

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

RICHARD LUDWIG FREITAS GOSSLER

**ESTABILIDADE GLOBAL EM ESTRUTURAS DE AÇO:
Análise da eficiência de diferentes configurações de sistemas de
contraventamento em edifício alto**

SÃO LEOPOLDO/RS

2021

RICHARD LUDWIG FREITAS GOSSLER

**ESTABILIDADE GLOBAL EM ESTRUTURAS DE AÇO:
Análise da eficiência de diferentes configurações de sistemas de
contraventamento em edifício alto**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, pelo Curso de
Engenharia Civil da Universidade do Vale
do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Ms. Fabrício Longhi Bolina

São Leopoldo/RS

2021

Dedico este trabalho à minha família e amigos, especialmente aos meus pais, Pedro Ricardo Gossler e Antônia Marquês de Freitas, pois, sem seus ensinamentos e amor incondicional, eu jamais chegaria até aqui, tão pouco teria resiliência para superar as dificuldades ao longo do percurso. O apoio deles foi fundamental.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao meu orientador, Professor e Mestre Fabrício Longhi Bolina. Muito obrigado por aceitar me auxiliar nesta empreitada. O seu suporte ao longo do desenvolvimento deste trabalho de conclusão foi essencial e imprescindível para o nosso sucesso, pois, a partir de suas sugestões, encontramos o assunto ideal a ser estudado. Agradeço também pela paciência e disponibilidade para esclarecer todas as minhas dúvidas técnicas, mesmo nos horários mais inusitados, e sobretudo pela nossa amizade. Saiba que é um orgulho imenso ter sido seu aluno em diversas disciplinas na Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Agradeço a todos os meus colegas da Sinconstruct – Soluções Integradas de Construção, especialmente aos meus supervisores e, acima de tudo, amigos, Engenheiros Alex Fabiano Noble Dias, Eduardo Antônio Zamboni e Guilherme Fagundes da Silveira, pela oportunidade profissional e a imersão no mundo do dimensionamento, projeto e execução de estruturas metálicas. Agradeço a paciência nos momentos difíceis e por todos os ensinamentos relacionados ao tema recebido no dia a dia, mesmo na dura rotina do canteiro de obras. A partir das experiências vividas ao longo de nossa convivência pude, sem dúvida, enriquecer este trabalho acadêmico.

Agradeço ao colega Engenheiro Marcio Bregalda, da Barga Soluções em Engenharia, que me ensinou a rotina de cálculo e dimensionamento no software SAE Strap 2009, essencial para a execução deste trabalho.

Agradeço ao meu colega de curso Carlos Colombo, pelo apoio acadêmico e moral, bem como pela disponibilidade para me ajudar com noções sobre formatação e normas da ABNT, uma vez que também estava realizando seu trabalho de conclusão de curso no mesmo período.

Agradeço à minha colega de curso Amanda de Menezes Mariano, pelo apoio moral e disponibilidade para me ajudar a revisar o corpo escrito do trabalho e seus resultados durante toda a sua execução, além, claro, de suas críticas e sugestões sempre pertinentes.

Agradeço também à minha Tia e Madrinha, Marcia Marquês de Freitas, por sua disponibilidade para me auxiliar a solucionar dúvidas, pelas revisões de concordância e ortografia da língua portuguesa, bem como pelas orientações referentes às normas da ABNT ao longo de todo este trabalho.

“O Projeto das Estruturas é a escolha dos arranjos e dimensões dos elementos estruturais de forma que as cargas de serviço decorrentes do uso e outras ações externas sejam resistidas com segurança e os deslocamentos decorrentes estejam dentro de limites aceitáveis.” (BELLEI, PINHO, PINHO, 2008, p. 27)

RESUMO

O estudo e implementação dos sistemas de estabilização global foram primordiais para o avanço tecnológico da construção em aço. Estas soluções possibilitam um aumento na altura das edificações, viabilizando a construção de edifícios altos aliado à economia no consumo de aço e otimização do espaço arquitetônico. Este trabalho analisou computacionalmente a estabilidade global da estrutura de aço de um edifício alto de múltiplos pavimentos (54 m de altura, 15 pavimentos, modulação de 7800 mm x 7800 mm x 3600 mm em um grid de 4 x 4, área por pavimento de 466,56 m² e área total de 6.998,40 m²), com pilares em aço, vigas mistas em aço associadas a lajes tipo *Steel Deck*. Foram avaliadas diferentes soluções de estabilização (tipo *Chevron*, em Cruz, *Outriggers* e *Belt Trusses*, e Núcleo Rígido de Concreto Armado), variando apenas a seção dos pilares e as barras de contraventamentos. Comparou-se os deslocamentos horizontais máximos absolutos, referentes as combinações determinantes envolvendo a ação do vento, entre a base e topo das estruturas dos modelos propostos, e o limite H/400 estipulado pela NBR 8800:2008. Levantou-se os quantitativos empregados em cada solução de contraventamento (peso perfis estruturais, peso das armaduras de aço, peso e volume de concreto, peso total). E comparou-se o consumo de aço, por tipo de perfil estrutural e total, e o consumo total de concreto e suas armaduras de aço. A partir das simulações dos arranjos propostos, foi observada uma redução de aproximadamente 72 toneladas de aço entre os modelos contraventados com núcleo rígido e *Chevron (Delta)*, com menor deslocamento horizontal máximo absoluto nas direções (x e y) e menor consumo de aço em perfis estruturais, embora tenham sido adicionadas ao modelo um núcleo rígido em concreto armado cerca de 220 toneladas de concreto (um volume de aproximadamente 75 m³).

Palavras-chave: Análise. Global. Estrutura. Aço. Contraventamento.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Evolução da construção do <i>Empire State Building</i> | 15 |
| Figura 2 – Edifício <i>John Hancock Center</i> já finalizado em 1970 | 15 |
| Figura 3 – Trabalhadores realizando conexão de viga com pilar no <i>Empire State Building</i> | 16 |
| Figura 4 –Elevação do contraventamento em X na fachada Norte do <i>John Hancock Center</i> | 16 |
| Figura 5 – Execução de núcleo rígido em concreto armado em edifícios altos de múltiplos andares em aço..... | 17 |
| Figura 6 – Execução edifício <i>One Vanderbilt</i> em Nova Iorque, Estados Unidos da América | 17 |
| Figura 7 – Reforma do Estádio Beira-Rio para a Copa do Mundo de 2014 em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil..... | 18 |
| Figura 8 – Educandário Passionista São Paulo da Cruz – Tucuruvi, São Paulo, Brasil | 19 |
| Figura 9 – <i>BS DESIGN Corporate Towers</i> – Fortaleza, Ceará, Brasil..... | 19 |
| Figura 10 – Edifício Capri – Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil..... | 19 |
| Figura 11 – Centro Empresarial Aeroporto – Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil | 20 |
| Figura 12– Concórdia Corporate Tower – Nova Lima, Minas Gerais, Brasil | 20 |
| Figura 13 – Configuração estável e instável, da esquerda para a direita, respectivamente | 25 |
| Figura 14 – Sentido da Força e convecção de sinal da Tração e Compressão | 25 |
| Figura 15 – Distribuição da força aplicada em um sistema SAP rígido triangular | 26 |
| Figura 16 – Estrutura composta, porém globalmente estável | 27 |
| Figura 17 – Disposição 1 e 2 do sistema de contraventamento tipo <i>Chevron (Delta)</i> | 28 |
| Figura 18 – Barras laminadas dispostas em forma de V invertido, formando o sistema de contraventamento do tipo <i>Chevron</i> | 29 |
| Figura 19 – Utilização de vãos contraventados..... | 29 |
| Figura 20 – Sistema de contraventamento em Cruz (X) | 30 |
| Figura 21 – Contraventamentos do Port Authority Midtown Bus Terminal, Nova Iorque, Estados Unidos da América | 30 |

| | |
|---|----|
| Figura 22 – Sistema Mega-X no John Hancock Center, Chicago, Estados Unidos da América | 31 |
| Figura 23 – (a) Sistema <i>Outriggers</i> com núcleo central (b) sistema <i>Outriggers</i> com núcleo excêntrico | 32 |
| Figura 24 – Deformação por ação eólica: (b) deflexão do núcleo; (c) tensão axial nas colunas periféricas | 32 |
| Figura 25 – Ação de <i>Outriggers</i> em diagramas de momento fletor | 33 |
| Figura 26 – Sistemas convencionais e alternativos de <i>Outriggers</i> e <i>Belt Trusses</i> para edifícios altos e arranha-céus..... | 33 |
| Figura 27 – Edificação mista com <i>Outriggers</i> e <i>Belt Trusses</i> reforçando um núcleo e pilares de concreto armado | 33 |
| Figura 28 – Formas normalizadas (racionalizadas) de núcleo rígidos em sistemas de estabilização vertical | 34 |
| Figura 29 – Exemplo de modelo de cálculo para um núcleo rígido com a base dos pilares rotulados | 36 |
| Figura 30 – Exemplo da representação das armaduras, conforme dimensionamento e apresentação dos resultados | 41 |
| Figura 31 – Modelo unifilar da estrutura geral sem sistemas de contraventamento.. | 43 |
| Figura 32 – Planta baixa unifilar do pavimento tipo dos modelos estudados | 44 |
| Figura 33 – Dimensões do perfil de <i>Steel Deck</i> modelo MF-50 | 45 |
| Figura 34 – Vista isométrica do pavimento tipo com vigas secundárias e principais | 46 |
| Figura 35 – Lançamento de um diafragma rígido no plano de um pavimento tipo | 47 |
| Figura 36 – Vista isométrica do módulo composto pelos eixos A-B e 1-2 com cota paralela à viga secundária | 47 |
| Figura 37 – Vista isométrica do módulo composto pelos eixos A-B e 2-3..... | 48 |
| Figura 38 – Diagrama unifilar dos pilares da estrutura..... | 49 |
| Figura 39 – Exemplo de lançamento de barras de contraventamentos | 50 |
| Figura 40 – Exemplo de seção adotada para lançamento do núcleo rígido..... | 51 |
| Figura 41 – Elevação com lançamento do núcleo ao longo da estrutura no eixo B .. | 52 |
| Figura 42 – Apoio engastado em estrutura com contraventamentos em barras | 53 |
| Figura 43 – Apoios engastado em estrutura com contraventamentos em núcleo rígido de concreto armado | 54 |
| Figura 44 – Geometria da edificação para dimensionamento das cargas de vento pelo método do coeficiente de arrasto | 55 |

| | |
|--|-----|
| Figura 45 – Ábaco para determinação do coeficiente de arrasto | 56 |
| Figura 46 – Cargas resultantes de Vento 0° por faixa na estrutura em função da altura do pavimento, já corrigidas com o coeficiente de arrasto..... | 57 |
| Figura 47 – Cargas resultantes de Vento 90° por faixa na estrutura em função da altura do pavimento, já corrigidas com o coeficiente de arrasto..... | 59 |
| Figura 48 – Resumo de pesos em função do tipo de material por modelo estudado | 84 |
| Figura 49 – Deslocamento horizontal máximo absoluto na direção X por modelo estudado em função da altura da edificação..... | 85 |
| Figura 50 – Deslocamento horizontal máximo absoluto na direção Y por modelo estudado em função da altura da edificação..... | 85 |
| Figura 51 – Diagramas unifilares do Modelo 01 com legenda –Eixos A e B, respectivamente | 99 |
| Figura 52 – Diagramas unifilares do Modelo 01 com legenda – Eixos C e D, respectivamente | 100 |
| Figura 53 – Diagramas unifilares do Modelo 01 com legenda – Eixos 1 e 2, respectivamente | 101 |
| Figura 54 – Diagramas unifilares do Modelo 01 com legenda – Eixos 3 e 4, respectivamente | 102 |
| Figura 55 – Diagramas unifilares do Modelo 02 com legenda – Eixos A e B, respectivamente | 103 |
| Figura 56 – Diagramas unifilares do Modelo 02 com legenda – Eixos C e D, respectivamente | 104 |
| Figura 57 – Diagramas unifilares do Modelo 02 com legenda – Eixos 1 e 2, respectivamente | 105 |
| Figura 58 – Diagramas unifilares do Modelo 02 com legenda – Eixos 3 e 4, respectivamente | 106 |
| Figura 59 – Diagramas unifilares do Modelo 03 com legenda – Eixos A e B, respectivamente | 107 |
| Figura 60 – Diagramas unifilares do Modelo 03 com legenda – Eixos C e D, respectivamente | 108 |
| Figura 61 – Diagramas unifilares do Modelo 03 com legenda – Eixos 1 e 2, respectivamente | 109 |

| | |
|--|-----|
| Figura 62 – Diagramas unifilares do Modelo 03 com legenda – Eixos 3 e 4, respectivamente | 110 |
| Figura 63 – Diagramas unifilares do Modelo 04 com legenda – Eixos A e B, respectivamente | 111 |
| Figura 64 – Diagramas unifilares do Modelo 04 com legenda – Eixos C e D, respectivamente | 112 |
| Figura 65 – Diagramas unifilares do Modelo 04 com legenda – Eixos 1 e 2, respectivamente | 113 |
| Figura 66 – Diagramas unifilares do Modelo 04 com legenda – Eixos 3 e 4, respectivamente | 114 |
| Figura 67 – Diagrama de segmentação das paredes conforme modelagem do núcleo rígido de concreto armado do modelo 04 no software SAE Strap 2009 | 124 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Resoluções da <i>Emporis Standards Committee</i> referente à altura de edifícios | 22 |
| Tabela 2 – Referência percentual (%) do custo do orçamento global de cada atividade em obras de edifícios de múltiplos andares em aço | 39 |
| Tabela 3 – Complexidade das estruturas estudadas | 42 |
| Tabela 4 – Grupos de carga a serem lançados sobre a estrutura..... | 54 |
| Tabela 5 – Fator de rugosidade do terreno e dimensões da edificação (S2)..... | 56 |
| Tabela 6 – Cargas de vento dimensionadas e corrigidas pelo coeficiente de arrasto (Ca) provenientes de Vento a 0° | 57 |
| Tabela 7 – Cargas de vento dimensionadas e corrigidas pelo coeficiente de arrasto (Ca) provenientes de Vento a 90° | 58 |
| Tabela 8 – Combinações de cargas a serem consideradas para análise da estrutura | 60 |
| Tabela 9 – Deslocamentos máximos por combinação – Modelo 01 (<i>Chevron</i>) | 61 |
| Tabela 10 – Deslocamentos máximos por combinação – Modelo 02 (Em Cruz) | 62 |
| Tabela 11 – Deslocamentos máximos por combinação – Modelo 03 (<i>Outriggers e Belt Trusses</i>) | 63 |
| Tabela 12 – Deslocamentos máximos por combinação – Modelo 04 (Núcleo Rígido) | 64 |
| Tabela 13 – Perfis empregados – Modelo 01 (<i>Chevron</i>)..... | 66 |
| Tabela 14 – Perfis empregados – Modelo 02 (Em Cruz) | 67 |
| Tabela 15 – Perfis empregados – Modelo 03 (<i>Outriggers e Belt Trusses</i>)..... | 68 |
| Tabela 16 – Perfis empregados – Modelo 04 (Núcleo Rígido)..... | 69 |
| Tabela 17 – Resumo da armadura longitudinal de início dos segmentos de parede do núcleo rígido do Modelo 04 | 69 |
| Tabela 18 – Resumo da armadura longitudinal distribuída dos segmentos de parede do núcleo rígido do Modelo 04 | 72 |
| Tabela 19 – Resumo da armadura longitudinal final dos segmentos de parede do núcleo rígido do Modelo 04 | 75 |
| Tabela 20 – Resumo da armadura transversal (estribos) dos segmentos de parede do núcleo rígido do Modelo 04 | 78 |
| Tabela 21 – Resumo dos volumes dos segmentos de parede do Núcleo Rígido | 81 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 22 – Resumo das armaduras e do concreto armado – Modelo 04..... | 83 |
| Tabela 23 – Resumo do peso do concreto e das armaduras – Modelo 04 | 84 |
| Tabela 24 – Resumo dos resultados obtidos | 86 |
| Tabela 25 – Avaliação das soluções adotadas por taxa de aço por metro quadrado ... | 88 |
| Tabela 26 – Peso total, comprimento linear total e peso unitário das colunas soldadas (CS) nos pilares de centro e face por modelo estudado | 88 |
| Tabela 27 – Peso total, comprimento linear total e peso unitário dos tubos estruturais quadrados (TEQ) nos pilares de canto por modelo estudado | 89 |
| Tabela 28 – Peso total, comprimento linear total e peso unitário dos tubos estruturais circulares (TEC) das barras de contraventamento por modelo estudado | 89 |
| Tabela 29 – Seções tubulares estruturais quadradas (TEQ) admissíveis na verificação e dimensionamento dos pilares..... | 115 |
| Tabela 30 – Seções tipo coluna soldada (CS) admissíveis na verificação e dimensionamento dos pilares face e meio | 119 |
| Tabela 31 – Seções tubulares estruturais circular (TEC) admissíveis na verificação e dimensionamento dos contraventamentos em barras..... | 121 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.4 JUSTIFICATIVA | 18 |
| 1.5 OBJETIVOS | 21 |
| 1.5.1 Objetivo geral | 21 |
| 1.5.2 Objetivos específicos | 21 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 22 |
| 2.1 ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS ALTOS EM AÇO | 22 |
| 2.2 MÉTODOS DE ESTABILIZAÇÃO DA ESTRUTURA | 24 |
| 2.2.1 Contraventamentos em barras | 24 |
| 2.2.1.1 <i>Chevron (Delta)</i> | 27 |
| 2.2.1.2 Em Cruz (X)..... | 29 |
| 2.2.1.3 <i>Outriggers e Belt Trusses</i> | 31 |
| 2.2.3 Contraventamento em núcleo rígido de concreto armado | 34 |
| 2.2.3.1 Com a base dos pilares rotulados | 35 |
| 2.3 RESULTADOS RELEVANTES EM OUTRAS OBRAS..... | 36 |
| 2.4 REDUÇÃO DO CONSUMO DE AÇO E CUSTOS ASSOCIADOS A EXECUÇÃO DOS PROJETOS | 38 |
| 3 METODOLOGIA | 40 |
| 3.1 MODELOS DE ANÁLISE | 42 |
| 3.1 GEOMETRIA GLOBAL DA ESTRUTURA..... | 43 |
| 3.2 GEOMETRIA LOCAL DA ESTRUTURA | 45 |
| 3.2.1 Laje | 45 |
| 3.2.1.1 Diafragma Rígido | 46 |
| 3.2.2 Vigas secundárias | 47 |
| 3.2.3 Vigas principais | 48 |
| 3.2.4 Pilares | 48 |
| 3.2.5 Contraventamentos | 50 |
| 3.2.6.1 Barras de contraventamento | 50 |
| 3.2.6.1.1 <i>Verificação e dimensionamento dos contraventamentos em barras</i> | 51 |
| 3.2.6.2 Núcleo rígido | 51 |
| 3.2.6.2.1 <i>Verificação e dimensionamento do contraventamento em núcleo rígido de concreto armado</i> | 53 |

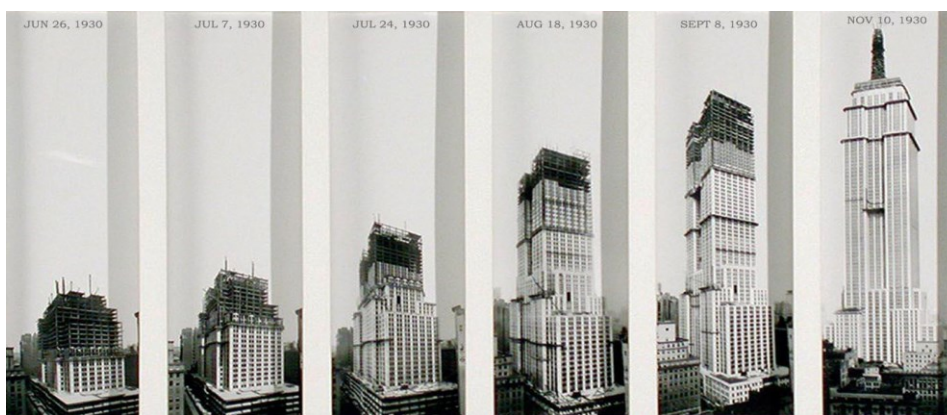
| | |
|--|------------|
| 3.2.6 Apoios | 53 |
| 3.2.6.1 Modelo com contraventamentos em barras | 53 |
| 3.2.6.2 Modelos com núcleo rígido em concreto armado | 54 |
| 3.3 CARREGAMENTOS | 54 |
| 3.3.1 Estáticos | 54 |
| 3.3.2 Dinâmico (vento) | 55 |
| 3.3.2.1 Dados relativos à geometria | 55 |
| 3.3.2.2 Dados relativos ao vento | 56 |
| 3.3.2.3 Coeficiente de arrasto | 56 |
| 3.3.2.3.1 Vento 0° (perpendicular à menor dimensão em planta - b) | 57 |
| 3.3.2.3.1 Vento 90° (perpendicular à maior dimensão em planta - b) | 58 |
| 3.3.3 Combinações adotadas | 59 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 61 |
| 4.1 DESLOCAMENTOS MÁXIMOS POR COMBINAÇÃO (DMPC) | 61 |
| 4.1.1 DMPC: Modelo 01 – <i>Chevron (Delta)</i> | 61 |
| 4.1.2 DMPC: Modelo 02 – Em Cruz (X) | 62 |
| 4.1.3 DMPC: Modelo 03 – <i>Outriggers e Belt Trusses</i> | 63 |
| 4.1.4 DMPC: Modelo 04 – Núcleo rígido de concreto armado | 64 |
| 4.2 LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVOS (LDQ) | 65 |
| 4.2.1 LDQ: Modelo 01 – <i>Chevron (Delta)</i> | 65 |
| 4.2.2 LDQ: Modelo 02 – Em Cruz (X) | 66 |
| 4.2.3 LDQ: Modelo 03 – <i>Outriggers e Belt Trusses</i> | 67 |
| 4.2.4 LDQ: Modelo 04 – Núcleo Rígido de Concreto Armado | 68 |
| 4.2 ANÁLISE | 84 |
| 5 CONCLUSÃO | 91 |
| REFERÊNCIAS | 94 |
| ANEXO A – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 01 – EIXOS A E B | 99 |
| ANEXO B – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 01 – EIXOS C E D | 100 |
| ANEXO C – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 01 – EIXOS 1 E 2 | 101 |
| ANEXO D – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 01 – EIXOS 3 E 4 | 102 |
| ANEXO E – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 02 – EIXOS A E B | 103 |
| ANEXO F – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 02 – EIXOS C E D | 104 |
| ANEXO G – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 02 – EIXOS 1 E 2 | 105 |
| ANEXO H – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 02 – EIXOS 3 E 4 | 106 |

| | |
|---|------------|
| ANEXO I – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 03 – EIXOS A E B..... | 107 |
| ANEXO J – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 03 – EIXOS C E D..... | 108 |
| ANEXO K – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 03 – EIXOS 1 E 2 | 109 |
| ANEXO L – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 03 – EIXOS 3 E 4..... | 110 |
| ANEXO M – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 04 – EIXOS A E B..... | 111 |
| ANEXO N – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 04 – EIXOS C E D | 112 |
| ANEXO O – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 04 – EIXOS 1 E 2 | 113 |
| ANEXO P – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 04 – EIXOS 3 E 4 | 114 |
| ANEXO Q – SEÇÕES UTILIZADAS NA VERIFICAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DOS PILARES DE CANTO DOS MODELOS ESTUDADOS | 115 |
| ANEXO R – SEÇÕES UTILIZADAS NA VERIFICAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DOS PILARES DE FACE E MEIO NOS MODELOS ESTUDADOS..... | 119 |
| ANEXO S – SEÇÕES UTILIZADAS NA VERIFICAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS DE CONTRAVENTAMENTO NOS MODELOS ESTUDADOS | 121 |
| ANEXO T – DIAGRAMA DE SEGMENTAÇÃO DAS PAREDES CONFORME MODELAGEM DO NÚCLEO RÍGIDO DE CONCRETO ARMADO DO MODELO 04 NO SOFTWARE SAE STRAP 2009 | 124 |

1 INTRODUÇÃO

Internacionalmente já consagrada, a construção de edifícios altos em aço de múltiplos andares destaca-se não apenas pela magnitude e altura das obras, mas também pela flexibilidade projetual e racionalidade dos processos construtivos, como diminuição do tempo de construção, gestão facilitada do canteiro de obras, racionalização do consumo de materiais e mão de obra, e maior garantia de qualidade. (CORTEZ et al., 2017)

Figura 1 – Evolução da construção do *Empire State Building*



Fonte: NYC-REDDIT (1930).

Figura 2 – Edifício *John Hancock Center* já finalizado em 1970



Fonte: HEDRICH-BLESSING (1970).

Comparando diretamente projetos clássicos de edifícios altos de múltiplos andares em aço, como o *Empire State Building* (443,20 m de altura total, Figura 1), representado na Figura 1, e *John Hancock Center* (457 m de altura total, Figura 2), representado na Figura 2, notamos um grande avanço tecnológico em relação ao arranjo global do sistema estrutural pela aplicação do sistema de contraventamento, dentro de um lapso temporal de 35 anos (início de construção, em 1930 e em 1965, respectivamente). Enquanto no *Empire State Building* havia uma forte presença do

aportricamento, caracterizado por meio de ligações com grandes quantidades de rebites, conforme notado na Figura 3, já no *John Hancock Center*, temos o surgimento do arranjo estrutural contraventado, aplicando-se o conceito de sistema articulado plano (treliças), conforme a Figura 4. Isso alivia as tensões horizontais escoadas sobre os elementos estruturais e, conseqüentemente, diminui a rigidez necessária das ligações para manter a estabilidade estrutural da edificação. (MASENGARB, LINSER, 2002)

Figura 3 – Trabalhadores realizando conexão de viga com pilar no *Empire State Building*



Fonte: HINE (1931).

Figura 4 –Elevação do contraventamento em X na fachada Norte do *John Hancock Center*



Fonte: MCSHANE (1967).

Conforme registros, o *John Hancock Center* alcançou uma redução no consumo de aço frente ao *Empire State Building* de aproximadamente 64 kg/m² (taxas de consumo de 141,59 kg/m² e 205,06 kg/m², respectivamente) em função da utilização de sistemas de contraventamento. (TARANATH, 2016, p. 527)

Ao longo da história da construção em aço de edifícios altos, além de contraventamentos em barras, também foram desenvolvidos sistemas empregando a utilização de concreto armado, formando núcleos rígidos estruturais, conhecidos como

shear walls ou *shear cores*, em tradução literal como “paredes de cisalhamento” e “núcleos de cisalhamento” respectivamente, conforme podemos observar na Figura 5. (EINGEL, 2003)

Figura 5 – Execução de núcleo rígido em concreto armado em edifícios altos de múltiplos andares em aço



Fonte: HORWITZ-BENNETT (2016).

Figura 6 – Execução edifício *One Vanderbilt* em Nova Iorque, Estados Unidos da América



Fonte: NICOARICOA (2019).

Em função dos relevantes ganhos de eficiência quanto à resistência aos deslocamentos horizontais, e a redução de custos de forma global, gerados pela aplicação dos sistemas de estabilização (contraventamentos), atualmente não se verifica mais edificações de grande porte sendo construídos sem esses sistemas, tornando-se itens obrigatórios nos projetos que prezam pela economia de aço, segurança e estabilidade estrutural. Tal ideia é corroborada pela recente construção do edifício *One Vanderbilt* (427 m de altura total), representado na Figura 6, finalizado e inaugurado em 2020. (TABARELLI; ARAÚJO; PRESTES, 2002)

1.4 JUSTIFICATIVA

É inegável o crescimento da construção em aço no Brasil nos últimos 10 anos, impulsionado especialmente por obras recentes de destaque como, por exemplo, os estádios da Copa do Mundo de 2014 (tal como a reforma do Estádio Beira Rio, de acordo com a Figura 7). A utilização do aço em suas coberturas demonstra o grande potencial que se tem quanto à liberdade criativa e à flexibilidade projetual deste material. (CORTEZ et al., 2017)

Figura 7 – Reforma do Estádio Beira-Rio para a Copa do Mundo de 2014 em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil



Fonte: INTERNACIONAL (2014).

Embora ainda haja certa disparidade no preço unitário do aço frente ao concreto, nos edifícios altos o aço já é a opção prioritária frente ao concreto armado, especialmente nas situações em que se tem a utilização de sistemas metálicos com elementos padronizados e modularizados, com estoque no comércio especializado e de rápida reposição, presentes hoje no mercado brasileiro, desde soluções de coberturas até sistemas de vedação. (CORTEZ et al., 2017)

Observando o cenário nacional da construção em aço de edifícios altos no Brasil, notamos que não há um consenso quanto ao melhor sistema de estabilização, o que pode ser observado em edifícios em aço construídos em todo o país. Indiferentemente do porte, utiliza-se desde sistemas complexos como *Outriggers* associados a *Belt Trusses* até Núcleos Rígidos. Assim, a partir dessa insegurança, em função de não existir um estudo comparativo prévio, com resultados consistentes, que muitos calculistas acabam apelando ao aporticamento da estrutura, por meio de ligações com alta densidade de parafusos, ou por meio das soldagens em campo. Isso, na verdade, dificulta o processo de montagem e ocasiona perda de boa parte

dos benefícios relacionados à velocidade de execução de projetos em aço. Nas imagens a seguir, temos exemplos de edifícios construídos em aço no Brasil: Figura 8, Figura 9, Figura 10, Figura 11 e Figura 12.

Figura 8 – Educandário Passionista São Paulo da Cruz – Tucuruvi, São Paulo, Brasil



Fonte: CBCA (2020)

Figura 9 – BS DESIGN Corporate Towers – Fortaleza, Ceará, Brasil



Fonte: Contribuição do amigo Gerciano Costa Cunha

Figura 10 – Edifício Capri – Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil



Fonte: CBCA (2020)

Figura 11 – Centro Empresarial Aeroporto – Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil



Fonte: CBCA (2020)

Figura 12– Concórdia Corporate Tower – Nova Lima, Minas Gerais, Brasil



Fonte: CBCA (2020)

Na Figura 8, nota-se a utilização do sistema *Chevron (Delta)* Invertido com um montante em seu centro. Já na Figura 9, tem-se um complexo arranjo de diagonais simples formando grandes contraventamentos em Cruz (X), como o sistema Mega-X. Na Figura 10, observa-se contraventamentos em *Chevron (Delta)* Invertido na fachada e contraventamentos em X na face do último pavimento, formando *Belt Trusses*. Na Figura 11, tem-se contraventamentos em Cruz (X), formando uma espécie de Núcleo Rígido no fosso do elevador. Por fim, a Figura 12 mostra o maior edifício construído em aço no Brasil atualmente, o Concórdia Corporate Tower. Neste projeto, foi adotado um núcleo rígido de concreto armado.

É irracional, sob o ponto de vista técnico e econômico, pensar em construir arranha-céus ou edifícios altos de múltiplos pavimentos em aço, atualmente, sem um sistema eficiente de contraventamentos (seja em barras, seja com elementos de concreto armado), visto que a eficiência do sistema estrutural em edifícios altos em

aço está diretamente ligada ao consumo extra de aço, sobretudo na parcela contribuinte do sistema de estabilização (contraventamentos), pois essa estrutura é necessária para resistir às cargas laterais, por meio do enrijecimento global do arranjo estrutural. (TARANATH, 2016)

Portanto, frente a essa falta de consenso, é de suma importância o desenvolvimento de pesquisas, estudos e trabalhos acadêmicos sobre sistemas de contraventamentos, para que haja o estabelecimento de critérios que auxiliem na escolha do arranjo estrutural adequado às exigências da edificação a ser projetada.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar quatro sistemas de contraventamento em edifício alto estruturado em aço (em função do peso perfis estruturais, peso das armaduras de aço, peso e volume de concreto e peso total): *Chevron (Delta)*, em Cruz (X), *Outriggers e Belt Trusses*, e um Núcleo Rígido.

1.5.2 Objetivos específicos

Tem-se como objetivos específicos deste trabalho:

- a) A determinação dos deslocamentos horizontais máximos absolutos nas combinações determinantes, envolvendo as ações do vento sobre os arranjos estruturais propostos;
- b) O levantamento dos quantitativos (peso perfis estruturais, peso das armaduras de aço, peso e volume de concreto, peso total) empregados na constituição das estruturas dos arranjos estruturais propostos;
- c) Análise crítica da diferença quantitativa dos materiais empregados (peso perfis estruturais, peso das armaduras de aço, peso e volume de concreto, peso total), entre os dois modelos mais eficientes (menor valor do deslocamento máximo absoluto obtido).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS ALTOS EM AÇO

Afirmar se uma edificação é alta ou não é extremamente subjetivo, pois depende do ponto de vista, contexto histórico e diversos outros fatores. Sendo assim, a Emporis Standards Committee instituiu 3 critérios para definir essa situação, os quais estão dispostos na Tabela 1. A partir dessa tabela, portanto, é possível propor uma arquitetura que seja aderente à proposta deste trabalho.

Tabela 1 – Resoluções da *Emporis Standards Committee* referente à altura de edifícios

| DEFINIÇÃO | CÓDIGO DA RESOLUÇÃO | CONDIÇÃO |
|-------------|---------------------|---|
| CRITÉRIO 01 | ESN 18727 | Um prédio de múltiplos andares alto poderia ser uma edificação de 35 a 100 m de altura. |
| CRITÉRIO 02 | ESN 18727 | Um prédio com altura desconhecida, mas com um range de 12 a 39 andares. |
| CRITÉRIO 03 | ESN 24419 | Um arranha-céu deve ter no mínimo 100 m de altura arquitetural. |

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado da Emporis Standards Committee (2020)

É notória a dificuldade na estabilização de edifícios altos de múltiplos pavimentos em aço, por diversos motivos intrínsecos às suas características geométricas, em especial sua rigidez, já que ela é essencial para a estrutura atingir o desempenho necessário, a fim de garantir a segurança frente a cargas dinâmicas, como tufões, sismos e terremotos. É mais ainda no que diz respeito àquelas que geram esforços horizontais na estrutura, como o vento médio nas faces da edificação. (SIDDIQI; HAMEED; AKMAL; 2014)

Para evitar a falha estrutural e, conseqüentemente, a ruína da edificação em função da energia induzida pelas cargas dinâmicas, é amplamente difundido na construção civil a utilização de estruturas de órtese permanentes, também conhecidas como contraventamentos, sobretudo por dois fatores:

1. O baixo acréscimo de peso em aço na estrutura, agregando então custo construtivo adicional na mesma escala;
2. E o ótimo desempenho obtido por essas barras *esbeltas*, desde que sejam estrategicamente bem-posicionadas.

Uma forma interessante de abordar tecnicamente o tema é analisando como a rigidez da estrutura influencia de forma global o efeito P-delta, pois assim seria possível compreender a correlação entre rigidez e estabilização. (SIDDIQI, HAMEED, AKMAL, 2014)

Cintas estruturais ou contraventamentos basicamente atuam aumentando a rigidez lateral da estrutura e, por consequência, estabilizando-a. São comumente utilizados em edifícios altos e arranha-céus. (YU; JI; ZHENG, 2015)

Outra técnica que é amplamente difundida nos projetos estruturais, a fim de enrijecer as estruturas em edifícios altos, sobretudo em aço, é a utilização de núcleos estruturais de concreto armado, também conhecidos como núcleos rígidos, que podem ser formados por uma seção transversal aberta ou “semifechada”. Além do ganho na rigidez e a consequente diminuição dos deslocamentos horizontais devido às cargas dinâmicas aplicadas horizontalmente, essas estruturas também proporcionam flexibilidade arquitetônica, visto que podem acomodar em seus domínios os poços de elevadores ou escadas, por exemplo. (JUNIOR, 2001)

Mesmo que estruturas como lajes possam atuar como sistemas de estabilização em casos específicos, visto poderem incorporar o comportamento de diafragma rígido, os pilares ainda são diretamente afetados pela influência das cargas horizontais, em especial o vento. Assim, a melhor alternativa é a utilização de sistemas de estabilização global devidamente posicionados e dimensionados, de forma a atuar como transmissores desses esforços ao longo de todo o arranjo estrutural. Para reproduzir tal comportamento, no entanto, é necessário que se utilize barras travando os nós da base ou o topo dos pilares, seja pela incorporação de núcleos rígidos ou por paredes de cisalhamento de concreto ao arranjo estrutural. Ambas as soluções têm o objetivo de agregar rigidez global à estrutura e conter as deformações horizontais excessivas e, por consequência, agregar segurança e estabilidade a essa estrutura. (TABARELLI; ARAÚJO; PRESTES, 2002)

Basicamente são três os critérios que, de forma geral, regem e definem a rigidez e a estabilidade das estruturas:

1. O caminho dos esforços internos: quanto mais direto for o caminho da dissipação dos esforços, mais estável e rígida será a estrutura;
2. A uniformidade e simetria da estrutura: quanto mais uniforme for a distribuição de nós e barras, especialmente em situações simétricas, mais rígida e estável será a estrutura;

3. A intensidade dos esforços internos: a rigidez da estrutura e sua estabilidade aumentam com a redução dos esforços internos de seus elementos.

Quando tais critérios são observados, ao posicionar e dimensionar os contraventamentos, é possível chegar a projetos mais econômicos e eficientes. (YU; JI; ZHENG, 2015)

2.2 MÉTODOS DE ESTABILIZAÇÃO DA ESTRUTURA

2.2.1 Contraventamentos em barras

Soluções de contraventamentos em barras inclinadas, como *Chevron (Delta)*, em Cruz (X) ou ainda mais complexos, como *Outriggers* e *Belt Trusses*, têm seu funcionamento como um sistema articulado plano (SAP). Tal sistema também é comumente conhecido como treliça ou treliça plana.

Segundo o professor Xavier Romão, do Centro de Cálculo do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, o SAP é definido como um sistema rígido de barras rígidas e coplanares ligadas entre si, com extremidades rotuladas dispostas em um layout estável. Ele também nos traz que na análise estrutural deste tipo de estrutura deve se adotar as seguintes hipóteses simplificadoras: (SISTEMAS ARTICULADOS PLANOS, 2002, p. 1)

1. As articulações das extremidades das barras não têm atrito interno;
2. As cargas atuantes da estrutura devem ser discretizadas como forças aplicadas apenas nos nós.

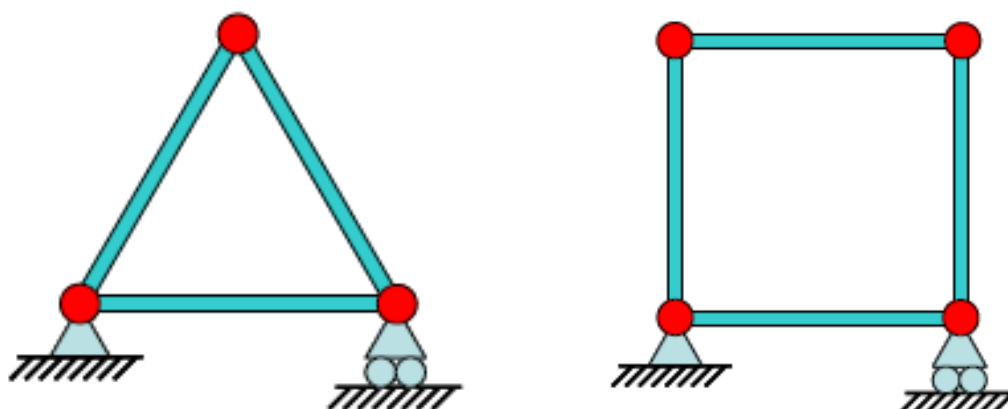
A estabilidade de um sistema articulado plano garante que ele não terá movimento livre em qualquer direção, sem que haja o efetivo deslocamento de seus nós (entende-se por nó, o ponto de intersecção entre duas ou mais barras, ou o ponto da extremidade livre de uma barra em balanço), por isso através de princípios geométricos como a Lei dos Senos, é possível verificar que a forma poliédrica do triângulo é a única que satisfaz essa condição.

Ou seja, não é possível alterar a forma de um triângulo sem igualmente alterar o comprimento de seus lados; tão pouco é possível alterar a posição dos nós sem alterar as coordenadas dos nós adjacentes, bem como os ângulos e a posição das suas faces. Assim, trazendo para o mundo das estruturas, analogamente, um lado do

triângulo seria o comprimento das barras de uma treliça em relação aos seus nós. Um SAP rígido formado por um triângulo, portanto, não sofrerá nenhum tipo de deslocamento por ação do seu peso próprio ou de cargas externas, em contraponto ao comportamento de estruturas com outras formas geométricas. (ROMÃO, 2002, p. 1)

Na Figura 13, podemos visualizar barras estruturais rotuladas, de caráter estável e instável, sistema articulado plano e aperticado, respectivamente.

Figura 13 – Configuração estável e instável, da esquerda para a direita, respectivamente



Fonte: ROMÃO (2016, p. 1)

Ao observar um sistema do tipo SAP rígido, é verificável, em função de suas extremidades articuladas e ao fato de estarem apenas carregadas em seu nós, que as suas barras obedecem a um comportamento de biela. Portanto, as barras de um SAP rígido refletirão apenas esforços ao longo de seu eixo com duas direções possíveis. Quando orientados para o exterior, teremos um esforço de tração, e quando orientados para o interior, um esforço de compressão. Para fins de convenção de sinais, usualmente se representa o esforço de tração de uma barra com o sinal positivo e o esforço de compressão, com o sinal negativo, conforme é possível observar na Figura 14: (ROMÃO, 2002, p. 2)

Figura 14 – Sentido da Força e convecção de sinal da Tração e Compressão

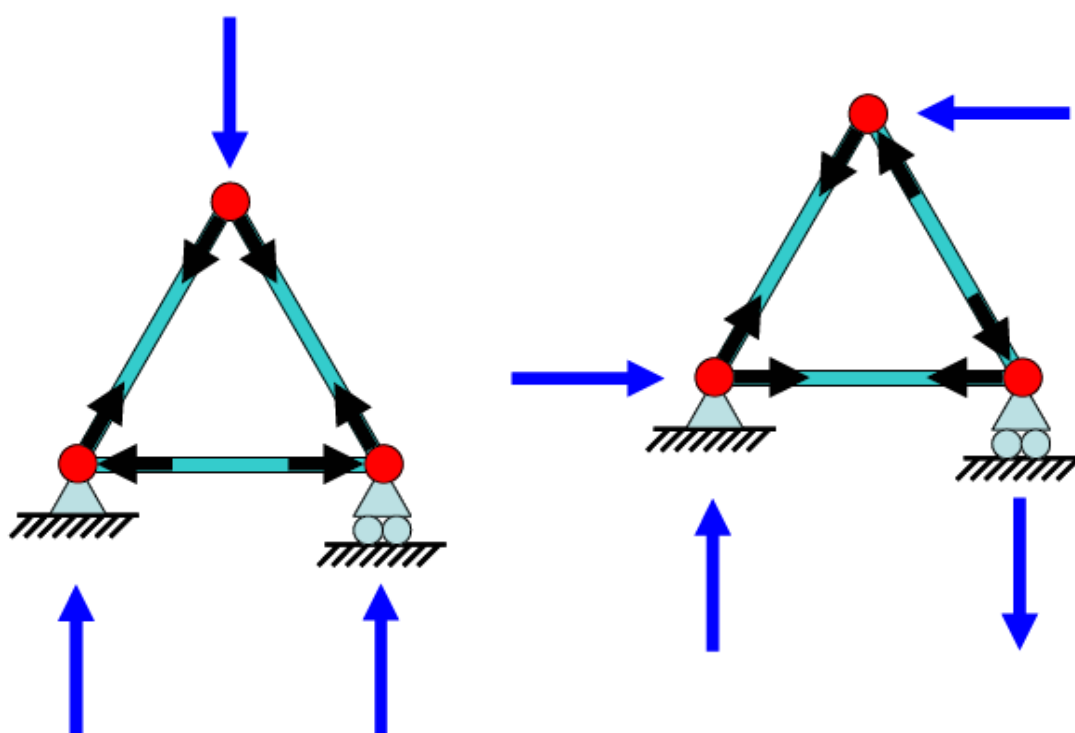


Fonte: ROMÃO (2016, p. 2)

Ao aplicar uma carga pontualmente sobre um nó de um SAP rígido com configuração triangular, ela se distribui pelas barras adjacentes – as barras que formam os lados do triângulo – até atingir o equilíbrio em cada nó. Portanto, é admissível considerar que cada nó adjacente ao nó onde a força foi aplicada tenha uma reação proporcional à intensidade da força inicialmente aplicada, com seu valor em função da geometria do sistema. (ROMÃO, 2002, p. 2)

A Figura 15 demonstra o processo de distribuição das cargas para carregamentos com diferentes direções.

Figura 15 – Distribuição da força aplicada em um sistema SAP rígido triangular

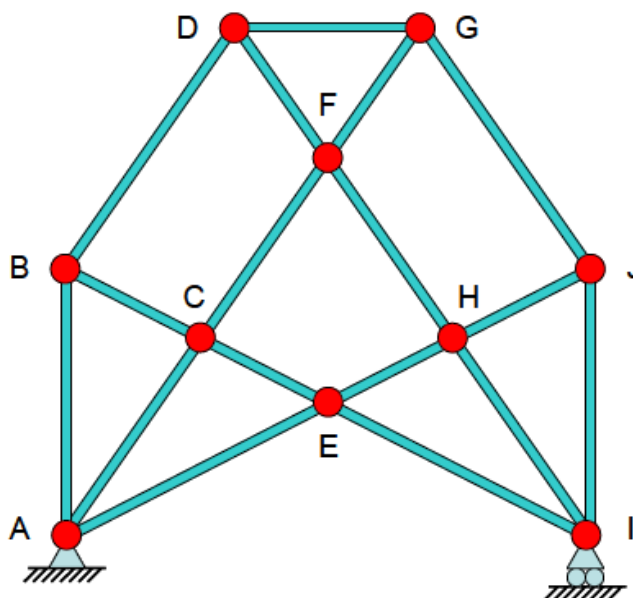


Fonte: ROMÃO (2016, p. 2)

Apesar de o fato de um sistema articulado plano rígido triangular ser incondicionalmente estável, nem sempre se consegue resolver estruturalmente a arquitetura de uma edificação com a disposição de barras em triângulos simples. No entanto, um SAP rígido também pode ser formado por conjuntos estáveis atuando junto com configurações isoladamente instáveis, desde que haja uma correta disposição dos conjuntos estáveis, a fim de formar um conjunto globalmente estável. (ROMÃO, 2002, p. 3)

A estrutura representada pela Figura 16 é formada por arranjos que isoladamente não são estáveis, representadas pelos nós [CEFH], [BCDF] e [FGHJ].

Figura 16 – Estrutura composta, porém globalmente estável



Fonte: ROMÃO (2016, p. 3)

No entanto, elas têm os seus movimentos travados pelos triângulos contíguos formados pelos nós [ABC], [ACE], [DGF], [EHI] e [HIJ]. Desse modo, tem-se um arranjo formado globalmente estável. (ROMÃO, 2002, p. 3)

A partir dessas considerações referentes ao comportamento de estruturas formadas por sistemas articulados planos, fundamenta-se a compreensão da forma de atuação dos sistemas de contraventamento dentro de edifícios altos de múltiplos pavimentos em aço, pois, basicamente, os contraventamentos do tipo *Chevron* (*Delta*), em Cruz (X) e o de *Outriggers* com *Belt Trusses*, abordados a seguir, possuem um comportamento análogo a treliças planas. Isso, claro, desde que os modelos de cálculo respeitem as premissas citadas anteriormente.

2.2.1.1 *Chevron* (*Delta*)

O sistema de contraventamento conhecido como *Chevron*, que na literatura também atende por *Delta*, e eventualmente ainda se encontra a nomenclatura “sistema de contraventamento tipo V”, é um sistema de diagonais concêntricas que em geral tem duas disposições geométricas:

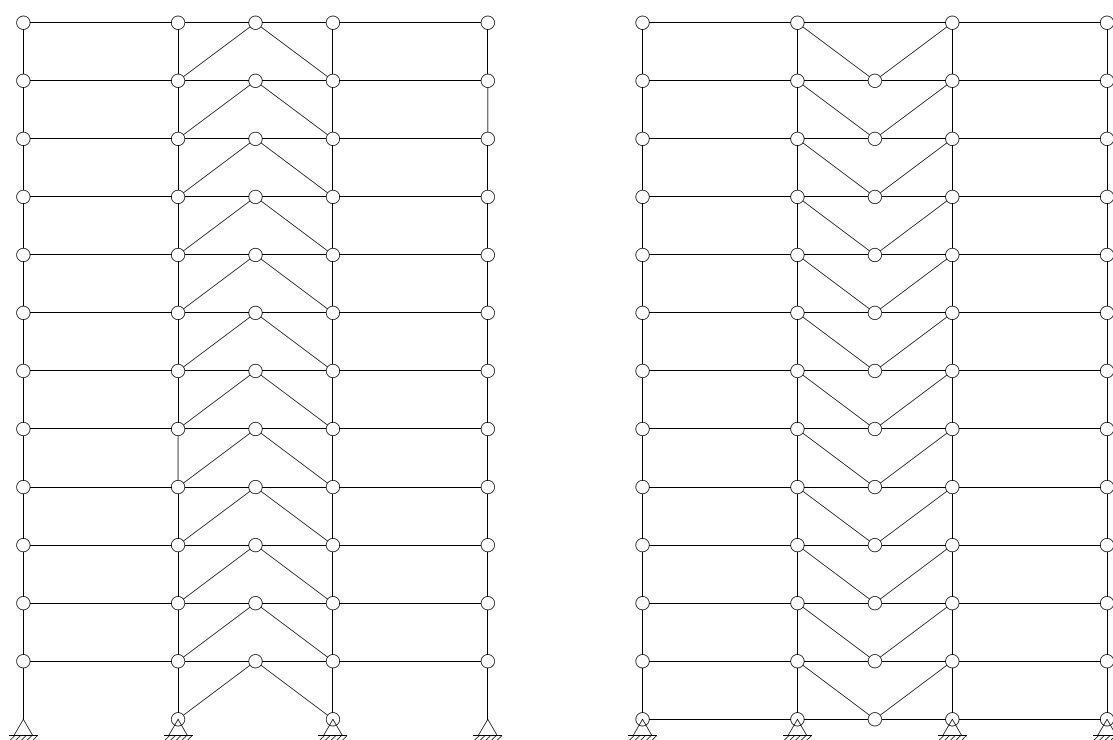
1. Com os nós de início das barras ligados à base dos pilares de um pórtico e apoiando a viga superior;

2. Com os nós finais das barras ligados ao topo dos pilares, e os iniciais apoiados sobre uma viga inferior.

De forma geral, a segunda opção é menos eficiente que a primeira, visto que, além do acréscimo necessário de mais uma barra (viga inferior) para apoiar o encontro das barras do *Chevron* invertido a cada pórtico, ela deverá suportar todos os esforços transmitidos por ele, causando-lhe uma grande flexão. Assim, a fim de satisfazer as flechas admissíveis provenientes destes esforços, seria necessária uma grande inércia no sentido da flexão, com um acréscimo de custo na mesma proporção. Outra vantagem em relação à segunda opção, é o fato da primeira opção criar um apoio para a viga superior no nó de encontro das barras das diagonais concêntricas; logo, melhorando seu modelo de cálculo em função da redução do vão livre para a flexão da viga. (FERREIRA; NUNES; RODRIGUES, 2018)

Na Figura 17, é possível visualizar os dois tipos de layout do sistema *Chevron* descritos anteriormente.

Figura 17 – Disposição 1 e 2 do sistema de contraventamento tipo *Chevron* (*Delta*)



Fonte: Elaborado pelo autor no Ftool 4.0.

Na Figura 18, é possível observar uma estrutura sendo executada, utilizando-se do sistema de *Chevron* de contraventamento.

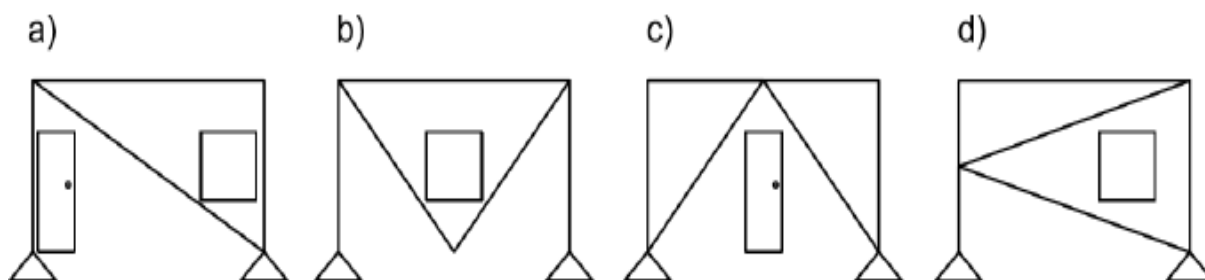
Figura 18 – Barras laminadas dispostas em forma de V invertido, formando o sistema de contraventamento do tipo *Chevron*



Fonte: HADDAD, HADDAD, AL QADI e MAHIN (2019, p. 93).

O sistema do tipo *Chevron*, em geral, não traz grandes dificuldades para a compatibilização arquitetônica, conforme pode ser observado na Figura 19. Portanto, ainda é possível a instalação de alguns tipos de abertura, como portas e janelas na fachada da edificação. (RIL; VITO, 2017)

Figura 19 – Utilização de vãos contraventados

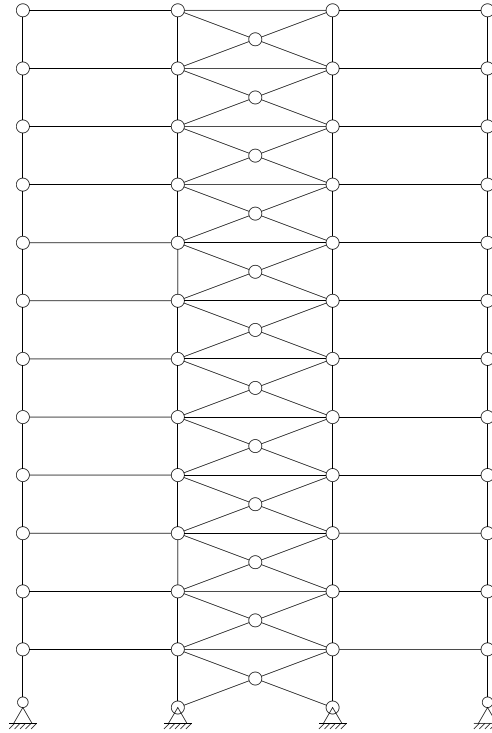


Fonte: RIL; VITO (2017, p. 3).

2.2.1.2 Em Cruz (X)

O sistema de contraventamento do tipo em Cruz tem sua geometria no formato da letra X do alfabeto latino, e é uma variante do sistema com diagonais simples. Esse sistema é constituído basicamente de barras espelhadas que nascem na base do pilar a jusante e morrem no topo do pilar a montante do pórtico a que pertencem, e encontrando-se simultaneamente no centro dele, conforme se observa na Figura 20. (FERREIRA; NUNES; RODRIGUES, 2018)

Figura 20 – Sistema de contraventamento em Cruz (X)



Fonte: Elaborado pelo autor no Ftool 4.0.

Na Figura 21 é possível observar uma estrutura real, utilizando-se do sistema em Cruz (X) de contraventamento.

Figura 21 – Contraventamentos do Port Authority Midtown Bus Terminal, Nova Iorque, Estados Unidos da América



Fonte: TOUHEY (2020).

O sistema de contraventamento em Cruz (X) é mais agressivo à fachada do que o modelo tipo *Chevron*, conforme mostrado anteriormente na Figura 19. Esse

sistema praticamente impossibilita a instalação de aberturas de portas e janelas, por isso muitos arquitetos aproveitam o seu aspecto visual contemporâneo e o exibem na fachada, como é o caso, por exemplo, do terminal de ônibus em Nova York (Figura 21), trazendo assim modernidade e imponência à edificação. Uma alternativa seria contraventar o núcleo da estrutura, ou então trabalhar com sistemas do tipo Mega-X que amenizam esse efeito colateral. Um exemplo de edificação que implementou esse sistema é o *John Hancock Center* no Centro de Chicago, conforme é possível observar na Figura 22. (RIL; VITO, 2017)

Figura 22 – Sistema Mega-X no John Hancock Center, Chicago, Estados Unidos da América

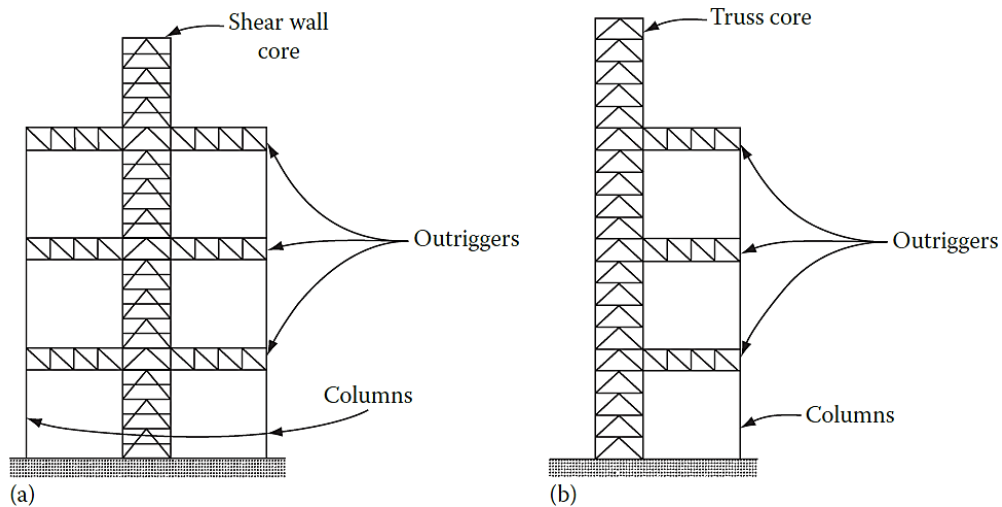


Fonte: STOLLER (1970).

2.2.1.3 *Outriggers e Belt Trusses*

É constante o processo de busca por novas soluções de contraventamento, a fim de minimizar o deslocamento lateral de edifícios até limites aceitáveis, sempre buscando a eficiência e a viabilidade econômica, sem que haja um aumento expressivo no consumo de aço. Assim, durante essas pesquisas, surgiu um sistema misto chamado *Outriggers e Belt Trusses*. Tal sistema é composto por um núcleo rígido, geralmente contraventado com um sistema *Chevron* em função de sua flexibilidade para a instalação de aberturas, treliças horizontais nas faces do edifício, formando as cintas chamadas de *Belt Trusses* que ligam os pilares dispostos nelas, e por treliças ortogonais – as *Belt Trusses* que levam os esforços ao núcleo – chamadas de *Outriggers*, conforme podemos observar na Figura 23. (NASIR; PATIL, 2016)

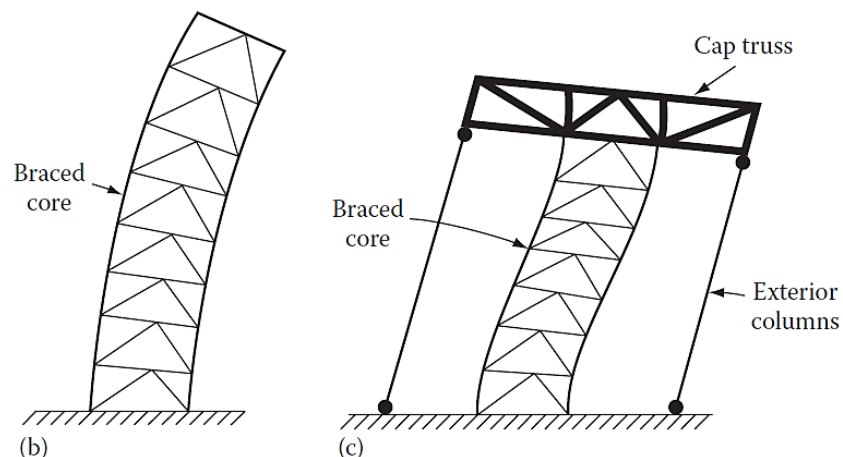
Figura 23 – (a) Sistema *Outriggers* com núcleo central (b) sistema *Outriggers* com núcleo excêntrico



Fonte: TARANATH (2016, p. 45)

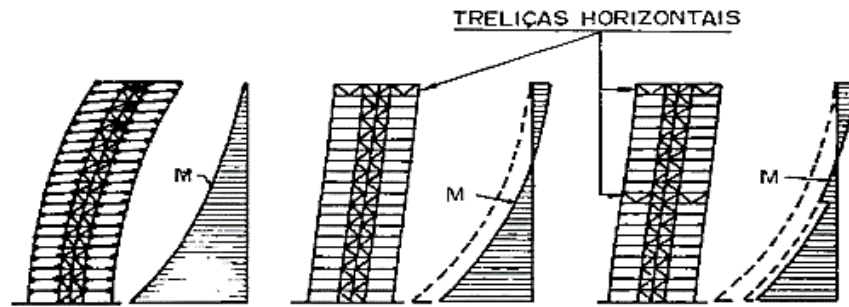
O ponto-chave do funcionamento desse sistema é a contribuição solidária exercida pelas colunas periféricas à resistência dos esforços de momento fletor no núcleo rígido, em função da amarração feita nas colunas posicionadas nas faces do edifício pela utilização dos *Belt Trusses* associados aos *Outriggers*, resultando assim em uma melhor distribuição global dos esforços axiais de tração nas colunas a barlavento e de compressão nas colunas a sotavento, conforme observa-se na Figura 24. A resultante desse sistema gera uma restrição de giro no núcleo contraventado, tendo como efeito colateral uma inversão da curvatura durante a sua flexão, reduzindo então seu momento de flexão, de acordo com a Figura 25, e, como consequência, o deslocamento horizontal no último pavimento, o que torna a estrutura mais estável. (TARANATH, 2016; RIBEIRO, 1990)

Figura 24 – Deformação por ação eólica: (b) deflexão do núcleo; (c) tensão axial nas colunas periféricas



Fonte: TARANATH (2016, p. 47)

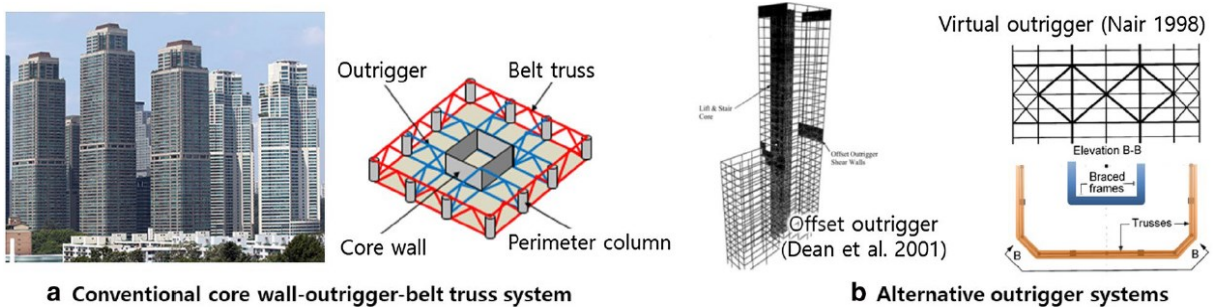
Figura 25 – Ação de *Outriggers* em diagramas de momento fletor



Fonte: RIBEIRO (1990, p. 26)

Na Figura 26, podemos observar alternativas para a instalação do sistema de contraventamentos com *Outriggers* e *Belt Trusses*, bem como compreender sua localização e disposição em um pavimento. Já na Figura 27, podemos visualizar a execução de um sistema com *Outriggers* e *Belt Trusses*.

Figura 26 – Sistemas convencionais e alternativos de *Outriggers* e *Belt Trusses* para edifícios altos e arranha-céus



a Conventional core wall-outrigger-belt truss system

b Alternative outrigger systems

Fonte: EOM, MURMU e YI (2019; p. 1)

Figura 27 – Edificação mista com *Outriggers* e *Belt Trusses* reforçando um núcleo e pilares de concreto armado



Fonte: EOM, MURMU e YI (2019; p. 1)

A compreensão estrutural desse sistema também passa por uma aplicação baseada em SAP, como já foi demonstrado nos sistemas anteriores, especialmente por se tratar de uma combinação de mais de um sistema baseado em treliças, como o *Chevron* ou o em Cruz (X). Dessa forma, podemos dizer então que sua aplicação

não tem como base uma tecnologia dimensionada para tal situação, mas sim uma estratégia de aplicação conjunta de sistemas já conhecidos dentro da edificação em estudo. (RIBEIRO, 1990)

2.2.3 Contraventamento em núcleo rígido de concreto armado

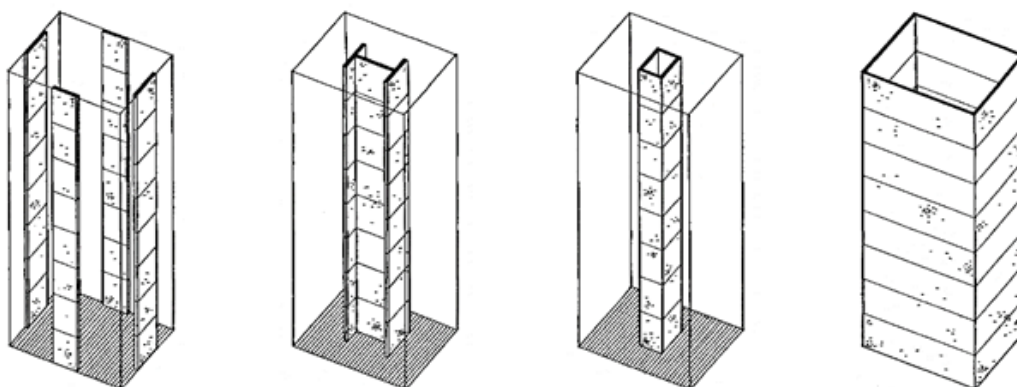
Em função do crescimento vertical das cidades, a construção de edifícios altos tem sido uma alternativa cada vez mais atraente em grandes centros urbanos. No entanto, devido à elevada altura da estrutura de tais edifícios, exige-se uma grande rigidez frente às ações horizontais das cargas dinâmicas, sendo uma das alternativas viáveis a adoção de núcleos rígidos para a estabilidade global do sistema. (CORELHANO, 2010)

De acordo com a obra de CORELHANO (2010, p. 30 apud MATIAS; 1997), temos a seguinte definição e descrição da localização usual dos núcleos estruturais ou rígidos em edifícios altos de multiandares.

Autores como MATIAS (1997) denominam de núcleos estruturais os elementos de elevada rigidez, constituídos pela associação tridimensional de paredes retas ou curvas, formando seções transversais abertas ou semifechadas. Suas dimensões transversais são muito superiores às dos demais elementos que normalmente compõem as estruturas de contraventamento, sendo sua rigidez à flexão responsável por grande parte da rigidez global da estrutura.

Usualmente, os Núcleos Rígidos são posicionados nas áreas centrais das edificações, em geral em torno de escadas, elevadores, depósitos ou espaços reservados para todo tipo de instalação que não necessita de tanta ventilação, como a tubulação hidráulica ou elétrica. (BELLEI, BELLEI, 2018)

Figura 28 – Formas normalizadas (racionalizadas) de núcleo rígidos em sistemas de estabilização vertical



Fonte: EINGEL (2003; p. 282)

A bibliografia internacional comumente se refere a esses núcleos estruturais como *shear walls* e *shear cores*, que, em tradução literal, como paredes de cisalhamento e núcleos de cisalhamento, respectivamente; ou seja, além do formato tradicional tubular do núcleo, em geral centralizado na edificação, também é levantada a possibilidade de termos pilares-parede de concreto armado estrategicamente posicionados nos pavimentos da edificação, a fim de aumentar a rigidez global da estrutura. Na Figura 28, reproduzida da obra “Sistemas de Estructuras” de EINGEL (2003; p. 82), temos o que ele denomina de formas normalizadas (ou racionalizadas, a fim de gerar economia financeira e de materiais) e padrão de sistemas de estabilização vertical, que nos auxiliam na compreensão do sistema.

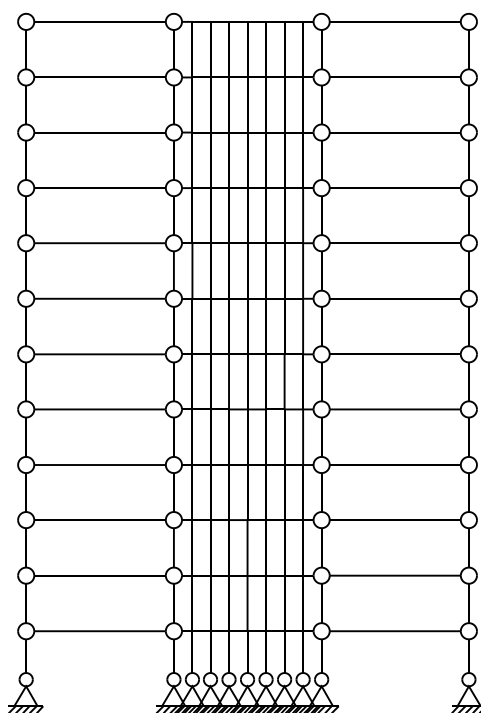
Socrate Muñoz Iglesias cita em seu artigo *Soluções Estruturais: 10 formas de controlar os deslocamentos e acelerações horizontais* (2018, p. 1) diversas considerações sobre o desempenho de núcleos rígidos em função do número de pavimentos do edifício. Ele sugere que esse sistema proporciona rigidez suficiente para resistir a forças de vento e sismo, de forma eficiente e econômica, em edifícios de até 20 pavimentos.

2.2.3.1 Com a base dos pilares rotulados

O sistema de contraventamento baseado em um núcleo rígido com a base dos pilares rotulados não é um sistema específico, mas sim uma concepção estrutural; isto é, se libera a rotação nos pilares, a fim de propiciar que a estrutura atue apenas comprimindo ou tracionando os pilares em função das cargas aplicadas – o que forma um binário de forças reagentes. Portanto, sendo esses pilares solicitados apenas por esforços axiais, cabe ao núcleo rígido garantir rigidez global à estrutura, evitando que ela se desloque excessivamente, além dos valores admissíveis para a sua segurança.

De acordo com a NBR 8800:2008, um meio de garantir o comportamento estrutural da estrutura, de forma adequada e fidedigna ao modelo de cálculo, é pelo correto dimensionamento das ligações dos elementos metálicos, como as ligações entre vigas e fundações, neste caso. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Figura 29 – Exemplo de modelo de cálculo para um núcleo rígido com a base dos pilares rotulados



Fonte: Elaborado pelo Autor no Ftool 4.0.

Na Figura 29, podemos visualizar um modelo de cálculo possível de um núcleo rígido representado de forma unifilar. As barras centrais lançadas sequencialmente com vãos menores servem para descrever o núcleo rígido, e terão de ter rigidez equivalente a ele especificada em seus parâmetros. Com os avanços da computação e refinamento dos *softwares* de análise estrutural, atualmente, tal simplificação análoga não é mais necessária em boa parte deles, pois quase todos já trabalham com elementos tridimensionais.

2.3 RESULTADOS RELEVANTES EM OUTRAS OBRAS

O artigo *Análise comparativa de sistemas verticais de estabilização e a influência do efeito P-D no dimensionamento de edifícios de andares múltiplos em aço* de 2002, escrito pelos Engenheiros Aline Tabarelli, Professor D.Sc. Ernani Carlos de Araújo e José Antônio Soares Prestes e publicado na Revista Escola de Minas (REM, atualmente conhecida como REM – International Engineering Journal), trouxe conclusões interessantes, bem como relevantes para este trabalho, acerca do tema de estabilização de edifícios em aço, por meio da utilização de contraventamentos

em barras, ao analisar diferentes sistemas de contraventamento aplicados sobre a arquitetura do Edifício Piemonte (apud PRESTES, 2000). São elas:

- O sistema rígido, quando comparado com o sistema contraventado, está sujeito a maiores esforços solicitantes e deslocamentos horizontais, levando-se a um consumo maior de aço.
- Quando foram comparados os modelos de carga de vento concentrada nos nós e os modelos com carga de vento linearmente distribuída na estrutura, este último modelo apresentou esforços e deslocamentos maiores. Isso significa que o modelo de vento linearmente distribuído é mais crítico e mais real.
- O modelo contraventado em Delta (*Chevron*) é mais leve que o modelo em X (em Cruz) por apresentar um terceiro apoio na viga; assim, reduzem-se os esforços e o peso da estrutura.

Em 2014, publicado no *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences*, temos o artigo “Comparison Of Different Bracing Systems For Tall Buildings”, escrito pelos Engenheiros Zahid Ahmad Siddiqi, Rashid Hameed e Usman Akmal do departamento de Engenharia Civil da Universidade de Engenharia e Tecnologia Lahore do Paquistão. Nesse estudo, temos uma revisão sobre os diversos sistemas de estabilização adotados ao longo da história na construção em aço e a proposição de um estudo comparativo da aplicação de contraventamentos em barras com critérios predefinidos. Contudo, analisando os resultados e conclusões do referido artigo, encontramos uma contradição frente ao estudo publicado por TABARELLI, ARAÚJO e PRESTES em 2002, o qual sugere que contraventamentos distribuídos ao longo do centro do edifício, pelo eixo de menor flexão dos pilares de um edifício alto, leva a um menor consumo de aço em perfis estruturais e ainda a um menor valor de deslocamento, frente à mesma distribuição de um sistema tipo K (*Chevron* [Delta]), atendendo ao critério de valor máximo de deslocamento lateral $H/400$ (sendo H a altura total da edificação).

Embora o estudo intitulado de *Optimal Topologies for Steel Frames with Ordinary Chevron and X-Braces: The Effect on Total Structural Cost*, publicado pelo departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Zajan, realizado pelos engenheiros Mehdi Babaei, Jalal Dadash Amiri, Foad Omidi e Arman Memarian em 2016, junto ao *The Open Civil Engineering Journal*, tenha ênfase nas cargas horizontais provenientes das atividades sísmicas, o artigo aborda de forma

enfática a utilização de contraventamentos como métodos de estabilização das estruturas em edifícios de aço. Basicamente, são comparados contraventamentos em Cruz (X) com o sistema *Chevron (Delta)* em 24 modelos distintos. Desse modo, conforme os resultados apontados, o sistema *Chevron* tem menor consumo de aço que o sistema em Cruz (X) em todos os modelos estudados.

Em 2017, houve a publicação de um estudo intitulado “Análise do Consumo de Aço Verificando o Deslocamento Lateral de Estruturas Contraventadas e Não Contraventadas em Aço”, o qual tinha por objetivo servir de requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Civil, realizado pelo então estudante Rodrigo Dutra Ril e o Engenheiro Prof. Me. Márcio Vito. No artigo, foi comparada a eficiência entre os seguintes sistemas de contraventamentos em barras nos formatos de X (em Cruz), V (*Chevron* Invertido), V invertido (*Chevron*), K e diagonal simples *versus* o sistema aporticado (engastado nos nós). Dentre os estudados, o sistema *Chevron (Delta)*, novamente despontou como o mais eficiente do ponto de vista da economia de aço, atendendo aos deslocamentos previstos na NBR 8800:2008.

Vale ressaltar que a obra de SIDDIQI, HAMEED e AKMAL (2014) tem a estrutura mais alta entre todos os estudos mencionados, cerca de 220 m (720 pés), e é justamente a que tem resultado divergente dos outros, visto que, nesse estudo, o sistema de contraventamento em Cruz (X) é o mais econômico entre os estudados. Na obra de TABARELLI, ARAÚJO e PRESTES (2002), a altura da estrutura estudada é de 26,40 m. Já no estudo de BABAEI et al. (2016), a edificação tem 28 m de altura, e, no estudo de RIL e VITO (2017), 15 m de altura.

2.4 REDUÇÃO DO CONSUMO DE AÇO E CUSTOS ASSOCIADOS A EXECUÇÃO DOS PROJETOS

Em função da tendência dos grandes centros urbanos em incentivar as edificações cada vez mais altas e esbeltas, em decorrência de vários fatores sociais e econômicos, as cargas dinâmicas horizontais, como o vento, passaram a ser determinantes no dimensionamento dos elementos estruturais que constituem o arranjo global das edificações em aço, e o consumo de aço está intimamente ligado a estabilização das estruturas. (LOPES, 2003)

Os avanços da informática nos últimos anos permitiram uma modelagem estrutural mais completa, reduzindo as simplificações dos métodos de cálculo

manuscritos, aumentando o número de variáveis, condições de contorno e combinações, tais rotinas visam buscar resultados mais assertivos em relação ao comportamento real das estruturas, especialmente na análise de sua estabilidade quando submetidas a carga dinâmicas horizontais. (KIMURA, 2007)

Logo, é sem sentido não modelar estruturas computacionalmente, por meio de *softwares* de cálculo, dimensionamento e análise estrutural não linear, especialmente para avaliar resultados pertinentes à submatéria da estabilidade das estruturas. Dessa forma, é possível aumentar exponencialmente os ganhos relativos ao emprego das estruturas de contraventamentos no arranjo estrutural dos edifícios altos em aço com múltiplos andares, especialmente na redução do consumo do aço total da edificação. (BRANCHIER, 2017)

O foco na redução do consumo de aço nos projetos de edifícios altos é extremamente relevante, por dois motivos:

1. Instabilidades e constantes aumentos de preço do aço no cenário recente do mercado brasileiro, cerca de 50 a 52% entre os meses de janeiro e abril de 2021, dependendo do tipo de aço; (BORGES, 2021)
2. Custo representativo de matéria prima, podendo chegar a 50% do orçamento global da obra, conforme a Tabela 2. (BELLEI; PINHO; PINHO, 2008)

Tabela 2 – Referência percentual (%) do custo do orçamento global de cada atividade em obras de edifícios de múltiplos andares em aço

| ATIVIDADE | FAIXA PERCENTUAL DO ORÇAMENTO GLOBAL |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Material e insumos | 20% a 50% |
| Fabricação | 20% a 40% |
| Montagem | 20% a 35% |
| Limpeza e pintura | 10% a 30% |
| Proteção passiva ao fogo | 8% a 15% |
| Detalhamento | 2% a 5% |
| Projeto estrutural | 1% a 3% |
| Transporte | 1% a 3% |

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado de BELLEI, PINHO E PINHO (2008).

Outro custo importante é o da montagem, conforme a Tabela 2, estes custos podem variar de 20% a 35%, e estão associados basicamente ao tempo de mobilização mão de obra especializada e equipamentos de elevação, é balizado por variáveis executivas, como o tempo total da obra e a complexidade nas rotinas e procedimentos de montagem. Este custo pode ser reduzido na fase projetual, especialmente nos projetos de montagem e ligações. (BELLEI; PINHO; PINHO, 2008)

3 METODOLOGIA

Foram realizadas as análises de 4 modelos de estabilização global de edifícios em aço com geometria global distintas:

- MODELO 01 – *CHEVRON (DELTA)*
- MODELO 02 – EM CRUZ (X)
- MODELO 03 – *OUTRIGGERS E BELT TRUSSES*
- MODELO 04 – NÚCLEO RÍGIDO DE CONCRETO ARMADO

Nos quatro modelos, foram analisados o deslocamento lateral total e o consumo dos materiais obtidos.

A primeira análise foi o deslocamento lateral, baseado na leitura dos resultados máximos conforme a combinação determinante (entenda-se como combinação determinante a combinação de cargas que causou o maior desaprumo em relação à base e ao topo da edificação modelada; ou seja, a que teve maior efeito sobre o arranjo estrutural). Durante a comparação direta dos resultados, foi considerado o deslocamento absoluto, em função das diferenças de direção que ocorreram entre as combinações; ou seja, definidas pelo sinal na frente do valor obtido (+ ou -).

Foi avaliado o deslocamento horizontal entre a base e o topo da edificação, de acordo com o conceito estabelecido na NBR 8800:2008, sendo para este estudo o limite de 135 mm ($H/400$, sendo H a altura total da edificação, com a altura total de 54000 mm; logo, temos 135 mm como limite máximo para o deslocamento horizontal).

A NBR 8800:2008 solicita uma avaliação adicional do deslocamento horizontal relativo entre dois pisos que foi desconsiderada neste estudo. Esse tipo de avaliação deve ser feito individualmente para cada pavimento da edificação, já que a norma esclarece que devemos considerar apenas as forças cortantes no andar em questão, desprezando a influência das deformações axiais dos pilares e vigas provenientes dos esforços dos outros pavimentos.

O método para a leitura dos deslocamentos foi o seguinte: em função da variação de deslocamento entre nós para determinada direção (eixos X ou Y). Considerou-se a leitura nos nós 1 a 15 na intersecção entre os eixos A e 1, já que possuíam a mesma coordenada plana (X e Y) ao longo do eixo Z (onde varia a altura da edificação) em todos os modelos estudados. Além da variação específica entre os nós 1 e 15 que já demonstraria o desaprumo global da edificação, foi coletada a variação entre nós para cada pavimento (entre nós 1 e 2, temos o primeiro pavimento,

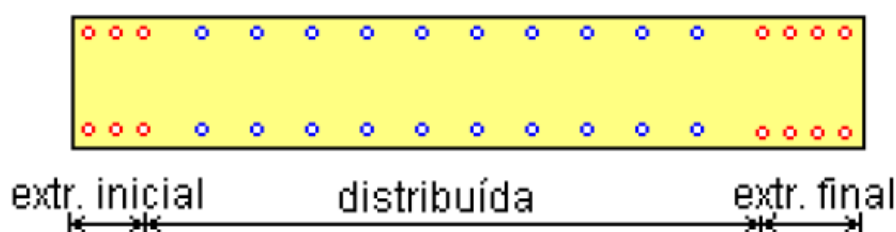
e assim por diante), a fim de verificar a consistência dos resultados, uma vez que valores não esperados, nessas leituras, denotariam eventuais erros no lançamento ou mesmo na coleta dos resultados. Além disso, ao acumular esses deslocamentos, tem-se o valor total do desaprumo global da edificação.

A segunda análise partiu dos quantitativos empregados em cada solução. Todos os modelos de cálculo tiveram uma série de perfis estruturais que compuseram o arranjo estrutural global deles, variando apenas a posição e direção das barras. Portanto, serão expostos o tipo de perfil, a relação de bitolas, bem como a quantidade empregada de cada bitola no modelo, o que nos leva a um peso total. Assim, somando cada linha desta lista, temos o valor do montante, o qual foi utilizado para a comparação direta entre os modelos.

Especificamente no Modelo 04, tivemos a presença de um núcleo rígido de concreto armado. Neste caso, obtivemos tabelas adicionais de quantitativo que indicaram os resultados de dimensionamento das armaduras (inicial, distribuída e final) por segmento de parede (entenda-se como um segmento de parede, um trecho delimitado entre aberturas, para cada pavimento da edificação, do núcleo rígido de concreto armado, para uma melhor compreensão da divisão proposta pelo software SAE *Strap 2009*, visualizar o Anexo T deste trabalho) e o volume de concreto a ser empregado em função dos dados geométricos de cada segmento de parede do núcleo.

Na Figura 30, temos a representação das armaduras longitudinais conforme dimensionamento e apresentação dos resultados, na seção específica deste trabalho, por meio de tabelas para cada posição, além de uma tabela indicando as informações referentes à armadura transversal de cada segmento de parede do núcleo rígido.

Figura 30 – Exemplo da representação das armaduras, conforme dimensionamento e apresentação dos resultados



Fonte: MANUAL STRAP: Versão 11.5, SAE INFORMÁTICA (2009; Cap. 8.12; p. 16).

Com todos os resultados organizados e dispostos, foi possível unificá-los em apenas uma tabela, considerando a combinação determinante, o deslocamento

máximo por direção, o peso de perfis estruturais, o peso de armaduras total e o peso de concreto total. Assim, a partir dessas informações, ranqueou-se as soluções utilizando os seguintes critérios: peso total (Kg), peso total dos perfis estruturais (Kg), deslocamento máximo em X (mm), deslocamento máximo em Y (mm).

Por fim, as soluções estruturais foram analisadas por meio da taxa de peso de perfis estruturais (Kg/m²) e da taxa de peso total (Kg/m²), considerando a área total da edificação, conforme sua geometria.

3.1 MODELOS DE ANÁLISE

Na Tabela 3, é possível compreender a complexidade dos modelos computacionais das estruturas estudadas, por meio da quantificação dos elementos que as constituem.

Tabela 3 – Complexidade das estruturas estudadas

| NOME DO MODELO | NÓS | BARRAS | SÓLIDOS | APOIOS | MOLAS | PROPRIEDADES |
|-----------------------|------------|---------------|----------------|---------------|--------------|---------------------|
| MODELO 01 | 1010 | 1830 | 0 | 16 | 0 | 25 |
| MODELO 02 | 950 | 1980 | 0 | 16 | 0 | 25 |
| MODELO 03 | 1989 | 1652 | 0 | 16 | 0 | 25 |
| MODELO 04 | 1078 | 1590 | 0 | 24 | 0 | 19 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

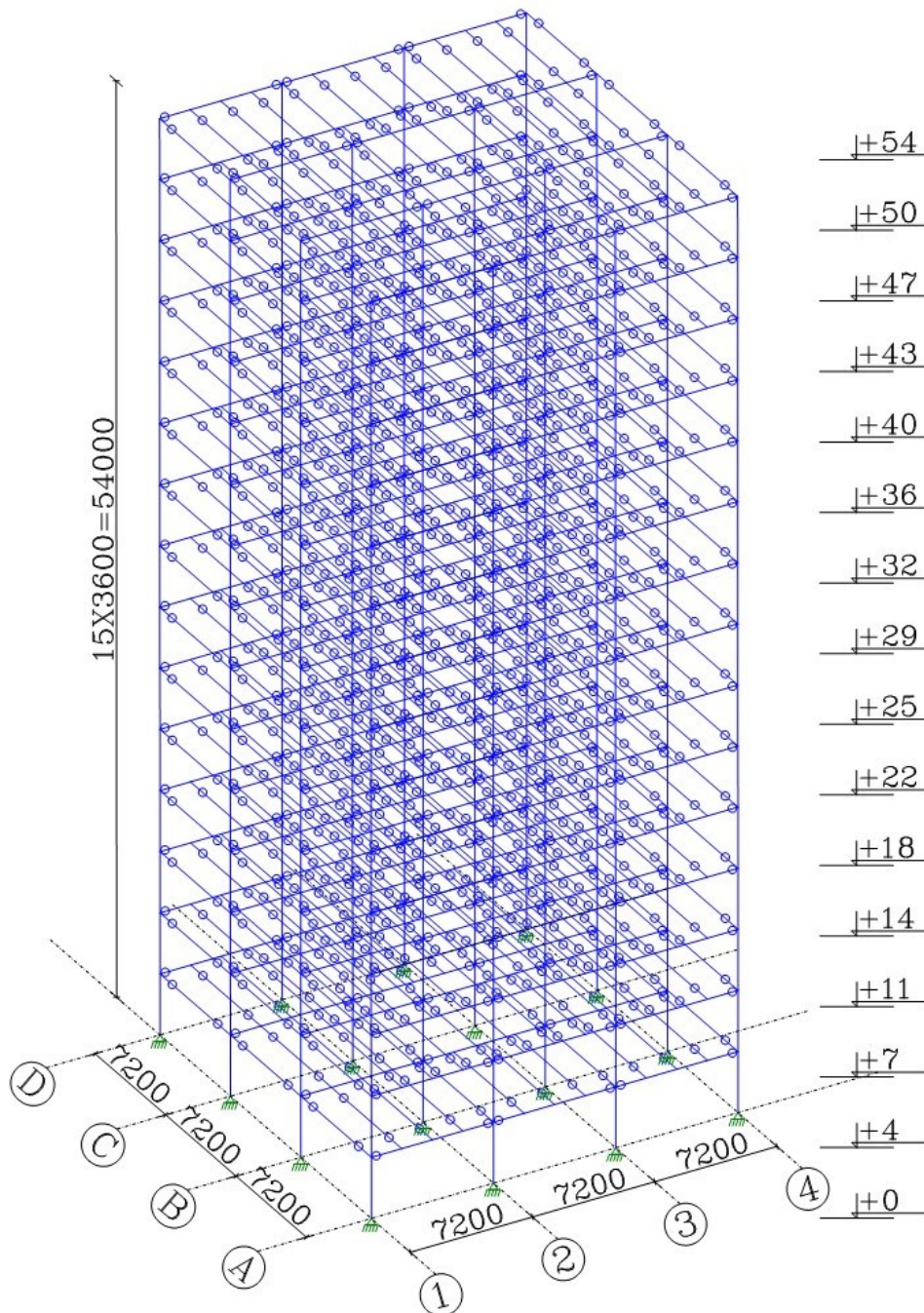
Nos anexos deste trabalho, temos os diagramas unifilares dos modelos unifilares, de acordo com a sequência da seguinte lista:

- ANEXO A – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 01 – EIXOS A E B
- ANEXO B – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 01 – EIXOS C E D
- ANEXO C – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 01 – EIXOS 1 E 2
- ANEXO D – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 01 – EIXOS 3 E 4
- ANEXO E – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 02 – EIXOS A E B
- ANEXO F – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 02 – EIXOS C E D
- ANEXO G – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 02 – EIXOS 1 E 2
- ANEXO H – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 02 – EIXOS 3 E 4
- ANEXO I – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 03 – EIXOS A E B
- ANEXO J – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 03 – EIXOS C E D
- ANEXO K – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 03 – EIXOS 1 E 2
- ANEXO L – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 03 – EIXOS 3 E 4

- ANEXO M – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 04 – EIXOS A E B
- ANEXO N – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 04 – EIXOS C E D
- ANEXO O – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 04 – EIXOS 1 E 2
- ANEXO P – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 04 – EIXOS 3 E 4

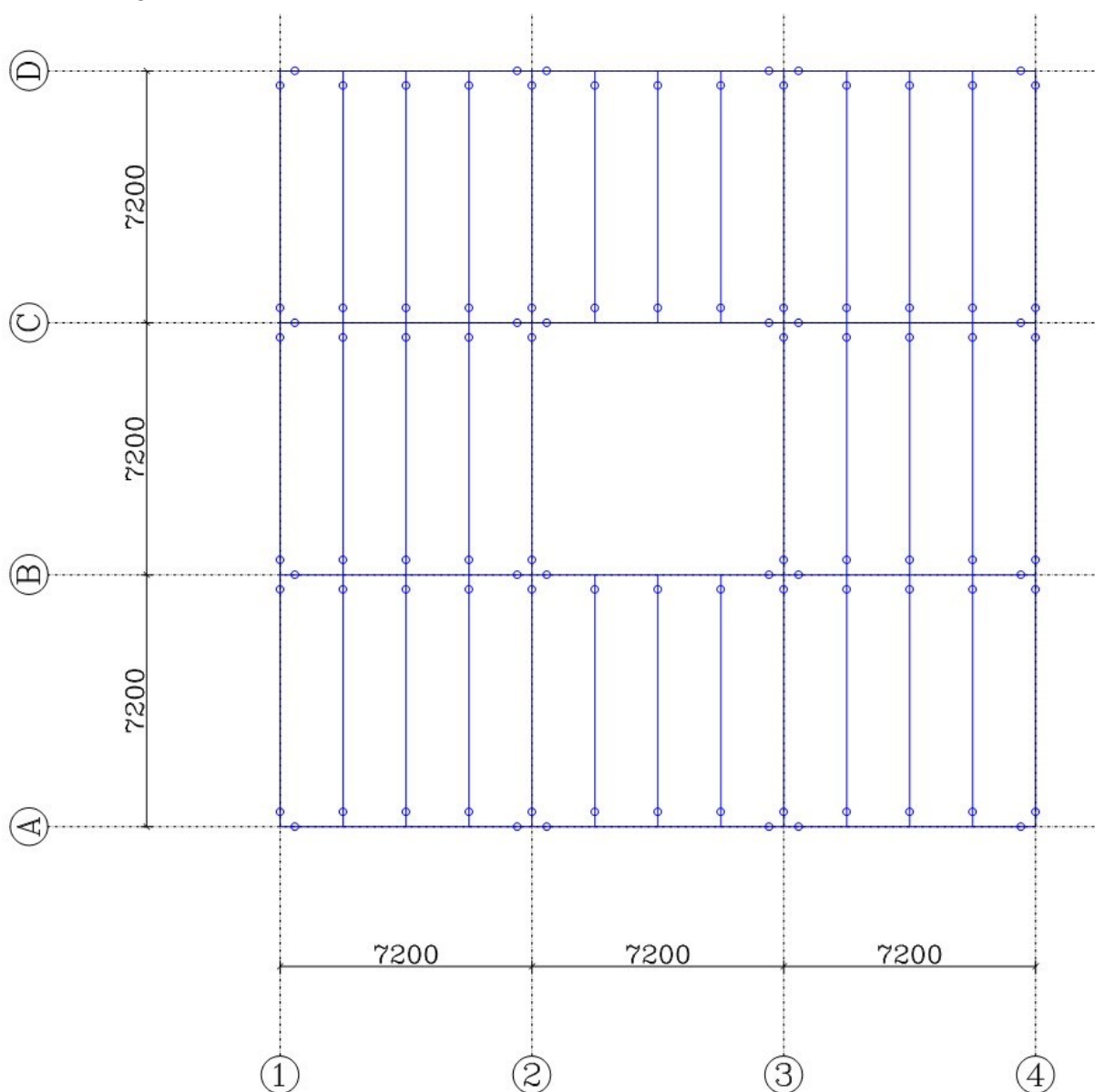
3.1 GEOMETRIA GLOBAL DA ESTRUTURA

Figura 31 – Modelo unifilar da estrutura geral sem sistemas de contraventamento



Fonte: Elaborado pelo Autor no SAE Strap 2009.

Figura 32 – Planta baixa unifilar do pavimento tipo dos modelos estudados



Fonte: Elaborado pelo Autor no SAE Strap 2009.

Como é possível observar nas Figura 31 e Figura 32, a arquitetura geral da estrutura obedeceu aos seguintes critérios, os quais foram aplicados a todos os modelos estudados, variando apenas os sistemas de contraventamento.

- Modulação de 7200 mm X 7200 mm X 3600 mm;
- Grid de 4 x 4 (1, 2, 3, 4) x (A, B, C, D);
- Elevação de 15 pavimentos;
- Dimensões totais da edificação de 21600 mm x 21600 mm x 54000 mm.

3.2 GEOMETRIA LOCAL DA ESTRUTURA

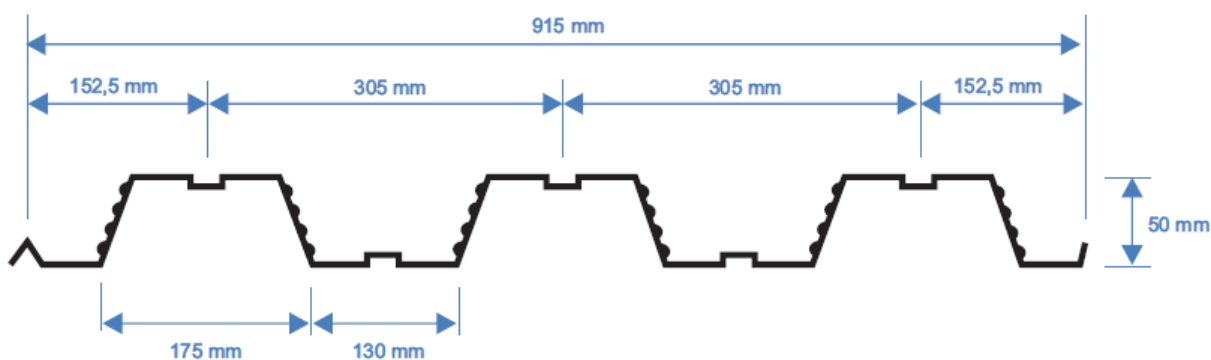
Para a verificação dos perfis que compuseram o lançamento da estrutura dos modelos estudados, adotou-se as seguintes condições gerais.

1. Norma considerada: Brasileira – NBR 8800/2008.
2. Deformação admissíveis:
 - a. Vigas Secundárias e Principais de piso: $L/350$ (sendo L o comprimento total da viga).
 - b. Pilares: $h/500$ (sendo h a altura do pilar em relação a sua base).
3. Área de tração dos perfis: 100% da área bruta.
4. Precisão da verificação: a cada 1/10 das barras.
5. Tipo de Aço: AR345 (ASTM A592 Grau 50).

3.2.1 Laje

A laje utilizada na modelagem compõe um sistema do tipo *Steel Deck*, totalizando 20 cm de espessura, vinculado a vigas secundárias e principais por meio de Stud Bolts. A referência para geometria e propriedades é o catálogo da fabricante de folhas de *Steel Deck* Metform. Considerando o perfil MF-50 de 0,95 mm de espessura neste estudo, é possível visualizar o perfil da fôrma incorporada a laje na Figura 33.

Figura 33 – Dimensões do perfil de *Steel Deck* modelo MF-50



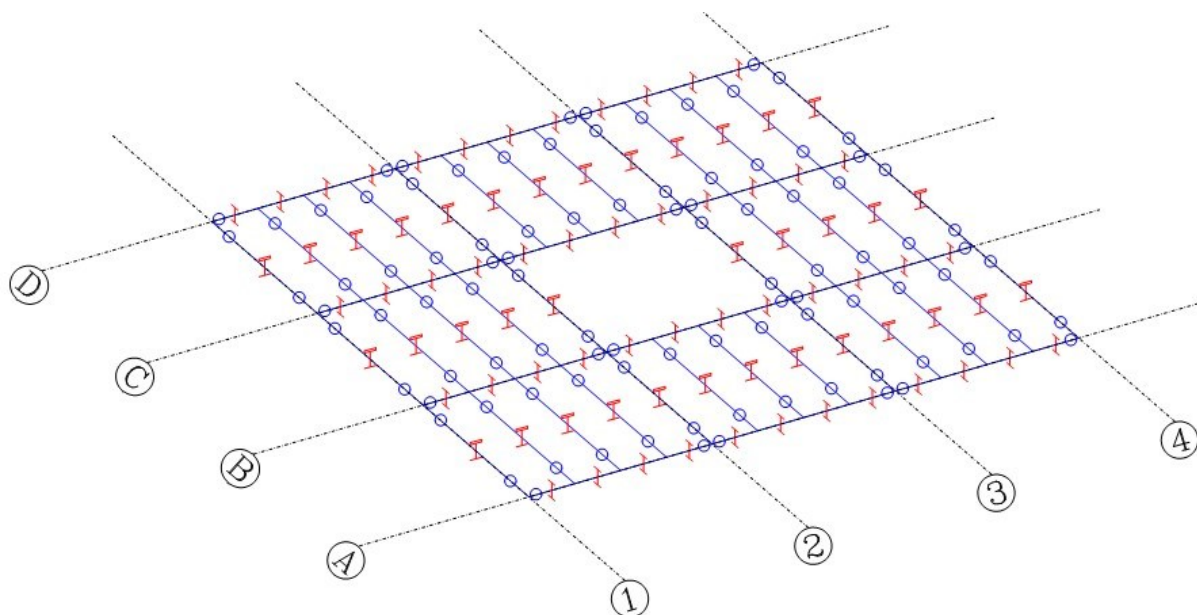
Fonte: Catálogo Telha-Fôrma (*Steel Deck*), Metform (2019; p. 3).

As vigas mistas foram verificadas a partir das seguintes generalidades em relação às propriedades da laje:

1. f_{ck} do Concreto = 25 MPa
2. Largura da mesa contribuinte:

- a) Vigas Secundárias de meio: 1800 mm
 - b) Vigas Secundárias de face: 900 mm
 - c) Vigas Principais: 900 mm
3. Espessura da mesa contribuinte: 150 mm
 4. Distância entre o perfil de aço e a mesa de concreto: 50 mm
 5. Resistência dos conectores de cisalhamento: 75 KN

Figura 34 – Vista isométrica do pavimento tipo com vigas secundárias e principais



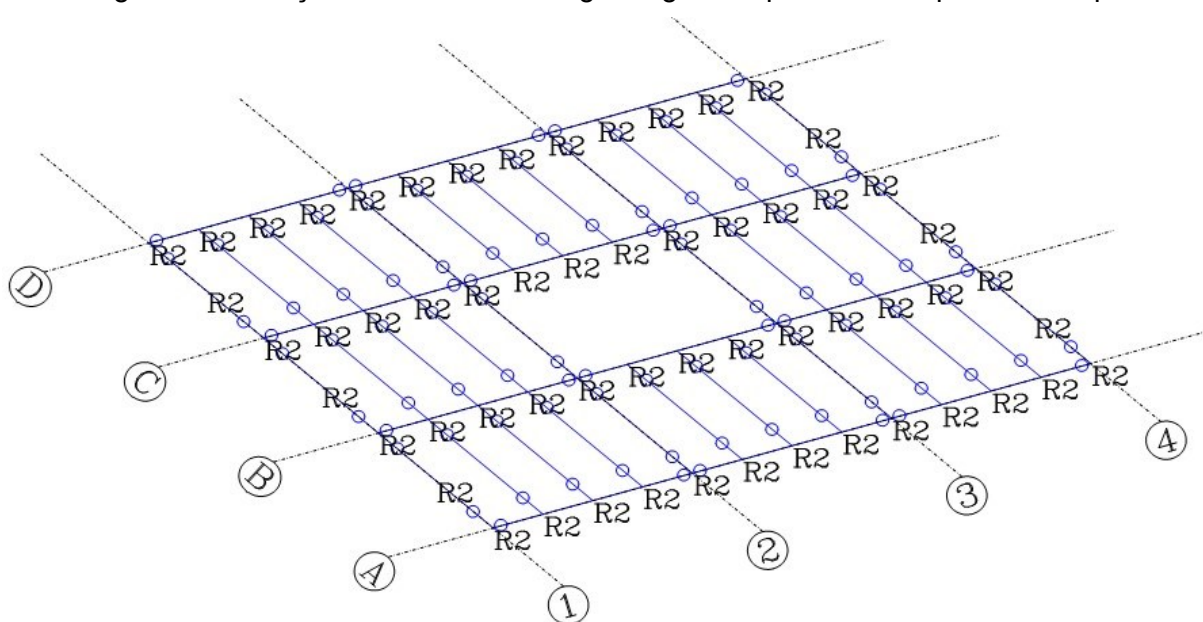
Fonte: Elaborado pelo Autor no SAE Strap 2009.

Na Figura 34, é possível observar a disposição das vigas secundárias e principais que compõem o sistema de laje mista em *Steel Deck*, com um pequeno corte definindo a orientação de sua seção e indicando que possuem mesa contribuinte de concreto.

3.2.1.1 Diafragma Rígido

Na verificação e simulação da estrutura, será admitido que globalmente as lajes terão o comportamento de um diafragma rígido. Portanto, a fim de reproduzir essa situação, cria-se uma restrição de deslocamentos dos nós no plano de cada pavimento. Em outras palavras, todos os nós desse pavimento se deslocarão juntos e com a mesma intensidade. Na Figura 35, tem-se um exemplo de lançamento de restrição do deslocamento dos nós no plano do pavimento tipo aplicado às estruturas estudadas.

Figura 35 – Lançamento de um diafragma rígido no plano de um pavimento tipo

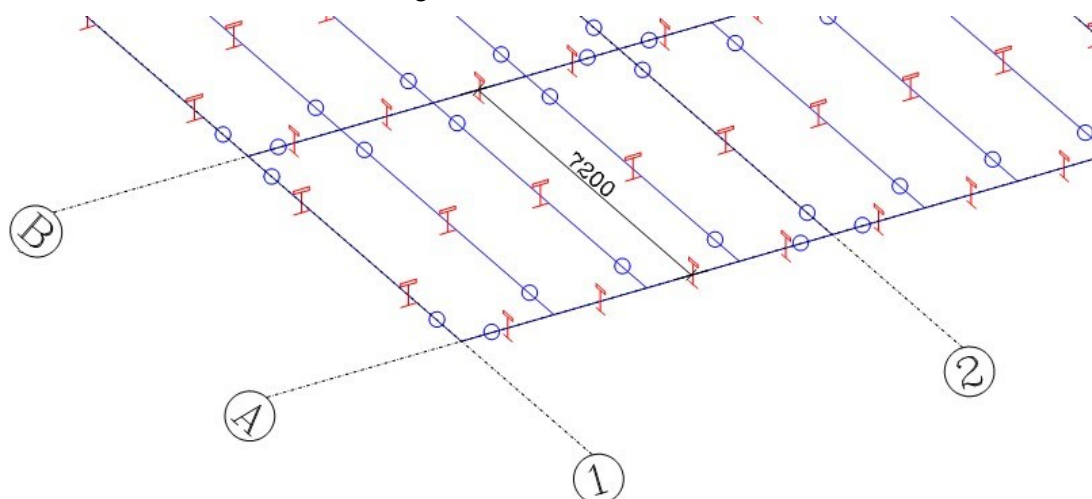


Fonte: Elaborado pelo Autor no SAE Strap 2009.

3.2.2 Vigas secundárias

Seguindo a modulação inicialmente proposta da estrutura, as vigas secundárias que compõem o sistema de laje mista tipo Steel Deck terão 7200 mm de comprimento total e destravado, conforme é possível observar na Figura 36. Além disso, temos o detalhe da rótula que indica sua liberação de giro e, conseqüentemente, não há a transmissão de momentos, configurando assim uma condição de viga bi apoiada. Neste caso, apoiada sobre as vigas principais.

Figura 36 – Vista isométrica do módulo composto pelos eixos A-B e 1-2 com cota paralela à viga secundária



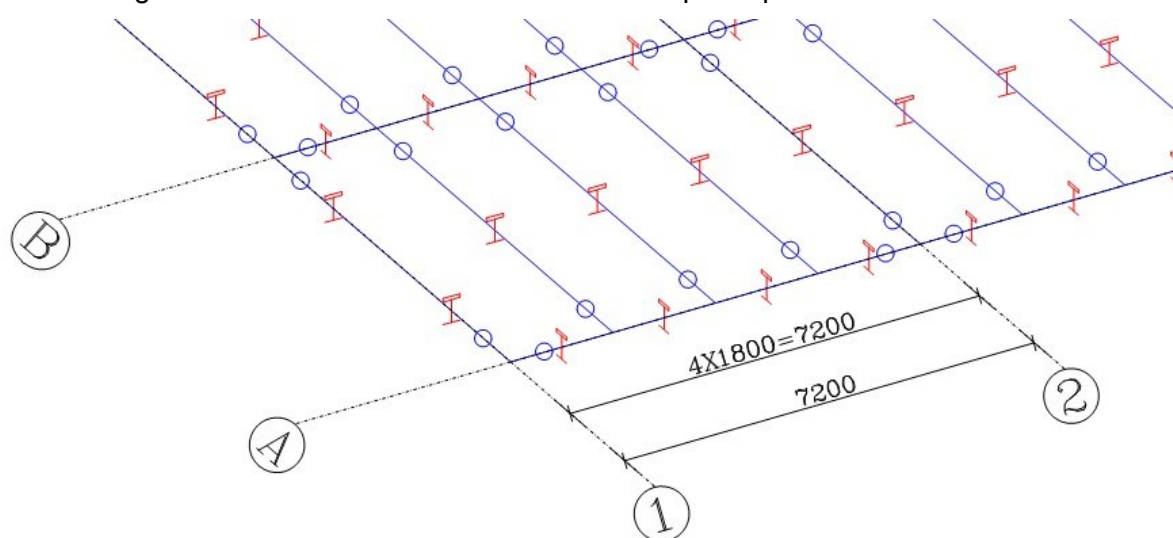
Fonte: Elaborado pelo Autor no SAE Strap 2009.

De acordo com um dimensionamento prévio realizado, a seção da viga secundária foi mantida em todos os modelos. O perfil adotado será o W 360 x 51, e a referência de catálogo é o “Perfis estruturais Gerdau: tabela de bitolas”, da Aço Minas Gerdau.

3.2.3 Vigas principais

Também de acordo com a modulação proposta inicialmente, tem-se as vigas principais com comprimento total de 7200 mm, embora estejam travadas nesta configuração a cada 1800 mm pelas vigas secundárias, conforme a Figura 37.

Figura 37 – Vista isométrica do módulo composto pelos eixos A-B e 2-3



Fonte: Elaborado pelo Autor no SAE Strap 2009.

Nota-se ainda, na Figura 37, que temos a indicação da interação das vigas principais com os pilares, que é constituída por uma rótula, em função da liberação de seu giro relativo quando submetida a carregamentos, não há transmitância do momento fletor dessa viga ao pilar.

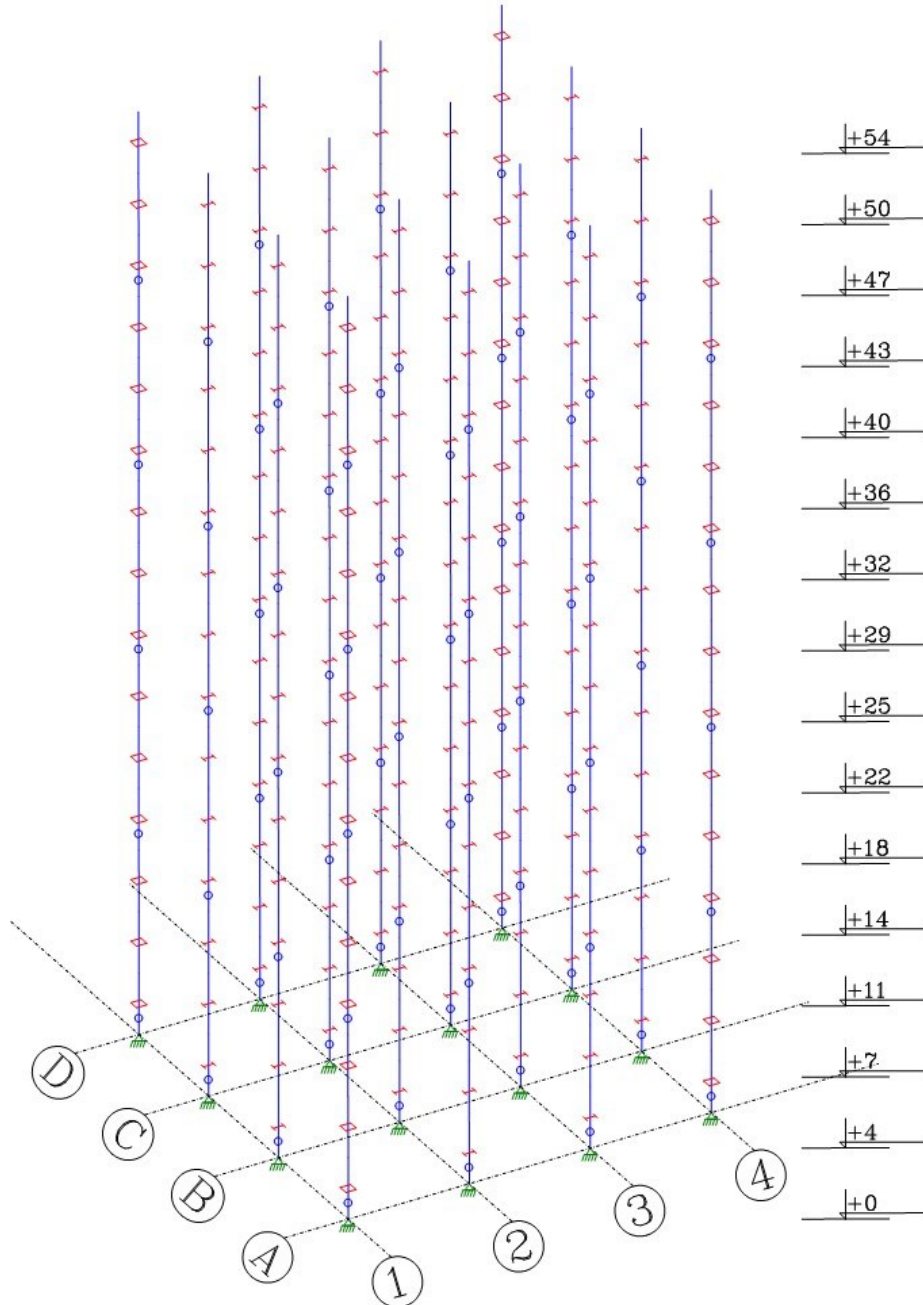
De acordo com um dimensionamento prévio, a seção da viga principal foi mantida em todos os modelos. O perfil adotado será o W 410 x 46,1, e a referência de catálogo é o “Perfis estruturais Gerdau: tabela de bitolas”, da Aço Minas Gerdau.

3.2.4 Pilares

Conforme é possível observar na Figura 38, temos o diagrama unifilar da estrutura demonstrando em função de um pequeno corte que os pilares de canto têm

seção tubular quadrada. Os outros pilares serão definidos em colunas soldadas. Todos os pilares ficaram alinhados com a alma na mesma direção.

Figura 38 – Diagrama unifilar dos pilares da estrutura



Fonte: Elaborado pelo Autor no SAE Strap 2009.

Todos os pilares foram otimizados após o lançamento do sistema de estabilidade na estrutura, mantendo apenas o tipo de seção, mas variando sua bitola. Outro ponto importante a ser ressaltado é que foram combinadas as barras a cada 3 pavimentos, formando assim 5 lances de pilares de 10800 mm. Para simular a ligação entre eles, considerou-se rótulas a cada lance, até completar a elevação total de 54000 mm, de acordo com a Figura 38.

A referência de catálogo para a verificação dos tubos estruturais quadrados utilizados nos pilares de canto do modelo é o da Vallourec Brasil. As seções disponíveis estão reproduzidas na Tabela 29 do Anexo Q, as quais foram admissíveis durante o dimensionamento dos elementos estruturais.

Na Tabela 30 do Anexo R, temos as seções que foram usadas na verificação e dimensionamento das colunas soldadas (CS) utilizadas nos pilares de face e centro dos modelos estudados.

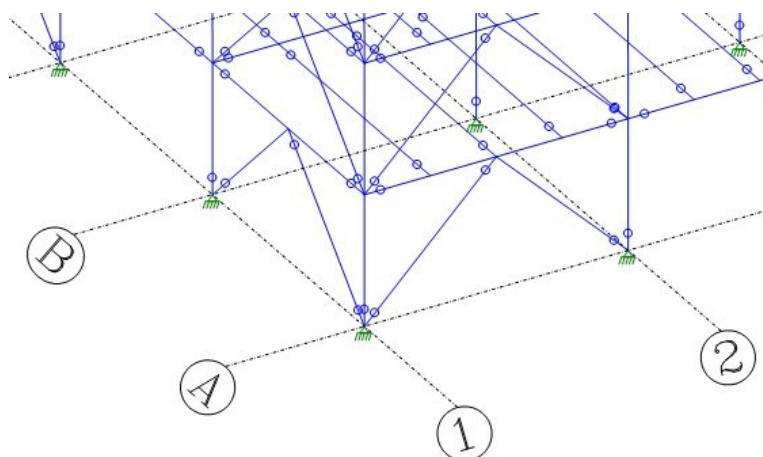
Os pilares ao longo de toda a elevação na intersecção dos eixos 2xB, 3xB, 2xC e 3xC, foram removidos no Modelo 04, em função da sobreposição com o núcleo rígido de concreto armado.

3.2.5 Contraventamentos

3.2.6.1 Barras de contraventamento

Para uma correta consideração do comportamento das barras utilizadas para contraventamentos nos modelos de cálculo estudados, foi necessário fazer liberações nas extremidades dessas barras, liberando, então, os momentos que podem ser escoados sobre elas, a fim de fazer com que tal barra trabalhe apenas com esforços de tração e compressão, o que caracteriza um Sistema Articulado Plano. A Figura 39 mostra essa configuração.

Figura 39 – Exemplo de lançamento de barras de contraventamentos



Fonte: Elaborado pelo Autor no SAE Strap 2009.

Ainda é necessário ressaltar que, em sistemas específicos como o *Chevron*, nos quais pode ocorrer o travamento de uma viga em seu meio, formando um novo

nó nesse elemento, uma das barras desse contraventamento deve ser liberada apenas na extremidade do pilar, para evitar que haja uma singularidade no processamento da estrutura, durante o cálculo da matriz de rigidez global, pois essa região apresentaria uma característica hipostática. Tal configuração é possível de ser observada nas barras de contraventamento da Figura 39.

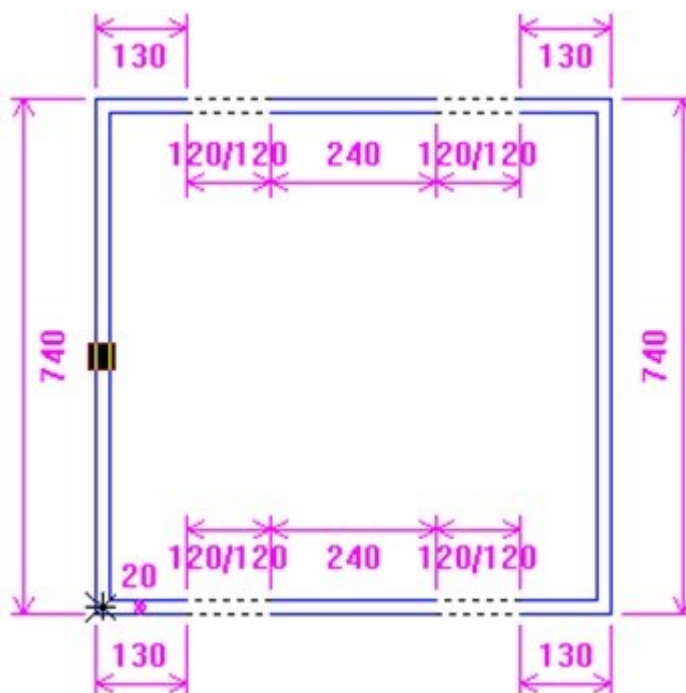
3.2.6.1.1 Verificação e dimensionamento dos contraventamentos em barras

As barras de contraventamento serão constituídas de tubos de seção circular, e passarão por otimização, mantendo sempre o tipo de seção, e alterando-se apenas sua bitola. O catálogo de referência para seções admissíveis durante o processo de verificação e dimensionamento é o da Vallourec Brasil. Tais seções estão organizadas na Tabela 31 do Anexo S.

3.2.6.2 Núcleo rígido

O lançamento de um núcleo rígido se inicia pela concepção da geometria de sua seção. Neste trabalho, a geometria adotada está representada na Figura 40.

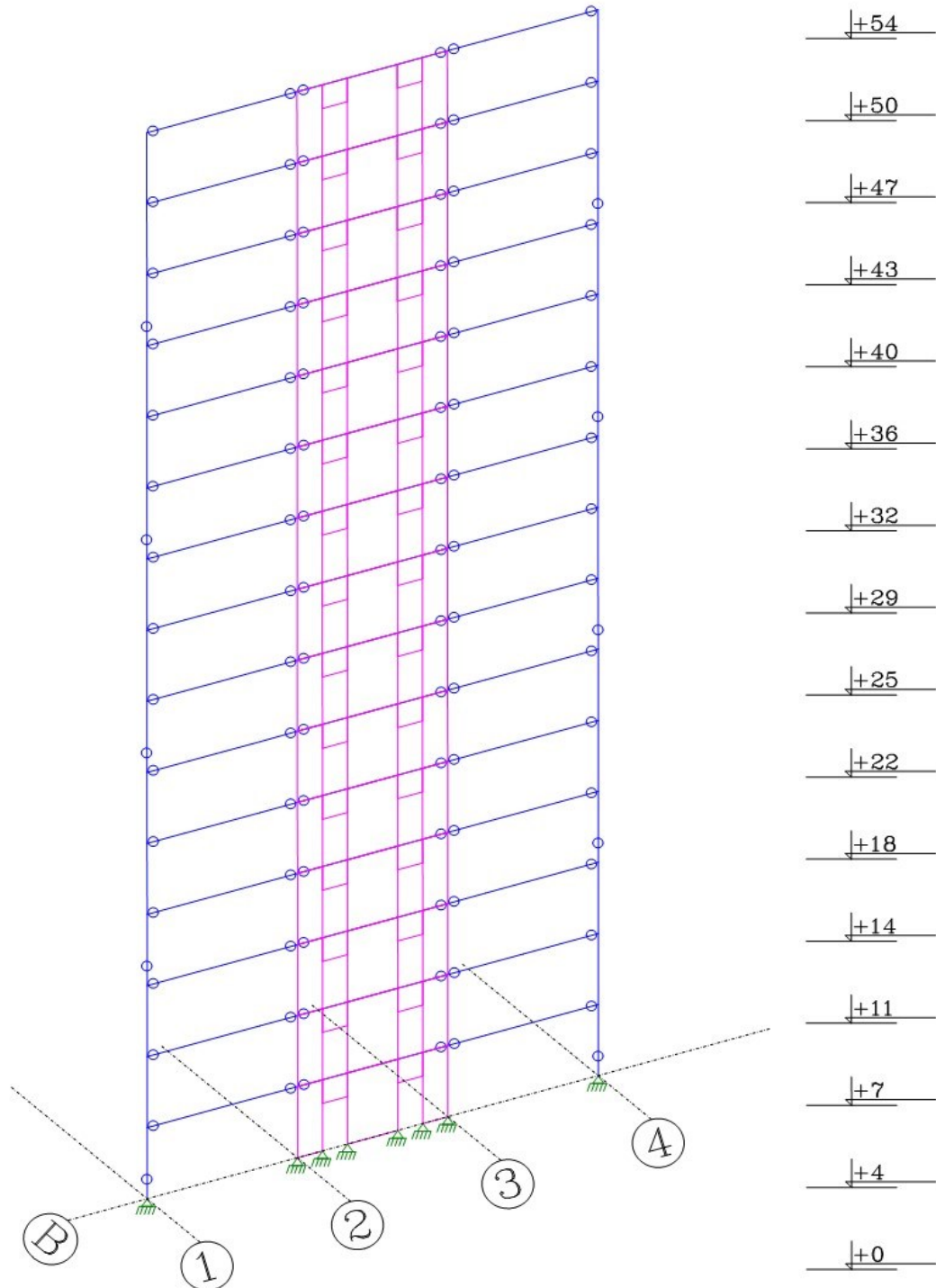
Figura 40 – Exemplo de seção adotada para lançamento do núcleo rígido



Fonte: Elaborado pelo Autor no SAE Strap 2009.

Posteriormente, realiza-se seu efetivo lançamento ao longo dos pavimentos, conforme pode ser observado na elevação da Figura 41.

Figura 41 – Elevação com lançamento do núcleo ao longo da estrutura no eixo B



Fonte: Elaborado pelo Autor no SAE Strap 2009.

A última consideração necessária para garantir um correto comportamento estrutural é criar um diafragma rígido entre a parede e os nós que formam o pavimento.

3.2.6.2.1 Verificação e dimensionamento do contraventamento em núcleo rígido de concreto armado

O dimensionamento das armaduras do núcleo rígido de concreto armado atendeu aos critérios e procedimentos estabelecidos pela NBR 6118:2014, sendo os seguintes parâmetros considerados para a definição dessas armaduras:

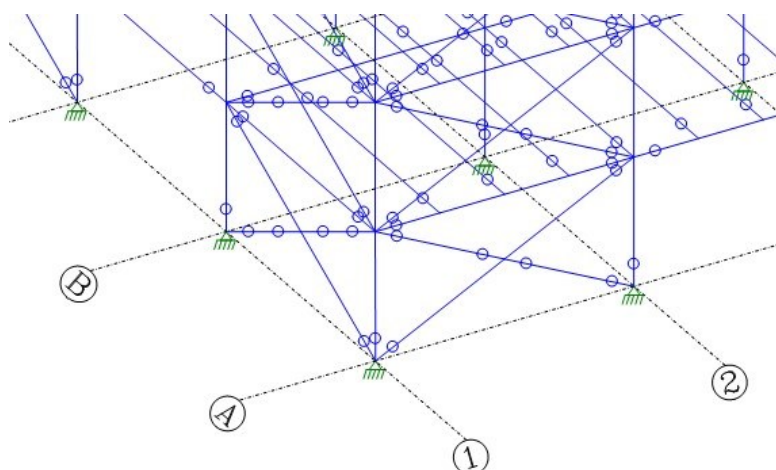
1. Norma considerada: Brasileira – NBR 6118/2014
2. f_{ck} do Concreto = 30 MPa
3. Cobrimento = 30 mm
4. Bitola mínima e máxima = 10 a 32 mm
5. Espaçamento ótimo = 100 mm.

3.2.6 Apoios

3.2.6.1 Modelo com contraventamentos em barras

Visando a uma melhor modelagem estrutural, nos modelos de cálculo que adotam contraventamentos em barras como solução (*Chevron [Delta]*, Em Cruz [X], *Outriggers e Belt Trusses*), foram considerados apoios do tipo engastado na base dos pilares que suportam a edificação; ou seja, há restrições de translação em x, y e z, e de giro em torno desses eixos. Foi considerada uma rótula no início da primeira barra que constitui o pilar, criando assim uma liberação de giro nas direções x e y. Na Figura 42, temos o exemplo e a representação de um apoio tipo engaste lançado em uma estrutura com contraventamentos em barras.

Figura 42 – Apoio engastado em estrutura com contraventamentos em barras

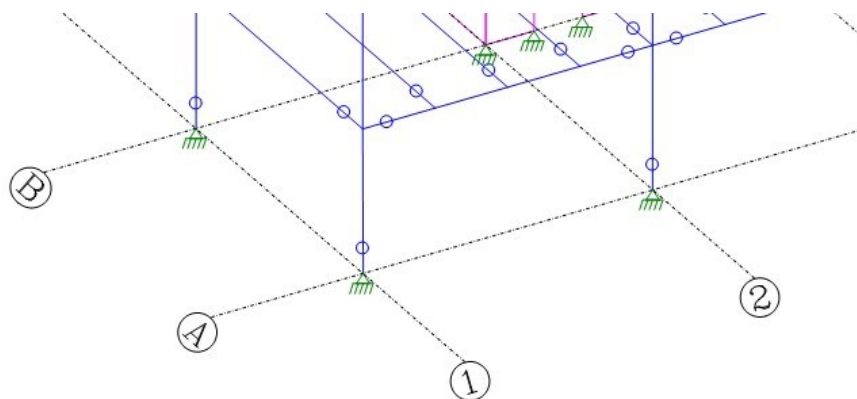


Fonte: Elaborado pelo Autor no SAE Strap 2009.

3.2.6.2 Modelos com núcleo rígido em concreto armado

Nos modelos de cálculo que adotam contraventamentos em núcleo rígido de concreto armado (núcleo rígido com vigas e pilares rotulados) como solução, também foram considerados apoios do tipo engastado na base dos pilares que suportam a edificação; ou seja, há restrições de translação em x, y e z, e ainda de giro em torno desses eixos. Foi considerada uma rótula no início da primeira barra que constitui o pilar, criando assim uma liberação de giro nas direções x e y. Na Figura 43, temos o exemplo e a representação de um apoio tipo articulado lançado em uma estrutura com contraventamentos em núcleo rígido de concreto armado.

Figura 43 – Apoios engastado em estrutura com contraventamentos em núcleo rígido de concreto armado



Fonte: Elaborado pelo Autor no SAE Strap 2009.

3.3 CARREGAMENTOS

3.3.1 Estáticos

Conforme é possível observar, na Tabela 4, temos a descrição dos carregamentos que foram aplicados de forma global aos modelos estudados.

Tabela 4 – Grupos de carga a serem lançados sobre a estrutura

| Nº | GRUPO DE CARGAS | ORIGEM | INTENSIDADE (KN/m ²) |
|----|-----------------------------|----------|------------------------------------|
| 1 | PESO PRÓPRIO + 10% LIGAÇÕES | MODELO | MODELO |
| 2 | PESO PRÓPRIO LAJE | NBR 6120 | 3,30 |
| 3 | CP PISO + INSTALAÇÕES | NBR 6120 | 1,50 |
| 4 | CP VEDAÇÃO | NBR 6120 | 2,30 |
| 5 | SC PISO + PAREDES VARIÁVEIS | NBR 6120 | 4.00 |
| 6 | VENTO 0° | NBR 6123 | COEF. DE ARRASTO - CALC. POR FAIXA |
| 7 | VENTO 90° | NBR 6123 | COEF. DE ARRASTO - CALC. POR FAIXA |
| 8 | VENTO 180° | NBR 6123 | COEF. DE ARRASTO - CALC. POR FAIXA |
| 9 | VENTO 270° | NBR 6123 | COEF. DE ARRASTO - CALC. POR FAIXA |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O peso próprio da laje, bem como as cargas permanentes do piso com suas instalações, e a sobrecarga de piso com acréscimo de paredes variáveis, foram dissipadas primariamente sob as vigas secundárias, as quais transferiram por meio de suas reações até as vigas principais, que, por fim, transmitiram esses esforços até os pilares.

Já a carga permanente de vedação foi configurada para atuar dissipando diretamente sobre os pilares, simulando uma configuração de vedação paineirizada, ou pele de vidro, por exemplo, bem comuns nos edifícios modernos de aço, que, em geral, têm sua estrutura de suporte diretamente ligada aos pilares.

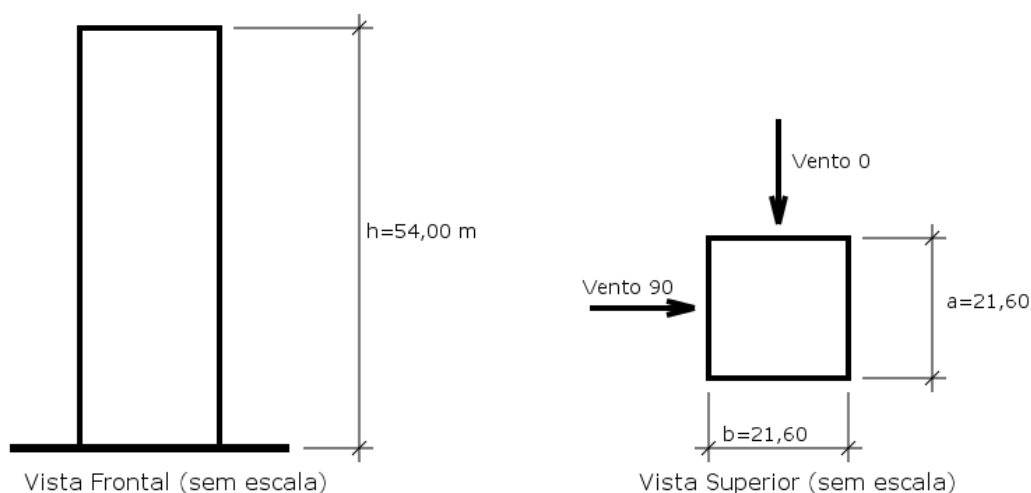
3.3.2 Dinâmico (vento)

Para edifícios de múltiplos andares, deve-se conceber as cargas de vento majoradas pelo método do coeficiente de arrasto, conforme recomenda a NBR 6123:1988. As cargas foram calculadas por faixas de 3600 mm, ou seja, pelo eixo de cada pavimento. Como forma de apoio, foi utilizado o *software* Ciclone 5.0.1. O relatório é o seguinte:

3.3.2.1 Dados relativos à geometria

- $a=21,60$ m (maior dimensão em planta)
- $b=21,60$ m (menor dimensão em planta)
- $h=54,00$ m (altura do edifício)

Figura 44 – Geometria da edificação para dimensionamento das cargas de vento pelo método do coeficiente de arrasto



Fonte: Elaborado pelo Autor no Ciclone 5.0.1.

3.3.2.2 Dados relativos ao vento

- Velocidade básica adotada: $V_0 = 45,00$ m/s
- Fator topográfico (S1): 1,00
- Fator estatístico (S3): 1,00

Tabela 5 – Fator de rugosidade do terreno e dimensões da edificação (S2)

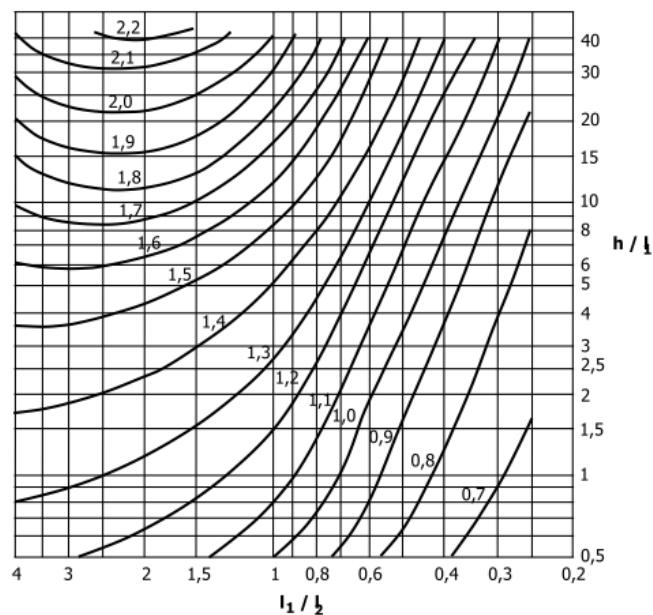
| Altura | Vento 0° | Vento 90° |
|-----------------|----------|-----------|
| 0,00 - 3,60 m | 0,786 | 0,786 |
| 3,60 - 7,20 m | 0,851 | 0,851 |
| 7,20 - 10,80 m | 0,891 | 0,891 |
| 10,80 - 14,40 m | 0,921 | 0,921 |
| 14,40 - 18,00 m | 0,945 | 0,945 |
| 18,00 - 21,60 m | 0,965 | 0,965 |
| 21,60 - 25,20 m | 0,983 | 0,983 |
| 25,20 - 28,80 m | 0,998 | 0,998 |
| 28,80 - 32,40 m | 1,011 | 1,011 |
| 32,40 - 36,00 m | 1,024 | 1,024 |
| 36,00 - 39,60 m | 1,035 | 1,035 |
| 39,60 - 43,20 m | 1,045 | 1,045 |
| 43,20 - 46,80 m | 1,055 | 1,055 |
| 46,80 - 50,40 m | 1,064 | 1,064 |
| 50,40 - 54,00 m | 1,073 | 1,073 |

Fonte: Elaborado pelo Autor com apoio do Ciclone 5.0.1.

3.3.2.3 Coeficiente de arrasto

Para determinar o coeficiente de arrasto, utiliza-se o ábaco da Figura 45.

Figura 45 – Ábaco para determinação do coeficiente de arrasto



Fonte: Reproduzido do Ciclone 5.0.1. / NBR 6123:2013

3.3.2.3.1 Vento 0° (perpendicular à menor dimensão em planta - b)

$$l1 / l2 = b / a = 21,60 / 21,60 = 1,00$$

$$h / l1 = h / b = 54,00 / 21,60 = 2,50$$

$$Ca = 1,30$$

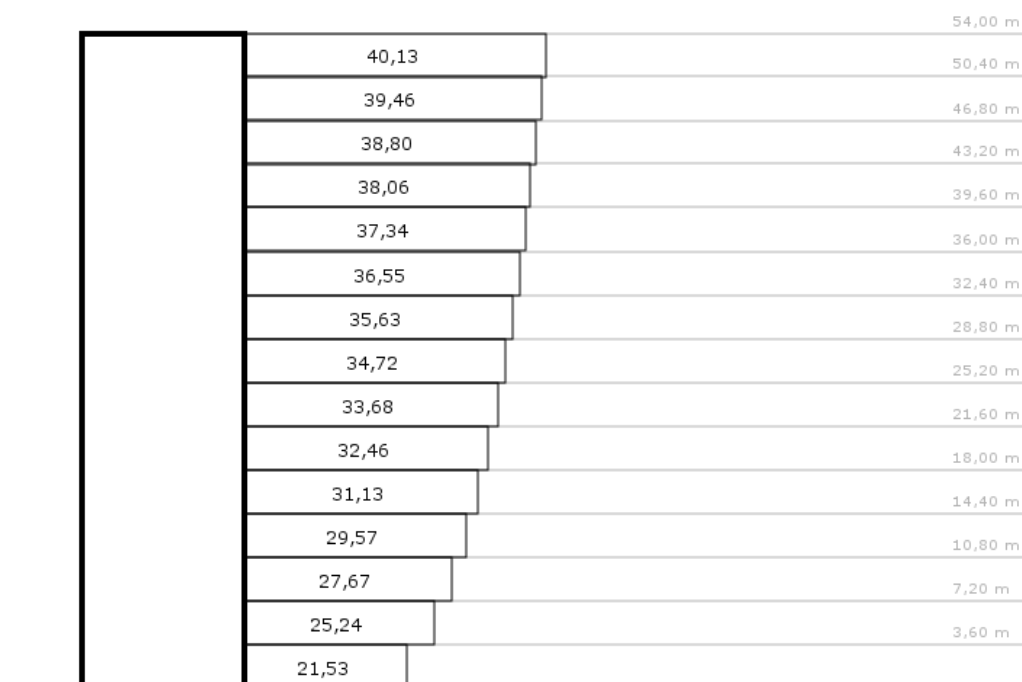
Tabela 6 – Cargas de vento dimensionadas e corrigidas pelo coeficiente de arrasto (Ca) provenientes de Vento a 0°

| Altura | Vk (m/s) | q (KN/m ²) | qeq (KN/m) |
|-----------------|----------|------------------------|------------|
| 0,00 - 3,60 m | 35,37 | 0,77 | 16,56 |
| 3,60 - 7,20 m | 38,3 | 0,9 | 19,42 |
| 7,20 - 10,80 m | 40,09 | 0,99 | 21,29 |
| 10,80 - 14,40 m | 41,45 | 1,05 | 22,74 |
| 14,40 - 18,00 m | 42,52 | 1,11 | 23,94 |
| 18,00 - 21,60 m | 43,42 | 1,16 | 24,97 |
| 21,60 - 25,20 m | 44,23 | 1,2 | 25,91 |
| 25,20 - 28,80 m | 44,91 | 1,24 | 26,71 |
| 28,80 - 32,40 m | 45,49 | 1,27 | 27,41 |
| 32,40 - 36,00 m | 46,08 | 1,3 | 28,12 |
| 36,00 - 39,60 m | 46,57 | 1,33 | 28,72 |
| 39,60 - 43,20 m | 47,02 | 1,36 | 29,28 |
| 43,20 - 46,80 m | 47,47 | 1,38 | 29,84 |
| 46,80 - 50,40 m | 47,88 | 1,41 | 30,35 |
| 50,40 - 54,00 m | 48,28 | 1,43 | 30,87 |

Sendo: $V_k = V_0 S_1 S_2 S_3$; $q = 0,613 V^2$ (N/m²); $q_{eq} = q b$ (N/m)

Fonte: Elaborado pelo Autor com apoio do Ciclone 5.0.1.

Figura 46 – Cargas resultantes de Vento 0° por faixa na estrutura em função da altura do pavimento, já corrigidas com o coeficiente de arrasto



Fonte: Elaborado pelo Autor no Ciclone 5.0.1.

Força resultante de arrasto para Vento 0°.

$$Fa = (21,53) 3,60 + (25,24) 3,60 + (27,67) 3,60 + (29,57) 3,60 + (31,13) 3,60 + (32,46) 3,60 + (33,68) 3,60 + (34,72) 3,60 + (35,63) 3,60 + (36,55) 3,60 + (37,34) 3,60 + (38,06) 3,60 + (38,80) 3,60 + (39,46) 3,60 + (40,13) 3,60$$

$$Fa = 1807,1 \text{ KN}$$

Momento torçor resultante de arrasto para Vento 0°.

$$Mt = (21,53) (3,60) 1,80 + (25,24) (3,60) 5,40 + (27,67) (3,60) 9,00 + (29,57) (3,60) 12,60 + (31,13) (3,60) 16,20 + (32,46) (3,60) 19,80 + (33,68) (3,60) 23,40 + (34,72) (3,60) 27,00 + (35,63) (3,60) 30,60 + (36,55) (3,60) 34,20 + (37,34) (3,60) 37,80 + (38,06) (3,60) 41,40 + (38,80) (3,60) 45,00 + (39,46) (3,60) 48,60 + (40,13) (3,60) 52,20$$

$$Mt = 53118,7 \text{ KNm}$$

3.3.2.3.1 Vento 90° (perpendicular à maior dimensão em planta - b)

$$l1 / l2 = b / a = 21,60 / 21,60 = 1,00$$

$$h / l1 = h / b = 54,00 / 21,60 = 2,50$$

$$Ca = 1,30$$

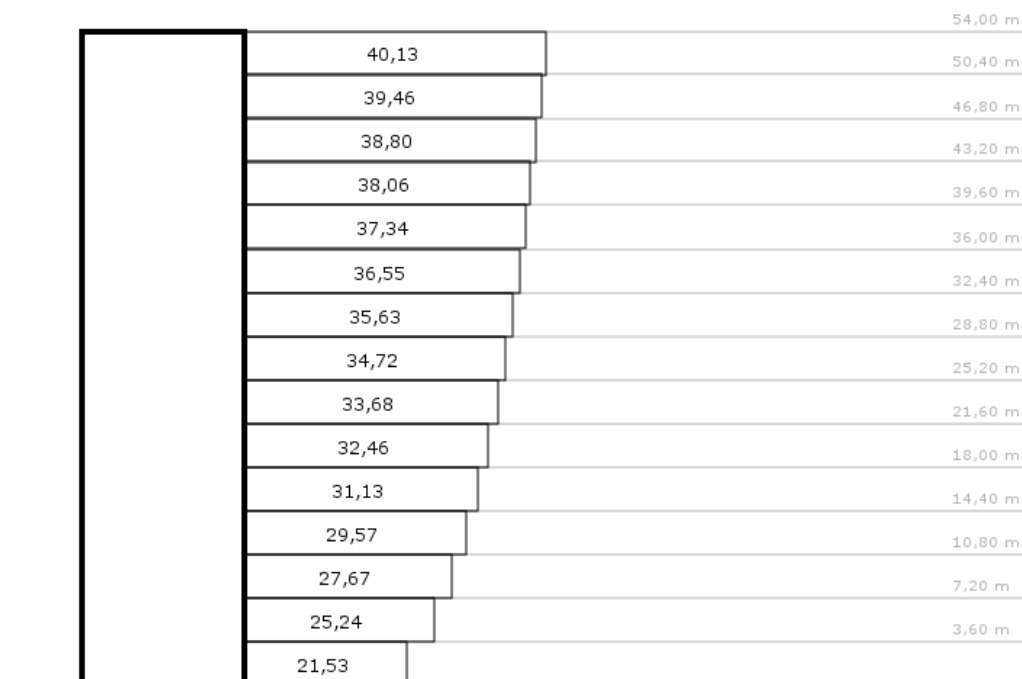
Tabela 7 – Cargas de vento dimensionadas e corrigidas pelo coeficiente de arrasto (Ca) provenientes de Vento a 90°

| Altura | Vk (m/s) | q (KN/m ²) | qeq (KN/m) |
|-----------------|----------|------------------------|------------|
| 0,00 - 3,60 m | 35,37 | 0,77 | 16,56 |
| 3,60 - 7,20 m | 38,3 | 0,9 | 19,42 |
| 7,20 - 10,80 m | 40,09 | 0,99 | 21,29 |
| 10,80 - 14,40 m | 41,45 | 1,05 | 22,74 |
| 14,40 - 18,00 m | 42,52 | 1,11 | 23,94 |
| 18,00 - 21,60 m | 43,42 | 1,16 | 24,97 |
| 21,60 - 25,20 m | 44,23 | 1,2 | 25,91 |
| 25,20 - 28,80 m | 44,91 | 1,24 | 26,71 |
| 28,80 - 32,40 m | 45,49 | 1,27 | 27,41 |
| 32,40 - 36,00 m | 46,08 | 1,3 | 28,12 |
| 36,00 - 39,60 m | 46,57 | 1,33 | 28,72 |
| 39,60 - 43,20 m | 47,02 | 1,36 | 29,28 |
| 43,20 - 46,80 m | 47,47 | 1,38 | 29,84 |
| 46,80 - 50,40 m | 47,88 | 1,41 | 30,35 |
| 50,40 - 54,00 m | 48,28 | 1,43 | 30,87 |

Sendo: $V_k = V_0 S_1 S_2 S_3$; $q = 0,613 V^2$ (N/m²); $q_{eq} = q b$ (N/m)

Fonte: Elaborado pelo Autor com apoio do Ciclone 5.0.1.

Figura 47 – Cargas resultantes de Vento 90° por faixa na estrutura em função da altura do pavimento, já corrigidas com o coeficiente de arrasto



Fonte: Elaborado pelo Autor no Ciclone 5.0.1.

Força resultante de arrasto para Vento 0°.

$$Fa = (21,53) 3,60 + (25,24) 3,60 + (27,67) 3,60 + (29,57) 3,60 + (31,13) 3,60 + (32,46) 3,60 + (33,68) 3,60 + (34,72) 3,60 + (35,63) 3,60 + (36,55) 3,60 + (37,34) 3,60 + (38,06) 3,60 + (38,80) 3,60 + (39,46) 3,60 + (40,13) 3,60$$

$$Fa = 1807,1 \text{ KN}$$

Momento torçor resultante de arrasto para Vento 0°.

$$Mt = (21,53) (3,60) 1,80 + (25,24) (3,60) 5,40 + (27,67) (3,60) 9,00 + (29,57) (3,60) 12,60 + (31,13) (3,60) 16,20 + (32,46) (3,60) 19,80 + (33,68) (3,60) 23,40 + (34,72) (3,60) 27,00 + (35,63) (3,60) 30,60 + (36,55) (3,60) 34,20 + (37,34) (3,60) 37,80 + (38,06) (3,60) 41,40 + (38,80) (3,60) 45,00 + (39,46) (3,60) 48,60 + (40,13) (3,60) 52,20$$

$$Mt = 53118,7 \text{ KNm}$$

3.3.3 Combinações adotadas

Observando a Tabela 8, podemos ver os coeficientes considerados para criar as combinações de Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS) que serão consideradas nas verificações, dimensionamento e simulação dos arranjos estruturais propostos. As resultado das combinações são baseados no produto dos coeficientes com as cargas dispostas na Tabela 4.

Tabela 8 – Combinações de cargas a serem consideradas para análise da estrutura

| COMBINAÇÃO | TIPO | SOMATÓRIO DO GRUPO DE CARGA X COEFICIENTE |
|------------|------|--|
| COMB. 1 | ELU | 1 *1.25+ 2 *1.25+ 3 *1.35+ 4 *1.35+ 5 *1.50 |
| COMB. 2 | ELU | 1 *1.25+ 2 *1.25+ 3 *1.35+ 4 *1.35+ 5 *1.50+ 6 *0.84 |
| COMB. 3 | ELU | 1 *1.25+ 2 *1.25+ 3 *1.35+ 4 *1.35+ 5 *1.50+ 7 *0.84 |
| COMB. 4 | ELU | 1 *1.25+ 2 *1.25+ 3 *1.35+ 4 *1.35+ 5 *1.50+ 8 *0.84 |
| COMB. 5 | ELU | 1 *1.25+ 2 *1.25+ 3 *1.35+ 4 *1.35+ 5 *1.50+ 9 *0.84 |
| COMB. 6 | ELS | 1 *1.25+ 2 *1.25+ 3 *1.35+ 4 *1.35+ 5 *1.05+ 6 *1.40 |
| COMB. 7 | ELS | 1 *1.25+ 2 *1.25+ 3 *1.35+ 4 *1.35+ 5 *1.05+ 7 *1.40 |
| COMB. 8 | ELS | 1 *1.25+ 2 *1.25+ 3 *1.35+ 4 *1.35+ 5 *1.05+ 8 *1.40 |
| COMB. 9 | ELS | 1 *1.25+ 2 *1.25+ 3 *1.35+ 4 *1.35+ 5 *1.05+ 9 *1.40 |
| COMB. 10 | ELS | 1 *1.00+ 2 *1.00+ 3 *1.00+ 4 *1.00+ 6 *1.40 |
| COMB. 11 | ELS | 1 *1.00+ 2 *1.00+ 3 *1.00+ 4 *1.00+ 7 *1.40 |
| COMB. 12 | ELS | 1 *1.00+ 2 *1.00+ 3 *1.00+ 4 *1.00+ 8 *1.40 |
| COMB. 13 | ELS | 1 *1.00+ 2 *1.00+ 3 *1.00+ 4 *1.00+ 9 *1.40 |

Sendo: 1 - PESO PRÓPRIO + 10% LIGAÇÕES, 2 - PESO PRÓPRIO LAJE, 3 - CP PISO + INSTALAÇÕES, 4 - CP VEDAÇÃO, 5 - SC PISO + PAREDES VARIÁVEIS, 6 - VENTO 0°, 7 - VENTO 90°, 8 - VENTO 180° e 9 - VENTO 270°.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESLOCAMENTOS MÁXIMOS POR COMBINAÇÃO (DMPC)

4.1.1 DMPC: Modelo 01 – Chevron (Delta)

A Tabela 9 mostra a leitura dos deslocamentos máximos obtidos em função das combinações determinantes, 9 na direção X e 10 na direção Y, do Modelo 01.

Tabela 9 – Deslocamentos máximos por combinação – Modelo 01 (Chevron)

| TIPO DE LEITURA | PAVIMENTO | DIREÇÃO | ENTRE NÓS | COMBINAÇÃO | DESLOCAMENTO (mm) |
|-----------------|-----------|---------|-----------|------------|-------------------|
| VARIAÇÃO | 1 | X | 1-2 | 9 | 3,97608 |
| VARIAÇÃO | 2 | X | 2-3 | 9 | 5,09745 |
| VARIAÇÃO | 3 | X | 3-4 | 9 | 6,03624 |
| VARIAÇÃO | 4 | X | 4-5 | 9 | 7,05531 |
| VARIAÇÃO | 5 | X | 5-6 | 9 | 7,86722 |
| VARIAÇÃO | 6 | X | 6-7 | 9 | 8,49065 |
| VARIAÇÃO | 7 | X | 7-8 | 9 | 9,05912 |
| VARIAÇÃO | 8 | X | 8-9 | 9 | 9,50745 |
| VARIAÇÃO | 9 | X | 9-10 | 9 | 9,77004 |
| VARIAÇÃO | 10 | X | 10-11 | 9 | 9,94429 |
| VARIAÇÃO | 11 | X | 11-12 | 9 | 9,97899 |
| VARIAÇÃO | 12 | X | 12-13 | 9 | 9,85679 |
| VARIAÇÃO | 13 | X | 13-14 | 9 | 9,69105 |
| VARIAÇÃO | 14 | X | 14-15 | 9 | 9,35705 |
| VARIAÇÃO | 15 | X | 15-16 | 9 | 8,97609 |
| VARIAÇÃO | 1 | Y | 1-2 | 10 | 3,89370 |
| VARIAÇÃO | 2 | Y | 2-3 | 10 | 5,12047 |
| VARIAÇÃO | 3 | Y | 3-4 | 10 | 6,11614 |
| VARIAÇÃO | 4 | Y | 4-5 | 10 | 7,03753 |
| VARIAÇÃO | 5 | Y | 5-6 | 10 | 7,89874 |
| VARIAÇÃO | 6 | Y | 6-7 | 10 | 8,53905 |
| VARIAÇÃO | 7 | Y | 7-8 | 10 | 9,07608 |
| VARIAÇÃO | 8 | Y | 8-9 | 10 | 9,54422 |
| VARIAÇÃO | 9 | Y | 9-10 | 10 | 9,80675 |
| VARIAÇÃO | 10 | Y | 10-11 | 10 | 9,97684 |
| VARIAÇÃO | 11 | Y | 11-12 | 10 | 10,01505 |
| VARIAÇÃO | 12 | Y | 12-13 | 10 | 9,88706 |
| VARIAÇÃO | 13 | Y | 13-14 | 10 | 9,72252 |
| VARIAÇÃO | 14 | Y | 14-15 | 10 | 9,38490 |
| VARIAÇÃO | 15 | Y | 15-16 | 10 | 8,99688 |
| VARIAÇÃO | GLOBAL | X | 1-16 | 9 | 124,66382 |
| VARIAÇÃO | GLOBAL | Y | 1-16 | 10 | 125,01593 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir do limite de deslocamento lateral de 135 mm (H/400, sendo H a altura total da edificação, 54000 mm) estabelecido pela NBR 8800:2008, e os dados da Tabela 9, temos o seguinte:

- Na direção X tivemos 124,66 mm de deslocamento horizontal, atingindo cerca de 92,34% do limite normatizado;
- Na direção Y, obtivemos 125,02 mm de deslocamento horizontal, atingindo cerca de 92,61% do limite normatizado;
- Portanto o arranjo estrutural do Modelo 01 atende a limite H/400 plenamente em ambas as direções.

4.1.2 DMPC: Modelo 02 – Em Cruz (X)

A Tabela 10 mostra a leitura dos deslocamentos máximos obtidos em função das combinações determinantes, 7 na direção X e 6 na direção Y, do Modelo 02.

Tabela 10 – Deslocamentos máximos por combinação – Modelo 02 (Em Cruz)

| TIPO DE LEITURA | PAVIMENTO | DIREÇÃO | ENTRE NÓS | COMBINAÇÃO | DESLOCAMENTO (mm) |
|------------------------|------------------|----------------|------------------|-------------------|--------------------------|
| VARIAÇÃO | 1 | X | 1-2 | 7 | -4,62782 |
| VARIAÇÃO | 2 | X | 2-3 | 7 | -5,79236 |
| VARIAÇÃO | 3 | X | 3-4 | 7 | -6,73873 |
| VARIAÇÃO | 4 | X | 4-5 | 7 | -7,76623 |
| VARIAÇÃO | 5 | X | 5-6 | 7 | -8,55858 |
| VARIAÇÃO | 6 | X | 6-7 | 7 | -9,14484 |
| VARIAÇÃO | 7 | X | 7-8 | 7 | -9,76330 |
| VARIAÇÃO | 8 | X | 8-9 | 7 | -10,19981 |
| VARIAÇÃO | 9 | X | 9-10 | 7 | -10,44491 |
| VARIAÇÃO | 10 | X | 10-11 | 7 | -10,67160 |
| VARIAÇÃO | 11 | X | 11-12 | 7 | -10,70851 |
| VARIAÇÃO | 12 | X | 12-13 | 7 | -10,59105 |
| VARIAÇÃO | 13 | X | 13-14 | 7 | -10,45024 |
| VARIAÇÃO | 14 | X | 14-15 | 7 | -10,14140 |
| VARIAÇÃO | 15 | X | 15-16 | 7 | -9,78673 |
| VARIAÇÃO | 1 | Y | 1-2 | 6 | 4,67504 |
| VARIAÇÃO | 2 | Y | 2-3 | 6 | 5,70306 |
| VARIAÇÃO | 3 | Y | 3-4 | 6 | 6,56192 |
| VARIAÇÃO | 4 | Y | 4-5 | 6 | 7,66300 |
| VARIAÇÃO | 5 | Y | 5-6 | 6 | 8,41629 |
| VARIAÇÃO | 6 | Y | 6-7 | 6 | 8,99416 |
| VARIAÇÃO | 7 | Y | 7-8 | 6 | 9,65171 |
| VARIAÇÃO | 8 | Y | 8-9 | 6 | 10,08268 |
| VARIAÇÃO | 9 | Y | 9-10 | 6 | 10,33950 |
| VARIAÇÃO | 10 | Y | 10-11 | 6 | 10,58282 |
| VARIAÇÃO | 11 | Y | 11-12 | 6 | 10,62769 |
| VARIAÇÃO | 12 | Y | 12-13 | 6 | 10,52337 |
| VARIAÇÃO | 13 | Y | 13-14 | 6 | 10,38729 |

| TIPO DE LEITURA | PAVIMENTO | DIREÇÃO | ENTRE NÓS | COMBINAÇÃO | DESLOCAMENTO (mm) |
|------------------------|------------------|----------------|------------------|-------------------|--------------------------|
| VARIAÇÃO | 14 | Y | 14-15 | 6 | 10,08460 |
| VARIAÇÃO | 15 | Y | 15-16 | 6 | 9,73458 |
| VARIAÇÃO | GLOBAL | X | 1-16 | 7 | -135,38611 |
| VARIAÇÃO | GLOBAL | Y | 1-16 | 6 | 134,02771 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir do limite de deslocamento lateral de 135 mm (H/400, sendo H a altura total da edificação, 54000 mm) estabelecido pela NBR 8800:2008, e os dados da Tabela 10, temos o seguinte:

- Na direção X tivemos -135,39 mm de deslocamento horizontal, atingindo cerca de 100,29% do limite normatizado;
- Na direção Y, obtivemos 134,03 mm de deslocamento horizontal, atingindo cerca de 99,28% do limite normatizado;
- O arranjo estrutural do Modelo 02 atende a limite H/400 plenamente apenas na direção Y, foi aceita uma tolerância de 0,29% na direção X, portanto o limite H/400 foi atingido com ressalvas.

4.1.3 DMPC: Modelo 03 – *Outriggers e Belt Trusses*

A Tabela 11 mostra a leitura dos deslocamentos máximos obtidos em função das combinações determinantes, 7 na direção X e 8 na direção Y, do Modelo 03.

Tabela 11 – Deslocamentos máximos por combinação – Modelo 03 (*Outriggers e Belt Trusses*)

| TIPO DE LEITURA | PAVIMENTO | DIREÇÃO | ENTRE NÓS | COMBINAÇÃO | DESLOCAMENTO (mm) |
|------------------------|------------------|----------------|------------------|-------------------|--------------------------|
| VARIAÇÃO | 1 | X | 1-2 | 7 | -4,38160 |
| VARIAÇÃO | 2 | X | 2-3 | 7 | -5,92836 |
| VARIAÇÃO | 3 | X | 3-4 | 7 | -7,21293 |
| VARIAÇÃO | 4 | X | 4-5 | 7 | -8,42675 |
| VARIAÇÃO | 5 | X | 5-6 | 7 | -9,58954 |
| VARIAÇÃO | 6 | X | 6-7 | 7 | -10,44174 |
| VARIAÇÃO | 7 | X | 7-8 | 7 | -11,10302 |
| VARIAÇÃO | 8 | X | 8-9 | 7 | -11,58509 |
| VARIAÇÃO | 9 | X | 9-10 | 7 | -11,71911 |
| VARIAÇÃO | 10 | X | 10-11 | 7 | -11,61846 |
| VARIAÇÃO | 11 | X | 11-12 | 7 | -11,08534 |
| VARIAÇÃO | 12 | X | 12-13 | 7 | -10,22148 |
| VARIAÇÃO | 13 | X | 13-14 | 7 | -9,17974 |
| VARIAÇÃO | 14 | X | 14-15 | 7 | -7,46160 |
| VARIAÇÃO | 15 | X | 15-16 | 7 | -2,35248 |
| VARIAÇÃO | 1 | Y | 1-2 | 8 | -4,49444 |
| VARIAÇÃO | 2 | Y | 2-3 | 8 | -5,87060 |

| TIPO DE LEITURA | PAVIMENTO | DIREÇÃO | ENTRE NÓS | COMBINAÇÃO | DESLOCAMENTO (mm) |
|------------------------|------------------|----------------|------------------|-------------------|--------------------------|
| VARIAÇÃO | 3 | Y | 3-4 | 8 | -7,04098 |
| VARIAÇÃO | 4 | Y | 4-5 | 8 | -8,36538 |
| VARIAÇÃO | 5 | Y | 5-6 | 8 | -9,40591 |
| VARIAÇÃO | 6 | Y | 6-7 | 8 | -10,18742 |
| VARIAÇÃO | 7 | Y | 7-8 | 8 | -10,84650 |
| VARIAÇÃO | 8 | Y | 8-9 | 8 | -11,24435 |
| VARIAÇÃO | 9 | Y | 9-10 | 8 | -11,32475 |
| VARIAÇÃO | 10 | Y | 10-11 | 8 | -11,15369 |
| VARIAÇÃO | 11 | Y | 11-12 | 8 | -10,53090 |
| VARIAÇÃO | 12 | Y | 12-13 | 8 | -9,59737 |
| VARIAÇÃO | 13 | Y | 13-14 | 8 | -8,44912 |
| VARIAÇÃO | 14 | Y | 14-15 | 8 | -6,62230 |
| VARIAÇÃO | 15 | Y | 15-16 | 8 | -1,03569 |
| VARIAÇÃO | GLOBAL | X | 1-16 | 7 | -132,30724 |
| VARIAÇÃO | GLOBAL | Y | 1-16 | 8 | -126,16940 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir do limite de deslocamento lateral de 135 mm (H/400, sendo H a altura total da edificação, 54000 mm) estabelecido pela NBR 8800:2008, e os dados da Tabela 11, temos o seguinte:

- Na direção X tivemos -132,31 mm de deslocamento horizontal, atingindo cerca de 98,01% do limite normatizado
- Na direção Y, obtivemos -126,17 mm de deslocamento horizontal, atingindo cerca de 93,45% do limite normatizado.
- Portanto o arranjo estrutural do Modelo 03 atende a limite H/400 plenamente em ambas as direções.

4.1.4 DMPC: Modelo 04 – Núcleo rígido de concreto armado

A Tabela 12 mostra a leitura dos deslocamentos máximos obtidos em função das combinações determinantes, 9 na direção X e 8 na direção Y, do Modelo 04.

Tabela 12 – Deslocamentos máximos por combinação – Modelo 04 (Núcleo Rígido)

| TIPO DE LEITURA | PAVIMENTO | DIREÇÃO | ENTRE NÓS | COMBINAÇÃO | DESLOCAMENTO (mm) |
|------------------------|------------------|----------------|------------------|-------------------|--------------------------|
| VARIAÇÃO | 1 | X | 1-2 | 9 | 1,17659 |
| VARIAÇÃO | 2 | X | 2-3 | 9 | 2,25262 |
| VARIAÇÃO | 3 | X | 3-4 | 9 | 2,84654 |
| VARIAÇÃO | 4 | X | 4-5 | 9 | 3,30885 |
| VARIAÇÃO | 5 | X | 5-6 | 9 | 3,65854 |
| VARIAÇÃO | 6 | X | 6-7 | 9 | 3,92679 |
| VARIAÇÃO | 7 | X | 7-8 | 9 | 4,14012 |
| VARIAÇÃO | 8 | X | 8-9 | 9 | 4,28066 |

| TIPO DE LEITURA | PAVIMENTO | DIREÇÃO | ENTRE NÓS | COMBINAÇÃO | DESLOCAMENTO (mm) |
|------------------------|------------------|----------------|------------------|-------------------|--------------------------|
| VARIAÇÃO | 9 | X | 9-10 | 9 | 4,36634 |
| VARIAÇÃO | 10 | X | 10-11 | 9 | 4,41611 |
| VARIAÇÃO | 11 | X | 11-12 | 9 | 4,41147 |
| VARIAÇÃO | 12 | X | 12-13 | 9 | 4,37247 |
| VARIAÇÃO | 13 | X | 13-14 | 9 | 4,32100 |
| VARIAÇÃO | 14 | X | 14-15 | 9 | 4,23516 |
| VARIAÇÃO | 15 | X | 15-16 | 9 | 4,14013 |
| VARIAÇÃO | 1 | Y | 1-2 | 8 | -0,78111 |
| VARIAÇÃO | 2 | Y | 2-3 | 8 | -1,66723 |
| VARIAÇÃO | 3 | Y | 3-4 | 8 | -2,41095 |
| VARIAÇÃO | 4 | Y | 4-5 | 8 | -3,04527 |
| VARIAÇÃO | 5 | Y | 5-6 | 8 | -3,55686 |
| VARIAÇÃO | 6 | Y | 6-7 | 8 | -3,97175 |
| VARIAÇÃO | 7 | Y | 7-8 | 8 | -4,31127 |
| VARIAÇÃO | 8 | Y | 8-9 | 8 | -4,56931 |
| VARIAÇÃO | 9 | Y | 9-10 | 8 | -4,76180 |
| VARIAÇÃO | 10 | Y | 10-11 | 8 | -4,90251 |
| VARIAÇÃO | 11 | Y | 11-12 | 8 | -4,98585 |
| VARIAÇÃO | 12 | Y | 12-13 | 8 | -5,02835 |
| VARIAÇÃO | 13 | Y | 13-14 | 8 | -5,04686 |
| VARIAÇÃO | 14 | Y | 14-15 | 8 | -5,03531 |
| VARIAÇÃO | 15 | Y | 15-16 | 8 | -5,00988 |
| VARIAÇÃO | GLOBAL | X | 1-16 | 9 | 55,85339 |
| VARIAÇÃO | GLOBAL | Y | 1-16 | 8 | -59,08431 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir do limite de deslocamento lateral de 135 mm (H/400, sendo H a altura total da edificação, 54000 mm) estabelecido pela NBR 8800:2008, e os dados da Tabela 12, temos o seguinte:

- Na direção X tivemos 55,85 mm de deslocamento horizontal, atingindo cerca de 41,37% do limite normatizado
- Na direção Y, obtivemos -59,08 mm de deslocamento horizontal, atingindo cerca de 43,76% do limite normatizado.
- Portanto o arranjo estrutural do Modelo 04 atende a limite H/400 plenamente em ambas as direções.

4.2 LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVOS (LDQ)

4.2.1 LDQ: Modelo 01 – Chevron (Delta)

A Tabela 13 mostra a lista de perfis dimensionados e otimizados para a geometria da estrutura de barras proposta no Modelo 01.

Tabela 13 – Perfis empregados – Modelo 01 (*Chevron*)

| SEÇÃO (BITOLA) | PESO UNITÁRIO (Kg/m) | COMPRIMENTO LINEAR TOTAL (m) | PESO TOTAL (Kg) |
|------------------|----------------------|------------------------------|-------------------|
| CS 200x50 | 50,24 | 86,40 | 4.340,70 |
| CS 250x52 | 51,79 | 43,20 | 2.237,50 |
| CS 250x90 | 90,38 | 43,20 | 3.904,60 |
| CS 300x76 | 76,14 | 86,40 | 6.578,90 |
| CS 350x112 | 111,63 | 86,40 | 9.645,20 |
| CS 350x119 | 119,12 | 43,20 | 5.146,10 |
| CS 350x161 | 161,42 | 43,20 | 6.973,40 |
| CS 450x154 | 154,06 | 86,40 | 13.310,50 |
| CS 500x194 | 194,48 | 43,20 | 8.401,70 |
| CS 500x207 | 207,18 | 86,40 | 17.900,10 |
| W 360x51,0 | 50,87 | 3.455,98 | 175.799,20 |
| W 410x46,1 | 46,47 | 1.728,00 | 80.303,60 |
| TEC 168,3x8,0 | 31,63 | 1.221,88 | 38.643,20 |
| TEQ 150x150x6,3 | 28,18 | 43,20 | 1.217,40 |
| TEQ 190x190x7,1 | 39,88 | 43,20 | 1.722,70 |
| TEQ 250x250x8,0 | 57,31 | 43,20 | 2.475,60 |
| TEQ 260x260x11,0 | 84,78 | 43,20 | 3.662,50 |
| TEQ 290x290x14,2 | 119,32 | 43,20 | 5.154,60 |
| TOTAL | 53,29 | 7.269,87 | 387.417,50 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir dos dados dispostos na Tabela 13 referente ao Modelo 01, foi observado um peso total de perfis estruturais de 387.417,50 Kg (aprox. 387,42 t) com um comprimento linear de 7.269,87 m, a partir destes valores tem se uma taxa de 53,29 Kg/m referente ao peso unitário dos perfis. Além disso, a partir da análise geral dos dados é possível extrair também a quantidade de peso por tipo de perfil, bem como o comprimento linear total por tipo de perfil e taxa referente ao peso por metro de perfil, seguem os produtos da análise:

- Coluna soldada (CS) – 121,05 Kg/m – 648,00 m – 78.438,70 Kg
- Laminado (W) – 49,40 Kg/m – 5.183,98 m – 256.102,80 Kg
- Tubo estrutural circular (TEC) – 31,63 Kg/m – 1.221,88 m – 38.643,20 Kg
- Tubo estrutural quadrado (TEQ) – 65,89 Kg/m – 216,00 m – 14.232,80 Kg

4.2.2 LDQ: Modelo 02 – Em Cruz (X)

A Tabela 14 mostra a lista de perfis dimensionados e otimizados para a geometria da estrutura de barras proposta no Modelo 02.

Tabela 14 – Perfis empregados – Modelo 02 (Em Cruz)

| SEÇÃO (BITOLA) | PESO UNITÁRIO (Kg/m) | COMPRIMENTO LINEAR TOTAL (m) | PESO TOTAL (Kg) |
|------------------|----------------------|------------------------------|-------------------|
| CS 200x50 | 50,24 | 86,40 | 4.340,70 |
| CS 250x52 | 51,79 | 43,20 | 2.237,50 |
| CS 250x90 | 90,38 | 43,20 | 3.904,60 |
| CS 300x76 | 76,14 | 86,40 | 6.578,90 |
| CS 350x112 | 111,63 | 86,40 | 9.645,20 |
| CS 350x119 | 119,12 | 43,20 | 5.146,10 |
| CS 400x165 | 164,79 | 86,40 | 14.237,60 |
| CS 450x154 | 154,06 | 43,20 | 6.655,20 |
| CS 500x194 | 194,48 | 43,20 | 8.401,70 |
| CS 500x207 | 207,18 | 43,20 | 8.950,10 |
| CS 500x221 | 220,51 | 43,20 | 9.525,90 |
| W 360x51,0 | 50,87 | 3.455,98 | 175.799,20 |
| W 410x46,1 | 46,47 | 1.728,00 | 80.303,60 |
| TEC 168,3x8,0 | 31,63 | 1.931,96 | 61.099,90 |
| TEQ 160x160x6,3 | 29,12 | 43,20 | 1.258,10 |
| TEQ 190x190x8,0 | 44,82 | 43,20 | 1.936,40 |
| TEQ 260x260x8,0 | 62,33 | 43,20 | 2.692,60 |
| TEQ 290x290x10,0 | 85,56 | 43,20 | 3.696,40 |
| TEQ 300x300x14,2 | 124,03 | 43,20 | 5.358,10 |
| TOTAL | 51,60 | 7.979,94 | 411.767,80 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir dos dados dispostos na Tabela 14 referente ao Modelo 02, foi observado um peso total de perfis estruturais de 411.767,80 Kg (aprox. 411,77 t) com um comprimento linear de 7.982,94 m, a partir destes valores tem se uma taxa de 51,60 Kg/m referente ao peso unitário dos perfis. Além disso, a partir da análise geral dos dados é possível extrair também a quantidade de peso por tipo de perfil, bem como o comprimento linear total por tipo de perfil e taxa referente ao peso por metro de perfil, seguem os produtos da análise:

- Coluna soldada (CS) – 122,88 Kg/m – 648,00 m – 79.623,50 Kg
- Laminado (W) – 49,40 Kg/m – 5.183,98 m – 256.102,80 Kg
- Tubo estrutural circular (TEC) – 31,63 Kg/m – 1.931,96 m – 61.099,90Kg
- Tubo estrutural quadrado (TEQ) – 69,17 Kg/m – 216,00 m – 14.941,60Kg

4.2.3 LDQ: Modelo 03 – *Outriggers e Belt Trusses*

A Tabela 15 mostra a lista de perfis dimensionados e otimizados para a geometria da estrutura de barras proposta no Modelo 03.

Tabela 15 – Perfis empregados – Modelo 03 (*Outriggers e Belt Trusses*)

| SEÇÃO (BITOLA) | PESO UNITÁRIO (Kg/m) | COMPRIMENTO LINEAR TOTAL (m) | PESO TOTAL (Kg) |
|------------------|----------------------|------------------------------|-------------------|
| CS 200x50 | 50,24 | 43,20 | 2.170,40 |
| CS 250x52 | 51,79 | 43,20 | 2.237,50 |
| CS 250x66 | 65,84 | 43,20 | 2.844,40 |
| CS 250x90 | 90,38 | 43,20 | 3.904,60 |
| CS 300x76 | 76,14 | 86,40 | 6.578,90 |
| CS 300x109 | 109,03 | 86,40 | 9.420,10 |
| CS 350x135 | 135,02 | 43,20 | 5.832,90 |
| CS 400x137 | 136,59 | 86,40 | 11.801,40 |
| CS 450x175 | 174,66 | 86,40 | 15.090,80 |
| CS 500x194 | 194,48 | 43,20 | 8.401,70 |
| CS 550x279 | 278,68 | 43,20 | 12.038,80 |
| W 360x51,0 | 50,87 | 3.455,98 | 175.799,20 |
| W 410x46,1 | 46,47 | 1.728,00 | 80.303,60 |
| TEC 219,1x11,0 | 56,45 | 773,86 | 43.686,30 |
| TEQ 150x150x6,3 | 28,18 | 43,20 | 1.217,40 |
| TEQ 190x190x8,0 | 44,82 | 43,20 | 1.936,40 |
| TEQ 260x260x8,0 | 62,33 | 43,20 | 2.692,60 |
| TEQ 270x270x10,0 | 81,64 | 43,20 | 3.526,80 |
| TEQ 270x270x12,5 | 100,48 | 43,20 | 4.340,70 |
| TOTAL | 57,73 | 6.821,84 | 393.824,50 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir dos dados dispostos na Tabela 15 referente ao Modelo 03, foi observado um peso total de perfis estruturais de 393.824,70 Kg (aprox. 393,82 ton) com um comprimento linear de 6.821,85 m, a partir destes valores tem se uma taxa de 57,73 Kg/m referente ao peso unitário dos perfis. Além disso, a partir da análise geral dos dados é possível extrair também a quantidade de peso por tipo de perfil, bem como o comprimento linear total por tipo de perfil e taxa referente ao peso por metro de perfil, seguem os produtos da análise:

- Coluna soldada (CS) – 123,95 Kg/m – 648,00 m – 80.321,50 Kg
- Laminado (W) – 49,40 Kg/m – 5.183,98 m – 256.102,80 Kg
- Tubo estrutural circular (TEC) – 56,45 Kg/m – 773,86 m – 43.686,30 Kg
- Tubo estrutural quadrado (TEQ) – 63,49 Kg/m – 216,00 m – 13.713,90 Kg

4.2.4 LDQ: Modelo 04 – Núcleo Rígido de Concreto Armado

A Tabela 16 mostra a lista de perfis dimensionados e otimizados para a geometria da estrutura de barras proposta no Modelo 04.

Tabela 16 – Perfis empregados – Modelo 04 (Núcleo Rígido)

| SEÇÃO (BITOLA) | PESO UNITÁRIO (Kg/m) | COMPRIMENTO LINEAR TOTAL (m) | PESO TOTAL (Kg) |
|------------------|----------------------|------------------------------|-------------------|
| CS 200x50 | 50,24 | 43,20 | 2.170,40 |
| CS 250x52 | 51,79 | 43,20 | 2.237,50 |
| CS 300x76 | 76,14 | 86,40 | 6.578,90 |
| CS 300x109 | 109,03 | 43,20 | 4.710,00 |
| CS 400x106 | 106,47 | 43,20 | 4.599,30 |
| CS 400x128 | 127,92 | 43,20 | 5.526,30 |
| CS 400x137 | 136,59 | 43,20 | 5.900,70 |
| CS 400x165 | 164,79 | 86,40 | 14.237,60 |
| W 360x51,0 | 50,87 | 3.455,98 | 175.799,20 |
| W 410x46,1 | 46,47 | 1.728,00 | 80.303,60 |
| TEQ 160x160x6,3 | 29,12 | 43,20 | 1.258,10 |
| TEQ 200x200x8,0 | 46,63 | 43,20 | 2.014,40 |
| TEQ 260x260x8,0 | 62,33 | 43,20 | 2.692,60 |
| TEQ 270x270x10,0 | 81,64 | 43,20 | 3.526,80 |
| TEQ 270x270x12,5 | 100,48 | 43,20 | 4.340,70 |
| TOTAL | 54,17 | 5.831,98 | 315.896,10 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir dos dados dispostos na Tabela 16 referente ao Modelo 04, foi observado um peso total de perfis estruturais de 315.896,10 Kg (aprox. 315,90 t) com um comprimento linear de 5.831,98 m, a partir destes valores tem se uma taxa de 54,17 Kg/m referente ao peso unitário dos perfis. Além disso, a partir da análise geral dos dados é possível extrair também a quantidade de peso por tipo de perfil, bem como o comprimento linear total por tipo de perfil e taxa referente ao peso por metro de perfil, seguem os produtos da análise:

- Coluna soldada (CS) – 106,39 Kg/m – 432,00 m – 78.438,70 Kg
- Laminado (W) – 49,40 Kg/m – 5.183,98 m – 256.102,80 Kg
- Tubo estrutural quadrado (TEQ) – 64,04 Kg/m – 216,00 m – 14.232,80 Kg

Em função do Modelo 04 não adotar barras contraventadas, não foi empregado em seu arranjo estrutural perfis tipo tubo estrutural circular (TEC).

Na Tabela 17 está disposta a lista de barras nervuradas de aço de construção, bem como sua quantidade, dimensionadas para o início das armaduras longitudinais dos segmentos de parede do Núcleo Rígido no Modelo 04.

Tabela 17 – Resumo da armadura longitudinal de início dos segmentos de parede do núcleo rígido do Modelo 04

| PAREDE | SEGMENTO | QUANTIDADE (UN) | Φ (mm) | ÁREA (cm ²) | VOLUME (cm ³) |
|--------|----------|-----------------|--------|-------------------------|---------------------------|
| 1 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |

| PAREDE | SEGMENTO | QUANTIDADE (UN) | Φ (mm) | ÁREA (cm ²) | VOLUME (cm ³) |
|--------|----------|--------------------|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 1 | 2 | 4 | 16,00 | 8,04 | 2.895,29 |
| 1 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 1 | 4 | 2 | 16,00 | 4,02 | 1.447,65 |
| 1 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 1 | 6 | 4 | 16,00 | 8,04 | 2.895,29 |
| 1 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 1 | 8 | 2 | 16,00 | 4,02 | 1.447,65 |
| 2 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 2 | 2 | 4 | 12,50 | 4,91 | 1.767,15 |
| 2 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 2 | 4 | 2 | 12,50 | 2,45 | 883,57 |
| 2 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 2 | 6 | 4 | 12,50 | 4,91 | 1.767,15 |
| 2 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 2 | 8 | 2 | 12,50 | 2,45 | 883,57 |
| 3 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 3 | 2 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 3 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 3 | 4 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 3 | 5 | 4 | 12,50 | 4,91 | 1.767,15 |
| 3 | 6 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 3 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 3 | 8 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 4 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 4 | 2 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 4 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 4 | 4 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 4 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 4 | 6 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 4 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 4 | 8 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 5 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 5 | 2 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 5 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 5 | 4 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 5 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 5 | 6 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 5 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 5 | 8 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 6 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 6 | 2 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 6 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 6 | 4 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 6 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 6 | 6 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 6 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 6 | 8 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |

| PAREDE | SEGMENTO | QUANTIDADE (UN) | Φ (mm) | ÁREA (cm ²) | VOLUME (cm ³) |
|--------|----------|--------------------|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 7 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 7 | 2 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 7 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 7 | 4 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 7 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 7 | 6 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 7 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 7 | 8 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 8 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 8 | 2 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 8 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 8 | 4 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 8 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 8 | 6 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 8 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 8 | 8 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 9 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 9 | 2 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 9 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 9 | 4 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 9 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 9 | 6 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 9 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 9 | 8 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 10 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 10 | 2 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 10 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 10 | 4 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 10 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 10 | 6 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 10 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 10 | 8 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 11 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 11 | 2 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 11 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 11 | 4 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 11 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 11 | 6 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 11 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 11 | 8 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 12 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 12 | 2 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 12 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 12 | 4 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 12 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 12 | 6 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 12 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |

| PAREDE | SEGMENTO | QUANTIDADE (UN) | Φ (mm) | ÁREA (cm ²) | VOLUME (cm ³) |
|---------------------------------|----------|--------------------|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 12 | 8 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 13 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 13 | 2 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 13 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 13 | 4 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 13 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 13 | 6 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 13 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 13 | 8 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 14 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 14 | 2 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 14 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 14 | 4 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 14 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 14 | 6 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 14 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 14 | 8 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 15 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 15 | 2 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 15 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 15 | 4 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 15 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 15 | 6 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 15 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 15 | 8 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| TOTAL (cm³) = | | | | | 109.625,25 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Tabela 18 está disposta a lista de barras nervuradas de aço de construção, bem como sua quantidade, dimensionadas e distribuídas nas armaduras longitudinais ao longo dos segmentos de parede do núcleo rígido no Modelo 04.

Tabela 18 – Resumo da armadura longitudinal distribuída dos segmentos de parede do núcleo rígido do Modelo 04

| PAREDE | SEGMENTO | QUANTIDADE (UN) | ESPAÇAMENTO (cm) | Φ (mm) | ÁREA (cm ²) | VOLUME (cm ³) |
|--------|----------|--------------------|---------------------|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 1 | 1 | 112 | 10,00 | 12,50 | 87,96 | 31.667,25 |
| 1 | 2 | 12 | 16,00 | 15,00 | 24,13 | 8.685,88 |
| 1 | 3 | 44 | 10,00 | 10,00 | 34,56 | 12.440,71 |
| 1 | 4 | 10 | 16,00 | 20,00 | 20,11 | 7.238,23 |
| 1 | 5 | 140 | 10,00 | 10,00 | 109,96 | 39.584,07 |
| 1 | 6 | 10 | 16,00 | 20,00 | 20,11 | 7.238,23 |
| 1 | 7 | 44 | 10,00 | 10,00 | 34,56 | 12.440,71 |
| 1 | 8 | 10 | 16,00 | 20,00 | 20,11 | 7.238,23 |
| 2 | 1 | 68 | 10,00 | 20,00 | 53,41 | 19.226,55 |
| 2 | 2 | 16 | 12,50 | 12,50 | 19,63 | 7.068,58 |

| PAREDE | SEGMENTO | QUANTIDADE (UN) | ESPAÇAMENTO (cm) | Φ (mm) | ÁREA (cm ²) | VOLUME (cm ³) |
|--------|----------|--------------------|---------------------|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 2 | 3 | 36 | 10,00 | 12,50 | 28,27 | 10.178,76 |
| 2 | 4 | 16 | 12,50 | 12,50 | 19,63 | 7.068,58 |
| 2 | 5 | 54 | 10,00 | 25,00 | 42,41 | 15.268,14 |
| 2 | 6 | 16 | 12,50 | 12,50 | 19,63 | 7.068,58 |
| 2 | 7 | 30 | 10,00 | 15,00 | 23,56 | 8.482,30 |
| 2 | 8 | 16 | 12,50 | 12,50 | 19,63 | 7.068,58 |
| 3 | 1 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 3 | 2 | 16 | 10,00 | 12,50 | 12,57 | 4.523,89 |
| 3 | 3 | 30 | 10,00 | 15,00 | 23,56 | 8.482,30 |
| 3 | 4 | 16 | 10,00 | 12,50 | 12,57 | 4.523,89 |
| 3 | 5 | 46 | 12,50 | 30,00 | 56,45 | 20.322,18 |
| 3 | 6 | 12 | 10,00 | 15,00 | 9,42 | 3.392,92 |
| 3 | 7 | 24 | 10,00 | 20,00 | 18,85 | 6.785,84 |
| 3 | 8 | 16 | 10,00 | 12,50 | 12,57 | 4.523,89 |
| 4 | 1 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 4 | 2 | 10 | 10,00 | 20,00 | 7,85 | 2.827,43 |
| 4 | 3 | 18 | 10,00 | 25,00 | 14,14 | 5.089,38 |
| 4 | 4 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 4 | 5 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 4 | 6 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 4 | 7 | 16 | 10,00 | 25,00 | 12,57 | 4.523,89 |
| 4 | 8 | 10 | 10,00 | 20,00 | 7,85 | 2.827,43 |
| 5 | 1 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 5 | 2 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 5 | 3 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 5 | 4 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 5 | 5 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 5 | 6 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 5 | 7 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 5 | 8 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 6 | 1 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 6 | 2 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 6 | 3 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 6 | 4 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 6 | 5 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 6 | 6 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 6 | 7 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 6 | 8 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 7 | 1 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 7 | 2 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 7 | 3 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 7 | 4 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 7 | 5 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 7 | 6 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 7 | 7 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 7 | 8 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 8 | 1 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |

| PAREDE | SEGMENTO | QUANTIDADE (UN) | ESPAÇAMENTO (cm) | Φ (mm) | ÁREA (cm ²) | VOLUME (cm ³) |
|--------|----------|--------------------|---------------------|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 8 | 2 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 8 | 3 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 8 | 4 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 8 | 5 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 8 | 6 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 8 | 7 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 8 | 8 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 9 | 1 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 9 | 2 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 9 | 3 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 9 | 4 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 9 | 5 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 9 | 6 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 9 | 7 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 9 | 8 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 10 | 1 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 10 | 2 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 10 | 3 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 10 | 4 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 10 | 5 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 10 | 6 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 10 | 7 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 10 | 8 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 11 | 1 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 11 | 2 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 11 | 3 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 11 | 4 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 11 | 5 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 11 | 6 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 11 | 7 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 11 | 8 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 12 | 1 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 12 | 2 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 12 | 3 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 12 | 4 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 12 | 5 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 12 | 6 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 12 | 7 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 12 | 8 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 13 | 1 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 13 | 2 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 13 | 3 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 13 | 4 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 13 | 5 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 13 | 6 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 13 | 7 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 13 | 8 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |

| PAREDE | SEGMENTO | QUANTIDADE (UN) | ESPAÇAMENTO (cm) | Φ (mm) | ÁREA (cm ²) | VOLUME (cm ³) |
|---------------------------------|----------|--------------------|---------------------|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 14 | 1 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 14 | 2 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 14 | 3 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 14 | 4 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 14 | 5 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 14 | 6 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 14 | 7 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 14 | 8 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 15 | 1 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 15 | 2 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 15 | 3 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 15 | 4 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 15 | 5 | 46 | 10,00 | 30,00 | 36,13 | 13.006,19 |
| 15 | 6 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| 15 | 7 | 14 | 10,00 | 30,00 | 11,00 | 3.958,41 |
| 15 | 8 | 6 | 10,00 | 25,00 | 4,71 | 1.696,46 |
| TOTAL (cm³) = | | | | | | 766.063,39 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Tabela 19 está disposta a lista de barras nervuradas de aço de construção, bem como sua quantidade, dimensionadas para o final das armaduras longitudinais dos segmentos de parede do núcleo rígido no Modelo 04.

Tabela 19 – Resumo da armadura longitudinal final dos segmentos de parede do núcleo rígido do Modelo 04

| PAREDE | SEGMENTO | QUANTIDADE (UN) | Φ (mm) | ÁREA (cm ²) | VOLUME (cm ³) |
|--------|----------|--------------------|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 1 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 1 | 2 | 2 | 16,00 | 4,02 | 1.447,65 |
| 1 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 1 | 4 | 4 | 16,00 | 8,04 | 2.895,29 |
| 1 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 1 | 6 | 2 | 16,00 | 4,02 | 1.447,65 |
| 1 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 1 | 8 | 4 | 16,00 | 8,04 | 2.895,29 |
| 2 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 2 | 2 | 2 | 12,50 | 2,45 | 883,57 |
| 2 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 2 | 4 | 4 | 12,50 | 4,91 | 1.767,15 |
| 2 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 2 | 6 | 2 | 12,50 | 2,45 | 883,57 |
| 2 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 2 | 8 | 4 | 12,50 | 4,91 | 1.767,15 |
| 3 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 3 | 2 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 3 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |

| PAREDE | SEGMENTO | QUANTIDADE (UN) | Φ (mm) | ÁREA (cm ²) | VOLUME (cm ³) |
|--------|----------|--------------------|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 3 | 4 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 3 | 5 | 4 | 12,50 | 4,91 | 1.767,15 |
| 3 | 6 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 3 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 3 | 8 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 4 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 4 | 2 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 4 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 4 | 4 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 4 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 4 | 6 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 4 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 4 | 8 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 5 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 5 | 2 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 5 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 5 | 4 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 5 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 5 | 6 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 5 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 5 | 8 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 6 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 6 | 2 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 6 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 6 | 4 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 6 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 6 | 6 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 6 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 6 | 8 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 7 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 7 | 2 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 7 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 7 | 4 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 7 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 7 | 6 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 7 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 7 | 8 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 8 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 8 | 2 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 8 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 8 | 4 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 8 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 8 | 6 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 8 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 8 | 8 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 9 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |

| PAREDE | SEGMENTO | QUANTIDADE (UN) | Φ (mm) | ÁREA (cm ²) | VOLUME (cm ³) |
|--------|----------|--------------------|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 9 | 2 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 9 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 9 | 4 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 9 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 9 | 6 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 9 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 9 | 8 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 10 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 10 | 2 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 10 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 10 | 4 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 10 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 10 | 6 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 10 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 10 | 8 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 11 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 11 | 2 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 11 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 11 | 4 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 11 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 11 | 6 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 11 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 11 | 8 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 12 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 12 | 2 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 12 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 12 | 4 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 12 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 12 | 6 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 12 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 12 | 8 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 13 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 13 | 2 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 13 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 13 | 4 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 13 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 13 | 6 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 13 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 13 | 8 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 14 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 14 | 2 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 14 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 14 | 4 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 14 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 14 | 6 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 14 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |

| PAREDE | SEGMENTO | QUANTIDADE (UN) | Φ (mm) | ÁREA (cm ²) | VOLUME (cm ³) |
|---------------------------------|----------|--------------------|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 14 | 8 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 15 | 1 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 15 | 2 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 15 | 3 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 15 | 4 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 15 | 5 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| 15 | 6 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 15 | 7 | 2 | 10,00 | 1,57 | 565,49 |
| 15 | 8 | 4 | 10,00 | 3,14 | 1.130,97 |
| TOTAL (cm³) = | | | | | 109.625,25 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Tabela 20 está disposta a lista de barras nervuradas de aço de construção, bem como sua quantidade, dimensionadas para os estribos dos segmentos de parede do Núcleo Rígido no Modelo 04.

Tabela 20 – Resumo da armadura transversal (estribos) dos segmentos de parede do núcleo rígido do Modelo 04

| PAREDE | SEGMENTO | QUANT. (UN) | Φ (mm) | ESPESSURA (cm) | COMPRIMENTO (cm) | ÁREA (cm ²) | VOLUME (cm ³) |
|--------|----------|----------------|-----------|-------------------|---------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 1 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 1 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 1 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 1 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 1 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 1 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 1 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 2 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 2 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 2 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 2 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 2 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 2 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 2 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 2 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 3 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 3 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 3 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 3 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 3 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 3 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 3 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 3 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 4 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |

| PAREDE | SEGMENTO | QUANT. (UN) | Φ (mm) | ESPESSURA (cm) | COMPRIMENTO (cm) | ÁREA (cm²) | VOLUME (cm³) |
|---------------|-----------------|------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 4 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 4 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 4 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 4 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 4 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 4 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 4 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 5 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 5 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 5 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 5 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 5 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 5 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 5 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 5 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 6 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 6 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 6 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 6 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 6 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 6 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 6 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 6 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 7 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 7 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 7 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 7 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 7 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 7 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 7 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 7 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 8 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 8 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 8 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 8 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 8 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 8 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 8 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 8 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 9 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 9 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 9 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 9 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 9 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 9 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 9 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 9 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |

| PAREDE | SEGMENTO | QUANT. (UN) | Φ (mm) | ESPESSURA (cm) | COMPRIMENTO (cm) | ÁREA (cm²) | VOLUME (cm³) |
|---------------|-----------------|------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 10 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 10 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 10 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 10 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 10 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 10 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 10 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 10 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 11 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 11 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 11 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 11 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 11 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 11 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 11 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 11 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 12 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 12 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 12 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 12 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 12 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 12 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 12 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 12 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 13 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 13 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 13 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 13 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 13 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 13 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 13 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 13 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 14 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 14 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 14 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 14 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 14 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 14 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 14 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 14 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 15 | 1 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 15 | 2 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 15 | 3 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |
| 15 | 4 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 15 | 5 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 1.530,00 | 14,14 | 2.012,08 |
| 15 | 6 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| 15 | 7 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 530,00 | 14,14 | 697,00 |

| PAREDE | SEGMENTO | QUANT. (UN) | Φ (mm) | ESPESSURA (cm) | COMPRIMENTO (cm) | ÁREA (cm²) | VOLUME (cm³) |
|---------------------------------|-----------------|------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 15 | 8 | 18,00 | 10,00 | 20,00 | 310,00 | 14,14 | 407,68 |
| TOTAL (cm³) = | | | | | | | 105.732,86 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Tabela 21 está disposta as características geométricas dos seguimentos de parede do Núcleo Rígido no Modelo 04.

Tabela 21 – Resumo dos volumes dos segmentos de parede do Núcleo Rígido

| PAREDE | SEGMENTO | COMPRIMENTO (cm) | ESPESSURA (cm) | VOLUME (m³) |
|---------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 1 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |
| 1 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 1 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 1 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 1 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 1 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |
| 1 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 1 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| 2 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |
| 2 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 2 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 2 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 2 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 2 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |
| 2 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 2 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| 3 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |
| 3 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 3 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 3 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 3 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 3 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |
| 3 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 3 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| 4 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |
| 4 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 4 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 4 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 4 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 4 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |
| 4 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 4 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| 5 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |
| 5 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 5 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 5 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 5 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 5 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |
| 5 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 5 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| 6 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |

| PAREDE | SEGMENTO | COMPRIMENTO (cm) | ESPESSURA (cm) | VOLUME (m³) |
|--------|----------|------------------|----------------|-------------|
| 6 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 6 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 6 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 6 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 6 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |
| 6 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 6 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| 7 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |
| 7 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 7 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 7 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 7 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 7 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |
| 7 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 7 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| 8 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |
| 8 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 8 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 8 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 8 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 8 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |
| 8 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 8 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| 9 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |
| 9 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 9 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 9 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 9 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 9 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |
| 9 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 9 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| 10 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |
| 10 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 10 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 10 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 10 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 10 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |
| 10 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 10 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| 11 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |
| 11 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 11 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 11 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 11 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 11 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |
| 11 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 11 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| 12 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |
| 12 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 12 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 12 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 12 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 12 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |

| PAREDE | SEGMENTO | COMPRIMENTO (cm) | ESPESSURA (cm) | VOLUME (m ³) |
|--------------------------------|----------|------------------|----------------|--------------------------|
| 12 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 12 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| 13 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |
| 13 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 13 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 13 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 13 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 13 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |
| 13 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 13 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| 14 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |
| 14 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 14 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 14 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 14 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 14 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |
| 14 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 14 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| 15 | 1 | 740 | 20 | 1,48 |
| 15 | 2 | 130 | 20 | 0,26 |
| 15 | 3 | 240 | 20 | 0,48 |
| 15 | 4 | 130 | 20 | 0,26 |
| 15 | 5 | 740 | 20 | 1,48 |
| 15 | 6 | 130 | 20 | 0,26 |
| 15 | 7 | 240 | 20 | 0,48 |
| 15 | 8 | 130 | 20 | 0,26 |
| TOTAL (m³) = | | | | 74,4 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Tabela 22 apresenta o resumo do volume das armaduras longitudinais e transversais e do concreto. constituintes do núcleo rígido no Modelo 04, a partir dos valores observados nas seguintes tabelas: Tabela 17, Tabela 18, Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21.

Tabela 22 – Resumo das armaduras e do concreto armado – Modelo 04

| RESUMO DAS ARMADURAS E DO CONCRETO DO MODELO 04 – NÚCLEO RÍGIDO | |
|--|---------------------|
| LONGITUDINAL - INÍCIO | 162.427,57 |
| LONGITUDINAL - DISTRIBUÍDAS | 1.035.906,56 |
| LONGITUDINAL - FINAL | 173.472,23 |
| TRANSVERSAL (ESTRIBOS) | 105.732,86 |
| SUBTOTAL - ARMADURAS (cm³) | 1.477.539,21 |
| CONCRETO (Fck 30 MPa) | 74,40 |
| SUBTOTAL - CONCRETO (m³) | 74,40 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Considerando a densidade do aço como 7,8 g/cm³ e a do concreto igual a 2800 Kg/m³, foi estimado o peso das armaduras dimensionadas e do concreto, a partir dos volumes apresentados na Tabela 22, os resultados estão dispostos na Tabela 23.

A Tabela 23 apresenta um resumo do peso das armaduras longitudinais e transversais e do concreto constituintes do núcleo rígido no Modelo 04.

Tabela 23 – Resumo do peso do concreto e das armaduras – Modelo 04

| DESCRIÇÃO | DENSIDADE | | VOLUME | | PESO | |
|-----------------------------|-----------|-------------------|--------------|-----------------|-----------------|------------|
| LONGITUDINAL - INÍCIO | 7,8 | g/cm ³ | 162.427,60 | cm ³ | 1.266,935 | Kg |
| LONGITUDINAL - DISTRIBUÍDAS | 7,8 | g/cm ³ | 1.035.906,56 | cm ³ | 8.080,071 | Kg |
| LONGITUDINAL - FINAL | 7,8 | g/cm ³ | 173.472,20 | cm ³ | 1.353,083 | Kg |
| TRANSVERSAL (ESTRIBOS) | 7,8 | g/cm ³ | 105.732,90 | cm ³ | 824,7163 | Kg |
| CONCRETO (Fck 30 MPa) | 2800 | Kg/m ³ | 74,40 | m ³ | 208.320,000 | Kg |
| | | | | TOTAL | 219844,8 | Kg |
| | | | | TOTAL | 219,8448 | Ton |

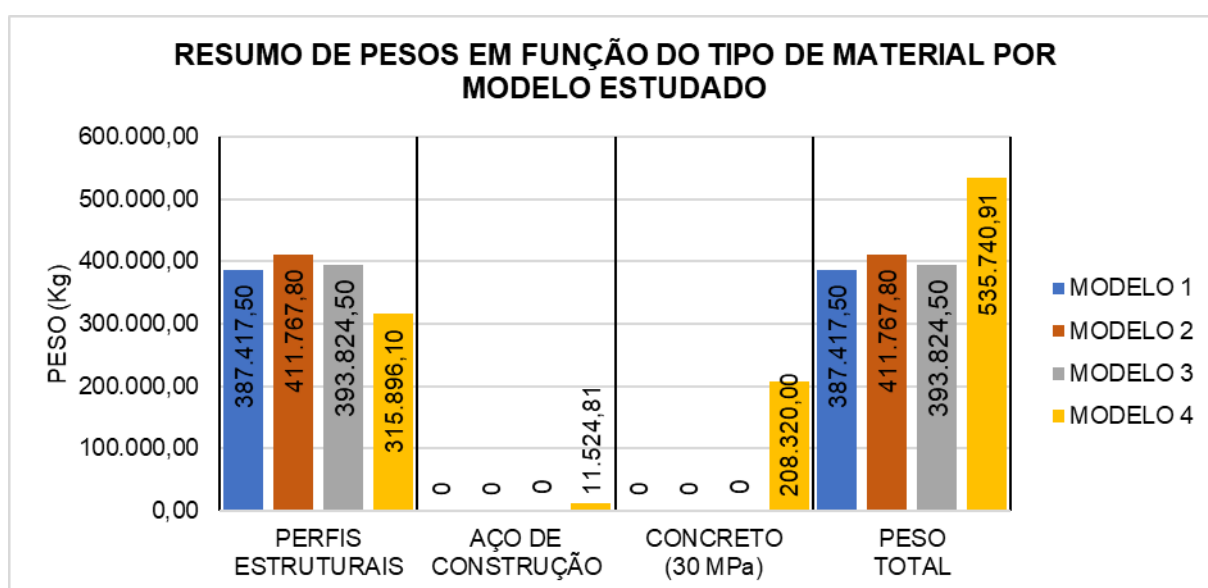
Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir dos resultados da Tabela 23 foi observado um peso total referente a armaduras de 11.524,81 Kg (cerca de 11,52 t), e um peso total referente ao concreto de 208.320,00 Kg (208,32 t).

4.2 ANÁLISE

A partir do gráfico da Figura 48 observa-se da diferença no peso dos quantitativos por tipo de material em quilogramas, como perfis estruturais, aço de construção, concreto de 30 MPa e peso total, empregados na estrutura de cada modelo estudado, compilando as informações expostas no item 4.2 deste trabalho e facilitando a visualização dos resultados.

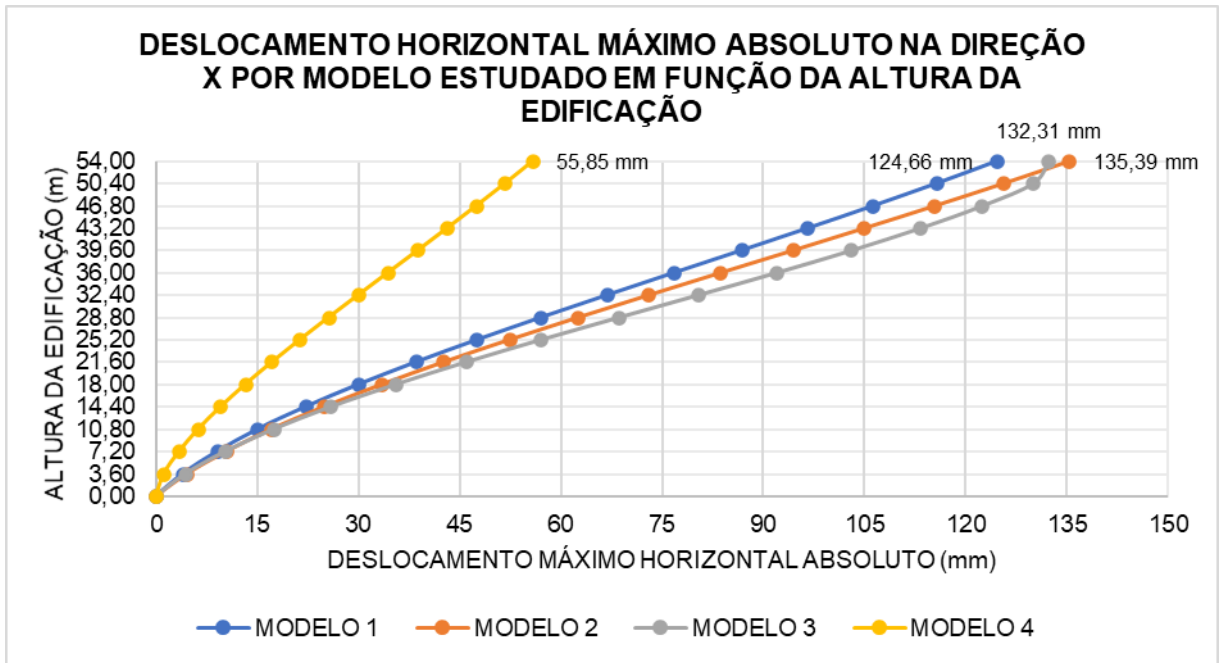
Figura 48 – Resumo de pesos em função do tipo de material por modelo estudado



Fonte: Elaborado pelo Autor.

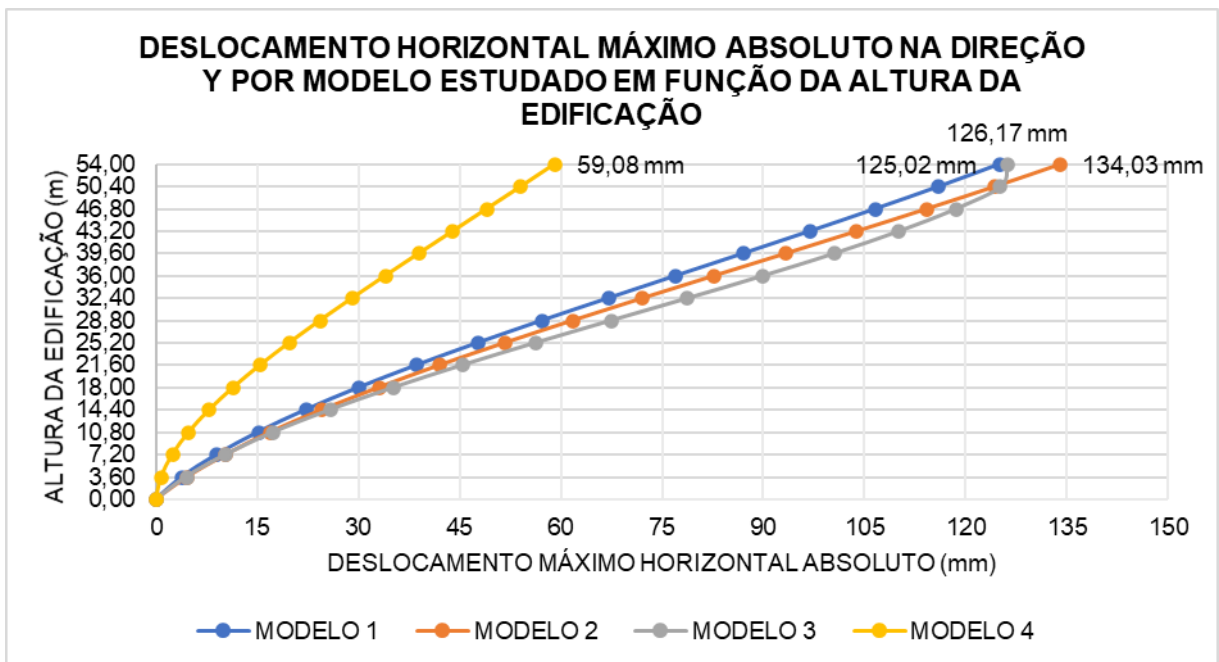
A partir dos gráficos das Figura 49 e Figura 50, referentes ao deslocamento horizontal máximo absoluto na direção X e Y, respectivamente, foi possível compilar os resultados apresentados nas seguintes tabelas: Tabela 9, Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12.

Figura 49 – Deslocamento horizontal máximo absoluto na direção X por modelo estudado em função da altura da edificação



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 50 – Deslocamento horizontal máximo absoluto na direção Y por modelo estudado em função da altura da edificação



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Dessa forma, otimizamos a visualização das diferenças nos resultados obtidos de cada modelo estudado, expostos no item 4.1 deste trabalho, possibilitando a leitura dos deslocamentos em milímetros (mm), em função da altura total da edificação em metros (m), com o eixo do gráfico escalado considerando a altura de cada pavimento, ou seja, avançando um pavimento a cada 3,60 metros, mostrando que cada linha horizontal do eixo vertical desse gráfico também representa um pavimento. A partir da inclinação das curvas, podemos ainda visualizar a eficiência quanto à deformação de cada arranjo estrutural dimensionado. Quanto mais inclinado à direita, mais deformável.

Na Tabela 24, temos a planificação e o resumo dos resultados compilados nos gráficos das Figura 48, Figura 49 e Figura 50.

Tabela 24 – Resumo dos resultados obtidos

| NOME DO MODELO | DIREÇÃO X | | DIREÇÃO Y | | PERFIS ESTRUT. (Kg) | AÇO DE CONSTR. (Kg) | CONCRETO (30 MPa) (Kg) | PESO TOTAL (Kg) |
|----------------|------------------|----------|------------------|----------|---------------------|---------------------|------------------------|-----------------|
| | DESLOC. MAX (mm) | Nº COMB. | DESLOC. MAX (mm) | Nº COMB. | | | | |
| MDL. 1 | 124,664 | 9 | 125,016 | 10 | 387.417,50 | 0,00 | 0,00 | 387.417,50 |
| MDL. 2 | -135,386 | 7 | 134,028 | 6 | 411.767,80 | 0,00 | 0,00 | 411.767,80 |
| MDL. 3 | -132,307 | 7 | -126,169 | 8 | 393.824,50 | 0,00 | 0,00 | 393.824,70 |
| MDL. 4 | 55,853 | 9 | -59,084 | 8 | 315.896,10 | 11.524,81 | 208.320,00 | 535.740,91 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

De acordo com a Tabela 24, é possível observar que o Modelo 04 (Núcleo Rígido) deslocou lateralmente apenas 41,25 % em X e 44,08 % em Y, considerando valores absolutos, em comparação ao Modelo 02, em Cruz (X), o mais deslocável entre os modelos contraventados em barras.

Ainda considerando os resultados apresentados na Tabela 24, podemos ranquear os modelos de acordo com os seguintes critérios, em números absolutos:

- Peso total (Kg)
 - **MODELO 04 (NÚCLEO RÍGIDO): 535.740,91 Kg**
 - MODELO 02 (EM CRUZ): 411.767,80 Kg
 - MODELO 03 (OUTRIGGERS E BELT TRUSSES): 393.824,50 Kg
 - MODELO 01 (CHEVRON): 387.417,50 Kg
- Peso total dos perfis estruturais (Kg)
 - **MODELO 02 (EM CRUZ): 411.767,80 Kg**
 - MODELO 03 (OUTRIGGERS E BELT TRUSSES): 393.824,50 Kg

- MODELO 01 (*CHEVRON*): 387.417,50 Kg
- MODELO 04 (NÚCLEO RÍGIDO): 315.896,10 Kg
- Deslocamento máximo em X (mm)
 - **MODELO 02 (EM CRUZ): - 135,39 mm**
 - MODELO 03 (*OUTRIGGERS E BELT TRUSSES*): - 132,31 mm
 - MODELO 01 (*CHEVRON*): - 124,67 mm
 - MODELO 04 (NÚCLEO RÍGIDO): - 55,85 mm
- Deslocamento máximo em Y (mm)
 - **MODELO 02 (EM CRUZ): - 134,03 mm**
 - MODELO 03 (*OUTRIGGERS E BELT TRUSSES*): -126,17 mm
 - MODELO 01 (*CHEVRON*): 125,02 mm
 - MODELO 04 (NÚCLEO RÍGIDO): -59,08 mm

A partir do ranqueamento, é possível classificar o Modelo 02 (Em Cruz) como o menos eficiente, em função de ele possuir o maior peso em perfis estruturais, e ainda ter o maior deslocamento máximo, nas direções X e Y.

Ainda sobre o ranqueamento, também foi possível observar que surpreendentemente o peso se demonstrou inversamente proporcional aos deslocamentos, se formos comparar apenas os modelos com contraventamentos em barras, entre os três modelos deste estudo, tal comportamento corrobora o exposto no artigo *Relationships Between Internal Forces, Bracing Patterns And Lateral Stiffnesses Of A Simple Frame* de YU, JI e ZHENG (Engineering Structures, V. 89, p. 147 - 161, 2015).

YU, JI e ZHENG (2015) afirmaram que a estabilidade das estruturas está intimamente ligada ao “caminho da dissipação dos esforços internos”, logo, quanto mais direto for o caminho da dissipação por meio das barras do arranjo estrutural (menos barras e nós = menos complexo), mais estável será a estrutura, por isso neste quesito tivemos por destaque o Modelo 01 (*Chevron*) que, apesar de possuir o menor peso, foi o menos deslocável, demonstrando assim a eficiência da sua geometria global.

É possível analisar a complexidade dos modelos a partir dos dados expostos na Tabela 3, dentre os modelos contraventado em barras o Modelo 01 (*Chevron*) é o menos complexo do ponto de vista do número de barras e nós, entre os três modelos de contraventamentos em barras estudados.

Outro método interessante é analisar as soluções pela taxa de aço (peso do aço por área total da edificação) adotada na solução estrutural. Se considerarmos que a nossa edificação tem 15 pavimentos, e uma área de 466,56 m² (21,60 m x 21,60 m), teremos então uma área total de 6.998,40 m² constituídos por ela. Na Tabela 25, temos o procedimento aplicado às soluções estudadas.

Tabela 25 – Avaliação das soluções adotadas por taxa de aço por metro quadrado

| NOME DO MODELO | PERFIS ESTRUTURAIS (Kg) | PESO TOTAL (Kg) | ÁREA (m ²) | TX. DE PESO EM PERFIS ESTRUTURAIS (Kg/m ²) | TX. DE PESO TOTAL (Kg/m ²) |
|----------------|-------------------------|-----------------|------------------------|--|--|
| MODELO 01 | 387.417,50 | 387.417,50 | 6.998,40 | 55,36 | 55,36 |
| MODELO 02 | 411.767,80 | 411.767,80 | 6.998,40 | 58,84 | 58,84 |
| MODELO 03 | 393.824,50 | 393.824,50 | 6.998,40 | 56,27 | 56,27 |
| MODELO 04 | 315.896,10 | 535.740,91 | 6.998,40 | 45,14 | 76,55 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Frente aos resultados da Tabela 25, é possível observar que o Modelo 04, contraventado com um núcleo rígido de concreto armado, embora tenha uma taxa maior, considerando o peso total da estrutura, em relação ao peso dos perfis estruturais, tal modelo se destaca, pois tem cerca de 10 Kg/m² a menos que o Modelo 01, seguindo a geometria *Chevron*.

Tabela 26 – Peso total, comprimento linear total e peso unitário das colunas soldadas (CS) nos pilares de centro e face por modelo estudado

| NOME DO MODELO | PESO UNITÁRIO (Kg/m) | COMPRIMENTO LINEAR TOTAL (m) | PESO TOTAL (Kg) |
|----------------|----------------------|------------------------------|-----------------|
| MODELO 01 | 121,05 | 648,00 | 78.438,70 |
| MODELO 02 | 122,88 | 648,00 | 79.623,50 |
| MODELO 03 | 123,95 | 648,00 | 80.321,50 |
| MODELO 04 | 106,39 | 432,00 | 45.960,70 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Tabela 26 evidenciou uma grande diferença no peso total dos pilares de centro e face do modelo utilizando colunas soldadas (CS), especialmente entre o Modelo 01 e o Modelo 04. Esta diferença se deu em função das vigas mais ao centro do pavimento tipo estarem vinculadas diretamente ao núcleo rígido do Modelo 04, conforme já havia se previsto na metodologia, eliminando os pilares ao longo de toda a elevação na intersecção dos eixos 2xB, 3xB, 2xC e 3xC, tal condição é confirmada a partir do comprimento linear total, onde se tem apenas 432 m frente aos 648 m dos outros modelos.

Tabela 27 – Peso total, comprimento linear total e peso unitário dos tubos estruturais quadrados (TEQ) nos pilares de canto por modelo estudado

| NOME DO MODELO | PESO UNITÁRIO (Kg/m) | COMPRIMENTO LINEAR TOTAL (m) | PESO TOTAL (Kg) |
|----------------|----------------------|------------------------------|-----------------|
| MODELO 01 | 65,89 | 216,00 | 14.232,80 |
| MODELO 02 | 69,17 | 216,00 | 14.941,60 |
| MODELO 03 | 63,49 | 216,00 | 13.713,90 |
| MODELO 04 | 64,04 | 216,00 | 13.832,60 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Tabela 27 demonstra que entre o Modelo 01 (*Chevron*) e o Modelo 04 (Núcleo rígido), houve uma diferença de apenas 400,20 Kg, tal diferença em uma escala muito menor que a diferença da Tabela 26, logo, o núcleo rígido do Modelo 04 em função de sua elevada rigidez, foi eficiente ao não redistribuir excessivamente as tensões para os pilares adjacentes.

Tabela 28 – Peso total, comprimento linear total e peso unitário dos tubos estruturais circulares (TEC) das barras de contraventamento por modelo estudado

| NOME DO MODELO | PESO UNITÁRIO (Kg/m) | COMPRIMENTO LINEAR TOTAL (m) | PESO TOTAL (Kg) |
|----------------|----------------------|------------------------------|-----------------|
| MODELO 01 | 31,63 | 1.221,88 | 38.643,20 |
| MODELO 02 | 31,63 | 1.931,96 | 61.099,90 |
| MODELO 03 | 56,45 | 773,86 | 43.686,30 |
| MODELO 04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir dos dados da Tabela 28, em relação ao acréscimo de peso em função das barras de contraventamento, foi constatado que o Modelo 01 (*Chevron*) é o modelo com menor consumo, seguido pelo Modelo 03 (*Outriggers* e *Belt Trusses*) e pelo Modelo 02 (Em Cruz), dentre os três modelos que adotaram este conceito de contraventamento. Por isso o Modelo 04 contraventado com núcleo rígido tem acréscimo de peso nulo, conforme a Tabela 28.

O desfecho deste análise, apontando o sistema de contraventamento tipo *Chevron (Delta)* como o mais eficiente entre os três modelos contraventados em barras (em Cruz [X] e *Outriggers* e *Belt Trusses*), corrobora com os resultados expostos nas obras de TABARELLI, ARAÚJO e PRESTES (2002), BABAEI et al. (2016) e RIL e VITO (2017), destacando novamente a contradição encontrada na obra de SIDDIQI, HAMEED e AKMAL (2014), na qual se evidencia o sistema em Cruz (X) como o mais econômico dentre os modelos estudados, mesmo com a presença do Sistema *Chevron* em suas análises.

Conforme já exposto anteriormente, a falta de obras na bibliografia que comparam sistemas de estabilização em barras com núcleo rígido de concreto armado foi um dos motivadores deste estudo. Mesmo que alguns trabalhos, como o SIDDIQI, HAMEED e AKMAL (2014), tragam a exemplificação e revisão das características de sistemas como “*shear walls*” e “*shear cores*”, estes não são comparados com os sistemas de estabilização em barras.

Portanto, a partir dos produtos desta análise, é possível estimar futuramente, se é viável substituir quase 72 toneladas de aço em perfis estruturais (comparando o Modelo 04 com o Modelo 01, nossos modelos mais eficientes, *Chevron* e Núcleo Rígido, respectivamente) por aproximadamente 220 toneladas de concreto armado (cerca de 75 m³).

5 CONCLUSÃO

Em função da atemporalidade deste trabalho, é de suma importância entender a valorização dos materiais empregados, como os perfis estruturais, o concreto e suas armaduras, no mercado da construção Civil no Brasil, no período em que as soluções estudadas forem comparadas entre si novamente, em especial quanto ao preço desses materiais. É sabido que eles podem sofrer grande influência do mercado externo, tendo seu valor estimado não só por influência das commodities, mas também pela cotação do dólar e outras moedas, o que impacta diretamente na exportação do volume do material produzido aqui.

Assim, ao avançarmos para uma análise de caráter monetário, em função dos resultados obtidos, a fim de entender a viabilidade econômica concreta de cada um dos modelos estudados, devemos orçar as soluções com os valores vigentes na data do estudo ou negociação da obra.

Na primeira via das análises, tratando-se dos quantitativos, para compará-los, basicamente é necessário entender se é viável substituir em torno de 72 toneladas de aço em perfis estruturais (comparando o Modelo 04 com o Modelo 01, nossos modelos mais eficientes, *Chevron* e Núcleo Rígido, respectivamente) por aproximadamente 220 toneladas de concreto armado (cerca de 75 m³).

Além disso, em segunda via, deve-se levar em consideração questões construtivas, como a qualificação e tempo de mobilização da mão de obra necessária para a execução das atividades, tempo de armação ou montagem, custos de elevação e seus equipamentos, custos de concretagens, perdas durante o processo executivo, entre outros. Esses aspectos, sem dúvida, são de extrema relevância para a viabilidade econômica da solução final a ser adotada.

E ainda, como terceira via da análise, também é necessário incluir como critério o caráter de utilização da edificação, assim como os objetivos do empreendimento. Devemos lembrar que, quando se envolve rentabilidade em função da ocupação da edificação no processo de concepção do projeto, ou essa edificação está sendo financiada por um grupo de investidores, em geral, sedentos pelo retorno de lucro em função do capital aplicado, passa a se exigir uma maior agilidade na execução do empreendimento, bem como uma maior racionalização, a fim de evitar perdas construtivas e desperdícios. Tal rotina é muito aderente à construção modularizada em aço, em relação ao caráter artesanal da construção tradicional em concreto

armado no Brasil, mesmo que, na questão dos quantitativos empregados, a solução mista (perfis estruturais de aço mais concreto armado) se demonstre extremamente atraente, em função da valorização discrepante entre os materiais frente ao cenário atual do mercado.

Assim, embora o mercado do aço brasileiro venha sofrendo por instabilidades e constantes aumentos de preço, cerca de 50 a 52% entre os meses de janeiro e abril de 2021, dependendo do tipo aço, conforme Carlos Jorge Loureiro, presidente do INDA (Instituto Nacional dos Distribuidores de Aço), em entrevista ao site especializado Money Times (BORGES, 2021), partindo-se da premissa da agilidade executiva da obra, que visa liberar o empreendimento o quanto antes para ocupação ou comercialização, podemos considerar que o Modelo 01, contraventado em barras com a geometria *Chevron*, passa a se tornar competitivo frente ao Modelo 04, contraventado por meio de um Núcleo rígido de concreto armado.

Tais ideias são corroboradas pelo exposto na obra “Edifícios de Múltiplos Andares em Aço”, dos engenheiros Ildoni H. Bellei, Fernando O. Pinho e Mauro O. Pinho, publicada pelo CBCA (Centro Brasileiro de Construção em Aço) em 2008, que nos traz faixas percentuais referentes ao custo de cada atividade no orçamento global de obras de edifícios de múltiplos andares em aço, conforme mostra a Tabela 2.

Analisando as informações dispostas na Tabela 2, notamos a relevância dos custos relacionados à montagem nos projetos de estruturas de aço. Essa atividade tem grande influência no valor global da obra, podendo variar entre 20 e 35% desse montante. Logo, desenvolver um bom projeto de montagem que otimize a mão de obra, diminuindo o tempo de mobilização e quantidade de colaboradores no efetivo, torna-se um excelente fator de redução de custos. Sendo assim, o sistema de contraventamento tipo *Chevron (Delta)*, a partir dos resultados deste trabalho, demonstra-se como peça-chave para esse ganho, especialmente porque a elevação da edificação durante a montagem da estrutura passa a não depender mais da cura do concreto, mas apenas da estabilização dos pilares com os contraventos, antes de lançar as vigas do próximo pavimento (essa atividade pode ser otimizada ainda mais a partir de rotinas bem estabelecidas de pré-montagem em solo, na fase anterior à elevação). Que possuem execução muito mais rápida, economizando tanto em mão de obra quanto em equipamentos, locações e outros fatores inerentes à montagem.

Portanto, a redução da variação de 20 a 35%, referente ao custo global do empreendimento, proveniente da atividade de montagem, compensaria diretamente a

diferença de 72 toneladas entre as soluções de estabilização, *Chevron (Delta)* e Núcleo rígido de concreto armado.

É válido, então, cogitar a hipótese de utilizar concretos especiais, de cura mais rápida, atingindo estados de resistência que mitigariam a diferença de velocidade na elevação, reduzindo o tempo total de obras. Porém, tal medida, além de exigir um controle tecnológico especial, também aumentaria exponencialmente o custo global da solução de Núcleo Rígido em Concreto Armado adotada, o que elevaria ainda mais a competitividade do sistema *Chevron (Delta)* de contraventamentos em barras frente ao núcleo rígido de concreto armado.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. NBR 6120:2019. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Forças Devidas ao Vento em Edificações**. NBR 6123:2013. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. NBR 6118:2014. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. NBR 8800: 2008. Rio de agosto, 2008.
- BABAEI, M. et al. *OPTIMAL TOPOLOGIES FOR STEEL FRAMES WITH ORDINARY CHEVRON AND X-BRACES: The Effect on Total Structural Cost*. **The Open Civil Engineering Journal**, v. 10, n. 1, p. 677–684, 2016.
- BELLEI, H. I.; BELLEI N. H. **EDIFÍCIOS DE PEQUENO PORTE ESTRUTURADOS EM AÇO**. Rio de Janeiro: Aço Brasil/CBCA, 2018. 107 p.
- BELLEI, H. I.; PINHO, O. F.; PINHO, O. m. **EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS ANDARES EM AÇO**. São Paulo: Aço Brasil/CBCA, 2008. 556 p.
- BORGES, Rafael. Usinas já ensaiam novo aumento de preços do aço entre junho e julho, diz inda. **Money Times**. Disponível em: <https://www.moneytimes.com.br/usinas-ja-ensaiam-novo-aumento-de-precos-do-aco-entre-junho-e-julho-diz-inda/>. Acesso em: 20 de mai. 2020.
- BRANCHIER, H. S. **CONTRIBUIÇÕES DOS SOFTWARES NA APRENDIZAGEM DE ANÁLISE E CÁLCULO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS**. 2017. 108f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Vale do Taquari, 2017.
- CBCA. **CENTRO EMPRESARIAL AEROPORTO - PORTO ALEGRE, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/banco-de-obras/app/resultado-busca-detalle.html?cod=9026> Acesso em: 25 de mai 2021.

CBCA. **CONCORDIA CORPORATE TOWER - NOVA LIMA, MINAS GERAIS, BRASIL.** Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/banco-de-obras/app/resultado-busca-detalle.html?cod=101832> Acesso em: 25 de mai 2021.

CBCA. **EDIFÍCIO CAPRI - BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS, BRASIL.** Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/banco-de-obras/app/resultado-busca-detalle.html?cod=90278> Acesso em: 25 de mai 2021.

CBCA. **EDUCANDÁRIO PASSIONISTA SÃO PAULO DA CRUZ - TUCURUVI, SÃO PAULO, BRASIL.** Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/banco-de-obras/app/resultado-busca-detalle.html?cod=101879> Acesso em: 25 de mai 2021.

CORELHANHO, A. G. B. **ANÁLISE NÃO LINEAR GEOMÉTRICA E FÍSICA DE NÚCLEOS RÍGIDOS DE EDIFÍCIOS ALTOS EM CONCRETO ARMADO.** 2010. 171f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.

CORTEZ, L. A. DA R. et al. Uso das estruturas de aço no Brasil. **Cadernos de Graduação**, v. 4, n. 2, p. 217–228, 2017.

EINGEL, H. **SISTEMAS DE ESTRUTURAS.** Barcelona: ORMOGRAF, Gustavo Gili, SA, 2003. 351 p.

EMPORIS STANDARDS COMMITTEE. **HIGH-RISE BUILDING (ESN 18727).** Disponível em: <https://www.emporis.com/building/standard/3/high-rise-building>. Acesso em: 21 de set. 2020.

EMPORIS STANDARDS COMMITTEE. **SKYSCRAPER (ESN 24419).** Disponível em: <https://www.emporis.com/building/standard/3/high-rise-building>. Acesso em: 21 de set. 2020.

EOM, T.; MURMU, H.; YI, W. **BEHAVIOR AND DESIGN OF DISTRIBUTED BELT WALLS AS VIRTUAL OUTRIGGERS FOR CONCRETE HIGH-RISE BUILDINGS.** International Journal of Concrete Structures and Materials. v. 13, n. 1, 2019.

FERREIRA, K. M.; NUNES, J. m.; RODRIGUES, V. F. **COMO CONTRAVENTAR UMA ESTRUTURA?** In: SEMANA UNIVERSITÁRIA/ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA/FEIRA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 8/7/5, 2018, ANAIS... Mineiros: UNIFIMES, 2018. P. 1-6.

GERDAU S.A. **PERFIS ESTRUTURAIS GERDAU: Tabela de Bitolas**. 2018. São Paulo: Gerdau, 2018. 3 p.

HADDAD, M.; HADDAD, R.; AL QADI, A. **INELASTIC CYCLIC BEHAVIOR AND FRACTURE OF WIDE FLANGE STEEL BRACE MEMBERS**. Construction and Building Materials, Edinburgh, v. 199, 92-105, fev. 2019.

HEDRICH-BLESSING; **THE JOHN HANCOCK CENTER**. Disponível em: <https://interactive.wttw.com/playlist/2019/09/25/50-years-john-hancock-center>. Acesso em: 25 de mai 2021.

HINE. L. W. **CONNECTING THE BEAMS**. Disponível em: <https://digitalcollections.nypl.org/items/510d47d9-a927-a3d9-e040-e00a18064a> 99. Acesso em: 25 de mai 2021.

HORWITZ-BENNETT, B. The core of the matter. **Architectural Record**, v. 1, n. 1, p. 1–13, 2016.

IGLESIAS, Socrate Muñoz. **SOLUÇÕES ESTRUTURAIS: 10 formas de controlar os deslocamentos e acelerações horizontais**. Disponível em: http://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/solucoes-estruturais/?fb_comment_id=1758305007583436_1778023825611554. Acesso em: 16 de out. 2020.

INTERNACIONAL, S. C. **ESTÁDIO BEIRA RIO**. Disponível em: <https://internacional.com.br/galerias>. Acesso em: 25 de mai 2021.

JUNIOR, E. S. **ANÁLISE DA INTERAÇÃO ENTRE NÚCLEOS ESTRUTURAIS E LAJES EM EDIFÍCIOS ALTOS** 2001. 144f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

KIMURA, A. **INFORMÁTICA APLICADA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARAMADO: Cálculo de Edifícios com o uso de sistemas computacionais**. São Paulo: Pini, 2007. 624 p.

LOPES, F. A. F. (2003). **Análise tridimensional de um sistema de contraventamento misto aplicado em edifícios altos**. Recife, 2003, 118p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

MASENGARB, J.; LINSER, J. **SCHOOLYARDS TO SKYLINES: Teaching with Chicago's amazing architecture**. 1. ed. Chicago: Chicago Architecture Foundation, 2002.

MCSHANE, F. S. **NORTH ELEVATION - X BRACE AT 12TH FLOOR**. Disponível em: https://www.som.com/projects/875_north_michigan_avenue_structural_engineering. Acesso em: 25 de mai 2021.

METFORM S.A. **TELHA-FÔRMA (STEEL DECK)**. 2019. Betim: Metform, 2019. 4 p.

NASIR, S. R.; PATIL, A. S. **LATERAL STABILITY ANALYSIS OF HIGH RISE BUILDING WITH THE EFFECT OF OUTRIGGER AND BELT TRUSS SYSTEM**. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). v. 3, n.1, 2016.

NICOARICOA. **ONE VANDERBILT PROGRESS**. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:One_Vanderbilt_Progress_.jpg Acesso em: 25 de mai 2021.

NYC-REDDIT. **EMPIRE STATE BUILDING, CONSTRUCTION PROGRESS, 1930**. Disponível em: <https://viewing.nyc/vintage-photographs-from-1930-show-progression-of-empire-state-building-construction/>. Acesso em: 25 de mai 2021.

PRESTES, J. A. S. Edifício Piemonte. **REVISTA DA ESCOLA DE MINAS**, v.53, n.13, p.175-180, 2000.

RIBEIRO, L. F. L. **UTILIZAÇÃO DE “OUTRIGGERS” EM EDIFÍCIOS ALTOS**. 1990. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990.

RIL, R. D.; VITO, m. **ANÁLISE DO CONSUMO DE AÇO VERIFICANDO O DESLOCAMENTO LATERAL DE ESTRUTURAS CONTRAVENTADAS E NÃO CONTRAVENTADAS EM AÇO**. 2017. 15 f. Artigo Acadêmico (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017.

ROMÃO, X. **SISTEMAS ARTICULADOS PLANOS**. 2003. 19 f. Notas de Aula – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, Porto, 2013.

SAE INFORMÁTICA. **MANUAL STRAP: Versão 11.5**. 2009. Sistemas de Análise Estrutural, São Paulo, 2009, 1088p.

SIDDIQI, Z.; HAMEED, R.; AKMAL, U. **COMPARISON OF DIFFERENT BRACING SYSTEMS FOR TALL BUILDINGS**. Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences, Lahore, v. 14, 17-26, jan. 2014.

STOLLER, E. **JOHN HANCOCK BUILDING**. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/01-99160/ezra-stoller-alem-da-arquitetura/51212330b3fc4b70d4000228-ezra-stoller-beyond-architecture-photo?next_project=no Acesso em: 27 de set. 2020.

TABARELLI, A.; ARAÚJO, E. C. DE; PRESTES, J. A. S. Análise comparativa de sistemas verticais de estabilização e a influência do efeito P-delta no dimensionamento de edifícios de andares múltiplos em aço. **REM: Revista Escola de Minas**, v. 55, n. 4, p. 251–255, 2002.

TARANATH, B. S. **STRUCTURAL ANALYSIS AND DESIGN OF TALL BUILDINGS: Steel And Composite Constructio**. New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016. 722 p.

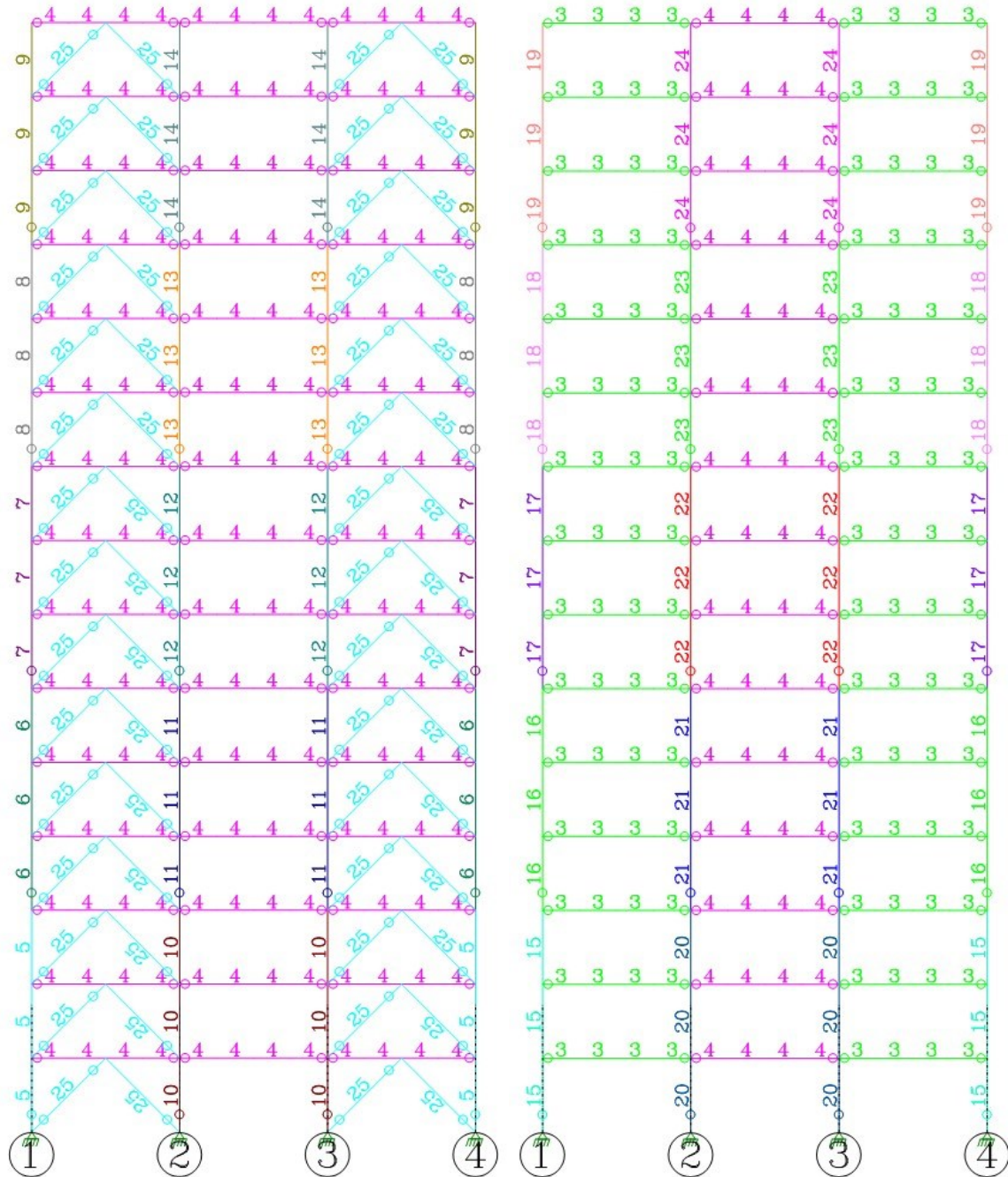
TOUHEY, M. **PORT AUTHORITY MIDTOWN BUS TERMINAL**. Disponível em: <https://www.panynj.gov/bus-terminals/en/port-authority.html>. Acesso em: 27 de set. 2020.

VALLOUREC TUBOS DO BRASIL S.A. **Tubos Estruturais: Seção Circular, Quadrada e Retangular**. 2019. Barreiro de Baixo: Vallourec do Brasil, 2014. 56 p.

YU, X.; JI, T.; ZHENG, T. **RELATIONSHIPS BETWEEN INTERNAL FORCES, BRACING PATTERNS AND LATERAL STIFFNESSES OF A SIMPLE FRAME**. Engineering Structures, St. Louis, v. 89, 147-161, fev. 2015.

ANEXO A – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 01 – EIXOS A E B

Figura 51 – Diagramas unifilares do Modelo 01 com legenda –Eixos A e B, respectivamente

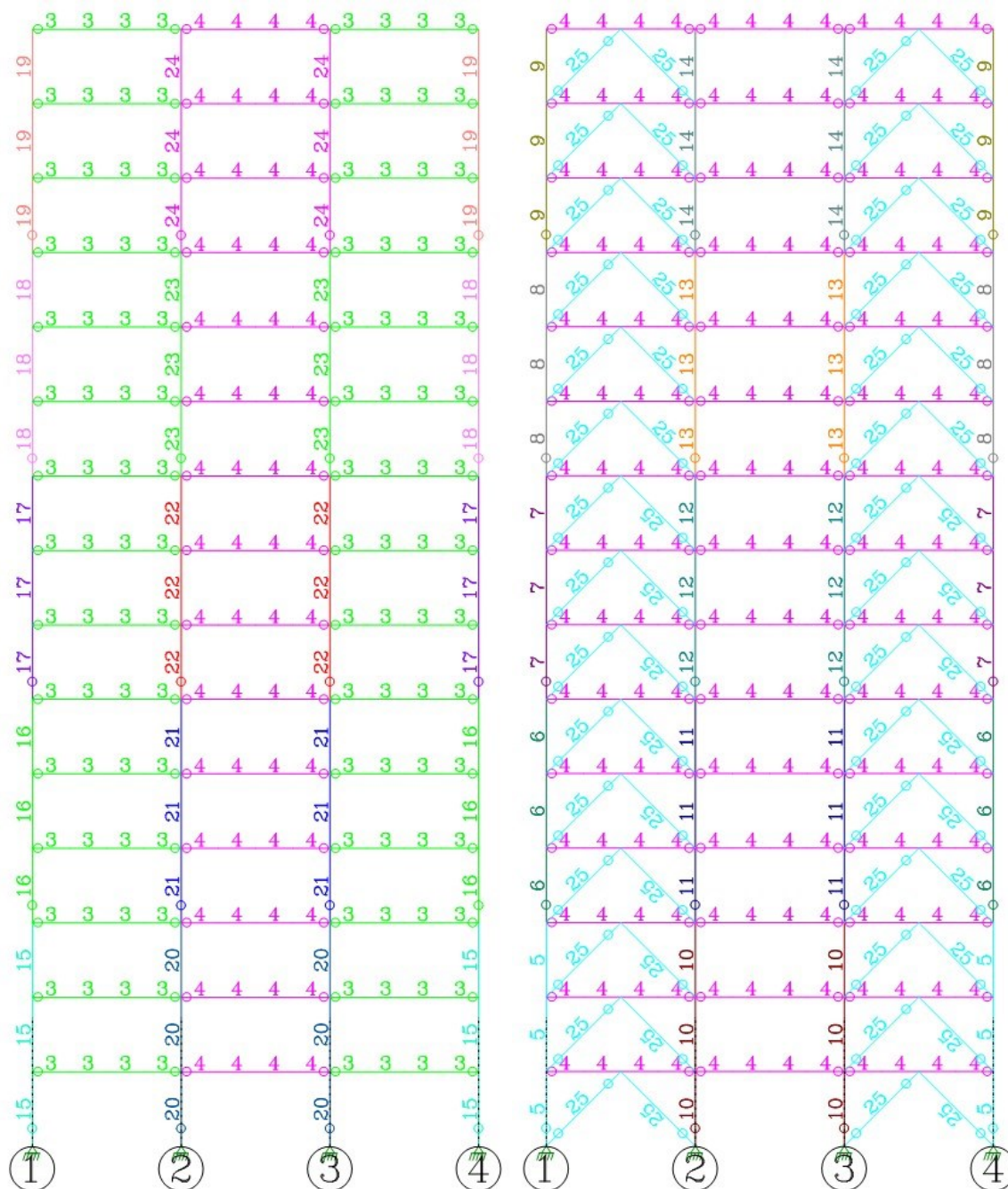


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|---------------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 260x260x11.0 | 11 | CS 450x154 | 16 | CS 450x154 |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 250x250x8.0 | 12 | CS 350x112 | 17 | CS 350x112 |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 190x190x7.1 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 150x150x6.3 | 14 | CS 250x52 | 19 | CS 200x50 |
| 5 | TEQ 290x290x14.2 | 10 | CS 500x207 | 15 | CS 500x207 | 20 | CS 500x194 |
| | | | | | | 21 | CS 350x161 |
| | | | | | | 22 | CS 350x119 |
| | | | | | | 23 | CS 250x90 |
| | | | | | | 24 | CS 200x50 |
| | | | | | | 25 | TEC 168.3x8.0 |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO B – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 01 – EIXOS C E D

Figura 52 – Diagramas unifilares do Modelo 01 com legenda – Eixos C e D, respectivamente

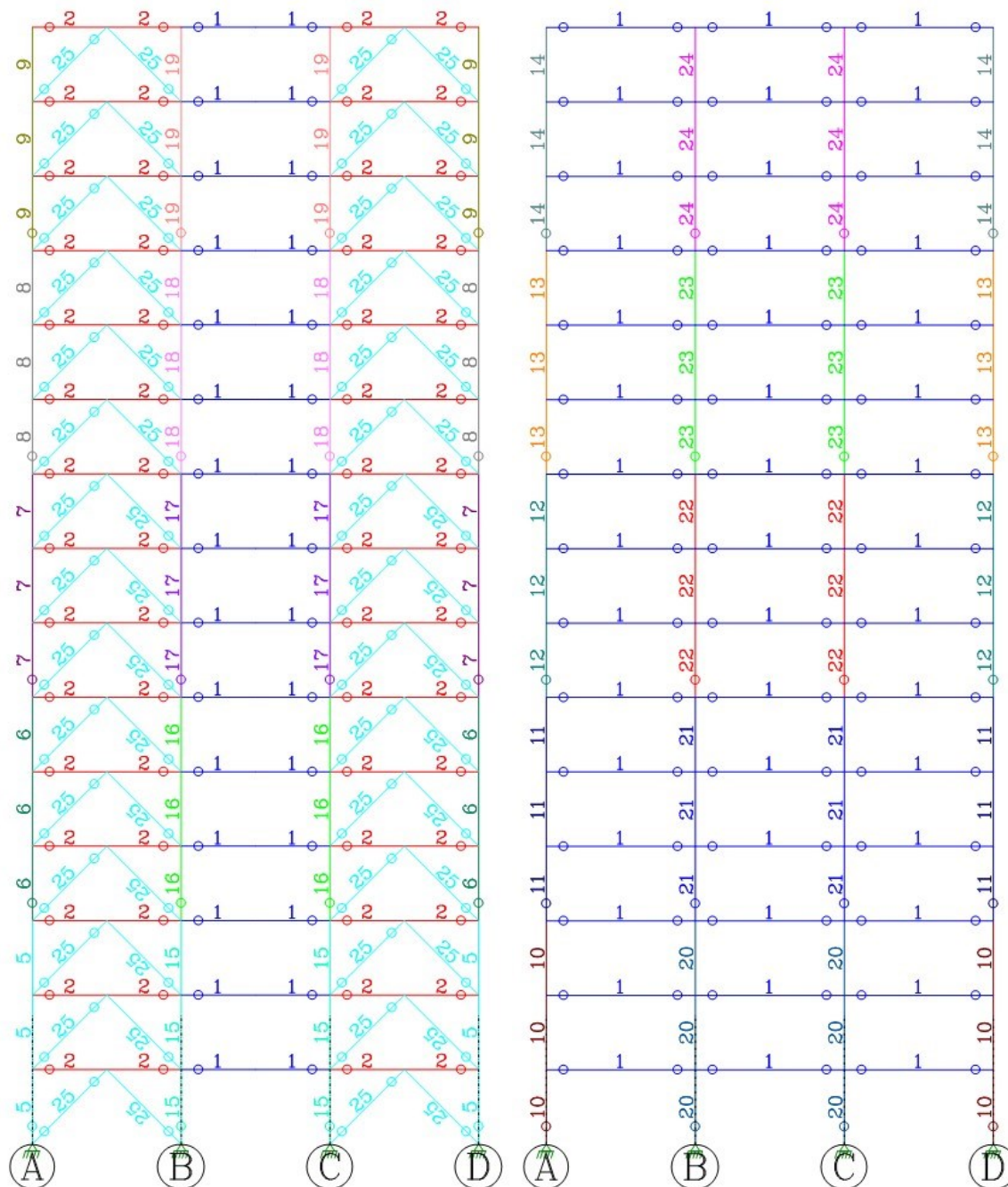


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|---------------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 260x260x11.0 | 11 | CS 450x154 | 16 | CS 450x154 |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 250x250x8.0 | 12 | CS 350x112 | 17 | CS 350x112 |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 190x190x7.1 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 150x150x6.3 | 14 | CS 250x52 | 19 | CS 200x50 |
| 5 | TEQ 290x290x14.2 | 10 | CS 500x207 | 15 | CS 500x207 | 20 | CS 500x194 |
| | | | | | | 21 | CS 350x161 |
| | | | | | | 22 | CS 350x119 |
| | | | | | | 23 | CS 250x90 |
| | | | | | | 24 | CS 200x50 |
| | | | | | | 25 | TEC 168.3x8.0 |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO C – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 01 – EIXOS 1 E 2

Figura 53 – Diagramas unifilares do Modelo 01 com legenda – Eixos 1 e 2, respectivamente

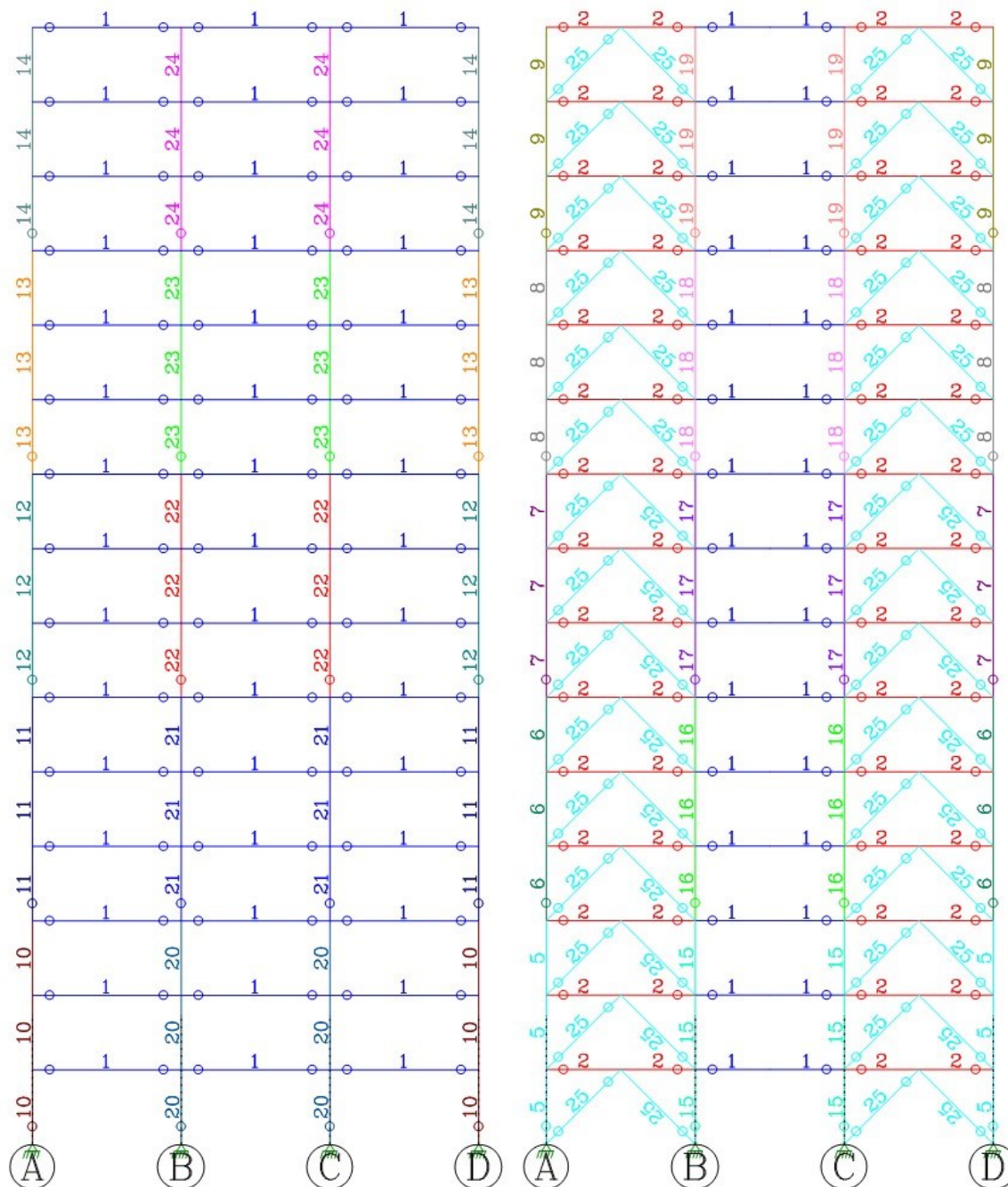


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|---------------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 260x260x11.0 | 11 | CS 450x154 | 16 | CS 450x154 |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 250x250x8.0 | 12 | CS 350x112 | 17 | CS 350x112 |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 190x190x7.1 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 150x150x6.3 | 14 | CS 250x52 | 19 | CS 200x50 |
| 5 | TEQ 290x290x14.2 | 10 | CS 500x207 | 15 | CS 500x207 | 20 | CS 500x194 |
| | | | | | | 21 | CS 350x161 |
| | | | | | | 22 | CS 350x119 |
| | | | | | | 23 | CS 250x90 |
| | | | | | | 24 | CS 200x50 |
| | | | | | | 25 | TEC 168.3x8.0 |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO D – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 01 – EIXOS 3 E 4

Figura 54 – Diagramas unifilares do Modelo 01 com legenda – Eixos 3 e 4, respectivamente

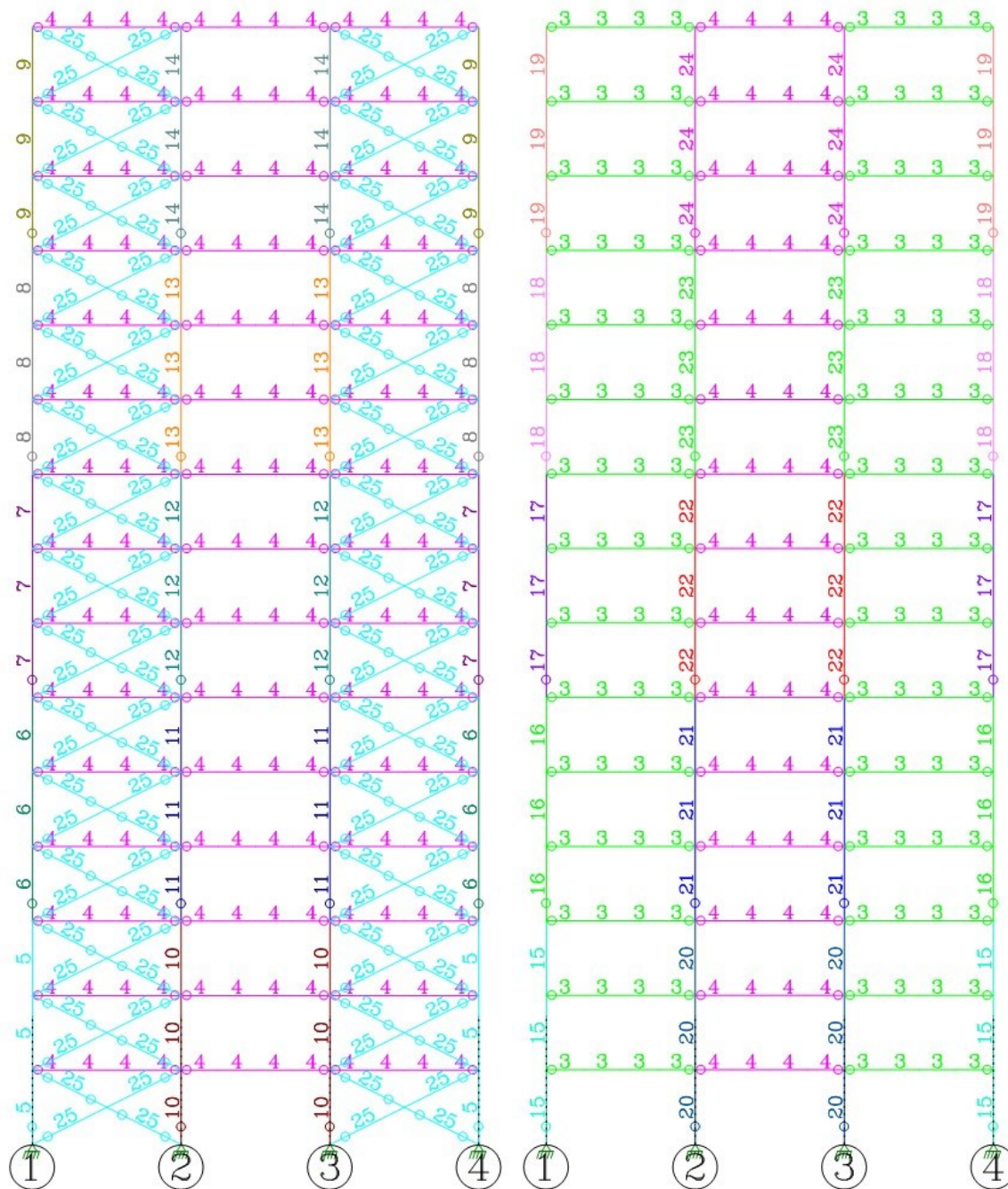


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|---------------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 260x260x11.0 | 11 | CS 450x154 | 16 | CS 450x154 |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 250x250x8.0 | 12 | CS 350x112 | 17 | CS 350x112 |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 190x190x7.1 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 150x150x6.3 | 14 | CS 250x52 | 19 | CS 200x50 |
| 5 | TEQ 290x290x14.2 | 10 | CS 500x207 | 15 | CS 500x207 | 20 | CS 500x194 |
| | | | | | | 21 | CS 350x161 |
| | | | | | | 22 | CS 350x119 |
| | | | | | | 23 | CS 250x90 |
| | | | | | | 24 | CS 200x50 |
| | | | | | | 25 | TEC 168.3x8.0 |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO E – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 02 – EIXOS A E B

Figura 55 – Diagramas unifilares do Modelo 02 com legenda – Eixos A e B, respectivamente

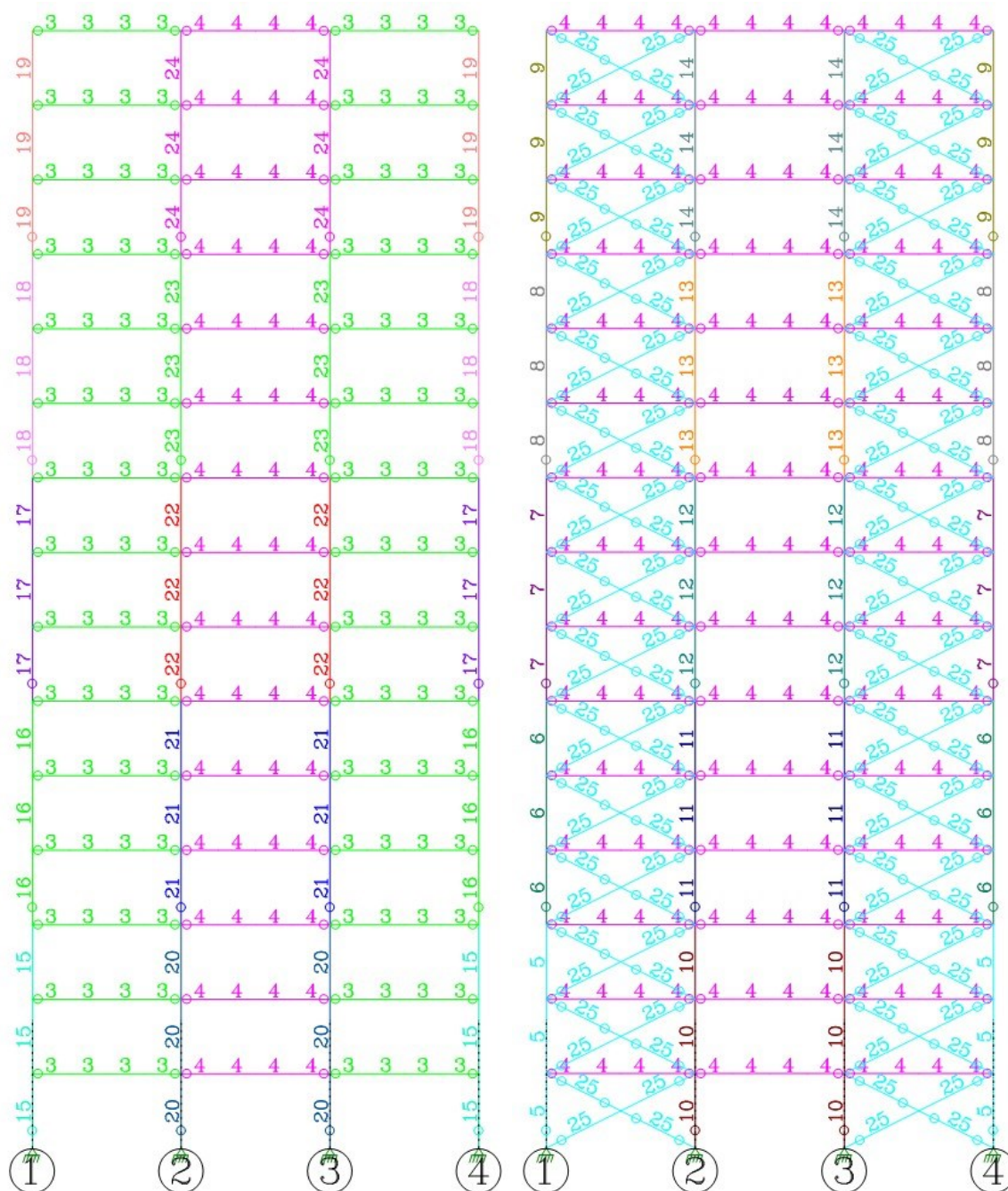


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|---------------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 290x290x10.0 | 11 | CS 400x165 | 16 | CS 400x165 |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 190x190x8.0 | 12 | CS 350x112 | 17 | CS 350x112 |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 190x190x8.0 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 160x160x6.3 | 14 | CS 200x50 | 19 | CS 250x52 |
| 5 | TEQ 300x300x14.2 | 10 | CS 500x207 | 15 | CS 500x221 | 20 | CS 500x194 |
| | | | | | | 21 | CS 450x154 |
| | | | | | | 22 | CS 350x119 |
| | | | | | | 23 | CS 250x90 |
| | | | | | | 24 | CS 200x50 |
| | | | | | | 25 | TEC 168.3x8.0 |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO F – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 02 – EIXOS C E D

Figura 56 – Diagramas unifilares do Modelo 02 com legenda – Eixos C e D, respectivamente

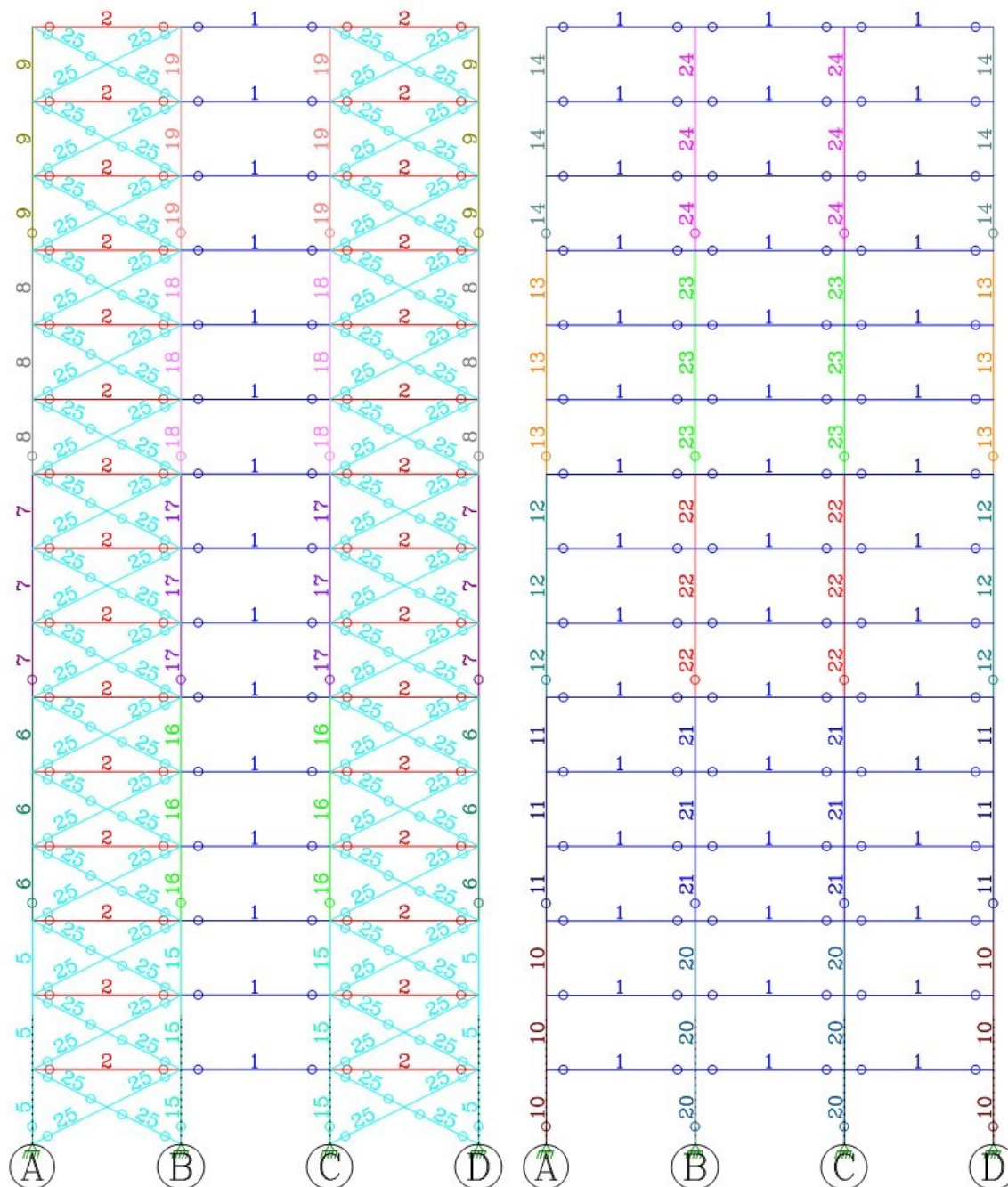


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|---------------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 290x290x10.0 | 11 | CS 400x165 | 16 | CS 400x165 |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 190x190x8.0 | 12 | CS 350x112 | 17 | CS 350x112 |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 190x190x8.0 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 160x160x6.3 | 14 | CS 200x50 | 19 | CS 250x52 |
| 5 | TEQ 300x300x14.2 | 10 | CS 500x207 | 15 | CS 500x221 | 20 | CS 500x194 |
| | | | | | | 21 | CS 450x154 |
| | | | | | | 22 | CS 350x119 |
| | | | | | | 23 | CS 250x90 |
| | | | | | | 24 | CS 200x50 |
| | | | | | | 25 | TEC 168.3x8.0 |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO G – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 02 – EIXOS 1 E 2

Figura 57 – Diagramas unifilares do Modelo 02 com legenda – Eixos 1 e 2, respectivamente

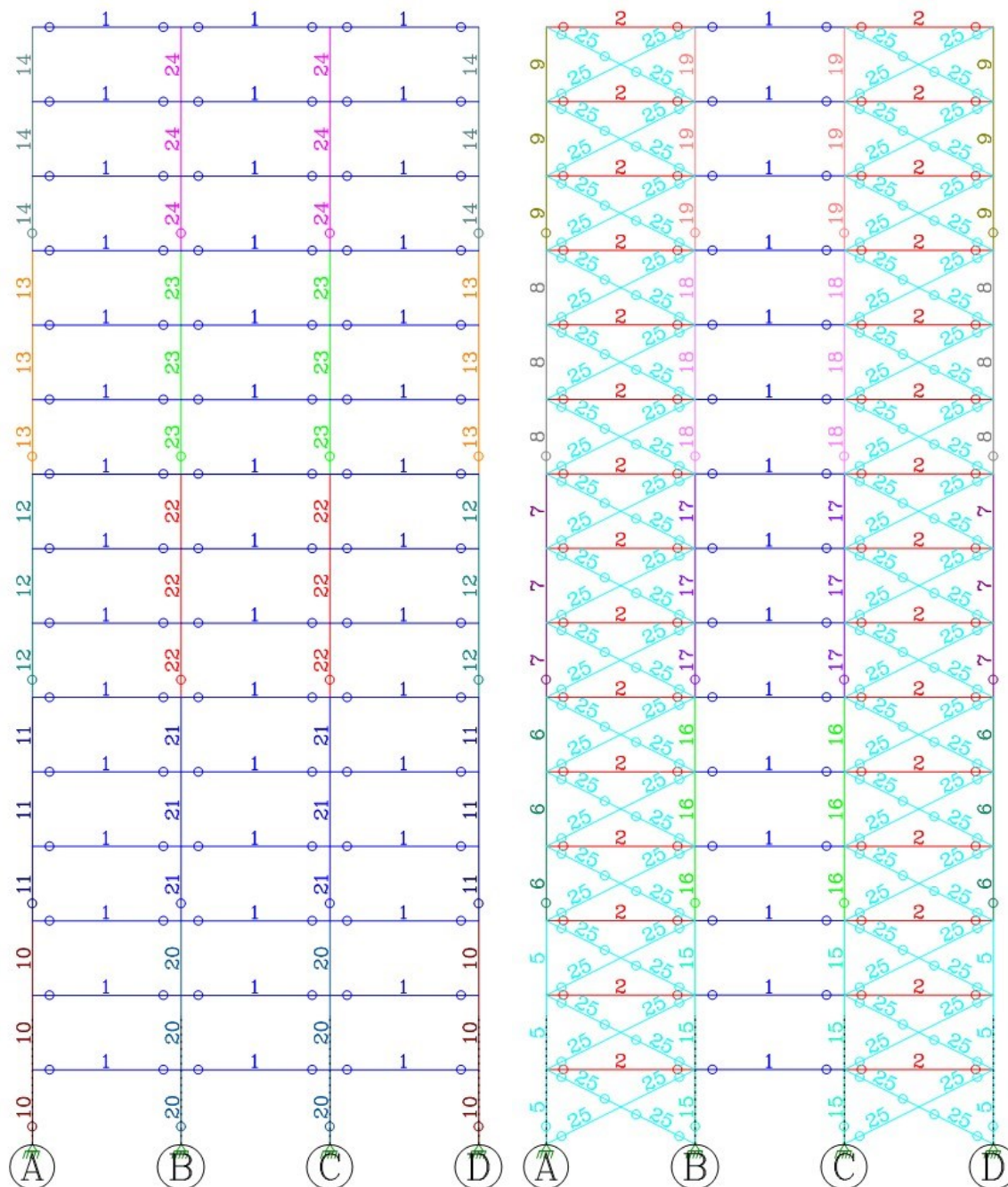


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|---------------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 290x290x10.0 | 11 | CS 400x165 | 16 | CS 400x165 |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 190x190x8.0 | 12 | CS 350x112 | 17 | CS 350x112 |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 190x190x8.0 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 160x160x6.3 | 14 | CS 200x50 | 19 | CS 250x52 |
| 5 | TEQ 300x300x14.2 | 10 | CS 500x207 | 15 | CS 500x221 | 20 | CS 500x194 |
| | | | | | | 21 | CS 450x154 |
| | | | | | | 22 | CS 350x119 |
| | | | | | | 23 | CS 250x90 |
| | | | | | | 24 | CS 200x50 |
| | | | | | | 25 | TEC 168.3x8.0 |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO H – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 02 – EIXOS 3 E 4

Figura 58 – Diagramas unifilares do Modelo 02 com legenda – Eixos 3 e 4, respectivamente

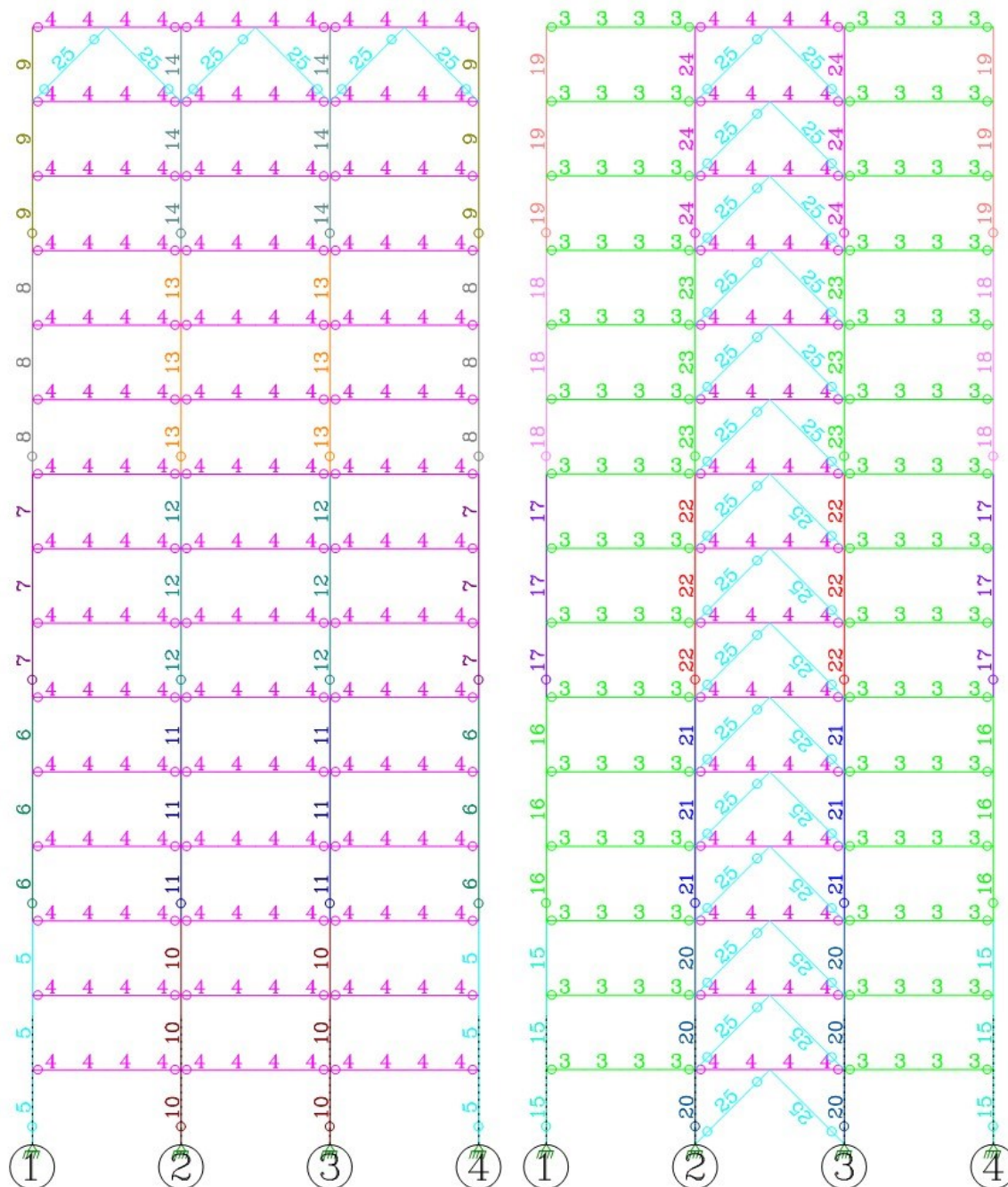


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|---------------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 290x290x10.0 | 11 | CS 400x165 | 16 | CS 400x165 |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 190x190x8.0 | 12 | CS 350x112 | 17 | CS 350x112 |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 190x190x8.0 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 160x160x6.3 | 14 | CS 200x50 | 19 | CS 250x52 |
| 5 | TEQ 300x300x14.2 | 10 | CS 500x207 | 15 | CS 500x221 | 20 | CS 500x194 |
| | | | | | | 21 | CS 450x154 |
| | | | | | | 22 | CS 350x119 |
| | | | | | | 23 | CS 250x90 |
| | | | | | | 24 | CS 200x50 |
| | | | | | | 25 | TEC 168.3x8.0 |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO I – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 03 – EIXOS A E B

Figura 59 – Diagramas unifilares do Modelo 03 com legenda – Eixos A e B, respectivamente

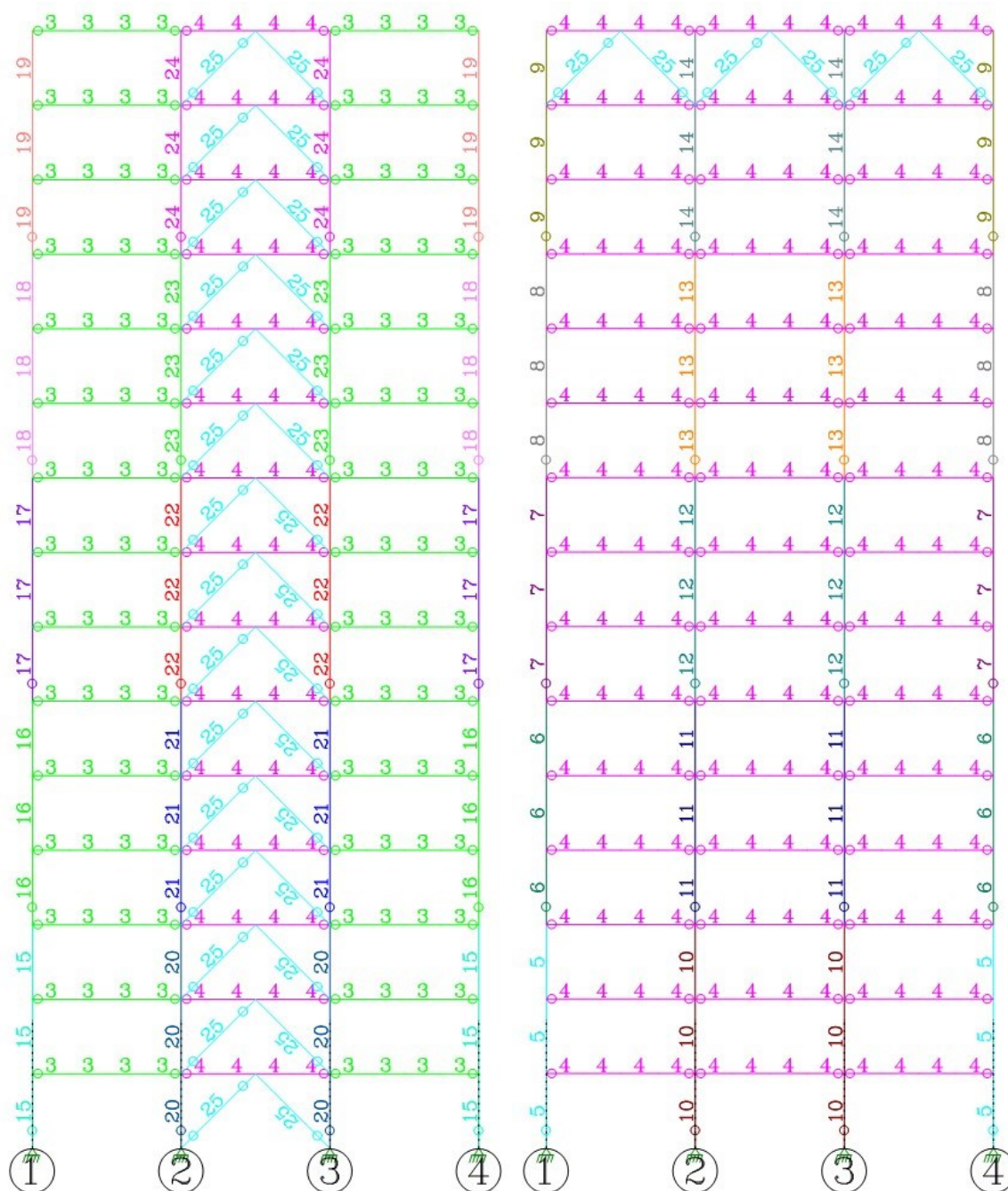


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|----------------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 270x270x10.0 | 11 | CS 400x137 | 16 | CS 400x137 |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 260x260x8.0 | 12 | CS 300x109 | 17 | CS 300x109 |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 190x190x8.0 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 150x150x6.3 | 14 | CS 200x50 | 19 | CS 250x52 |
| 5 | TEQ 270x270x12.5 | 10 | CS 450x175 | 15 | CS 450x175 | 20 | CS 550x279 |
| | | | | | | 21 | CS 500x194 |
| | | | | | | 22 | CS 350x135 |
| | | | | | | 23 | CS 250x90 |
| | | | | | | 24 | CS 250x66 |
| | | | | | | 25 | TEC 219.1x11.0 |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO J – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 03 – EIXOS C E D

Figura 60 – Diagramas unifilares do Modelo 03 com legenda – Eixos C e D, respectivamente

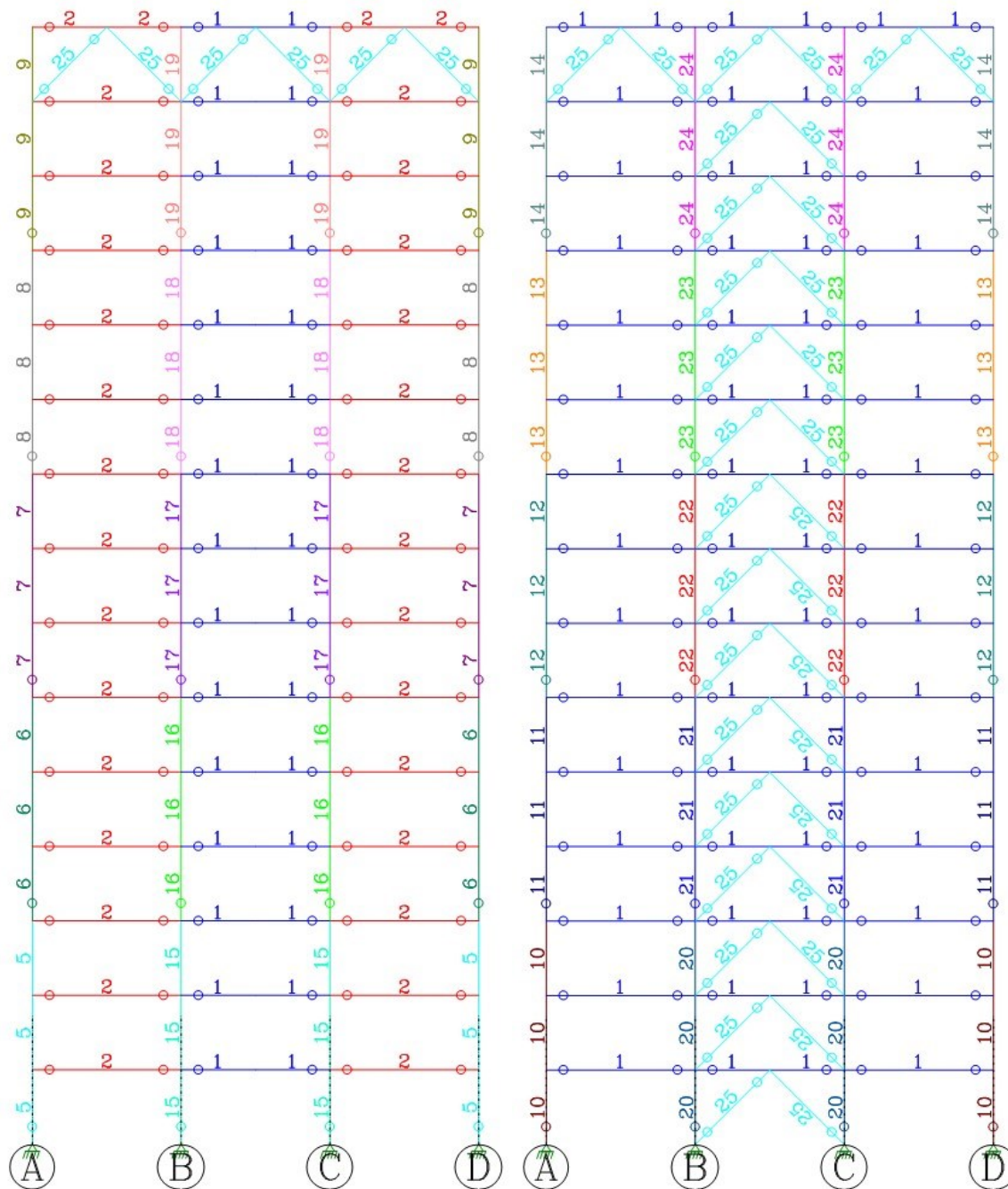


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|----------------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 270x270x10.0 | 11 | CS 400x137 | 16 | CS 400x137 |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 260x260x8.0 | 12 | CS 300x109 | 17 | CS 300x109 |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 190x190x8.0 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 150x150x6.3 | 14 | CS 200x50 | 19 | CS 250x52 |
| 5 | TEQ 270x270x12.5 | 10 | CS 450x175 | 15 | CS 450x175 | 20 | CS 550x279 |
| | | | | | | 21 | CS 500x194 |
| | | | | | | 22 | CS 350x135 |
| | | | | | | 23 | CS 250x90 |
| | | | | | | 24 | CS 250x66 |
| | | | | | | 25 | TEC 219.1x11.0 |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO K – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 03 – EIXOS 1 E 2, RESPECTIVAMENTE

Figura 61 – Diagramas unifilares do Modelo 03 com legenda – Eixos 1 e 2, respectivamente

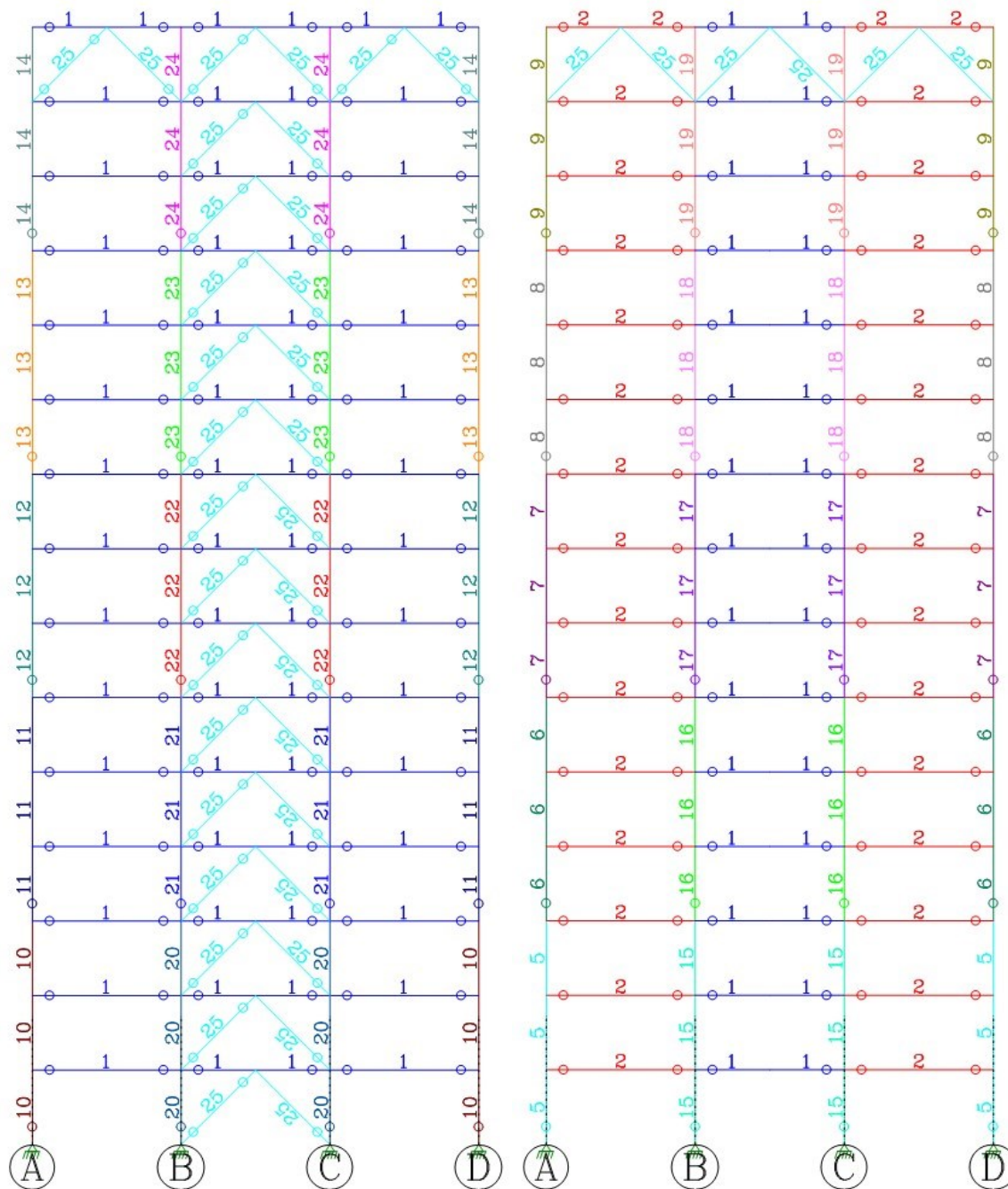


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|----------------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 270x270x10.0 | 11 | CS 400x137 | 16 | CS 400x137 |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 260x260x8.0 | 12 | CS 300x109 | 17 | CS 300x109 |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 190x190x8.0 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 150x150x6.3 | 14 | CS 200x50 | 19 | CS 250x52 |
| 5 | TEQ 270x270x12.5 | 10 | CS 450x175 | 15 | CS 450x175 | 20 | CS 550x279 |
| | | | | | | 21 | CS 500x194 |
| | | | | | | 22 | CS 350x135 |
| | | | | | | 23 | CS 250x90 |
| | | | | | | 24 | CS 250x66 |
| | | | | | | 25 | TEC 219.1x11.0 |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO L – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 03 – EIXOS 3 E 4

Figura 62 – Diagramas unifilares do Modelo 03 com legenda – Eixos 3 e 4, respectivamente

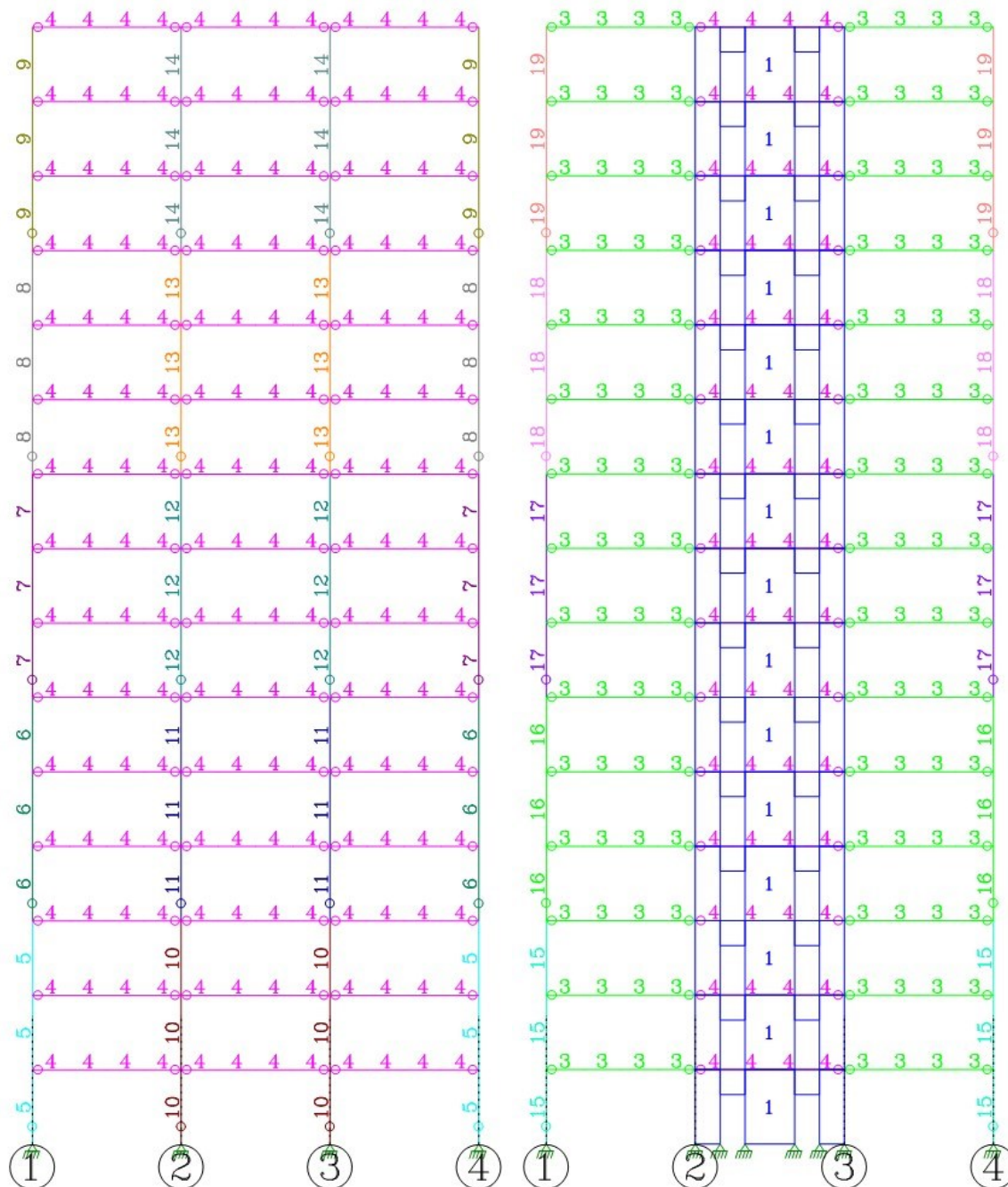


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|----------------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 270x270x10.0 | 11 | CS 400x137 | 16 | CS 400x137 |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 260x260x8.0 | 12 | CS 300x109 | 17 | CS 300x109 |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 190x190x8.0 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 150x150x6.3 | 14 | CS 200x50 | 19 | CS 250x52 |
| 5 | TEQ 270x270x12.5 | 10 | CS 450x175 | 15 | CS 450x175 | 20 | CS 550x279 |
| | | | | | | 21 | CS 500x194 |
| | | | | | | 22 | CS 350x135 |
| | | | | | | 23 | CS 250x90 |
| | | | | | | 24 | CS 250x66 |
| | | | | | | 25 | TEC 219.1x11.0 |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO M – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 04 – EIXOS A E B

Figura 63 – Diagramas unifilares do Modelo 04 com legenda – Eixos A e B, respectivamente

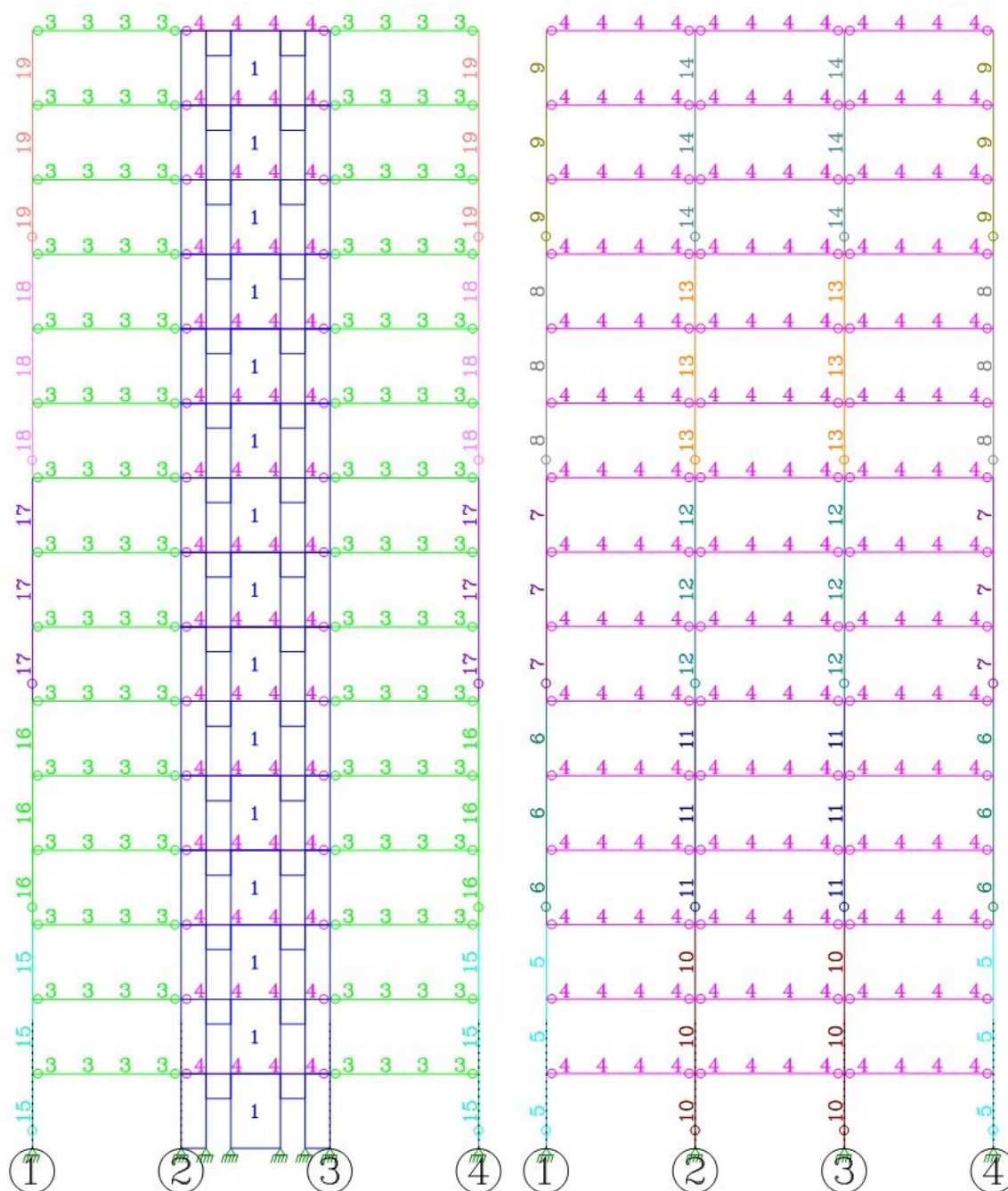


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|------------|----|-------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 270x270x10.0 | 11 | CS 400x128 | 16 | CS 400x137 | 21 | ----- |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 260x260x8.0 | 12 | CS 400x106 | 17 | CS 300x109 | 22 | ----- |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 200x200x8.0 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 | 23 | ----- |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 160x160x6.3 | 14 | CS 200x50 | 19 | ----- | 24 | ----- |
| 5 | TEQ 270x270x12.5 | 10 | CS 400x165 | 15 | CS 400x165 | 20 | ----- | 25 | ----- |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO N – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 04 – EIXOS C E D, RESPECTIVAMENTE

Figura 64 – Diagramas unifilares do Modelo 04 com legenda – Eixos C e D, respectivamente

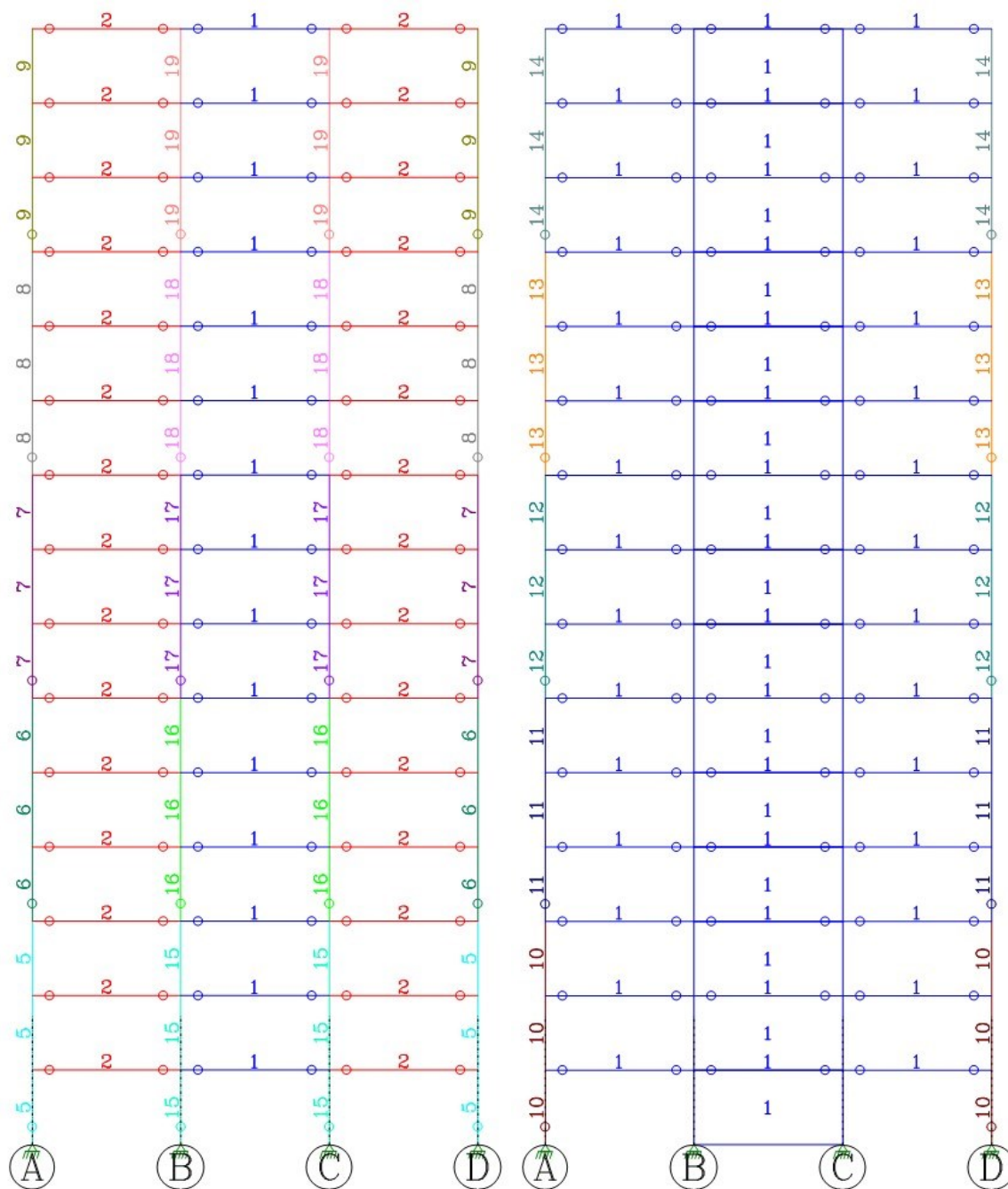


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|------------|----|-------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 270x270x10.0 | 11 | CS 400x128 | 16 | CS 400x137 | 21 | ----- |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 260x260x8.0 | 12 | CS 400x106 | 17 | CS 300x109 | 22 | ----- |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 200x200x8.0 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 | 23 | ----- |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 160x160x6.3 | 14 | CS 200x50 | 19 | ----- | 24 | ----- |
| 5 | TEQ 270x270x12.5 | 10 | CS 400x165 | 15 | CS 400x165 | 20 | ----- | 25 | ----- |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO O – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 04 – EIXOS 1 E 2

Figura 65 – Diagramas unifilares do Modelo 04 com legenda – Eixos 1 e 2, respectivamente

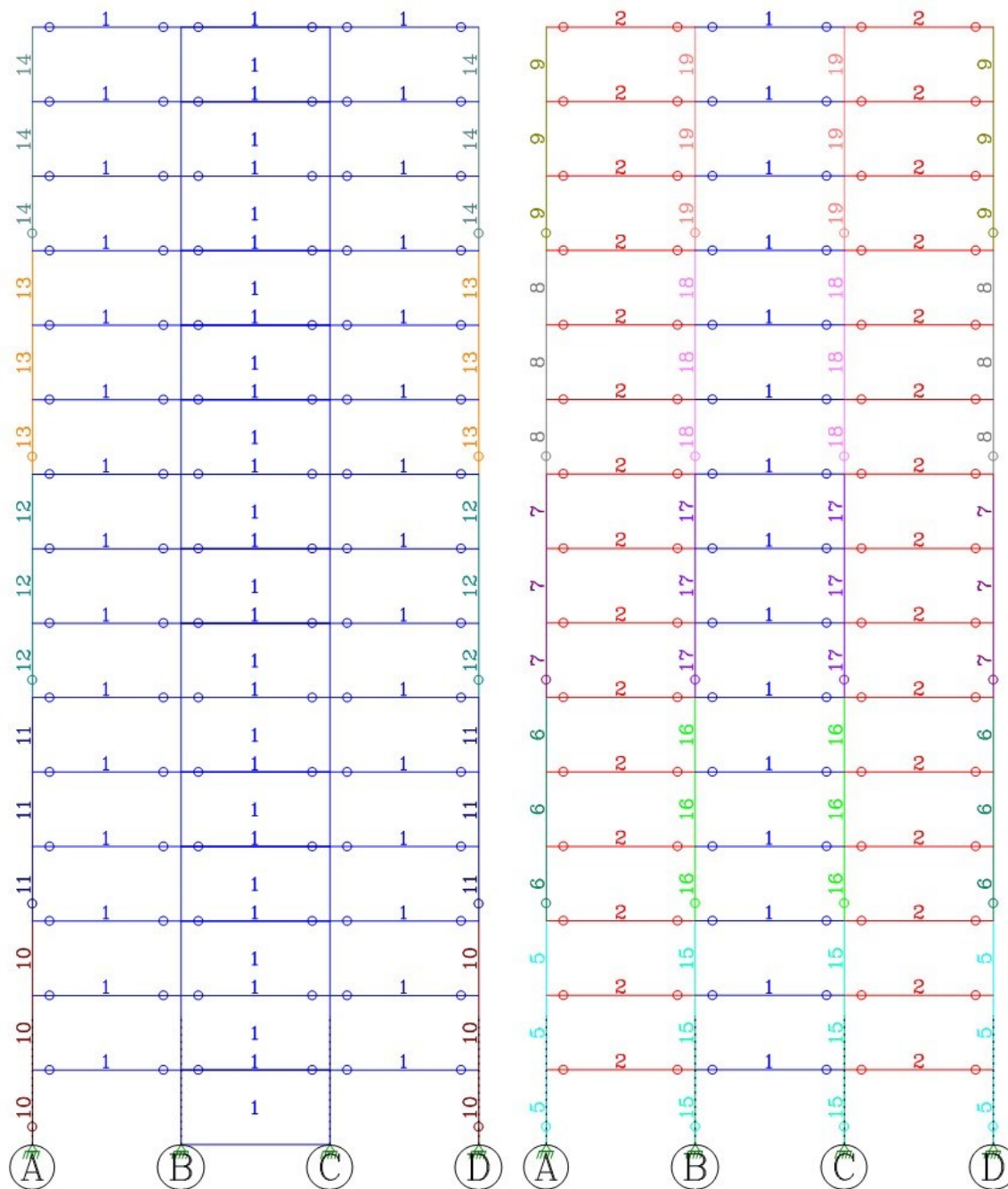


| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|------------|----|-------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 270x270x10.0 | 11 | CS 400x128 | 16 | CS 400x137 | 21 | ----- |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 260x260x8.0 | 12 | CS 400x106 | 17 | CS 300x109 | 22 | ----- |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 200x200x8.0 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 | 23 | ----- |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 160x160x6.3 | 14 | CS 200x50 | 19 | ----- | 24 | ----- |
| 5 | TEQ 270x270x12.5 | 10 | CS 400x165 | 15 | CS 400x165 | 20 | ----- | 25 | ----- |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO P – DIAGRAMAS UNIFILARES DO MODELO 04 – EIXOS 3 E 4

Figura 66 – Diagramas unifilares do Modelo 04 com legenda – Eixos 3 e 4, respectivamente



| PROPRIEDADES DAS BARRAS | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|----|------------------|----|------------|----|------------|----|-------|
| 1 | W 360x51.0 | 6 | TEQ 270x270x10.0 | 11 | CS 400x128 | 16 | CS 400x137 | 21 | ----- |
| 2 | W 410x46.1 | 7 | TEQ 260x260x8.0 | 12 | CS 400x106 | 17 | CS 300x109 | 22 | ----- |
| 3 | W 410x46.1 | 8 | TEQ 200x200x8.0 | 13 | CS 300x76 | 18 | CS 300x76 | 23 | ----- |
| 4 | W 410x46.1 | 9 | TEQ 160x160x6.3 | 14 | CS 200x50 | 19 | ----- | 24 | ----- |
| 5 | TEQ 270x270x12.5 | 10 | CS 400x165 | 15 | CS 400x165 | 20 | ----- | 25 | ----- |

Fonte: Elaborado e editado pelo Autor, com auxílio do SAE Strap 2009.

ANEXO Q – SEÇÕES UTILIZADAS NA VERIFICAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DOS PILARES DE CANTO DOS MODELOS ESTUDADOS

Tabela 29 – Seções tubulares estruturais quadradas (TEQ) admissíveis na verificação e dimensionamento dos pilares

| Dimensões Externas b x b (mm) | Espessura da Parede t (mm) | Massa por Unidade de comprimento (Kg/m) | Área da Seção Transversal (cm ²) |
|-------------------------------------|-------------------------------|--|---|
| 50 x 50 | 3,6 | 5,03 | 6,41 |
| | 4 | 5,55 | 7,07 |
| | 4,5 | 6,19 | 7,89 |
| | 5 | 6,82 | 8,69 |
| | 5,6 | 7,55 | 9,62 |
| 60 x 60 | 3,6 | 6,16 | 7,85 |
| | 4 | 6,81 | 8,67 |
| | 4,5 | 7,6 | 9,68 |
| | 5 | 8,4 | 10,7 |
| | 5,6 | 9,34 | 11,9 |
| | 6,4* | 10,5 | 13,4 |
| 70 x 70 | 7,1* | 11,5 | 14,7 |
| | 3,6 | 7,58 | 9,65 |
| | 4 | 8,4 | 10,7 |
| | 4,5 | 9,34 | 11,9 |
| | 5 | 10,4 | 13,2 |
| | 5,6 | 11,5 | 14,7 |
| | 6,4 | 13 | 16,6 |
| | 7,1 | 14,3 | 18,2 |
| | 8 | 15,9 | 20,3 |
| 80 x 80 | 8,8 | 17,3 | 22,1 |
| | 3,6* | 8,24 | 10,5 |
| | 4,0* | 9,11 | 11,6 |
| | 4,5 | 10,2 | 13 |
| | 5 | 11,3 | 14,4 |
| | 5,6 | 12,6 | 16 |
| | 6,4 | 14,2 | 18,1 |
| | 7,1 | 15,6 | 19,9 |
| | 8 | 17,4 | 22,2 |
| | 8,8 | 19 | 24,2 |
| 90 x 90 | 10 | 21,4 | 27,2 |
| | 4,0* | 10,3 | 13,1 |
| | 4,5* | 11,5 | 14,6 |
| | 5,0* | 12,7 | 16,2 |
| | 5,6 | 14,1 | 18 |
| | 6,4 | 16 | 20,4 |
| | 7,1 | 17,7 | 22,5 |
| | 8 | 19,7 | 25,1 |
| | 8,8 | 21,5 | 27,4 |
| | 10 | 24,2 | 30,8 |
| 100 x 100 | 11 | 26,3 | 33,5 |
| | 4,5* | 13 | 16,5 |
| | 5,0* | 14,3 | 18,2 |
| | 5,6 | 15,9 | 20,3 |
| | 6,4 | 18,1 | 23 |
| | 7,1 | 19,9 | 25,4 |
| | 8 | 22,3 | 28,4 |
| | 8,8 | 24,3 | 31 |
| | 10 | 27,4 | 34,9 |
| | 11 | 29,8 | 38 |

| Dimensões Externas b x b (mm) | Espessura da Parede t (mm) | Massa por Unidade de comprimento (Kg/m) | Área da Seção Transversal (cm ²) |
|-------------------------------|----------------------------|---|--|
| 110 x 110 | 12,5 | 33,4 | 42,6 |
| | 5 | 15,8 | 20,1 |
| | 5,6 | 17,6 | 22,4 |
| | 6,4 | 20 | 25,5 |
| | 7,1 | 22,1 | 28,1 |
| | 8 | 24,6 | 31,4 |
| | 8,8 | 26,9 | 34,3 |
| | 10 | 30,3 | 38,6 |
| | 11 | 33,1 | 42,2 |
| | 12,5 | 37,1 | 47,3 |
| 120 x 120 | 5,0* | 17,3 | 22,1 |
| | 5,6 | 19,4 | 24,7 |
| | 6,4 | 22,1 | 28,1 |
| | 7,1 | 24,3 | 31 |
| | 8 | 27,2 | 34,7 |
| | 8,8 | 29,8 | 37,9 |
| | 10 | 33,5 | 42,7 |
| | 11 | 36,7 | 46,7 |
| | 12,5 | 41,1 | 52,4 |
| | 14,2 | 46,2 | 58,8 |
| 130 x 130 | 16 | 51,3 | 65,3 |
| | 5,0* | 18,6 | 23,7 |
| | 5,6* | 20,8 | 26,5 |
| | 6,4* | 23,6 | 30,1 |
| | 7,1* | 26,1 | 33,2 |
| | 8,0* | 29,2 | 37,2 |
| | 8,8 | 31,9 | 40,7 |
| | 10 | 36 | 45,9 |
| | 11 | 39,3 | 50,1 |
| | 12,5 | 44,3 | 56,4 |
| 140 x 140 | 14,2 | 49,7 | 63,3 |
| | 16 | 55,3 | 70,4 |
| | 5,0* | 20,2 | 25,7 |
| | 5,6* | 22,5 | 28,6 |
| | 6,4* | 25,6 | 32,6 |
| | 7,1* | 28,3 | 36 |
| | 8,0* | 31,6 | 40,3 |
| | 8,8 | 34,6 | 44,1 |
| | 10 | 39 | 49,7 |
| | 11 | 42,7 | 54,4 |
| 150 x 150 | 12,5 | 48 | 61,2 |
| | 14,2 | 53,9 | 68,7 |
| | 16 | 60,1 | 76,6 |
| | 6,4 | 28,6 | 36,4 |
| | 7,1 | 31,6 | 40,2 |
| | 8 | 35,4 | 45,1 |
| | 8,8 | 38,8 | 49,4 |
| | 10 | 43,8 | 55,8 |
| 160 x 160 | 11 | 47,9 | 61 |
| | 12,5 | 53,9 | 68,7 |
| | 14,2 | 60,7 | 77,3 |
| | 16 | 67,7 | 86,2 |
| | 6,4* | 29,6 | 37,7 |
| | 7,1 | 32,7 | 41,6 |
| | 8,0* | 36,7 | 46,7 |
| | 8,8* | 40,1 | 51,1 |
| | 10 | 45,3 | 57,7 |
| | 11 | 49,5 | 63,1 |

| Dimensões Externas b x b (mm) | Espessura da Parede t (mm) | Massa por Unidade de comprimento (Kg/m) | Área da Seção Transversal (cm ²) |
|-------------------------------|----------------------------|---|--|
| | 12,5 | 55,9 | 71,2 |
| | 14,2 | 62,9 | 80,1 |
| | 16 | 70,1 | 89,3 |
| 175 x 175 | 6,4 | 33,6 | 42,8 |
| | 7,1* | 37,1 | 47,3 |
| | 8,0* | 41,7 | 53,1 |
| | 8,8* | 45,6 | 58,1 |
| | 10,0* | 51,6 | 65,7 |
| | 11,0* | 56,4 | 71,9 |
| | 12,5* | 63,7 | 81,1 |
| | 14,2* | 71,7 | 91,4 |
| | 16,0* | 80,1 | 102 |
| 180 x 180 | 6,4* | 33,6 | 42,8 |
| | 7,1* | 37,1 | 47,3 |
| | 8,0* | 41,7 | 53,1 |
| | 8,8 | 45,6 | 58,1 |
| | 10 | 51,6 | 65,7 |
| | 11 | 56,4 | 71,9 |
| | 12,5 | 63,7 | 81,1 |
| | 14,2 | 71,7 | 91,4 |
| | 16 | 80,1 | 102 |
| 200 x 200 | 6,4* | 37,6 | 47,9 |
| | 7,1* | 41,6 | 53 |
| | 8,0* | 46,6 | 59,4 |
| | 8,8 | 51,2 | 65,2 |
| | 10 | 57,9 | 73,7 |
| | 11 | 63,3 | 80,7 |
| | 12,5 | 71,5 | 91,1 |
| | 14,2 | 80,9 | 103 |
| | 16 | 90,3 | 115 |
| 220 x 220 | 6,4* | 42,1 | 53,6 |
| | 7,1* | 46,6 | 59,3 |
| | 8 | 52,3 | 66,6 |
| | 8,8 | 57,4 | 73,1 |
| | 10 | 64,9 | 82,7 |
| | 11 | 71,1 | 90,6 |
| | 12,5 | 80,1 | 102 |
| | 14,2 | 90,3 | 115 |
| | 16 | 101 | 129 |
| 240 x 240 | 6,4 | 46,1 | 58,7 |
| | 7,1 | 51 | 65 |
| | 8 | 57,3 | 73 |
| | 8,8 | 62,9 | 80,1 |
| | 10 | 71,1 | 90,6 |
| | 11 | 78 | 99,4 |
| | 12,5 | 87,9 | 112 |
| | 14,2 | 99,7 | 127 |
| | 16 | 111 | 142 |
| 250 x 250 | 6,4* | 47,3 | 60,2 |
| | 7,1* | 52,4 | 66,7 |
| | 8 | 58,8 | 74,9 |
| | 8,8 | 64,5 | 82,2 |
| | 10 | 73 | 93 |
| | 11 | 80,1 | 102 |
| | 12,5 | 90,3 | 115 |
| | 14,2 | 102 | 130 |
| | 16 | 115 | 146 |
| 260 x 260 | 6,4* | 50,1 | 63,8 |

| Dimensões Externas b x b (mm) | Espessura da Parede t (mm) | Massa por Unidade de comprimento (Kg/m) | Área da Seção Transversal (cm²) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--|---|
| | 7,1 | 55,4 | 70,6 |
| | 8 | 62,3 | 79,4 |
| | 8,8 | 68,4 | 87,1 |
| | 10 | 77,4 | 98,6 |
| | 11 | 84,8 | 108 |
| | 12,5 | 95,8 | 122 |
| | 14,2 | 108 | 138 |
| | 16 | 122 | 155 |
| 270 x 270 | 8 | 65,5 | 83,4 |
| | 8,8 | 71,8 | 91,5 |
| | 10 | 81,6 | 104 |
| | 11 | 89,5 | 114 |
| | 12,5 | 100 | 128 |
| | 14,2 | 114 | 145 |
| | 16 | 128 | 163 |
| 290 x 290 | 8,0* | 68,6 | 87,4 |
| | 8,8* | 75,3 | 95,9 |
| | 10,0* | 85,6 | 109 |
| | 11 | 93,4 | 119 |
| | 12,5 | 106 | 135 |
| | 14,2 | 119 | 152 |
| | 16 | 134 | 171 |
| | 20,0* | 166 | 211 |
| 300 x 300 | 12,5 | 110 | 140 |
| | 14,2 | 124 | 158 |
| | 16 | 139 | 177 |
| | 20 | 172 | 219 |

Fonte: Catálogo de Tubos Estruturais: Seção Circular, Quadrada e Retangular, Vallourec Brasil (2019; p. 35).

ANEXO R – SEÇÕES UTILIZADAS NA VERIFICAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DOS PILARES DE FACE E MEIO NOS MODELOS ESTUDADOS

Tabela 30 – Seções tipo coluna soldada (CS) admissíveis na verificação e dimensionamento dos pilares face e meio

| Nome | Seção (mm) | Espessura da Alma (tw - mm) | Espessura da mesa (tf - mm) | Altura da alma (d -mm) |
|---------|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 200x34 | 200 X | 6,3 | 8 | 184 |
| 200x39 | 200 X | 6,3 | 9,5 | 181 |
| 200x41 | 200 X | 8 | 9,5 | 181 |
| 200x50 | 200 X | 8 | 12,5 | 175 |
| 250x52 | 250 X | 8 | 9,5 | 231 |
| 250x63 | 250 X | 8 | 12,5 | 225 |
| 250x66 | 250 X | 9,5 | 12,5 | 225 |
| 250x76 | 250 X | 8 | 16 | 218 |
| 250x79 | 250 X | 9,5 | 16 | 218 |
| 250x84 | 250 X | 12,5 | 16 | 218 |
| 250x90 | 250 X | 9,5 | 19 | 212 |
| 250x95 | 250 X | 12,5 | 19 | 212 |
| 250x108 | 250 X | 12,5 | 22,4 | 205,2 |
| 300x62 | 300 X | 8 | 9,5 | 281 |
| 300x76 | 300 X | 8 | 12,5 | 275 |
| 300x95 | 300 X | 9,5 | 16 | 268 |
| 300x102 | 300 X | 12,5 | 16 | 268 |
| 300x109 | 300 X | 9,5 | 19 | 262 |
| 300x115 | 300 X | 12,5 | 19 | 262 |
| 300x122 | 300 X | 16 | 19 | 262 |
| 300x131 | 300 X | 12,5 | 22,4 | 255,2 |
| 300x138 | 300 X | 16 | 22,4 | 255,2 |
| 300x149 | 300 X | 16 | 25 | 250 |
| 350x93 | 350 X | 9,5 | 12,5 | 325 |
| 350x112 | 350 X | 9,5 | 16 | 318 |
| 350x119 | 350 X | 12,5 | 16 | 318 |
| 350x128 | 350 X | 9,5 | 19 | 312 |
| 350x135 | 350 X | 12,5 | 19 | 312 |
| 350x144 | 350 X | 16 | 19 | 312 |
| 350x153 | 350 X | 12,5 | 22,4 | 305,2 |
| 350x161 | 350 X | 16 | 22,4 | 305,2 |
| 350x175 | 350 X | 16 | 25 | 300 |
| 350x182 | 350 X | 19 | 25 | 300 |
| 350x216 | 350 X | 19 | 31,5 | 287 |
| 400x106 | 400 X | 9,5 | 12,5 | 375 |
| 400x128 | 400 X | 9,5 | 16 | 368 |
| 400x137 | 400 X | 12,5 | 16 | 368 |
| 400x146 | 400 X | 9,5 | 19 | 362 |
| 400x155 | 400 X | 12,5 | 19 | 362 |
| 400x165 | 400 X | 16 | 19 | 362 |
| 400x176 | 400 X | 12,5 | 22,4 | 355,2 |
| 400x185 | 400 X | 16 | 22,4 | 355,2 |
| 400x201 | 400 X | 16 | 25 | 350 |
| 400x209 | 400 X | 19 | 25 | 350 |
| 400x248 | 400 X | 19 | 31,5 | 337 |
| 450x154 | 450 X | 12,5 | 16 | 418 |
| 450x175 | 450 X | 12,5 | 19 | 412 |
| 450x186 | 450 X | 16 | 19 | 412 |
| 450x198 | 450 X | 12,5 | 22,4 | 405,2 |
| 450x209 | 450 X | 16 | 22,4 | 405,2 |
| 450x227 | 450 X | 16 | 25 | 400 |

| Nome | Seção (mm) | Espessura da Alma (tw - mm) | Espessura da mesa (tf - mm) | Altura da alma (d - mm) |
|---------|------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 450x236 | 450 X | 19 | 25 | 400 |
| 450x280 | 450 X | 19 | 31,5 | 387 |
| 450x291 | 450 X | 22,4 | 31,5 | 387 |
| 450x321 | 450 X | 19 | 37,5 | 375 |
| 450x331 | 450 X | 22,4 | 37,5 | 375 |
| 500x172 | 500 X | 12,5 | 16 | 468 |
| 500x194 | 500 X | 12,5 | 19 | 462 |
| 500x207 | 500 X | 16 | 19 | 462 |
| 500x221 | 500 X | 12,5 | 22,4 | 455,2 |
| 500x233 | 500 X | 16 | 22,4 | 455,2 |
| 500x253 | 500 X | 16 | 25 | 450 |
| 500x263 | 500 X | 19 | 25 | 450 |
| 500x312 | 500 X | 19 | 31,5 | 437 |
| 500x324 | 500 X | 22,4 | 31,5 | 437 |
| 500x333 | 500 X | 25 | 31,5 | 437 |
| 500x369 | 500 X | 22,4 | 37,5 | 425 |
| 500x378 | 500 X | 25 | 37,5 | 425 |
| 550x228 | 550 X | 16 | 19 | 512 |
| 550x257 | 550 X | 16 | 22,4 | 505,2 |
| 550x279 | 550 X | 16 | 25 | 500 |
| 550x290 | 550 X | 19 | 25 | 500 |
| 550x345 | 550 X | 19 | 31,5 | 487 |
| 550x358 | 550 X | 22,4 | 31,5 | 487 |
| 550x368 | 550 X | 25 | 31,5 | 487 |
| 550x395 | 550 X | 19 | 37,5 | 475 |
| 550x407 | 550 X | 22,4 | 37,5 | 475 |
| 550x417 | 550 X | 25 | 37,5 | 475 |
| 550x441 | 550 X | 31,5 | 37,5 | 475 |
| 550x495 | 550 X | 31,5 | 44 | 462 |
| 600x250 | 600 X | 16 | 19 | 562 |
| 600x281 | 600 X | 16 | 22,4 | 555,2 |
| 600x305 | 600 X | 16 | 25 | 550 |
| 600x318 | 600 X | 19 | 25 | 550 |
| 600x377 | 600 X | 19 | 31,5 | 537 |
| 600x391 | 600 X | 22,4 | 31,5 | 537 |
| 600x402 | 600 X | 25 | 31,5 | 537 |
| 600x432 | 600 X | 19 | 37,5 | 525 |
| 600x446 | 600 X | 22,4 | 37,5 | 525 |
| 600x456 | 600 X | 25 | 37,5 | 525 |
| 600x483 | 600 X | 31,5 | 37,5 | 525 |
| 600x541 | 600 X | 31,5 | 44 | 512 |
| 650x305 | 650 X | 16 | 22,4 | 605,2 |
| 650x330 | 650 X | 16 | 25 | 600 |
| 650x345 | 650 X | 19 | 25 | 600 |
| 650x395 | 650 X | 16 | 31,5 | 587 |
| 650x409 | 650 X | 19 | 31,5 | 587 |
| 650x425 | 650 X | 22,4 | 31,5 | 587 |
| 650x437 | 650 X | 25 | 31,5 | 587 |
| 650x468 | 650 X | 19 | 37,5 | 575 |
| 650x484 | 650 X | 22,4 | 37,5 | 575 |
| 650x496 | 650 X | 25 | 37,5 | 575 |
| 650x525 | 650 X | 31,5 | 37,5 | 575 |
| 650x588 | 650 X | 31,5 | 44 | 562 |

Fonte: Elaborado pelo autor, SAE Strap 2009.

ANEXO S – SEÇÕES UTILIZADAS NA VERIFICAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS DE CONTRAVENTAMENTO NOS MODELOS ESTUDADOS

Tabela 31 – Seções tubulares estruturais circular (TEC) admissíveis na verificação e dimensionamento dos contraventamentos em barras

| Dimensões Externas b x b (mm) | Espessura da Parede t (mm) | Massa por unidade de comprimento (Kg/m) | Área da Seção Transversal A (cm ²) |
|-------------------------------------|----------------------------------|---|--|
| 33,4 | 3,2 | 2,38 | 3,04 |
| | 3,6 | 2,65 | 3,37 |
| 38,1 | 3,2 | 2,75 | 3,51 |
| | 3,6 | 3,06 | 3,9 |
| | 4 | 3,36 | 4,29 |
| 42,2 | 3,6 | 3,43 | 4,37 |
| | 4 | 3,77 | 4,8 |
| | 4,5 | 4,18 | 5,33 |
| | 5 | 4,59 | 5,84 |
| 48,3 | 3,6 | 3,97 | 5,06 |
| | 4 | 4,37 | 5,57 |
| | 4,5 | 4,86 | 6,19 |
| | 5 | 5,34 | 6,8 |
| | 5,6 | 5,9 | 7,51 |
| 60,3 | 6,4 | 6,61 | 8,42 |
| | 3,6 | 5,03 | 6,41 |
| | 4 | 5,55 | 7,07 |
| | 4,5 | 6,19 | 7,89 |
| | 5 | 6,82 | 8,69 |
| | 5,6 | 7,55 | 9,62 |
| | 6,4 | 8,51 | 10,8 |
| | 7,1 | 9,32 | 11,9 |
| 73 | 8 | 10,3 | 13,1 |
| | 8,8 | 11,2 | 14,2 |
| | 3,6 | 6,16 | 7,85 |
| | 4 | 6,81 | 8,67 |
| | 4,5 | 7,6 | 9,68 |
| | 5 | 8,38 | 10,7 |
| | 5,6 | 9,31 | 11,9 |
| | 6,4 | 10,5 | 13,4 |
| | 7,1 | 11,5 | 14,7 |
| | 8 | 12,8 | 16,3 |
| | 8,8 | 13,9 | 17,7 |
| 88,9 | 10 | 15,5 | 19,8 |
| | 11 | 16,8 | 21,4 |
| | 3,6 | 7,57 | 9,65 |
| | 4 | 8,38 | 10,7 |
| | 4,5 | 9,37 | 11,9 |
| | 5 | 10,3 | 13,2 |
| | 5,6 | 11,5 | 14,7 |
| | 6,4 | 13 | 16,6 |
| | 7,1 | 14,3 | 18,2 |
| | 8 | 16 | 20,3 |
| | 8,8 | 17,4 | 22,1 |
| | 10 | 19,5 | 24,8 |
| 101,6 | 11 | 21,1 | 26,9 |
| | 12,5 | 23,6 | 30 |
| | 4 | 9,63 | 12,3 |
| | 4,5 | 10,8 | 13,7 |

| Dimensões Externas b x b (mm) | Espessura da Parede t (mm) | Massa por unidade de comprimento (Kg/m) | Área da Seção Transversal A (cm ²) |
|-------------------------------|----------------------------|---|--|
| | 5 | 11,9 | 15,2 |
| | 5,6 | 13,3 | 16,9 |
| | 6,4 | 15 | 19,1 |
| | 7,1 | 16,5 | 21,1 |
| | 8 | 18,5 | 23,5 |
| | 8,8 | 20,1 | 25,7 |
| | 10 | 22,6 | 28,8 |
| | 11 | 24,6 | 31,3 |
| | 12,5 | 27,5 | 35 |
| | 114,3 | 4 | 10,9 |
| 4,5 | | 12,2 | 15,5 |
| 5 | | 13,5 | 17,2 |
| 5,6 | | 15 | 19,1 |
| 6,4 | | 17 | 21,7 |
| 7,1 | | 18,8 | 23,9 |
| 8 | | 21 | 26,7 |
| 8,8 | | 22,9 | 29,2 |
| 10 | | 25,7 | 32,8 |
| 11 | | 28 | 35,7 |
| 12,5 | | 31,4 | 40 |
| 14,2 | | 35,1 | 44,7 |
| 141,3 | 5 | 16,8 | 21,4 |
| | 5,6 | 18,7 | 23,9 |
| | 6,4 | 21,3 | 27,1 |
| | 7,1 | 23,5 | 29,9 |
| | 8 | 26,3 | 33,5 |
| | 8,8 | 28,8 | 36,6 |
| | 10 | 32,4 | 41,2 |
| | 11 | 35,3 | 45 |
| | 12,5 | 39,7 | 50,6 |
| | 14,2 | 44,5 | 56,7 |
| | 16 | 49,4 | 63 |
| | 17,5 | 53,4 | 68,1 |
| 168,3 | 5 | 20,1 | 25,7 |
| | 5,6 | 22,5 | 28,6 |
| | 6,4 | 25,6 | 32,6 |
| | 7,1 | 28,2 | 36 |
| | 8 | 31,6 | 40,3 |
| | 8,8 | 34,6 | 44,1 |
| | 10 | 39 | 49,7 |
| | 11 | 42,7 | 54,4 |
| | 12,5 | 48 | 61,2 |
| | 14,2 | 54 | 68,7 |
| | 16 | 60,1 | 76,6 |
| | 17,5 | 65,1 | 82,9 |
| 20 | 73,1 | 93,2 | |
| 219,1 | 6,4 | 33,6 | 42,8 |
| | 7,1 | 37,1 | 47,3 |
| | 8 | 41,6 | 53,1 |
| | 8,8 | 45,6 | 58,1 |
| | 10 | 51,6 | 65,7 |
| | 11 | 56,5 | 71,9 |
| | 12,5 | 63,7 | 81,1 |
| | 14,2 | 71,8 | 91,4 |
| | 16 | 80,1 | 102 |
| | 17,5 | 87 | 111 |
| | 20 | 98,2 | 125 |

| Dimensões Externas b x b (mm) | Espessura da Parede t (mm) | Massa por unidade de comprimento (Kg/m) | Área da Seção Transversal A (cm ²) |
|----------------------------------|-------------------------------|--|---|
| | 25 | 120 | 152 |
| 273 | 6,4 | 42,1 | 53,6 |
| | 7,1 | 46,6 | 59,3 |
| | 8 | 52,3 | 66,6 |
| | 8,8 | 57,3 | 73 |
| | 10 | 64,9 | 82,6 |
| | 11 | 71,1 | 90,5 |
| | 12,5 | 80,3 | 102 |
| | 14,2 | 90,6 | 115 |
| | 16 | 101 | 129 |
| | 17,5 | 110 | 140 |
| | 20 | 125 | 159 |
| | 25 | 153 | 195 |
| | 30 | 180 | 229 |
| 323,8 | 6,4 | 50,1 | 63,8 |
| | 7,1 | 55,5 | 70,6 |
| | 8 | 62,3 | 79,4 |
| | 8,8 | 68,4 | 87,1 |
| | 10 | 77,4 | 98,6 |
| | 11 | 84,9 | 108 |
| | 12,5 | 96 | 122 |
| | 14,2 | 108 | 138 |
| | 16 | 121 | 155 |
| | 17,5 | 132 | 168 |
| | 20 | 150 | 191 |
| 25 | 184 | 235 | |
| 355,6 | 8 | 68,6 | 87,4 |
| | 8,8 | 75,3 | 95,9 |
| | 10 | 85,2 | 109 |
| | 11 | 93,5 | 119 |
| | 12,5 | 106 | 135 |
| | 14,2 | 120 | 152 |
| | 16 | 134 | 171 |
| | 17,5 | 146 | 186 |
| | 20 | 166 | 211 |
| 25 | 204 | 260 | |

Fonte: Catálogo de Tubos Estruturais: Seção Circular, Quadrada e Retangular, Vallourec Brasil (2019; p. 52).

**ANEXO T – DIAGRAMA DE SEGMENTAÇÃO DAS PAREDES CONFORME
 MODELAGEM DO NÚCLEO RÍGIDO DE CONCRETO ARMADO DO MODELO 04
 NO SOFTWARE SAE STRAP 2009**

Figura 67 – Diagrama de segmentação das paredes conforme modelagem do núcleo rígido de concreto armado do modelo 04 no software SAE Strap 2009

| VISTA DA ELEVAÇÃO DO EIXO 2 | VISTA DA ELEVAÇÃO DO EIXO B | | | VISTA DA ELEVAÇÃO DO EIXO 3 | VISTA DA ELEVAÇÃO DO EIXO C | | |
|--------------------------------|--------------------------------|----------|----------|--------------------------------|--------------------------------|----------|----------|
| P15 - S1 | P15 - S2 | P15 - S3 | P15 - S4 | P15 - S5 | P15 - S6 | P15 - S7 | P15 - S8 |
| P14 - S1 | P14 - S2 | P14 - S3 | P14 - S4 | P14 - S5 | P14 - S6 | P14 - S7 | P14 - S8 |
| P13 - S1 | P13 - S2 | P13 - S3 | P13 - S4 | P13 - S5 | P13 - S6 | P13 - S7 | P13 - S8 |
| P12 - S1 | P12 - S2 | P12 - S3 | P12 - S4 | P12 - S5 | P12 - S6 | P12 - S7 | P12 - S8 |
| P11 - S1 | P11 - S2 | P11 - S3 | P11 - S4 | P11 - S5 | P11 - S6 | P11 - S7 | P11 - S8 |
| P10 - S1 | P10 - S2 | P10 - S3 | P10 - S4 | P10 - S5 | P10 - S6 | P10 - S7 | P10 - S8 |
| P9 - S1 | P9 - S2 | P9 - S3 | P9 - S4 | P9 - S5 | P9 - S6 | P9 - S7 | P9 - S8 |
| P8 - S1 | P8 - S2 | P8 - S3 | P8 - S4 | P8 - S5 | P8 - S6 | P8 - S7 | P8 - S8 |
| P7 - S1 | P7 - S2 | P7 - S3 | P7 - S4 | P7 - S5 | P7 - S6 | P7 - S7 | P7 - S8 |
| P6 - S1 | P6 - S2 | P6 - S3 | P6 - S4 | P6 - S5 | P6 - S6 | P6 - S7 | P6 - S8 |
| P5 - S1 | P5 - S2 | P5 - S3 | P5 - S4 | P5 - S5 | P5 - S6 | P5 - S7 | P5 - S8 |
| P4 - S1 | P4 - S2 | P4 - S3 | P4 - S4 | P4 - S5 | P4 - S6 | P4 - S7 | P4 - S8 |
| P3 - S1 | P3 - S2 | P3 - S3 | P3 - S4 | P3 - S5 | P3 - S6 | P3 - S7 | P3 - S8 |
| P2 - S1 | P2 - S2 | P2 - S3 | P2 - S4 | P2 - S5 | P2 - S6 | P2 - S7 | P2 - S8 |
| P1 - S1 | P1 - S2 | P1 - S3 | P1 - S4 | P1 - S5 | P1 - S6 | P1 - S7 | P1 - S8 |

LEGENDA: P = PAREDE ; S = SEGMENTO

Fonte: Elaborado pelo autor.