



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE DE CUSTOS E ESTABILIDADE GLOBAL DE ESTRUTURAS
COM DIVERSAS CONCEPÇÕES DE PROJETO

GUILHERME MOREIRA COSTA

BARREIRAS-BA
MARÇO-2018

GUILHERME MOREIRA COSTA

**ANÁLISE DE CUSTOS E ESTABILIDADE GLOBAL DE ESTRUTURAS
COM DIVERSAS CONCEPÇÕES DE PROJETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do
Oeste da Bahia, como requisito à obtenção do grau de
Engenheiro Civil.

Orientador(a): Dr. Pedro Cláudio dos Santos Vieira

BARREIRAS-BA

MARÇO-2018

FICHA CATALOGRÁFICA

C837 Costa, Guilherme Moreira.

Análise de custos e estabilidade global de estruturas com diversas concepções de projeto. / Guilherme Moreira Costa. – 2018.
89f.il.

Orientador Prof. Dr. Pedro Cláudio dos Santos Vieira
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das
Tecnologias, Barreiras, BA, 2018.

1. Concreto Armado. I. Vieira, Pedro Cláudio dos Santos. II. Universidade
Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III.
Título.

CDD 693.54

GUILHERME MOREIRA COSTA

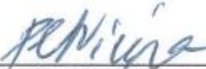
**ANÁLISE DE CUSTOS E ESTABILIDADE GLOBAL DE ESTRUTURAS
COM DIVERSAS CONCEPÇÕES DE PROJETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do
Oeste da Bahia, como requisito à obtenção do grau de
Engenheiro Civil.


Aprovada em 28 de março de 2018

Banca Examinadora


Orientador(a):



Dr. Pedro Cláudio dos Santos Vieira
Universidade Federal do Oeste da Bahia



Eng. Civil Claudio Alex de Oliveira Pires
Universidade Federal do Oeste da Bahia



Me. Kuelson Rândello Dantas Maciel
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Dedico este trabalho a minha mãe, Maria do Carmo, por todo o carinho e apoio que eu recebi nessa vida.

AGRADECIMENTOS

Esta etapa da vida representa a luta, persistência, aprendizado e amadurecimento, foi responsável por me fazer entender o que de fato importa, pois tudo acaba tornando-se experiência vivida.

Agradeço primeiramente a Deus, que me guiou, iluminou e protegeu por essa jornada.

A minha mãe que me deu todo o apoio e me proporcionou acreditar que conseguiria realizar este sonho, que um dia já foi tão distante.

A todos os familiares e amigos que de alguma forma me ajudaram a seguir em frente nessa caminhada. Agradecer a Deus novamente por me proporcionar tantas pessoas na minha vida que acreditam e apoiam na minha jornada. Que todas estas estejam citadas aqui, para não cometer o erro de esquecer alguém.

A minha namorada que sempre me apoiou nos momentos mais difíceis, dando carinho e conselhos para conseguir continuar batalhando para alcançar meus objetivos.

Ao meu orientador, Pedro Cláudio do Santos Vieira, que acreditou e sempre me motivou no propósito deste trabalho, além da sua atenção e disponibilidade para atender a qualquer dúvida que surgisse.

A todos os docentes da Universidade Federal do Oeste da Bahia, em especial aos componentes da banca examinadora, que contribuíram para a concretização do conhecimento transmitido em sala de aula.

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), por ter proporcionado condições de desenvolver este trabalho.

RESUMO

O processo de verticalização das cidades tem voltado cada vez mais a atenção dos engenheiros calculistas para a segurança estrutural de edificações de múltiplos pavimentos. As condições particulares relacionadas principalmente aos edifícios esbeltos remetem a escala dos carregamentos atuantes, sendo eles verticais e horizontais, onde a combinação dos mesmos geram os esforços responsáveis pela deformação da estrutura. Dessa forma, a análise da estabilidade global torna-se um requisito importante para a concepção de projetos de edifícios altos. Assim o objetivo deste trabalho, a partir de um caso real e com a utilização do *software* CYPECAD, é avaliar numericamente o comportamento da estrutura e os custos totais sob diversas concepções de projeto de um caso real executado na cidade de Nova Prata – RS, por meio de um critério de instabilidade detalhado, o coeficiente γ_z . Também foi possível efetuar a comparação com o método mais simplificado, o parâmetro α . As perspectivas adotadas funcionaram como base do estudo para avaliar também o desempenho das concepções perante o consumo de materiais e os custos de execução da estrutura. A partir da otimização do arranjo dos elementos estruturais e das dimensões dos mesmos, alcançou-se valores satisfatórios de estabilidade global pelo método do coeficiente γ_z , porém os resultados referentes ao parâmetro α apresentaram-se destoantes em relação com o γ_z . Efetuado a análise comparativa é possível perceber que a configuração composta por laje nervurada se apresenta mais viável economicamente, de acordo com os custos para execução da estrutura, representando reduções significativas no consumo dos componentes da estrutura.

Palavras-chave: estabilidade global, concepção estrutural, custos, estruturas mistas, estrutura de concreto armado.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parcelas dos gastos referentes a cada etapa do empreendimento.	32
Tabela 2 – Esquema de nomenclatura para as concepções estruturais.	43
Tabela 3 – Cargas de vento atuante em cada pavimento.	46
Tabela 4 – Taxas de consumos de materiais por área construída (CA30LMC).	51
Tabela 5 – Deslocamento horizontal máximo e parâmetros de instabilidade (CA30LMC). ...	53
Tabela 6 – Consumo referente aos materiais por elemento estrutural (CA30LMC).	53
Tabela 7 – Custos para cada elemento estrutural e custo total (CA30LMC).	53
Tabela 8 – Taxas de consumos de materiais por área construída (CA30LNB).	54
Tabela 9 – Quantitativo de cubetas para fôrma para laje nervurada (CA30LNB).	54
Tabela 10 – Deslocamento horizontal máximo e parâmetros de instabilidade (CA30LNB). ..	56
Tabela 11 – Consumo referente aos materiais por elemento estrutural (CA30LNB).	56
Tabela 12 – Custos para cada elemento estrutural e custo total (CA30LNB).	56
Tabela 13 – Taxas de consumos de materiais por área construída (CA30LSD).	57
Tabela 14 – Deslocamento horizontal máximos e parâmetros de instabilidade (CA30LSD). ..	57
Tabela 15 – Consumo referente aos materiais por elemento estrutural (CA30LSD).	59
Tabela 16 – Custos para cada elemento estrutural e custo total (CA30LSD).	59
Tabela 17 – Taxas de consumos de materiais por área construída (CA45LMC).	61
Tabela 18 – Deslocamento horizontal máximo e parâmetros de instabilidade (CA45LMC). .	61
Tabela 19 – Consumo referente aos materiais por elemento estrutural (CA45LMC).	61
Tabela 20 – Custos para cada elemento estrutural e custo total (CA45LMC).	62
Tabela 21 – Síntese das deformações e parâmetros de estabilidade global.	64
Tabela 22 – Tabela resumo de consumo de concreto em m ³	66
Tabela 23 – Tabela resumo do consumo de aço em Kg.	67
Tabela 24 – Tabela resumo do consumo de fôrma em m ²	69
Tabela 25 – Tabela resumo de custos de cada estrutura.	69
Tabela 26 – Tabela resumo dos custos totais.	71
Tabela 27 – Orçamento do modelo “CA30LMC”.	78
Tabela 28 – Orçamento do modelo “CA30LNB”.	80
Tabela 29 – Orçamento do modelo “CA30LSD”.	83
Tabela 30 – Orçamento do modelo “CA45LMC”.	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Recomendações estruturais em relação com a quantidade de andares.	16
Figura 2 – Distribuição dos carregamentos em uma edificação de múltiplos pavimentos.....	17
Figura 3 – Perspectiva de parte de uma edificação.	19
Figura 4 – Algumas tipologias de lajes.	20
Figura 5 – Disposição de laje maciça de concreto armado.....	21
Figura 6 – Tipo de aderência para lajes mistas.....	22
Figura 7 – Vista inferior de laje tipo <i>steel deck</i>	23
Figura 8 – Execução de laje nervurada com moldes de plástico reforçado.....	23
Figura 9 – Laje nervurada bidirecional.....	24
Figura 10 – Ruptura devido a punção de lajes para pilares internos, de borda e de canto.	25
Figura 11 – Exemplo da disposição das armaduras de punção no entorno do pilar.....	26
Figura 12 – Sistema de transmissão de forças em uma viga.	26
Figura 13 – Execução de pilar de seção retangular com fôrma metálica.	27
Figura 14 – Modelos de sapatas de fundação.	29
Figura 15 – Sapatas isoladas de fundação.	30
Figura 16 – Edificações mais altas do Brasil e perspectivas futuras.	32
Figura 17 – Relação das edificações mais altas do mundo e perspectivas futuras.....	33
Figura 18 – Modelos de contraventamentos e suas respectivas deformadas.....	37
Figura 19 – Interface do programa CYPECAD para a alocação de dados de lajes.....	40
Figura 20 – Planta arquitetônica do pavimento tipo referente a edificação de estudo.	42
Figura 21 – Cargas acidentais (SCU) e cargas permanentes (CP) utilizadas.	45
Figura 22 – Dados relativos às cargas de vento na edificação.	46
Figura 23 – Vista tridimensional do edifício.	47
Figura 24 – Detalhes da fôrma da laje nervurada.	48
Figura 25 – Dimensões das formas bidirecionais ATEX 600x150 para laje nervurada.	48
Figura 26 – Detalhes de fôrmas das lajes <i>steel deck</i>	49
Figura 27 – Especificações da laje Steel Deck Metform MF-75.....	49
Figura 28 – Planta de fôrma referente ao pavimento tipo do modelo “CA30LMC”.....	52
Figura 29 – Planta de fôrma referente ao pavimento tipo do modelo “CA30LNB”.	55
Figura 30 – Planta de fôrma referente ao pavimento tipo do modelo “CA30LSD”.....	58
Figura 31 – Planta de fôrma referente ao pavimento tipo do modelo “CA45LMC”.....	60
Figura 32 – Valores de γ_z na direção x para cada sistema estrutural adotado.	63
Figura 33 – Valores de γ_z na direção y para cada sistema estrutural adotado.	63
Figura 34 – Índice de concreto por área construída (m^3/m^2) para cada concepção estrutural. .	65
Figura 35 – Consumo de concreto em m^3 para cada concepção estrutural.	65
Figura 36 – Índice de aço por área construída (kg/m^2) para cada concepção estrutural.	66
Figura 37 – Consumo de aço em kg para cada sistema estrutural.	67
Figura 38 – Índice de fôrmas por área construída (m^2/m^2) para cada concepção estrutural....	68
Figura 39 – Consumo de fôrmas em m^2 para cada concepção estrutural.	68
Figura 40 – Relação de custos para cada concepção estrutural.	69

Figura 41 – Comparativo de custos totais para cada concepção estrutural.	71
Figura 42 – Diferenças percentuais dos custos totais em relação com o “CA30LMC”.....	71

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL	15
2.2 ELEMENTOS ESTRUTURAIS	18
2.2.1 Laje	19
2.2.1.1 Lajes Maciças.....	20
2.2.1.2 Lajes Mistas (<i>Steel Deck</i>).....	22
2.2.1.3 Lajes Nervuradas.....	23
2.2.1.4 Punção em Lajes.....	25
2.2.2 Viga	26
2.2.3 Pilares	27
2.2.4 Fundação	28
2.3 ESTIMATIVAS DE CUSTO	30
2.4 ESTABILIDADE GLOBAL	32
2.4.1 Instabilidade Global: Efeitos de 1ª e 2ª Ordem	34
2.4.2 Parâmetro De Instabilidade Alfa (α)	35
2.4.3 Coeficiente Gama-Z (γ_z)	37
2.5 FERRAMENTAS DE CÁLCULO	38
3. MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	41
3.2 ESTUDO DE CASO	42
3.3 SISTEMAS ESTRUTURAIS ADOTADOS	43
3.3.1 Sistema Estrutural CA30LMC	43
3.3.2 Sistema Estrutural CA30LNB	43
3.3.3 Sistema Estrutural CA30LSD	44
3.3.4 Sistema Estrutural CA45LMC	44
3.4 FERRAMENTAS DE CÁLCULO E ANÁLISE ESTRUTURAL	44
3.5 CRITÉRIOS DE CUSTOS	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 ESTUDOS DE CASO	51
4.1.1 Sistema Estrutural CA30LMC	51
4.1.2 Sistema Estrutural CA30LNB	54
4.1.3 Sistema Estrutural CA30LSD	57
4.1.4 Sistema Estrutural CA45LMC	59
4.2 SÍNTESE DOS RESULTADOS E AVALIAÇÃO COMPARATIVA	62
4.2.1 Estabilidade Global	62

4.2.2 Consumo de Concreto.....	65
4.2.3 Consumo de Aço.....	66
4.2.4 Consumo de Fôrma.....	67
4.2.5 Comparativo de Custos.....	69
CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS.....	75
APÊNDICE A.....	78

1. INTRODUÇÃO

O aperfeiçoamento das técnicas de engenharia tem permitido idealizar estruturas cada vez mais arrojadas e otimizadas, em todos os seus aspectos. O surgimento de novas tecnologias e a expansão inerente do mercado da construção civil promove perspectivas mais abrangentes e soluções mais viáveis para a formulação de edificações.

O papel do engenheiro estruturalista está atrelado aos processos que envolvem todos os estágios da concepção de um empreendimento, desde o planejamento, projeto, construção e manutenção. Diante aos diversos sistemas estruturais e da vasta quantidade dos materiais disponíveis para a sua execução, as construções devem ter segurança garantida para resistir às ações que serão impostas tanto na sua fase de execução do empreendimento quanto na sua vida útil, podendo variar de solicitações permanentes e acidentais, causadas pela sua utilização e por fenômenos naturais específicos. (MARTHA, 2010)

Os critérios de segurança estrutural são regidos pelas normas nacionais vigentes e incorporam os parâmetros utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. Dentre as condições de estudo, destaca-se aqui a análise de estabilidade global, conforme a NBR 6118 (2014), “Projeto de estruturas de concreto – procedimento”, que representa o comportamento da estrutura perante as solicitações impostas. A norma indica dois métodos aplicáveis para a determinação da instabilidade em edifícios: o parâmetro alfa (α), que apresenta uma abordagem mais simplificada, e o coeficiente gama-z (γ_z), mais realista por avaliar a deformação em parcelas de atuação.

As diversas tipologias de sistemas estruturais difundidos detêm de características específicas que podem ser decisivas para a escolha da melhor opção a ser executada. Essas particularidades remetem geralmente a algum aspecto prático, por exemplo: a possibilidade de vencer vãos maiores das lajes nervuradas, a rapidez na execução das lajes mistas, a formulação de peças mais esbeltas com a elevação da resistência do concreto, dentre outros.

Clímaco (2016) estabelece que os fatores necessários para que se tenha eficácia na concepção de um projeto estrutural são a segurança, funcionalidade, durabilidade e economia. Executados de forma integrada e eficiente, esses fatores são intrínsecos a qualidade e desempenho estrutural de um empreendimento.

Visto que os fatores técnicos e construtivos de uma edificação fazem parte do conhecimento de engenharia civil, os critérios para a escolha de uma determinada concepção estrutural dependem de fatores essencialmente econômicos. Assim, é necessário ter uma visão

integrada de todo o escopo disponível para o planejamento e execução de uma construção. (GIONGO, 2007)

Essa assimilação de informações geralmente compreende um escopo bastante abrangente, apresentando inúmeras variáveis, exigindo o emprego de recursos computacionais para sua manipulação. Segundo Martha (2010), a utilização da informática para análise estrutural vem sendo desenvolvida desde a década de 1960 e começou a ser usada a princípio apenas em institutos de pesquisa e universidades. A partir da criação de programas gráficos interativos, essa prática passou a ser corriqueira em escritórios de cálculo estrutural e empresas de consultoria.

Kimura (2007) destaca que o desenvolvimento dos ambientes computacionais destinados a aplicação dos conhecimentos de engenharia estrutural trouxe grandes avanços na concepção de empreendimentos de características cada vez mais complexas e inovadoras. Entretanto, a possibilidade da manipulação virtual de serviços de engenharia tem deixado de lado a análise e a aplicação de conceitos teóricos e práticos. Assim, tais *softwares* devem servir como forma auxiliadora na aplicação do conhecimento, com o domínio sobre as suas limitações e adaptações da representação real para a computacional.

1.1 JUSTIFICATIVA

A verticalização é um processo inerente ao crescimento dos aglomerados urbanos. Dessa forma, a demanda por construções de múltiplos pavimentos exige do engenheiro calculista análises sob condições específicas, que remete, dentre outras coisas, à segurança estrutural da edificação diante as deformações eventuais no seu arranjo de elementos construtivos.

O papel do estruturalista parte do princípio da otimização dos recursos disponíveis para a realização eficiente do empreendimento almejado. Portanto, a avaliação minuciosa das possibilidades de concepções compatíveis com o projeto é um fator crucial para escolher o melhor modelo estrutural a ser executado. Justificando, assim, a importância do conhecimento sobre o comportamento de diferentes concepções de projeto sob critérios de estabilidade global e a avaliação das soluções economicamente mais viáveis.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar numericamente o comportamento estrutural e custos total para diferentes concepções de projeto de um caso real executado na cidade de Nova Prata – RS, sob o critério de nós fixos de estabilidade global, utilizando o coeficiente γ_z .

1.2.2 Objetivos Específicos

- Formular modelos de análise estrutural através do software computacional CYPECAD versão 2016.o;
- Analisar a estabilidade global de cada concepção estrutural e comparar os resultados obtidos entre o parâmetro α e o coeficiente γ_z ;
- Obter os quantitativos de consumo e os valores de custos para cada tipologia adotada, onde foi selecionada três concepções utilizando modelos de laje distintos (maciça convencional, nervurada bidirecional e *steel deck*) com concreto armado C30 e uma concepção contemplada com laje maciça e concreto tipo C45;
- Efetuar a análise comparativa dos resultados obtidos para cada sistema estrutural.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A idealização de uma edificação demanda ao engenheiro civil, a princípio, uma visão global sobre o papel e a interferência que tal estrutura exercerá sobre o meio pré-estabelecido. Dessa forma, é possível definir os pontos e sistemas específicos norteados pelas normas vigentes, pelas interações entre os diversos elementos constituintes e pelas limitações exigidas pelo panorama construtivo e econômico ao qual se encontra.

Martha (2010) estabelece que o projeto estrutural tem o objetivo de satisfazer todas as necessidades a qual a construção anseia, estando de acordo com os fatores de segurança, condições de utilização, econômicas, estéticas, ambientais, construtivas e restrições legais. A especificação de uma estrutura de forma completa com suas inúmeras e complexas etapas deve ser desenvolvida com base nos critérios normativos e pelo conhecimento técnico da área.

Em suma, o projeto de uma edificação de múltiplos pavimentos remete a um vasto conhecimento que busca inter-relacionar todos os fatores determinantes da construção, que engloba os mecanismos referentes aos sistemas estruturais e as interdependências entre o escopo arquitetônico e a integração do equipamento técnico. (ENGEL, 2006)

Quanto aos requisitos mínimos de qualidade da estrutura, a NBR 6118 (2014) classifica-os de acordo com a construção, serviço e aos requisitos adicionais determinados entre o engenheiro responsável pelo projeto estrutural e o contratante, sendo eles:

- a. Capacidade resistente: refere-se a segurança à ruptura;
- b. Desempenho de serviço: dito como a capacidade da estrutura de manter sua utilização na sua toda sua vida útil de forma íntegra;
- c. Durabilidade: confere a capacidade da estrutura de resistir às solicitações previstas de características ambientais e definidas no projeto estrutural.

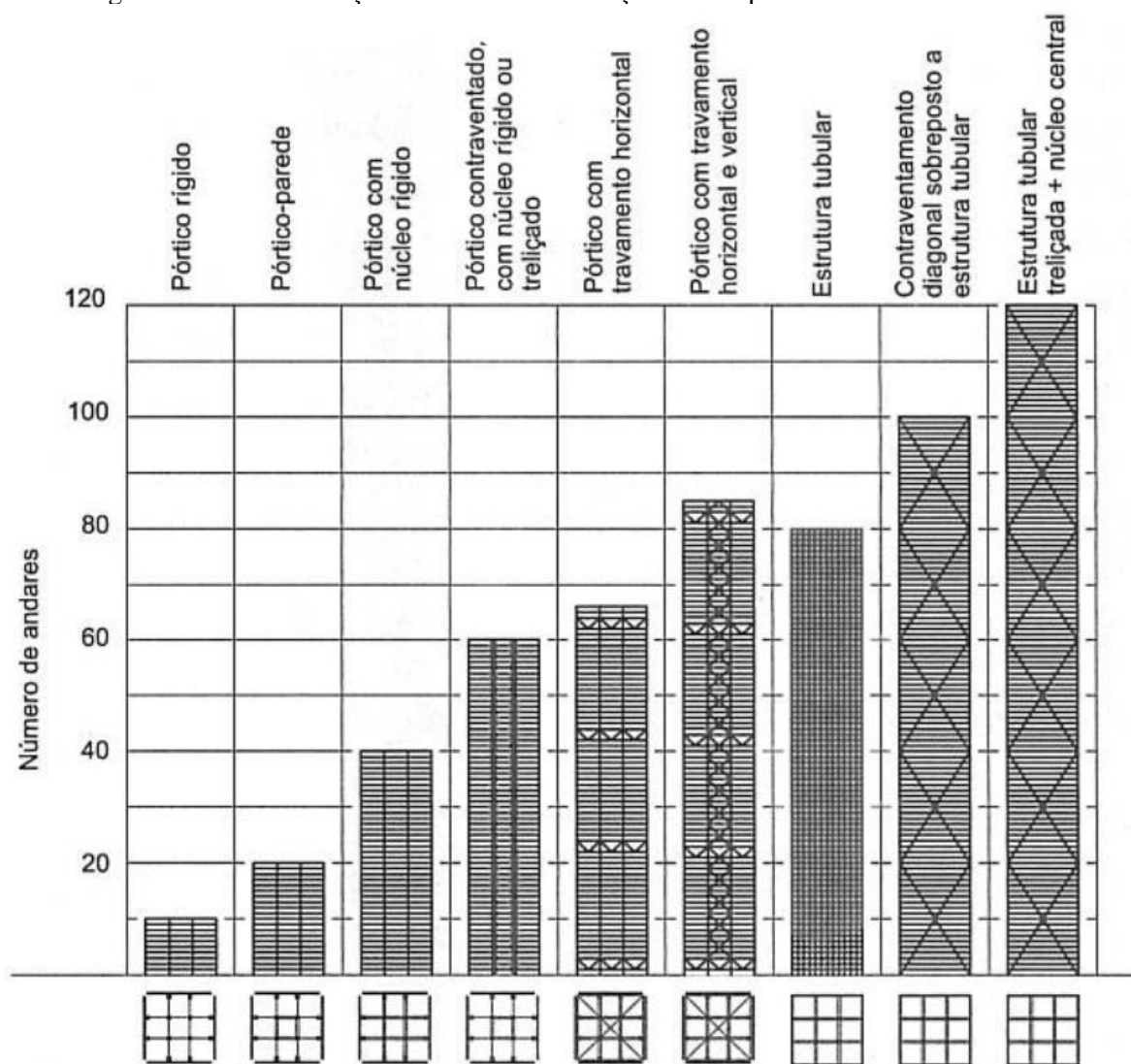
2.1 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

Conforme definido por Pinheiro (2004), esta etapa é uma das mais importantes no projeto estrutural e envolve estabelecer os elementos a serem utilizados e determinar a disposição dos mesmos de forma mais adequada e eficiente, com o intuito de configurar um arranjo resistente aos esforços internos e externos e transmiti-los ao solo de fundação. Além disso, tal solução estrutural deve estar de acordo com os requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas.

Clímaco (2016) destaca também que cada tipo de estrutura, em conformidade com sua finalidade, pode exigir apreciações específicas para cada caso de atuação, como por exemplo: vencer um vão, como nas pontes; definir um espaço, tanto nos edifícios residências quanto comerciais; ou conter um empuxo, como nas paredes de contenção e tanques. Tais restrições requerem análises especiais e específicas para a otimização da construção quanto a sua função, afinal, a estrutura é apenas um subsistema da edificação e demanda uma interação entre os demais componentes de forma eficiente.

A Figura 1 indica algumas tipologias de concepções estruturais adequadas de acordo com a quantidade de pavimentos da edificação,

Figura 1 – Recomendações estruturais em relação com a quantidade de andares.

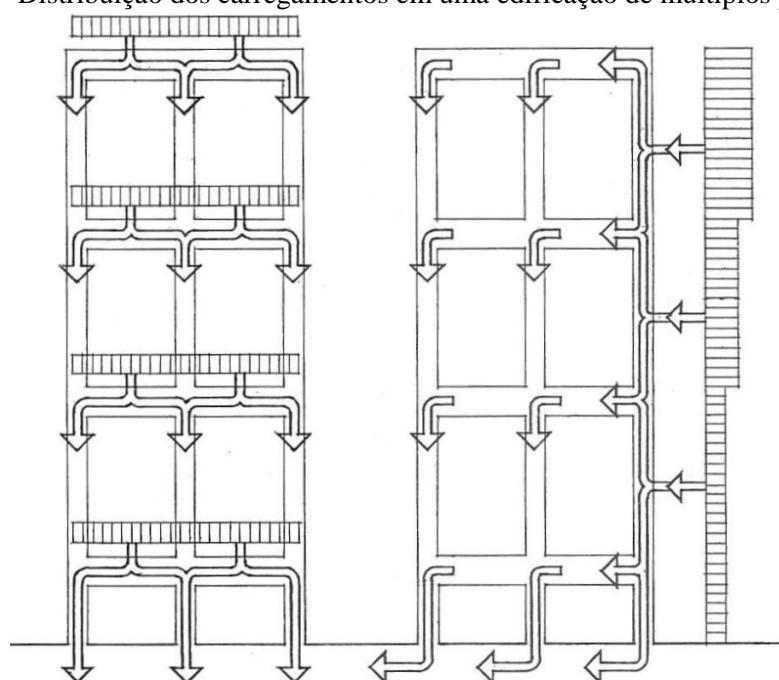


Fonte: Neufert (2013).

Giongo (2007) ressalta que o arranjo estrutural e as ações presentes na edificação estão intimamente ligadas. De fato, o objetivo primordial do sistema estrutural é a coleta dessas ações e a transmissão deste fluxo para um ambiente teoricamente resistente e seguro, o solo de fundação. Afinal, o encaminhamento das ações verticais de piso e cobertura é transferido para subsistemas horizontais bidimensionais, atuando como diagramas e conectores dos componentes verticais que recebem esses esforços e resistem às forças horizontais. Assim, a determinação desses dois subsistemas deve ser efetuada de forma simultânea, pois os mesmos estabelecem uma relação de interdependência. O autor enfatiza ainda que os sistemas e ligações estruturais devem ser exequíveis, além de representar a solução mais coerente e passível de realização.

Outro ponto importante, apresentado por Engel (2016), refere-se à configuração dos componentes do sistema estrutural que deve ser pautada, como já citado, na distribuição dos pontos coletores das cargas (Figura 2), mas também pelas considerações relativas a utilização dos pavimentos. Muitas das vezes a concepção de uma edificação deve ser flexível a alterações não estruturais que podem ser distintas para cada pavimento, como por exemplo uma edificação residencial com *layouts* diferentes e passíveis de mudança para cada apartamento. Assim, os projetos de edifícios de múltiplos pavimentos têm como meta a maior redução possível da quantidade e da seção dos elementos verticais de transmissão de cargas, a fim de otimizar o uso da área da planta.

Figura 2 – Distribuição dos carregamentos em uma edificação de múltiplos pavimentos.



Fonte: Engel (2006).

2.2 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Segundo Clímaco (2016), a estrutura pode-se definir como sendo o conjunto das partes que emula resistência a uma edificação. Dessa maneira, é importante ter o conhecimento do comportamento de cada peça ou elemento estrutural que conferem esta característica a construção. Essa análise, de forma compensatória e a partir dos modelos esquemáticos próprios, devem estar de acordo com os conceitos existentes na Teoria das Estruturas. O autor ainda enfatiza que simplificações, de forma coerente, na concepção de um projeto é necessária para a solução mais adequada dos problemas reais envolvendo as interações entre os elementos e quanto a função individual de cada componente.

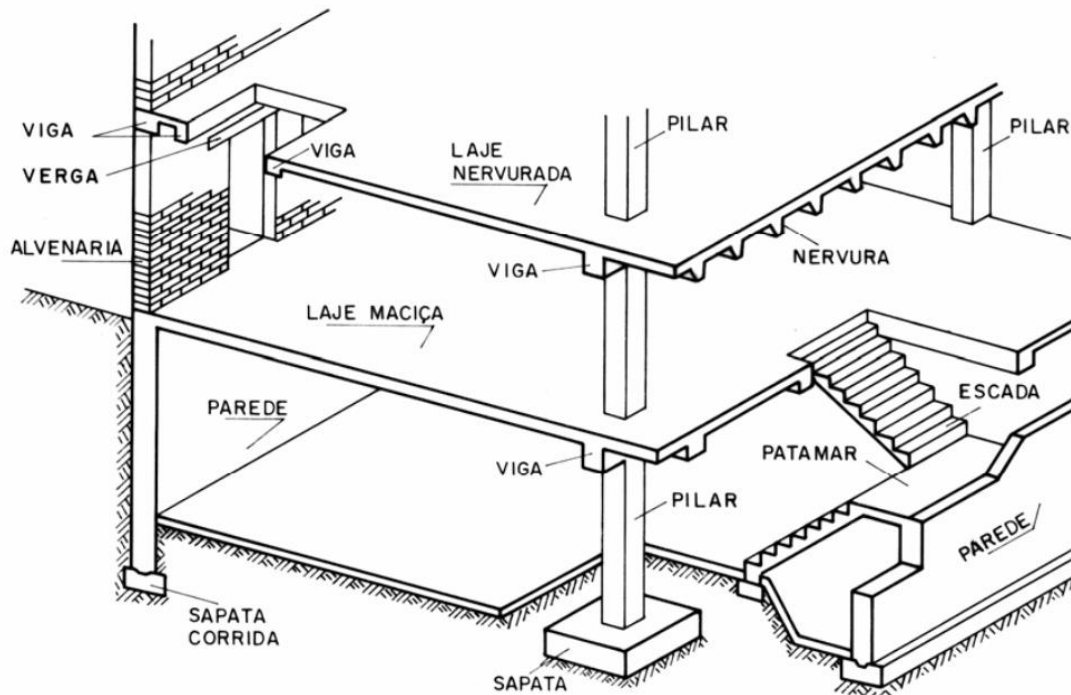
A NBR 6118 (2014) estabelece que o critério para a classificação dos elementos estruturais, ditos básicos, está de acordo com a sua forma geométrica e a sua função estrutural. Assim, define-se dois tipos gerais, seguidos dos respectivos elementos específicos:

- a. Elementos lineares: também conhecidos como barras, são aqueles em que o comprimento longitudinal excede em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal. Tais elementos englobam as vigas, os pilares, os tirantes e os arcos;
- b. Elementos de superfície: podem ser caracterizados como aqueles elementos em que uma dimensão é consideravelmente pequena em relação às demais. Pode-se destacar então as placas, chapas, cascas e pilares-parede.

As construções habituais existentes de concreto armado possuem elementos estruturais padrões, sendo composto pelas lajes, vigas e pilares ou ainda pela união destes elementos, como é o caso de escadas que configura composições de lajes e/ou vigas. Temos ainda as fundações, sendo elas superficiais ou profundas, que recebe o carregamento vindo dos pilares e transfere para o solo. É importante destacar que cada elemento estrutural deve ter resistência compatível com o projeto arquitetônico e com os esforços solicitantes e tendo a segurança de acordo com os critérios normativos estabelecidos pelos Estados Limites de Serviço (ELS) e Estados Limites Últimos (ELU). (GIONGO, 2007)

Na figura 3 é possível identificar as algumas disposições de cada elemento da edificação. Essa interação espacial varia de acordo com as suas ligações e delimitações tanto de caráter estrutural quanto arquitetônico.

Figura 3 – Perspectiva de parte de uma edificação.



Fonte: Giongo (2007).

2.2.1 Laje

Clímaco (2003) define os elementos estruturais intitulados de lajes como sendo componentes laminares que ficam sujeitos principalmente por cargas normais à sua superfície média e comumente tem a função de resistir às solicitações de utilização que atuam na estrutura. Dessa maneira, as lajes suportam diretamente as ações das cargas distribuídas, lineares e pontuais em superfície e se enquadram como elementos constituinte da estrutura terciária da superestrutura, isto é, transmitindo o carregamento para o segundo e primeiro nível da superestrutura, geralmente as vigas e os pilares, respectivamente.

Analisando geometricamente, pode-se classificar as lajes como elementos planos bidimensionais, onde o comprimento e a largura são da mesma ordem de grandeza, porém muito maiores que a espessura. Fato este que podem ser denominados de elementos de superfície ou placas. No caso das lajes lisas, as ações podem ser transmitidas diretamente para os pilares, onde normalmente se encontra uma região de elevada tensão interna, surgindo a necessidade da armadura de punção. (BASTOS, 2015)

Giongo (2007) enfatiza que em estruturas comuns de edifícios as lajes retêm aproximadamente a metade do consumo total de concreto da construção, indicando mais um fator importante para a necessidade da análise detalhada desse elemento crucial dos

empreendimentos de múltiplos pavimentos. Para o processo de modelagem estrutural e comparação de custos será discorrido e avaliado os seguintes tipos: lajes maciças convencionais, lajes *steel deck* e lajes lisas nervuradas. Na Figura 4 apresenta-se, inclusive, alguns tipos de laje aplicadas na construção de edifícios.

Figura 4 – Algumas tipologías de lajes.



1. Laje Maciça



2. Maciça Protendida



3. Bubble Deck



4. Steel Deck



5. Laje Nervurada



6. Placa Alveolar



7. Premoldada Lajota



8. Premoldada EPS



9. Premoldada Painel

Fonte: Construção Civil (<http://profqualificado.blogspot.com.br/2015/08/alguns-tipos-de-lajes.html>)

2.2.1.1 Lajes Maciças

Bastos (2014) define as lajes maciças como sendo os elementos estruturais de superfície constituídos em toda a sua espessura por concreto, contendo as armaduras longitudinais que configuram a resistência a flexão do elemento estrutural e as armaduras transversais eventuais. A laje maciça se diferencia da lisa protendida e cogumelo, dentre outras coisas, por ser apoiada em vigas ou alvenaria, mas também pode ter apoios em borda livre que é comum às demais lajes. Sua espessura em geral varia de 7 cm a 15 cm e é comumente empregada a diversos tipos de construção, entre elas: edifícios de múltiplos pavimentos, muros de arrimo, escadas, reservatórios, dentre outras.

Algumas características específicas desse tipo de laje podem ser determinantes para a sua escolha na concepção de uma edificação. Carvalho e Pinheiro (2013) apresenta considerações que destacam as principais vantagens do seu uso, dentre elas:

- Rigidez global acentuada devido a sua aplicação em estruturas comumente dotadas de diversos pórticos, em um sistema de vigas e pilares com vãos limitados;
- Dimensionamento por métodos simplificados e bastante difundidos;
- Método de execução tradicional, sem a necessidade equipamentos ou técnicas especiais;
- Vasta mão-de-obra disponível e capacitada, principalmente pelo fato de se utilizar métodos tradicionais.

Por outro lado, algumas limitações desse sistema podem inviabilizar a sua aplicação em certos tipos de edificações. Carvalho e Pinheiro (2013) esclarece:

- A limitação dos vãos e a execução de elevada de vigas acarretam a utilização de muitas fôrmas e recortes, aumentando o tempo de execução e conseqüentemente uma baixa produtividade;
- Essa alta quantidade de elementos estruturais constituintes do sistema também remete a um elevado peso próprio e tendo como resultado um elevado consumo de fôrmas, concreto e aço;
- Mesmo sendo um tipo de laje largamente presente nas construções nacionais pelo fato de não apresentar aspectos técnicos especiais, a sua execução pode trazer dificuldades devido a configuração das armaduras, recortes de fôrmas e a inserção do vibrador durante a concretagem.

A Figura 5 representa a configuração de uma laje maciça convencional.

Figura 5 – Disposição de laje maciça de concreto armado.

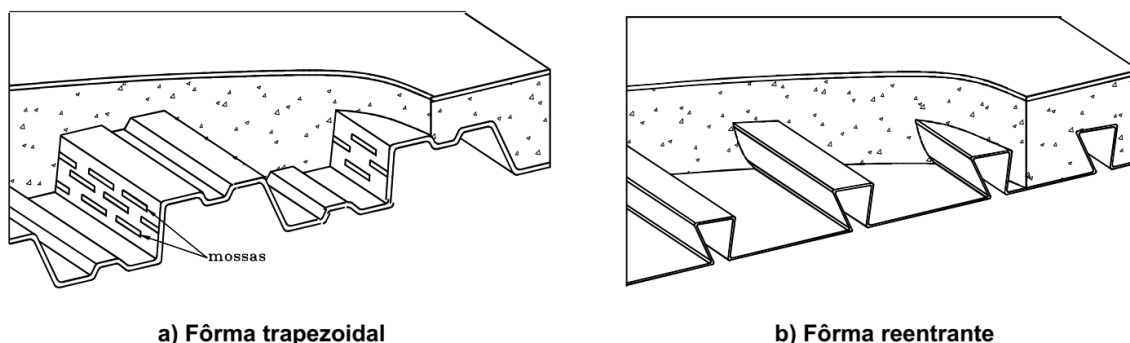


Fonte: Doce Obra (<https://casaconstrucao.org/materiais/tipos-de-lajes>)

2.2.1.2 Lajes Mistas (*Steel Deck*)

Segundo Pfeil (2009), referem-se às lajes de concreto moldadas *in loco* sobre fôrma composta de chapa corrugada de aço. Ela se destaca pelo fato da chapa de aço poder ter a função de escoramento e fôrma na fase construtiva e agir como armadura positiva na fase de utilização. Como a aderência entre o concreto e aço não é garantida de forma ativa, as chapas possuem características geométricas específicas como as *mossas* na superfície do painel e reentrâncias que permitem o travamento entre o concreto e o aço, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Tipo de aderência para lajes mistas.



Fonte: NBR 8800 (2008).

Devido a configuração dos elementos estruturais variarem de acordo com a concepção do projeto, que proporciona situações com maior carregamento que outras, é possível, quando necessário, reforçar o sistema com armaduras inferiores, atendendo as exigências das solicitações e evitando a utilização de chapas mais espessas e mais caras. Em geral, segundo Bellei, Pinho e Pinho (2008), as características que destoam dos outros tipos de lajes geram influências diretas no tempo de construção e nos custos totais das lajes, dentre elas: não necessita de fôrma; execução sem escoramento, caso atenda aos vãos limites pré-estabelecidos; serve como plataforma de trabalho para a obra; e permite utilizar viga mista.

Para combater a fissuração do concreto é preciso uma armadura de tela soldada disposta na parte superior da laje. A aceitação desse tipo de laje vem ganhando cada vez mais força, em concorrência com as lajes maciças convencionais, principalmente devido aos seus ganhos com produtividade.

Na Figura 7 é possível visualizar a disposição referente a chapa de aço, semelhante a uma telha de aço galvanizado, além do arranjo uniforme e distribuído de vigas do sistema de pórticos.

Figura 7 – Vista inferior de laje tipo *steel deck*.

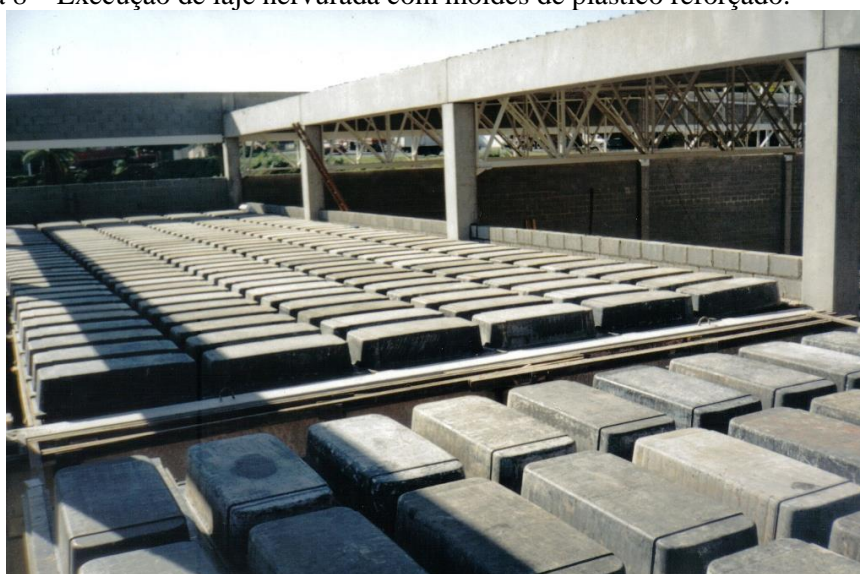


Fonte: Metform S. A. (<http://www.metform.com.br>)

2.2.1.3 Lajes Nervuradas

A NBR 6118 (2014) define essas de lajes específicas como sendo aquelas “moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte”. Na Figura 8 apresenta a execução de uma laje nervurada com os moldes localizados na região sem armadura.

Figura 8 – Execução de laje nervurada com moldes de plástico reforçado.



Fonte: Atex Brasil (<https://www.flickr.com/photos/atex/8341871599>)

Esses componentes situados entre as nervuras funcionam como fôrma juntamente com o assoalho inferior e não colaboram com a resistência da estrutura. Bastos (2014) esclarece que tais elementos de enchimento podem ser constituídos por materiais específicos, dentre eles temos os que ficam incorporados às lajes (bloco cerâmico furado, bloco de concreto, bloco de concreto celular autoclavado e isopor) e ainda materiais poliméricos reforçados que podem ser alugados e reutilizados.

As características estruturais das lajes nervuradas proporcionam atender a requisitos que as maciças convencionais geralmente não alcançam ou oneram ainda mais o consumo da obra. Dentre as principais vantagens, Carvalho e Pinheiro (2013) destaca:

- Consegue vencer grandes vãos, característica importante para determinados arranjos arquitetônicos;
- Sua execução se assemelha em parte às lajes maciças convencionais, não necessitando de técnicas especializadas.
- Pode ser empregada a diversos tipos de edificações;
- São adequadas aos sistemas sem vigas, onde é necessário apenas regiões maciças de combate a punção no entorno de pilares;
- Consomem menos concreto e aço comparado a outros a sistemas similares;
- Podem suportar cargas mais elevadas.

Por outro lado, sua configuração exige que o edifício atinja maiores alturas, além de apresentarem dificuldades para a passagem de tubulações. A Figura 9 a seguir apresenta a vista inferior de uma laje nervurada.

Figura 9 – Laje nervurada bidirecional.



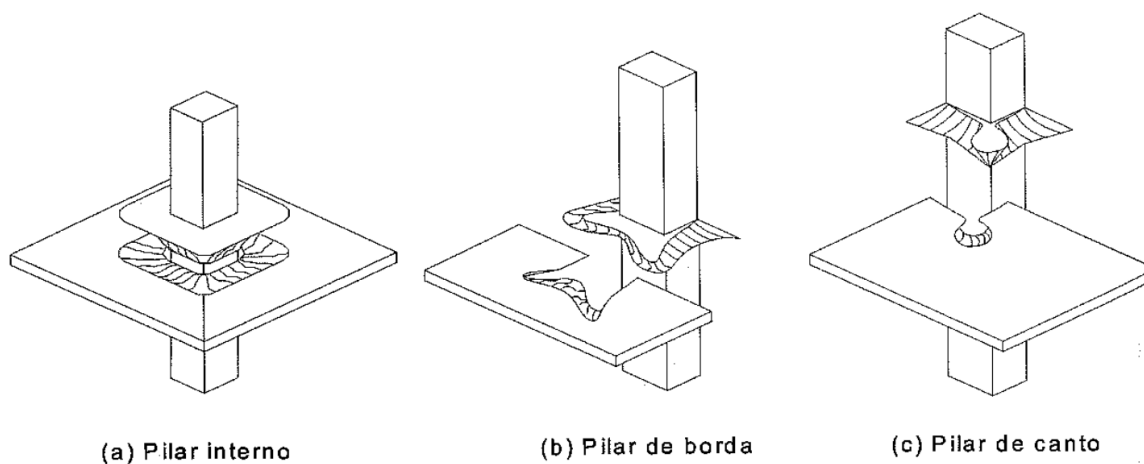
Fonte: Atex Brasil (<https://www.flickr.com/photos/atex/8342707196>)

2.2.1.4 Punção em Lajes

De acordo com Botello e Marchetti (2015), esse fenômeno ocorre devido a incidência de cargas concentradas de forma perpendicular ao plano médio da estrutura da laje, essa ação pontual provoca um acúmulo de tensão na região circunvizinha de sua atuação, caracterizado pelo cisalhamento no entorno de forças concentradas. A região de ruptura desse fenômeno assemelha-se ao formato tronco-cônico que pode destacar-se da estrutura, em situações onde a armadura e a resistência à tração do concreto não estejam em conformidade com a ação desse carregamento específico.

Os autores destacam ainda que as cargas que exigem o dimensionamento de região com armadura à punção são originárias de pés de máquinas pesadas, andaimes tubulares e sapatas de pequena altura com pilares atuando em área reduzidas. Dessa forma é comumente necessária a sua aplicação no entorno de pilares que sustentam lajes nervuradas. Na figura 10, é ilustrado representações de rupturas ocasionadas pela ação do puncionamento no entorno de diferentes tipos de pilares.

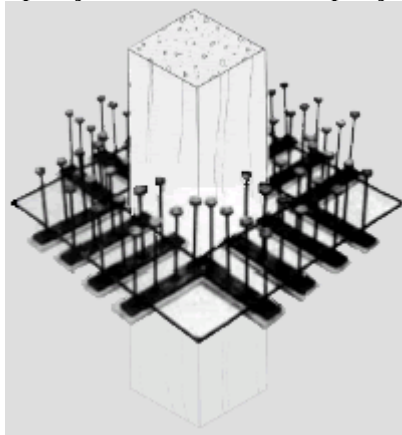
Figura 10 – Ruptura devido a punção de lajes para pilares internos, de borda e de canto.



Fonte: Carvalho e Pinheiro (2013).

A NBR 6118 (2014) estabelece verificações relativas ao puncionamento de lajes de acordo com as superfícies críticas com o intuito de definir a necessidade de armadura transversal. Vale ressaltar que a norma não indica o uso de estribos como a gente de combate ao cisalhamento por punção, mas sim tipos específicos de conectores pré-fabricados e colocados na região de ligação, conforme Figura 11.

Figura 11 – Exemplo da disposição das armaduras de punção no entorno do pilar.

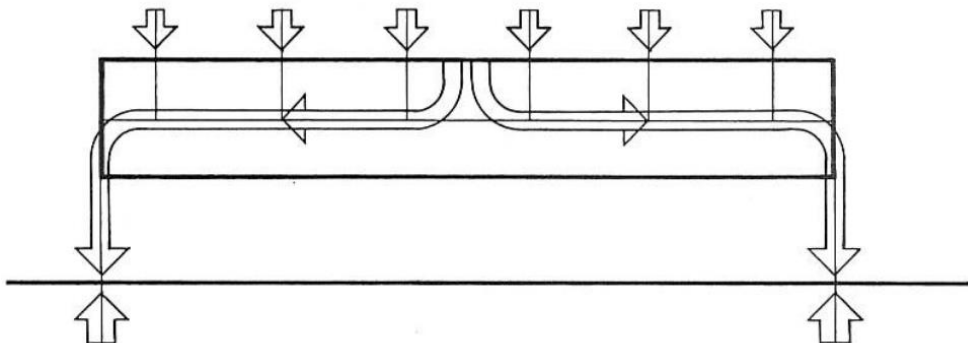


Fonte: AltoQi (<http://faq.altoqi.com.br/content/297/713/pt-br/detalhamento-de-lajes-a-punção.html>)

2.2.2 Viga

Engel (2006) define a viga como sendo um elemento estrutural linear que tem a capacidade de resistir à flexão, e em casos específicos à torção. Caracterizada como um dos componentes que configuram a estabilidade e a capacidade de suporte das estruturas autoportantes, a viga tem a capacidade de resistir tanto aos carregamentos atuantes na direção do seu eixo quanto aos que incidem perpendicularmente e ainda transmitir o fluxo de carga ao longo do mesmo até seus extremos, de acordo com a Figura 12. Elas atuam nos sistemas estruturais conhecidos como pórticos através da combinação com os pilares, onde as conexões rígidas entre eles permitem formar um sistema coesivo de múltiplos componentes resistentes a deformação.

Figura 12 – Sistema de transmissão de forças em uma viga.



Fonte: Engel (2006).

Geometricamente pode-se descrever a viga, de acordo com a NBR 6118 (2014), com sendo aqueles elementos lineares em que o seu “comprimento longitudinal supera em pelo

menos três vezes a maior dimensão da seção transversal” e é solicitado primordialmente por esforços de flexão. Assim, segundo Clímaco (2016), o dimensionamento das vigas de concreto armado é concebido através da compatibilização das armaduras longitudinais e transversais, que são avaliadas isoladamente a princípio para o combate da flexão pura e dos esforços de cisalhamento, respectivamente.

2.2.3 Pilares

Carvalho e Pinheiro (2013) esclarece que o elemento estrutural denominado de pilar recebe habitualmente ações de compressão, podendo estas serem normais ou oblíquas. Esta característica configura nesse tipo de elemento pelo fato do mesmo estar disposto geralmente no eixo vertical, salvo os casos intencionalmente inclinados, recebendo os carregamentos das vigas ou lajes e transmitindo-os para a fundação. Quanto a sua geometria, são caracterizados por terem o comprimento bem maior que as outras duas dimensões, a seção transversal, e usualmente são executados com formas prismáticas (Figura 13) ou cilíndricas.

O autor ainda ressalta as dificuldades a respeito do dimensionamento desse elemento estrutural, visto que estão sujeitos à flexão composta, devido ao tipo de incidência dos carregamentos, e à flambagem, relacionada em geral à esbeltez da peça estrutural e das condições de apoio.

Figura 13 – Execução de pilar de seção retangular com fôrma metálica.



Fonte: Direct Industry (<http://www.directindustry.com/prod/paschal-werk-g-maier/product-56383-366843.html>)

Pinheiro (2004), apresenta algumas recomendações para a alocação de pilares em uma edificação, a princípio aconselha-se dispor a partir dos cantos, delimitado pelo projeto de arquitetura. Em seguida, indica-se alocar os elementos referentes às áreas usualmente comuns a todos os andares, a exemplo da área de elevadores e de escadas, dando atenção a posição do reservatório superior. Assim, os demais pilares (os internos e os de extremidade) podem ser dispostos de acordo com as características arquitetônicas do empreendimento. Outra prática perspicaz para na concepção de uma edificação mais segura é a preferência pelo alinhamento dos pilares, isto permite a formação de pórticos com as vigas que os unem, trazendo mais estabilidade a estrutura.

O autor comenta também que a distâncias entre os pilares pode acarretar em dimensões extrapoladas nos casos de vãos muito grandes e interferências entre elementos de fundação considerando pilares muito próximos. De qualquer forma, essas disposições incompatíveis com a execução do projeto trazem custos extras a construção, que se relacionam tanto pelo consumo de material quanto pela mão-de-obra. Seguindo limites habituais, aconselha-se alocar os pilares de forma a distanciarem um dos outros na ordem de 4 a 6 metros.

2.2.4 Fundação

A análise dos elementos de fundações é uma das etapas mais importantes e cruciais de um projeto estrutural, afinal, se encontra no estágio final do fluxo de carregamento da estrutura, antes da transferência para o solo. Araújo (2014) traz em foco os critérios de escolha do tipo de fundação que mantém relação direta com a características de deformação e resistência do solo, características da subestruturas, esforços atuantes e capacidade de deformação plástica. Assim, dentre os principais requisitos, pode se destacar:

- a. Profundidade adequada, atenuando possíveis interferências de escavações ou construções próximas;
- b. Segurança contra a ruptura do solo;
- c. Recalques aceitáveis e previstos em projeto, em coerência com a capacidade de acomodação plástica.

Carvalho e Pinheiro (2013) também enfatizam o cuidado especial em relação aos recalques, inevitáveis a qualquer edificação, que podem ser absolutos ou diferenciais, onde devem ser compatíveis com a capacidade de deformação da estrutura e a sua finalidade. Dessa forma, é importante que exista um trabalho conjunto entre o projetista de fundações e o

estruturalista, permitindo a análise integrada do sistema estrutural como um todo, a fim de estabelecer as relações entre os carregamentos, tipo de estrutura, características do solo local e as possibilidades geométricas mais adequadas. Vale ressaltar que há situações específicas e favoráveis em que a análise detalhada dos recalques não seja estritamente necessária, tais casos podem ser indicados para edificações de pequeno porte onde o solo de fundação ofereça boa capacidade de suporte em pequenas profundidades e apresente homogeneidade predominante.

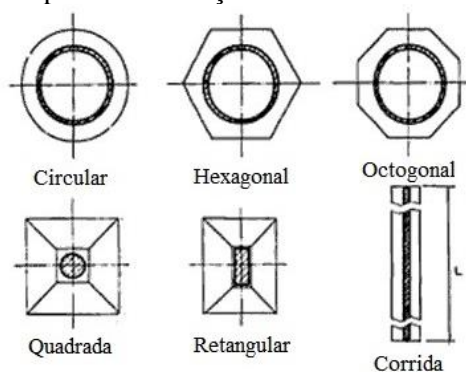
A NBR 6122 (1996), “Projeto e execução de fundações”, define que as fundações podem ser divididas em dois tipos.

Fundação Superficial (ou rasa ou direta): Elementos de fundação em que a carga é transmitida ao terreno, predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Incluem-se neste tipo de fundação as sapatas, os blocos, os radier, as sapatas associadas, as vigas de fundação e as sapatas corridas.

Fundação Profunda: Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, e que está assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3 m, salvo justificativa. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas, os tubulões e os caixões.

Classificada como fundação do tipo superficial, as sapatas se diferenciam dos blocos, segundo Hachich et al. (1998), pelo fato de serem elementos de apoio essencialmente de concreto armado, geralmente com menor altura e possuem resistência principalmente por flexão. Os seus modelos geométricos variam em geral de acordo com a concepção estrutural vigente em que envolve os critérios de solicitação, seção transversal dos pilares ou muros, as características do solo, disposição em relação aos demais elementos de fundação e em relação às delimitações do terreno em que se encontra a obra. Dessa forma, são usualmente executadas a partir de representações geométricas regulares (Figura 14), como é o caso de sapatas circulares, quadradas, retangulares, hexagonais, corridas e associadas.

Figura 14 – Modelos de sapatas de fundação.



Fonte: Decoração Top (<http://decoracaotop.blogspot.com.br/2012/11/sapatas-de-fundacao.html>)

As sapatas são uns dos elementos de fundação mais utilizados e são adequadas, de acordo Carvalho e Pinheiro (2013), em situações em que o solo apresenta uma boa capacidade de suporte. Destaca-se principalmente pela sua rápida execução, por utilizar métodos tradicionais de construção (Figura 15) e não necessita a aplicação de equipamentos específicos e de transporte.

Figura 15 – Sapatas isoladas de fundação.



Fonte: Understand Building Construction (<http://www.understandconstruction.com/types-of-foundations>)

2.3 ESTIMATIVAS DE CUSTO

A avaliação do custo de determinado serviço ou do escopo que envolve um projeto de edificação pode ser almejada a partir das estimativas adquiridas nos orçamentos discriminados. Esses podem ser definidos, segundo González (2008), como sendo uma composição por meio de listagem dos serviços necessários para a execução de uma obra ou de um serviço específico. Dessa forma, ele só pode ser elaborado após a conclusão do projeto, a partir das discriminações técnicas, memoriais, projetos gráficos, e detalhamentos.

González (2008) esclarece também que a configuração de estimativas de custos para uma obra é estipulada pela relação dos serviços e seus componentes a serem executados com as respectivas quantidades e preços. As medições dos itens referentes de cada serviço assumem os critérios estabelecidos pelas fontes orçamentárias de preços existentes, onde os preços unitários das composições e insumos são obtidos em publicações de revistas e sites especializados na área, ou ainda por meio de *softwares* de orçamento de obras.

Conforme Giongo (2007), a variedade de fatores que influenciam nos valores referentes aos custos presentes em edificações estende-se desde a sua fase de projeto e contratação de profissionais técnicos até a entrega da obra e encargos relacionados a manutenção da vida útil do empreendimento. Dessa forma, fica evidente que estas estimativas estão de acordo com cada tipo de edificação, afinal o local que se executará a obra sempre apresentará características específicas para a sua execução, o que exige a formulação de gastos particulares, tais como: em terrenos com desníveis, com a necessidade da configuração de muros de arrimo; de acordo com o tipo de acabamento exigido pelo arquiteto, indicando o nível financeiro dos futuros moradores; determinações sobre as peças de instalação predial, o que pode onerar bastante a depender o padrão pré-estabelecido.

De acordo com Costa (1997 *apud* Albuquerque 1999), a idealização do projeto estrutural representa a etapa de maior valor orçado de uma construção, equivalendo a porcentagem de 15% a 20% do custo total. Isso só reforça a importância da análise detalhada e criteriosa do sistema estrutural adotado, afinal, a otimização desses resultados permite alocar um gasto que seria excedente para algum serviço menos oneroso e equivalente. Outro fator que remete à economia do processo executivo de uma edificação, pode ser identificado como a padronização das formas, que representa cerca de 30% do custo da estrutura, tendo interferências diretas no ganho de produtividade da mão-de-obra e o reaproveitamento.

Tendo em vista que o processo de realização de um projeto de edificação, do início ao final de sua execução, pode ser configurado através de etapas, Gerolla (2016) apresenta intervalos representativos e aproximados relativos aos custos de cada estágio de uma obra, apresentados na Tabela 1. Esse estudo foi desenvolvido com o auxílio de diversos profissionais de engenharia, de arquitetura e representantes do Instituto Brasileiro de engenharia de Custos (IBEC), onde foram avaliados os serviços presentes em cada fase da construção, mensurado as nuances relativas aos tipos de estruturas vigentes e ainda a produtividade da mão-de-obra. Outra perspectiva sobre os gastos totais de um empreendimento é que os materiais podem representar em torno de 60% do consumo da obra, eventualmente, a mão-de-obra detém de 40% do escopo geral. Esse panorama indica a importância que o estudo otimizado do projeto tem sobre os resultados almejados, afinal, a parte financeira sempre terá seu papel decisivo sobre a escolha da melhor opção a ser executada e exercerá influência direta na qualidade dos serviços e nos prazos, visto que a segurança já configura um fator intrínseco ao meio.

Tabela 1 – Parcelas dos gastos referentes a cada etapa do empreendimento.

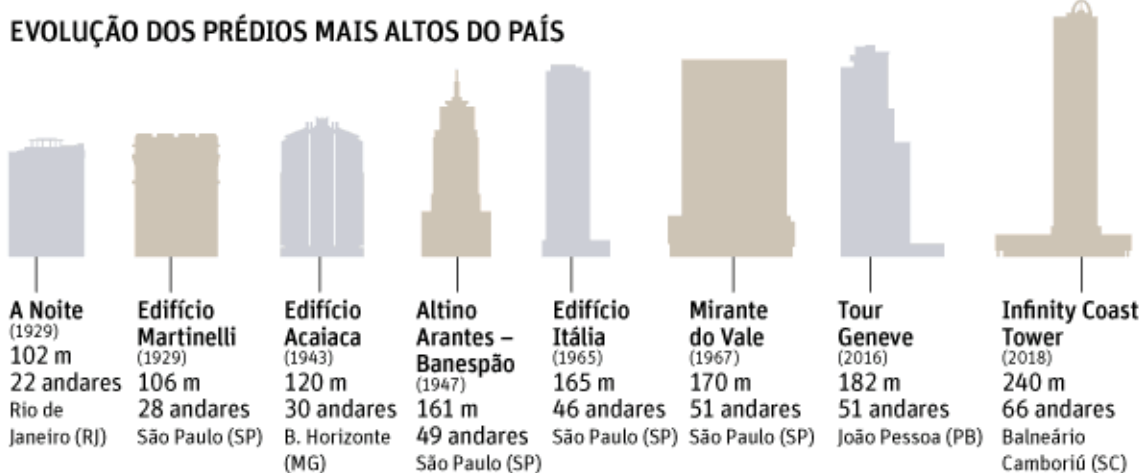
Etapas	Faixa percentual (%)
1. Projetos e burocracias	3 a 5
2. Serviços preliminares	até 3
3. Fundações	3 a 7
4. Estrutura	12 a 20
5. Fechamento	10 a 19
6. Cobertura	3 a 5
7. Instalações elétricas	8
8. Instalações hidráulicas	9 a 12
9. Acabamentos internos e externos	20 a 38
10. Limpeza, retoques e arremates	1 a 2

Fonte: Gerolla (2016).

2.4 ESTABILIDADE GLOBAL

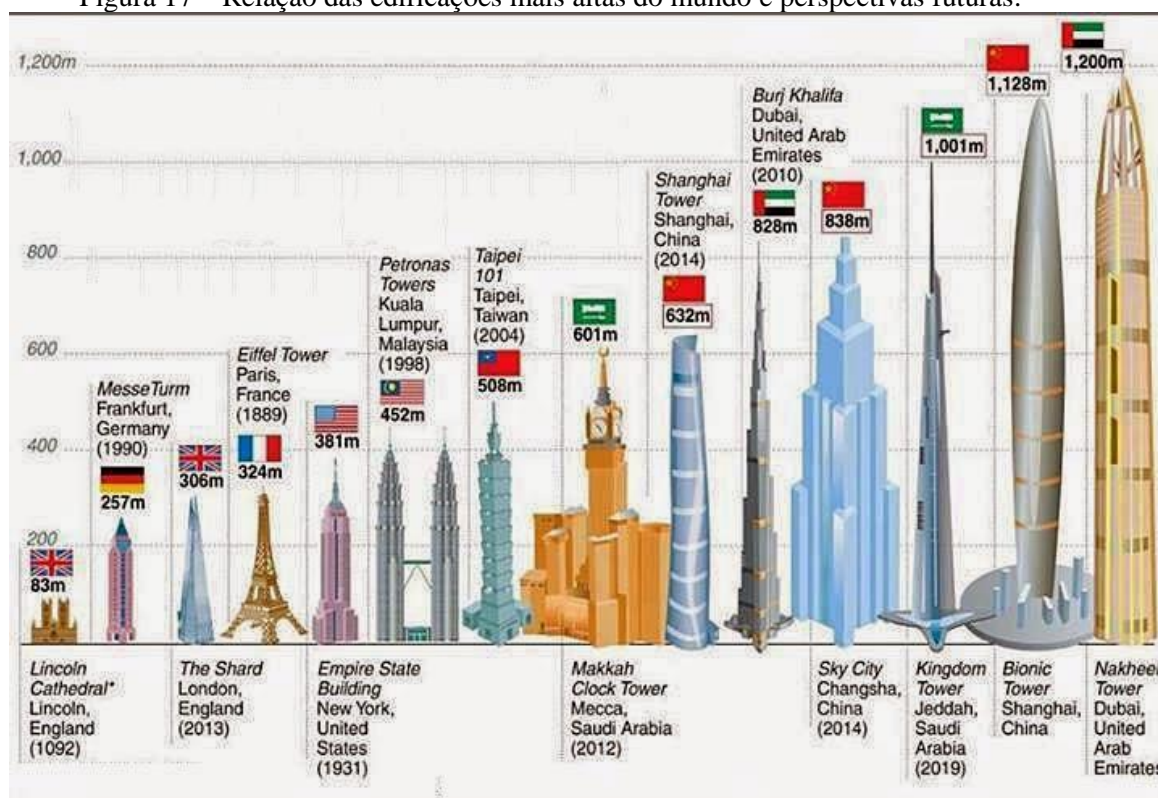
Os avanços da Engenharia Civil e das suas áreas correlacionadas tem proporcionado aperfeiçoar cada vez mais os projetos de empreendimentos de grandes altitudes, isso permite que áreas específicas e especializadas alcancem mais destaque. O ato de projetar uma edificação se torna mais complexo à medida que as exigências arquitetônicas extrapolam os padrões usuais e almejam concepções mais altas e esbeltas. Pelas Figuras 16 e 17 é possível perceber a tendência da verticalização em panoramas cada vez mais arrojados. Portanto, o estudo da estabilidade global tem avançado largamente diante a intensa verticalização dos mais diversos empreendimentos e a clara necessidade de minorar os custos totais, de forma a sempre visar a segurança da estrutura.

Figura 16 – Edificações mais altas do Brasil e perspectivas futuras.



Fonte: Albuquerque, (2017).

Figura 17 – Relação das edificações mais altas do mundo e perspectivas futuras.



Fonte: Curto e Curioso (<http://www.curtoecurioso.com/2015/04/os-predios-mais-altos-de-cada.html>)

O desenvolvimento dessa área permite expandir a sua aplicação de forma mais branda para empreendimentos mais comuns, o que antes eram considerados apenas em edificações especiais. Atualmente encontra-se *softwares* especializados que possibilitam a análise mais rigorosa dos parâmetros normativos, além de proporcionar a possibilidade de implementar diferentes concepções para um mesmo empreendimento. (FERREIRA; FREITAS; LUCHI, 2016)

Esta etapa do projeto permite identificar o comportamento estrutural visando a segurança, seguindo os parâmetros normativos. Em síntese, A NBR 6118 (2014) determina que o objetivo da análise da estabilidade global é “avaliar os efeitos das ações em uma estrutura, com a finalidade de efetuar verificações de estados limites últimos e de serviço”. Esse processo envolve estimar, avaliar e averiguar todos os componentes relacionados às reações da estrutura que requerem algum tipo de parâmetro pré-estabelecido, como por exemplo: as distribuições de esforços internos e externos; deslocamentos; deformações; e tensões.

A simplificação de modelos estruturais é uma conjuntura necessária para a avaliação do comportamento e da relação entre dos elementos estruturais, uma vez que, desenvolvido de forma adequada aos objetivos da análise. A experiência do engenheiro civil na concepção dessas conversões é fundamental para a coerência dos resultados, devendo estar de acordo com

os critérios normativos e com os modelos compatíveis com o projeto almejado. Nos casos dos *softwares* para cálculo estrutural que compilam os dados através de modelos baseados no método dos elementos finitos (MEF), ferramenta de análise desta monografia, a NBR 6118 (2014) enfatiza que “a discretização da estrutura deve ser suficiente para não trazer erros significativos para a análise.”

A NBR 6118 (2014) destaca ainda necessidade de análises complementares para situações específicas em que a não-linearidade da estrutura pode implicar em efeitos adicionais ou em casos mais complexos que exigem uma investigação mais precisa, a exemplo da interação solo-estrutura, ou ainda quando as deformações podem induzir a fissuração, como na avaliação das flechas, demandando estudos locais.

2.4.1 Instabilidade Global: Efeitos de 1ª e 2ª ordem

Em meios gerais, a instabilidade em estruturas pode assumir três tipos distintos, assumindo critérios geométricos ou efeitos externos, conforme a NBR 6118 (2014), esclarece:

- a) nas estruturas sem imperfeições geométricas iniciais, pode haver (para casos especiais de carregamento) perda de estabilidade por bifurcação do equilíbrio (flambagem);
- b) em situações particulares (estruturas abatidas), pode haver perda de estabilidade sem bifurcação do equilíbrio por passagem brusca de uma configuração para outra reversa da anterior (ponto-limite com reversão);
- c) em estruturas de material de comportamento não linear, com imperfeições geométricas iniciais, não há perda de estabilidade por bifurcação do equilíbrio, podendo, no entanto, haver perda de estabilidade quando, ao crescer a intensidade do carregamento, o aumento da capacidade resistente da estrutura passa a ser menor do que o aumento da sollicitação (ponto-limite sem reversão).

Segundo Carvalho e Pinheiro (2013), de acordo com o estado de deformação adotado da estrutura, tem-se dois tipos de efeitos: os de 1ª ordem, onde os esforços são avaliados considerando a geometria sem deformação; e os de 2ª ordem, oriundos da configuração deformada da estrutura, onde as forças existentes interagem com os deslocamentos, gerando esforços extras. A não-linearidade entre ações e deformações é dita geométrica se estiver relacionada com a sua origem e será física caso seja consequência de fissuração ou fluência do concreto. Os efeitos de 2ª ordem, ainda podem ser desconsiderados sempre que não representarem acréscimo superior a 10 % nas reações e nas sollicitações relevantes na estrutura

Oliveira (2002) esclarece os tipos de efeitos de segunda ordem, de acordo com a sua atuação na estrutura.

- a. Efeitos Globais: esforços de segunda ordem introduzidos pelos deslocamentos horizontais dos nós da estrutura, quando sujeita a cargas verticais e horizontais.
- b. Efeitos Locais: aparecem em elementos específicos, principalmente nos pilares, perdendo sua retilineidade devido às deformações diferenciais.
- c. Efeitos Localizados: pode surgir em pilares-parede, quando existir uma região que apresente uma não-retilineidade maior que a do eixo do pilar como um todo, geralmente são efeitos de 2ª ordem maiores que os demais.

2.4.2 Parâmetro de instabilidade Alfa (α)

Oliveira (2009) evidencia que esse parâmetro foi apresentado pela primeira vez por Beck e König em 1966, e foi desenvolvido baseando-se em pórticos rotulados, contraventados por parede atuante assemelhando a uma viga em balanço, porém na vertical. Somente em 1978 que esse método foi configurado como um avaliador da estabilidade global, através do Instituto Alemão para Normatização (DIN), semelhante a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Dessa forma, o método apresenta uma simplificação do sistema estrutural que induz a resultados aproximados. Afinal, de acordo com Oliveira (2002), ele configura uma “analogia entre o comportamento do edifício e o de um pilar engastado na base e livre no topo, de seção constante e material elástico linear, submetido a uma carga axial uniformemente distribuída ao longo de sua altura”. A conversão da análise de um sistema de vários pilares de contraventamento da estrutura equivalendo a um único pilar pode acarretar em valores destoantes da realidade, o que exige verificar a aplicabilidade desse método de acordo com as características da edificação.

Carmo (1995) esclarece que a definição do parâmetro α não leva em conta a fissuração dos elementos e ainda considera que o sistema de contraventamento seja formado por pilares-parede, ignorando a presença de vigas. Assim, esse método é mais indicado para sistemas de pré-moldados, de alvenaria portante ou estruturas com núcleos bastantes rígidos. Por outro lado, em estruturas reticuladas, onde a ocorrência das vigas gera influências significativas na estabilidade do sistema, a análise desse parâmetro pode apresentar valores significativamente distintos dos reais.

A estimação do parâmetro de instabilidade α é descrita pela NBR 6118 (2014), para os casos de estrutura reticulada simétrica, onde pode ser identificada como de nós fixos sob condição de α ser menor que o valor α_1 , apresentado a seguir:

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{\frac{N_k}{(E_{cs}I_c)}} \quad (1)$$

com

$$\begin{cases} \alpha_1 = 0,2 + 0,1n \rightarrow se\ n \leq 3 \\ \alpha_1 = 0,6 \rightarrow se\ n \geq 4 \end{cases} \quad (2)$$

em que:

- N = é o número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;
- H_{tot} = é a altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;
- N_k = é o somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de H_{tot}), com seu valor característico;
- $E_{cs}I_c$ = representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. No caso de estruturas de pórticos, de treliças ou mistas, ou com pilares de rigidez variável ao longo da altura, pode ser considerado o valor da expressão $E_{cs}I_c$ de um pilar equivalente de seção constante

Quanto a obtenção da rigidez equivalente para a adequação do método, Carvalho e Pinheiro (2013) apresenta uma relação que simboliza a conformação da inércia do sistema de pórticos, a partir da equação a seguir:

$$(EI)_{eq} = n_p \times \frac{F \times H_{tot}^3}{3 \times \delta_{p\acute{o}rtico}} \quad (3)$$

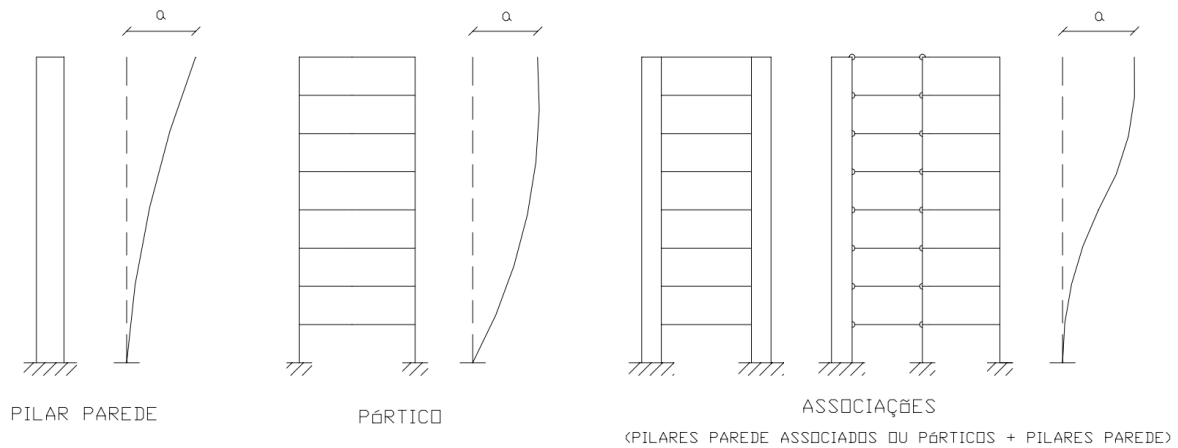
em que:

- F = força unitária na direção de estudo (kN).
- H_{tot} = altura total da estrutura medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo (m).
- n_p = é o número de pórticos que resistem ao movimento na direção em que estão aplicadas as forças de vento.
- $\delta_{p\acute{o}rtico}$ = deslocamento no topo do pórtico (m).
- $(EI)_{eq}$ = rigidez equivalente.

Para os prédios de múltiplos pavimentos, a partir de quadro andares, o valor fixado para o coeficiente de referência, α_1 , deve ser alterado caso não apresentem os padrões estruturais usuais, de acordo com o tipo de contraventamento, apresentado a seguir:

- $\alpha_1 = 0,6$ para estruturas usuais de edifícios, que engloba aqueles com associação de pilares-parede e para pórticos associados a pilares-parede;
- $\alpha_1 = 0,7$ nos casos de contraventamento formado apenas por pilares-parede;
- e $\alpha_1 = 0,5$ quando houver apenas pórticos.

Figura 18 – Modelos de contraventamentos e suas respectivas deformadas.



Fonte: Oliveira (2002).

Moncayo (2011) esclarece que apesar do parâmetro α não considerar a fissuração como fator influenciador da estabilidade, a dedução do coeficiente α_1 engloba as considerações sobre a não-linearidade física do concreto. Vale destacar que a compressão do concreto já configura um comportamento não-linear, não sendo exclusivo da reação de fissuração do mesmo. Esse método não é indicado para estruturas consideravelmente assimétricas ou ainda naquelas em que os deslocamentos horizontais oriundos das cargas verticais forem acentuados.

2.4.3 Coeficiente Gama-Z (γ_z)

Uma das principais conquistas da pesquisa brasileira no âmbito da Teoria das Estruturas, foi a idealização do parâmetro avaliador da estabilidade global, o coeficiente γ_z . Esses estudos foram conceituados em 1991 pelos engenheiros brasileiros Mário Franco e Augusto Vasconcelos. Esse método se destaca por apresentar uma perspectiva bem aceitável sobre a relevância dos efeitos de segunda ordem na estrutura, tornando-se bem difundido na avaliação

de edifícios altos. Ele se assemelha a um fator amplificador, permitindo majorar os esforços globais, a fim de evitar uma análise mais complexa da estrutura devido aos efeitos de segunda ordem. (Oliveira, 2009)

A NBR 6118 (2014) salienta a limitação desse método quanto a sua aplicabilidade, que apresenta eficiente apenas para estruturas reticuladas a partir de quadro andares. Em suma, sua configuração é baseada nos resultados de uma análise de primeira ordem, em conformidade com as combinações de carregamento e com as considerações aproximadas da não-linearidade física. O procedimento de cálculo a seguir apresenta a definição desse coeficiente.

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (4)$$

onde:

- $M_{1,tot,d}$ = é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;
- $\Delta M_{tot,d}$ = é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.

Dessa forma, a estrutura pode ser caracterizada como de nós fixos sob a condição de $\gamma_z \leq 1,1$.

Oliveira (2009) enfatiza ainda que, além da restrição quanto a quantidade de andares, esse parâmetro apresenta valores destoantes da realidade para γ_z menor que 1,3 quando se deseja analisar os resultados da aproximação da análise de segunda ordem. Tendo conhecimento dessas considerações, o método é bem reconhecido pelos projetistas estruturais, a propósito, ele é a base de análise dos principais softwares direcionados a cálculos estruturais do Brasil.

2.5 FERRAMENTAS DE CÁLCULO

Para que a análise estrutural seja executada de forma completa, idealizando o comportamento da estrutura, é necessário avaliar e estimar diversos parâmetros integrantes do sistema almejado, tais como: tensões, deformações e deslocamentos. Dessa maneira, esse estudo torna-se mais complexo de acordo com as especificações do projeto, afinal, é papel do

engenheiro calculista integrar todo o escopo que envolve a estrutura, com o propósito de se otimizar os resultados de forma coerente e exequível.

A transferência da concepção de um projeto para um ambiente computacional deve apresentar coesão com a situação real, seguindo as prescrições normativas vigentes. Mediante o exposto, a NBR 6118 (2014) determina algumas diretrizes a respeito da análise estrutural, aplicáveis a visão informática proposta, onde pode se destacar que ela "deve ser feita com um modelo estrutural realista, que permita representar de maneira clara todos os caminhos delineados pelas ações até os apoios da estrutura".

Conforme Martha (2010), as ferramentas computacionais têm sido utilizadas como auxílio para realização de cálculos estruturais desde 1960 e o seu desenvolvimento tem proporcionado análises cada vez mais complexas e com grande variedade de dados. Hoje a sua aplicação como um instrumento de simulação do comportamento de estruturas, vem tornando-se cada vez mais próximo da realidade.

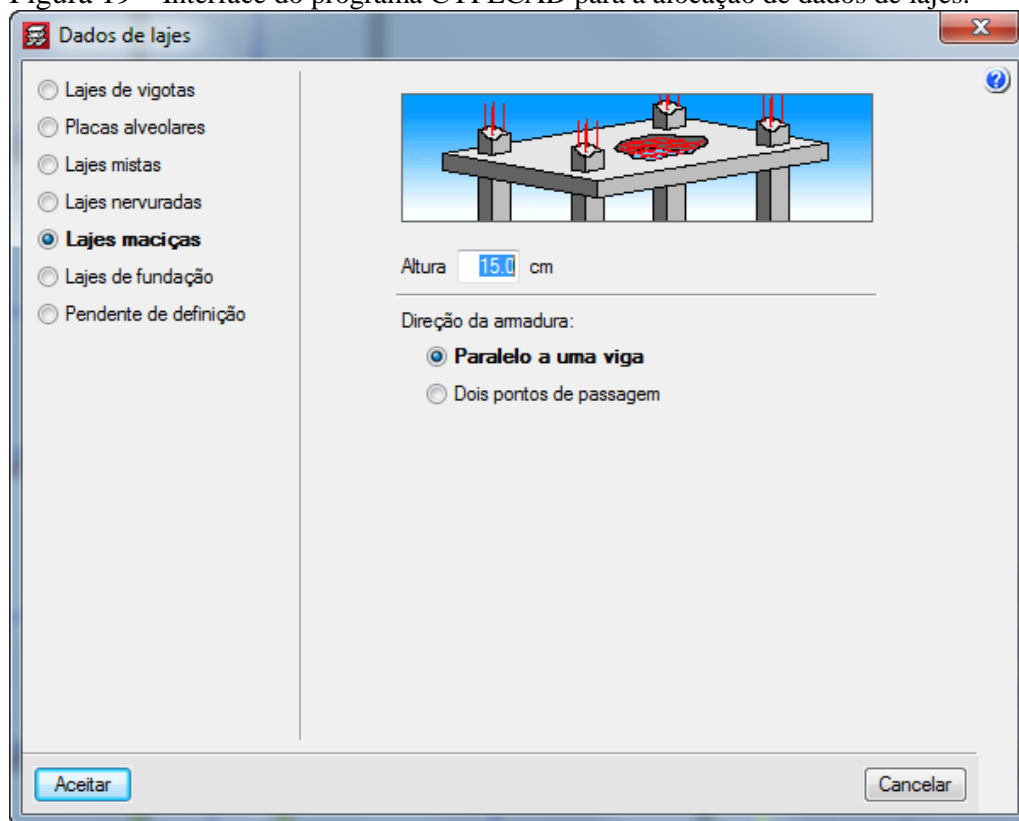
O autor ainda enfatiza que a linguagem computacional requer diversas outras perspectivas para a concepção e análise de uma estrutura. Afinal, aspectos referentes da Modelagem Geométrica e Computação Gráfica que englobam os bancos de dados e procedimentos de criação do modelo geométrico, da geração do modelo discretizado, aplicação de atributos de análise e apresentação dos resultados são vitais para a aplicação precisa dessas ferramentas. No cenário atual, pode-se encontrar diversos *softwares* destinados ao tratamento e modelagem de dados relacionados a área de engenharia estrutural. Permitem, em geral, avaliar diversas concepções de projeto e acabam exigindo que o usuário, profissional da área, realize análises das representações expostas no programa de acordo com os critérios normativos e os padrões condizentes com a realidade.

Dentre os programas difundidos nessa área, temos o *software* CYPECAD, desenvolvido e comercializado pela empresa CYPE Ingenieros S.A, onde Gouveia (2016) destaca a disponibilidade do programa quanto a sua entrada gráfica, que configura um ambiente CAD próprio, não necessitando de ferramentas externas para sua visualização. Seu banco de dados contempla normas nacionais atualizadas e normas internacionais que englobam o âmbito da engenharia de estruturas.

O CYPECAD é definido como um *software* modular que apresenta seis vertentes de alocação e processamento de dados, dentre eles: módulo de concreto, de lajes, de fundação, de madeira, de estruturas metálicas e composições especiais. Tais componentes desse sistema funcionam de forma complementar e independente entre si, representando conjuntos de

recursos específicos para cada âmbito de atuação na estrutura. A Figura 19 apresenta uma das interfaces do programa, onde destina-se ao lançamento de lajes. (MULTIPLUS, 2017)

Figura 19 – Interface do programa CYPECAD para a alocação de dados de lajes.



Fonte: Multiplus, (2017).

O processamento de dados é feito através do MEF, conforme Sousa Júnior (2017), onde o seu tratamento é efetuado por meio de um sistema comparativo e integrado, de forma a atender as verificações normativas e sintetizar uma malha adequada.

Segundo Chandruplata e Belegundu (2014), o MEF configura uma análise onde “uma região complexa, definindo um meio contínuo, é transformada em formas geométricas simples e discretas, chamadas de elementos finitos.” Através das propriedades dos materiais e das leis físicas atuantes, o comportamento do elemento é representado por meio de valores e sistemas de equações. Essa ferramenta tornou-se um dos meios mais eficazes no tratamento de problemas da engenharia. Sua aplicação apresenta-se bastante difundida nos estudos que envolvem modelagem computacional e estende-se por diversas áreas, desde a análise de tensão e deformação em estruturas automotivas, aeronaves e construções até problemas que envolvem o fluxo de calor, magnético e fluidos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho apresenta uma análise, de caráter comparativo, de diversas concepções estruturais de um edifício real através de critérios distintos. Para os fins deste estudo, será avaliado a estabilidade global dos casos estudados por meio de dois parâmetros indicados pela NBR 6118 (2014), o coeficiente α e γ_z . Também será realizado uma estimativa de custos para as diferentes concepções adotadas, configurando uma perspectiva dos gastos referentes a execução da infraestrutura e superestrutura da edificação.

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Alguns critérios foram previamente determinados de forma a estabelecer um padrão comparativo. Essas delimitações, evidentemente, além de possuir a função de nortear o estudo, garantirão um escopo baseado em diretrizes relacionadas à segurança estrutural das edificações, otimização da configuração dos projetos e a ponderação de maneira coerente dos padrões de custos.

Para o escopo deste trabalho será analisado apenas a aplicação de fundações superficiais conhecidas como sapatas para configurar um modelo comparativo entre as diferentes concepções estruturais e também pelas suas características vantajosas, destacadas por Carvalho e Pinheiro (2013), dentre elas: a sua boa capacidade de carga, comportamento eficiente e pela possibilidade de serem executadas sem custo elevado.

A resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) utilizado em toda a estrutura referente a cada concepção de projeto será de 30MPa ou 45MPa, de acordo com o caso de estudo. Serão utilizados também apenas barras de aço classificadas como CA-50 e CA-60, que possuem ampla utilização na área da construção civil.

O critério de estabilidade global ficará delimitado pelo parâmetro γ_z , conforme a NBR 6118 (2014), de forma que não ultrapasse o valor de 1,10, configurando um sistema de nós fixos. Desse modo, o propósito dessa análise envolverá a otimização da rigidez estrutural da edificação para cada caso de estudo, almejando a aproximação desse limite pré-estabelecido. A aplicação do método referente ao coeficiente α permitirá, além de sua função avaliadora da estabilidade, comparar e avaliar os resultados entre os dois processos de cálculo.

A utilização do programa de cálculo estrutural CYPECAD versão 2016.o permitirá coletar parâmetros importantes para a avaliação das concepções estruturais, tais como: o

parâmetro de estabilidade global γ_z , deslocamentos horizontais no topo do edifício, carregamentos atuantes na estrutura, plantas de fôrmas e quantitativos envolvendo o consumo de concreto, armaduras e fôrmas.

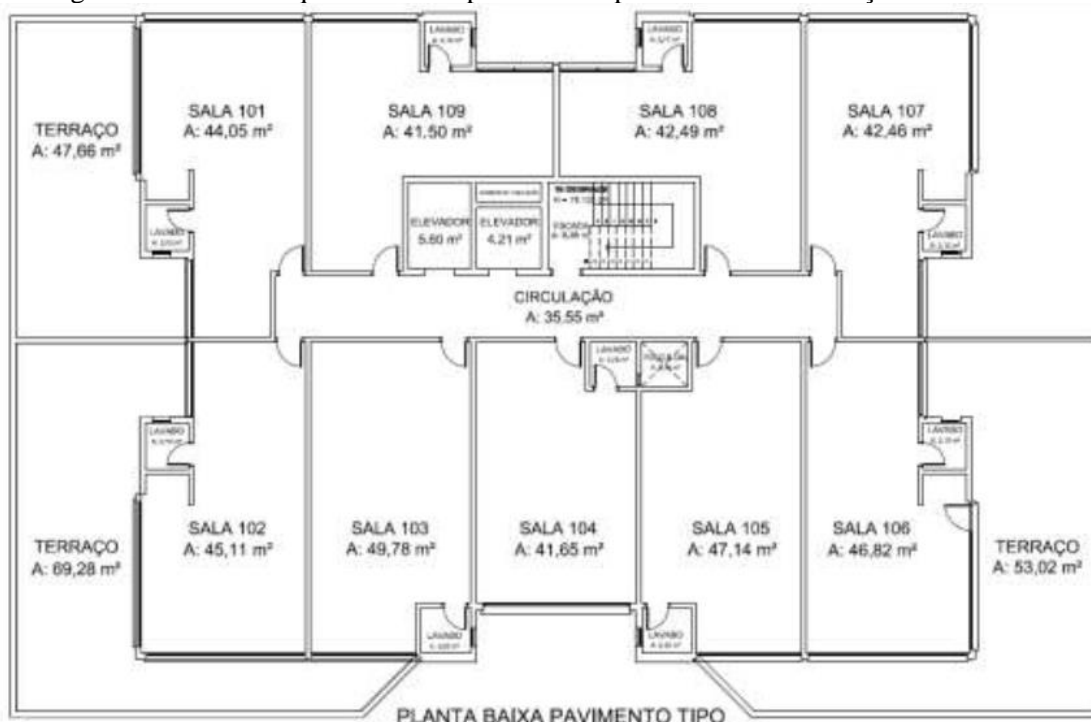
Os valores calculados para a estimativa de custos serão adquiridos através dos dados de consumo de concreto, aço e fôrmas, incluindo os serviços correlacionados, equipamentos e mão-de-obra.

3.2 ESTUDO DE CASO

O projeto de análise deste trabalho foi baseado a partir dos estudos desenvolvidos por Graff (2015), onde foi selecionado uma edificação de salas comerciais, instalada na cidade de Nova Prata – RS, este caso foi escolhido justamente por não contemplar da análise de estabilidade global e por não ter efetuado a estimativa de custos totais para a estrutura. Onde, através da planta de pavimento tipo (Figura 20) e demais informações vinculadas, funcionaram como base para os estudos referentes ao escopo deste trabalho.

A edificação possui um total de 10 pavimentos, com a altura do pé direito de três metros e área de 701,63m². A configuração dos ambientes em planta é distribuída por nove salas com lavabos e três amplos terraços cobertos, além de dois elevadores e escada.

Figura 20 – Planta arquitetônica do pavimento tipo referente a edificação de estudo.



Fonte: Graff (2015).

3.3 SISTEMAS ESTRUTURAIS ADOTADOS

A partir dos dados disponíveis sobre a edificação escolhida para análise, determinou-se as concepções que encorparão o estudo comparativo proposto neste trabalho, baseadas em soluções compatíveis com as particularidades do empreendimento. Na otimização os elementos componentes dos projetos estruturais foram considerados, além dos critérios previamente determinados, as características arquitetônicas e as condições práticas que envolvem a concepção de uma edificação de natureza comercial.

Tais tipologias avaliadas são identificadas no trabalho por nomenclaturas específicas, que se referem às características condizentes com os elementos estruturais. Assim, foi desenvolvido uma metodologia de identificação de cada um dos sistemas, apresentado na Tabela 2, para melhor entendimento.

Tabela 2 – Esquema de nomenclatura para as concepções estruturais.

Resistência	Tipo de Laje
CA30 – Concreto Armado de 30 Mpa	LMC – Laje Maciça Convencional
CA45 – Concreto Armado de 45 MPa	LNB – Laje Nervurada Bidirecional
	LSD – Laje Steel Deck

Fonte: O Autor.

3.3.1 Sistema Estrutural CA30LMC

- Elementos estruturais de concreto armado C30, baseados nas disposições indicadas por Graff (2015) e otimizados segundo os critérios previamente definidos.
- Tipo de Laje: Maciça Convencional.

3.3.2 Sistema Estrutural CA30LNB

- Elementos estruturais de concreto armado C30, adaptados segundo a perspectiva do “CA30LMC” e aperfeiçoados de acordo com os critérios previamente definidos.
- Tipo de Laje: Nervurada Bidirecional, onde almejou-se eliminar pontualmente determinados elementos, vigas e pilares, de maneira que não representassem incoerência arquitetônica e estrutural ou não proporcionassem instabilidade ao sistema, além de permitir a ampla utilização da laje nervurada.

3.3.3 Sistema Estrutural CA30LSD

- Elementos estruturais de concreto armado C30, seguindo as prescrições arquitetônicas e critérios pré-determinados.
- Tipo de Laje: Mista (*Steel Deck*), onde o arranjo estrutural de vigas foi avaliado e adaptado segundo as especificações referentes a esse tipo de laje.

3.3.4 Sistema Estrutural CA45LMC

- Elementos estruturais de concreto armado C45, adaptados de acordo com a configuração do “CA30LMC” e com os devidos ajustes aos critérios pré-definidos.
- Tipo de Laje: Maciça Convencional.

3.4 FERRAMENTAS DE CÁLCULO E ANÁLISE ESTRUTURAL

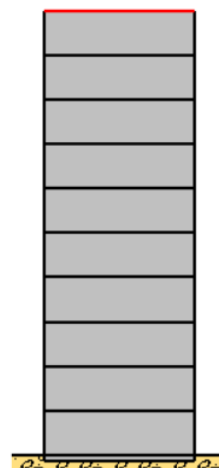
A partir dos dados citados anteriormente, foi efetuado o lançamento no *software* CYPECAD versão 2016.o das diferentes concepções estruturais que fundamentarão o processo de análise deste trabalho. Considerando a parte estrutural, com o lançamento dos 10 pavimentos, a edificação apresenta 30 metros de altura em relação ao nível do solo, visto que a altura do telhado compõe apenas como carregamento devido a ausência de informações detalhadas. Como a configuração arquitetônica de cada andar é padronizada, de acordo com o pavimento tipo, o empreendimento apresenta uma área total construída de 7 016,26m².

A composição dos carregamentos permanentes para cada andar foi avaliada considerando que as disposições dos ambientes poderiam sofrer alterações devido às possibilidades de alteração dos *layouts* de cada sala comercial e de acordo com a NBR 6120 (1980) – “Cargas para o cálculo de estruturas de edificações”. Dessa maneira, foi aplicado os esforços considerando a distribuição por área e conforme a sua utilização. Para o pavimento tipo foram empregados valores referentes a contrapiso, revestimento cerâmico, forro e paredes de alvenaria. Para a cobertura, Piso 10, além da distribuição dos carregamentos de revestimentos e do telhado, aplicou-se o peso relativo a caixa d’água diretamente sobre a região superior aos poços de elevadores. De forma análoga, cargas acidentais foram determinadas também de acordo com NBR 6120 (1980), pelo tipo de utilização do pavimento.

A figura 21 representa os valores referentes as cargas consideradas em cada pavimento, de acordo com a categoria de uso, empregados de forma semelhante para cada concepção estrutural adotada.

Figura 21 – Cargas acidentais (SCU) e cargas permanentes (CP) utilizadas.

Nome	Categoria de uso	SCU (kN/m ²)	CP (kN/m ²)	Processo construtivo
Piso 10	Uso 2	2.00	2.19	Editar
Piso 9	Uso 2	2.00	2.79	Editar
Piso 8	Uso 2	2.00	2.79	Editar
Piso 7	Uso 2	2.00	2.79	Editar
Piso 6	Uso 2	2.00	2.79	Editar
Piso 5	Uso 2	2.00	2.79	Editar
Piso 4	Uso 2	2.00	2.79	Editar
Piso 3	Uso 2	2.00	2.79	Editar
Piso 2	Uso 2	2.00	2.79	Editar
Piso 1	Uso 2	2.00	2.79	Editar
Baldrame	Uso 2	2.00	2.79	Editar
Fundação	Uso 2	0.00	0.00	



Fonte: O Autor.

A ação do vento na estrutura, remete aos esforços horizontais aplicados nas perspectivas da edificação, considerando os maiores lados. Seus valores característicos foram definidos através da NBR 6123 (1988) - “Forças devidas ao vento em edificações” e relativos a localização onde a obra foi executada, além de levar em conta os efeitos de segunda ordem. Tais valores são apresentados a seguir:

- Velocidade básica do vento $V_0 = 45\text{m/s}$;
- Fator estatístico $S_3 = 1,00$;
- Rugosidade do terreno: Categoria IV;
- Edificação classe B;
- Comprimento relativo na direção x: 35,38m;
- Comprimento relativo na direção y: 25,56m.

A partir dos dados condizentes com as características do projeto de estudo, foi efetuado o lançamento dessas informações no programa CYPECAD, conforme a Figura 22. Esse processo foi efetuado da mesma forma para todos os sistemas estruturais avaliados neste trabalho, visto que as diferenças entre essas concepções ficaram restritas apenas às tipologias empregadas em cada modelo selecionado.

Figura 22 – Dados relativos às cargas de vento na edificação.

NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações

Ação de vento segundo X + X - X

Ação de vento segundo Y + Y - Y

Larguras de faixa: Y X Por planta 

Velocidade Básica: m/s

Categoria: ▾

Classe: ▾

Fator Probabilístico: ▾

Fator Topográfico +x:

Fator Topográfico -x: 

Fator Topográfico +y:

Fator Topográfico -y:



Fonte: O Autor.

A Tabela 3 ilustra os valores referentes aos carregamentos referentes a ação do vento na edificação, para cada direção de atuação.

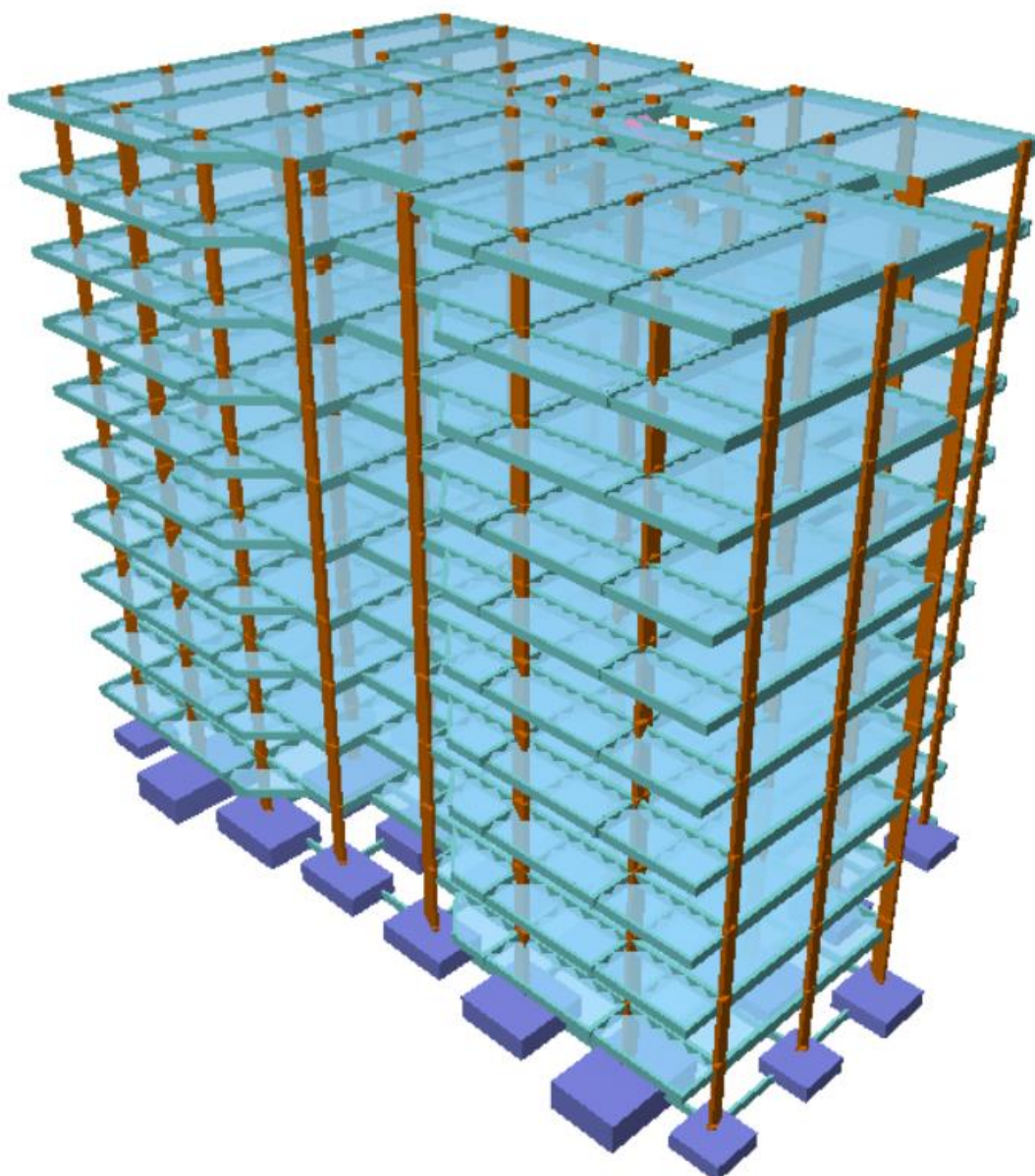
Tabela 3 – Cargas de vento atuante em cada pavimento.

Planta	Vento X (kN)	Vento Y (kN)
Piso 10	42,671	59,064
Piso 9	83,123	115,058
Piso 8	80,711	111,719
Piso 7	78,061	108,051
Piso 6	75,110	103,967
Piso 5	71,763	99,334
Piso 4	67,869	93,944
Piso 3	63,160	87,425
Piso 2	57,071	78,997
Piso 1	47,991	66,429
Baldrame	0,000	0,000

Fonte: o Autor.

A seguir é apresentado o modelo tridimensional da edificação referente ao caso “CA30LMC” (Figura 23), similar ao caso de estudo e análogo aos demais sistemas estruturais avaliados.

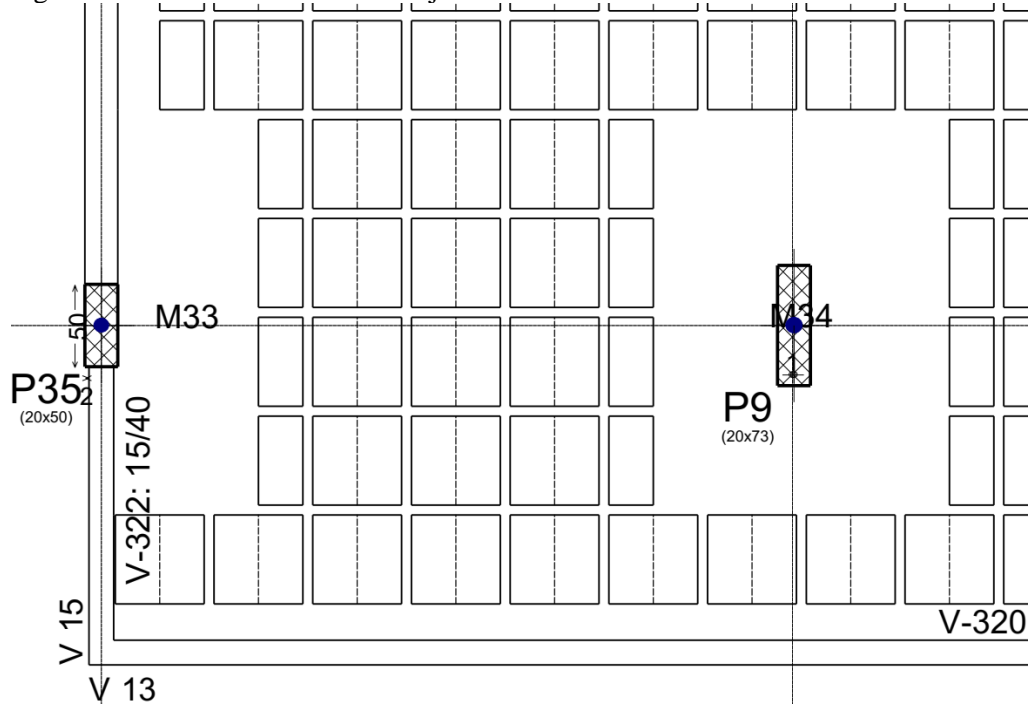
Figura 23 – Vista tridimensional do edifício.



Fonte: O Autor.

Durante a etapa de lançamento no programa CYPECAD a possibilidade de vãos maiores das lajes nervuradas permitiu eliminar alguns pilares da estrutura pertencente a concepção “CA30LNB”, desde que atendesse às especificações desse tipo de sistema estrutural e respeitasse as condições analisadas. O arranjo de vigas foi alterado para permitir a ampla utilização das lajes, assim, foram mantidas apenas as vigas de reforço de *shafts* e de bordo, nos limites das áreas dos pavimentos e nas aberturas referentes a poços de elevadores, escadas. Foram também introduzidas as regiões de maciços de pilares, para disposição da armadura de funcionamento, conforme a figura 24.

Figura 24 – Detalhes da fôrma da laje nervurada.



Fonte: o autor (2018).

O tipo de laje nervurada escolhida para o caso CA30LNB foi a com nervuras bidirecionais com cubetas de 60x60cm², baseada nas dimensões das formas ATEX 600X150 retiradas do catálogo de dados técnico da Atex Brasil (2017), de acordo com a Figura 25.

Figura 25 – Dimensões das formas bidirecionais ATEX 600x150 para laje nervurada.

Referência: Brasil ATEX 600_15, altura: 20, largura da nervura:6, espessura da lâmina:5]

Dispõe de meio molde

Dados geométricos: Iguais em X e Y Diferentes em X e Y

Altura total (h) cm

Camada de compressão (c) cm

Entre-eixos (b) cm

Largura da nervura (a) cm

Alturas (cm)		Larguras (cm)	
h - c	<input type="text" value="15.0"/>	a4	<input type="text" value="10.0"/>
h3	<input type="text" value="7.5"/>	a3	<input type="text" value="8.0"/>
h2	<input type="text" value="0.0"/>	a2	<input type="text" value="6.0"/>
h1	<input type="text" value="0.0"/>	a1	<input type="text" value="6.0"/>

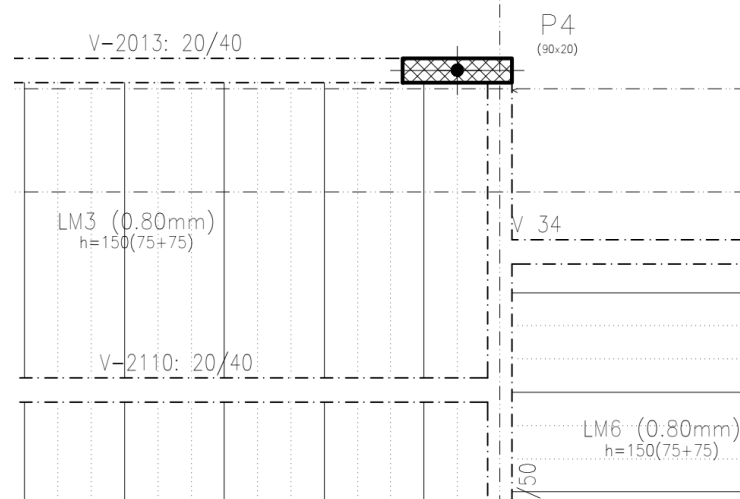
Volume de concreto m³/m²

Peso próprio kN/m²

Fonte: o autor (2018).

A concepção “CA30LSD” exige um arranjo de vigas compatível com as características da laje *steel deck*, apresentando regularidade geométrica para os apoios dos planos de laje e dimensões dos vãos com relação aos limites das flechas. Foi avaliada também a interferência que esses elementos exerceriam sobre a configuração arquitetônica dos pavimentos, preservando os elementos observados no escopo básico do projeto e limitando as vigas que foram alocadas para compor a conjuntura estrutural analisada. Outro fator preponderante para a esse tipo de laje é disposição das chapas de aço, onde a sua orientação deve ser perpendicular ao maior vão, conforme figura 26.

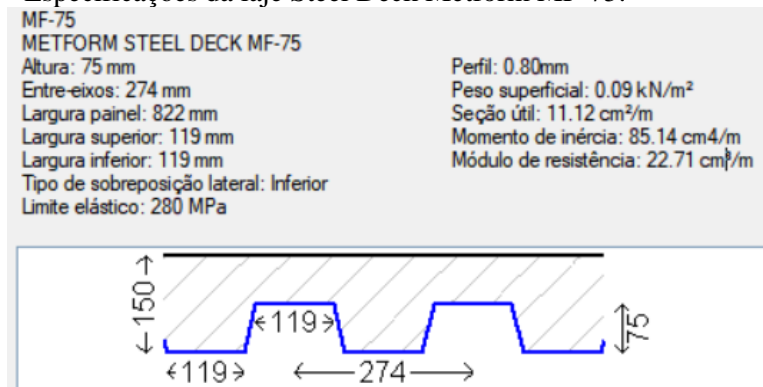
Figura 26 – Detalhes de fôrmas das lajes *steel deck*.



Fonte: o autor (2018).

A laje mista selecionada para incorporar o sistema “CA30LSD” foi a Steel Deck Merform MF-75 (Figura 27). A escolha foi avaliada de acordo com as características da mesma, principalmente pelas suas funções de atuar como fôrma durante a fase de execução da estrutura e agir como armadura positiva na etapa de utilização, configurando como chapa colaborante.

Figura 27 – Especificações da laje Steel Deck Metform MF-75.



Fonte: o autor (2018).

Foi selecionado para toda a edificação, referente ao “CA30LSD”, a chapa de aço de 0,80mm de espessura e altura total da laje de 15cm. Em suma, a padronização dessas dimensões foi almejada com o intuito de reduzir dos custos de execução e otimizar o uso desse tipo de laje em cada pavimento.

O lançamento do “CA45LMC” foi efetuado de forma análoga ao “CA30LMC”, visto que a única diferença entre as duas concepções é o aumento do *fck* do concreto. Esse incremento na resistência acarretou em uma composição estrutural mais rígida, permitindo a redução significativa de seções transversais de pilares e vigas, gerar lajes menos espessas e, conseqüentemente, elementos de fundação menos volumosos. Tais reduções, evidentemente, foram delimitadas pelos critérios pré-definidos.

3.5 CRITÉRIOS DE CUSTOS

A elaboração do orçamento de um empreendimento da construção civil é uma tarefa que exige um alto grau de precisão e de detalhamento. Mesmo que sua concepção seja especulativa, ela é fundamentada em dados concretos de escopos condizentes com os serviços avaliados.

No levantamento de dados necessários para o cálculo dos custos foram considerados apenas os serviços diretamente relacionados com a execução da estrutura, quantificados separadamente por elemento estrutural, sendo: fundação, pilares, vigas e lajes. Por tanto, não foram mensurados os serviços preliminares, de instalação de obra, administrativos ou qualquer outra atividade que não esteja contemplada no escopo deste trabalho. O consumo dos materiais foi computado através dos resultados obtidos pelo *software* CYPECAD e avaliados quanto coerência dos valores.

A composição de custos foi efetuada a partir dos dados referente ao estado do Rio Grande do Sul fornecidos pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (Sinapi), de fevereiro de 2018, disponibilizado no site da Caixa Econômica Federal. Também foi utilizado os dados do Orçamento de Obras de Sergipe (Orse). Esses sistemas de dados possuem informações atualizadas sobre os valores referentes aos mais diversos serviços, insumos, equipamentos e mão-de-obra no escopo da construção civil.

Vale ressaltar ainda que o sistema Orse foi introduzido no escopo do orçamento de forma complementar e foi escolhido especialmente pelo fato de estipular composições em combinação com os dados das tabelas do Sinapi. Este fato permitiu manter uma coerência entre os dados coletados, preservando os índices e custos unitários.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do processamento efetuado pelo programa CYPECAD, foi possível coletar os resultados obtidos para cada sistema estrutural adotado. Tais informações encorpam o estudo comparativo entre os modelos propostos e serão avaliados por critérios de segurança estruturais, consumo de materiais e custos. As tabelas discriminadas de custos se encontram nos apêndices.

4.1 ESTUDOS DE CASO

4.1.1 Sistema Estrutural CA30LMC

Para esta concepção buscou-se avaliar o modelo com laje maciça da edificação comercial apresentado por Graff (2015), almejando manter o arranjo e mesmas características dos elementos estruturais, e assim idealizar um meio comparativo com os demais sistemas estruturais adotados. Entretanto, foi necessário efetuar alterações moderadas nas disposições e dimensões de determinados elementos, para atender aos critérios de análise pré-estabelecidos neste estudo. Vale ressaltar que tais mudanças foram realizadas respeitando as considerações arquitetônicas do projeto, de forma a não desconfigurar ou destoar significativamente da concepção original, como pode ser visualizado na Figura 28.

A tabela 4 representa os dados referentes aos consumos dos materiais componentes do escopo da estrutura.

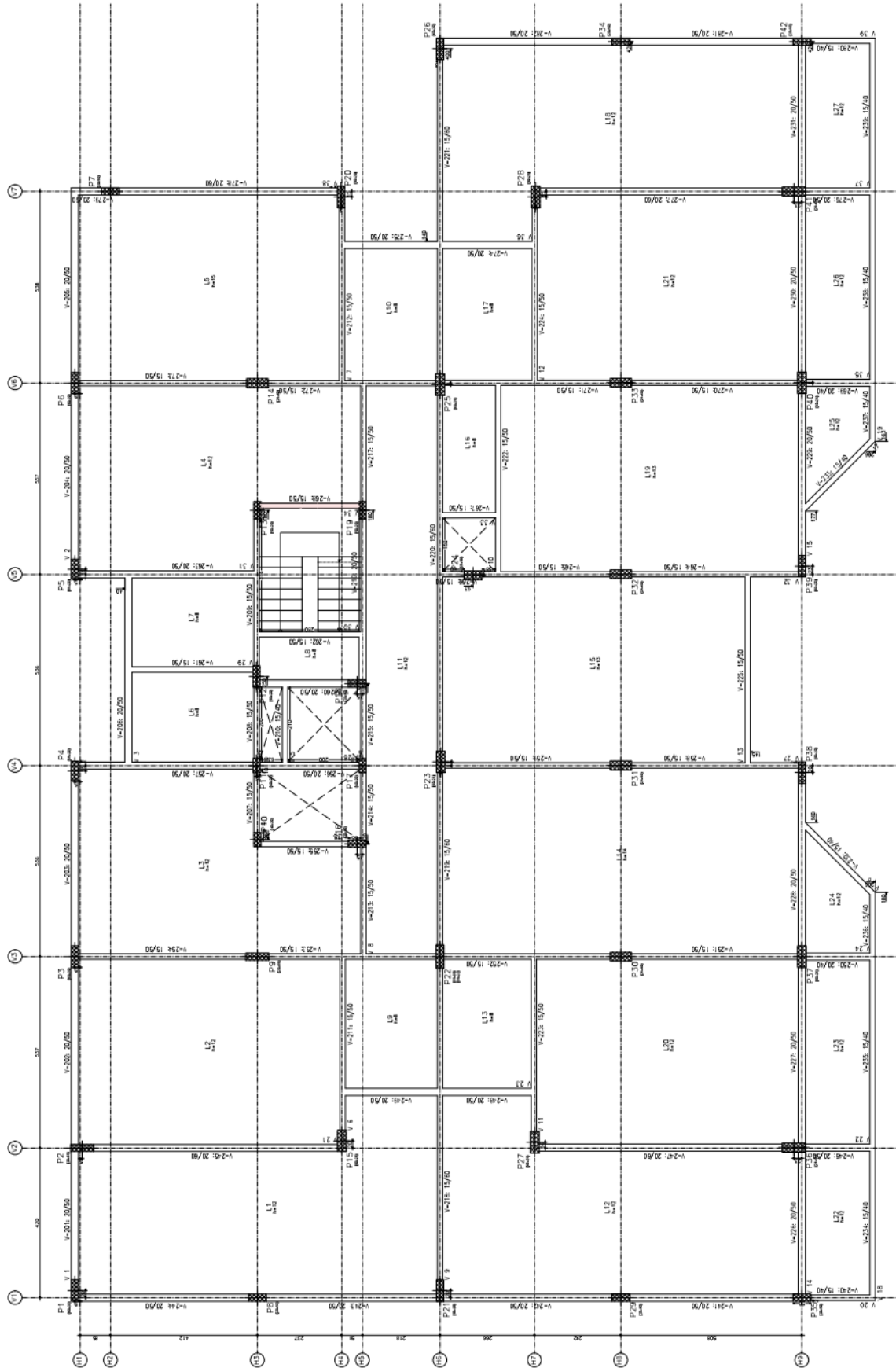
Tabela 4 – Taxas de consumos de materiais por área construída (CA30LMC).

Descrição	Valor
área total construída (m ²)	7 016,26
m ² de fôrmas por m ² construído (m ² /m ²)	1,724
kg de aço por m ² construído (kg/m ²)	17,032
m ³ de concreto por m ² construído (m ³ /m ²)	0,223

Fonte: O Autor.

As informações relativas aos deslocamentos e estabilidade global da estrutura foram adquiridas pelos relatórios processados pelo *software* utilizado neste trabalho, salvo o cálculo do parâmetro α , realizado pelo próprio autor através das informações do projeto do caso “CA30LMC”.

Figura 28 – Planta de fôrma referente ao pavimento tipo do modelo “CA30LMC”.



Fonte: O Autor.

A Tabela 5 apresenta os valores referentes aos métodos de instabilidades e os deslocamentos totais para as duas direções de atuação.

Tabela 5 – Deslocamento horizontal máximo e parâmetros de instabilidade (CA30LMC).

	Direção X	Direção Y	Limite
Deslocamento total (mm)	13,75	20,33	17,65
Parâmetro α	0,358	0,165	0,500
Coefficiente γ_z	1,095	1,094	1,100

Fonte: O Autor.

Com o aumento da rigidez da estrutura, através das alterações efetuadas principalmente em pilares e vigas, foi possível adequar-se ao critério de aproximação, determinado anteriormente, do valor do coeficiente γ_z com considerável eficiência. Seus valores representativos para as duas direções, x e y, caracterizam a estrutura como sendo de nós fixos. Os resultados referentes ao parâmetro α também apresentaram a mesma indicação quanto a estabilidade global, entretanto com valores relativamente mais destoantes do limite estabelecido por norma, diferentemente do γ_z .

O consumo de matérias que compunham a estrutura está apresentado na tabela 6, discriminados para cada elemento estrutural.

Tabela 6 – Consumo referente aos materiais por elemento estrutural (CA30LMC).

Materiais	Lajes	Vigas	Pilares	Fundação	Escadas
Aço CA-50 e CA-60 (kg)	62 467,00	26 275,00	21 361,00	7 666,00	1 730,00
Volume de Concreto (m ³)	752,82	335,64	128,67	328,22	16,50
Área de Fôrmas (m ²)	6 311,28	3 606,12	1 622,78	444,74	114,60

Fonte: O Autor.

A composição dos custos foi realizada para cada elemento estrutural que integram a concepção adotada, conforme a Tabela 7. Vale ressaltar que os valores referentes às escadas foram alocados juntamente com os de laje.

Tabela 7 – Custos para cada elemento estrutural e custo total (CA30LMC).

Elemento estrutural	Preço	Porcentagem
Fundação	R\$ 249 241,91	14,14%
Pilares	R\$ 283 156,80	16,06%
Vigas	R\$ 440 201,46	24,97%
Lajes	R\$ 790 162,64	44,83%
Total	R\$ 1 762 762,81	100,00%

Fonte: O Autor.

A parcela maior do custo total da estrutura é destinada a execução das lajes, representando 44,83%. Esse fato, reforça a análise da concepção estrutural sob diversas perspectivas de configuração, com enfoque na determinação da melhor escolha de laje a ser utilizada.

4.1.2 Sistema Estrutural CA30LNB

Esta concepção foi escolhida com o intuito de analisar a influência que a utilização da laje nervurada teria sobre a edificação. A determinação do seu arranjo estrutural foi elaborada através da otimização da aplicação desse tipo de laje para o empreendimento de estudo. Dessa maneira, foi necessário realizar alterações no escopo do projeto, onde houve uma atenção especial para a eliminação de grande parte do conjunto de vigas, como pode ser identificado nas plantas do apêndice. Por outro lado, a avaliação dos pilares foi focada na possibilidade de vencer vãos maiores e pelo critério de estabilidade global. Essas medidas, conforme a Figura 29, proporcionaram resultados significativamente importantes para a análise comparativa almejada neste trabalho.

A Tabela 8 apresenta o consumo dos materiais da estrutura relacionando com a área construída total para o sistema estrutural adotado.

Tabela 8 – Taxas de consumos de materiais por área construída (CA30LNB).

Descrição	Valor
área total construída (m ²)	7 016,26
m ² de fôrmas por m ² construído (m ² /m ²)	1,541
kg de aço por m ² construído (kg/m ²)	16,293
m ³ de concreto por m ² construído (m ³ /m ²)	0,195

Fonte; O Autor.

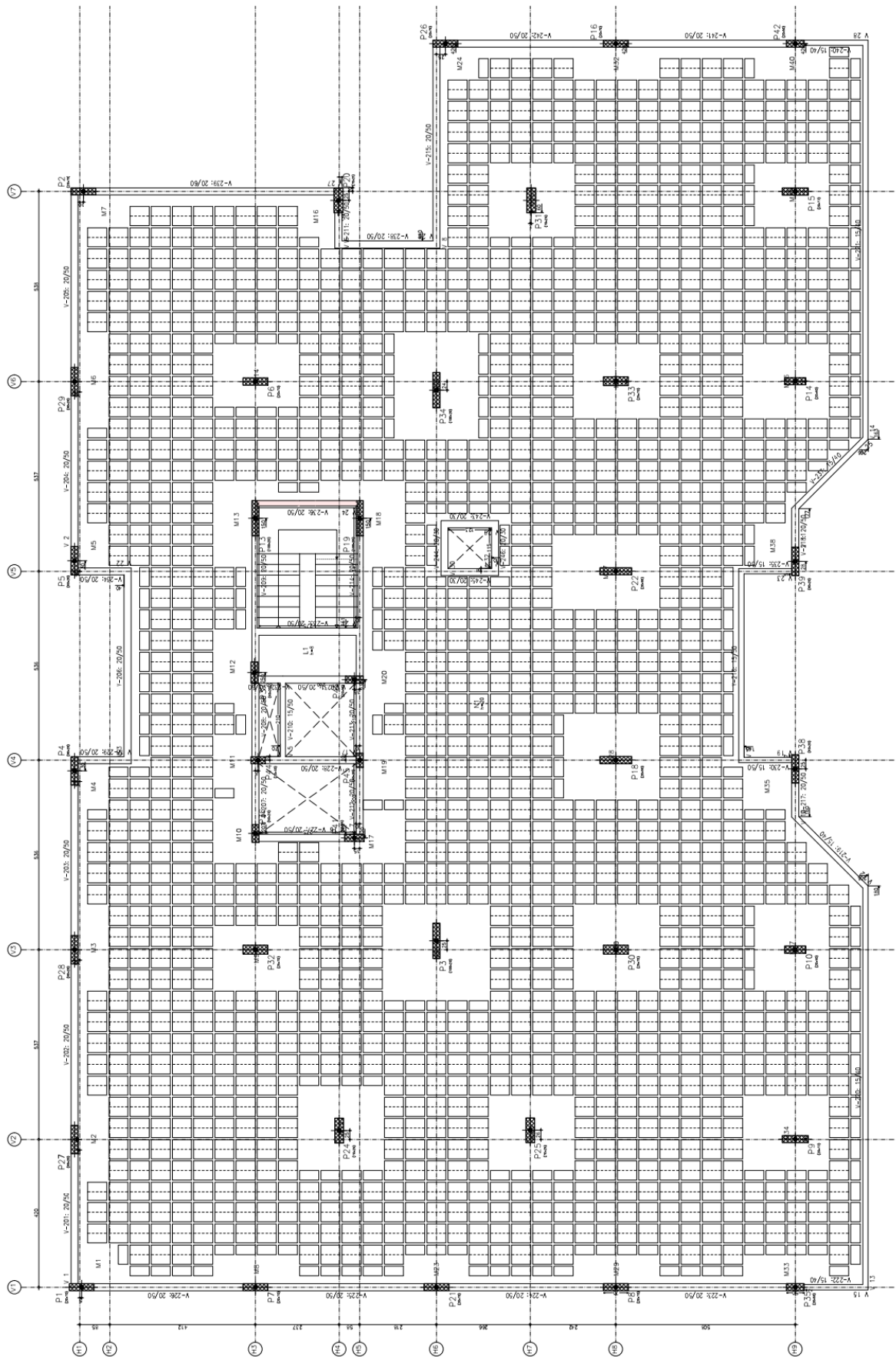
A quantidade de cubetas destinadas a fôrma da nervura das lajes é apresentada na tabela 9. Vale ressaltar que os moldes escolhidos para execução disponibilizavam de dois tipos de modelos: completos, com as dimensões padrões das nervuras (60x60cm); e parciais, com metade da dimensão padrão de um dos lados (30x60cm).

Tabela 9 – Quantitativo de cubetas para fôrma para laje nervurada (CA30LNB).

Tipo de molde	Quantidade
Completo (60x60cm)	13 354
Parcial (30x60cm)	1 770
Total	15 124

Fonte: O Autor.

Figura 29 – Planta de fôrma referente ao pavimento tipo do modelo “CA30LNB”.



Fonte: o Autor.

As informações pertinentes aos deslocamentos horizontais e indicadores de instabilidade global encontra-se na tabela 10, sob as mesmas considerações de cálculo do “CA30LMC”.

Tabela 10 – Deslocamento horizontal máximo e parâmetros de instabilidade (CA30LNB).

	Direção X	Direção Y	Limite
Deslocamento total (mm)	17,80	25,80	17,65
Parâmetro α	0,314	0,471	0,500
Coefficiente γ_z	1,100	1,099	1,100

Fonte: O Autor.

Com a determinação das características da laje nervurada, respeitando as vigas de borda, foi necessário adequar principalmente as disposições e dimensões dos pilares para atingir valores aceitáveis de γ_z , alcançando valores iguais ou suficientemente próximos do limite de representativo de caracterização de estrutura de nós fixos. Os resultados obtidos para o parâmetro α foram coerentes quanto ao critério de estabilidade, mas ainda um pouco destoantes com o limite determinado.

O consumo de matérias componentes para cada elemento da estrutura é representado na tabela 11.

Tabela 11 – Consumo referente aos materiais por elemento estrutural (CA30LNB).

Materiais	Lajes	Vigas	Pilares	Fundação	Escadas
Aço CA-50 e CA-60 (kg)	68 323,00	15 081,00	22 330,00	6 672,23	1 730,00
Volume de Concreto (m ³)	729,77	178,54	155,97	285,25	16,50
Área de Fôrmas (m ²)	6 637,09	1 733,03	1 927,08	400,42	114,60

Fonte: O Autor.

A modalidade da laje escolhida para essa concepção proporciona uma estrutura de menor peso, refletindo diretamente no consumo dos materiais em todos os componentes do sistema. Dessa forma, os custos da estrutura sofrem bastante interferência em relação com o modelo apresentado anteriormente. A Tabela 12 apresenta os valores de preço necessários para a execução de componente estrutural da concepção adotada.

Tabela 12 – Custos para cada elemento estrutural e custo total (CA30LNB).

Elemento estrutural	Preço	Porcentagem
Fundação	R\$ 220 109,15	13,55%
Pilares	R\$ 241 913,95	14,89%
Vigas	R\$ 232 534,15	14,32%
Lajes	R\$ 929 844,28	57,24%
Total	R\$ 1 624 401,53	100,00%

Fonte: O Autor.

Novamente, o destaque para o custo de laje é evidente, representando 57,24% do custo total da estrutura. Por outro lado, ocorre uma redução significativa dos demais elementos, indicando os reflexos do consumo de material desse sistema estrutural.

4.1.3 Sistema Estrutural CA30LSD

A concepção abrangida pela laje *steel deck* exige arranjos estruturais específicos que denotam limitações de vãos mais restritas e disposições arquitetônicas equivalentes. Em geral, a configuração de vigas é o âmbito que mais sofre influência sob essas condições. A consequente adição de esses elementos estruturais, estão de acordo com o tipo de laje mista selecionada, o que interfere diretamente no consumo de materiais da construção, como pode ser visualizado na Figura 30. A tabela 13 demonstra os índices quantitativos de materiais usados em relação com a área total construída.

Tabela 13 – Taxas de consumos de materiais por área construída (CA30LSD).

Descrição	Valor
área total construída (m ²)	7 016,26
m ² de fôrmas por m ² construído (m ² /m ²)	0,926
kg de aço por m ² construído (kg/m ²)	11,214
m ³ de concreto por m ² construído (m ³ /m ²)	0,243
kg de chapa de aço de 8mm (MF-75) por m ² construído (kg/m ²)	9,095

Fonte: O Autor.

A chapa de aço escolhida para compor a laje mista tem característica colaborante, que elimina a necessidade de placas de fôrmas comuns nos demais tipos de laje. Dessa forma, a taxa de consumo dos demais itens componentes do sistema estrutural sofrem redução.

Os valores relativos a estabilidade do sistema “CA30LSD” assim como seus limites normativos, encontram-se na tabela 14.

Tabela 14 – Deslocamento horizontal máximos e parâmetros de instabilidade (CA30LSD).

	Direção X	Direção Y	Limite
Deslocamento total (mm)	12,35	22,40	17,65
Parâmetro α	0,215	0,452	0,500
Coefficiente γ_z	1,099	1,100	1,100

Fonte: O Autor.

Os critérios de estabilidade global pré-estabelecidos foram atendidos, caracterizando como sendo de nós fixos. A composição mais distribuída de vigas contribui significativamente para este resultado, visto que proporciona um aumento do peso próprio da estrutura.

Os dados da Tabela 15 representam a quantidade dos materiais que englobam a execução da estrutura, distinguidos pelos elementos estruturais.

Tabela 15 – Consumo referente aos materiais por elemento estrutural (CA30LSD).

Materiais	Lajes	Vigas	Pilares	Fundação	Escadas
Aço CA-50 e CA-60 (kg)	1 722,00	43 304,00	23 450,00	8 477,36	1 730,00
Volume de Concreto (m ³)	762,46	426,95	134,47	368,05	16,50
Área de Fôrmas (m ²)	11,39	4 214,09	1 676,75	480,05	114,60
Chapa de aço (kg)	63 815,00	-	-	-	-

Fonte: O Autor.

A tabela 16 apresenta os custos referentes a cada elemento do projeto, assim como o valor total da estrutural.

Tabela 16 – Custos para cada elemento estrutural e custo total (CA30LSD).

Elemento estrutural	Preço	Porcentagem
Fundação	R\$ 274 968,74	12,90%
Pilares	R\$ 219 681,98	10,30%
Vigas	R\$ 615 900,16	28,89%
Lajes	R\$ 1 021 656,07	47,92%
Total	R\$ 2 132 206,95	100,00%

Fonte: O Autor.

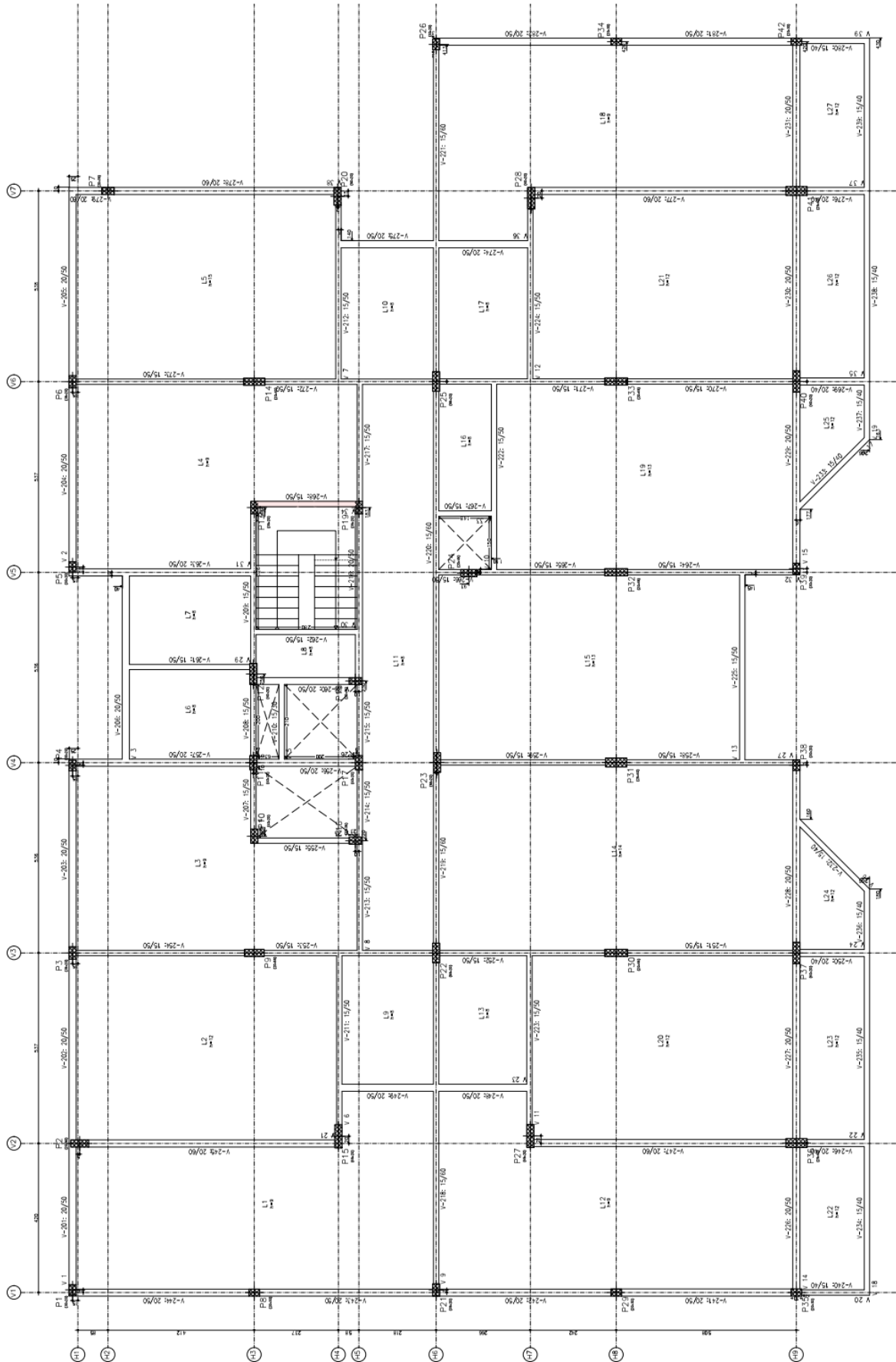
O quantitativo expressivo de vigas e composição da laje mista foram determinantes para o aumento dos custos de execução da estrutura. Mesmo com a redução de escoramentos e a exclusão quase total das fôrmas para as lajes, o preço dos materiais específicos desse tipo de elemento oneraram significativamente o escopo do projeto.

4.1.4 Sistema Estrutural CA45LMC

O acréscimo na resistência do concreto permite modelar elementos mais rígidos ou mais esbeltos, conforme a necessidade. Entretanto, o custo deste tipo de material pode acarretar a inviabilidade do modelo adotado. Dessa forma, buscou-se reduzir dimensões em todos os elementos estruturais, com o intuito de reduzir o consumo de materiais e conseqüentemente o preço total da edificação. De fato, a possibilidade de atingir um escopo geral de diminuição de seções transversais apresenta-se bastante abrangente, porém com uma maior disponibilidade para os pilares, devido a sua característica principal de resistência a compressão.

A Figura 31 apresenta a planta do pavimento tipo após a realização das devidas alterações competentes ao escopo deste trabalho.

Figura 31 – Planta de fôrma referente ao pavimento tipo do modelo “CA45LMC”.



Fonte: O Autor.

Como resultado, as taxas de consumo dos materiais de âmbito estrutural apresentaram valores singulares, conforme a tabela 17.

Tabela 17 – Taxas de consumos de materiais por área construída (CA45LMC).

Descrição	Valor
área total construída (m ²)	7 016,26
m ² de fôrmas por m ² construído (m ² /m ²)	1,703
kg de aço por m ² construído (kg/m ²)	16,566
m ³ de concreto por m ² construído (m ³ /m ²)	0,205

Fonte: O Autor.

A Tabela 18 apresenta os valores de deslocamento e os parâmetros de instabilidade da estrutura, assim como os limites estabelecidos por norma.

Tabela 18 – Deslocamento horizontal máximo e parâmetros de instabilidade (CA45LMC).

	Direção X	Direção Y	Limite
Deslocamento total (mm)	14,74	19,02	17,65
Parâmetro α	0,385	0,509	0,500
Coefficiente γ_z	1,096	1,095	1,100

Fonte: o autor (2018).

Atendendo aos critérios estabelecidos neste trabalho, a estrutura referente ao sistema “CA45LMC” pode ser caracterizada como de nós fixos, visto que o valor de γ_z encontra-se abaixo do limite estabelecido pela NBR 6118 (2014). O resultado do cálculo do parâmetro α , entretanto, não indica essa condição de estabilidade, consequência da consideração da deformação apenas no topo do edifício. Foi possível verificar que essa distorção de valores representa uma discrepância com os demais deslocamentos da estrutura, majorando, neste caso, os efeitos de instabilidade. A atenuação da deformação é proporcionada, de fato, pelo aumento do módulo de elasticidade característico do concreto C45 e remete diretamente a maior rigidez da estrutura.

O consumo de aço, concreto e fôrmas é apresentado na tabela 19, disposto para cada elemento estrutural.

Tabela 19 – Consumo referente aos materiais por elemento estrutural (CA45LMC).

Materiais	Lajes	Vigas	Pilares	Fundação	Escadas
Aço CA-50 e CA-60 (kg)	59 480,70	30 906,00	17 389,00	6 727,11	1 730,00
Volume de Concreto (m ³)	679,28	341,09	96,75	307,62	16,50
Área de Fôrmas (m ²)	6 314,84	3 733,13	1 363,23	423,64	114,60

Fonte: O Autor.

A tabela 20 apresenta o resultado dos custos alcançados com o “CA45LMC”, discriminados por elemento estrutural.

Tabela 20 – Custos para cada elemento estrutural e custo total (CA45LMC).

Elemento estrutural	Preço	Porcentagem
Fundação	R\$ 279 333,17	15,20%
Pilares	R\$ 179 429,12	9,77%
Vigas	R\$ 540 467,02	29,42%
Lajes	R\$ 838 044,20	45,61%
Total	R\$ 1 837 273,50	100,00%

Fonte: O Autor.

O resultado dos custos para cada elemento estrutural reflete ao preço superior para o concreto de f_{ck} igual a 45Mpa, mesmo com uma redução considerável do consumo dos materiais.

4.2 SÍNTESE DOS RESULTADOS E AVALIAÇÃO COMPARATIVA

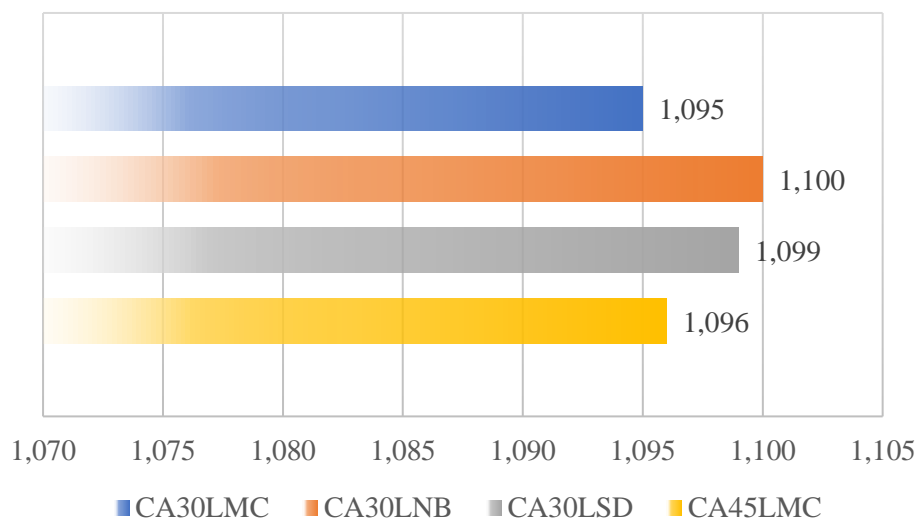
Diante dos resultados obtidos é possível realizar o balanço entre as concepções estruturais adotadas. Algumas das análises terá como referência a relação entre o “CA30LMC”, projeto base adaptado a partir dos estudos de Graff (2015), e os demais modelos apresentados neste trabalho.

4.2.1 Estabilidade Global

O conjunto de elementos e características de cada sistema estrutural trouxe nuances específicas para os arranjos estruturais desenvolvidos. Para adequar ao critério de estabilidade pré-determinado, γ_z inferiormente próximo ou igual a 1,100, foi necessário realizar as possíveis mudanças na composição das concepções escolhidas. Conforme exposto nas figuras a seguir, esse critério foi atendido de forma satisfatória. Evidentemente, a variação desses valores, mesmo que de forma sutil, remete às limitações provenientes do dimensionamento das peças estruturais e considerações arquitetônicas.

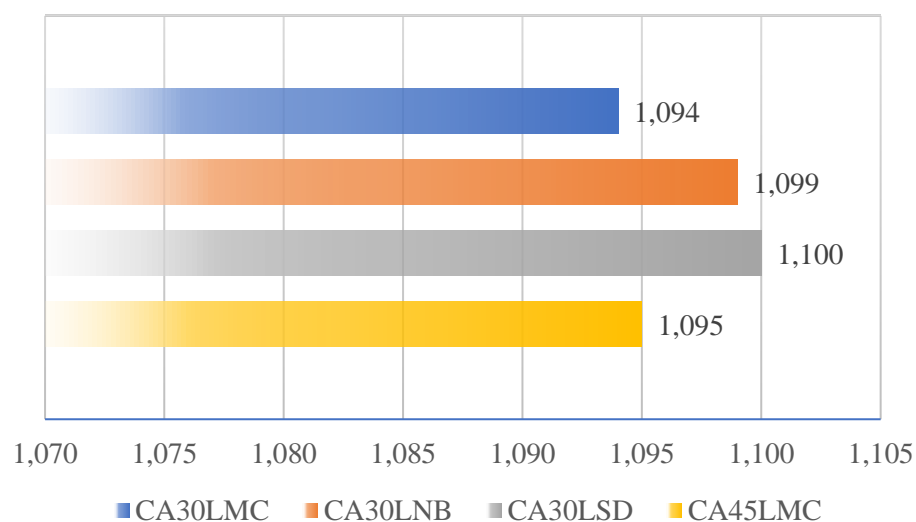
A seguir é apresentado os valores do coeficiente de instabilidade global γ_z para as concepções estruturais avaliadas neste trabalho. Enquanto a Figura 32 expõe os resultados referentes a análise na direção x, a Figura 33 apresenta os valores condizentes com a configuração na direção y.

Figura 32 – Valores de γ_z na direção x para cada sistema estrutural adotado.



Fonte: O Autor.

Figura 33 – Valores de γ_z na direção y para cada sistema estrutural adotado.



Fonte: O Autor.

Os pilares foram os elementos que mais sofreram alterações tanto para atender aos critérios de estabilidade global quanto para as verificações e dimensionamento. Enquanto que para as lajes foram estabelecidas dimensões padrões e características específicas, para as vigas foram, em sua maioria, limitadas pelas restrições normativas e pelo escopo arquitetônico. Mesmo para o “CA45LMC”, onde houve um acréscimo de resistência do concreto para todos os elementos estruturais, esses aspectos foram perpetuados de forma semelhante. Afinal, o f_{ck} mais elevado está diretamente relacionado com a característica do concreto a resistir aos esforços de compressão, funcionando de forma complementar aos demais tipos de solicitações impostas pela estrutura. De forma análoga, a constituição de lajes nervuradas do “CA30LNB”,

com a eliminação de boa parte das vigas, acarreta a redução do peso da estrutura e consequentemente aumenta a tendência à instabilidade, exigindo seções de pilares mais robustas. Por outro lado, o acréscimo de vigas na configuração do “CA30LSD” proporciona uma conjuntura de pórticos mais rígida, além do peso mais elevado.

As variações dos resultados obtidos para dois métodos de avaliação de estabilidade global, conforme a Tabela 21, são frutos dos aspectos de cálculo em que são fundamentados, mesmo que ambos se baseiem em composições de dados semelhantes, como: deformações, carregamentos e quantidade de pórticos. Enquanto o coeficiente γ_z considera o deslocamento horizontal em cada pavimento, o parâmetro α avalia apenas a deformação no topo do edifício. Essa consideração simplificada aumenta a possibilidade de disparidade de valores e, por outro lado, o γ_z apresenta-se mais condizente com a realidade por ponderar cada parcela de influência.

Tabela 21 – Síntese das deformações e parâmetros de estabilidade global.

Modelo	Item	Direção X	Direção Y
CA30LMC	Deslocamento total (mm)	13,75	20,33
	Parâmetro α	0,358	0,165
	Coeficiente γ_z	1,095	1,094
CA30LNB	Deslocamento total (mm)	17,80	25,80
	Parâmetro α	0,314	0,471
	Coeficiente γ_z	1,100	1,099
CA30LSD	Deslocamento total (mm)	12,35	22,40
	Parâmetro α	0,215	0,452
	Coeficiente γ_z	1,099	1,100
CA45LMC	Deslocamento total (mm)	14,74	19,02
	Parâmetro α	0,385	0,509
	Coeficiente γ_z	1,096	1,095

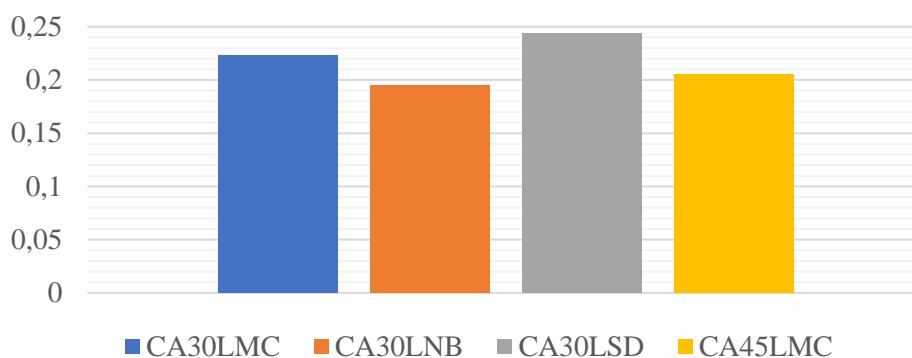
Fonte: O Autor.

Os deslocamentos na direção x apresentam-se inferiores aos referentes a direção y, principalmente por ter uma maior quantidade de pórticos atuantes na rigidez da estrutura nessa direção e pela disposição geométrica dos pilares. Para todos os deslocamentos horizontais na direção y e apenas no “CA30LNB” em ambas direções, os valores foram superiores ao limite estabelecido pela NBR 6118 (2014) de 17,65mm, exigindo uma reavaliação das concepções perante este critério. Vale ressaltar que apesar do “CA45LMC” apresentar seções de pilares menos robustas, o seu fck mais elevado que as demais concepções proporcionam elementos mais rígidos e consequentemente mais resistentes a deformação.

4.2.2 Consumo de Concreto

Na avaliação da taxa de concreto entre os modelos adotados, o “CA30LSD” apresenta o maior representativo, enquanto que o “CA30LNB” se revelou menos oneroso perante esse parâmetro (Figura 34). A variação deste fator pode ser decisiva para a escolha da melhor opção a ser executada, afinal, representam uma quantidade significativa no orçamento de uma obra.

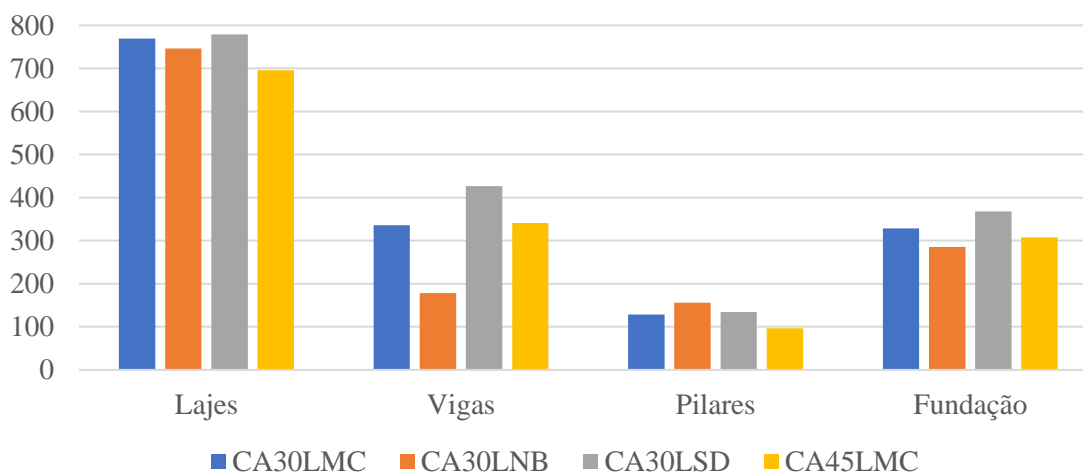
Figura 34 – Índice de concreto por área construída (m^3/m^2) para cada concepção estrutural.



Fonte: O Autor.

Conforme a Figura 35 e a Tabela 22, é possível identificar que o consumo de concreto é superior em quase todos os elementos estruturais para a concepção “CA30LSD”, em especial a quantidade de concreto destinado às vigas. Afinal, o sistema de lajes mistas exige arranjos de vigas mais homogêneos para atender aos critérios práticos de execução e limitações mais restritas de vãos. Por outro lado, a composição de lajes nervuradas do “CA30LNB” inclui apenas vigas de bordo, reduzindo consideravelmente o volume de concreto.

Figura 35 – Consumo de concreto em m^3 para cada concepção estrutural.



Fonte: O Autor.

Tabela 22 – Tabela resumo de consumo de concreto em m³.

Concepção	Lajes	Vigas	Pilares	Fundação
CA30LMC	769,32	335,64	128,67	328,22
CA30LNB	746,27	178,54	155,97	285,25
CA30LSD	778,96	426,95	134,47	368,05
CA45LMC	695,78	341,09	96,75	307,62

Fonte: O Autor.

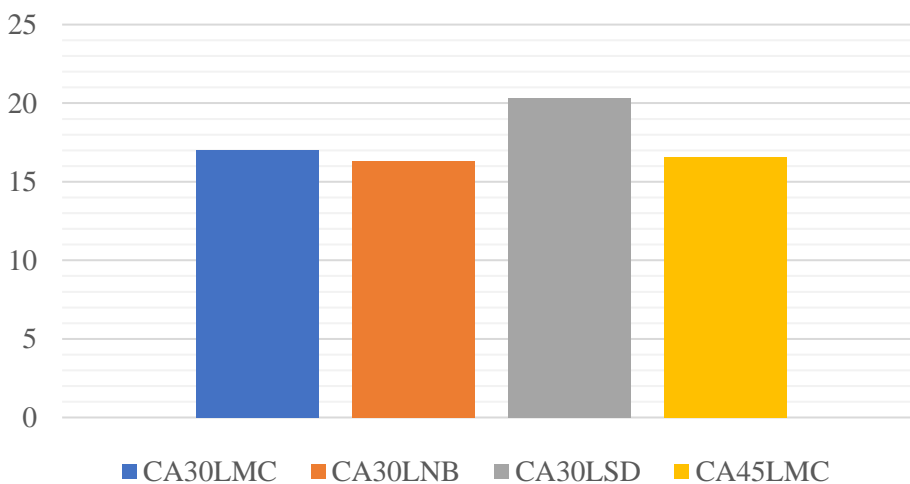
Entre os elementos estruturais padrões de cada modelo, as lajes representam uma quantidade absolutamente superior aos demais componentes, reforçando a necessidade de avaliação econômica dos tipos de lajes que podem ser aplicadas no projeto. O aumento do *fck* (“CA45LMC”) proporcionou reduções em todos os componentes da estrutura, em comparado com a concepção análoga, “CA30LMC”.

As fundações de sapata isolada constituem uma parcela considerável do consumo de concreto para todas as concepções adotadas, sendo superiores inclusive aos pilares. O estudo da viabilidade deste tipo de fundação é sempre importante para otimizar a atuação deste elemento.

4.2.3 Consumo de Aço

O sistema estrutural “CA30LSD”, novamente, demonstra valores superiores comparado com as demais concepções, conforme Figura 37. Este fator é influenciado principalmente pela presença das chapas colaborativas de laje *steel deck*, que representam uma quantidade significativa do total de aço presente neste elemento estrutural.

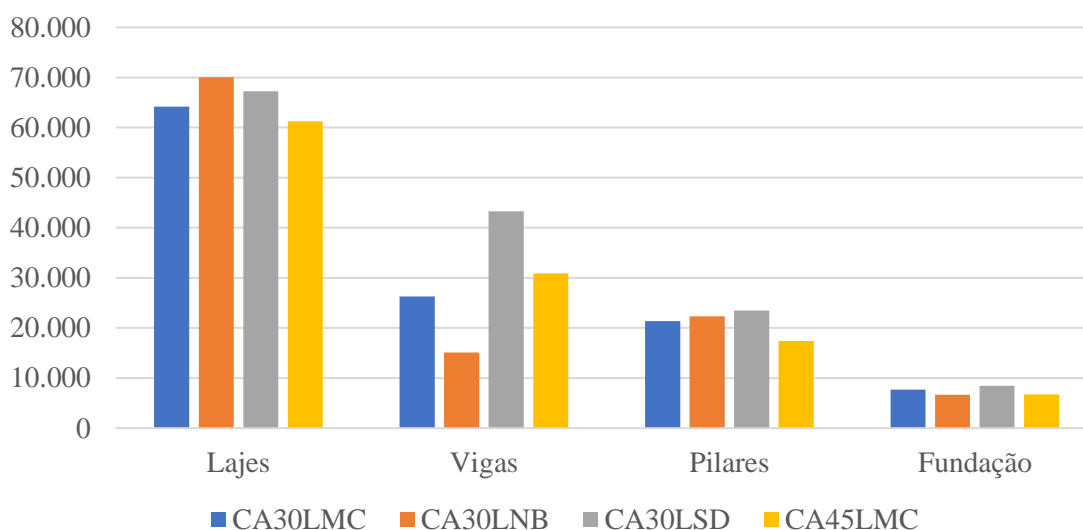
Figura 36 – Índice de aço por área construída (kg/m²) para cada concepção estrutural.



Fonte: O Autor.

As informações presentes na Figura 38 e na Tabela 23 expõem o panorama de consumo de aço para cada modelo adotado, discriminando por elemento estrutural. As lajes mantêm-se em destaque em relação aos demais componentes, com ênfase nas nervuradas por causa da sua função de substituir as vigas internas na edificação. Enquanto que as fundações apresentam uma porcentagem menor de consumo, diferentemente da perspectiva relativa ao concreto, devido as suas características geométricas e a parcela de atuação da armadura nessa peça estrutural. As escadas representam uma porcentagem mínima de consumo para todos os âmbitos aqui destacados e é configurada de forma igualitária para todas as concepções adotadas, esses elementos foram considerados como componentes de lajes.

Figura 37 – Consumo de aço em kg para cada sistema estrutural.



Fonte: O Autor.

Tabela 23 – Tabela resumo do consumo de aço em Kg.

Concepções	Lajes	Vigas	Pilares	Fundação
CA30LMC	64 197,00	26 275,00	21 361,00	7 666,00
CA30LNB	70 053,00	15 081,00	22 330,00	6 672,23
CA30LSD	67 267,00	43 304,00	23 450,00	8 477,36
CA45LMC	61 210,70	30 906,00	17 389,00	6 727,11

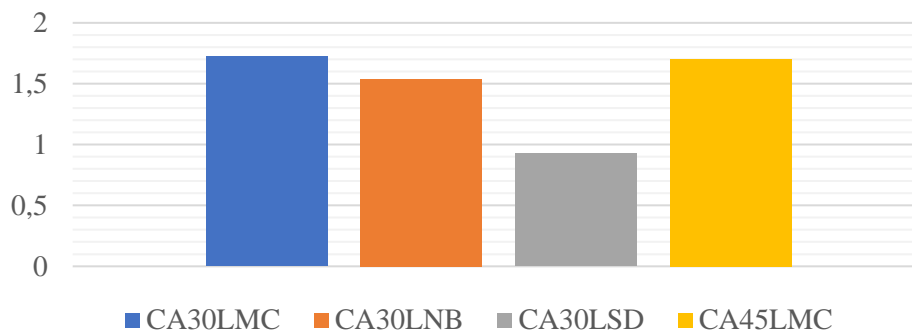
Fonte: O Autor.

4.2.4 Consumo de Fôrma

A composição das lajes *steel deck* permite utilizar a sua base como chapa colaborativa e exime a necessidade de placas de fôrma para esse elemento, exigindo apenas para a contenção lateral do concreto onde for preciso. Dessa forma, conforme A Figura 38, taxa de consumo

desse tipo de material para o “CA30LSD” é consideravelmente menor em comparação com as demais concepções.

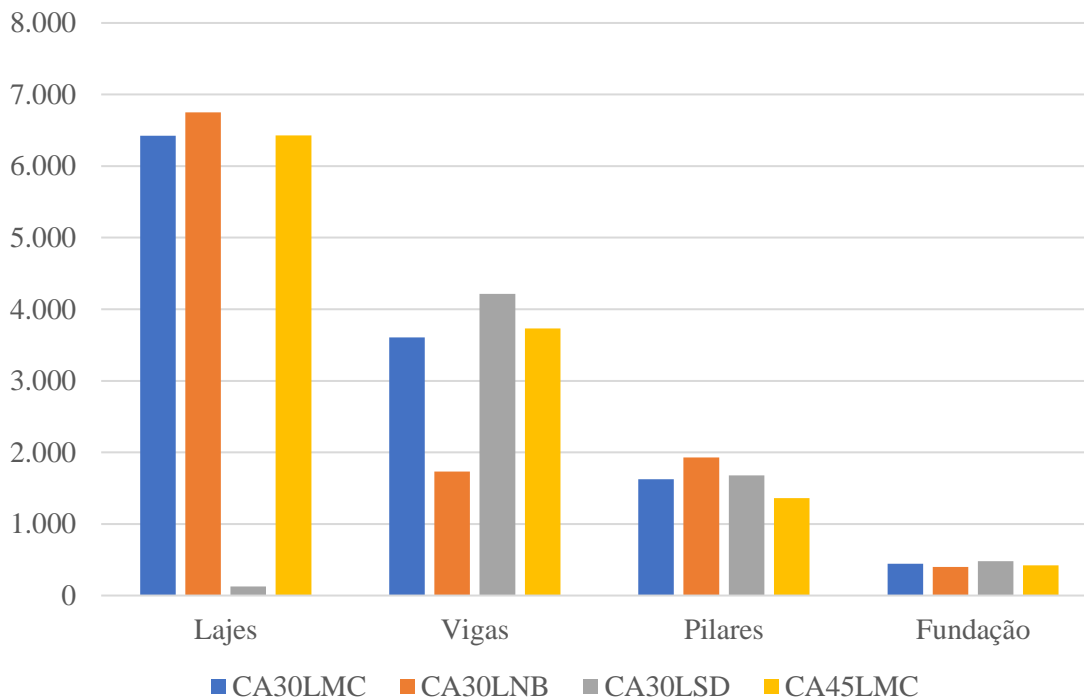
Figura 38 – Índice de fôrmas por área construída (m²/m²) para cada concepção estrutural.



Fonte: O Autor.

Em valores totais, fica evidente que a exclusão das placas de fôrma no caso “CA30LSD” representa uma porcentagem quase total sobre esse tipo de laje. A eliminação de grande parte das vigas no sistema “CA30LNB” reduz drasticamente o consumo desse material, porém represente valores superiores no âmbito das lajes e pilares, por causa das suas seções mais robustas, conforme Figura 39 e Tabela 24.

Figura 39 – Consumo de fôrmas em m² para cada concepção estrutural.



Fonte: O Autor.

Tabela 24 – Tabela resumo do consumo de fôrma em m².

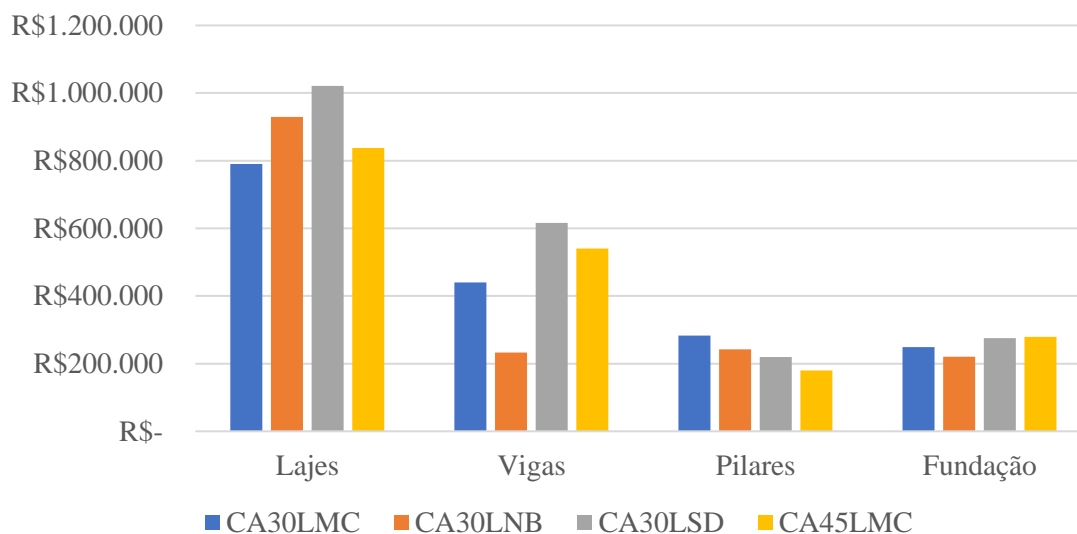
Fôrma	Lajes	Vigas	Pilares	Fundação
CA30LMC	6 425,88	3 606,12	1 622,78	444,74
CA30LNB	6 751,69	1 733,03	1 927,08	400,42
CA30LSD	125,99	4 214,00	1 676,75	480,05
CA45LMC	6 429,44	3 733,13	1 363,23	423,64

Fonte: O Autor.

4.2.5 Comparativo de Custos

A composição de preços para cada modelo adotado apresentou características específicas para cada elemento estrutural avaliado neste trabalho, conforme a Figura 40 e Tabela 25. Essas disparidades foram decisivas para elencar as concepções avaliadas pelo custo total da edificação.

Figura 40 – Relação de custos para cada concepção estrutural.



Fonte: O Autor.

Tabela 25 – Tabela resumo de custos de cada estrutura.

Concepção	Lajes		Vigas		Pilares		Fundação	
CA30LMC	R\$	790 162,64	R\$	440 201,46	R\$	283 156,80	R\$	249 241,91
CA30LNB	R\$	929 844,28	R\$	232 534,15	R\$	241 913,95	R\$	220 109,15
CA30LSD	R\$	1 021 656,07	R\$	615 900,16	R\$	219 681,98	R\$	274 968,74
CA45LMC	R\$	838 044,20	R\$	540 467,02	R\$	179 429,12	R\$	279 333,17

Fonte: O Autor.

Os valores relativos às lajes foram, como esperado, a maior porcentagem dos custos em relação com os demais elementos estruturais. As lajes maciças convencionais com *fck* de 30MPa representaram a menor quantia entre as demais, isso remete ao seu método mais

tradicional de execução contemplando preços unitários menos expressivos. Enquanto que a perspectiva de acréscimo de resistência do “CA45LMC” simbolizou a elevação considerável dos gastos envolvendo a fabricação do concreto armado. Os modelos de laje dos casos “CA30LNB” e “CA30LSD”, o mais oneroso, apresentam execuções baseadas em técnicas menos tradicionais que remetem a valores mais elevados para realizá-los. O conceito das nervuradas possuem quantias extras referentes aos moldes para as nervuras, além de apresentar um consumo mais elevado de aço. Já o sistema “CA30LSD” se destaca por eximir em valores significativos os gastos envolvendo as fôrmas e escoramentos, porém a chapa colaborante de aço onera a sua fabricação de forma considerável.

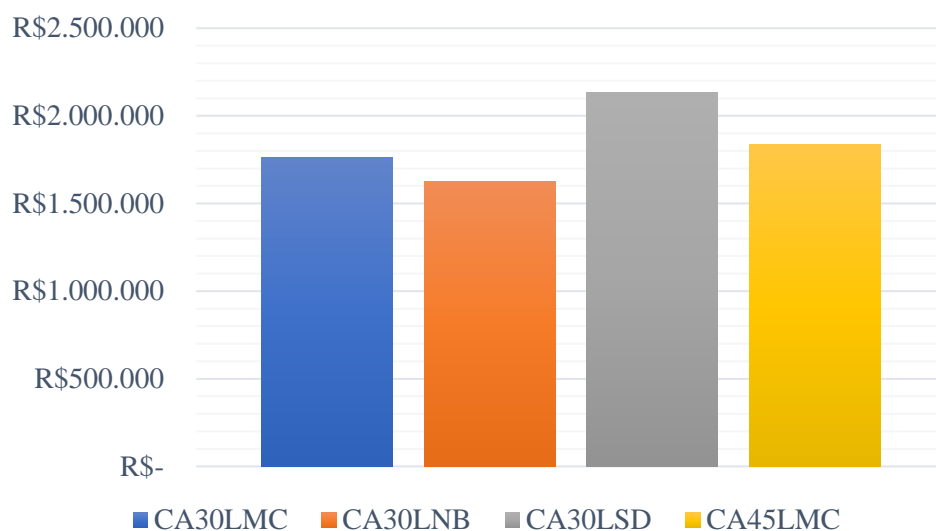
As disparidades presentes nos custos representativos das vigas são reflexos diretos das quantidades atuantes em cada estrutura. Enquanto o sistema contemplado com lajes nervuradas apresentam uma redução significativa de vigas, a concepção de peças de superfície de *steel deck* elevam consideravelmente este valor, isso em comparação com os modelos com lajes maciças. Entre esses últimos sistemas citados, as alterações no arranjo de vigas foram mínimas, e a variação dos valores remete principalmente ao preço referente ao tipo de concreto utilizado.

Uma parcela relevante dos custos com a execução de pilares está relacionada com a adequação da rigidez da estrutura, para atender aos critérios de estudo. Em especial, o sistema “CA45LMC” apresentou um valor relativamente inferior aos demais concepções devido a significativa redução do volume de concreto empregado, mesmo apresentando preço unitário maior.

O montante referente às fundações representa a reação quantitativa em relação com os carregamentos provenientes da superestrutura. Portanto, o “CA30LNB” detém de menor valor agregado, justamente por aglomerar uma quantidade menor de carregamentos. Salvo o caso “CA45LMC”, que apresentou um custo mais elevado, mesmo com o menor consumo entre os demais modelos, em razão do custo relativamente maior para a fabricação do concreto.

A Figura 41 e a tabela 26 expõem em síntese os custos totais pertinentes a estrutura de cada modelo adotado neste trabalho, onde fica evidente a discrepância entre os valores obtidos. A partir da mensuração dos custos totais para cada modelo adotado neste estudo é possível identificar que o “CA30LNB” apresentou o menor valor orçado para execução da estrutura, enquanto que o caso “CA30LSD”, o mais caro, e o “CA45LMC” compreenderam uma quantia total superior a concepção “CA30LMC”.

Figura 41 – Comparativo de custos totais para cada concepção estrutural.



Fonte: O Autor.

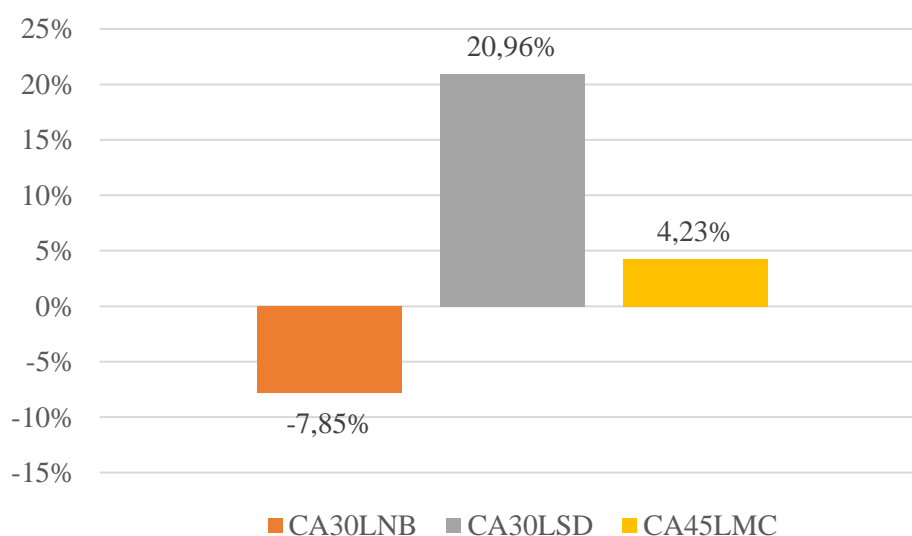
Tabela 26 – Tabela resumo dos custos totais.

Concepção Estrutural	Custo Total
CA30LMC	R\$ 1 762 762,81
CA30LNB	R\$ 1 624 401,53
CA30LSD	R\$ 2 132 206,95
CA45LMC	R\$ 1 837 273,50

Fonte: O Autor.

Estabelecendo o sistema estrutural “CA30LMC” como sendo o modelo de referência deste trabalho, efetuou-se a avaliação entre os sistemas adotados, em percentuais, das diferenças dos custos totais, conforme a Figura 42.

Figura 42 – Diferenças percentuais dos custos totais em relação com o “CA30LMC”.



Fonte: O Autor.

Portanto, fica evidente que a escolha do “C30LNB”, constituído de laje nervurada e elementos de concreto C30, apresenta-se menos onerosa sob um mesmo parâmetro de análise estrutural. Entretanto, é importante efetuar juntamente com o arquiteto um estudo de viabilidade dessa concepção, para avaliar critérios de execução, prazos e disponibilidade do mercado. Deve-se realizar também um estudo integrado com os demais projetos que compõem o escopo da edificação, para analisar a interferência que esse modelo exerce sobre o ambiente construtivo.

De fato, a otimização dos elementos do sistema perante os limiares de rigidez é uma perspectiva pontual, sob um aspecto determinado, onde é possível avaliar o comportamento e as características estruturais que compõem as diferentes concepções adotadas.

CONCLUSÕES

O estudo sobre as considerações de estruturas de nós fixos foi significativo para estabelecer um parâmetro que respeitasse um critério de segurança instituído por norma. Assim, a escolha do coeficiente γ_z como método determinante da estabilidade global foi importante pelo fato de analisar cada parcela da deformação, simbolizando estimativas mais realistas. A avaliação do parâmetro α apresentou valores destoantes, em comparação com o método γ_z , portanto sendo desconsiderado para a análise da estabilidade global das concepções de estudo. A inércia adquirida pela combinação de pórticos espaciais foi manipulada conforme as características de cada concepção, obtendo resultados satisfatórios. O arranjo composto por lajes nervuradas, vigas de bordo e pilares demonstrou-se mais eficaz, apresentando um menor consumo de concreto e aço sob condições semelhantes de rigidez estrutural.

As características específicas das concepções baseadas em modelos menos tradicionais podem representar fatores cruciais para a escolha mais apropriada. Por mais que os sistemas estruturais com lajes maciças possam apresentar um conjunto que consuma mais concreto, elas disponibilizam de um pé-direito útil mais elevado se comparada com as lajes nervuradas, por ter uma altura total maior, gerando interferências, por exemplo, na passagem de tubulações. As lajes mistas com chapa colaborante permitem uma execução mais eficiente, pelo fato da sua chapa de aço configurar como fôrma e área de trabalho durante a execução e atuar como armadura positiva na sua fase de uso.

A concepção que se apresentou mais vantajosa economicamente foi o caso “CA30LNB”, onde as características exclusivas das lajes nervuradas permitiram reduções significativas de consumo de concreto dos demais elementos componentes das estruturas, compensando os gastos extras referente a essa tipologia. A diferença de custos entre o sistema “CA30LNB” e o modelo mais oneroso (CA30LSD) representou um acréscimo de 31,26%, reflexo principalmente devido ao quantitativo de concreto. A elevação da resistência do concreto no “CA45LMC” permitiu projetar pilares consideravelmente mais esbeltos, comparado com a tipologia “CA30LMC”, porém sem reduções significativas nas lajes, que representam a maior parcela dos custos totais.

Os critérios de estabilidade global, dimensionamento estrutural e considerações arquitetônicas foram norteadores para a quantificação dos consumos relativos e consequentemente para os custos da estrutura. Entretanto, a escolha da melhor opção a ser adotada deve ser pautada também em critérios de viabilidade que envolvem os demais escopos

do projeto de edificação e os prazos de execução vigorados. Outro fator a ser considerado, remete a situação em que se encontra o mercado para a disponibilidade de fornecimento dos materiais e equipamentos exclusivos de cada concepção estrutural.

Por fim, diante a abrangência desta temática sugere-se como estudo para futuros trabalhos, os seguintes assuntos:

- Estudo de viabilidade de aplicação estruturas metálicas e composições mistas de concreto e aço;
- Avaliação da eficiência de fundações superficiais e profundas com diversas tipologias de estudo;
- Análise do escopo de prazos relacionados a execução de cada concepção estrutural;
- Comparação de resultados de estabilidade global e dimensionamento com outros softwares estruturais;
- Estudo do comportamento estrutural considerando estruturas de nós móveis, a partir do método do coeficiente de instabilidade global γ_z e com base nos limites normativos.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de Alternativas Estruturais para Edifícios em Concreto Armado**. Dissertação (Mestrado). São Carlos: Escola de Engenharia - Universidade de São Carlos, 1999.

ALBUQUERQUE, M. **Goiânia Ganha Primeiro Arranha-Céu e Passa a Ter o Prédio Mais Alto do Brasil**. 2017. Disponível em: <<http://www.curtamais.com.br/goiania/goiania-ganha-primeiro-arranha-ceu-e-passa-a-ter-o-predio-mais-alto-do-brasil>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

ATEX BRASIL. **Catálogo de Dados Técnicos**. 2017. Disponível em: <<http://www.atex.com.br/pt/formas/laje-nervurada>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6023: **Informação e Documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 6120: **Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

_____. NBR 6122: **Projeto e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro, 1996.

_____. NBR 6123: **Forças Devido ao Vento em Edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

_____. NBR 8800: **Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 10520: **Informação e Documentação – Citações em Documentos – Apresentação**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. NBR 14724: **Informação e Documentação: Trabalhos Acadêmicos: Apresentação**. 3. ed. Rio de Janeiro. 2011

BASTOS, P. S. **Estruturas de Concreto Armado - Notas de Aula**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2015.

BELLEI, I. H.; PINHO, F. O.; PINHO, M. O. **Edifícios de Múltiplos Andares em Aço – 2. ed.** São Paulo: Pini, 2008.

BOTELLO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado Eu Te Amo - Vol. 2 (4. ed.)**. São Paulo: Blucher, 2015.

CARMO, R. M. S. **Efeitos de Segunda Ordem em Edifícios Usuais de Concreto Armado**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

CARVALHO, R. C., & PINHEIRO, L. M. **Cálculo e Detalhamento de Estrutura Usuais de Concreto Armado** - vol. 2 (2. ed.). São Paulo: PINI, 2013.

CHANDRUPLATA, T. R.; BELEGUNDU, A. D. **Elementos Finitos** - (4ª edição). São Paulo: Pearson Education do Brasil. 2014.

CLÍMACO, J. C. **Estruturas de Concreto Armado**. Brasília: Elsevier, 2016.

ENGEL, H. **Sistemas Estruturais**. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.

FERREIRA, W. G.; FREITAS, F.C.; LUCHI, L. A. R. **Análise de Estabilidade Global das Estruturas e Ações de Controle dos seus Efeitos** – Vol. 9. São Paulo: Ibracon, 2016.

GEROLLA, G. **Qual o percentual médio do orçamento correspondente a cada etapa da obra**. 2016. Disponível em: <<https://estilo.uol.com.br/casa-e-decoracao/listas/qual-percentual-medio-do-orcamento-corresponde-a-cada-etapa-da-obra.htm>> Acesso em 25 de fev. de 2018.

GIONGO, J. S. **Concreto Armado: Projeto Estrutural de Edifícios**. Universidade de São Paulo: São Carlos, 2007.

GONZÁLEZ, M. A. S. **Noções de Orçamento e Planejamento de Obras**. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2008.

GOUVEIA, J. M. **A Influência da Concepção Estrutural na Estabilidade Global em Edifícios de Concreto Armado**. Monografia (Graduação). Barreiras: Universidade Federal do Oeste da Bahia. 2016.

GRAFF, S. **Análise Comparativa de Sistemas Estruturais Compostos por Vigas e Lajes Maciças ou Nervuradas em Edifícios**. Monografia (Graduação). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

HACHICH, W. et al. **Fundações: Teoria e Prática** – 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

KIMURA, A. **Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 2007.

MARTHA, L. F. **Métodos Básicos da Análise de Estruturas**. Rio de Janeiro: Pontifícia Católica do Rio de Janeiro, 2010.

METFORM. **Catálogo Técnico – Steel Deck Metform**. 2018. Disponível em: <http://www.metform.com.br/wordpress/?page_id=48>. Acesso em: 25 fev. 2018.

MONCAYO, W. J. Z. **Análise de Segunda Ordem Global em Edifícios com Estrutura de Concreto Armado**. Dissertação (Mestrado). São Carlos: Universidade de São Paulo. 2011.

MULTIPLUS Softwares Técnicos. **Módulos e recursos do CYPECAD**. 2017. Disponível em: <<http://www.multiplus.com/software/cypecad/modulos-e-recursos.asp>>. Acesso em: 5 mar. 2018.

NEUFERT, Ernst. **Arte de projetar em arquitetura** - (18ª edição). São Paulo: Gustavo Gili, 2013.

OLIVEIRA, D. M. **Parâmetros de Instabilidade Global das Estruturas de Concreto Armado Segundo a Nova NBR-6118**. Dissertação (Pós-graduação). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

OLIVEIRA, D. M. et al. **Avaliação dos Momentos de Segunda Ordem em Estruturas de Concreto Armado Utilizando os Coeficientes γ_z e B_2** -Vol. 7. São Paulo: Ibracon, 2014.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático** – 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos de Concreto e Projeto de Edifícios** - (2ª ed.). São Carlos: USP - EESC - Departamento de Engenharia de Estruturas, 2004.

SOUZA JÚNIOR, F. F. **Análise de Estabilidade Global e de Custos para Edifício com Diversas Concepções Estruturais**. Monografia (Graduação). Barreiras: Universidade Federal do Oeste da Bahia, 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA. **Manual De Estilo Acadêmico – Trabalhos de Conclusão de Curso, dissertações e teses**. – 5ª Edição: Salvador, 2013.

APÊNDICE A

Tabela 27 – Orçamento do modelo “CA30LMC”.

FUNDAÇÃO	UN	Quant.	Preço unitário		Preço total	
Escavação manual para bloco de coroamento ou sapata, com previsão de fôrma. Af_06/2017	m ²	329,74	R\$	61,55	R\$	20.203,43
Lastro de concreto magro, aplicado em blocos de coroamento ou sapatas, espessura de 5 cm. Af_08/2017	m ²	329,74	R\$	20,07	R\$	6.616,63
Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para sapata, em chapa de madeira compensada resinada, e=17 mm, 4 utilizações. Af_06/2017	m ²	444,77	R\$	105,81	R\$	47.059,68
Concretagem de sapatas, fck 30 mpa, com uso de bomba lançamento, adensamento e acabamento. Af_11/2016	m ³	328,23	R\$	402,52	R\$	132.117,02
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_06/2017	kg	45,9	R\$	8,97	R\$	411,50
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 8 mm - montagem. Af_06/2017	kg	6,36	R\$	8,55	R\$	54,39
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 10 mm - montagem. Af_06/2017	kg	547,06	R\$	6,97	R\$	3.813,08
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_06/2017	kg	585,5	R\$	6,16	R\$	3.608,00
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 16 mm - montagem. Af_06/2017	kg	3171,61	R\$	5,70	R\$	18.063,03
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 20 mm - montagem. Af_06/2017	kg	3124,82	R\$	5,20	R\$	16.259,97
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 25 mm - montagem. Af_06/2017	kg	184,75	R\$	5,60	R\$	1.035,18
PILARES	UN	Quant.	Preço unitário		Preço total	
Montagem e desmontagem de fôrma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, 18 utilizações. Af_12/2015	m ²	1.624,02	R\$	29,28	R\$	47.551,99
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_12/2015	kg	3936,3	R\$	7,53	R\$	29.632,95
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um	kg	8535,5	R\$	7,43	R\$	63.453,36

edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. Af_12/2015							
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_12/2015	kg	9845,2	R\$	5,45	R\$	53.677,46	
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 16,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	4354,6	R\$	5,14	R\$	22.373,30	
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 20,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	3132,3	R\$	4,75	R\$	14.868,35	
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 25,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	781,6	R\$	5,23	R\$	4.087,16	
Concretagem de pilares, fck = 30 mpa, com uso de bomba em edificação com seção média de pilares menor ou igual a 0,25 m ² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015	m ³	127,818	R\$	371,72	R\$	47.512,22	

VIGAS	UN	Quant.	Preço unitário	Preço total
Montagem e desmontagem de fôrma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira plastificada, 18 utilizações. Af_12/2015	m ²	3.606,12	R\$ 47,45	R\$ 171.112,38
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-60 de 5,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	3872,8	R\$ 8,11	R\$ 31.425,89
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_12/2015	kg	1005,5	R\$ 7,53	R\$ 7.569,53
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	788,6	R\$ 7,43	R\$ 5.862,49
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 10 mm - montagem. Af_06/2017	kg	3280,6	R\$ 6,97	R\$ 22.866,22
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um	kg	5571,9	R\$ 5,45	R\$ 30.378,81

edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_12/2015						
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 16,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	2051,6	R\$	5,14	R\$	10.540,82
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 20,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	4098,5	R\$	4,75	R\$	19.454,69
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 25,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	3215	R\$	5,23	R\$	16.811,96
Concretagem de vigas e lajes, fck=30 mpa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes menor ou igual a 20 m ² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015	m ³	335,64	R\$	369,98	R\$	124.178,66

LAJES	UN	Quant.	Preço unitário	Preço total
Escada em concreto armado, fck = 30 mpa, moldada in loco	m ³	17,29	R\$ 1.975,12	R\$ 34.149,82
Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, 18 utilizações. Af_12/2015	m ²	6311,28	R\$ 15,24	R\$ 96.186,12
Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 até 12,5 mm - montagem. Af_12/2015	kg	62467	R\$ 6,10	R\$ 381.301,57
Concretagem de vigas e lajes, fck=30 mpa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes menor ou igual a 20 m ² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015	m ³	752,82	R\$ 369,98	R\$ 278.525,14

Tabela 28 – Orçamento do modelo “CA30LNB”.

FUNDAÇÃO	UN	Quant.	Preço unitário	Preço total
Escavação manual para bloco de coroamento ou sapata, com previsão de fôrma. Af_06/2017	m ²	302,95	R\$ 61,55	R\$ 17.558,06
Lastro de concreto magro, aplicado em blocos de coroamento ou sapatas, espessura de 5 cm. Af_08/2017	m ²	302,95	R\$ 20,07	R\$ 6.079,05

Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para sapata, em chapa de madeira compensada resinada, e=17 mm, 4 utilizações. Af_06/2017	m ²	400,42	R\$	105,81	R\$	42.367,15
Concretagem de sapatas, fck 30 mpa, com uso de bomba – lançamento, adensamento e acabamento. Af_11/2016	m ³	285,25	R\$	402,52	R\$	114.818,04
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_06/2017	kg	53,5	R\$	8,97	R\$	479,64
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 8 mm - montagem. Af_06/2017	kg	4,78	R\$	8,55	R\$	40,87
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 10 mm - montagem. Af_06/2017	kg	573,22	R\$	6,97	R\$	3.995,42
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_06/2017	kg	1906,2	R\$	6,16	R\$	11.746,48
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 16 mm - montagem. Af_06/2017	kg	3011,19	R\$	5,70	R\$	17.149,40
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 20 mm - montagem. Af_06/2017	kg	1048,91	R\$	5,20	R\$	5.457,99
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 25 mm - montagem. Af_06/2017	kg	74,43	R\$	5,60	R\$	417,04

PILARES	UN	Quant.	Preço unitário	Preço total
Montagem e desmontagem de fôrma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, 18 utilizações. Af_12/2015	m ²	1.927,08	R\$	29,28 R\$ 56.425,71
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_12/2015	kg	5032,45	R\$	7,53 R\$ 37.884,90
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	253,65	R\$	7,43 R\$ 1.885,65
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_12/2015	kg	11499,7	R\$	6,78 R\$ 77.992,63
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando	kg	2589,1	R\$	5,14 R\$ 13.302,42

<p> aço ca-50 de 16,0 mm - montagem. Af_12/2015</p> <p> Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 20,0 mm - montagem. Af_12/2015</p> <p> Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 25,0 mm - montagem. Af_12/2015</p> <p> Concretagem de pilares, fck = 30 mpa, com uso de bomba em edificação com seção média de pilares menor ou igual a 0,25 m² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015</p>	kg	230,9	R\$	4,75	R\$	1.096,03
	kg	642,6	R\$	5,23	R\$	3.360,30
	m ³	134,42	R\$	371,72	R\$	49.966,30

VIGAS	UN	Quant.	Preço unitário		Preço total	
Montagem e desmontagem de fôrma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira plastificada, 18 utilizações. Af_12/2015	m ²	1.733,03	R\$	47,46	R\$	82.242,65
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-60 de 5,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	2679,6	R\$	8,11	R\$	21.743,65
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_12/2015	kg	972,4	R\$	7,53	R\$	7.320,35
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	526,1	R\$	7,43	R\$	3.911,06
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 10 mm - montagem. Af_06/2017	kg	960,6	R\$	6,97	R\$	6.695,51
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_12/2015	kg	2766,2	R\$	5,45	R\$	15.081,72
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 16,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	1797,3	R\$	5,14	R\$	9.234,27
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um	kg	1418,8	R\$	4,75	R\$	6.734,74

edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 20,0 mm - montagem. Af_12/2015						
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 25,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	2586,3	R\$	5,23	R\$	13.524,35
Concretagem de vigas e lajes, fck=30 mpa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes menor ou igual a 20 m ² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015	m ³	179	R\$	369,98	R\$	66.045,85

LAJES	UN	Quant.	Preço unitário	Preço total
Escada em concreto armado, fck = 30 mpa, moldada in loco	m ³	17,29	R\$ 1.975,12	R\$ 34.149,82
Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, 18 utilizações. Af_12/2015	m ²	42,88	R\$ 15,24	R\$ 653,51
Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 até 12,5 mm - montagem. Af_12/2015	kg	68323	R\$ 6,10	R\$ 417.046,87
Montagem e desmontagem de fôrma de laje nervurada com cubeta e assoalho com área média maior que 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, 18 utilizações. Af_12/2015	m ²	6594,21	R\$ 31,54	R\$ 207.996,88
Concretagem de vigas e lajes, fck=30 mpa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes menor ou igual a 20 m ² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015	m ³	729,77	R\$ 369,98	R\$ 269.997,20

Tabela 29 – Orçamento do modelo “CA30LSD”.

FUNDAÇÃO	UN	Quant.	Preço unitário	Preço total
Escavação manual para bloco de coroamento ou sapata, com previsão de fôrma. Af_06/2017	m ²	354,24	R\$ 61,55	R\$ 21.804,61
Lastro de concreto magro, aplicado em blocos de coroamento ou sapatas, espessura de 5 cm. Af_08/2017	m ²	354,24	R\$ 20,07	R\$ 7.108,25
Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para sapata, em chapa de	m ²	480,05	R\$ 105,81	R\$ 50.792,54

madeira compensada resinada, e=17 mm, 4 utilizações. Af_06/2017						
Concretagem de sapatas, fck 30 mpa, com uso de bomba – lançamento, adensamento e acabamento. Af_11/2016	m ³	368,05	R\$	402,52	R\$	148.146,46
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_06/2017	kg	43,68	R\$	8,97	R\$	391,60
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 8 mm - montagem. Af_06/2017	kg	12,73	R\$	8,55	R\$	108,86
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 10 mm - montagem. Af_06/2017	kg	339,76	R\$	6,97	R\$	2.368,17
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_06/2017	kg	517,04	R\$	6,16	R\$	3.186,13
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 16 mm - montagem. Af_06/2017	kg	3278,07	R\$	5,70	R\$	18.669,35
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 20 mm - montagem. Af_06/2017	kg	4060,4	R\$	5,20	R\$	21.128,25
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 25 mm - montagem. Af_06/2017	kg	225,68	R\$	5,60	R\$	1.264,51

PILARES	UN	Quant.	Preço unitário	Preço total
Montagem e desmontagem de fôrma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, 18 utilizações. Af_12/2015	m ²	1.676,75	R\$ 29,28	R\$ 49.095,94
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_12/2015	kg	3853,4	R\$ 7,53	R\$ 29.008,87
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	286,5	R\$ 7,43	R\$ 2.129,86
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_12/2015	kg	8218,9	R\$ 5,45	R\$ 44.810,63
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos	kg	4945,9	R\$ 5,14	R\$ 25.411,32

utilizando aço ca-50 de 16,0 mm -
montagem. Af_12/2015

Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 20,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	2430	R\$ 4,75	R\$	11.534,69
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 25,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	1473,6	R\$ 5,23	R\$	7.705,79
Concretagem de pilares, fck = 30 mpa, com uso de bomba em edificação com seção média de pilares menor ou igual a 0,25 m ² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015	m ³	134,47	R\$ 371,72	R\$	49.984,89

VIGAS	UN	Quant.	Preço unitário		Preço total	
Montagem e desmontagem de fôrma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira plastificada, 18 utilizações. Af_12/2015	m ²	4.214,00	R\$	47,45	R\$	199.956,62
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-60 de 5,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	6234,2	R\$	8,11	R\$	50.587,51
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_12/2015	kg	1266,9	R\$	7,53	R\$	9.537,38
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	1127,1	R\$	7,43	R\$	8.378,92
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 10 mm - montagem. Af_06/2017	kg	6312,2	R\$	6,97	R\$	43.996,89
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_12/2015	kg	5204,6	R\$	5,45	R\$	28.376,23
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 16,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	7976,5	R\$	5,14	R\$	40.982,10

Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 20,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	6344,2	R\$	4,75	R\$	30.114,55
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 25,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	8798,4	R\$	5,23	R\$	46.008,82
Concretagem de vigas e lajes, fck=30 mpa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes menor ou igual a 20 m ² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015	m ³	427	R\$	369,98	R\$	157.961,14

LAJES	UN	Quant.	Preço unitário	Preço total
Escada em concreto armado, fck = 30 mpa, moldada in loco	m ³	17,29	R\$ 1.975,12	R\$ 34.149,82
Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, 18 utilizações. Af_12/2015	m ²	11,39	R\$ 15,24	R\$ 173,59
Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 até 12,5 mm - montagem. Af_12/2015	kg	1722	R\$ 6,10	R\$ 10.511,17
Laje pré-fabricada STEEL DECK para piso, espessura da chapa 0,80 mm, espessura da laje 15 cm, com capa de concreto FCK=30Mpa	m ²	6810,52	R\$ 143,34	R\$ 976.188,83
Concretagem de vigas e lajes, fck=30 mpa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes menor ou igual a 20 m ² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015	m ³	1,71	R\$ 369,98	R\$ 632,66

Tabela 30 – Orçamento do modelo “CA45LMC”.

FUNDAÇÃO	UN	Quant.	Preço unitário	Preço total
Escavação manual para bloco de coroamento ou sapata, com previsão de fôrma. Af_06/2017	m ²	311,60	R\$ 61,55	R\$ 19.179,98
Lastro de concreto magro, aplicado em blocos de coroamento ou sapatas, espessura de 5 cm. Af_08/2017	m ²	311,60	R\$ 20,07	R\$ 6.252,63
Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para sapata, em chapa de madeira	m ²	423,65	R\$ 105,81	R\$ 44.825,04

compensada resinada, e=17 mm, 4 utilizações. Af_06/2017						
Concretagem de sapatas, fck 30 mpa, com uso de bomba – lançamento, adensamento e acabamento. Af_11/2016	m ³	307,62	R\$	555,84	R\$	170.987,95
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_06/2017	kg	41,17	R\$	8,97	R\$	369,10
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 10 mm - montagem. Af_06/2017	kg	529,81	R\$	6,97	R\$	3.692,85
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_06/2017	kg	349,18	R\$	6,16	R\$	2.151,73
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 16 mm - montagem. Af_06/2017	kg	3370,67	R\$	5,70	R\$	19.196,72
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 20 mm - montagem. Af_06/2017	kg	2436,28	R\$	5,20	R\$	12.677,16

PILARES	UN	Quant.	Preço unitário	Preço total		
Montagem e desmontagem de fôrma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções maior que 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, 18 utilizações. Af_12/2015	m ²	1.363,23	R\$	29,28	R\$	39.915,95
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_12/2015	kg	3052	R\$	7,53	R\$	22.975,83
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_12/2015	kg	6586,3	R\$	5,45	R\$	35.909,46
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 16,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	5162,1	R\$	5,14	R\$	26.522,12
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 20,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	511,4	R\$	4,75	R\$	2.427,51
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 25,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	499,2	R\$	5,23	R\$	2.610,43

Concretagem de pilares, fck = 30 mpa, com uso de bomba em edificação com seção média de pilares menor ou igual a 0,25 m ² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015	m ³	96,75	R\$	507,16	R\$	49.067,82
---	----------------	-------	-----	--------	-----	-----------

VIGAS	UN	Quant.	Preço unitário	Preço total	
Montagem e desmontagem de fôrma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira plastificada, 18 utilizações. Af_12/2015	m ²	3.733,13	R\$	47,45	R\$ 177.139,07
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-60 de 5,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	5460,3	R\$	8,11	R\$ 44.307,69
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_12/2015	kg	770,8	R\$	7,53	R\$ 5.802,68
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	930,4	R\$	7,43	R\$ 6.916,64
Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço ca-50 de 10 mm - montagem. Af_06/2017	kg	1494,3	R\$	6,97	R\$ 10.415,47
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_12/2015	kg	6094,2	R\$	5,45	R\$ 33.226,46
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 16,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	7842,2	R\$	5,14	R\$ 40.292,09
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 20,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	3528,9	R\$	4,75	R\$ 16.750,93
Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 25,0 mm - montagem. Af_12/2015	kg	4784	R\$	5,23	R\$ 25.016,62
Concretagem de vigas e lajes, fck=30 mpa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes menor ou igual a 20 m ² -	m ³	341,09	R\$	529,48	R\$ 180.599,37

lançamento, adensamento e acabamento.
Af_12/2015

LAJES	UN	Quant.	Preço unitário	Preço total
Escada em concreto armado, fck = 30 mpa, moldada in loco	m ³	17,29	R\$ 2.072,93	R\$ 35.840,99
Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça com área média menor ou igual a 20 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, 18 utilizações. Af_12/2015	m ²	6314,84	R\$ 15,24	R\$ 96.240,37
Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 até 12,5 mm - montagem. Af_12/2015	kg	59480,7	R\$ 6,10	R\$ 363.073,05
Concretagem de vigas e lajes, fck=30 mpa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes menor ou igual a 20 m ² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015	m ³	679,28	R\$ 504,78	R\$ 342.889,79
