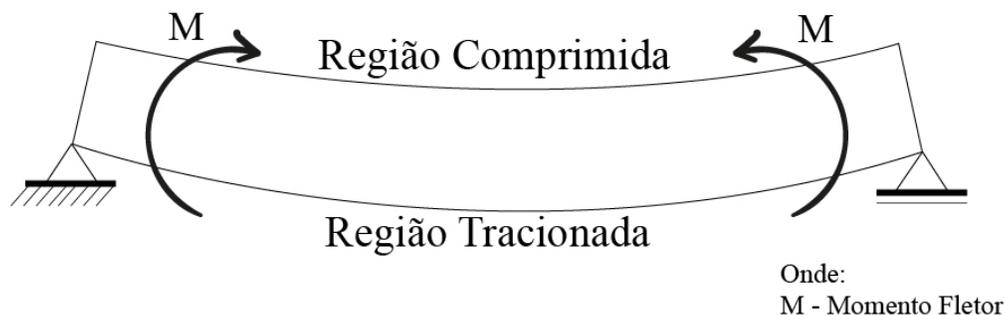
Em seguida, com o acréscimo à argamassa do agregado graúdo, como as pedras britadas ou seixos rolados, é obtido então o concreto simples ou também chamado de concreto sem armadura (FUSCO, 2008).

CONCRETO= ARGAMASSA + AGREGADO GRAÚDO

A NBR 6118/2014 (item 3.1.2.) caracteriza os elementos de concreto simples como “elementos estruturais elaborados com concreto que não possuem qualquer tipo de armadura, ou que a possuem em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado”.

Além disso, é uma característica inerente ao concreto apresentar uma boa resistência à compressão, o que não se reflete quanto à sua resistência aos esforços de tração, que geralmente fica em torno de 10% da sua capacidade de resistir aos esforços de compressão. Por isso, sua utilização com a finalidade estrutural não é adequada, pois quase sempre solicitações de tração atuam nas estruturas, a exemplo disso citamos as peças submetidas à flexão (Figura 3), ou seja, em que uma mesma seção transversal do elemento estrutural sofre tensões de compressão e de tração (CARVALHO, 2007).

Figura 03 – Esquema de uma viga biapoiada flexionada.



FONTE: Autora (2017).

3.2. CONCRETO ARMADO

A deficiência do concreto em resistir aos esforços de tração fez surgir a necessidade de associa-lo a um material com bom comportamento quando sob a ação de tais esforços, assim como uma boa deformação, visto que o concreto também é um material dito frágil, isto é, rompe sem aviso prévio. Pelo aço ser um material que apresenta resistência à tração e ductilidade, ou seja, capacidade de se deformar sem rompimento brusco reúne as características ideais. Com sua integração ao concreto criou-se então o conhecido concreto armado ou concreto estrutural (PINHEIRO, 2003).

Ambos os materiais, concreto e aço, devem trabalhar de forma conjunta, isto é, desempenhar funções simultaneamente e solidariamente, embora no tocante ao dimensionamento tenham finalidades divergentes, ou seja, o aço irá predominantemente responder às solicitações de tração e o concreto as de compressão. Tal colaboração só é

possível devido às forças de aderência, fenômeno essencial que ocorre entre a superfície do aço e o concreto, que ao se deformar acarreta então o alongamento das barras de aço dispostas adequadamente ao longo das peças estruturais. Tudo isso ocorre após o endurecimento da peça, momento em que os materiais passam a trabalhar sem que haja escorregamento relativo entre eles, formando então a hipótese fundamental da teoria do concreto armado (FUSCO, 2008).

“O trabalho conjunto do concreto e do aço é possível porque os coeficientes de dilatação térmica dos dois materiais são praticamente iguais.” (BASTOS, 2006)

Outra vantagem é que o concreto protege o aço, dificultando ações corrosivas (oxidação), quando é garantida uma espessura do concreto entre as barras de aço e a superfície externa (cobrimento) (BASTOS, 2006). De tal maneira que o concreto armado é esquematicamente composto por:

CONCRETO ARMADO = CONCRETO SIMPLES+ARMADURA + ADERÊNCIA

Segundo a NBR 6118/2014 (item 3.1.3.), os elementos de concreto armado são “aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

3.2.1. Vantagens e restrições do Concreto Armado

Em relação ao seu uso estrutural, assim como todo material, o concreto armado apresenta diversas características que recomendam ou não sua utilização. A seguir as principais vantagens:

- Processos construtivos conhecidos em quase todo o mundo;
- Estrutura monolítica, o que não ocorre com as de aço, madeira e pré-moldadas;
- Elevada durabilidade quando bem executado respeitando os critérios indicados em normas;
- Boa trabalhabilidade e fácil adequação a variadas formas, possibilitando ao arquiteto e projetista liberdade de escolha da melhor forma para as peças;
- Possibilidade de utilização de peças pré-moldadas, o que proporciona maior rapidez e elevado ritmo de produção;
- Peças com boa resistência às diversas solicitações, quando bem dimensionadas e detalhadas;
- Durabilidade e resistência ao fogo superiores a materiais como a madeira e o aço, desde que a qualidade do concreto e o cobrimento necessário tenham sido respeitados de acordo com o ambiente que o mesmo esteja inserido;
- Boa resistência às vibrações, choques, efeitos atmosféricos e mecânicos;
- Baixo custo dos materiais básicos, sendo a única exceção o cimento;
- Baixo custo de mão de obra;
- Baixo custo quanto às manutenções, se adequadamente construído.

Por outro lado, a respeito de suas desvantagens e restrições podemos citar:

- Peso próprio elevado;
- Fragilidade;
- Alto custo para as fôrmas de moldagem;
- As reformas e adaptações, costumam ser de difícil execução;
- Utilização de escoramento até que o concreto atinja a resistência adequada;
- Bom condutor de calor e som, exigindo em situações específicas medidas visando à minimização de tais características;
- Baixo ritmo produtivo (exceção das peças pré-moldadas) quando comparado às estruturas de aço.

Portanto, para que o concreto armado possa desempenhar bem seu papel, é necessário que exista completa aderência entre o concreto e a armadura, com a finalidade de que suas deformações sejam uniformes ao longo da superfície de contato, oferecendo também à armadura uma proteção contra a oxidação, gerando maior durabilidade da peça. Para que isso ocorra, o uso racional dos programas projetuais e um estudo mais minucioso dos resultados obtidos são de extrema importância para se chegar em resultados satisfatórios, tanto para o cliente (já que tendo esses resultados assertivos em mãos, o custo irá diminuir, tanto para a construção como para a manutenção) como para o profissional contratado (esses resultados impediriam o surgimento de patologias por falhas na concepção do projeto) (BASTOS, 2006).

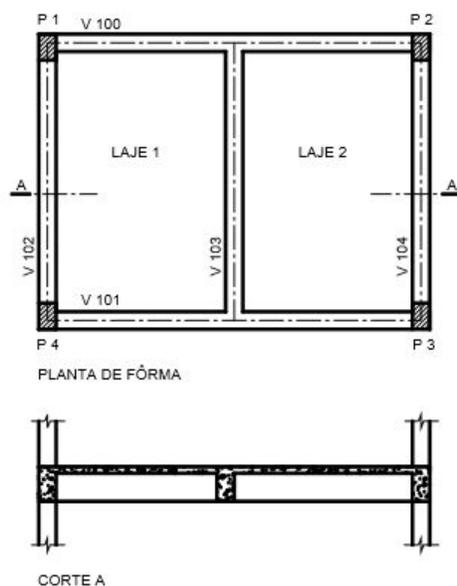
3.2.2. Principais elementos estruturais

Em construções de pequeno ou grande porte, três elementos predominam:

- Lajes: As lajes são os elementos planos, bidimensionais de vários tipos (maciças, nervuradas, pré-moldadas, etc.) que se destinam a receber cargas aplicadas na vertical oriundas das ações de ocupação, as quais podem ser transmitidas para as vigas de apoio nas bordas das lajes ou diretamente para os pilares. Tais carregamentos podem ser divididos pelo aspecto de distribuição por área (peso próprio, contrapiso, revestimento, etc.; ou pelo aspecto de distribuição linear (carga de alvenaria, esquadrias, etc.);

As lajes atuam diretamente na distribuição dos esforços decorrentes do vento entre os elementos de contraventamento, visto que possuem rigidez praticamente infinita no seu plano, promovendo, assim, o travamento do conjunto. Na Figura 04 pode-se observar um esquema representativo de uma laje:

Figura 04: Laje maciça de concreto armado



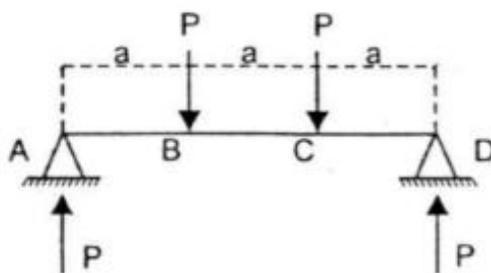
FONTE: Notas de Aula: Fundamentos do Concreto Armado (BASTOS, 2006).

As lajes costumam representar um consumo de concreto por volta de 50% do volume total de concreto. Quando moldadas no local, esses elementos estruturais exigem uma estrutura auxiliar, comumente de madeira, que sirva de fôrma.

- Vigas: Elemento linear (barra) no qual a flexão é o esforço predominante. Tem como atribuição vencer vãos e transmitir cargas para os apoios (comumente pilares). Os carregamentos são oriundos das lajes, outras vigas e elementos de vedação geralmente perpendiculares ao eixo longitudinal, podendo ocorrer torção e forças normais de compressão/tração na direção longitudinal. Ver esquema de uma viga na Figura 05.

Pela definição da NBR 6118/03 (item 14.4.1.1), vigas “são elementos lineares em que a flexão é preponderante”.

Figura 05 – Esquema de uma viga de concreto armado



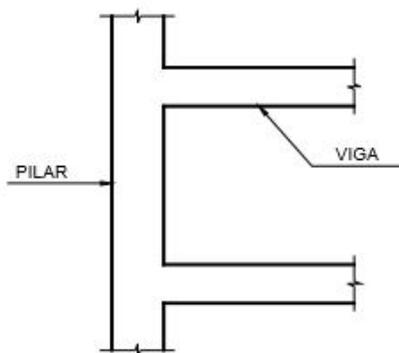
FONTE: Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado (Carvalho, 2007).

- Pilares: Elemento linear (barra) com seu eixo longitudinal perpendicular ao solo, com função de transmitir os carregamentos, oriundos da estrutura, ao solo ou, de

maneira menos comum, a outros elementos de apoio. Assim como podem possuir atribuição ao contraventamento da estrutura (garantir a estabilidade global dos edifícios).

Como ilustrado na Figura 06, os pilares são “elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes” (NBR 6118/2003, item 14.4.1.2).

Figura 06 – Esquema de um pilar



FONTE: Notas de Aula: Fundamentos do Concreto Armado (BASTOS, 2006).

3.3. TECNOLOGIA NA ENGENHARIA ESTRUTURAL

Por muito tempo os edifícios eram calculados por meio de ferramentas como as réguas de cálculo e tabelas. Com f_{ck} limitado, as estruturas eram formadas por elementos de dimensões pequenas, assim como a altura dos prédios eram bem menores, de modo que resultassem em estruturas mais rígidas.

Nas décadas de 70 e 80 começaram a ocorrer, gradativamente, as mudanças nas ferramentas disponíveis ao projetista, ou seja, o surgimento de calculadoras e máquinas programáveis que possibilitaram a automação de pequenas rotinas de cálculo e posteriormente, até mesmo análises mais complexas e refinadas seriam executadas em computadores transformando assim a engenharia estrutural (SILVA, 2002).

A evolução estrutural (esbeltez e arrojado) forçou o avanço tecnológico devido à solicitação de cálculos cada vez mais complexos e refinados, o que acarretou a incorporação dos programas computacionais na engenharia estrutural. Antes feitos por modelos matemáticos e ferramentas simples, os novos projetos pediam ferramentas poderosas que foram criadas com o intuito de auxiliar os engenheiros na concepção desses projetos. Com o progresso na tecnologia, microcomputadores e *softwares* seguem e continuam evoluindo para dar assistência aos calculistas.

Dentre os programas existentes no mercado, um dos mais utilizados é o CAD/TQS® (Figura 07), que possui um sistema integrado para projetos de estruturas tridimensionais de concreto armado, inclui ainda o cálculo matricial espacial de solicitações, deslocamentos, dimensionamento, detalhamento e desenho para os

elementos de lajes, vigas, pilares, sapatas e blocos, conforme manuais do CAD/TQS® (2000).

Figura 07 – Marca da empresa fabricante do *software* CAD/TQS®



FONTE: <http://www.tqs.com.br/> (2017).

Outro *software* também bastante empregado, ver Figura 08, é o **AltoQi Eberick**, destinado ao projeto de edificações em concreto armado, e possuidor de um poderoso sistema gráfico de entrada de dados associado à análise da estrutura. Usuários afirmam que é um *software* que se destaca pela produtividade para elaborar projetos e por fornecer um bom número de soluções.

Figura 08 – Marca do software AltoQi Eberick.



FONTE: <http://www.altoqi.com.br/software/projeto-estrutural/eberick-v10> (2017).

3.4. PROJETO DA ESTRUTURA

3.4.1. Concepção estrutural

Inicialmente é importante definir o que significa “estrutura”. “Estrutura é tudo aquilo que sustenta tal qual o esqueleto humano. Está em tudo que nos rodeia, nas plantas, no ar e nas pessoas, nos objetos e nas ideias” (REBELLO, 2001). Na engenharia, estrutura é o conjunto de elementos, comumente as lajes, vigas e pilares, que tem a atribuição de garantir a estabilidade da edificação durante sua construção e utilização.

O desenvolvimento de uma estrutura costuma ser classificado em algumas etapas, a primeira delas é a Concepção Estrutural, Figura 09.

Figura 09 – Simbologia da etapa de Concepção Estrutural



FONTE: <http://www.tqs.com.br/conheca-os-sistemas-cadtqs/concepcao-estrutural> (2017).

É na concepção estrutural que é escolhido um sistema estrutural que constitua a parte resistente do edifício, sendo esta etapa uma das mais importantes no projeto estrutural. Implica em indicar, da melhor maneira, os elementos, as características pertinentes ao material a serem utilizados e definir suas posições de modo a formar um eficiente sistema estrutural capaz de absorver os esforços oriundos das ações atuantes regulamentadas pela NBR6120/1980 e transmiti-los ao solo de fundação, e atendendo aos requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, relativos à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura (PINHEIRO, 2003).

3.4.2. Passo a passo para a concepção estrutural

A finalidade de uso da edificação e a preservação do projeto arquitetônico são as condições primordiais que a concepção estrutural deve atender, o quanto for possível. O projeto arquitetônico origina a base para a elaboração do projeto estrutural, prevendo o posicionamento dos elementos de forma a respeitar o desenho dos ambientes nos diversos pavimentos, não esquecendo de levar em conta as características do solo no qual a edificação se apoia (ponto de grande importância e que nem sempre é dada a atenção requerida) (PINHEIRO, 2003).

Após a análise inicial do local os projetistas concebem o projeto de estrutura. O início da integração geométrica entre os dois projetos (arquitetura e estrutura) ocorre na concordância do estudo preliminar de arquitetura com o estudo de viabilidade de estrutura. Nesse momento, a estrutura dos pavimentos é lançada, procurando alternativas técnica e economicamente viáveis e verificando o seu impacto no projeto arquitetônico com relação à forma e à estética.

Nessa etapa alguns apontamentos são necessários de modo a possibilitar ao projetista uma maior eficiência e qualidade no seu projeto:

- Respeitar ao máximo o projeto arquitetônico;
- Procurar embutir os elementos estruturais (vigas e pilares) nas paredes de alvenaria de vedação;
- Transmissão da carga deve ser feita, sempre que possível, de forma direta, isto é, pelo menor caminho. Procurar evitar transmissão indireta (cargas de vigas importantes sobre outras vigas ou de pilar em viga de transição);

- Para minimizar efeitos térmicos (retração e variação térmica), evitar elementos com comprimento superior a 30m. Através da utilização de juntas de dilatação ou de separação, obtêm-se blocos independentes (não interagem entre si);
- Em edifícios com altura elevada a especificação da seção transversal das vigas, e principalmente dos pilares, deve ser feito com muito cuidado. Assim como, seus posicionamentos de forma a garantir um contraventamento, reduzindo o efeito sob a estrutura da ação horizontal oriundo dos ventos;
- Grande importância da verificação criteriosa da estabilidade global para edifícios com muitos pavimentos;
- O posicionamento dos pilares deve ser feito de modo a respeitar as vagas de garagem apontadas no arquitetônico;
- Existindo pavimento-tipo, o que em geral ocorre em edifícios de vários andares, inicia-se pela estruturação desse pavimento. Caso não haja pavimentos repetidos, parte-se da estruturação dos andares superiores, seguindo na direção dos inferiores.

De acordo com KIMURA (2007), os sistemas computacionais atuais disponibilizam grandes recursos aos usuários no que compete à etapa de entrada de dados como, o lançamento 100% gráfico, visualização 3D, geração automática de carregamentos, etc.

3.4.3. Sistema Estrutural

Os arranjos estruturais (sistemas estruturais) são formados apenas por elementos estruturais. Diversos tipos de elementos podem ser aplicados, porém em sua maioria as lajes maciças ou nervuradas são mais utilizadas em edifícios, formando juntamente com as vigas os sistemas estruturais (SILVA, 2002).

- Sistema estrutural convencional composta por lajes maciças, esboçado na Figura 10: modelo mais antigo, onde as lajes se apoiam em vigas que se apoiam nos pilares. Segundo a NBR6118-2014 (item 13.2.4) a espessura mínima da laje deve ser:
 - a) 7 cm em lajes de cobertura não em balanço;
 - b) 8 cm em lajes de piso não em balanço;
 - c) 10 cm em lajes em balanço;
 - d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30kN;
 - e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30kN.

Figura 10 - Laje maciça



FONTE: <http://arquitectando.blogspot.com.br/>(2017).

A quantidade maior de vigas possibilita uma maior rigidez ao pavimento, além de proporcionar a formação de pórticos que auxiliam ao contraventamento da estrutura. No entanto, apresenta limitação em sua capacidade de vencer grandes vãos, pois para isso serão necessárias alturas maiores, que conseqüentemente, aumentarão seu peso próprio e custo com o volume de concreto, inviabilizando economicamente o uso do sistema (SILVA, 2002).

- Sistema estrutural convencional composto por lajes nervuradas: em tais lajes, a zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras. Podendo utilizar materiais inertes (EPS, CCA, tijolos, etc.) para preenchimento do espaço entre as nervuras ou até mesmo moldes/fôrmas para a criação das nervuras visando a substituição dos materiais inertes, também é possível. Dessa maneira o consumo de concreto é reduzido consideravelmente, ocorrendo uma diminuição do peso próprio da laje além de se obter maiores valores inerciais maiores, ou seja, o sistema apresenta uma maior capacidade de vencer grandes vãos. Ver Figura 11.

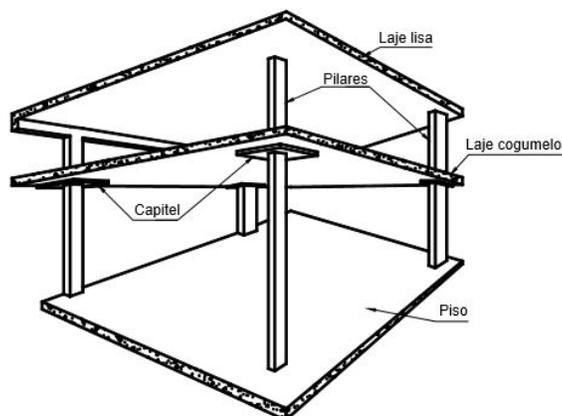
Figura 11 - Laje nervurada



FONTE: <http://construdeia.com/wp-content/gallery/laje-nervurada/laje-nervurada-2.jpg> (2017)

Existe também a possibilidade das lajes serem apoiadas diretamente sobre os pilares por meio de capitéis (lajes-cogumelos) ou sem os capitéis (lajes lisas), como na Figura 12. Outra maneira é no alinhamento dos pilares embutir vigas com altura igual à da laje (vigas-faixa) (BASTOS, 2006).

Figura 12 – Esquema de laje lisa e laje cogumelo



FONTE: Notas de Aula: Fundamentos do Concreto Armado (BASTOS, 2006).

3.4.4. Análise Estrutural

Nessa etapa, os efeitos das ações atuantes na estrutura idealizada são calculados e definidos, ou seja, é o momento de verificar o comportamento da estrutura. Parâmetros como deformações e esforços solicitantes nos elementos são determinados por meio de um modelo que simulará a situação real. É a etapa mais importante para o projeto estrutural (Figura 13), pois os resultados obtidos na análise influenciarão inteiramente nas etapas posteriores de dimensionamento e detalhamento, assim como na avaliação do comportamento em serviço do edifício. (KIMURA, 2007).

Figura 13 – Simbologia da etapa de Análise Estrutural



FONTE: <http://www.tqs.com.br/conheca-os-sistemas-cadtqs/concepcao-estrutural> (2017)

Com as altas velocidades de processamento dos *softwares* atuais, o modelo estrutural com toda sua estrutura é calculada em minutos. Combinado com o ritmo frenético de produção e prazos apertados, o engenheiro muitas vezes não se dedica com o devido cuidado e atenção que a análise estrutural requer (KIMURA, 2007).

De pouco vale preocupar-se em dimensionar e detalhar as peças de forma criteriosa, se durante a fase de análise os esforços e parâmetros não representam verdadeiramente a situação real do edifício. É justamente por isso, que a escolha do modelo estrutural para a análise é fundamental, existem diversos tipos, e para o engenheiro de estruturas é um grande desafio elaborar e entender qual o modelo ideal para cada projeto que lhe é solicitado (SILVA, 2002).

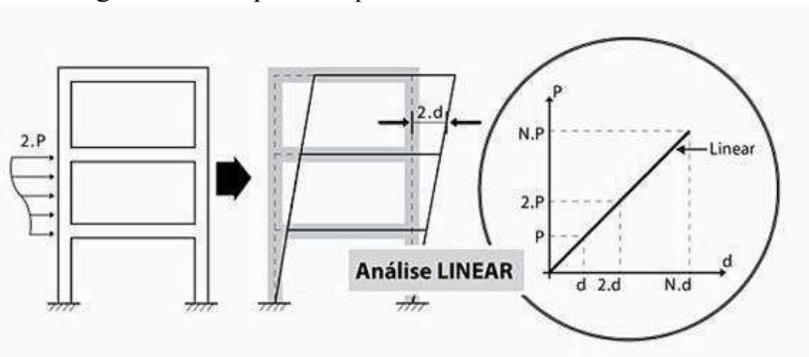
Assim, o melhor modelo estrutural será, sempre, aquele que melhor simula o edifício real, aliado à capacidade de compreensão do seu funcionamento e dos resultados obtidos ao término do processamento. Na análise da estrutura em serviço, deverão ser obedecidas as prescrições de norma, considerando-se efeitos em longo prazo para deformações, variações térmicas e retração, a fim de evitar o surgimento de fissuras entre a estrutura e os elementos de vedação. Essa tarefa ficou muito mais fácil com o advento dos recursos gráficos pertencentes aos *softwares* (BARBOZA, 2008).

Para estruturas muito esbeltas ou de vãos elevados, é importante que seja feita uma adequada avaliação da possibilidade de vibração da estrutura, assim como quando as cargas variáveis forem significativas, deve-se verificar a estrutura para situações de alternância de carga (ABECE, 2015).

A NBR 6118/2014 aponta cinco tipos de análise estrutural, sendo recomendado ao engenheiro adotar pelo menos um deles:

- **Análise Linear:** adoção do comportamento elástico-linear aos materiais que constituem a estrutura, ou seja, sua deformação é proporcional à intensidade das ações externas e uma vez cessadas o elemento volta a sua configuração inicial; A seguir na Figura 14 observar o esquema representativo.

Figura 14 – Esquema representativo da Análise Linear



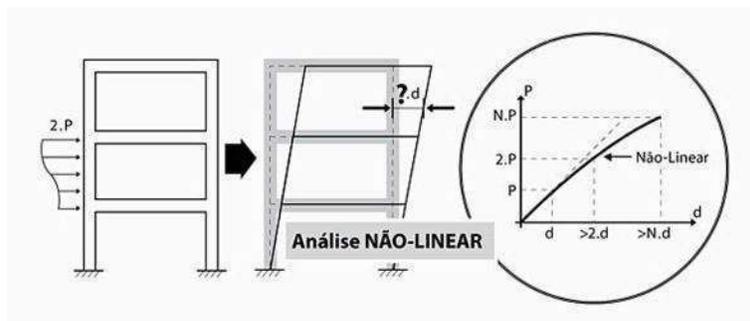
FONTE: Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado (Kimura, 2007).

- **Análise Linear com redistribuição:** após a análise linear, é possível redistribuir os esforços calculados, oriundos da variação de rigidez dos elementos estruturais. É o caso da fissuração e conseqüente entrada no Estádio II, de algumas seções

transversais que gera um realojamento dos esforços solicitantes para as regiões de maior rigidez (FONTES, 2005);

- **Análise Não-Linear:** Seja em deslocamentos, esforços ou tensões, a resposta da estrutura é desproporcional à medida que o carregamento é aplicado, isto é, apresenta um comportamento não-linear, como ilustrado na Figura 15. Tal comportamento é provocado pela alteração das propriedades dos materiais que compõem a estrutura (não-linearidade física - NLF) e alteração da geometria da estrutura (não-linearidade geométrica - NLG) (KIMURA, 2007);

Figura 15 - Esquema representativo da Análise Não-Linear



FONTE: Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado. (Kimura, 2007).

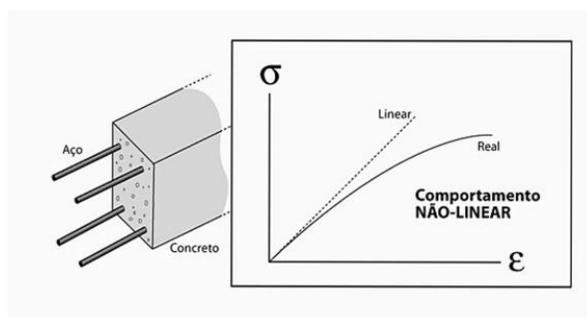
- **Análise Plástica:** admite-se que o concreto trabalha na iminência de ruptura (escoamento de armaduras e progresso de linhas de plastificação ao longo da estrutura), fase posterior à da análise não-linear (DUARTE, 1998);
- **Análise por Modelos Físicos:** é feita através de protótipos que sejam semelhantes mecanicamente à estrutura real. Tendo como principais objetivos: demonstrar o comportamento de certas estruturas e participar diretamente na concepção de estruturas.

Segundo KIMURA (2007), 100% dos projetos de edifícios de concreto armado levam em consideração aspectos relativos ao comportamento não-linear da estrutura, seja de forma simplificada ou de maneira mais refinada. Ver detalhe na Figura 16.

Tamãna importância se deve a aspectos como:

- Característica de comportamento não-linear do concreto armado;

Figura 16 – Comportamento não-linear do concreto armado



FONTE: Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado. (Kimura, 2007).

- Devido às não linearidades físicas e geométricas presentes na vida real de uma estrutura quando levadas em consideração nessa análise, é capaz de simular um comportamento muito mais realista do modelo;
- A esbeltez das peças, de modo que a não-linearidade em diversas situações passam a ser preponderantes;
- A evolução da velocidade de processamento dos computadores permitiu a adoção da análise não-linear, visto que é necessário mais tempo para efetuá-la.

3.4.5. Dimensionamento e Detalhamento Estrutural

Nessa etapa (Figura 17), são dimensionadas e detalhadas as armaduras necessárias aos elementos estruturais, que terão como referência as solicitações calculadas na análise estrutural. Pela perspectiva dos *softwares* no mercado tal desenvolvimento se dá através da transferência automatizada de todas as combinações últimas e seus efeitos (cargas verticais, do vento, das imperfeições geométricas globais, etc) para cada um dos elementos estruturais que compõem a estrutura (KIMURA, 2007).

Figura 17 – Simbologia da etapa de Dimensionamento e Detalhamento



FONTE: <http://www.tqs.com.br/conheca-os-sistemas-cadtqs/concepcao-estrutural> (2017)

Sendo então, todos os elementos automaticamente dimensionados e detalhados de acordo com as solicitações tais como força normal, cortantes, momentos fletores e torçores, assim como com os critérios definidos do projeto como o fck, cobrimentos, rugosidade e regulamentados pela NBR 6118/2014. No entanto, esta etapa não dispensa

a necessidade de verificação e edição tendo em vista que muitas situações exigem condições especiais que podem não ser consideradas pelos *softwares* (KIMURA, 2007).

3.4.6. Geração das Plantas

Uma vez concluídas as etapas anteriores, é necessário elaborar desenhos que represente a estrutura detalhada em plantas com indicativo de escala, que esboce características específicas de como executar a estrutura na obra. Irá compor o projeto estrutural um conjunto de fôrmas, armações das peças, tabelas de ferros e detalhes construtivos todos devidamente identificados por selos e prontos para impressão (TQS,2017).

3.5. CRITÉRIOS DE PROJETO

3.5.1. Qualidade do projeto

De acordo com a NBR 15575-2/2013 (item 5.3) cabe ao projetista o papel de especificar materiais, produtos e processos que atendam ao desempenho mínimo para edificações habitacionais de Vida Útil de Projeto (VUP) igual ou superior a 50 anos (ABECE, 2015).

O conceito de vida útil aplica-se à estrutura como um todo ou às suas partes. Dessa forma, determinadas partes das estruturas podem merecer consideração especial com valor de vida útil diferente do todo (ABECE, 2015).

O projeto é um aspecto de extrema importância no processo produtivo. É nessa etapa que são estabelecidos todos os subsídios pertinentes para o desenvolvimento do empreendimento. As falhas no projeto são apontadas como as principais causas dos problemas patológicos ou defeitos na Construção Civil (OLIVEIRA, 2013).

Para se alcançar o controle de qualidade do projeto alguns parâmetros como indicativos de consumo, limites dimensionais e normas, tipos de elementos, precisam ser tomados como referência (OLIVEIRA, 2013).

Todas as condições impostas ao projeto, devem ser estabelecidas previamente e em comum acordo entre o engenheiro estrutural e o contratante:

- Para atender aos requisitos de qualidade impostos às estruturas de concreto, o projeto deve atender a todos os requisitos estabelecidos na NBR 6118 e em outras complementares e específicas de acordo com a situação;
- As exigências relativas à capacidade resistente e ao desempenho em serviço deixam de ser satisfeitas, quando são ultrapassados os respectivos estados limites definidos na seção 2.5;
- Para tipos especiais de estruturas, devem ser atendidas exigências particulares como isolamento térmico ou acústico, por exemplo que são estabelecidas em Normas Brasileiras;
- Exigências suplementares podem ser fixadas em projeto.

No que compete ao projeto da estrutura segundo KIMURA (2007), um projeto de qualidade deve conceber uma estrutura segura, funcional e durável.

3.5.2. Agressividade do ambiente

Relacionada às condições do ambiente, é preciso considerar os efeitos das ações físicas e químicas ao qual o edifício ficará exposto com base na Tabela 1 da NBR6118/2014:

Tabela 1 – Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de Projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

NOTAS: 1) Pode-se admitir um micro-clima com classe de agressividade um nível mais branda para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).
2) Pode-se admitir uma classe de agressividade um nível mais branda em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.
3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

FONTE: NBR 6118/2014 (2017).

4. METODOLOGIA

Inicialmente foi escolhido um projeto arquitetônico para que fossem desenvolvidas duas versões do projeto estrutural em concreto armado. Tendo como principal diferença entre tais versões o embasamento teórico e a observância de alguns critérios referentes às boas práticas para a elaboração de um projeto estrutural.

Em outras palavras, uma das versões recebeu mais ajustes, alterações sob a perspectiva de refinar a estrutura pré-concebida, reduzindo assim o consumo de materiais e de custos.

De posse dos quantitativos de materiais, foram calculados os índices definidos para comparação.

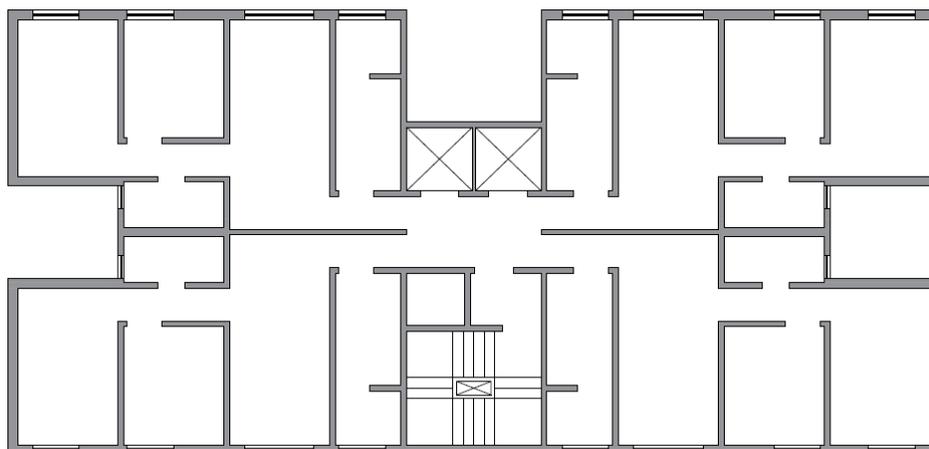
O procedimento foi realizado através do *software* CAD/TQS® e será comentado e ilustrado através de tópicos no presente trabalho, de maneira que se verifique a proposta de direcionar pontos e etapas que repercutam em um projeto estrutural eficiente e econômico. Também será realizada a contagem das horas de trabalho dedicadas a cada projeto, de maneira que uma relação possa ser estabelecida entre os projetos.

Para facilitar e garantir o entendimento do leitor quanto aos comentários a serem realizados, fica denominado que o projeto da edificação com menor dedicação de tempo e recursos teóricos será o PROJETO I. Já a outra versão, a mais refinada será denominada PROJETO II. Toda a análise e discussão será em cima dos dados obtidos referentes ao pavimento tipo de modo a sintetizar as considerações, isto é, não foi considerada a existência de outros pavimentos para avaliação de valores, embora tenham importância considerável para a concepção estrutura.

4.1. DADOS DOS PROJETOS

O projeto arquitetônico com finalidade de uso residencial proposto é constituído por 4 apartamentos em um pavimento com 238,1 m² de área, onde nos modelos foram consideradas suas respectivas dimensões e cargas aplicadas. Com distância de piso a piso de 2,75m, o edifício é constituído por 14 pavimentos tipo, coberta, casa de máquina e reservatório totalizando uma altura de 46 m.

Figura 18 – Esquema da planta baixa da edificação



FONTE: Autora (2017).

A Tabela 02 apresenta detalhes de cada um destes pavimentos:

Tabela 2: Dados dos pavimentos

Pavimentos	Piso a Piso (m)	Cota (m)	Área (m²)
<i>CXDÁGUA</i>	2,75	46,00	33,5
<i>CMAQ</i>	1,75	43,25	14,6
<i>COBERTURA</i>	2,75	41,50	237,5
<i>TIPO (13X)</i>	2,75	38,75	3095,3
<i>TIPO</i>	3,00	3,00	238,1
<i>FUNDAÇÃO</i>	0,00	0,00	0,00
<i>TOTAL</i>	---	---	3619,0

FONTE: Autora (2017).

4.1.1. Normas em uso

Na análise, dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais deste edifício foram utilizadas as prescrições indicadas pelas seguintes normas:

- NBR6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos;
- NBR6120:1980 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações - Procedimentos;
- NBR6123:1988 - Forças devido aos ventos em edificações – Procedimentos;
- NBR8681:2003 - Ações e segurança nas estruturas – Procedimentos.

4.1.2. Critérios de projeto para os estudos de caso

Foi utilizada a mesma configuração de critérios de projetos para ambas versões do modelo estrutural, de modo que os dados e valores obtidos não diferissem devido a fatores como fck, classe de agressividade ambiental, ação do vento, etc. A seguir são apresentadas as configurações de critérios:

- Classe de agressividade: para o dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais foi considerada a seguinte Classe de Agressividade Ambiental nos projetos: II - Urbana, conforme definido pelo item 6 da NBR6118:2007;
- Cobrimentos gerais: a definição dos cobrimentos foi feita com base na Classe de Agressividade Ambiental definida anteriormente e de acordo com o item 7.4.7 e seus subitens;

A seguir, na Tabela 03 são apresentados os valores de cobertura utilizados para os diversos elementos estruturais existentes no projeto:

Tabela 03: Cobrimentos

<i>Elemento Estrutural</i>	<i>Cobramento (cm)</i>
<i>Lajes convencionais (superior / inferior)</i>	2,5 / 2,5
<i>Lajes protendidas (superior / inferior)</i>	3,5 / 3,5
<i>Vigas</i>	3,0
<i>Pilares</i>	3,0

FONTE: Autora (2017).

- Ações e combinações: em relação as cargas verticais foram consideradas separadas quanto à sua natureza permanente ou variável, assim como não houve redução das sobrecargas.

A seguir são apresentados os fatores de cálculo utilizados para definição das ações de vento incidentes sobre a estrutura:

- Velocidade básica (m/s): 30,0;
- Fator topográfico (S1): 1,0;
- Categoria de rugosidade (S2): III - Terrenos planos ou ondulados, com obstáculos. Muros, árvores e edificações baixas, fazendas, subúrbios com casas baixas;
- Classe da edificação (S2): B - Maior dimensão horizontal ou vertical entre 20m e 50m;
- Fator estatístico (S3): 1,00 - Edificações em geral. Hotéis, residências, comércio e indústria com alta taxa de ocupação.

Na Tabela 04 são apresentados os valores de coeficiente de arrasto, área de projeção do edifício e pressão calculada com os fatores apresentados anteriormente:

Tabela 4: Coeficientes de arrasto

<i>Caso</i>	<i>Ângulo (°)</i>	<i>Coef. arrasto</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Pressão (tf/m²)</i>
5	90	1,37	1020,4	0,078
6	270	1,37	1020,4	0,078
7	0	1,01	516,9	0,058
8	180	1,01	516,9	0,058

FONTE: Autora (2017).

No modelo estrutural global foram consideradas as seguintes combinações mostradas na Tabela 05:

Tabela 05: Combinações

<i>Tipo</i>	<i>Descrição</i>	<i>N. Combinações</i>
<i>ELU1</i>	Verificações de estado limite último - Vigas e lajes	18
<i>ELU2</i>	Verificações de estado limite último - Pilares e fundações	18
<i>FOGO</i>	Verificações em situação de incêndio	2
<i>ELS</i>	Verificações de estado limite de serviço	12
<i>COMBFLU</i>	Cálculo de fluência (método geral)	2
<i>LAJEPRO</i>	Combinações p/ flechas em lajes protendidas	0

FONTE: Autora (2017).

4.1.3. Modelo estrutural

Na análise estrutural do edifício foi utilizado o 'Modelo 4' do sistema CAD/TQS. Este modelo consiste em dois modelos de cálculo:

- Modelo de grelha para os pavimentos;
- Modelo de pórtico espacial para a análise global.

O edifício foi modelado por um único pórtico espacial mais os modelos dos pavimentos. O pórtico foi composto apenas por barras que simulam as vigas e pilares da estrutura, com o efeito de diafragma rígido das lajes devidamente incorporado ao modelo. Os efeitos oriundos das ações verticais e horizontais nas vigas e pilares foram calculados com o pórtico espacial.

Nas lajes, somente os efeitos gerados pelas ações verticais foram calculados. Nos pavimentos simulados por grelha de lajes, os esforços resultantes das lajes sobre as vigas foram transferidos como cargas para o pórtico espacial, ou seja, há uma 'certa' integração

entre ambos os modelos (pórtico e grelha). Para os demais tipos de modelos de pavimentos, as cargas das lajes foram transferidas para o pórtico por meio de *quinhões* de carga.

No modelo de pórtico foram incluídos todos os elementos principais da estrutura, ou seja, pilares e vigas, além da consideração do diafragma rígido formado nos planos de cada pavimento (lajes). A rigidez à flexão das lajes foi desprezada na análise de esforços horizontais (vento).

Os pórticos espaciais foram modelados com todos os pavimentos do edifício, para a avaliação dos efeitos das ações horizontais e os efeitos de redistribuição de esforços em toda a estrutura devido aos carregamentos verticais.

As cargas verticais atuantes nas vigas e pilares do pórtico foram extraídas de modelos de grelha de cada um dos pavimentos.

Foram utilizados dois modelos de pórtico espacial: um específico para análises de Estado Limite Último - ELU e outro para o Estado Limite de Serviço - ELS. As características de cada um destes modelos são apresentadas a seguir:

- Flexibilização das ligações viga/pilar;
- Modelo enrijecido para viga de transição;
- Método para análise de 2ª ordem global: Gama Z;
- Não foi considerada análise com efeito incremental ou com interação solo-estrutura.

O modelo ELU foi utilizado para obtenção dos esforços necessários para o dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais.

Apenas neste modelo foram utilizados os coeficientes de não linearidade física conforme indicados pelo item 15.7.3 da NBR6118:2014.

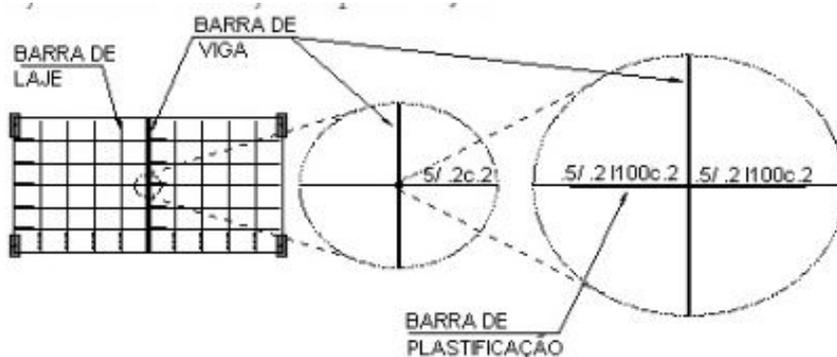
4.1.4. Recursos aplicados apenas no modelo estrutural do PROJETO II

Para a elaboração da estrutura com a proposta de refinamento, foram aplicados recursos pertinentes à plastificação dos elementos estruturais.

4.1.4.1. Divisor de Inércia à Flexão

Um dos recursos para simular plastificação nas lajes consistiu na introdução de barras curtas de rigidez inferior nos apoios das lajes sobre as vigas. Tais barras tem a mesma seção da grelha, mas a sua inércia à flexão é dividida por um valor definido.

Figura 19 – Esquema da barra de plastificação



FONTE: Manual de Critério de Projeto do *software* CAD/TQS® (2015).

A barra de plastificação possui seção e carga idêntica de uma barra normal, na Figura 19, I100 representa um divisor de inércia 100 (CAD/TQS®, 2015).

A plastificação também é possível por meio da indicação de um coeficiente de engastamento parcial a ser aplicado na ponta das barras curtas que se apoiam em vigas. Tais valores encontram-se no intervalo entre (0) articulação e (1) engastamento, sendo os valores intermediários proporcionais aos momentos obtidos por processo elástico do apoio com continuidade.

No PROJETO II, foi utilizado o coeficiente de 0,9 para se obter uma redução de 10% nos momentos.

5. ELEMENTOS CONSTITUINTES DO SISTEMA DE FÔRMAS

5.1. PILARES

Em relação ao posicionamento dos pilares, a recomendação é de que o engenheiro inicie pela planta do pavimento-tipo posicionando os de canto, assim como os pilares que ficarão nas áreas comuns como circulação, elevadores, escadas e reservatório. A ideia é de que uma vez que os pilares mais externos e internos estejam bem distribuídos e localizados, o engenheiro venha apenas inserindo na região intermediária pilares onde julgar necessário, respeitando os ambientes previstos em projeto (GIONGO, 2007).

Sempre que possível, a orientação é para distribuir pilares alinhados de modo que sejam formados os pórticos com as vigas que os unem e assim ocorra uma colaboração significativa na estabilidade global do edifício.

É importante também, determinar que o espaçamento econômico entre seus eixos varie de 4,0m à 6,0m, uma vez que pilares muito próximos podem interferir nos elementos de fundação, e nos edifícios com garagens pode diminuir o número vagas, bem como dificultar as manobras dos veículos. Já no caso de grandes vãos, pilares e vigas resultarão com dimensões transversais maiores, levando a uma taxa de armadura elevada, dificuldade de montagem, maiores gastos com fôrmas e conseqüentemente a um aumento significativo no custo final da obra (VERGUTZ, 2010).

A seguir, as Figuras 20 e 21 apresentam os esquemas das plantas de fôrmas, respectivamente do PROJETO I E PROJETO II.

Existe ainda um recurso de redução da seção, em se tratando do elemento pilar, predominantemente utilizado em edifícios acima de 5 pavimentos, que auxilia na diminuição do consumo dos materiais.

Como a lógica aponta, é nos pavimentos inferiores que encontramos o acúmulo de cargas chegando, o que exige em muitos casos de edifícios altos maiores seções transversais. Então, a redução da seção transversal de um pilar pode ser realizada nos pavimentos superiores dos edifícios, onde o somatório do carregamento vertical é menor, trazendo mais leveza à estrutura, e redução de custos quanto ao consumo dos materiais (PINHEIRO, 2003).

5.2. VIGAS E LAJES

Para a disposição do vigamento de um pavimento, inicialmente são inseridas as vigas que ligam os pilares, formando os pórticos. Além disso, existem situações em que o emprego de outras vigas é necessário para fragmentar os painéis de lajes com grandes dimensões ou até mesmo para suportar uma parede divisória e assim, evitar que se apoie diretamente sobre a laje (PINHEIRO, 2003).

É preciso observar por onde a viga irá passar, qual a altura da seção que a arquitetura permite, pois existe a importância da preservação estética do ambiente, e a facilidade de acabamento. É comum a prática de passar as vigas sob alvenaria de modo que tendo a viga uma seção tal, não fique perceptível após o acabamento de chapisco, emboço e reboco.

Como as vigas delimitam os painéis de laje, suas disposições devem levar em consideração o valor econômico do menor vão das lajes, que, para lajes maciças, é da ordem de 3,5 m a 5,0 m. O posicionamento das lajes fica, então, praticamente definido pelo arranjo das vigas (VERGUTZ, 2010).

É interessante evitar a variação excessiva entre as seções das vigas do pavimento, para que na etapa de execução o trabalho das fôrmas seja facilitado.

Outro tipo de vigas, são as baldrame, que tem por função ligar os pilares, de forma que a estrutura seja travada horizontalmente, além de dar suporte as paredes, por isso torna-se obrigatório o seu uso em baixo de todas as paredes (PINHEIRO, 2003).

A seção predominantemente adotada para o PROJETO I foi (20x50). Já para o PROJETO II, em sua maioria foi (15x40), porém tendo como um de seus objetivos, proporcionar maior rigidez ao pavimento todas as vigas de fachada tiveram suas seções configuradas em (15x60).

Em ambas versões, seus elementos estruturais foram verificados quanto as deformações e foi utilizada laje maciça com altura de 10 cm. A tipologia da laje foi escolhida pelo seu bom desempenho quanto à redistribuição dos esforços, menor suscetibilidade à fissuras e mão de obra bem treinada.

6. ÍNDICES DE CONSUMO

No decorrer dos anos o significado de uma estrutura econômica sofreu alterações, porém sempre esteve relacionado aos índices de consumo de materiais de uma obra.

Anteriormente, procurava-se alcançar a redução dos custos através da concepção de um sistema estrutural com peças mais esbeltas. Entretanto, a análise e pesquisas acerca dos índices de consumo dos materiais ofertou informações que exigiram considerável modificação na maneira de se entender a problemática de conceber uma estrutura que seja segura, durável, funcional e além de tudo econômica.

A conscientização por parte dos engenheiros projetistas de que o custo de uma estrutura não se resume aos materiais concreto e aço, mas que o processo executivo das peças de concreto armado demanda custos consideráveis de mão de obra e principalmente de fôrma e tempo de execução, direcionou a atenção do projetista à padronização das fôrmas, que propicia mais facilidade na produtividade da mão-de-obra e reaproveitamento para os processos construtivos que serão usados (ALBUQUERQUE, 1999).

Formulado então o binômio da Engenharia de Estruturas da atualidade: Padronização e Racionalização.

6.1. AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS

A avaliação será feita por meio da observância dos parâmetros de concreto, aço e fôrma e os índices de consumo referentes ao pavimento tipo.

6.1.1. Índice de concreto

É a razão entre o consumo total de concreto extraído do projeto estrutural e a área real global da edificação, obtida segundo a NBR 12721/07.

$$Ic = \frac{Vc (m^3)}{A (m^2)} \quad (1.1)$$

Onde: Vc = volume total de concreto;

A = área real global da edificação.

6.1.2. Índice de aço

É a razão entre o consumo de aço utilizado na estrutura e a área total do edifício.

$$Ia = \frac{P (kg)}{A (m^2)} \quad (1.2)$$

Onde: P = consumo de aço;

A = área real global da edificação.

6.1.3. Índice de fôrma

É a razão entre a área de fôrmas constante no projeto da estrutura e a área total do edifício.

$$I_f = \frac{A_f (m^2)}{A (m^2)}$$

Onde:

A_f = área total de fôrmas;

A = área real global da edificação.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1. QUANTO AOS MATERIAIS

Após finalizados os processamentos das estruturas, foram encontrados os resultados nas Tabelas 06 a 09 acerca dos Consumos de Materiais e Índices de Consumos de Materiais. Nestas tabelas encontram-se os valores de consumo e índices, referentes aos 14 pavimentos tipo:

Tabela 06 – Parâmetros de concreto e fôrma dos pavimentos tipo do PROJETO I

PROJETO I		
MATERIAL	CONSUMO	TAXA
CONCRETO (m ³)	659,4	0,195
FÔRMA (m ²)	6910,7	2,043

FONTE: Autora (2017).

Tabela 07 – Parâmetros de concreto e fôrma dos tipos do PROJETO II

PROJETO II		
MATERIAL	CONSUMO	TAXA
CONCRETO (m ³)	609,5	0,183
FÔRMA (m ²)	6857,2	2,057

FONTE: Autora (2017).

Tabela 08 – Parâmetros de aço dos pavimentos tipo do PROJETO I

PROJETO I - AÇO		
ELEMENTO	CONSUMO (kg)	TAXA (kg/m ²)
LAJES	24892,00	16,74
VIGAS	15938,20	
PILARES	15758,60	
TOTAL	56588,80	

FONTE: Autora (2017).

Tabela 09 – Parâmetros de aço dos pavimentos tipo do PROJETO II

PROJETO II - AÇO		
ELEMENTO	CONSUMO (kg)	TAXA (kg/m ²)
LAJES	22330,30	15,71
VIGAS	17423,00	
PILARES	12605,00	
TOTAL	52358,30	

FONTE: Autora (2017).

A análise dos resultados apresentados, demonstra que apesar do aumento da seção das vigas de fachada no pavimento tipo no PROJETO II, houve uma redução significativa tanto no consumo de concreto, quanto no de fôrmas. Isso ocorreu, devido à ação de reduzir gradativamente seções transversais nos pavimentos superiores de alguns pilares.

No total houve uma economia de 50m³ no consumo de concreto e aproximadamente 54m² em fôrma.

As Tabelas 08 e 09, nos apresentam os consumos de aço por cada elemento estrutural respectivamente, lajes, vigas e pilares.

No PROJETO II, o detalhamento das armaduras das lajes foi criteriosamente realizado, visando o melhor resultado econômico e funcional. A utilização dos critérios de plastificação nos extremos das barras e do divisor de inércia à flexão, possibilitaram a redução dos momentos fletores negativos em torno de 10%. Por isso, a economia de pouco mais de 2,56t de aço em relação as armaduras das lajes do PROJETO I.

Da mesma forma que a redução das seções dos pilares do PROJETO II repercutiu favoravelmente em se tratando de concreto, assim como o consumo de aço nas armaduras dos pilares do PROJETO II também apresentou uma economia de 3,15t de aço em relação as armaduras pertencentes aos pilares do PROJETO I.

No caso das vigas, o consumo de aço foi maior no PROJETO II devido aos pequenos aumentos dos vãos efetivos nos pavimentos superiores, oriundos da presença de seções transversais dos pilares menores do que nos pavimentos inferiores.

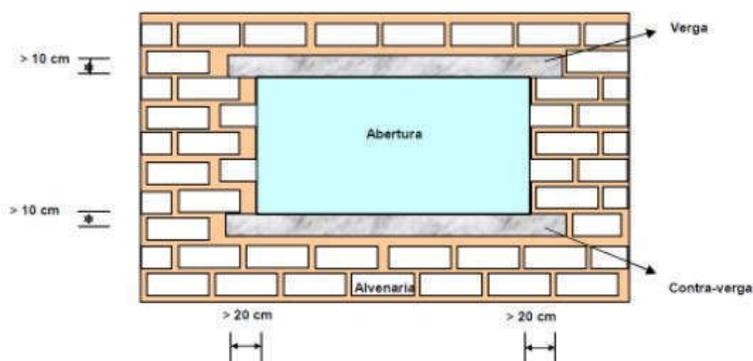
Outro fator foi a presença de vigas que mesmo não tendo altura superior a 60 cm, foi colocada uma armadura de pele com área de 0,05 % Ac em cada face das vigas a fim de evitar fissuras de retração que surgem mesmo em vigas com altura de 50 cm. Tal ação é prescrita no item 17.3.5.2.3 da NBR 6118:2014.

Vale ressaltar que no PROJETO II, tendo o vigamento periférico com 60 cm de altura e distância vertical entre o piso de um pavimento até o piso do pavimento superior de apenas 2,75 m, não haverá assim a necessidade da execução de vergas nas esquadrias. Portanto, o projeto economiza ao construtor não apenas os materiais propriamente ditos, mas também reduz gastos com mão de obra e tempo previsto de construção, pois a instalação das vergas é um serviço realizado na etapa de vedação, uma vez que a estrutura já se encontra finalizada.

Já pela perspectiva do PROJETO I, se faz preciso acrescentar a parcela do consumo dos materiais oriundos das vergas a serem instaladas.

Para quantificar, a Tabela 10 apresenta o consumo de concreto e aço que seria necessário para a execução de vergas configuradas com largura de 12cm, espessura de 20cm e comprimento igual ao tamanho da esquadria + 25cm de cada lado.

Figura 22 – Esquema da posição e dimensões mínimas da verga e contra verga.



FONTE: ABNT (1984).

Tabela 10 – Dados do consumo de concreto e aço na execução das vergas.

VERGAS		
ESQUADRIA	CONCRETO (m ³)	AÇO (kg)
60	10,56	2,16
120	44,88	9,16
180	22,08	4,51
TOTAL	77,52	15,83

Na sequência, a Tabela 11 expõe os dados de consumo dos materiais e taxas, já com o adicional da parcela das vergas, necessários para a construção do edifício com base no PROJETO I.

Tabela 11 – Dados atualizados do consumo de concreto e aço do PROJETO I com a execução das vergas.

PROJETO I - FINAL		
MATERIAL	CONSUMO	TAXA
CONCRETO (m ³)	736,92	0,217
AÇO (kg)	56604,63	16,755
FÔRMA (m ²)	6910,7	2,043

FONTE: Autora (2017).

E em seguida, a Tabela 12 traz os dados de consumo dos materiais e taxas referentes ao PROJETO II.

Tabela 12 – Dados atualizados do consumo de materiais do PROJETO II.

PROJETO II - FINAL		
MATERIAL	CONSUMO	TAXA
CONCRETO (m ³)	609,50	0,183
AÇO (kg)	52358,30	15,71
FÓRMA (m ²)	6857,2	2,057

FONTE: Autora (2017).

7.2. QUANTO A ESTIMATIVA DE CUSTOS DE EXECUÇÃO

Os preços unitários dos insumos foram extraídos da planilha do SINAPI referente a setembro de 2017. Esta análise de custo levou em consideração valores dos insumos desonerados, ou seja, apenas o custo exclusivo dos materiais, para que os valores monetários obtidos refletissem diretamente os parâmetros de índices de materiais obtidos no PROJETO I e no PROJETO II.

A Tabela 13 foi gerada a partir dos quantitativos e preços unitários dos insumos referentes a um pavimento tipo do PROJETO I.

Tabela 13 – Estimativa de custo para pavimento tipo do PROJETO I

PROJETO I			
DESCRIÇÃO DO MATERIAL	QUANTITATIVO	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM,	48,3 m ³	R\$ 346,85	R\$ 16.752,85
AÇO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	25390 m	R\$ 4,08	R\$ 8.633,28
AÇO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	2246 m	R\$ 4,58	R\$ 861,04
AÇO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	12040 m	R\$ 3,90	R\$ 3.915,60
AÇO CA-50, 12,5 MM, VERGALHAO	11346 m	R\$ 3,71	R\$ 3.509,66
AÇO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	751 m	R\$ 3,71	R\$ 233,73
AÇO CA-50, 20,0 MM, VERGALHAO	176 m	R\$ 3,47	R\$ 52,05
AÇO CA-50, 25,0 MM, VERGALHAO	214 m	R\$ 4,01	R\$ 72,18
AÇO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	25905 m	R\$ 3,86	R\$ 8.333,74
MADERIT COMPENSADO PLASTIFICADO DE 10MM	511,1 m ²	R\$ 27,90	R\$ 14.259,69
TOTAL de 1 PAVIMENTO TIPO =			R\$ 56.623,82

FONTE: Autora (2017).

Do mesmo modo, a Tabela 14 foi formulada a partir dos valores unitários de insumos e quantitativos referentes a um pavimento tipo do PROJETO II.

Tabela 14 – Estimativa de custo para pavimento tipo do PROJETO II

PROJETO II			
DESCRIÇÃO DO MATERIAL	QUANTITATIVO	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM.	46,20 m ³	R\$ 346,85	R\$ 16.024,47
ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	10338 m	R\$ 4,08	R\$ 3.516,96
ACO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	1212 m	R\$ 4,58	R\$ 462,58
ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	7245 m	R\$ 3,90	R\$ 2.355,60
ACO CA-50, 12,5 MM, VERGALHAO	3464 m	R\$ 3,71	R\$ 1.072,19
ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	636 m	R\$ 3,71	R\$ 196,63
ACO CA-50, 20,0 MM, VERGALHAO	438 m	R\$ 3,47	R\$ 128,39
ACO CA-50, 25,0 MM, VERGALHAO	60 m	R\$ 4,01	R\$ 20,05
ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	14691 m	R\$ 3,86	R\$ 4.728,50
MADERIT COMPENSADO PLASTIFICADO DE 10MM	506,1 m ²	R\$ 27,90	R\$ 14.120,19
TOTAL de 1 PAVIMENTO TIPO =			R\$ 42.625,56

FONTE: Autora (2017).

O insumo para fôrmas selecionado atende aos requisitos exigidos nas seguintes normas:

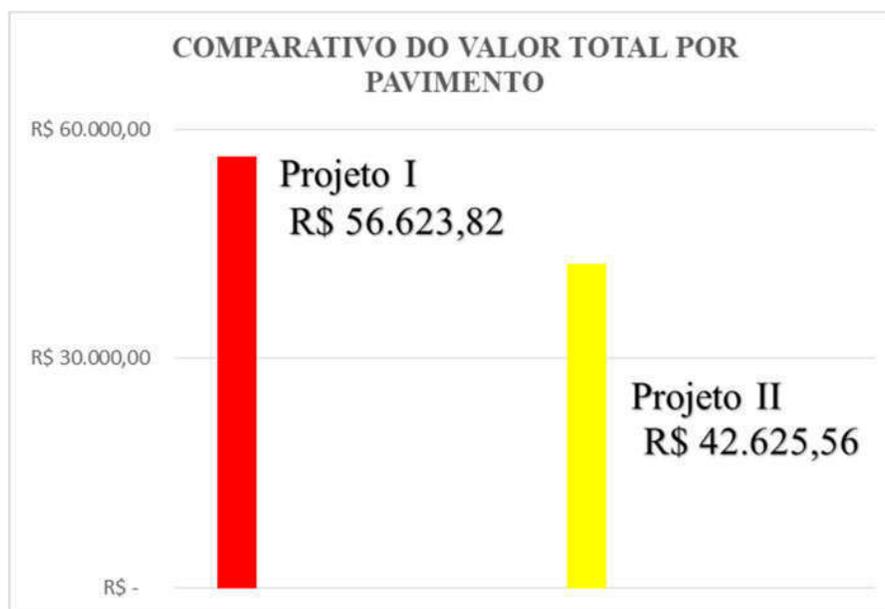
- NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos;
- NBR 9490:1986 - Projeto de Lâmina e Compensado;
- NBR 14931:2004 - Execução de estruturas de concreto -Procedimento;
- NBR 7190:1997 - Projeto de estruturas de madeira;

Compensados com aplicação de tego-filme, ou seja, as chamadas fôrmas plastificadas, e que utilizam a cola WBP – *water-boiled* são capazes de resistir a uma prolongada exposição à umidade, já que a fôrma de madeira não pode absorver a água do concreto, e a variações de temperatura que possam interferir na junção das lâminas.

Além disso, apresentam uma capacidade de reutilização em torno de 30 vezes, quando manipuladas com o devido cuidado. O que possibilita a projeção dos custos dos materiais para os 14 pavimentos tipo.

Com o intuito de facilitar a análise e comparação dos resultados, o Gráfico 01 compara o valor total estimado para a execução do pavimento tipo do PROJETO I e PROJETO II:

Gráfico 01 – Comparativo do valor total por pavimento



FONTE: Autora (2017).

O Gráfico 01 confirmou em termos financeiros o indicativo referente aos índices de consumo, ou seja, apontou que a solução estrutural adotada no PROJETO II repercutiu economicamente na etapa de execução da obra, reduzindo os custos em torno de R\$60.000,00 (SESSENTA MIL REAIS) por pavimento quando comparada a adotada no PROJETO I. Além disso, explicitou a capacidade de refinamento estrutural que um profissional consegue extrair do *software* através da aplicação do seu conhecimento teórico.

7.3. QUANTO À CARGA HORÁRIA

Durante o processo de elaboração dos PROJETOS I e II, foram contabilizadas as horas de trabalho dedicadas à cada um deles, com o objetivo de relacionar a influência do fator homem/hora na qualidade final de um projeto estrutural.

A proporção estabelecida entre as horas dedicadas foi de 1:3, enquanto o PROJETO I levou 120hrs, o PROJETO II levou aproximadamente 380hrs.

8. CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos a partir das análises dos PROJETOS I e II no programa CAD/TQS®, observou-se a relevância que o conhecimento teórico unido ao entendimento da ferramenta computacional, proporciona ao engenheiro calculista da atualidade forte influência quanto à qualidade do projeto estrutural que exige dedicação.

Ao longo da elaboração deste trabalho ficou evidente que os programas de cálculo estrutural são excelentes ferramentas para o aumento de produtividade nos projetos estruturais, pois mostram que é possível serem analisadas diversas soluções estruturais para um mesmo edifício. Um bom nível de conhecimento técnico e normativo é exigido do usuário de programas de cálculo estrutural, que associado à experiência aumenta em muito as chances de sucesso na elaboração de uma estrutura racional e econômica. É evidente que o uso de programas de cálculo estrutural não substitui o papel do Engenheiro Calculista. (ANDRADE, 2013)

Este profissional diferenciado atuante no PROJETO II, encontra grandes desafios no mercado, visto que, seu trabalho por ser mais minucioso demanda maior carga horária superior para a concepção de um projeto, quando comparado à maioria dos seus concorrentes, resultando assim em um custo final maior do projeto de estruturas, muitas vezes incompreendido pelo cliente/construtor. Cabe ao calculista mostrar ao cliente que um investimento maior na elaboração do projeto estrutural, repercutirá economicamente na etapa de execução do projeto.

Para trabalhos futuros, sugere-se que sejam feitas as análises realizadas no presente trabalho mediante a utilização de outros sistemas estruturais, assim como a utilização de outros *softwares* disponíveis no mercado.

9. REFERÊNCIAS

ABECE. Recomendações para elaboração de projetos estruturais de edifícios de concreto armado. Disponível em <www.abece.com.br/recomendacoes.pdf>. Data de acesso: 19/02/2017.

ABECE. Recomendação ABECE 003:2015 - Memorial descritivo do projeto estrutural (de edifícios residenciais em concreto armado. São Paulo: 2015.

ALBUQUERQUE, A. T. Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado. 1999. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ANDRADE, L.O. Estudo dos índices de consumos de materiais, do custo estrutural de uma edificação e dos procedimentos na fase de elaboração do projeto estrutural. Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Departamento de Engenharia Civil, Caruaru: 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NORMA BRASILEIRA. **Execução de estruturas de concreto - Procedimento**, NBR 14931:2004. Rio de Janeiro: ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NORMA BRASILEIRA. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**, NBR 6118:2014. Rio de Janeiro: ABNT, 2014, 221p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NORMA BRASILEIRA. **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**, NBR 6120:1980. Rio de Janeiro: ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NORMA BRASILEIRA. **Forças devido aos ventos em edificações**, NBR 6123:1988. Rio de Janeiro: ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NORMA BRASILEIRA. **Projeto de estruturas de concreto**, NBR 7190:1997. Rio de Janeiro: ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NORMA BRASILEIRA. **Ações e segurança nas estruturas - Procedimentos**, NBR 8681:2003. Rio de Janeiro: ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NORMA BRASILEIRA. **Projeto de Lâmina e Compensado**, NBR 9490:1986. Rio de Janeiro: ABNT.

BARBOZA, M. R. Conceção e análise de estruturas de edifícios em concreto armado. Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Civil, São Paulo: 2008.

BASTOS, P. S. S. Fundamentos do Concreto Armado - Notas de aula da disciplina Estruturas de Concreto I, Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Civil, São Paulo: 2006.

BASTOS, P. S. S. Histórico e Principais Elementos Estruturais de Concreto Armado - Notas de aula da disciplina de Sistemas Estruturais I, Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Civil, São Paulo: 2006.

CARVALHO, R. C. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118/2003, 3ª edição. São Paulo: EdUFScar, 2007.

COSTA, O.V. Estudo de alternativas de projetos estruturais em concreto armado para uma mesma edificação. Universidade Federal do Ceará- UFC, Departamento de Engenharia Civil, Fortaleza:1997.

DINIZ, J. Z. F. Concreto & Construções, Concreto: material construtivo mais consumido no mundo, São Paulo: IBRACON, 2009. p. 08-13, v. 53;

DUARTE, H. Aspectos da análise estrutural das lajes de edifícios de concreto armado. Dissertação (Mestrado), São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 1998, 91p.

FONTES, F. F. Análise estrutural de elementos lineares segundo a NBR 6118:2003. Dissertação (Mestrado), São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 2005, 137p.

FUSCO, P. B. Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados. São Paulo, Ed PINI, 2008.

GIONGO, J. S. Concreto armado: projeto estrutural de edifícios. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos: 2007.

HARB, A. M. R. S. Melhorias no Projeto Estrutural para Minimizar Patologias nas Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis: 2001.

KIMURA, A. Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado: cálculos de edifícios com o uso de sistemas computacionais, 1ª Edição. São Paulo: PINI LTDA, 2007. p. 624.

OLIVEIRA, D. F. Levantamento de causas de patologias na construção civil. Universidade do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Rio de Janeiro: 2013.

PFEIL, W. Concreto Armado, vol 1, 4ª edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 1990. 228p.

PINHEIRO, L. M. et al. Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Paulo: 2010.

REBELLO, Y.C.P. A concepção estrutural e a arquitetura. S. Paulo, Zigurate Editora, 2001, 271p.

SANTOS, R.E. A cultura do concreto armado no Brasil: educação e deseducação dos produtores do espaço construído. In: Anais do IV Congresso Brasileiro de História da Educação. Goiânia: Universidade Católica de Goiânia, 2006.

SILVA, A. R. Análise comparativa de custos de Sistemas Estruturais para pavimentos de Concreto Armado. Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Belo Horizonte: 2002.

TOMAZ, P. Cronologia da água em Guarulhos, São Paulo: 2006. 167 p.

TQS INFORMÁTICA LTDA. Disponível em <www.tqs.com.br>. Data de acesso: 21/03/2017.

VERGUTZ, A. J. Análise Comparativa de Resultados Obtidos em Softwares de Dimensionamento de Estruturas em Concreto. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Construção Civil, Curitiba: 2010.