



**ANÁLISE DO CONSUMO DE AÇO E ESTABILIDADE GLOBAL DE  
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM FUNÇÃO DO GRAU DE  
ENGASTAMENTO DAS LIGAÇÕES**

CURITIBA  
2017



RONALD ALBERTS  
SILNEI MARCIO MENON JUNIOR

**ANÁLISE DO CONSUMO DE AÇO E ESTABILIDADE GLOBAL DE  
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM FUNÇÃO DO GRAU DE  
ENGASTAMENTO DAS LIGAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Sistemas Estruturais em Concreto, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Sistemas Estruturais em Concreto.

**Orientador:** Prof. MSc. Luiz Henrique Olavo.

CURITIBA  
2017

## **AGRADECIMENTOS**

Ao engenheiro civil prof. Luiz Henrique Olavo pela valiosa orientação durante a elaboração deste trabalho.

Ao engenheiro civil prof. Kirke Andrew Wrubel Moreira pelo acompanhamento durante todo o trabalho.

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

### **ANÁLISE DO CONSUMO DE AÇO E ESTABILIDADE GLOBAL DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM FUNÇÃO DO GRAU DE ENGASTAMENTO DAS LIGAÇÕES**

Por

RONALD ALBERTS

SILNEI MARCIO MENON JUNIOR

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A  
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM SISTEMAS  
ESTRUTURAIS EM CONCRETO, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO  
FORMADA PELOS PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

Curitiba (PR) \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

---

Prof. Luiz Henrique Olavo, M.Sc.

---

Prof. Kirke Andrew Wrubel Moreira, M.Sc.

---

Prof. Patrícia Ribeiro da Silva Brandão, M.Sc.

## RESUMO

Durante o dimensionamento de elementos estruturais depara-se com a questão de como se ocorre a transferência dos esforços entre as vigas e os pilares. A determinação da rigidez da ligação entre estes elementos é fundamental para que a modelagem estrutural resulte em um dimensionamento ideal e que seja a mais representativa possível da estrutura depois de construída. O presente trabalho tem por objetivo avaliar os impactos da variação do grau de engastamento das ligações no consumo de aço. Também se analisam os impactos dessa variação na estabilidade global da estrutura e nas flechas das vigas. Realizou-se o cálculo estrutural de três estruturas de concreto armado com auxílio do programa Eberick. Ao final do dimensionamento das estruturas organizaram-se os resultados obtidos em forma de gráficos e tabelas. Fez-se a análise dos resultados das três estruturas analisadas e constatou-se que a redução no grau de engastamento implicou em um menor consumo de aço total, porém com a implicação de uma significativa redução na estabilidade global das estruturas e um aumento nos seus deslocamentos horizontais.

**Palavras chave:** concreto armado, grau de engastamento, ligações, estabilidade.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Isopletas de Velocidade Básica do Vento ( $V_0$ ) .....	33
Figura 2 – Planta da Estrutura I.....	36
Figura 3 – Detalhe da Estrutura I .....	37
Figura 4 – Modelagem da estrutura I.....	38
Figura 5 – Planta da Estrutura II.....	39
Figura 6 – Detalhe estrutura II .....	40
Figura 7 – Modelagem estrutura II.....	41
Figura 8 – Planta da Estrutura III. ....	42
Figura 9 – Detalhe estrutura III. ....	43
Figura 10 – Modelagem da estrutura III. ....	44
Figura 11 - Viga 1 da estrutura I com 100% de engastamento .....	57
Figura 12 - Viga 1 da estrutura I com 75% de engastamento .....	57
Figura 13 - Viga 1 da estrutura II com 100% de engastamento.....	58
Figura 14 - Viga 1 da estrutura II com 75% de engastamento.....	58
Figura 15 - Viga 1 da estrutura III com 100% de engastamento .....	59
Figura 16 - Viga 1 da estrutura III com 75% de engastamento .....	59
Figura 17 - Flecha da viga 1 da estrutura I - 100% engastada .....	60
Figura 18 - Flecha da viga 1 da estrutura I - 75% engastada.....	61
Figura 19 - Flecha da viga 1 da estrutura II - 100% engastada.....	61
Figura 20 - Flecha da viga 1 da estrutura II - 75% engastada.....	62
Figura 21 - Flecha da viga 1 da estrutura III - 100% engastada .....	62
Figura 22 - Flecha da viga 1 da estrutura III - 75% engastada .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de Agressividade Ambiental .....	32
Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto .....	32
Tabela 3 - Consumo de aço Estrutura I.....	45
Tabela 4 - Consumo de aço Estrutura II .....	46
Tabela 5 - Consumo de aço Estrutura III .....	46
Tabela 6 – Variação percentual do consumo de aço e deslocamentos horizontais da estrutura I.....	55
Tabela 7 – Variação percentual do consumo de aço e deslocamentos horizontais da estrutura II .....	55
Tabela 8 – Variação percentual do consumo de aço e deslocamentos horizontais da estrutura III .....	56

## LISTA DE EQUAÇÕES

(1) Equação para Determinação do Gama-Z.....	29
--	----



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	11
1.2. PROBLEMA DE PESQUISA.....	12
1.3. OBJETIVOS.....	12
1.3.1. Objetivo Geral.....	12
1.3.2. Objetivos Específicos .....	12
1.4. HIPÓTESE .....	12
1.5. JUSTIFICATIVAS .....	13
1.5.1. Tecnológicas .....	13
1.5.2. Econômicas .....	13
1.5.3. Sociais.....	13
1.5.4. Ecológicas .....	14
1.6. DELIMITAÇÕES DO ESTUDO .....	14
1.7. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO .....	14
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1. ELEMENTOS ESTRUTURAIS .....	16
2.2. PROJETO ESTRUTURAL.....	17
2.3. ANÁLISE ESTRUTURAL.....	18
2.3.1. Análise Linear .....	19
2.3.2. Análise Linear com Redistribuição .....	20
2.3.3. Análise Plástica .....	20
2.3.4. Análise Não Linear.....	21
2.3.5. Análise Através de Modelos Físicos .....	21
2.4. AÇÕES.....	22
2.4.1. Ações Permanentes.....	22
2.4.2. Ações Variáveis.....	23
2.5. SISTEMA COMPUTACIONAL .....	23
2.5.1. Eberick V10 .....	24
2.6. COMBINAÇÕES DAS AÇÕES .....	24
2.6.1. Combinações Últimas (ELU).....	25

2.6.2.	Combinções de Serviço (ELS) .....	26
2.7.	LIGAÇÕES VIGA-PILAR .....	27
2.7.1.	Trechos Rígidos.....	27
2.7.2.	Flexibilização das Ligações .....	28
2.8.	ESTABILIDADE DE ESTRUTURAS.....	28
2.8.1.	Gama-Z.....	29
2.8.2.	Flechas .....	30
<b>3.</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>31</b>
3.1.	CONDIÇÕES DE CONTORNO.....	31
3.1.1.	Localização .....	31
3.1.2.	Materiais .....	33
3.1.3.	Carregamentos.....	34
3.1.4.	Projeto Arquitetônico .....	35
3.2.	MODELAGEM .....	35
3.2.1.	Estrutura I.....	35
3.2.2.	Estrutura II .....	38
3.2.3.	Estrutura III.....	41
<b>4.</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
4.1.	RESULTADOS OBTIDOS.....	45
4.2.	CONSUMO DE AÇO .....	47
4.2.1.	Consumo de Aço nas Vigas .....	47
4.2.2.	Consumo de Aço nos Pilares .....	48
4.2.3.	Consumo de Aço nas Lajes.....	49
4.2.4.	Consumo de Aço Total .....	50
4.3.	DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS.....	51
4.4.	ESTABILIDADE GLOBAL (GAMA-Z) .....	52
4.5.	CONSUMO DE AÇO X DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS .....	54
4.6.	VARIAÇÃO DOS MOMENTOS NAS VIGAS.....	56
4.7.	VARIAÇÃO DAS FLECHAS NAS VIGAS.....	60
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA</b>	
	<b>TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>64</b>

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	64
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	65
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>

## 1.INTRODUÇÃO

O presente trabalho está inserido na área de Engenharia Civil denominada Sistemas Estruturais em Concreto Armado.

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Um sistema estrutural é composto por uma combinação de elementos, os quais projetados de maneira adequada devem assegurar que a transmissão de esforços não cause deformações excessivas, bem como riscos à estabilidade global da estrutura. Estes elementos podem ser designados como lajes, vigas, pilares e fundações.

As peças devem ser dimensionadas de modo que resistam ao carregamento resultante do peso próprio, bem como das cargas permanentes e acidentais. Desta forma os esforços são transferidos respectivamente das lajes para as vigas, das vigas para os pilares e por fim, dos pilares para as fundações.

Após a determinação da transmissão dos esforços de toda a sequência citada anteriormente, é realizado o dimensionamento e detalhamento dos elementos.

Partindo-se da concepção dos elementos estruturais e dos seus vínculos, depara-se com a questão de como ocorre a transferência de esforços entre os diferentes elementos estruturais, visto que a rigidez das ligações apresenta grande variabilidade. Em alguns casos as ligações são consideradas como sendo infinitamente rígidas e em outros, utiliza-se um determinado grau de engastamento.

Por questões práticas, alguns escritórios utilizam um grau de engastamento com base nas suas experiências anteriores e lições aprendidas, sem que tenham convicção de qual o coeficiente mais adequado.

## 1.2. PROBLEMA DE PESQUISA

Este trabalho propõe-se a responder à seguinte pergunta: O grau de engastamento das vigas nos pilares influencia no consumo de aço?

## 1.3. OBJETIVOS

Neste item apresentam-se os objetivos gerais e específicos da pesquisa a ser desenvolvida.

### 1.3.1. Objetivo Geral

Analisar o consumo de aço em estruturas de concreto armado variando o grau de engastamento das ligações entre vigas e pilares.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

Analisar os deslocamentos horizontais

Analisar a estabilidade global (Gama-Z)

Analisar os momentos fletores nas vigas

Analisar as flechas

## 1.4. HIPÓTESE

Um maior grau de engastamento leva a um maior consumo de aço.

## 1.5. JUSTIFICATIVAS

Neste item apresentam-se as justificativas para o desenvolvimento deste trabalho.

### 1.5.1. Tecnológicas

Os resultados obtidos a partir de uma modelagem estrutural dependem da correta configuração do software, para que a estrutura seja analisada e modelada da maneira mais fidedigna com o comportamento que a estrutura apresentará depois de construída. Dentre os vários dados de entrada, a configuração dos vínculos entre os elementos estruturais é de fundamental importância.

### 1.5.2. Econômicas

Utilizando-se um software adequado, aplicando-o de maneira apropriada e realizando-se uma correta configuração dos vínculos entre os elementos estruturais, tem-se uma racionalização do consumo de aço em uma concepção estrutural.

### 1.5.3. Sociais

Ao se realizar um dimensionamento mais adequado, pode-se reduzir o custo final de um determinado empreendimento e conseqüentemente o valor que o consumidor terá de desembolsar para desfrutar de determinado bem.

#### 1.5.4. Ecológicas

Ao se realizar o dimensionamento de estruturas utilizando uma menor quantia de aço, diminui-se a extração de matéria prima e reduzem-se as emissões de gases poluentes oriundos da fabricação do aço.

### 1.6. DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

Este trabalho limita-se a analisar o consumo de aço de uma estrutura variando o grau de engastamento entre as vigas e os pilares, sem variação nas seções de concreto dos elementos estruturais.

Partiu-se de um projeto arquitetônico desenvolvido especificamente para este trabalho, não tendo o objetivo de apresentar um roteiro de cálculo seguindo as normas vigentes e em nenhum momento deve ser utilizado para tal.

### 1.7. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica discorrendo sobre análise estrutural, ações a que as estruturas estão sujeitas, combinação de ações e ligações.

O **Capítulo 3** trata sobre os procedimentos metodológicos empregados neste trabalho, apresentando a descrição das modelagens realizadas, resumindo as principais características.

O **Capítulo 4** apresenta a análise dos resultados deste estudo com base nas memórias de cálculo e quantitativos gerados, apresentando o consumo de aço

das três estruturas de acordo com os diferentes graus de engastamento e os respectivos deslocamentos horizontais e Gama-Z.

O **Capítulo 5** apresenta a as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos subcapítulos a seguir será apresentado um embasamento teórico sobre o assunto deste trabalho.

### 2.1. ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Fontes (2005) cita que os elementos estruturais, surgem através do desmembramento do sistema estrutural global em partes que possam ser associadas a uma teoria de cálculo já consolidada no meio técnico.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), a classificação dos elementos estruturais é definida de acordo com sua forma geométrica e a sua função estrutural.

Segundo Giongo (2007), os componentes de um sistema estrutural são constituídos pelas lajes, vigas, pilares e fundações. Estes devem ser projetados de maneira adequada, para que os esforços transmitidos e solicitantes não causem deformações excessivas, nem riscos a estabilidade global da estrutura. (APOLINÁRIO e SILVA, 2014).

Conforme definido por Apolinário e Silva (2014), as lajes são elementos planos, as quais estão sujeitas a um carregamento resultante do seu peso próprio, bem como da carga acidental coligada com seus respectivos revestimentos. Esses carregamentos após absorvidos pela laje são transferidos para as vigas, elementos de barra que podem ser apoiados nos pilares ou até mesmo em outra viga.

Após os carregamentos serem transferidos e absorvidos pelas vigas, os pilares são os elementos que recebem esses esforços, que por fim, têm a função de descarregar as solicitações recebidas para a fundação. (APOLINÁRIO e SILVA, 2014).

Unindo os elementos anteriormente citados, por meio de uma correta concepção e compatibilização junto a um projeto arquitetônico dá-se origem a um projeto estrutural.

## 2.2. PROJETO ESTRUTURAL

Segundo Giongo (2007), um projeto estrutural ou cálculo estrutural como também é conhecido, pode ser definido como o dimensionamento dos elementos estruturais de uma determinada estrutura, sendo fundamental para a segurança da edificação, evitando seu colapso e patologias do concreto.

A finalidade do cálculo estrutural é garantir, com segurança adequada, que a estrutura mantenha certas características que possibilitem a utilização satisfatória da construção, durante sua vida útil, para finalidades para as quais foi concebida (CARVALHO e FIGUEIREDO, 2012).

Diante disso Kimura (2007) diz que um projeto estrutural pode ser subdividido em quatro etapas, sendo elas: concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento e por fim emissão das plantas finais.

A concepção estrutural consiste em definir as características dos materiais e elementos a serem utilizados, ou seja, pré-dimensionar os elementos e determinar as ações que atuarão na estrutura (KIMURA, 2007),

Uma breve definição da próxima etapa, a análise estrutural, consiste em calcular os efeitos das ações ou cargas sobre a estrutura, ou seja, calcular os esforços solicitantes e os deslocamentos por meio de um modelo que simulará a estrutura real (KIMURA, 2007).

Após a análise, deve-se realizar o dimensionamento e detalhamento. Nesta terceira fase, a armadura de cada um dos elementos é calculada e detalhada para atender os esforços solicitantes da etapa anterior (KIMURA, 2007).

Por fim, de acordo com Kimura (2007), realiza-se a emissão das plantas finais, as quais são desenhos que precisam conter especificações de como a estrutura deve ser executada na obra.

O cálculo dos esforços atuantes em estruturas de concreto armado pode ser realizado de duas maneiras. A primeira é por um processo simplificado, em que os elementos estruturais são considerados separadamente. A segunda segue um processo mais elaborado, em que os conjuntos de vigas e lajes são considerados como grelhas, e os conjuntos de vigas e pilares são considerados pórticos planos ou pórticos espaciais (GIONGO, 2007).

Para montar modelos físicos e matemáticos que representem uma determinada estrutura, Carvalho e Figueiredo (2014) citam que se pode utilizar técnicas de discretização, pois uma estrutura com concretagem no local, desde que tenha armadura detalhada adequadamente tem comportamento monolítico, ou seja, monta-se modelos que representem adequadamente as estruturas principalmente em relação à ligação entre os elementos.

### 2.3. ANÁLISE ESTRUTURAL

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), o objetivo da análise estrutural é determinar os efeitos das ações aplicadas em uma determinada estrutura no seu estado limite ultimo (ELU) e no seu estado limite de serviço (ELS).

Diante disso a NBR 6118 (ABNT, 2014) cita que para a obtenção de resultados da análise estrutural, deve-se considerar a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura em análise.

Giongo (2007) afirma que a determinação dos esforços solicitantes em uma estrutura de concreto armado, deve ser realizada submetendo os elementos estruturais às ações atuantes tanto na fase de construção quanto de serviço.

Kimura (2007) afirma que a análise estrutural é a etapa mais importante de um projeto, pois todos os dimensionamentos e detalhamentos de uma estrutura são realizados com base nos resultados obtidos nesta fase.

Fontes (2005) ressalta que nesta fase é muito importante a escolha correta dos modelos teóricos e do tipo da análise, pois eles devem representar adequadamente a estrutura real, bem como o comportamento dos materiais que serão utilizados.

Diante disso a NBR 6118 (ABNT, 2014) permite utilizar cinco diferentes tipos de análise estrutural, e exige que o projeto tenha concordância com pelo menos um deles. Em todos os tipos de análise a norma permite pequenos deslocamentos para a estrutura.

O tipo da análise a ser utilizada, quanto ao comportamento do material adotado, depende principalmente do estado limite a ser verificado e da complexidade da estrutura em questão (FONTES, 2005).

Os cinco tipos de análises são: análise linear, análise linear com redistribuição, análise plástica, análise não-linear e análise através de modelos físicos (FONTES, 2005).

### **2.3.1. Análise Linear**

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), este tipo de análise admite que os materiais tenham um comportamento elástico-linear, em que o material, após ter sofrido deformações decorrentes de ações externas, tende a voltar à sua configuração inicial com o alívio do carregamento (Fontes, 2005).

Diante disso, os resultados deste tipo de análise, são comumente empregados para a verificação de estados limites de serviço (ELS). Mesmo com tensões elevadas é possível estender os resultados para verificar o estado limite último (ELU), desde que se garanta a ductilidade dos elementos estruturais. (ABNT, 2014).

### **2.3.2. Análise Linear com Redistribuição**

Neste tipo de análise, os efeitos determinados na análise linear gerados pelas ações, são redistribuídos na estrutura para as combinações de carregamento do estado limite último (ELU). Ressalta-se que obrigatoriamente as condições de equilíbrio e de ductilidade dos elementos estruturais devem ser satisfeitas. (ABNT, 2014)

Fontes (2005) afirma que ao se realizar uma análise linear da estrutura, a variação de rigidez dos elementos estruturais pode fazer com que ocorra uma redistribuição dos esforços calculados.

Esta redistribuição dos esforços, faz com que ocorra uma redistribuição dos momentos, que quando não considerada pode resultar em um aproveitamento ineficiente da armadura de flexão nos apoios (FONTES, 2005).

### **2.3.3. Análise Plástica**

A NBR 6118 (ABNT, 2014) trata uma análise estrutural plástica quando as não linearidades puderem ser consideradas, admitindo-se materiais de comportamento rígido-plástico perfeito ou elasto-plástico perfeito.

De acordo com Fontes (2005), ao se realizar um aumento contínuo da intensidade das solicitações sobre um determinado elemento, após se atingir o limite elástico do seu material constituinte, deformações permanentes são imputadas ao elemento, mesmo com o alívio do carregamento, essa propriedade de conservar deformações residuais é chamada de plasticidade.

Diante disso, a NBR 6118 (ABNT, 2014) afirma que para carregamentos cíclicos com possibilidade de fadiga, deve-se evitar o cálculo plástico.

#### **2.3.4. Análise Não Linear**

Como seu próprio nome já diz, este tipo de análise trata da não linearidade dos materiais. Fontes (2005) cita que a não linearidade de um material está relacionada a não linearidade entre tensões e deformações, ou seja, a definição dessa relação não pode ser obtida por uma constante.

Para que seja efetuado este tipo de análise, é necessário ter conhecimento da geometria da estrutura além de conhecer todas as armaduras, pois a resposta da estrutura depende de como esta foi armada. (ABNT, 2014)

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), análises não lineares podem ser utilizadas tanto para a verificação dos estados limites últimos quanto para a verificação dos estados limites de serviço, posto que em condições de equilíbrio, compatibilidade e ductilidade devem ser obrigatoriamente satisfeitas.

#### **2.3.5. Análise Através de Modelos Físicos**

A NBR 6118 (ABNT, 2014) afirma que este tipo de análise trata do desenvolvimento de modelos físicos de concreto, em que o comportamento estrutural pode ser determinado. A metodologia utilizada nestes experimentos deve garantir que se possa realizar a correta interpretação dos resultados, sendo que os resultados obtidos devem ser justificados por meio de modelos teóricos.

A mesma norma relata que obrigatoriamente deve-se obter resultados para todos os estados limites últimos, bem como para os estados limites de serviço (ABNT, 2014).

Por fim, Fontes (2005) diz que um dos principais objetivos desta análise é checar a validade dos procedimentos analíticos utilizados. Na maioria das vezes, análises através de modelos físicos são aplicadas no caso de estruturas cuja teoria não se encontra consolidada no meio técnico.

## 2.4. AÇÕES

Ao se dimensionar uma estrutura, deve-se considerar todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura. Estas ações são classificadas em ações permanentes e variáveis (ABNT, 2014).

Essas ações, segundo a NBR 8681 (ABNT, 2004), podem ser subdivididas em ações permanentes, ações variáveis, ações excepcionais e cargas acidentais.

### 2.4.1. Ações Permanentes

São consideradas ações permanentes aquelas que aplicam sobre a estrutura forças constantes ou que variam pouco em torno da sua média, durante a vida da construção, podendo estas ações ser diretas ou indiretas (ABNT, 2004).

#### 2.4.1.1. Ações Permanentes Diretas

As ações permanentes diretas, de acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2004), são aquelas provenientes do peso próprio da estrutura, elementos construtivos permanentes, pesos de equipamentos fixos, empuxos de terra e hidrostáticos e outras ações permanentemente aplicadas sobre a estrutura.

#### 2.4.1.2. Ações Permanentes Indiretas

As ações permanentes indiretas podem ser consideradas como as forças provenientes da retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoios, imperfeições geométricas e protensão (KIMURA, 2007).

## **2.4.2. Ações Variáveis**

Ações variáveis são aquelas que aplicam sobre a estrutura forças que variam significativamente em torno da sua média, durante a vida da construção, podendo estas ações ser diretas ou indiretas (ABNT, 2004).

### **2.4.2.1. Ações Variáveis Diretas**

As ações variáveis diretas, de acordo com Kimura (2007), são aquelas que atuam sobre as estruturas como as cargas acidentais de uso, vento, e água.

### **2.4.2.2. Ações Variáveis Indiretas**

A variação de temperatura e as ações dinâmicas são classificadas como ações variáveis indiretas. (KIMURA, 2007).

## **2.5. SISTEMA COMPUTACIONAL**

De acordo com Kimura (2007), a utilização de uma ferramenta computacional para a elaboração de projetos proporciona maior produtividade, qualidade e segurança, sendo possível calcular estruturas com mais detalhes e requintes.

Todos os sistemas computacionais são baseados em formulações teóricas consistentes, sendo indispensável à atuação de um engenheiro para a correta interpretação e modelagem da estrutura no software adotado (KIMURA, 2007).



### 2.5.1. Eberick V10

Segundo a AltoQi, empresa responsável pelo software Eberick V10, este é um programa para elaboração de projetos estruturais por meio das etapas de lançamento, análise e dimensionamento da estrutura e detalhamento final dos elementos.

Ainda de acordo com a AltoQi, o software possui um sistema gráfico de entrada de dados, o qual está associado à análise de uma determinada estrutura em um modelo de pórtico espacial e de vários recursos de dimensionamento e detalhamento. Dependendo das necessidades do projeto, o Eberick pode ser complementado por diversos módulos.

## 2.6. COMBINAÇÕES DAS AÇÕES

Uma estrutura é submetida a diversas combinações de ações. Conseqüentemente, durante a elaboração de um projeto estrutural, devem-se verificar diversas combinações de esforços e realizar o dimensionamento de cada elemento com base nas envoltórias de esforços. Alguns carregamentos tem uma probabilidade muito pequena ou nula de acontecer simultaneamente e se fosse realizado um dimensionamento levando em consideração o somatório de todos os esforços desfavoráveis, conceber-se-iam estruturas superdimensionadas. Para que sejam atendidas as diversas combinações de ações com base probabilidade das cargas ocorrerem simultaneamente, a NBR 8681 (ABNT, 2004) prevê formas de se realizar estas combinações, (KIMURA, 2007).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) cita que as combinações que devem ser verificadas são as Combinações Últimas (ELU) e as Combinações de Serviço (ELS).

### **2.6.1. Combinações Últimas (ELU)**

As Combinações Últimas podem ser classificadas em Combinações Últimas Normais, Combinações Últimas Especiais ou de Construção e Combinações Últimas Excepcionais (ABNT, 2014).

#### **2.6.1.1. Combinações Últimas Normais**

Para as combinações últimas normais, a NBR 6118 (ABNT, 2014) menciona que as ações permanentes e a ação variável principal são incluídas com seus valores característicos. As demais ações variáveis são consideradas como sendo secundárias, ou seja, são incluídas com seus valores reduzidos (ABNT, 2004).

#### **2.6.1.2. Combinações Últimas Especiais ou de Construção**

As combinações especiais ou de construção incluem as ações permanentes, e quando existir, a ação variável especial, ambas com seus valores característicos. Mesmo que a probabilidade de ocorrência simultânea seja pequena para as demais ações variáveis, utilizam-se seus valores reduzidos (ABNT, 2004).

#### **2.6.1.3. Combinações Últimas Excepcionais**

Para este tipo de combinação, as ações permanentes e a ação variável excepcional, quando existir, devem ser consideradas com seus valores representativos. As demais ações variáveis que possam ocorrer simultaneamente

são consideradas com seus valores reduzidos. Nesse tipo de combinação, também se enquadram, entre outras, sismo e incêndio (ABNT, 2004).

### **2.6.2. Combinações de Serviço (ELS)**

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), as Combinações de Serviço são classificadas de acordo com sua permanência na estrutura e podem ser classificadas em Combinações Quase Permanentes, Combinações Frequentes e Combinações Raras.

#### **2.6.2.1. Combinações Quase Permanentes**

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), essas combinações podem atuar durante boa parte do tempo de vida de uma estrutura. Também podem ser necessárias para realizar a verificação do estado-limite de deformações excessivas.

#### **2.6.2.2. Combinações Frequentes**

Essas combinações podem ocorrer de maneira frequente na vida de uma estrutura, podendo ser necessárias na verificação dos estados-limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras e de vibrações excessivas. Além disso, também podem ser consideradas para verificações de estados-limites de deformações excessivas provenientes de ações como o vento ou de temperatura, que podem comprometer as vedações. (ABNT, 2014).

### 2.6.2.3. Combinações Raras

Esse tipo de combinação ocorre apenas algumas vezes durante o período de vida de uma estrutura. Sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de formação de fissuras, complementa a (ABNT, 2014).

## 2.7. LIGAÇÕES VIGA-PILAR

De acordo com Kimura (2007), o cruzamento entre vigas e pilares de uma estrutura são trechos que necessitam de um tratamento particular durante a modelagem estrutural, pois nessas regiões ocorre a transferência de esforços de um elemento para o outro.

Kimura (2007) ressalta ainda que no caso específico de estruturas em concreto simuladas por pórticos espaciais, é fundamental que essas ligações sejam adequadamente calibradas com recursos especiais, pois os esforços solicitantes e deslocamentos obtidos durante a análise estrutural devem ser compatíveis com a realidade, para que a avaliação do comportamento da estrutura não seja analisada de forma imprecisa.

Para tornar o cruzamento dos elementos mais realista, Kimura (2007) cita dois recursos específicos que são utilizados: consideração dos trechos rígidos e da flexibilização das ligações.

### 2.7.1. Trechos Rígidos

Conforme Kimura (2007), nas intersecções das vigas com os pilares podem ser definidas regiões comuns que são altamente rígidas.

Em uma modelagem via pórtico espacial em que os elementos são representados por elementos lineares, os trechos rígidos podem ser agrupados ao modelo por barras rígidas, sendo esta consideração muito importante podendo implicar em alterações significativas no comportamento de uma estrutura (KIMURA, 2007).

### **2.7.2. Flexibilização das Ligações**

Os trechos rígidos entre as vigas e os pilares também podem ser chamados de ligações semi-rígidas. Como a própria nomenclatura deixa bem claro, trata-se de um tratamento que possibilita que uma ligação não seja considerada nem infinitamente rígida (engaste sem giro) nem totalmente articulada (liberada ao giro). É um "meio-termo", é semi-rígido. Esta "flexibilização da ligação" é realizada por uma formulação que considera a existência de "molas" nos extremos das barras (KIMURA, 2007).

## **2.8. ESTABILIDADE DE ESTRUTURAS**

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), as estruturas devem ser projetadas e construídas de modo que a estrutura conserve sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante toda à sua vida útil.

Ainda de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), uma estrutura pode ser classificada em:

### **a) Estrutura de nós fixos**

As estruturas de nós fixos apresentam pequenos deslocamentos horizontais, conseqüentemente os efeitos globais de 2ª ordem são desprezíveis.

### **b) Estruturas de nós móveis**

Nas estruturas de nós móveis os deslocamentos horizontais são consideráveis, conseqüentemente é importante considerar os efeitos de 2ª ordem.

Foram elaborados métodos para análise de efeito de 2ª ordem e Estabilidade Global como o Coeficiente Gama-Z que avalia a estabilidade global de um edifício.

#### **2.8.1. Gama-Z**

O coeficiente Gama-Z classifica a estrutura quanto à deslocabilidade dos seus nós, para que se possa mensurar quão significante são os seus respectivos momentos de 2ª ordem (ABNT, 2014).

O coeficiente Gama-Z é calculado de acordo com a seguinte equação:

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

Onde:

$\Delta M_{tot,d}$  = momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura.

$M_{1,tot,d}$  = soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.

Caso o valor encontrado para o  $\gamma_z$  seja menor ou igual a 1,1 a estrutura é considerada como sendo de nós fixos. Já se o valor de  $\gamma_z$  for maior que 1,1 ela é considerada como sendo de nós móveis. (ABNT, 2014)

### **2.8.2. Flechas**

A verificação de flechas se faz necessária para que estas estejam dentro dos limites estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014), evitando que a estrutura apresente fissuração de alvenarias, destacamento de pisos, compressão de caixilhos e outras patologias.

### **3.PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Neste capítulo faz-se uma descrição detalhada da metodologia adotada para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso.

#### **3.1. CONDIÇÕES DE CONTORNO**

Foram adotadas condições de contorno para a definição de alguns parâmetros a serem utilizados no dimensionamento.

Estes parâmetros devem ser inseridos no software, pois o comportamento dos modelos de análise e os respectivos resultados obtidos dependem diretamente destas condições.

##### **3.1.1. Localização**

Adotou-se uma localização geográfica para a definição do cobrimento das armaduras, classe mínima do concreto e das forças devido ao vento de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014).

A localização adotada foi a área urbana do município de Curitiba situado no estado do Paraná.

De acordo com o ambiente escolhido adotou-se a Classe II de agressividade ambiental, que corresponde a um ambiente de moderada agressividade, com um pequeno risco de deterioração da estrutura. Nesta classe enquadram-se as estruturas construídas nas áreas urbanas conforme a Tabela 1.

Esta agressividade ambiental está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto (ABNT, 2014).



Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Tabela 1 - Classes de Agressividade Ambiental  
(Fonte: NBR 6118:2014)

Com base na classe de agressividade ambiental adotada, foi definida a classe de concreto a ser utilizada, conforme a Tabela 2. Visto que a estrutura é constituída por elementos estruturais de concreto armado definiu-se a classe mínima de concreto a ser utilizada como sendo o C25.

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto  
(Fonte: NBR 6118:2014)

Também se utilizou a localização adotada para determinar a velocidade básica do vento de 42 m/s, conforme a Figura 1.

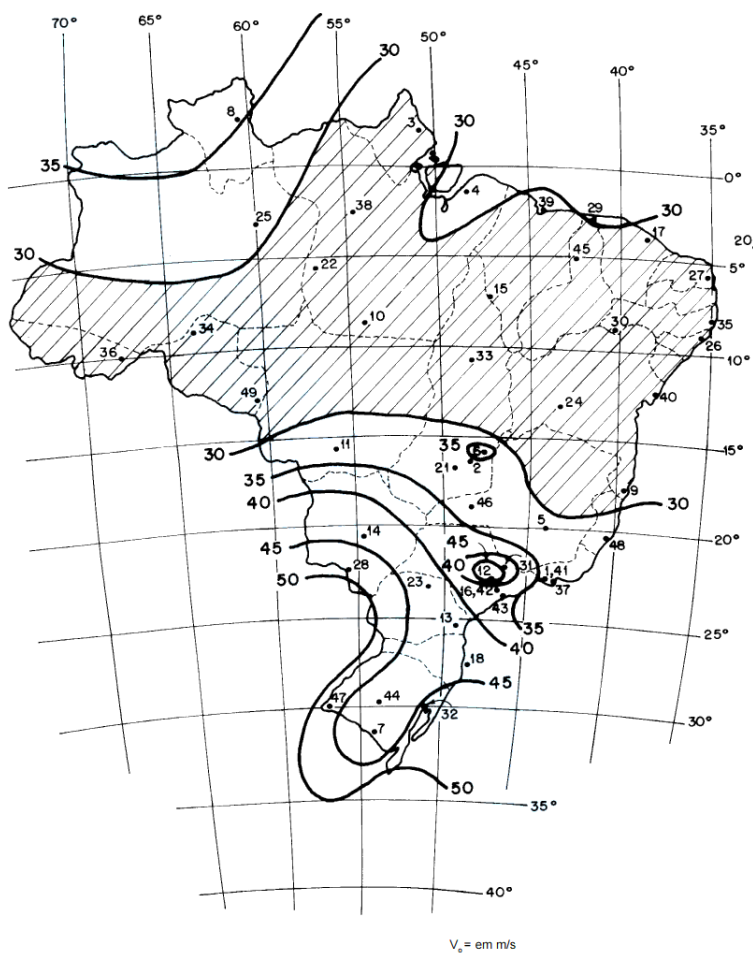


Figura 1 - Isopletas de Velocidade Básica do Vento ( $V_o$ )  
(Fonte: NBR 6123:1988)

### 3.1.2. Materiais

As principais características dos materiais empregados estão listadas a seguir.

#### 3.1.2.1. Concreto

Características do concreto adotado:

a) **Resistência:** fck: 25 MPa

Adotou-se a mínima resistência admissível respeitando-se o Item 7.4 da NBR 6118:2014 que especifica a classe mínima do concreto que deve ser adotada de acordo com a agressividade do ambiente.

**b) Coeficiente de Poisson:** 0,2

**c) Coeficiente de dilatação térmica:**  $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

**d) Módulo de elasticidade:** 28 GPa (Item 8.2.8 da NBR 6118 (ABNT, 2014))

O modo de elasticidade adotado considerou a utilização de granito como agregado graúdo.

**e) Massa específica:** 2500 kg/m<sup>3</sup> (Item 8.2.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014))

#### 3.1.2.2. Aço

Características do aço adotado:

**a) Resistência:** Fyk: 500 MPa

**b) Módulo de elasticidade:** 210 GPa (Item 8.3.5 da NBR 6118 (ABNT, 2014))

**c) Coeficiente de dilatação térmica:**  $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

**d) Massa específica:** 7850 kg/m<sup>3</sup> (Item 8.3.3 da NBR 6118 (ABNT, 2014))

#### 3.1.3. Carregamentos

Os carregamentos adotados estão de acordo com a NBR: 6120 (ABNT, 1980).

Nas lajes foram aplicados carregamentos uniformes de 2,5 kN/m<sup>2</sup>, além do peso próprio da estrutura.

### **3.1.4. Projeto Arquitetônico**

Foram concebidas três estruturas com múltiplos pavimentos e com plantas distintas, com o objetivo de verificar a influência da variação do grau de engastamento em mais de uma estrutura.

Todas foram dimensionadas considerando um pé direito de 3,20 metros e os parâmetros citados anteriormente.

## **3.2. MODELAGEM**

As estruturas foram modeladas com auxílio do software Eberick V10.

Para a determinação das seções das vigas, pilares e lajes, foram adotadas seções iniciais e realizado o processamento das estruturas para que atendessem as condições de estabilidade global para os graus de engastamento variando de 100% até 75%.

Os elementos que não atenderam aos critérios de dimensionamento tiveram suas seções redimensionadas, de maneira iterativa, até que todos os limites de cálculo fossem respeitados.

Após a calibração das seções dos elementos e da verificação da estabilidade global das estruturas para todos os graus de engastamento, foram determinados os deslocamentos horizontais, Gama-Z e consumo de aço para cada uma das condições.

### **3.2.1. Estrutura I**

A Estrutura I é uma estrutura em concreto armado com 6 pavimentos com as seguintes características:

- Vigas: 15 x 50 cm;
- Pilares
  - 18 Pilares 25 x 50 cm; (borda)
  - 10 Pilares 30 x 60 cm; (internos)

As dimensões dos pilares foram estabelecidas de modo a atender a estabilidade global da estrutura para os graus de engastamento variando de 75% até 100%. Como a estrutura apresenta inércia distinta na direção de x e y foram adotados pilares com seção retangular de modo a compensar esta diferença de inércia.

- 18 Lajes maciças com:
  - $h = 18$  cm;
  - $l_x = l_y = 4,85$  m.

Na Figura 2 pode-se visualizar a planta tipo da Estrutura I. Adotou-se esta planta por esta permitir o estudo da variação do engastamento em uma estrutura com diferentes inércias na direção x e y. A Estrutura I possui 18 lajes com dimensões de  $L_x$  e  $L_y$  idênticas.

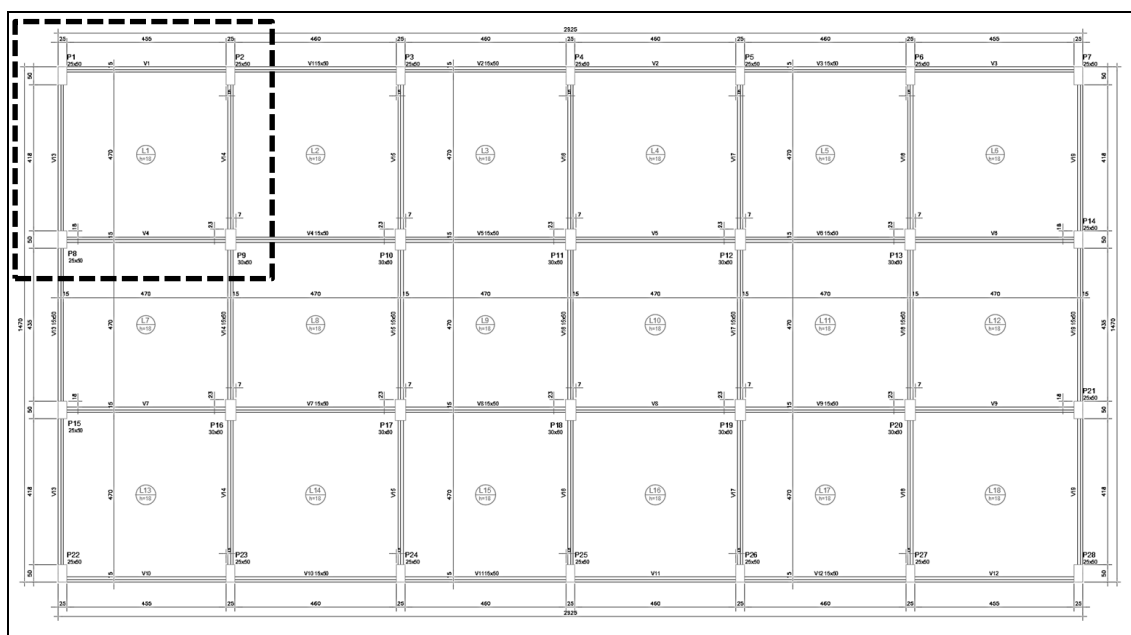


Figura 2 – Planta da Estrutura I.

Na Figura 3, tem-se um detalhe ampliado de parte da estrutura I, o qual está identificado na Figura 2 por um contorno pontilhado de forma retangular na cor preta.

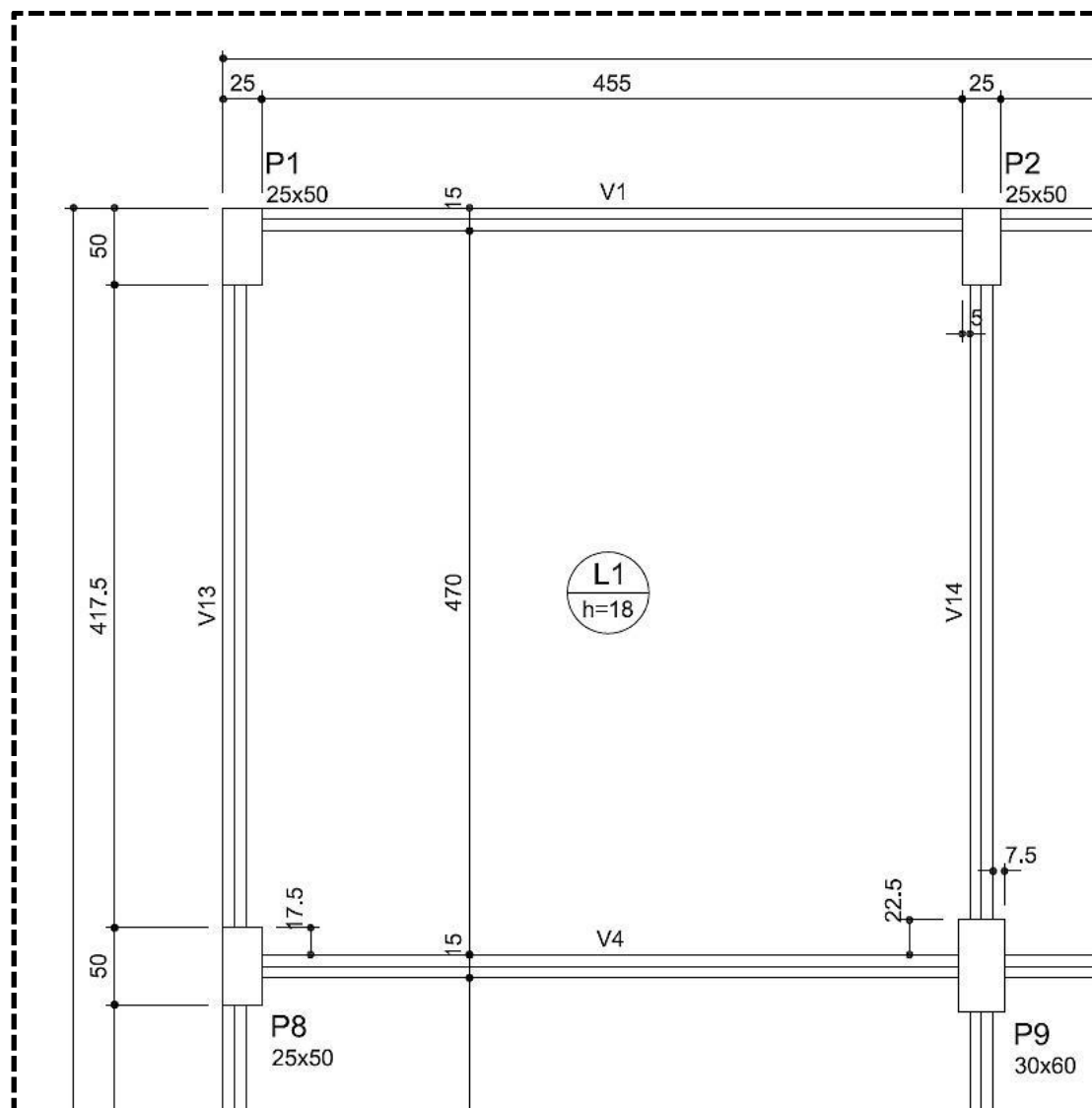


Figura 3 – Detalhe da Estrutura I

Na Figura 4, observa-se a modelagem tridimensional da estrutura I, a qual foi modelada utilizando o software Eberick V10.

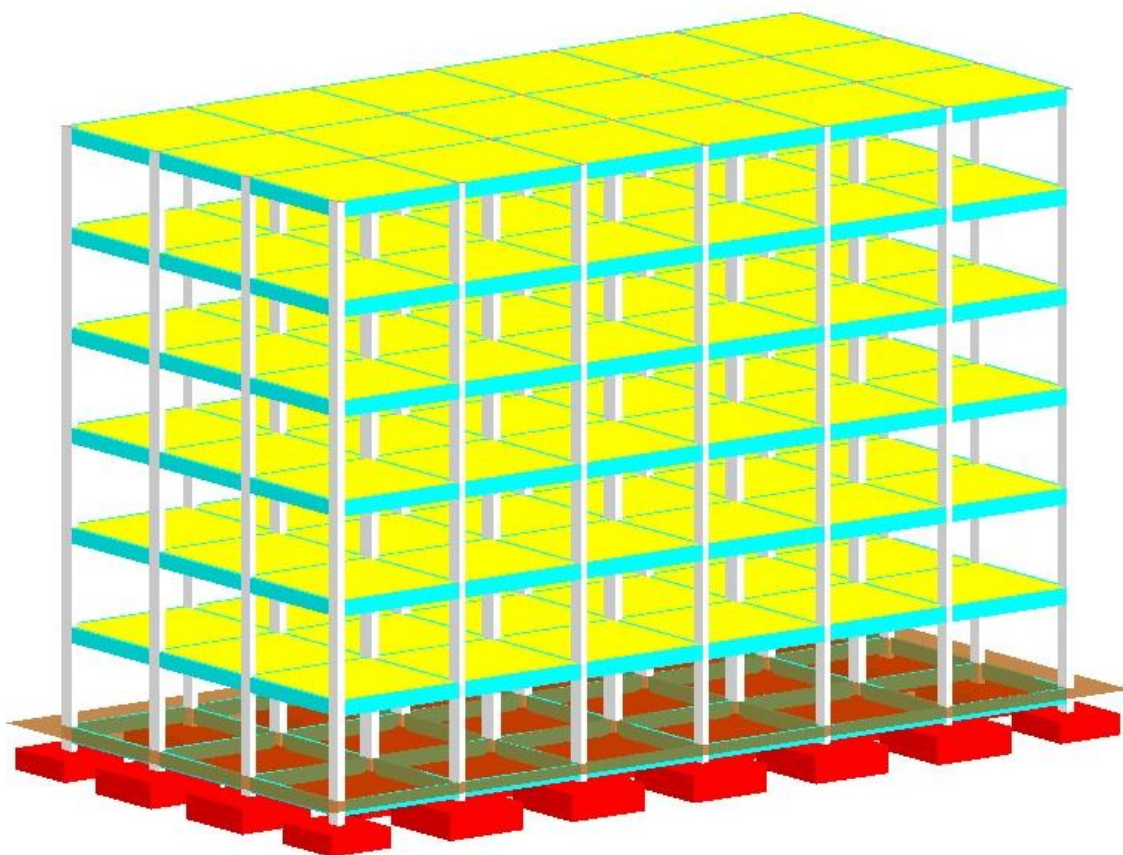


Figura 4 – Modelagem da estrutura I

### 3.2.2. Estrutura II

A Estrutura II é uma estrutura em concreto armado com 6 pavimentos com as seguintes características:

- Vigas: 15 x 50 cm;
- 21 Pilares de 45 x 45 cm;

As dimensões dos pilares foram estabelecidas de modo a atender a estabilidade global da estrutura para os graus de engastamento variando de 75% até 100%. Como a estrutura apresenta mesma inércia na direção de x e y os pilares foram concebidos com seção quadrada.

- 12 Lajes maciças com:
  - $h = 18 \text{ cm}$ ;
  - $l_x = l_y = 4,85 \text{ m}$ .

Concebeu-se a planta tipo da Estrutura II de modo a se estudar os impactos da variação do engastamento em uma estrutura com eixo de simetria, mesma inércia em x e y, com pilares de seção quadrada, submetida à torção devido aos carregamentos de vento, conforme ilustrado na Figura 5.

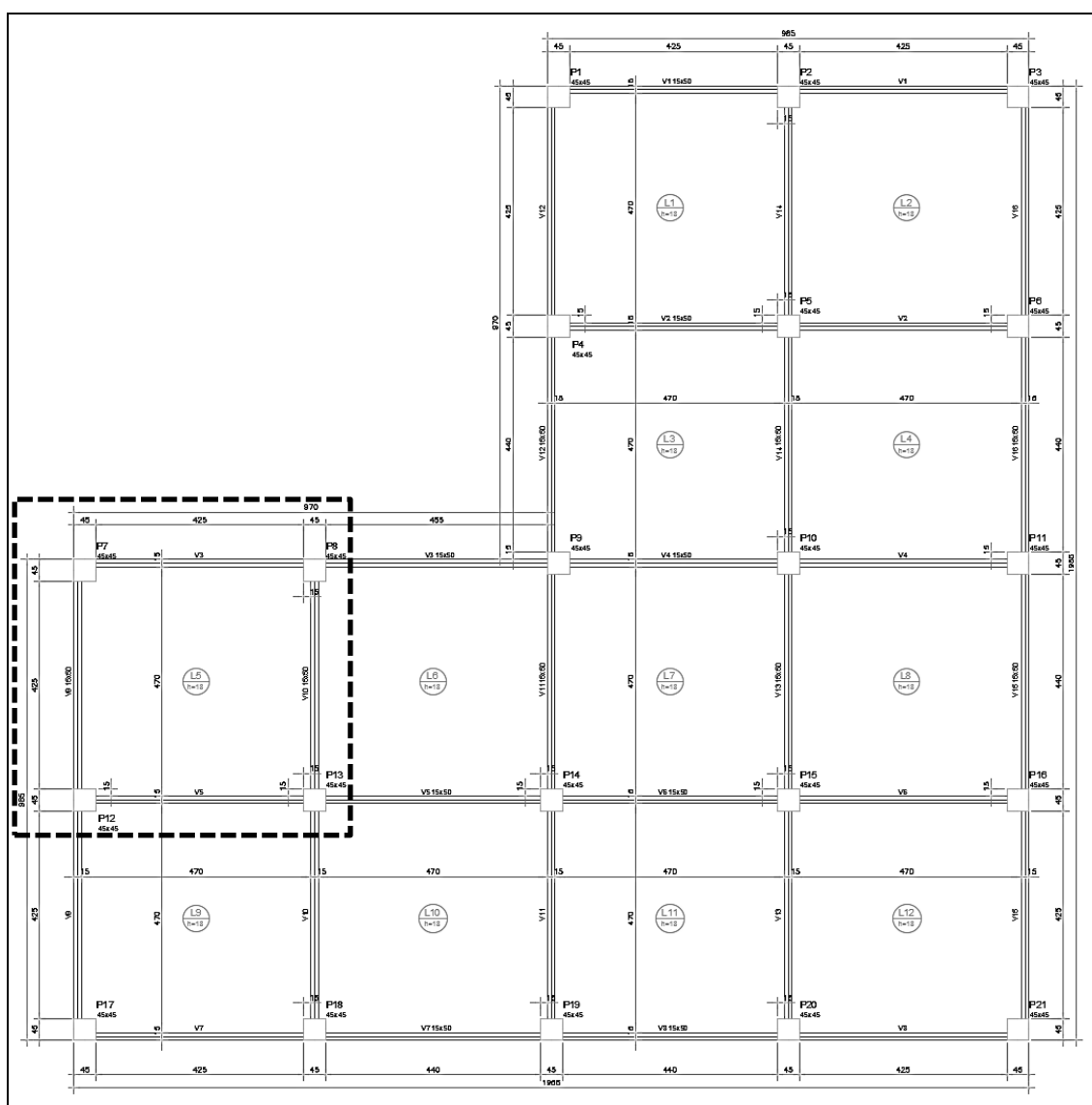


Figura 5 – Planta da Estrutura II



Assim como na Estrutura I, na Estrutura II todas as lajes também têm dimensões idênticas de  $L_x$  e  $L_y$ .

Na Figura 6 visualiza-se um detalhamento ampliado da área demarcada na Figura 5.

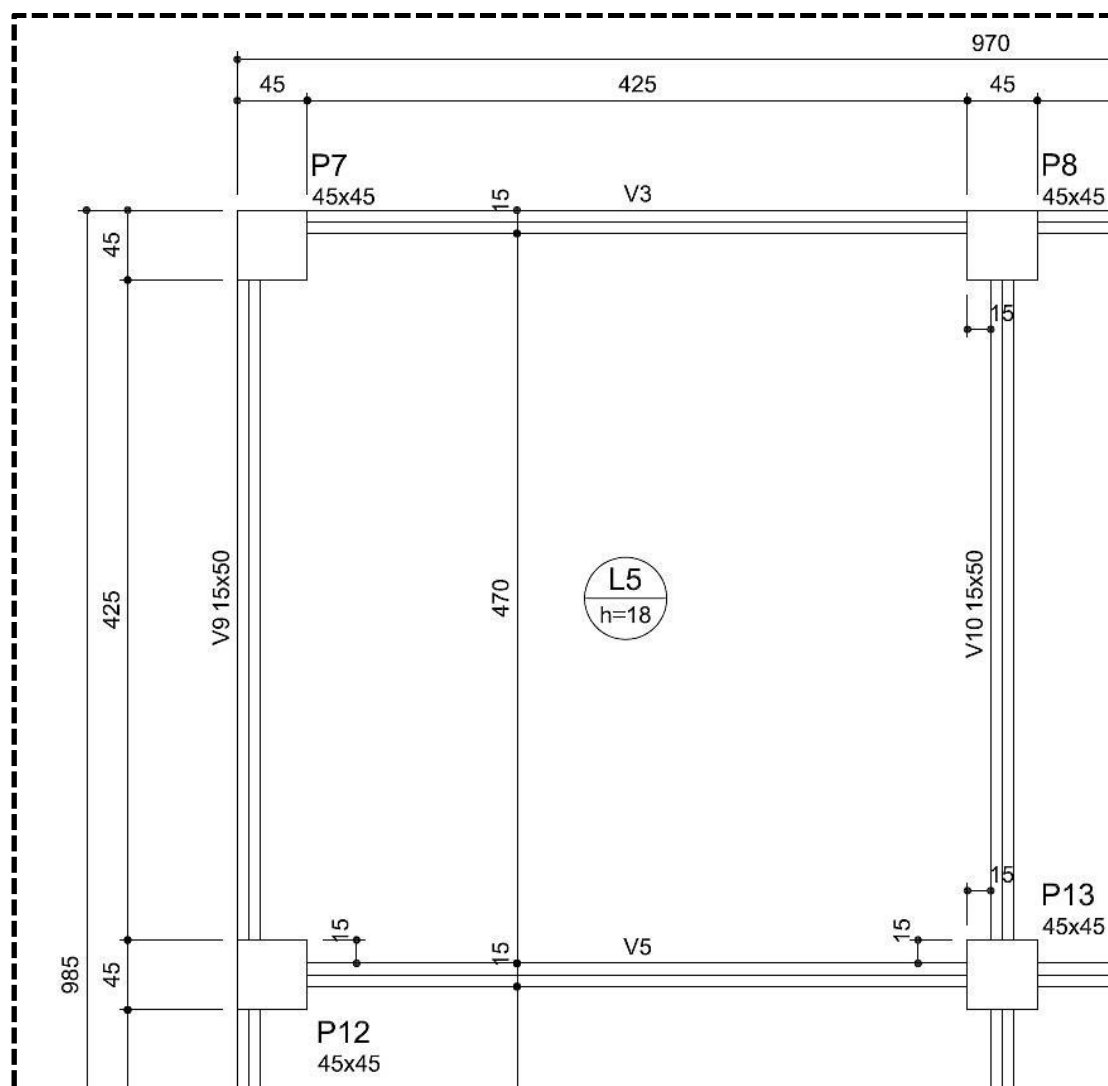


Figura 6 – Detalhe estrutura II

Na Figura 7, ilustra-se a modelagem tridimensional da estrutura II, obtida por meio da modelagem estrutural.

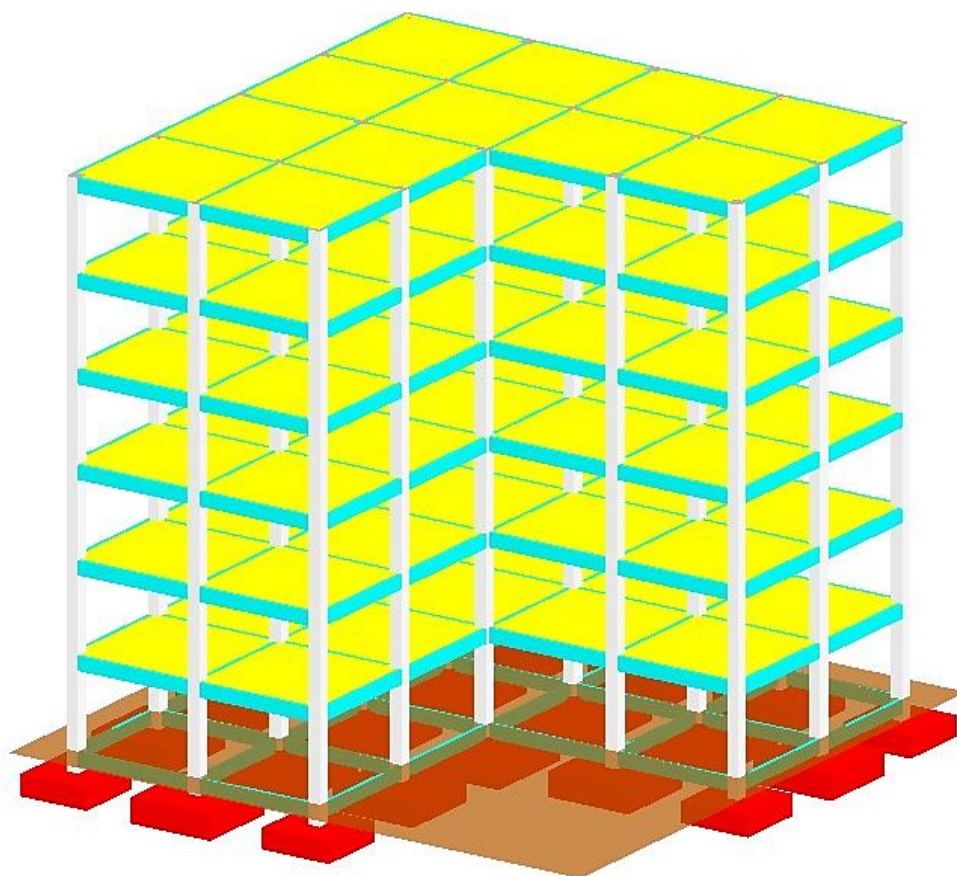


Figura 7 – Modelagem estrutura II

### 3.2.3. Estrutura III

A Estrutura III é uma estrutura em concreto armado com 6 pavimentos com as seguintes características:

- Vigas: 15 x 50 cm;
- 33 Pilares de 35 x 35 cm;

As dimensões dos pilares foram estabelecidas de modo a atender a estabilidade global da estrutura para os graus de engastamento variando de 75% até 100%. Como a estrutura apresenta simetria na direção de x e y adotaram-se pilares com seção quadrada.

- 20 Lajes maciças com:
  - $h = 18$  cm;
  - $l_x = l_y = 4,85$  m.

A planta da Estrutura III foi concebida de modo a permitir a análise da variação do engastamento em uma estrutura com eixos de simetria e mesma inércia nas direções de x e y, Como a inércia nas duas direções é idêntica adotou-se pilares com seção quadrada conforme pode ser visualizado na Figura 8.

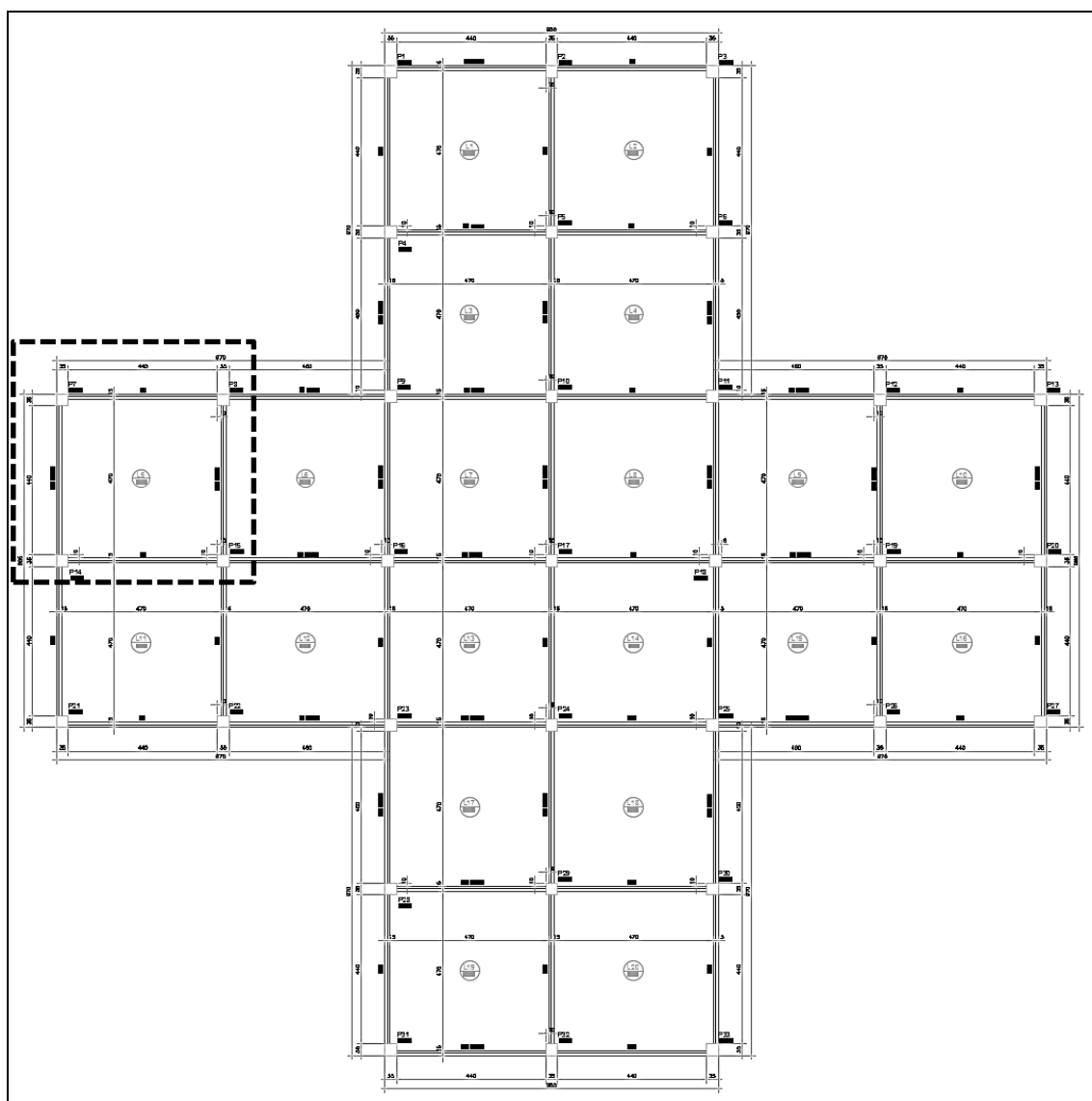


Figura 8 – Planta da Estrutura III.

Assim como na Estrutura I e Estrutura II todas as lajes da Estrutura III também têm dimensões idênticas de  $L_x$  e  $L_y$ .

Conforme realizado anteriormente, na Figura 9 pode-se observar um detalhe ampliado de parte da estrutura III.

Neste detalhe, assim como nos anteriores, pode-se visualizar, os diferentes elementos estruturais identificados pelas consoantes P, L e V que se referem a pilar, laje e viga, respectivamente.

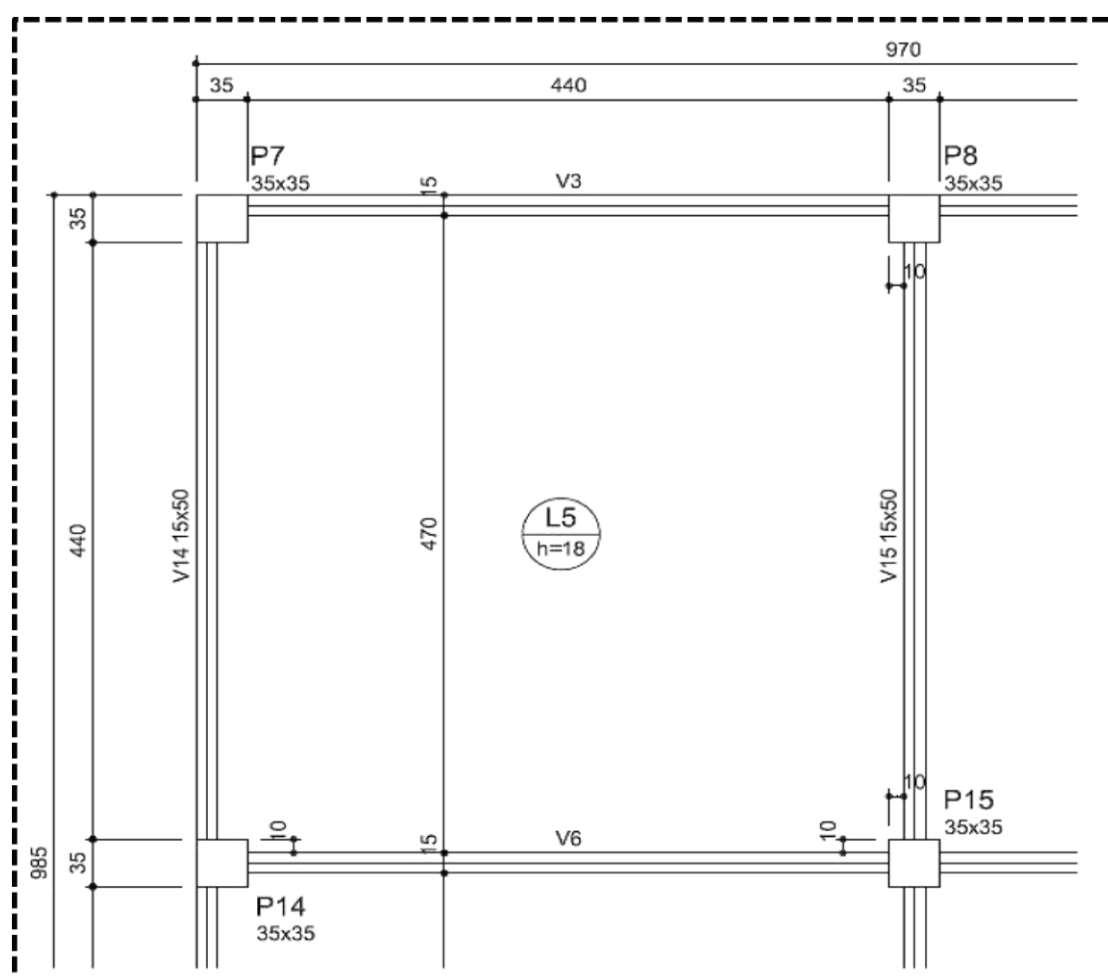


Figura 9 – Detalhe estrutura III.

Por fim, na Figura 10, observa-se a modelagem referente à estrutura III.

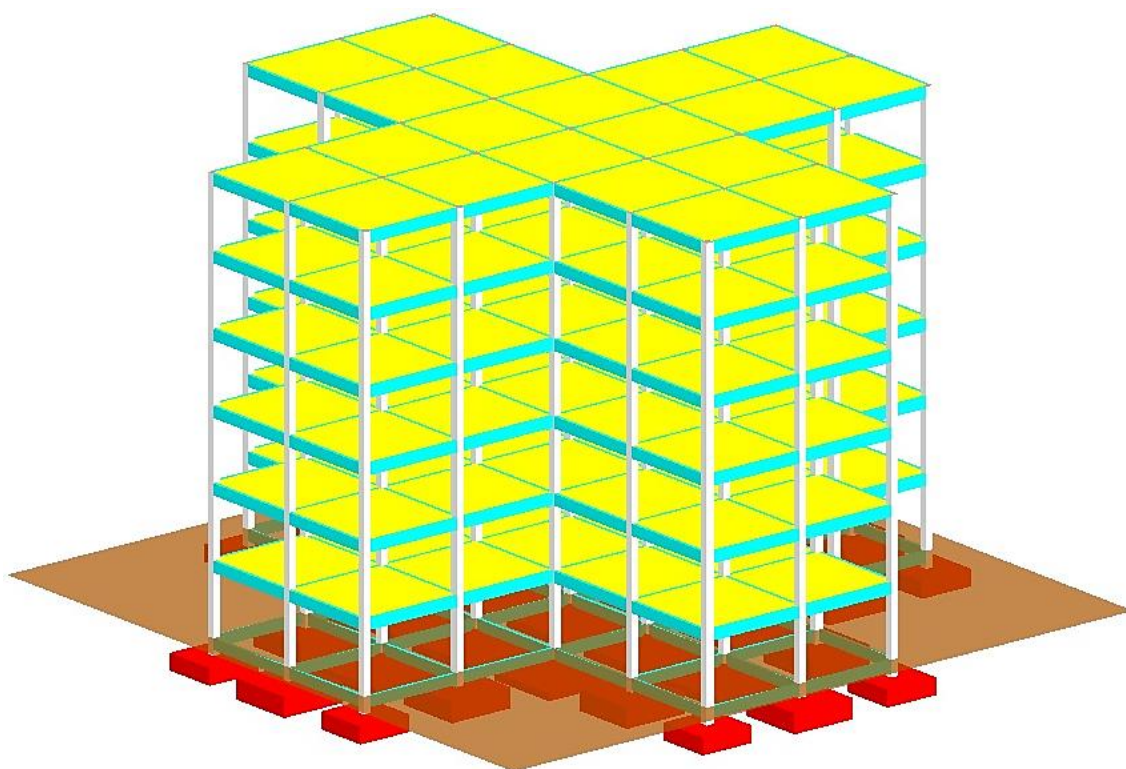


Figura 10 – Modelagem da estrutura III.

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

As três estruturas concebidas foram modeladas e analisadas, gerando-se memórias de cálculo com os respectivos resultados. A partir dessas memórias de cálculo, foram retirados os resultados de consumo de aço, deslocamentos horizontais e de estabilidade global (Gama-Z).

Estes resultados foram plotados em gráficos, com diferentes modelos comparativos, para se obter uma melhor análise do comportamento das estruturas.

### 4.1. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos foram condensados na Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5.

Na Tabela 3 lista-se o consumo de aço, deslocamentos horizontais e coeficiente Gama-Z da estrutura I com os seus respectivos graus de engastamento.

Grau de engastamento (%)	CONSUMO DE AÇO (Kg)				Deslocamentos Horizontais (cm)		Estabilidade Global (Gama-Z)	
	Vigas	Pilares	Lajes	TOTAL	Dir. X	Dir. Y	Dir. X	Dir. Y
100	9534,8	5660,6	12524,8	27720,2	0,22	0,33	1,08	1,04
95	9510,4	5660,6	12524,8	27695,8	0,23	0,35	1,08	1,04
90	9119,2	5660,6	12524,8	27304,6	0,24	0,39	1,08	1,05
85	8795,3	5660,6	12580,2	27036,1	0,26	0,42	1,09	1,05
80	8466,7	5730,8	12605,2	26802,7	0,28	0,47	1,1	1,06
75	8161,4	5730,8	12723,4	26615,6	0,30	0,51	1,1	1,06

Tabela 3 - Consumo de aço Estrutura I

Na Tabela 4 lista-se o consumo de aço, deslocamentos horizontais e coeficiente Gama-Z da estrutura II com os seus respectivos graus de engastamento.

Grau de engastamento (%)	CONSUMO DE AÇO (Kg)				Deslocamentos Horizontais (cm)		Estabilidade Global (Gama-Z)	
	Vigas	Pilares	Lajes	TOTAL	Dir. X	Dir.Y	Dir. X	Dir.Y
100	6849,5	6883,3	8633,0	22365,8	0,29	0,29	1,04	1,04
95	6756,4	6858,6	8633,0	22248,0	0,31	0,31	1,04	1,04
90	6601,6	6765,7	8699,6	22066,9	0,34	0,34	1,05	1,05
85	6333,3	6715,1	8711,4	21759,8	0,37	0,37	1,05	1,05
80	6187,5	6727,4	8747,5	21662,4	0,41	0,41	1,06	1,06
75	6016,6	6739,8	8808,5	21564,9	0,45	0,45	1,06	1,06

Tabela 4 - Consumo de aço Estrutura II

Por fim, na Tabela 5 lista-se o consumo de aço, deslocamentos horizontais e coeficiente Gama-Z da estrutura III com os seus respectivos graus de engastamento.

Grau de engastamento (%)	CONSUMO DE AÇO (Kg)				Deslocamentos Horizontais (cm)		Estabilidade Global (Gama-Z)	
	Vigas	Pilares	Lajes	TOTAL	Dir. X	Dir.Y	Dir. X	Dir.Y
100	10210,0	5214,2	14229,1	29653,3	0,38	0,38	1,06	1,06
95	10007,0	5214,2	14229,1	29450,8	0,39	0,39	1,07	1,07
90	9675,8	5220,6	14229,1	29125,5	0,42	0,42	1,07	1,07
85	9569,4	5221,7	14229,1	29020,2	0,45	0,45	1,08	1,08
80	9394,9	5275,4	14229,1	28899,4	0,49	0,49	1,08	1,08
75	9136,6	5335,6	14236,2	28708,4	0,53	0,53	1,09	1,09

Tabela 5 - Consumo de aço Estrutura III

Nos subcapítulos a seguir, foram analisados mais especificamente e individualmente os resultados obtidos.

## 4.2. CONSUMO DE AÇO

Analisou-se o consumo de aço em cada tipo de elemento estrutural, plotando os resultados em gráficos para analisar a tendência de acordo com a variação do grau de engastamento.

### 4.2.1. Consumo de Aço nas Vigas

Os dados de consumo de aço nas vigas foram plotados no Gráfico 1, ilustrando o consumo total de todas as estruturas conforme a variação do grau de engastamento.

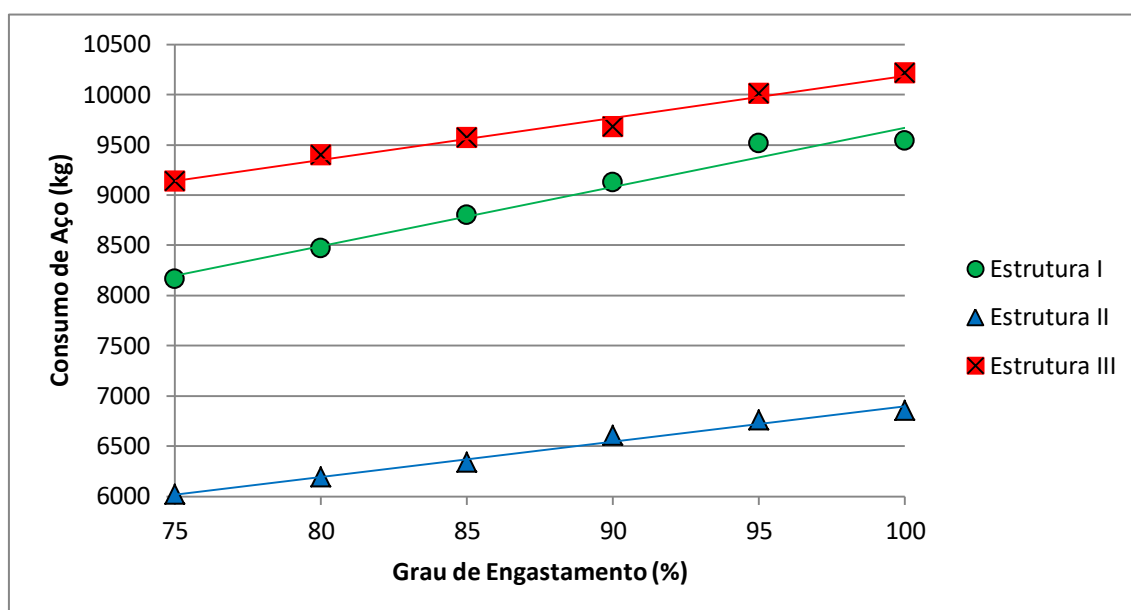


Gráfico 1 - Consumo total de aço nas vigas.

De acordo com o Gráfico 1, verifica-se uma clara tendência de aumento no consumo de aço nas vigas com o aumento do grau de engastamento.

Nota-se que na Estrutura I, quando modelada com ligações 100% engastadas teve um aumento de 16,83% no consumo em relação à modelagem com ligações 75% engastadas.



Na sequência, observa-se que a Estrutura II teve um aumento de 13,84% no consumo de aço quando se varia o grau de engastamento das ligações na modelagem de 75% para 100%.

Por fim, considerando as ligações da Estrutura III 100% engastadas, esta teve um aumento no consumo de aço nas vigas de 11,75% em relação a modelagem com ligações com grau de engastamento de 75%.

#### 4.2.2. Consumo de Aço nos Pilares

Assim como foi realizado para as vigas, plotou-se um gráfico relacionando o consumo total de aço nos pilares das três estruturas de acordo com a variação do engastamento das ligações das estruturas.

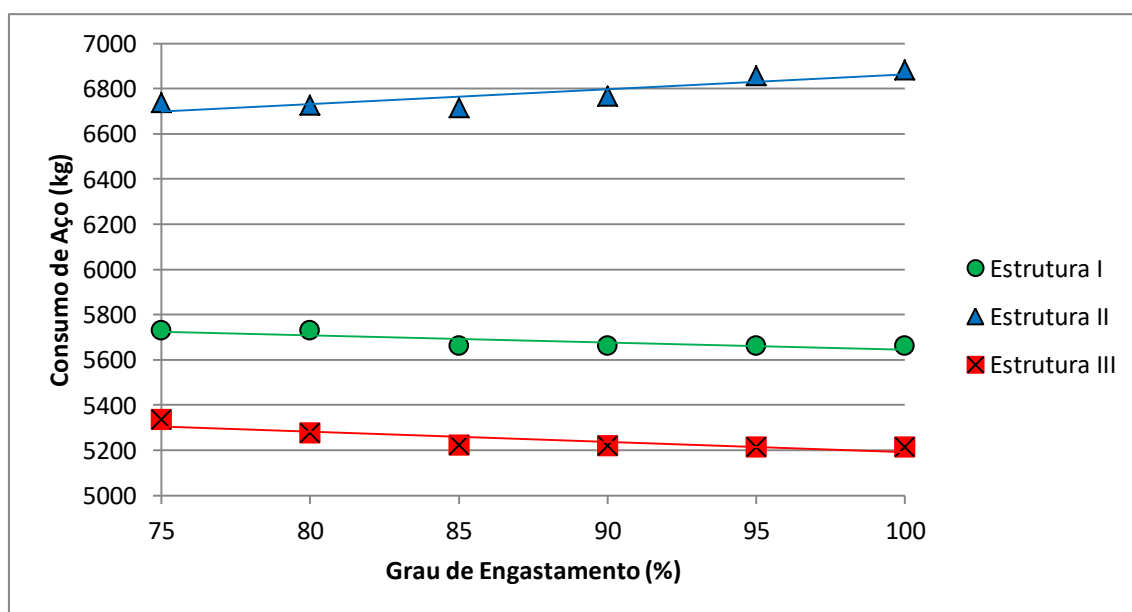


Gráfico 2 - Consumo total de aço nos pilares

Com base nas linhas de tendência no Gráfico 2, constata-se que a Estrutura I e a Estrutura III tiveram uma pequena redução no consumo de aço nos pilares com o aumento do grau de engastamento, porém na estrutura II, ocorreu o

inverso, tendo-se um pequeno aumento no consumo de aço com o aumento do grau de engastamento.

Nota-se que uma modelagem 100% engastada da Estrutura I, fez com que houvesse uma redução de 1,24% no consumo de aço dos pilares quando comparado com a mesma estrutura 75% engastada.

Nos pilares da Estrutura II, observou-se uma tendência distinta das demais estruturas visto que quando considerada 100% engastada, apresentou um aumento de 2,13% no consumo de aço em relação à condição com as ligações 75% engastadas.

Por fim, a Estrutura III teve a mesma tendência que a Estrutura I, tendo uma redução de 2,33% no consumo de aço nos pilares variando-se o grau de engastamento de 75% para 100%.

#### 4.2.3. Consumo de Aço nas Lajes

Para as lajes, também foram plotados gráficos com o consumo total de aço variando de acordo com o grau de engastamento para as três estruturas.

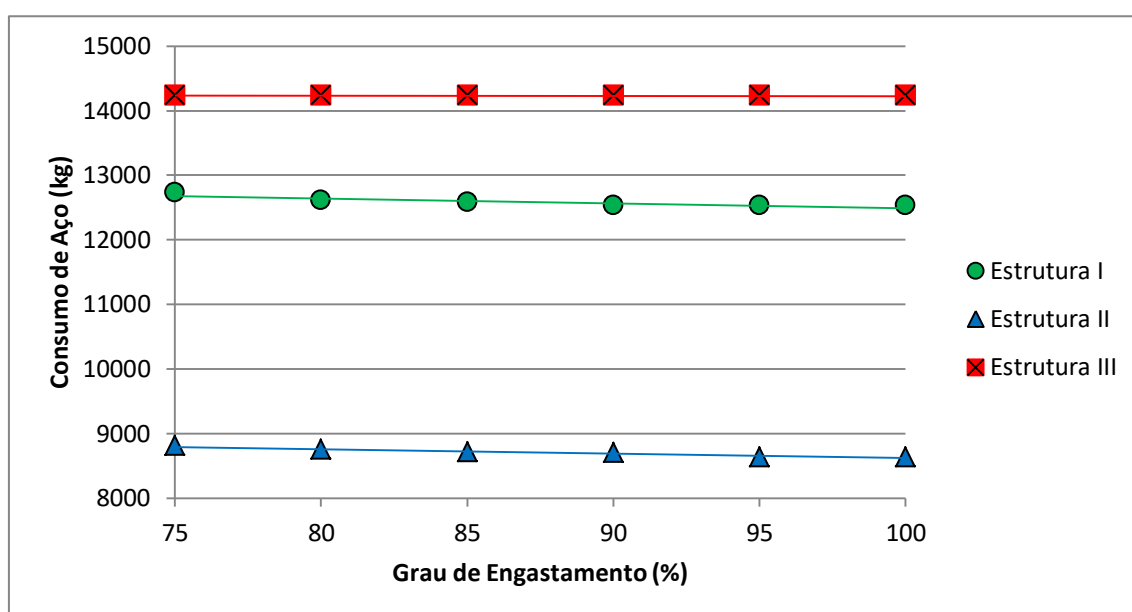


Gráfico 3 - Consumo total de aço nas lajes

As linhas de tendência traçadas no Gráfico 3, indicam uma pequena tendência de redução no consumo de aço com o aumento do grau de engastamento.

A Estrutura I quando 100% engastada teve uma redução no consumo de aço nas lajes de 1,59% se comparada à mesma estrutura com um engastamento de 75%.

O resultado da Estrutura II se assemelha a Estrutura I, tendo uma redução de 2,03% no consumo de aço quando seu grau de engastamento é aumentado de 75 para 100%.

Por fim, a Estrutura III apresentou uma redução de 0,05% no consumo de aço quando 100% engastada, se comparada com um engaste de 75%.

#### 4.2.4. Consumo de Aço Total

Tendo-se analisado os resultados dos diferentes elementos estruturais, plotou-se um gráfico com o somatório dos consumos de aço das vigas, pilares e lajes de cada estrutura em função do respectivo grau de engastamento.

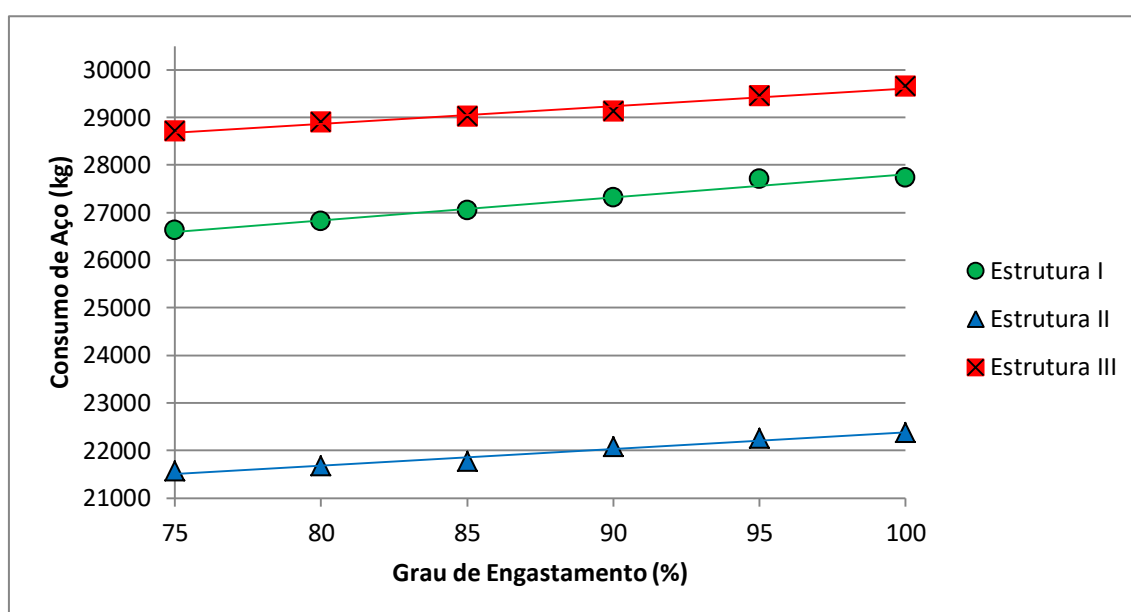


Gráfico 4 - Consumo total de aço

Com base no Gráfico 4, constata-se um aumento no consumo total de aço nas três estruturas, conforme o grau de engastamento das ligações das estruturas é incrementado.

Ao se analisar o resultado de cada estrutura, conforme ilustrado na Tabela 3 e no Gráfico 4, constata-se que a Estrutura I apresenta um aumento de 4,15% no consumo de aço quando considerado um engastamento de 100%, em relação à situação de um engastamento de 75%.

Fazendo-se a mesma comparação para a Estrutura II e para a Estrutura III, tem-se um aumento 3,71% e de 3,29% no consumo, respectivamente, quando o grau de engastamento passa de 75% para 100%.

#### 4.3. DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS

Os deslocamentos horizontais, tanto na direção X quanto na direção Y, que foram anteriormente organizados na Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5, foram plotados no Gráfico 5 de modo a facilitar a identificação de tendências nos deslocamentos com a variação do grau de engastamento.

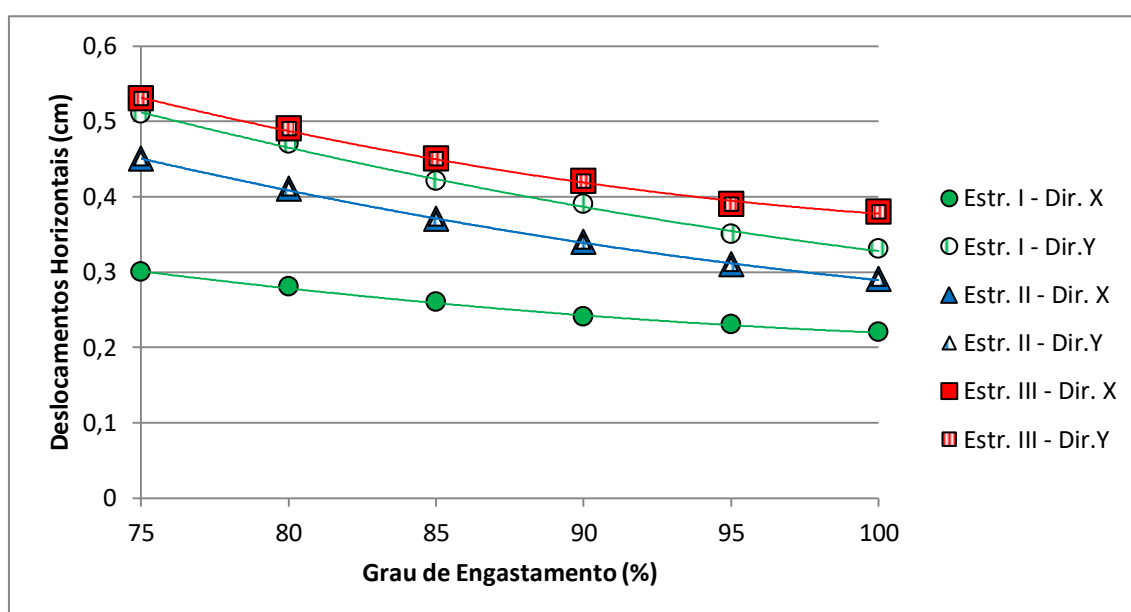


Gráfico 5 - Deslocamentos horizontais

Conforme ilustrado no Gráfico 5, nota-se que quanto maior o engastamento das ligações, menores são os deslocamentos horizontais das estruturas.

A Estrutura I apresentou deslocamentos distintos na direção de X e Y visto que a sua inércia também é diferente nas duas direções. Para um engaste de 75% obteve-se deslocamentos de 0,30 cm em X e de 0,51 em Y. Quando a estrutura foi modelada tendo as suas ligações 100% engastada foram obtidos deslocamentos de 0,22 cm e 0,33 cm, nas direções de X e Y respectivamente.

Dando continuidade na análise, a estrutura III apresentou um comportamento similar nas duas direções visto que a estrutura tem um eixo de simetria. Para ligações com um grau de engastamento de 75% apresentou um deslocamento de 0,45 cm, já no caso das ligações serem 100% engastadas apresentou um deslocamento de 0,29 cm.

Do mesmo modo que a Estrutura II, a Estrutura III também é simétrica e devido a isso apresentou comportamentos idênticos nas direções X e Y. Foram obtidos deslocamentos horizontais de 0,53 cm e 0,38 cm, para engastes de 75% e 100% respectivamente.

Diante disso, nota-se que um maior grau de engastamento colabora para um aumento da rigidez da estrutura, reduzindo os seus deslocamentos horizontais.

#### 4.4. ESTABILIDADE GLOBAL (GAMA-Z)

Os valores de Gama-Z obtidos das três estruturas, conforme descritos anteriormente na Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5, foram plotados no Gráfico 6 em relação aos diferentes graus de engastamentos.

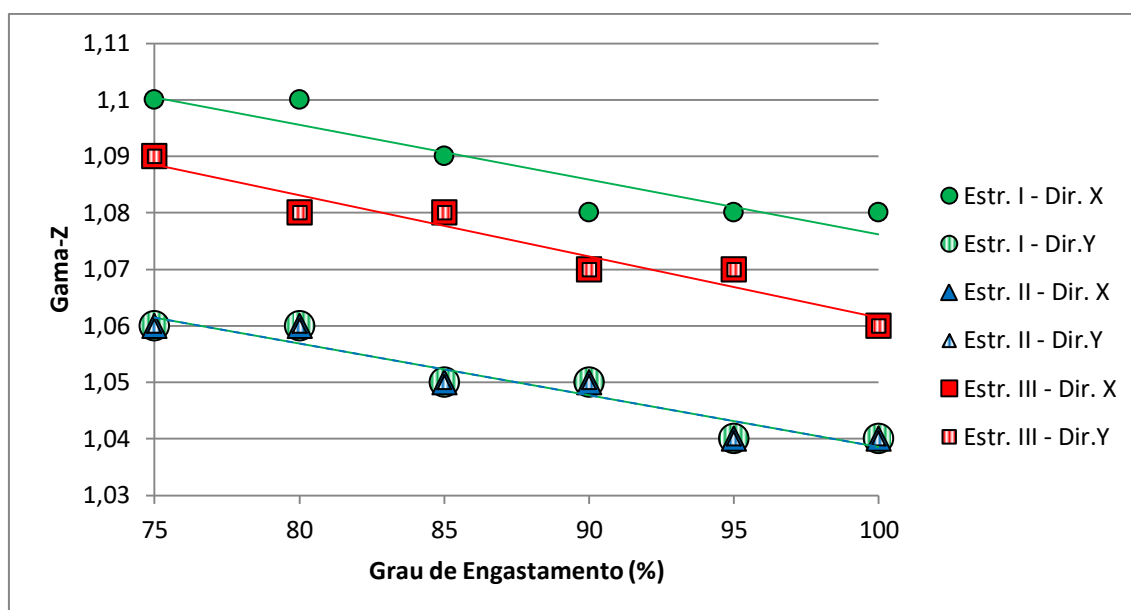


Gráfico 6 - Estabilidade global (Gama-Z)

Observa-se na Tabela 3 e no Gráfico 6, que a Estrutura I para 75% de engastamento, teve um coeficiente Gama-Z de 1,10 na direção X e de 1,06 na direção Y. Para um engaste de 100%, na direção X a Estrutura I possui um Gama-Z de 1,08 e de 1,04 na direção Y.

Constata-se com base no comportamento da Estrutura I que ao se aumentar o grau de engastamento desta estrutura a sua estabilidade é incrementada.

Analisando-se os dados da a Tabela 4 e a Tabela 5, referente aos resultados da Estrutura II e da Estrutura III respectivamente, juntamente com o Gráfico 6, compreende-se que devido a um eixo de simetria nas estruturas, que faz com que apresentem a mesma inércia tanto na direção X quanto na direção Y os valores de Gama-Z também são idênticos nas duas direções.

Para um engaste de 75 %, o Gama-Z da Estrutura II nas duas direções resultou em um coeficiente de 1,06, enquanto que para um engaste de 100% calculou-se um valor de 1,04.

No caso da Estrutura III, os valores de Gama-Z foram de 1,09 e 1,06 para 75% e 100% de engastamento respectivamente.

Diante disso, observa-se novamente uma tendência de aumento da estabilidade com um aumento na rigidez das ligações.

#### 4.5. CONSUMO DE AÇO X DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS

Analisou-se o consumo de aço em relação aos deslocamentos horizontais das estruturas.

Pode-se observar no Gráfico 7, que os deslocamentos horizontais foram reduzidos com o aumento do consumo de aço nas estruturas.

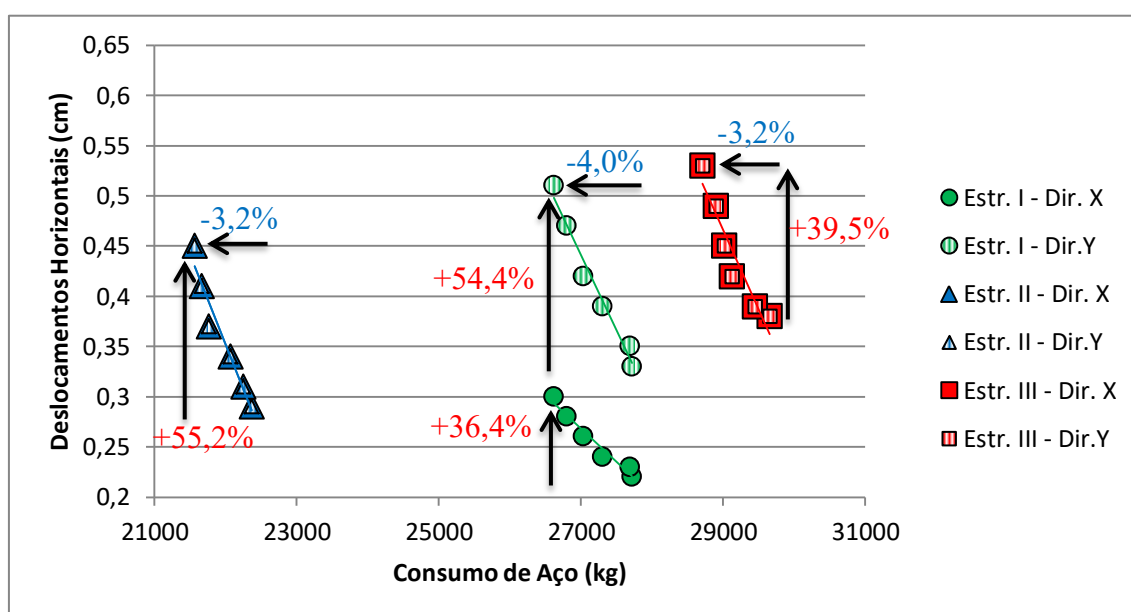


Gráfico 7 - Consumo de aço x Deslocamentos horizontais

Na estrutura I a redução do grau de engastamento de 100% para 75% reduziu em 4,0% o consumo de aço, aumentando os deslocamentos horizontais em 36,4% na direção X e de 54,5% na direção Y.

Na Tabela 6 observam-se as variações percentuais de consumo de aço e deslocamentos horizontais da Estrutura I em relação à análise 100% engastada.

Estrutura I						
Grau de engastamento (%)	Consumo de aço (Kg)				Deslocamento Horizontal (cm)	
	Vigas	Pilares	Lajes	Total	Estr. I - Dir. X	Estr. I - Dir. Y
100	0%	0%	0%	0%	0%	0%
95	-0,3%	0,0%	0,0%	-0,1%	4,5%	6,1%
90	-4,4%	0,0%	0,0%	-1,5%	9,1%	18,2%
85	-7,8%	0,0%	0,4%	-2,5%	18,2%	27,3%
80	-11,2%	1,2%	0,6%	-3,3%	27,3%	42,4%
75	-14,4%	1,2%	1,6%	-4,0%	36,4%	54,5%

Tabela 6 – Variação percentual do consumo de aço e deslocamentos horizontais da estrutura I

A redução do grau de engastamento de 100% para 75% na estrutura II reduziu em 2,6% o consumo de aço e aumentou os deslocamentos horizontais em 53,6% na direção X e de 52,4% na direção Y.

Na Tabela 7 notam-se as variações percentuais de consumo de aço e deslocamentos horizontais da Estrutura II em relação à análise 100% engastada.

Estrutura II						
Grau de engastamento (%)	Consumo de aço (Kg)				Deslocamento Horizontal (cm)	
	Vigas	Pilares	Lajes	Total	Estr. II - Dir. X	Estr. II - Dir. Y
100	0%	0%	0%	0%	0%	0%
95	-1,4%	-0,4%	0,0%	-0,5%	6,9%	6,9%
90	-3,6%	-1,7%	0,8%	-1,3%	17,2%	17,2%
85	-7,5%	-2,4%	0,9%	-2,7%	27,6%	27,6%
80	-9,7%	-2,3%	1,3%	-3,1%	41,4%	41,4%
75	-12,2%	-2,1%	2,0%	-3,6%	55,2%	55,2%

Tabela 7 – Variação percentual do consumo de aço e deslocamentos horizontais da estrutura II

Por fim, na estrutura III verifica-se que a redução do grau de engastamento de 100% para 75% reduziu em 3,2% o consumo de aço, porém implicando em deslocamentos horizontais 39,5% maiores nas direções de X e Y.



Na Tabela 8, pode-se observar as variações percentuais de consumo de aço e deslocamentos horizontais da Estrutura III, também em relação à análise 100% engastada.

Estrutura III						
Grau de engastamento (%)	Consumo de aço (Kg)				Deslocamento Horizontal (cm)	
	Vigas	Pilares	Lajes	Total	Estr. III - Dir. X	Estr. III - Dir. Y
100	0%	0%	0%	0%	0%	0%
95	-2,0%	0,0%	0,0%	-0,7%	2,6%	2,6%
90	-5,2%	0,1%	0,0%	-1,8%	10,5%	10,5%
85	-6,3%	0,1%	0,0%	-2,1%	18,4%	18,4%
80	-8,0%	1,2%	0,0%	-2,5%	28,9%	28,9%
75	-10,5%	2,3%	0,0%	-3,2%	39,5%	39,5%

Tabela 8 – Variação percentual do consumo de aço e deslocamentos horizontais da estrutura III

Constata-se nas três estruturas, que um pequeno aumento no consumo de aço resultou em uma grande redução dos seus deslocamentos horizontais.

#### 4.6. VARIAÇÃO DOS MOMENTOS NAS VIGAS

Para se verificar o impacto da variação da rigidez das ligações na envoltória de momentos das vigas, analisou-se a Viga 1 do primeiro pavimento de cada estrutura. Comparou-se a envoltória obtida com as ligações 100% engastada com a de quando estas são 75% engastada.

## MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V1

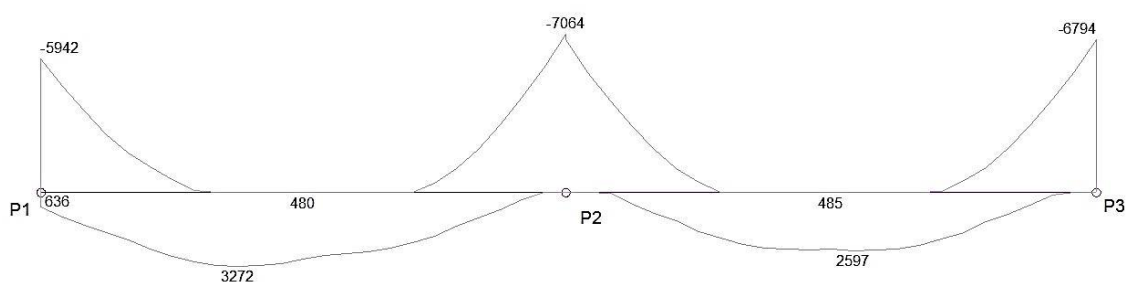


Figura 11 - Viga 1 da estrutura I com 100% de engastamento

## MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V1

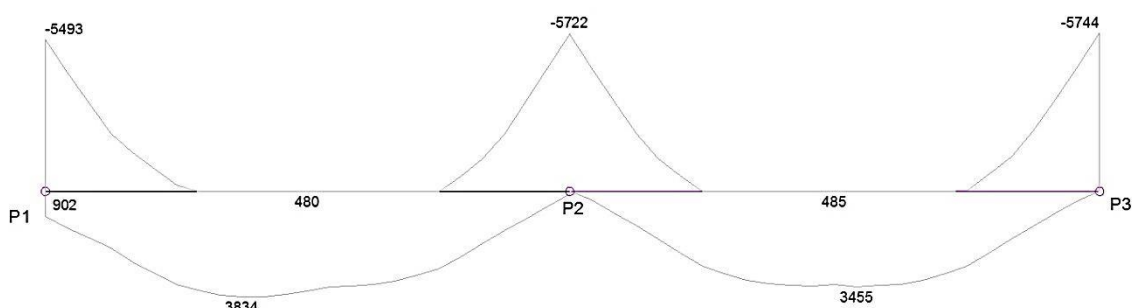


Figura 12 - Viga 1 da estrutura I com 75% de engastamento

Observa-se na Figura 11 e Figura 12, a envoltória dos momentos da Viga 1 da Estrutura I, com ligações 100% e 75% engastadas respectivamente.

No trecho da viga entre o P1 e P2, verifica-se que o momento positivo máximo para uma ligação 75% engastada é 17,2% maior que uma ligação com 100% de engaste. No trecho da viga entre o P2 e P3, averigua-se que o momento positivo para uma ligação 75% engastada é 33,0% maior que uma ligação com 100% de engaste.

No pilar P2 apura-se que o máximo momento negativo para uma ligação 75% engastada é 19,0% menor que uma ligação com 100% de engaste

Diante disso, constata-se na Viga 1 da Estrutura I um aumento dos momentos positivos máximos e uma redução dos momentos negativos máximos conforme se reduz o grau de engastamento.

Depois da análise da Viga 1 da Estrutura I, realizou-se o mesmo procedimento para a Viga 1 da Estrutura II, conforme ilustrado na Figura 13 e Figura 14.

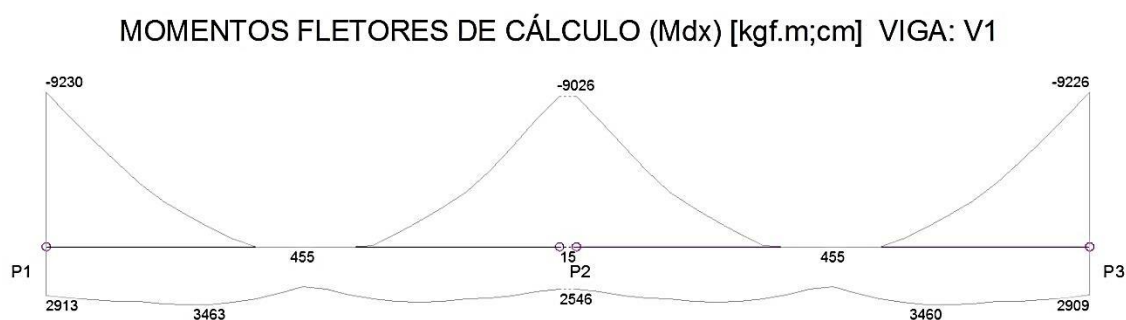


Figura 13 - Viga 1 da estrutura II com 100% de engastamento

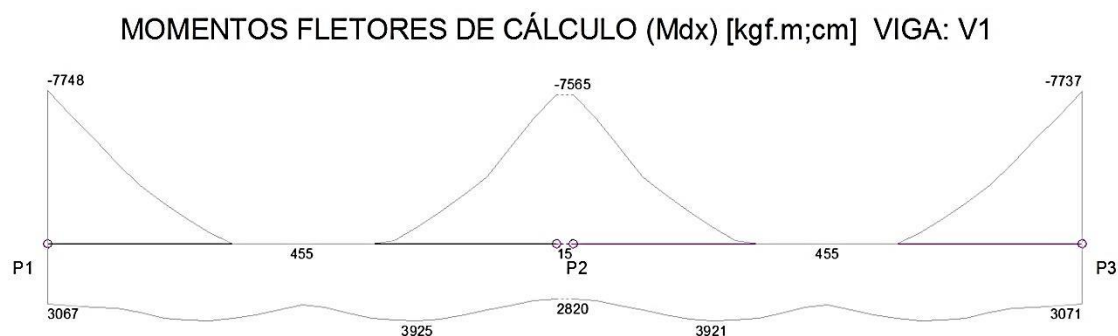


Figura 14 - Viga 1 da estrutura II com 75% de engastamento

Observa-se na Figura 13 e Figura 14, a envoltória dos momentos da Viga 1 da Estrutura II com engastamentos de 100% e 75%.

No trecho da viga entre o P1 e P2, nota-se que o momento positivo para uma ligação com engaste de 75% é de 13,3% maior que uma ligação com 100% de engaste. No trecho da viga entre o P2 e P3, pode-se observar que o momento positivo para uma ligação 75% engastada é 13,3% maior que uma ligação 100% de engastada.

No pilar P2 percebe-se que o máximo momento negativo para 75% de engaste é 16,2% menor que uma ligação 100% de engastada.

Com isso, percebe-se que na viga da Estrutura II, houve um aumento dos momentos positivos máximos, bem como uma redução dos momentos negativos máximos conforme diminui-se o engastamento das ligações.

Por fim, realizou-se o mesmo procedimento de análise na viga 1 da estrutura III, conforme a Figura 15 e Figura 16.

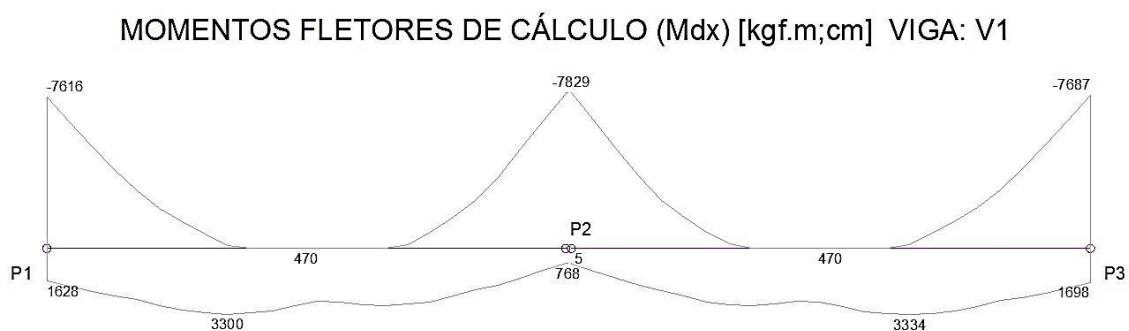


Figura 15 - Viga 1 da estrutura III com 100% de engastamento

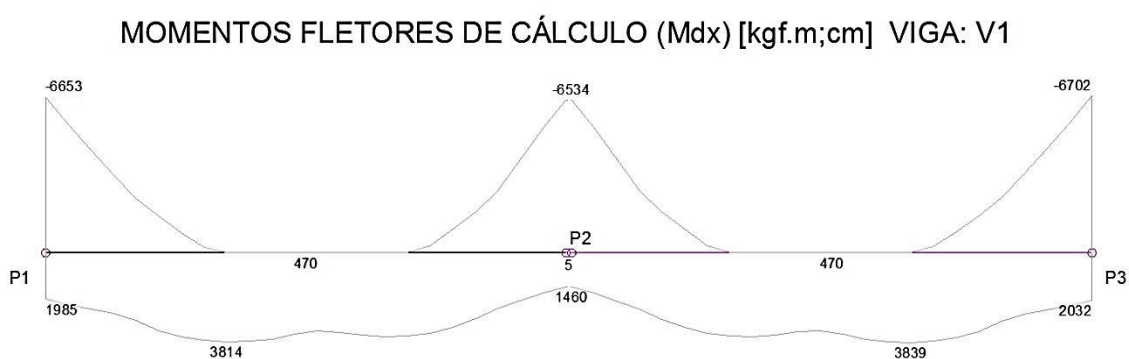


Figura 16 - Viga 1 da estrutura III com 75% de engastamento

Por meio da Figura 15 e da Figura 16, no trecho da viga entre o P1 e P2, verifica-se que o momento positivo para uma ligação 75% engastada é 15,6% maior que uma ligação com 100% de engaste.

Enquanto que, no trecho da viga entre o P2 e P3, averígua-se que o momento positivo para uma ligação com 75% de engaste é 15,1% maior que uma ligação com 100% de engaste.

Analisando também o P2, constata-se que o máximo momento negativo pra uma ligação 75% engastada é 16,5% menor que uma ligação com 100% de engaste

Constata-se que a Viga 1 da Estrutura III, semelhantemente às vigas das Estruturas I e II, também teve um aumento dos momentos positivos máximos e uma redução dos momentos negativos máximos conforme se reduz o grau de engastamento.

#### 4.7. VARIAÇÃO DAS FLECHAS NAS VIGAS

Após a análise da variação dos momentos, observou-se também a variação das flechas das vigas.

Partiu-se da mesma premissa, analisando-se a viga 1 do primeiro pavimento de cada estrutura, de modo a comparar no meio do vão de cada trecho a variação das flechas nas vigas quando a estrutura está 100% e 75% engastada.

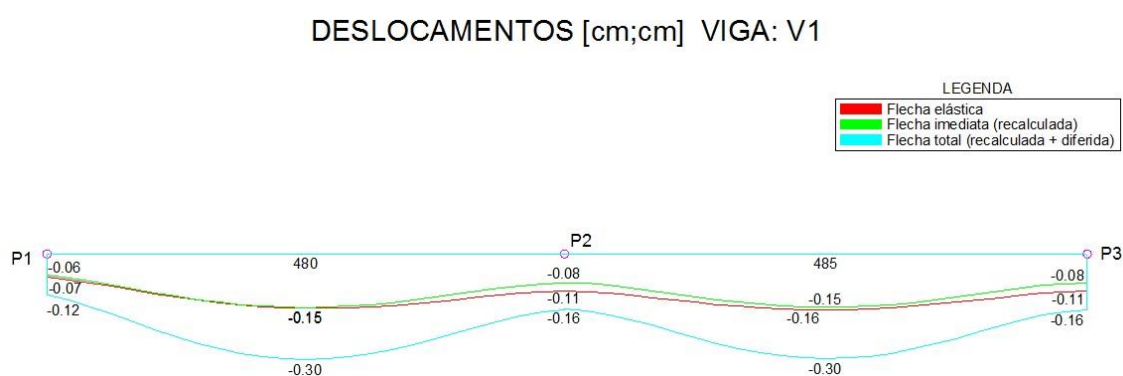


Figura 17 - Flecha da viga 1 da estrutura I - 100% engastada

Ao se observar a Figura 17, correspondente às flechas apresentadas pela viga 1 da estrutura I, entre P1 e P2 obteve-se uma flecha total máxima de 0,30 cm e entre o P2 e P3 obteve a mesma flecha total máxima de 0,30 cm, quando a estrutura é modelada com ligações 100% engastadas.

## DESLOCAMENTOS [cm;cm] VIGA: V1

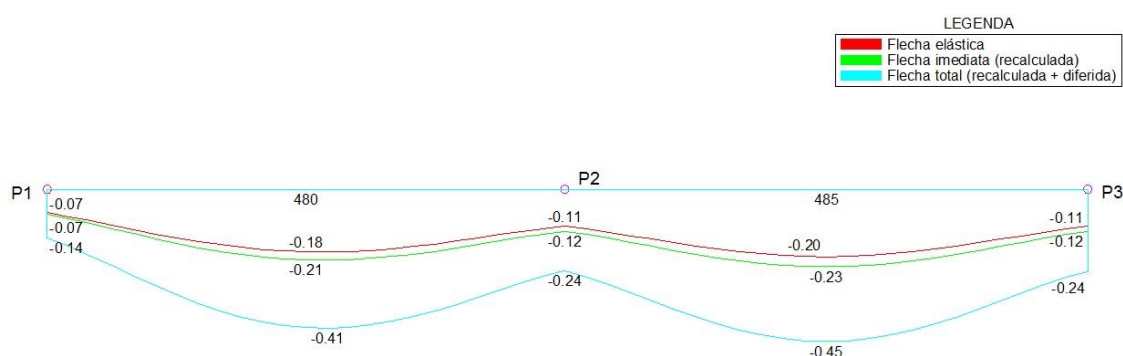


Figura 18 - Flecha da viga 1 da estrutura I - 75% engastada

Analisando-se a mesma viga da estrutura I para um engastamento de 75%, verifica-se por meios da Figura 18 que o trecho entre P1 e P2, possui uma flecha de 0,41 cm e de 0,45 cm no trecho entre P2 e P3.

Comparando-se os resultados para a mesma viga com diferentes graus de engastamento, verifica-se que no trecho entre P1 e P2 houve um aumento de 36,70 % na flecha quando utilizado um engaste de 75 % e de 50,00% no trecho entre P2 e P3 utilizando um engastamento de 75%.

Na sequência analisou-se a viga 1 da estrutura II, na Figura 19 e na Figura 20, podemos observar os resultados obtidos.

## DESLOCAMENTOS [cm;cm] VIGA: V1

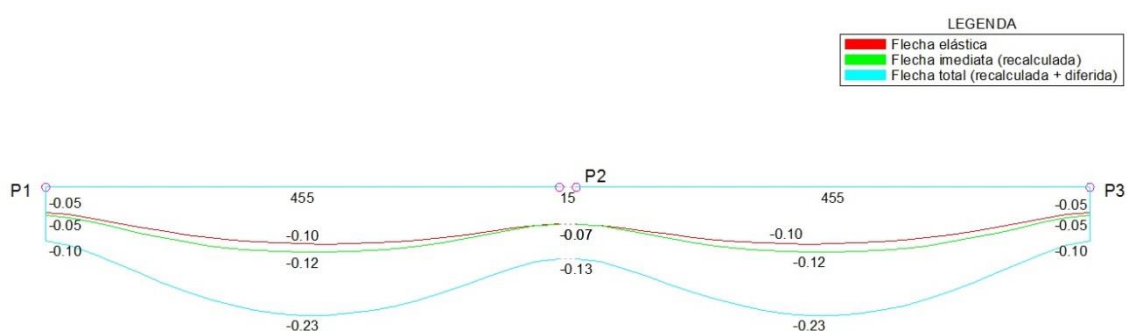


Figura 19 - Flecha da viga 1 da estrutura II - 100% engastada

Para um engastamento de 100 %, constatou-se uma flecha total de 0,23 cm tanto para o trecho entre P1 e P2 quanto para o trecho entre P2 e P3.

## DESLOCAMENTOS [cm;cm] VIGA: V1

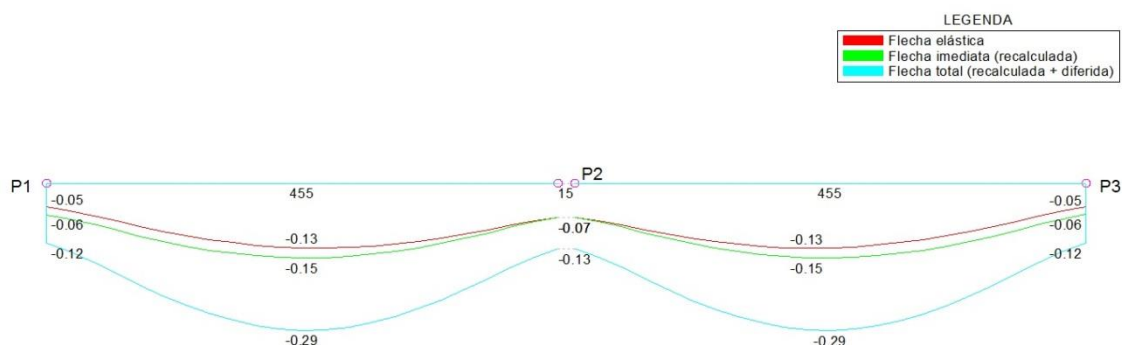


Figura 20 - Flecha da viga 1 da estrutura II - 75% engastada

Ao se observar a Figura 20, correspondente ao engastamento de 75 %, pode-se notar que em ambos os trechos se obteve um deslocamento de 0,29 cm.

Comparando-se os deslocamentos obtidos, constata-se que a flechas no trecho entre P1 e P2, bem como no trecho entre P2 e P3, tiveram um aumento de 26,10 % quando possuem uma ligação com 75% de engaste.

Por fim, analisou-se a viga 1 da estrutura III, iniciando pela viga com 100% de engaste, conforme a Figura 21.

## DESLOCAMENTOS [cm;cm] VIGA: V1

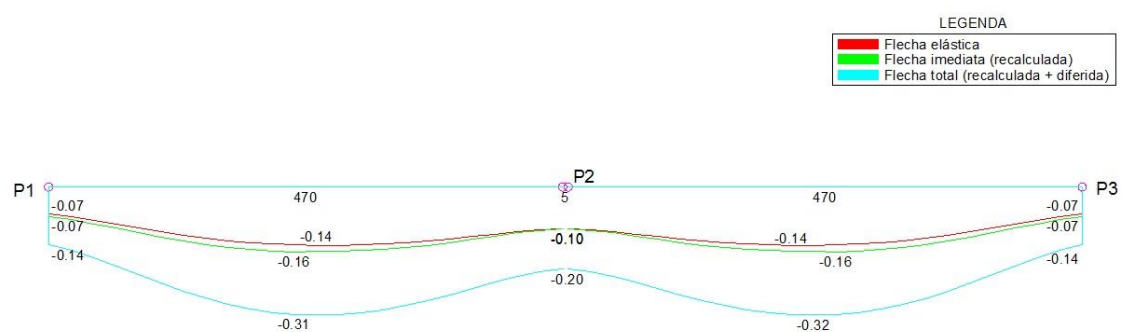


Figura 21 - Flecha da viga 1 da estrutura III - 100% engastada

No trecho entre P1 e P2, nota-se uma flecha total no meio do vão de 0,31 cm e de 0,32 cm no trecho entre P2 e P3.

## DESLOCAMENTOS [cm;cm] VIGA: V1

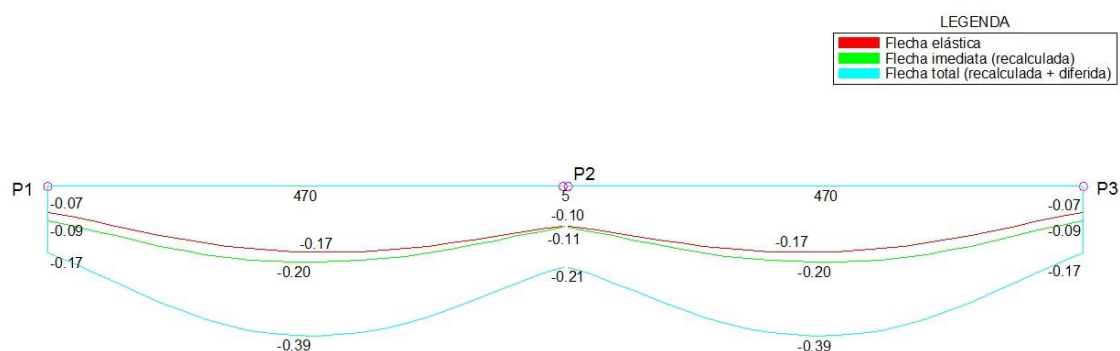


Figura 22 - Flecha da viga 1 da estrutura III - 75% engastada

Para a mesma viga, com engastamento de 75%, conforma ilustrado na Figura 22, relata-se uma flecha total máxima de 0,39 cm para ambos os trechos.

Da mesma maneira em que se analisaram as demais vigas anteriormente, constatou-se que ambos os trechos tiveram um aumento de 25,80 % na flecha com uma ligação 75% engastada.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo apresentam-se as considerações finais deste trabalho, bem como as sugestões para novos estudos na área.

### 5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados apresentados anteriormente, pode-se considerar que a redução no grau de engastamento das ligações das estruturas analisadas, dentro dos limites impostos pelas normas vigentes, reduziu o consumo de aço total.

Avaliando os elementos estruturais separadamente, pode-se verificar uma redução entre 10% e 15% no consumo de aço utilizado nas vigas. Nos pilares e lajes constatam-se variações inferiores a 2,5%, não tendo estes elementos apresentado uma tendência clara de aumento ou redução no consumo de aço.

A redução do engastamento das ligações também implicou em aumentos de até 55% nos deslocamentos horizontais, em uma redução na estabilidade global (Gama-Z).

Em relação às flechas das vigas analisadas, estas tiveram um aumento nos seus deslocamentos de até 50%.

Destaca-se a importância da escolha do grau de engastamento das ligações para que os resultados da análise estrutural sejam condizentes com o comportamento que a estrutura apresentará depois de construída.

Caso a estrutura seja analisada com um grau de engastamento superestimado, os deslocamentos horizontais calculados serão inferiores aos que a estrutura apresentará.

Da mesma forma, caso a estrutura seja analisada com grau de engastamento superestimado, a estabilidade global calculada será superior à estabilidade real.

## 5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para que se tenha um melhor entendimento dos impactos da variação do grau de engastamento das ligações em estruturas de concreto armado, os seguintes estudos são sugeridos:

- a) Realizar modelagens similares aos que foram realizados neste trabalho, porém com diferentes plantas tipo e o número de pavimentos.
- b) Estudar os riscos de se avaliar a estabilidade de uma estrutura considerando todos os seus engastamentos como sendo perfeitos.
- c) Estudar disposições de armaduras que garantam um melhor engastamento dos elementos estruturais.

## 6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTOQI. **S3ENG Tecnologia Aplicada à Engenharia S/A**. Florianópolis, 2015.

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

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2014.

APOLINÁRIO, DEOLINDO PAULA; SILVA, DAIANE DOS SANTOS. **Avaliação do comportamento de uma estrutura de concreto armado analisando a rigidez do engastamento entre vigas e pilares e utilizando diferentes classes de agressividade ambiental**. Santa Catarina, 2014.

CARVALHO, R. C; FILHO. J. R. F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: Segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. EDUFSCAR, 415 p. São Carlos, 2014.

FONTES FERNANDES, FERNANDO. **Análise estrutural de elementos lineares segundo NBR 6118:2003**. São Carlos, São Paulo, 2005.

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

KIMURA, A. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. Editora PINI, 632p. São Paulo, 2007.