



**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JOÃO PAULO DE CASTRO FERNANDES**

**ANÁLISE NUMÉRICA DE ESTRUTURAS DE PAREDE DE  
CONCRETO: MODELAGEM COMPUTACIONAL DO EDIFÍCIO  
RESIDENCIAL ARBO CONDOMÍNIO PARQUE**

**FORTALEZA**

**2020**

**JOÃO PAULO DE CASTRO FERNANDES**

**ANÁLISE NUMÉRICA DE ESTRUTURAS DE PAREDE CONCRETO:  
MODELAGEM COMPUTACIONAL DO EDIFÍCIO RESIDENCIAL  
ARBO CONDOMÍNIO PARQUE**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito à obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil da  
Faculdade Ari de Sá.

Orientador: Prof. Me. Ésio Magalhães  
Feitosa Lima.

Coorientador: Eng. Civil Vinicius Aguiar  
Teixeira.

**FORTALEZA**

**2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Faculdade Ari de Sá  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- F363a FERNANDES, João Paulo de Castro.  
Análise Numérica De Estruturas De Parede Concreto: modelagem computacional do edifício residencial arbo condomínio parque / João Paulo de Castro FERNANDES. – 2021.  
146 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade Ari de Sá, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.  
Orientação: Prof. Me. Ésio Magalhães Feitosa Lima.  
Vinicius Aguiar Teixeira.
1. Método de Elementos Finitos. 2. Modelagem Computacional. 3. Análise Estrutural. 4. Parede de Concreto Armado Moldada in loco. I. Título.

CDD 620

---

JOÃO PAULO E CASTRO FERNANDES

**ANÁLISE NUMÉRICA DE ESTRUTURAS DE PAREDE CONCRETO:  
MODELAGEM COMPUTACIONAL DO EDIFÍCIO RESIDENCIAL  
ARBO CONDOMÍNIO PARQUE**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil da Faculdade Ari de Sá.

Orientador: Prof. Me. Ésio Magalhães  
Feitosa Lima.  
Coorientador: Eng. Civil Vinicius Aguiar  
Teixeira.

Aprovada em: 19/01/2021

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. Ésio Magalhães Feitosa Lima.  
Faculdade Ari de Sá

---

Prof. Me. Francisca Lilian Cruz Brasileiro  
Faculdade Ari de Sá

---

Prof. Me. Carlos Valbson dos Santos Araújo  
Universidade de Brasília

Dedico este trabalho à minha esposa Beatriz, pelos momentos em que a mente não suportava o ardor das lutas, mas seu amor me fazia voltar ao foco. Houve momentos que desistir parecia a única opção, momentos em que a saúde faltou e que a fé em mim mesmo foi abalada, porém, suas palavras sábias e amorosas me fizeram reagir e lutar. Foi ela quem me encorajou a iniciar o curso de Engenharia Civil, que acreditou na minha capacidade de estudar, trabalhar e cuidar da família que construímos, que suportou minha ausência nos jantares em família e passeios com nossa filha Maria Fernanda, foi ela quem toucou o barco, cuidou das coisas enquanto eu lutava para ser o melhor que podia. Esta dedicatória não compensa os momentos que perdi, muito menos a parceria incondicional ao longo destes anos que temos ao lado um do outro, mas serve para reconhecer a sua importância inigualável para minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Começo agradecendo a DEUS pelo dom da vida, pela minha família e pela oportunidade de poder estudar Engenharia Civil. Estendo meus agradecimentos às pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta para confecção deste trabalho. Aos meus sogros, Miguel e Euridea pelo apoio e dedicação ao longo destes nove anos.

Agradeço a todos os professores que ao longo desta jornada me ajudaram e me deram oportunidades sem igual. Ao meu orientador Ésio Magalhães Feitosa Lima, um agradecimento especial por todos os conhecimentos que repassou de forma clara e concisa, muitas vezes excedendo seus horários de atendimento, mas sempre com paciência e zelo. Estes conhecimentos, tão difíceis de se obter sem ajuda, foram a base essencial para este trabalho e pretendo continuar usando-os durante minha vida profissional.

Gostaria de agradecer ao meu coorientador Vinicius Aguiar Teixeira, que disponibilizou os projetos e informações necessárias à execução deste estudo.

Ao amigo Lourenço, por me ajudar nesta caminhada a vencer as dificuldades que o curso de Engenharia Civil impôs. Obrigado pela sua amizade incondicional, estes anos de companheirismo e camaradagem sempre serão lembrados. Desejo muito mais sucesso em sua carreira e espero ainda podermos trabalhar juntos em outros grandes projetos.

Ao Professor e amigo Esequiel Mesquita por me mostrar que Engenharia Civil é muito mais que poeira e obra, por me mostrar novos horizontes me ensinando os primeiros passos para a Pesquisa Científica. Pelo seu apoio e seus ensinamentos eu agradeço.

## RESUMO

A busca constante por melhoria das metodologias de gestão da qualidade no mercado da construção civil, mais precisamente o mercado de incorporações, se tornou altamente exigente e competitivo. Assim, em face deste cenário de constante transformação e busca por opções mais eficazes que tornassem seus empreendimentos mais economicamente viáveis, o sistema construtivo de Parede de Concreto Moldada *in loco* passou a ser utilizado em larga escala por diversas construtoras, quando em 2012 foi normatizado através da Norma Brasileira 16055. Com a sua popularização, passou-se a observar a recorrência dos mais diversos tipos de patologias, quais sejam: fissuras em paredes à 45° e 90°; fissuras em lajes; nichos de concretagem; e outros, sendo as fissuras o ponto de interesse deste estudo. Assim, tendo em vista a grande importância socioeconômica das edificações construídas com paredes de concreto moldadas *in loco*, este estudo tem por finalidade analisar, via Método dos Elementos Finitos, um edifício de 12 pavimentos projetado e construído por uma empresa de renome nacional, especialista em edificações de parede de concreto, que logo após a concretagem apresentou algumas fissuras. Nesta modelagem, foi utilizado o *software* ©Abaqus-CAE Research V2020, onde cada pavimento da edificação foi representado com o grau de resistência característico do seu respectivo ciclo de concretagem, o qual foi obtido através do controle tecnológico do concreto realizado *in loco*. Buscou-se ainda analisar a distribuição de tensões e as deformações nos elementos estruturais, além de realizar estudo comparativo entre a distribuição de tensões analisada e fissuras encontradas no pós-concretagem. Por fim, este trabalho deverá possibilitar um melhor entendimento do comportamento estrutural desta edificação além de definir os fatores estruturais que possam acarretar fissurações.

**Palavras-chave:** Método de Elementos Finitos; Modelagem Computacional; Análise Estrutural; Parede de Concreto Armado Moldada *in loco*.

## ABSTRACT

The constant search for improvement in quality management methodologies in the civil construction market, more precisely the development market, has become highly demanding and competitive. Thus, in the face of this scenario of constant transformation and search for more effective options that would make their enterprises more economically viable, the construction system of Concrete Wall Molded in loco came to be used on a large scale by several construction companies, when in 2012 it was standardized of the Brazilian Standard 16055. With its popularization, the recurrence of the most diverse types of pathologies was observed, namely: cracks in walls at 45 ° and 90 °; cracks in slabs; concreting niches; and others, with cracks being the point of interest in this study. Thus, in view of the great socioeconomic importance of buildings built with concrete walls molded in loco, this study aims to analyze, through the Finite Element Method, a 12-floor building designed and built by a nationally renowned company, specialized in concrete wall buildings, which soon after concreting showed some cracks. In this modeling, the software © Abaqus-CAE Research V2020 was used, where each floor of the building was represented with the degree of resistance characteristic of its respective concreting cycle, which was obtained through the technological control of the concrete made in loco. We also sought to analyze the stress distribution and the deformations in the structural elements, in addition to conducting a comparative study between the stress distribution analyzed and cracks found in the post-concreting. Finally, this work should enable a better understanding of the structural behavior of this building, in addition to defining the structural factors that may cause cracks.

**Keywords:** Finite Element Method; Computational modeling; Structural analysis; Reinforced Concrete Wall Molded in loco.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Desmontagem das fôrmas e montagem da parte elétrica e estrutural.....	14
Figura 2 – Canteiro de obras de edificações de paredes de concreto .....	15
Figura 3 - Tipos de fundações utilizadas em Estruturas de Parede de Concreto Moldada <i>in loco</i> . a) Radier; b) Sapata Corrida com Estacas e Blocos de Coroamento .....	22
Figura 4 - Representação gráfica da atuação de cargas concentradas e parcialmente distribuídas em paredes de concreto .....	24
Figura 5 - Representação da região de influência a ser considerada em paredes de concreto armado .....	25
Figura 6 – Formação de tensões em caso de solicitações causadas por .....	25
Figura 7 - Comparativo da concentração de tensões encontrada no modelo 3D e a fissura existente na edificação. ....	26
Figura 8 – Diferença esquemática entre os Métodos Analíticos Clássicos e o Método dos Elementos Finitos .....	27
Figura 9 - Método geral para análise de sistemas discretos - Sistema Discreto Padrão.....	29
Figura 10 - Gráfico da Tensão X Deformação.....	30
Figura 11 - Características das análises não linear.....	30
Figura 12– Imagem ilustrativa da Fachada do Edifício Arbo Condomínio Parque ....	32
Figura 13– Fôrma simplificada do pavimento tipo do Edifício Arbo Condomínio Parque.....	33
Figura 14– Modelo constitutivo para aço elastoplástico perfeito .....	37
Figura 15 – Renderização da geometria 3D desenvolvida para o Modelo 15 .....	41
Figura 16 - Geometria do 15º modelo depois de ser importada para o <i>Software</i> Abaqus® (versão 2020), onde: a) Vista paramétrica da estrutura; b) Corte longitudinal com destaque para a escadaria. ....	42
Figura 17 - passo a passo para a configuração das propriedades dos materiais, onde: em a) verifica-se a criação do material propriamente dito; em b) a criação de	

seções onde os materiais criados serão aplicados; em c) os materiais aplicados em suas respectivas seções, e em d) aparência da geometria após a configuração dos materiais.....	43
Figura 18 - Passo-a-passo para a configuração do peso próprio de um material .....	43
Figura 19 - Passo-a-passo para configuração das propriedades mecânicas de um material.....	44
Figura 20 - Consideração das ações do vento na estrutura: a) Ação do vento a 0°; b) Ação do vento a 90°.....	46
Figura 21- Passo-a-passo para criação e aplicação da ação peso próprio .....	47
Figura 22 - Passo-a-passo para criação e aplicação de cargas em lajes e escadas	47
Figura 23 - Criação e configuração dos apoios do modelo .....	48
Figura 24 - Elemento C3D10 disponível na biblioteca de elementos do Software Abaqus® .....	49
Figura 25 - Detalhe da malha do Modelo 16: a) detalhe da região próximo à Caixa D'água e junta de dilatação da estrutura; b) detalhe da região das varandas no 11° e 12° andares; c) detalhe da abertura de entrada do prédio e junta de dilatação da estrutura.....	50
Figura 26 - Passo-a-passo para geração de malhas deste estudo .....	51
Figura 27 - Passo-a-passo para criação de uma simulação .....	52
Figura 28 - Tensões máximas principais - Modelo 1.....	54
Figura 29 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 1 .....	55
Figura 30 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 1 .....	55
Figura 31 - Tensões máximas principais - Modelo 6.....	56
Figura 32 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 6 – corte transversal.....	57
Figura 33 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 6 – corte longitudinal .....	58
Figura 34- Tensões inclinadas S23 - Modelo 6 – corte transversal.....	58
Figura 35 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 6 – corte longitudinal .....	59
Figura 36 - Tensões máximas principais - Modelo 15.....	60
Figura 37 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 15 - – corte transversal.....	61

Figura 38 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 15 – corte longitudinal .....	62
Figura 39 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 15 - corte transversal.....	62
Figura 40 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 15 – corte longitudinal .....	63
Figura 41 - Tensões máximas principais - Modelo 16.1 .....	64
Figura 42 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 16.1 – corte transversal.....	65
Figura 43 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 16.1 – corte longitudinal .....	66
Figura 44 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 16.1 – corte transversal.....	66
Figura 45 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 16.1 – corte longitudinal .....	67
Figura 46 - Deslocamentos ao longo do eixo X - Modelo 16.1 .....	68
Figura 47 - Deslocamentos ao longo do eixo Z - Modelo 16.1 .....	69
Figura 48 - Tensões máximas principais - Modelo 16.2 .....	70
Figura 49 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 16.2 – corte transversal.....	70
Figura 50 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 16.2 – corte longitudinal .....	71
Figura 51 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 16.2 – corte transversal.....	72
Figura 52 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 16.2 – corte longitudinal .....	72
Figura 53 - Deslocamentos ao longo do eixo X - Modelo 16.2.....	73
Figura 54 - Deslocamentos ao longo do eixo Z - Modelo 16.2 .....	74
Figura 55 - Fissura recorrente nos encontros de lajes e paredes .....	75
Figura 56 - Distribuição das tensões S33 - Modelo 1 .....	77
Figura 57 - Distribuição das tensões S33 - Modelo 6.....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos estruturais e pavimentos analisados por modelo 3D elaborado. .....	31
Tabela 2– Propriedades físicas dos materiais.....	34
Tabela 3 - Volume de aço utilizado na Torre 02 do Arbo Condomínio Parque .....	37
Tabela 4 - Características das malhas adotadas nos modelos. ....	49
Tabela 5 - Resistência a tração do concreto do com idade de 0,58 dia .....	76

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
3.1 PAREDE DE CONCRETO MOLDADAS <i>IN LOCO</i> .....	19
3.2 REQUISITOS DE QUALIDADE E PROJETO DE ACORDO COM A NBR 16055:2012 .....	20
3.3 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DA PAREDE DE CONCRETO MOLDADA <i>IN LOCO</i> .....	20
3.3.1 Efeito Das Fundações Em Estruturas De Paredes De Concreto .....	21
3.3.2 Requisitos de projeto de acordo com a ABNT NBR 16055: 2012.....	22
3.3.2.1 Premissas básicas para dimensionamento .....	23
3.3.2.2 Ações em paredes de concreto .....	23
3.3.3 Aberturas Para Esquadrias .....	24
3.4 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS .....	26
3.4.1 Sistemas Discretos .....	28
3.4.2 Análise Linear x Análise Não Linear .....	29
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
4.1 EDIFÍCIO ARBO CONDOMÍNIO PARQUE.....	32
4.2 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS .....	33
4.2.1 Concreto .....	34
4.2.1.1 Resistência Característica do Concreto aos 28 dias.....	34
4.2.1.2 Módulo de Deformação Longitudinal do Concreto .....	35
4.2.1.2.1 Relação da ABNT NBR-6118/2014:.....	35

4.2.1.2.2 Relação do CEB/90: .....	35
4.2.2 Aço Passivo .....	37
4.2.3 Determinação das frações volumétricas de aço e concreto utilizados na estrutura .....	37
4.2.4 Determinação dos Módulos de Elasticidade .....	39
4.2.5 Determinação do coeficiente de Poisson do concreto armado .....	40
4.3 MODELAGEM DA GEOMETRIA DOS MODELOS.....	40
4.4 CONFIGURAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS .....	42
4.4.1 Criação de um material no <i>Software</i> Abaqus.....	43
4.5 CONSIDERAÇÕES ADOTADAS PARA CÁLCULO DAS CARGAS APLICADAS AOS MODELOS.....	44
4.5.1 Aplicação das ações no <i>Software</i> Abaqus.....	46
4.5.1.1 Peso próprio.....	46
4.5.1.2 Carregamentos nas lajes e escadas .....	47
4.5.1.3 Configuração dos apoios .....	48
4.6 MALHA ADOTADA NO MODELO .....	48
4.6.1 Tipo de elemento escolhido .....	48
4.6.2 Determinação das malhas .....	50
4.6.3 Passo-a-passo para determinação de malhas.....	51
4.7 FINALIZAÇÃO DA MODELAGEM .....	51
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>53</b>
5.1 ANÁLISE DO MODELO 1 .....	53
5.2 ANÁLISE DO MODELO 6.....	56
5.3 ANÁLISE DO MODELO 15 .....	60
5.4 ANÁLISE DO MODELO 16 .....	64
5.4.1 Modelo 16.1 - vento a zero grau .....	64

5.4.2 Modelo 16 com vento a noventa graus .....	69
<b>6 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE RESULTADOS E PATOLOGIAS RECORRENTES.....</b>	<b>75</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICE II.....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO I - .....</b>	<b>133</b>
<b>ANEXO II.....</b>	<b>134</b>
<b>ANEXO III.....</b>	<b>135</b>
<b>ANEXO IV .....</b>	<b>136</b>
<b>ANEXO V .....</b>	<b>137</b>
<b>ANEXO VI .....</b>	<b>138</b>
<b>ANEXO VII .....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXO VIII .....</b>	<b>140</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a aplicação das metodologias de gestão da qualidade no mercado da construção civil, mais precisamente o ramo das incorporações, se tornou altamente exigente e competitivo, de forma que as empresas que participam deste nicho tiveram que se readaptar para manterem-se produtivas, focando na redução de custos, prazos, melhoria da qualidade de seus produtos, sustentabilidade, informatização, industrialização dos canteiros de obras e adoção de novos métodos construtivos. Dentre as principais escolhas para melhoria dos quesitos citados pode-se destacar os sistemas de paredes de concreto moldadas *in loco*.

Sendo utilizado pela primeira vez no ano de 1979 pela Companhia de Habitação do Estado de Minas Gerais COHAB-MG na construção de 46 unidades habitacionais, com produtividade média - incluído montagem, concretagem e desmoldagem - de 20 horas por habitação, o Sistema Construtivo de Paredes de Concreto Moldadas *in loco* ganhou verdadeira notoriedade no cenário da construção civil brasileira por volta do ano de 2008, quando o crescente investimento por parte do Governo Federal em construções de interesse social chamou bastante atenção das principais empresas incorporadoras do país, que buscavam sistemas economicamente mais viáveis (SACHT, 2008).

Em face deste cenário de constante transformação e busca por opções mais eficazes que tornassem seus empreendimentos mais economicamente viáveis, o sistema construtivo de parede de concreto passou a ser utilizado em larga escala por diversas construtoras, quando em 2012 foi normatizado através da Norma Brasileira 16055, que “estabelece requisitos básicos para paredes de concreto moldadas *in loco*”. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

Este sistema construtivo consiste basicamente em paredes de concreto armado autoportantes moldadas no canteiro de obras, utilizando, resumidamente, um conjunto de fôrmas geralmente metálicas, telas de aço que compõem sua armação e o concreto. Dentre as principais características, pode-se destacar: produção em larga escala; a industrialização do canteiro de obras; redução de custos com mão de obra e; redução do tempo de construção (CORSINI, 2012).

Já para Santos (2016), a parede de concreto é um sistema construtivo racionalizado, que oferece as vantagens da produção em alta escala e com rapidez, sem perda de qualidade, em que a estrutura e a vedação são formadas por um único

elemento: a parede de concreto. Apresenta grandes vantagens quando se fala em instalações, já que as instalações elétricas e de telecomunicações podem ser incorporadas à estrutura antes da concretagem e as demais ficam posicionadas através de conectores passantes que permitem o traspasse dos elementos estruturais e facilitam a continuidade das instalações. Sendo recomendado para empreendimentos que exigem rapidez de execução, curtos prazos de entrega com alta taxa de repetição. Na figura 1 a seguir, é possível verificar o processo de desmontagem das formas do pavimento térreo, bem como o posicionamento das instalações elétricas antes da concretagem do pavimento imediatamente superior.

Figura 1 - Desmontagem das fôrmas e montagem da parte elétrica e estrutural



Fonte: Teixeira (2015)

Ainda de acordo com Santos (2016), o sistema vem se apresentando como uma alternativa viável quando comparado, por exemplo, a edificações com estruturas de concreto armado convencional (com pórticos) ou ainda edificações de alvenaria estrutural, pois, em função da sua velocidade de execução e da otimização em seu

acabamento, apresenta redução no tempo de execução e no emprego da mão de obra.

De acordo com Vieira (2014), apesar de sua difusão relativamente recente no Brasil, este sistema já é amplamente difundido em países como o Chile, que a mais de 40 anos o utiliza como sistema estrutural capaz de suportar as ocorrências de abalos sísmicos comuns em algumas regiões, tendo a sua escolha devida a sua resistência e rigidez que limita a ocorrência de danos estruturais durante os tremores de terra. A seguir, na Figura 2, observa-se um canteiro de obras que utiliza este sistema construtivo. Nesta imagem pode-se verificar, devido ao posicionamento das fôrmas, uma das principais características destas edificações, onde todas as paredes de um ciclo construtivo são concretadas de uma única vez.

Figura 2 – Canteiro de obras de edificações de paredes de concreto



Fonte: Teixeira (2015)

Com o advento dos empreendimentos que utilizaram o sistema de paredes de concreto como principal método construtivo, passou-se a observar a recorrência dos mais diversos tipos de patologias, quais sejam: fissuras em paredes à 45° e 90°; fissuras em lajes; nichos de concretagem; segregação do concreto; cobertura menor que o projetado/insuficiente; armaduras expostas; dentre outras (MIOTTO, 2014).

Vários estudos discorrem a respeito de patologias em edificações construídas em paredes de concreto, destes pode-se destacar: o trabalho de Miotto (2014) que em seu estudo fez levantamentos acerca das patologias encontradas em uma obra residencial localizada na cidade de Araucária – PR, qualificando-as por tipos, causas e possíveis tratamentos, e; Lordsleem Jr e Lira (2019) que analisaram as manifestações patológicas que ocorrem nas vedações verticais do sistema parede de concreto, utilizados em empreendimentos nos estados de Pernambuco e Alagoas. Em ambos os trabalhos foi constatado que as principais patologias encontradas são as fissuras recorrentes em paredes e lajes.

No que diz respeito ao entendimento das causas que levam ao aparecimento destas patologias estruturais, verifica-se a existência de literaturas que tratam de análises computacionais de edificações que apresentam fissuras. Dentre estas pode-se destacar o trabalho de Santos (2016), que realizou um estudo, via Método dos Elementos Finitos (MEF), sobre a influência da deslocabilidade dos apoios da superestrutura na redistribuição dos esforços em edifícios de paredes de concreto armado moldadas *in loco* sujeitas a carregamento vertical. Para tal, utilizou um modelo de referência que discretiza superestrutura através de elementos finitos de casca e avalia a interação solo-estrutura através de métodos iterativos, que consideram a rigidez da edificação, a heterogeneidade do solo e o efeito no grupo de fundações. Em suas considerações finais, avaliou que as metodologias empregadas aproximam a modelagem da estrutura da realidade física, afirmando que a consideração da interação solo-estrutura na modelagem causa modificações no esforço normal das paredes.

Teixeira (2015), a fim de melhor compreender o comportamento de estruturas de parede de concreto moldadas *in loco*, realizou análises pelo MEF onde buscou justificar o aparecimento de fissuras em paredes e lajes em uma determinada edificação. Neste estudo foram criados, durante a execução da obra, sete modelos numéricos, um para cada dia de concretagem, de forma que os modelos iam ganhando pavimentos superiores exatamente no mesmo período de concretagem *in loco*, considerando para cada novo andar a resistência característica da idade do concreto. Por fim, propôs uma otimização para a estrutura analisada que possibilita a redução da classe de resistência do concreto para 20 Mpa.

Em seu estudo a respeito do comportamento estrutural de edifícios de parede de concreto armado, Nunes (2011) realizou análises teóricas utilizando modelagem

numérica baseada no Método dos Elementos Finitos. Assim, propôs um modelo numérico alternativo de pórtico tridimensional para análise estrutural deste tipo de edificação sob carregamento vertical e horizontal. Em suas conclusões, ressaltou que o estudo conseguiu elucidar detalhes sobre a modelagem numérica deste tipo de construção, além de comprovar a confiabilidade do modelo proposto.

Apesar da existência de alguns estudos que buscam entender o comportamento estrutural deste tipo de construção, a literatura existente dispõe de poucos trabalhos que abordem a utilização de ferramentas numéricas capazes de simular o comportamento estrutural de edificações de paredes de concreto moldadas *in loco*. Com base nisso, este trabalho busca adaptar um código computacional baseado no Método dos Elementos Finitos, a fim de representar o desempenho estrutural deste tipo de edificação, considerando a interação entre aço e concreto e a não linearidade destes materiais.

Este trabalho busca contribuir positivamente para o tema proposto, e incentivar o desenvolvimento de novas investigações e pesquisas relacionadas ao comportamento estrutural de paredes de concreto moldadas *in loco*. Espera-se também que este trabalho possa ser utilizado como referência em futuras investigações experimentais acerca do tema.

## 2 OBJETIVOS

Este estudo tem por finalidade analisar, via Método dos Elementos Finitos, um edifício projetado e construído por uma empresa de renome nacional, que logo após a concretagem apresentou algumas fissuras, e possibilitar um melhor entendimento do comportamento estrutural desta construção.

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar, via Método dos Elementos Finitos, através do *software* comercial Abaqus® (versão 2020), um edifício projetado e construído por uma grande empresa de construção civil.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Criação de um modelo numérico compatível com os projetos disponibilizados;
- Analisar a distribuição de tensões nos elementos estruturais;
- Identificar as causas das fissuras que já aconteceram no edifício logo após sua concretagem;
- Realizar estudo comparativo entre a distribuição de tensões analisada e as fissuras encontradas no pós-concretagem do edifício em questão;

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 PAREDE DE CONCRETO MOLDADAS *IN LOCO*

O conceito de parede de concreto é claramente definido pela NBR 16055 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012) como um “elemento estrutural autoportante, moldado *in loco*, com comprimento dez vezes maior que sua espessura e capaz de suportar carga no mesmo plano da parede”, devendo todas as paredes de um ciclo construtivo serem concretadas de uma única vez, de forma que seja possível que as instalações elétricas e hidrossanitárias, vãos para esquadrias e outros elementos necessários à construção já estejam posicionados em seus devidos locais após a desforma. É válido ressaltar que, caso a relação comprimento/espessura citada não seja atendido, esta parede não tem seu dimensionamento validado por esta Norma.

Dentre as suas principais características, Braguim (2013), afirma que é um sistema capaz de proporcionar alta produtividade, principalmente quando usado em empreendimentos de grande extensão, ou ainda, de edificações repetidas, além de possibilitar a integração da cadeia produtiva tornando o processo mais industrial, já que é produzido em etapas/ciclos de concretagem com as tubulações de menores diâmetros já inseridos juntamente com a armadura.

Em um estudo comparativo que levou em consideração a utilização de modelos estruturais convencionais (pilares, vigas e lajes) e o sistema de paredes de concreto para edificações unifamiliares, Nacimba (2009) concluiu que o sistema de paredes de concreto é a opção mais econômica quando se fala apenas em suporte de carga, porém faz-se necessário que o construtor entenda as vantagens e desvantagens dos métodos, a fim de justificar a opção mais apropriada. Em face disto, concluiu que, por proporcionar um maior aproveitamento de insumos e melhor distribuição de mão de obra, a escolha por paredes de concreto, quando comparada a estruturas reticuladas de concreto, traria uma economia de U\$ 6.679,61 (seis mil seiscentos e setenta e nove Dólares e sessenta e um Centavos) para o Conjunto Habitacional Orion localizado na cidade de Quito, que possui quarenta e oito casas de 140 m<sup>2</sup> cada.

### 3.2 REQUISITOS DE QUALIDADE E PROJETO DE ACORDO COM A NBR 16055:2012

A NBR 16055:2012 prevê uma série de requisitos que devem ser atingidos visando garantir a qualidade e segurança estrutural de uma edificação construída com paredes de concreto autoportantes moldadas *in loco*, dividindo-os em:

- Requisitos de qualidade da estrutura - prevê, resumidamente, que deve resistir às solicitações que possam ocorrer durante todo seu histórico (construção e vida útil), conservando assim, sob as condições ambientais previstas, sua segurança, estabilidade e aptidão;
- Requisitos de qualidade do projeto - fala inicialmente da escolha adequada do sistema estrutural à função que ele irá desempenhar, levando em consideração às solicitações que deverá suportar, dimensionamento e verificação das peças estruturais, bem como a especificação dos materiais que deverão ser utilizados;
- Documentação do projeto de estruturas de paredes de concreto - exige, dentre outros, memorial descritivo, plantas e detalhes construtivos, permitindo alusão a normas estrangeiras em pontos específicos que esta norma acaso não preveja;
- Documentação da qualidade da estrutura de paredes de concreto - prevê, quando exigido, um plano de garantia de qualidade para a execução, que deve ser pautado na NBR 6118: 2007 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (2007). Ressalta-se que já existe versão atualizada da NBR 6118 publicada no ano de 2014;
- Responsabilidades - define as obrigações legais de acordo com a NBR 12655, que fala a respeito de concreto de cimento Portland, abordando seu preparo, controle e recebimento.

### 3.3 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DA PAREDE DE CONCRETO MOLDADA *IN LOCO*

Entender o comportamento estrutural de uma edificação é de fundamental importância para que se possa projetar e construir com segurança, garantindo assim o bem estar dos indivíduos que ali habitem. Assim, esta parte do estudo visa

proporcionar um entendimento inicial de como se comportam as estruturas de paredes de concreto moldadas *in loco*. Para tal, buscou-se na literatura disponível a descrição dos comportamentos das fundações, paredes, lajes e aberturas para esquadrias em paredes de concreto.

### 3.3.1 Efeito Das Fundações Em Estruturas De Paredes De Concreto

Sabe-se que uma edificação é constituída por três partes: superestrutura, infraestrutura e o maciço de solo, assim o seu desempenho é governado pela interação entre estas três partes, em um mecanismo denominado de interação solo-estrutura. Segundo Santos (2016), o solo apresenta deformações e deslocamentos causados pelo carregamento da estrutura, que variam de acordo com seu tipo, e afetados também pela sua rigidez, ou seja, uma mesma superestrutura submetida aos mesmos carregamentos, no entanto apoiada sobre maciços com características diferentes, poderá ter reações de apoio distintas e, conseqüentemente, uma distribuição de esforços diferentes ao longo de seus elementos.

Ainda segundo Santos (2016), um dos principais efeitos provocados pela consideração da interação solo-estrutura é uma redistribuição de esforços nos elementos estruturais, em especial as cargas nos pilares. Portanto, em cada estágio da construção atinge-se uma nova configuração de equilíbrio no sistema solo-estrutura, a qual é acompanhada de uma redistribuição das cargas nos elementos. Essa redistribuição se dá, na maioria das vezes, com um aumento de cargas nos pilares externos e diminuição nos pilares internos.

As normas brasileiras já apresentam recomendações, apesar de serem escassas, quanto à consideração da deslocabilidade dos apoios. A norma de concreto, a ABNT NBR 6118:2014, em seu capítulo que trata da análise estrutural, recomenda que em “casos mais complexos”, a interação solo-estrutura deva ser contemplada no modelo estrutural. Já a ABNT NBR 16055:2012, diz ser obrigatório o uso de modelo com interação solo-estrutura para os casos de edifícios com mais de cinco pavimentos e em casos de fundações em níveis diferentes. A ABNT NBR 6122:2010, que regulamenta os métodos de dimensionamento das fundações, mostra a preocupação para que haja o monitoramento de recalques em obras civis de importância.

Assim, a escolha do tipo de fundação depende da resistência mecânica do solo no local onde o empreendimento será instalado. Portanto a seleção do tipo de fundação deve contemplar os aspectos de segurança, estabilidade e durabilidade da edificação e da fundação.

De acordo com Dornelles e Oliveira (2012), como regra geral, e a partir do detalhamento definido em projeto, as fundações são construídas contendo embutidas as tubulações de águas e outros pontos de conexão, não existem restrições quanto ao tipo de fundação a ser adotado. São normalmente empregados os sistemas de fundações em sapata corrida ou laje de apoio (radier). A Figura 3 a seguir mostra os principais tipos de fundações utilizadas em Estruturas de Parede de Concreto Moldada *in loco*, quais sejam: a) Radier; b) Sapata Corrida com Estacas e Blocos de Coroamento.

Figura 3 - Tipos de fundações utilizadas em Estruturas de Parede de Concreto Moldada *in loco*. a) Radier; b) Sapata Corrida com Estacas e Blocos de Coroamento



Fonte: O autor (2020)

### 3.3.2 Requisitos de projeto de acordo com a ABNT NBR 16055: 2012

De acordo com a ACI (2014) e com NBR 16055 (2012), as paredes de concreto armado devem ser projetadas para suportar cargas axiais excêntricas e quaisquer cargas laterais ou outras a que sejam submetidas. Em outras palavras, devem resistir, mantendo sua qualidade estrutural, de forma que conserve sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente a vida útil para a qual foi projetada, superando as adversidades que possam advir, sejam

elas de natureza antrópica ou ainda de ações causadas pelo meio onde está localizada.

### 3.3.2.1 Premissas básicas para dimensionamento

Os projetos de estruturas de paredes de concreto devem atender a alguns requisitos básicos que são listados a seguir:

- as paredes devem ser construídas monoliticamente e com armadura de ligação entre todos os elementos estruturais adjacentes, sejam eles paredes ou lajes;
- devem ter extremidades com travamento mínimo de três vezes a sua espessura. No caso de seu comprimento entre travamentos ser duas vezes maior que sua altura geométrica deve haver travamento central;
- no que se refere aos apoios, a parede de concreto deve estar totalmente apoiada, caso contrário, a seção sem apoio deve ser calculada como viga-parede;
- trechos com comprimento menor que dez vezes a espessura devem ser calculados como pilar ou pilar parede;
- as paredes devem ser dimensionadas a flexocompressão;

### 3.3.2.2 Ações em paredes de concreto

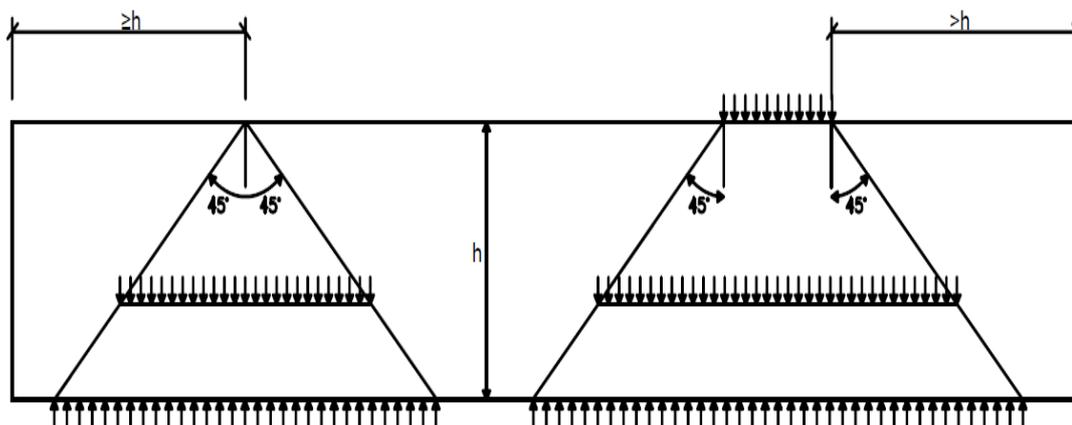
Os esforços solicitantes são calculados de acordo com os princípios gerais da teoria das estruturas. As edificações devem ser contraventadas de forma a não ocorrerem grandes deslocamentos relativos entre o topo e a base. Satisfaz-se esta condição quando:

- consideram-se paredes resistentes nas duas direções principais (X e Y, eixos de coordenadas globais), proporcionando estabilidade lateral aos componentes e ao conjunto estrutural;

- a laje do pavimento deve ser solidarizada às paredes resistentes, de forma a se comportar como diafragma rígido, transferindo-lhes esforços horizontais;

As cargas verticais em paredes de concreto podem ser concentradas, parcialmente distribuídas ou linearmente distribuídas. No caso das cargas concentradas e parcialmente distribuídas, podem ser repartidas uniformemente em seções horizontais limitadas por um dos planos inclinados a 45° sobre a vertical, passando pelo ponto de aplicação da carga ou pela extremidade da faixa de aplicação. A Figura 4 a seguir, mostra a representação gráfica da atuação de cargas concentradas e parcialmente distribuídas em paredes de concreto armado de acordo com a ABNT NBR 16055: 2012.

Figura 4 - Representação gráfica da atuação de cargas concentradas e parcialmente distribuídas em paredes de concreto



Fonte: Adaptado de NBR 16055: 2012

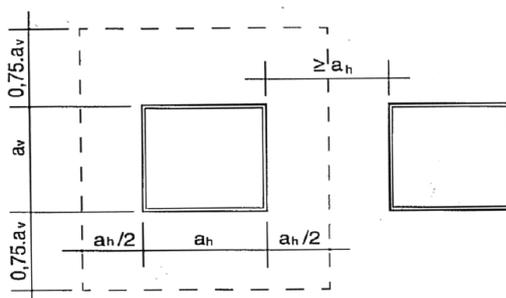
Já as cargas horizontais que devem ser consideradas em projetos de paredes de concreto armado são as cargas oriundas da ação do vento, para tal deve ser seguida a ABNT NBR 6123: 1988.

### 3.3.3 Aberturas Para Esquadrias

A ABNT NBR 16055:2012 afirma em seu item 17.8.2, regiões de influência que uma abertura atua, que a área de  $0,5ah$  para cada lado na horizontal por  $0,75av$

para cada lado na vertical deve ser preservada, onde  $a_h$  e  $a_v$  representam respectivamente a dimensão horizontal e a dimensão vertical a abertura. Além disso, a distância horizontal entre aberturas deve ser maior ou igual à  $a_h$ . a Figura 5 mostra o esquemático da explanação acima.

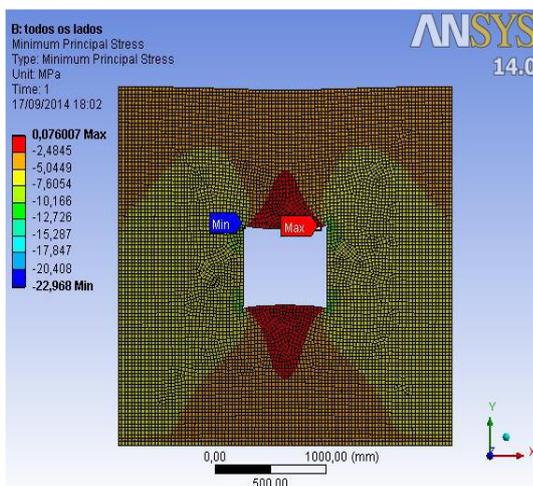
Figura 5 - Representação da região de influência a ser considerada em paredes de concreto armado



Fonte: NBR 16055: 2012

Segundo Vieira (2014), quanto maior a abertura, maiores são as máximas tensões de tração e compressão, bem como a amplitude dos deslocamentos também aumentará. O aumento do vão da abertura ( $a_h$ ) se mostrou mais decisivo para o acúmulo de tensões, isto leva a crer que o aumento somente da altura, comparado aos outros parâmetros, não influencia de forma tão incisiva nos valores máximos das solicitações sofridas pela peça estrutural. A seguir, na Figura 6 verifica-se que a concentração de tensões no vão horizontal da abertura chega a ser vinte vezes maior que na parte vertical.

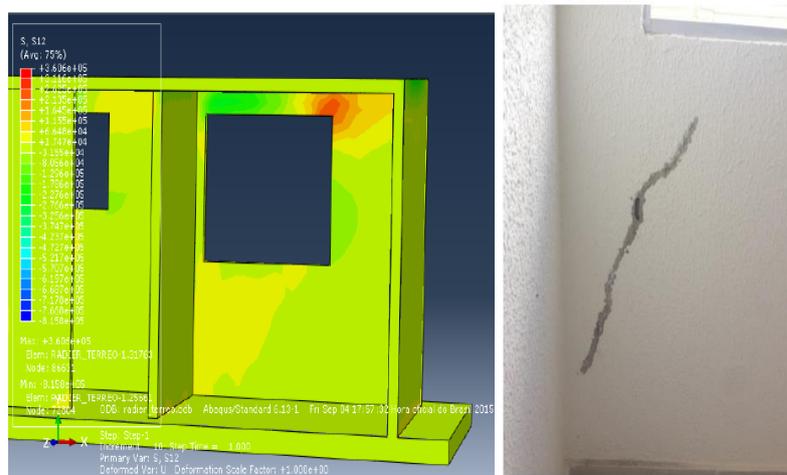
Figura 6 – Formação de tensões em caso de solicitações causadas por



Fonte: (VIEIRA, 2014)

Em seu estudo, Teixeira (2015) realiza um comparativo entre as concentrações de tensões encontradas através da modelagem pelo Método dos Elementos Finitos e as fissuras ocorridas na edificação analisada, onde verificou que, a fissura existente na parte inferior de uma determinada abertura, coincide com a concentração de tensões encontrada no modelo 3D. A figura 7 mostra o comparativo da concentração de tensões encontrada no modelo 3D e a fissura existente na edificação.

Figura 7 - Comparativo da concentração de tensões encontrada no modelo 3D e a fissura existente na edificação.



Fonte: Adaptado de (TEIXEIRA, 2015)

### 3.4 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

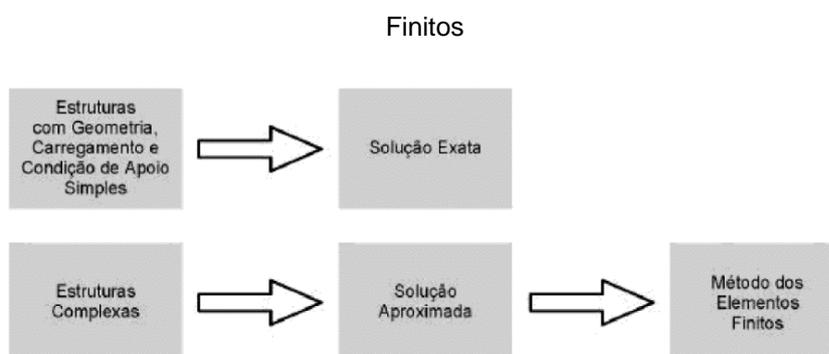
Segundo Soeiro (2012) o MEF é um procedimento numérico para análise de estruturas e meios contínuos que permite resolver de forma satisfatória problemas cuja solução por métodos clássicos de análise é difícil ou até impossível. Delgado (2013) afirma que no MEF resolve-se um sistema de equações diferenciais que permite obter soluções sobre o estado de tensão e deformação de um sólido, com uma geometria definida e que esteja vulnerável a ações externas tais quais a aceleração da gravidade, sismos, ações de ventos etc. Cook, Malkus e Plesha (2002), destacam que o MEF envolve uma sequência de passos, onde alguns requerem decisões tomadas pelo analista e inseridas no programa de computador utilizado para a análise e outros são automaticamente gerados pelo próprio programa.

Para Lima (2018), de forma resumida, pode-se afirmar que o MEF consiste em dividir o domínio do problema em subdomínios de geometria simples (elementos

finitos), utilizando funções para interpolar os deslocamentos no interior do elemento a partir dos valores dos deslocamentos nodais. Por fim, deve-se obter e resolver as equações de equilíbrio em função dos deslocamentos nodais, o que deverá possibilitar o cálculo das respostas (deformações a partir do campo de deslocamentos e tensões a partir das deformações) nos nós e no interior dos elementos.

Para Filho (2013), os Métodos Analíticos Clássicos, como os usados em resoluções de problemas envolvendo Resistência dos Materiais, permitem a obtenção de respostas exatas somente quando se fala em casos com geometria bem definida. Por outro lado, a análise estrutural da maioria das estruturas de importância prática se torna muito difícil, requerendo grande número de simplificações, o que resulta em pouca exatidão. Desta forma, desenvolver procedimentos aproximados que possam ser aplicados em caráter geral, independente da forma ou condição de carregamentos e que tragam precisão aceitável seria muito interessante. Este caminho alternativo aos procedimentos analíticos clássicos é o que dá origem ao Método dos Elementos Finitos. A Figura 8 mostra, esquematicamente, a diferença entre os dois tipos de procedimentos.

Figura 8 – Diferença esquemática entre os Métodos Analíticos Clássicos e o Método dos Elementos



Fonte: (FILHO, 2013)

Assim, entende-se que o Método dos Elementos Finitos é um método aproximado de cálculo de sistemas contínuos, de sorte que o corpo contínuo analisado é subdividido em um número finito de partes (os elementos), conectados entre si por pontos discretos, que são chamados de nós. Tendo a montagem dos elementos, que constitui o modelo matemático, o seu comportamento especificado por um número finito de parâmetros. Em particular, nos problemas de análise estrutural,

os parâmetros são os deslocamentos nodais, que são as incógnitas do problema (FILHO, 2013).

De acordo com Sobrinho (2006), a formulação dos deslocamentos em análise de estruturas, foi uma das primeiras a serem desenvolvidas por meio dos elementos finitos, sendo, inicialmente, aplicado ao estado de deformação de estruturas de grande porte e, devido aos resultados satisfatórios que podem ser obtidos através de algoritmos relativamente rápidos e simples, é ainda bastante empregada. Posteriormente, a variável pressão foi adicionada a formulação o que possibilitou sua utilização para solucionar problemas de mecânica dos fluidos.

De acordo com Lima (2018) o Método dos Elementos Finitos está bastante difundido no meio da engenharia. No caso da análise estrutural este método ganha ainda mais força, por ser capaz de representar estruturas com geometria, material e condições de contorno complexas. Pode-se dizer que se tornou ferramenta indispensável na resolução de problemas de alta complexidade e que demandariam imenso esforço em caso de resolução manual.

De acordo com Filho (2013), os principais tipos de elementos finitos existentes são os elementos simples, quais sejam: Elemento de Mola; Elemento de Treliça e; Elemento de Viga. E os elementos mais complexos que são os elementos bidimensionais e tridimensionais.

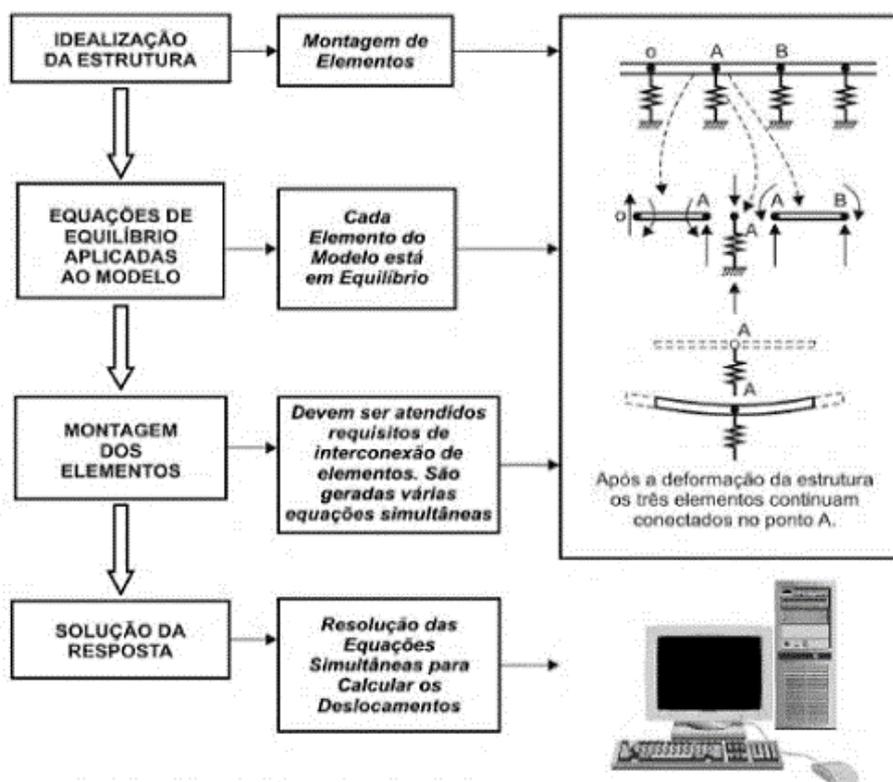
#### 3.4.1 Sistemas Discretos

Como dito anteriormente, discretizar um sistema contínuo significa a divisão da estrutura em partes separadas distintas, conectadas entre si por pontos discretos (nós), estas partes têm comprimentos finitos (não diferencial). Ou seja, a estrutura é dividida em um número finito de partes (elementos). Assim, ao realizar o cálculo do deslocamento de uma viga por meio da discretização de suas partes, são calculados apenas os deslocamentos dos nós, portanto, como o número de nós existentes foi determinado pela discretização da estrutura analisada, entende-se que o número de cálculos realizados é suficiente para aproximar o resultado do deslocamento do conjunto como um todo.

Filho (2013), ilustra através da Figura 9 o método geral para análise de sistemas discretos. Trata-se de um fluxograma que, de maneira superficial, demonstra

como deve ocorrer a discretização de um sistema para que este possa ser analisado via Método dos Elementos Finitos.

Figura 9 - Método geral para análise de sistemas discretos - Sistema Discreto Padrão



Fonte: (FILHO, 2013)

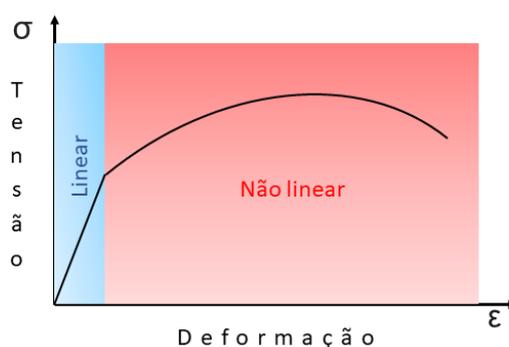
### 3.4.2 Análise Linear x Análise Não Linear

De acordo com 4I Engenharia (2017), o termo “rigidez” define a diferença fundamental entre análise linear e não linear. Rigidez é uma propriedade de uma peça ou montagem que caracteriza sua resposta para a carga aplicada. Assim, quando uma estrutura é deformada sob uma carga, sua rigidez muda e, se ela sofrer muita deformação, sua forma poderá mudar, além disso, se o material alcançar seu limite de falha, suas propriedades mudarão. Por outro lado, se a alteração da rigidez for pequena o suficiente, fará sentido considerar que nem as propriedades da forma nem as propriedades do material mudarão durante o processo de deformação. Essa pressuposição é o princípio fundamental de análises lineares em que a rigidez do material é considerada constante.

Já nas análises não lineares o conceito de rigidez constante é abandonado e, portanto, essa rigidez deve ser atualizada durante a resolução do problema através

de um processo de solução iterativo. Porém, estas iterações aumentam o tempo de análise e o custo computacional, se tornando inviáveis em casos em que a geometria estudada é muito grande. A Figura 10 a seguir ilustra o comportamento de um material qualquer, onde verifica-se que durante o regime elástico, em azul, o material se comporta de maneira linear, ou seja, sua deformação varia linearmente de acordo com o incremento de carga. Já na sessão em vermelho, verifica-se um comportamento não linear, com formato semelhante a uma parábola.

Figura 10 - Gráfico da Tensão X Deformação



Fonte: Elaborado pelo autor

Para Filho (2012), a rigidez dos elementos e, conseqüentemente, da estrutura, depende das características do material, das propriedades físicas e de características geométricas. Assim, quando as características dos materiais se alteram à medida que o carregamento atua, as rigidezes expressas na matriz de rigidez dos elementos e da estrutura também se alteram. Isso é que dá origem a um comportamento não linear de uma estrutura. A Figura 11 mostra o gráfico esquemático com as características de uma análise não linear.

Figura 11 - Características das análises não linear



Fonte: Elaborado pelo autor

## 4 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo consiste em criar, dezesseis modelos, através do Método dos Elementos Finitos, a partir dos dados contidos no projeto estrutural de parede de concreto moldada *in loco*, do Edifício Arbo Condomínio Parque. Através destes modelos, espera-se verificar a distribuição de tensões nos elementos estruturais, bem como realizar estudo comparativo entre a distribuição de tensões analisada e fissuras existentes através da comparação de fotografias destas fissuras com a distribuição de tensões encontrada. A Tabela 1 mostra como cada modelo 3D foi concebido.

Tabela 1 - Elementos estruturais e pavimentos analisados por modelo 3D elaborado.

Modelo	Elementos Estruturais Analisados															
	Fundação	Páv. 1	Páv. 2	Páv. 3	Páv. 4	Páv. 5	Páv. 6	Páv. 7	Páv. 8	Páv. 9	Páv. 10	Páv. 11	Páv. 12	Platibanda	Barrilete	Cx. D'Água
Modelo 1	X	X														
Modelo 2	X	X	X													
Modelo 3	X	X	X	X												
Modelo 4	X	X	X	X	X											
Modelo 5	X	X	X	X	X	X										
Modelo 6	X	X	X	X	X	X	X									
Modelo 7	X	X	X	X	X	X	X	X								
Modelo 8	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
Modelo 9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Modelo 10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Modelo 11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Modelo 12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Modelo 13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Modelo 14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Modelo 15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Modelo 16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: Elaborado pelo autor

Os modelos foram elaborados de acordo com a idade do concreto utilizado, assim, sabendo que cada novo pavimento foi ocupado logo após completar 14 horas de idade, cada modelo considerou a idade em dias de todos os seus pavimentos. Logo, por exemplo, no Modelo 1, o primeiro pavimento tem a idade de 0,58 dia (14 horas) e as fundações 9 dias. As idades dos concretos utilizados em cada modelo podem ser observadas no APÊNDICE A - DETERMINAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DOS MODELOS.

#### 4.1 EDIFÍCIO ARBO CONDOMÍNIO PARQUE

Trata-se de uma edificação multifamiliar de doze pavimentos, projetado e construído pela por uma grande empresa que atua em vários estados brasileiros. Está situado na Rua Pedro Azevedo, s/n – Bairro Jardim das Cajazeiras na cidade de Campinas – SP. Seu projeto estrutural foi concebido em paredes de concreto armado e em sua construção foram utilizados 1611,93 m<sup>3</sup> de concreto e 7,74 m<sup>3</sup> de aço, que equivalem a aproximadamente 60,3 toneladas. A seguir, na Figura 122, verifica-se a imagem ilustrativa do Edifício Arbo Condomínio Parque.

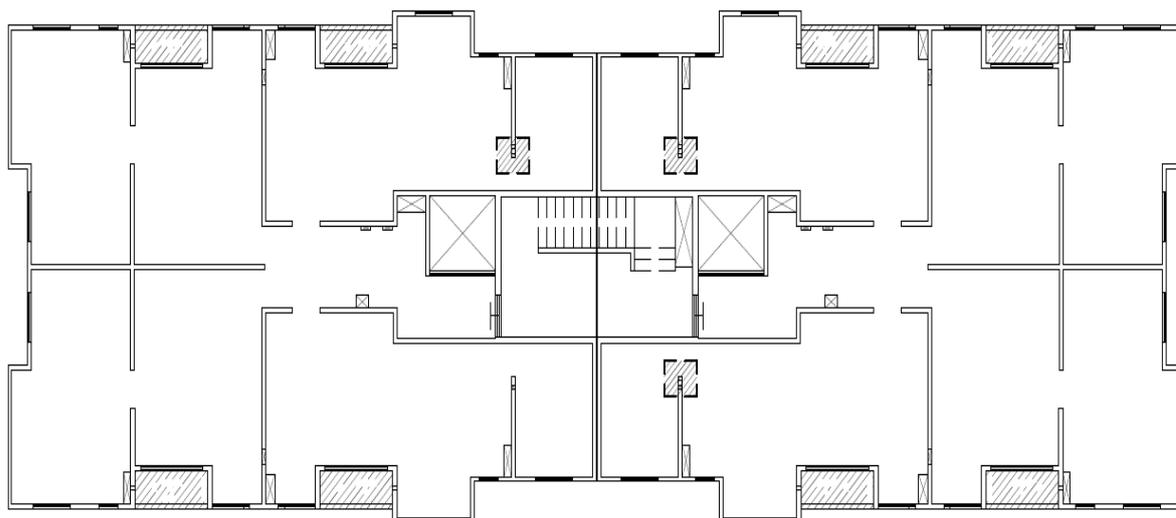
Figura 12– Imagem ilustrativa da Fachada do Edifício Arbo Condomínio Parque



Fonte: Direcional Engenharia (2020)

A Figura 133 abaixo mostra a fôrma simplificada do pavimento tipo do Edifício Arbo Condomínio Parque que servirá de base para a construção dos modelos em 3D. Posteriormente, estas geometrias serão importadas para o *Software Abaqus®* (versão 2020) onde serão realizadas análises via MEF.

Figura 13– Fôrma simplificada do pavimento tipo do Edifício Arbo Condomínio Parque



Fonte: Adaptado de: Projeto Estrutural Arbo Condomínio Parque – Torre 12 Pavimentos – Construção HNV5 – Folha 002 – Formas do Páv. Tipo

Devido as grandes dimensões que a estrutura apresenta, as análises realizadas serão lineares, já que o custo computacional e tempo de execução seriam demasiadamente altos em caso de análise não-linear. Para tal, o concreto armado será considerado como um material único, um compósito, fazendo-se necessário a determinação do seu módulo de elasticidade.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

A não linearidade física dos materiais é considerada através do uso de relações tensão-deformação uniaxiais não lineares, para o concreto e o aço passivo. Por mais que estes materiais sejam não lineares, eles são considerados elásticos. (LIMA, 2018). Assim, faz-se necessário adotar modelos construtivos para os materiais.

#### 4.2.1 Concreto

De acordo com Lima (2018) o concreto é um material com características não lineares mesmo em situações de baixo carregamento, isso devido à microfissuração interna. Portanto, à medida que o carregamento é aumentado, essas microfissuras se propagam, acarretando diminuição gradativa da rigidez da estrutura.

##### 4.2.1.1 Resistência Característica do Concreto aos 28 dias

Para esta caracterização foram utilizados os dados dispostos na Tabela 2 que foi adaptada do controle tecnológico cedido pela empresa responsável pela construção do edifício em estudo, como pode ser verificado no ANEXO I – RASTREABILIDADE DE CONCRETAGEM.

Tabela 2– Propriedades físicas dos materiais

ELEMENTO		IDADE (dias)	Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem
Cintas e Blocos		28	36,8	20/04/2020
Páv.. Térreo	A	28	36,5	21/05/2020
	B	28	33,9	29/05/2020
2º Páv..	A	28	31,3	03/06/2020
	B	28	37,6	05/06/2020
3º Páv..	A	28	32,9	09/06/2020
	B	28	30,2	10/06/2020
4º Páv..	A	28	31,7	12/06/2020
	B	28	31,7	16/06/2020
5º Páv..	A	28	32,1	18/06/2020
	B	28	32,3	22/06/2020
6º Páv..	A	28	31,2	24/06/2020
	B	28	32,9	26/06/2020
7º Páv..	A	28	30,7	30/06/2020
	B	28	33,3	02/07/2020
8º Páv..	A	28	31,3	04/07/2020
	B	28	29,7	07/07/2020
9º Páv..	A	28	30,7	09/07/2020
	B	28	33,6	11/07/2020
10º Páv..	A	28	28,5	14/07/2020
	B	28	30,4	16/07/2020

11º Páv..	A	28	32	18/07/2020
	B	28	32,8	21/07/2020
12º Páv..	A	28	34,2	23/07/2020
	B	28	30,9	25/07/2020
Platibanda		28	33,1	29/07/2020
Barrilete		28	32	06/08/2020
CX. D'Água		28	30,7	27/08/2020

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.1.2 Módulo de Deformação Longitudinal do Concreto

Podemos determinar os módulos de deformações utilizando a normatização da ABNT ou do CEB.

##### 4.2.1.2.1 Relação da ABNT NBR-6118/2014:

Para o módulo de deformação longitudinal tangente, temos:

$$E_c = \alpha_e 5600 \sqrt{f_{ck}} \text{ (Mpa)}, \text{ para } 20\text{Mpa} \leq f_{ck} \leq 50\text{Mpa}$$

Nessa equação,  $\alpha_e$  é novo coeficiente que leva em conta o tipo de agregado graúdo. Sendo  $\alpha_e = 1,2$  para agregados de basalto e diabásio,  $\alpha_e = 1,0$  para agregados de granito e gnaisse,  $\alpha_e = 0,9$  para agregados de calcário e  $\alpha_e = 0,7$  para agregados de arenito.

Para o módulo de deformação longitudinal secante, temos:

$$E_{cs} = \alpha_i E_c \text{ (Mpa)}$$

Onde:

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0$$

##### 4.2.1.2.2 Relação do CEB/90:

Para o módulo de deformação longitudinal tangente, temos no item 2.1.4.2:

$$E_c = \alpha_e 21500 \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{\frac{1}{3}} (Mpa)$$

Nessa equação,  $\alpha_e$  é um coeficiente que leva em conta o tipo de agregado graúdo, a relação adotada para estes coeficientes na norma brasileira NBR 6118 é a mesma para a CEB/90.

Para o módulo de deformação longitudinal secante, temos no CEB/90 item 2.1.4.2:

$$E_{cs} = 0,85E_c (Mpa)$$

Como os ensaios para todas as idades não estão disponíveis, faz-se necessário adotar as aproximações recomendadas por esta mesma norma no seu item 2.1.6.1.

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm_{28}}$$

$$\beta_{cc}(t) = e^{s \left[ 1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right]}$$

Onde:

$\beta_{cc}(t)$  Representa a evolução da resistência no tempo.

$e$  = Número de Euler = 2,718.

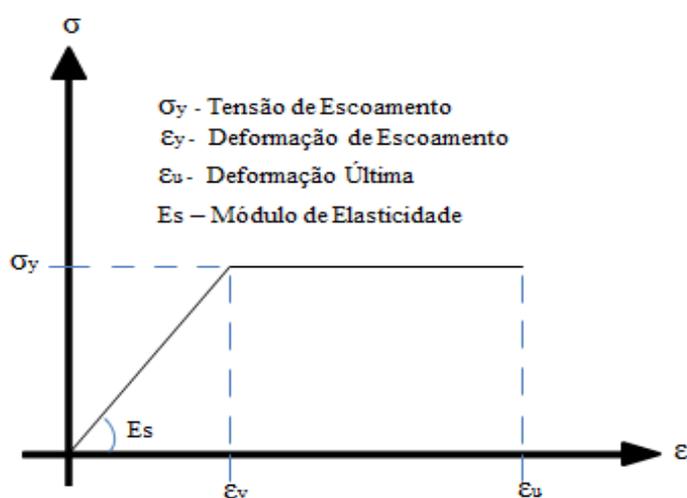
$s$  = Coeficiente que depende do tipo de cimento empregado. Para cimentos de endurecimento normal (cimento comum CPI e cimento composto CPII)  $s = 0,25$ .

Segundo Araújo (2014), a relação do CEB/90 é mais representativa do que a da ABNT. Isso é atestado devido a um estudo, onde foram realizados ensaios com 212 corpos de prova submetidos à determinação do módulo de elasticidade secante, todos com  $f_{ck} \leq 50Mpa$ .

#### 4.2.2 Aço Passivo

O aço passivo considerado possui comportamento linear elástico, e apresenta as mesmas características na tração e compressão. O modelo elastoplástico perfeito mostrado na Figura 144 traz uma relação tensão – deformação proporcional até atingir a tensão de escoamento, após isso, o material apresenta um patamar de escoamento bastante definido.

Figura 14– Modelo constitutivo para aço elastoplástico perfeito



Fonte: (LIMA, 2018)

#### 4.2.3 Determinação das frações volumétricas de aço e concreto utilizados na estrutura

A partir dos quantitativos de aço encontrados no ANEXO II - QUANTITATIVO DE AÇO UTILIZADO NA TORRE 02 DO EDIFÍCIO ARBO CONDOMÍNIO PARQUE, foi possível calcular o volume de aço utilizado na edificação em análise. Na Tabela 3 encontra-se o memorial de cálculos realizados para determinar o volume de aço utilizado na edificação.

Tabela 3 - Volume de aço utilizado na Torre 02 do Arbo Condomínio Parque

	Kg/m <sup>2</sup>	h (m)	b (m)	UN	Massa (Kg)	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Aço CA-60 - Ø 5,0 mm (para Corte e Dobra ou Armação) kg	-	-	-	-	2855	7800	0,37

Aço CA-50 - Ø 6,3 mm (para Corte e Dobra ou Armação) kg	-	-	-	-	1790	7800	0,23	
Aço CA-50 - Ø 8,0 mm (para Corte e Dobra ou Armação) kg	-	-	-	-	2923	7800	0,37	
Aço CA-50 - Ø 10,0 mm (para Corte e Dobra ou Armação) kg	-	-	-	-	8686	7800	1,11	
Aço CA-50 - Ø 12,5 mm (para Corte e Dobra ou Armação) kg	-	-	-	-	827	7800	0,11	
Aço CA-50 - Ø 16,0 mm (para Corte e Dobra ou Armação) kg	-	-	-	-	223	7800	0,03	
Tela soldada nervurada Q-113, fio 3,8 mm, malha 10 x 10 cm, peso 1,80 kg/m <sup>2</sup> Unid	1,8	2,45	6,0	687	18178,02	7800	2,33	
Tela soldada nervurada Q-138, fio 4,2 mm, malha 10 x 10 cm, peso 2,20 kg/m <sup>2</sup> Unid	2,2	2,45	6,0	550	17787	7800	2,28	
Tela Soldada Nervurada L-113, Fio 3,8 mm, Malha 10 x 30 cm, Peso 1,21 kg/m <sup>2</sup> Unid	1,21	2,45	6,0	134	2383,458	7800	0,31	
Tela Soldada Nervurada L-138, Fio 4,2 mm, Malha 10 x 30 cm, Peso 1,47 kg/m <sup>2</sup> Unid	1,47	2,45	6,0	40	864,36	7800	0,11	
Tela Soldada Nervurada L-196, Fio 5,0 mm, Malha 10 x 30 cm, Peso 2,09 kg/m <sup>2</sup> Unid	2,09	2,45	6,0	44	1351,812	7800	0,17	
Tela soldada nervurada Q-196, fio 5,0 mm, malha 10 x 10 cm, peso 3,11 kg/m <sup>2</sup> Unid	3,11	2,45	6,0	55	2514,435	7800	0,32	
<b>VOLUME TOTAL DE AÇO (m<sup>3</sup>)</b>								<b>7,74</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Da mesma forma, de acordo com dados contidos no ANEXO III - QUANTITATIVO DE CONCRETO UTILIZADO NA TORRE 02 DO EDIFÍCIO ARBO CONDOMÍNIO PARQUE, realizou-se um simples somatório para determinar o volume total de concreto da estrutura, que equivale a 1611,93 m<sup>3</sup>.

Assim, com Volume de aço = 7,74 m<sup>3</sup> e Volume de concreto = 1611,93 m<sup>3</sup>, continuou-se o estudo com a determinação das frações volumétricas na fase dispersas do aço e do concreto, onde:

$$Volume\ total = Volume\ de\ aço + Volume\ de\ concreto$$

$$Volume\ total = 7,74\ m^3 + 1611,93\ m^3 = 1619,68\ m^3$$

Logo,

$$V_d = \frac{Volume\ de\ aço}{Volume\ total} = \frac{7,74}{1619,68} = 0,0048$$

e

$$V_m = \frac{\text{Volume de concreto}}{\text{Volume total}} = \frac{1611,93}{1619,68} = 0,9952$$

Onde:

$V_d$  = Fração volumétrica da parte dispersa (aço); e

$V_m$  = Fração volumétrica da fase dispersa (concreto).

#### 4.2.4 Determinação dos Módulos de Elasticidade

Devido à rapidez de execução deste método construtivo, a estrutura é solicitada por carregamentos de ocupação de forma muito precoce. Assim, nesta análise, a estrutura é submetida a uma ocupação com 14 horas após a concretagem de cada pavimento, portanto, quando um novo andar é concretado, o concreto do pavimento anterior possui resistência bem inferior à resistência característica aos 28 dias, seja por tração ou compressão. Assim, procurou-se simular o comportamento linear da estrutura durante a sua construção, considerando a resistência do concreto de acordo com a sua idade.

Sabendo que o concreto armado é um material composto que pode ser considerado um compósito, ou seja, é composto por dois outros materiais de propriedades diferentes, suas propriedades de módulo de deformação longitudinal e coeficiente de Poisson do concreto armado podem ser determinados pelas frações volumétricas do concreto e do aço, utilizando a regra da mistura, onde, de acordo com Brescansin (2003), cada fase constituinte do compósito contribui para as propriedades efetivas do compósito, sendo essa contribuição dependente apenas da fração volumétrica dos constituintes. Assim, podemos determinar o módulo de deformação longitudinal do concreto armado com a seguinte equação:

$$E'_{cs} = E_{c_d} V_d + E_{csm} V_m$$

Onde:

$E'_{cs}$  = Módulo de deformação longitudinal secante do compósito (concreto armado).

$E_{cd}$  = Módulo de deformação longitudinal tangente da fase dispersa (aço) = 210 Gpa.

$E_{csm}$  = Módulo de deformação longitudinal secante da fase matriz (concreto).

Desta forma, sabendo que cada pavimento da estrutura possui uma junta de dilatação em seu sentido transversal, que corta sua caixa de escada e, portanto, cada andar foi concretado em duas etapas, como pode ser verificado no APÊNDICE A – DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS MODELOS, foram desenvolvidas tabelas com os módulos de elasticidade dos concretos em cada etapa realizada.

#### 4.2.5 Determinação do coeficiente de Poisson do concreto armado

Para determinar o coeficiente de Poisson utilizou-se o método das frações volumétricas, onde:

$$\begin{aligned} \nu &= \nu_d V_d + \nu_m V_m \\ \nu &= 0,30 * 0,0048 + 0,20 * 0,9952 \\ \nu &= 0,20048 \end{aligned}$$

Onde:

$\nu$  = Coeficiente de Poisson do compósito (concreto armado).

$\nu_d$  = Coeficiente de Poisson da fase dispersa (aço) = 0,30.

$\nu_m$  = Coeficiente de Poisson da fase matriz (concreto) = 0,20

#### 4.3 MODELAGEM DA GEOMETRIA DOS MODELOS

Para uma maior precisão e agilidade no desenvolvimento das geometrias dos modelos computacionais, utilizou-se a versão 2020 estudantil do *software* Revit®, para onde as plantas de fôrma do projeto estrutural constantes nos ANEXO V - FORMAS DA FUNDAÇÃO DA TORRE 02 DO EDIFÍCIO ARBO CONDOMÍNIO PARQUE, no ANEXO VI - FORMAS DO 1º PÁV.TO DA TORRE 02 DO EDIFÍCIO

ARBO CONDOMÍNIO PARQUE, no ANEXO VII - FORMAS PÁV.TO TIPO DA TORRE 02 DO EDIFÍCIO ARBO CONDOMÍNIO PARQUE e no ANEXO VIII - FORMAS DA PLATIBANDA E CX. D'ÁGUA DA TORRE 02 DO EDIFÍCIO ARBO CONDOMÍNIO PARQUE foram importadas e deu-se início a construção das geometrias dos modelos. A Figura 15 a seguir mostra a renderização da geometria 3D desenvolvida para o Modelo 15 deste estudo. Após sua criação, a geometria foi exportada no formato “.SAT” para, em seguida, ser importada para o *software* Abaqus® versão 2020.

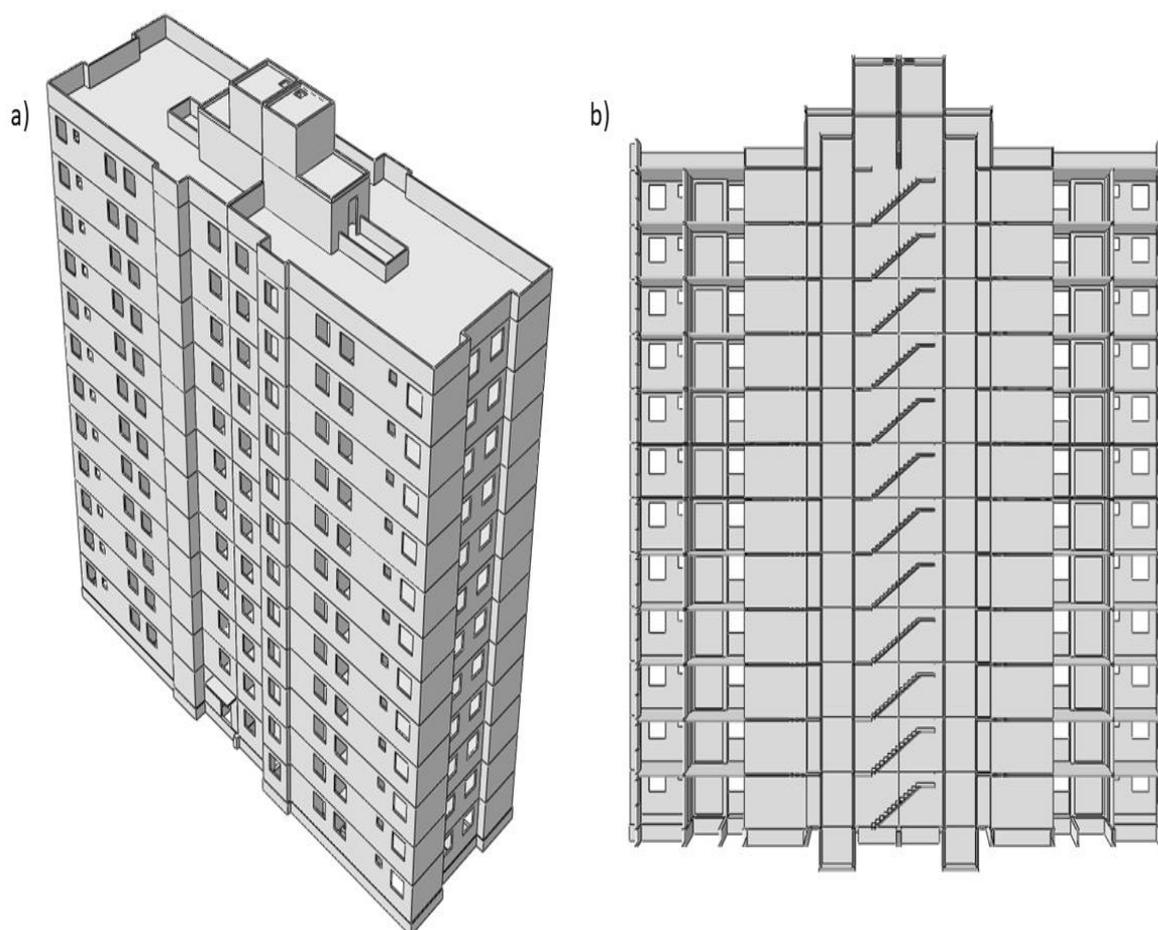
Figura 15 – Renderização da geometria 3D desenvolvida para o Modelo 15



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 166 a seguir mostra a geometria do 15º modelo depois de ser importada para o *software* Abaqus® (versão 2020), onde: a) Vista paramétrica da estrutura; b) Corte longitudinal com destaque para a escadaria.

Figura 16 - Geometria do 15º modelo depois de ser importada para o *Software Abaqus®* (versão 2020), onde: a) Vista paramétrica da estrutura; b) Corte longitudinal com destaque para a escadaria.

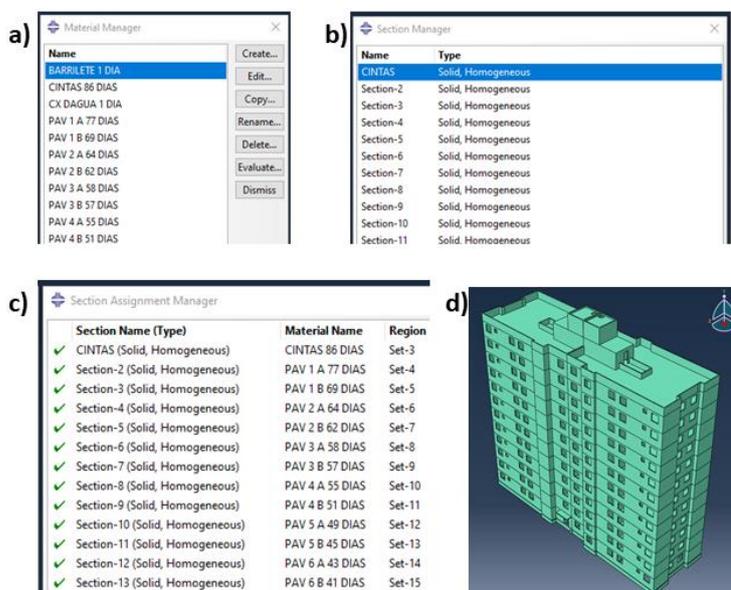


Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4 CONFIGURAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS

Após a importação das geometrias fez-se necessário realizar a configuração das propriedades físicas dos materiais em cada modelo. Estas propriedades foram carregadas nos modelos de acordo com a idade de cada etapa da construção de forma que a resistência de cada parte estivesse compatível com a evolução das resistências dos concretos. A Figura 177 abaixo mostra o passo a passo para a configuração das propriedades dos materiais, onde: em a) verifica-se a criação do material propriamente dito; em b) a criação de seções onde os materiais criados serão aplicados; em c) os materiais aplicados em suas respectivas seções; e em d) a aparência da geometria após a configuração dos materiais.

Figura 17 - passo a passo para a configuração das propriedades dos materiais, onde: em a) verifica-se a criação do material propriamente dito; em b) a criação de seções onde os materiais criados serão aplicados; em c) os materiais aplicados em suas respectivas seções, e em d) aparência da geometria após a configuração dos materiais

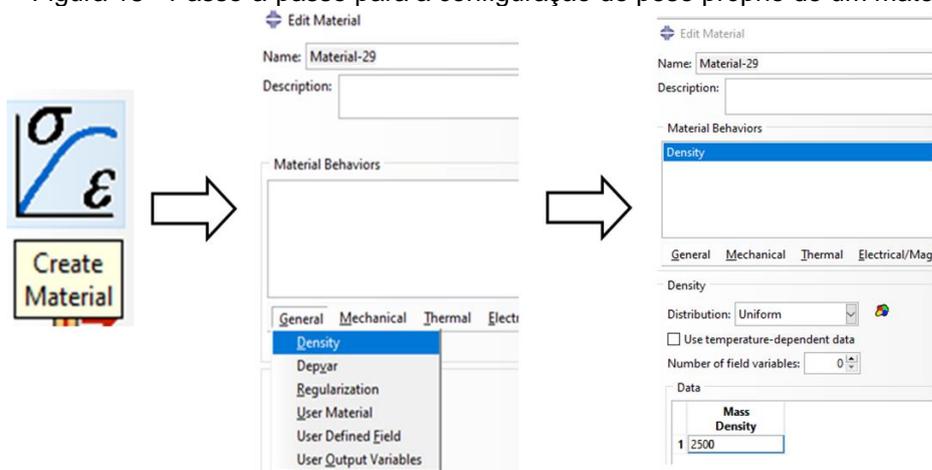


Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4.1 Criação de um material no *software* Abaqus

Nesta análise fez-se necessário levar em consideração o peso próprio da estrutura. Assim, em todos os materiais configurados para os modelos foi adicionada a propriedade “*Density*”, seguindo o passo a passo mostrado na Figura 188:

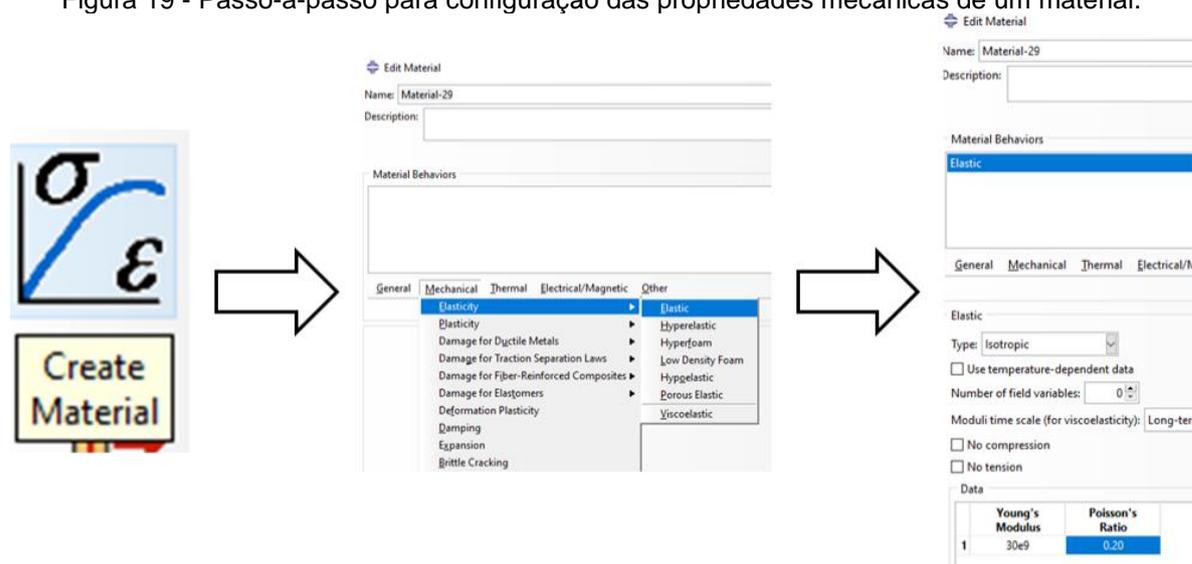
Figura 18 - Passo-a-passo para a configuração do peso próprio de um material



Fonte: Elaborado pelo autor

A configuração das demais propriedades mecânicas, Módulo de Elasticidade e coeficiente de Poisson também são necessárias, pois são as condições determinantes para que as deformações e deslocamentos ocorram de maneira aproximada ao que acontece na estrutura real. Assim esta etapa foi realizada conforme o passo a passo da Figura 199:

Figura 19 - Passo-a-passo para configuração das propriedades mecânicas de um material.



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.5 CONSIDERAÇÕES ADOTADAS PARA CÁLCULO DAS CARGAS APLICADAS AOS MODELOS

Utilizou-se a norma brasileira NBR 6120:1980 para a determinação das cargas adotadas no cálculo da estrutura (respeitando os valores mínimos exigidos por esta norma), foram adotados os seguintes valores:

- Peso específico do concreto armado: 25,0 kN/m<sup>3</sup>
- Lajes dos pavimentos tipos:
  - Sobrecarga de ocupação (Edifícios residenciais): 2,0 kN/m<sup>2</sup>.
  - Pavimentação + Revestimento: 2,0 kN/m<sup>2</sup> (quando tiver idade superior a 28 dias)
- Escadarias:
  - Sobrecarga de ocupação (Escada com acesso ao público): 3,0 kN/m<sup>2</sup>.

- Lajes da cobertura:
  - Sobrecarga de ocupação (Terraço sem acesso ao público): 2,0 kN/m<sup>2</sup>.
- Caixa D'água:
  - Peso específico da água: 10,0 kN/m<sup>3</sup>

No Modelo 16 foi considerada a ação do vento, para tal, foram seguidas as recomendações da NBR 6123:1988 que trata das forças devidas ao vento nas edificações. Assim, seguem as considerações realizadas para determinação das ações ocasionadas pelo vento na edificação em estudo.

De acordo com o item 4.2 da NBR 6123:1988 é possível determinar a velocidade característica do vento através da expressão:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

Onde:

$V_k$  = Velocidade característica do vento (m/s).

$V_0$  = Velocidade básica do vento (m/s).

$S_1$  = Fator topográfico do terreno.

$S_2$  = Fator que depende de Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno.

$S_3$  = Fator estatístico.

De acordo com o item 4.2.c da NBR 6123:1988 é possível determinar a pressão dinâmica que o vento exerce sobre a estrutura através da expressão:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2$$

Onde:

$q$  = Pressão dinâmica (N/m<sup>2</sup>)

Assim, sabendo que de acordo com parâmetros da NBR 6123:1988:

$V_0 = 45 \text{ m/s}$  para a região de Campinas - SP

$S_1 = 1,0$ .

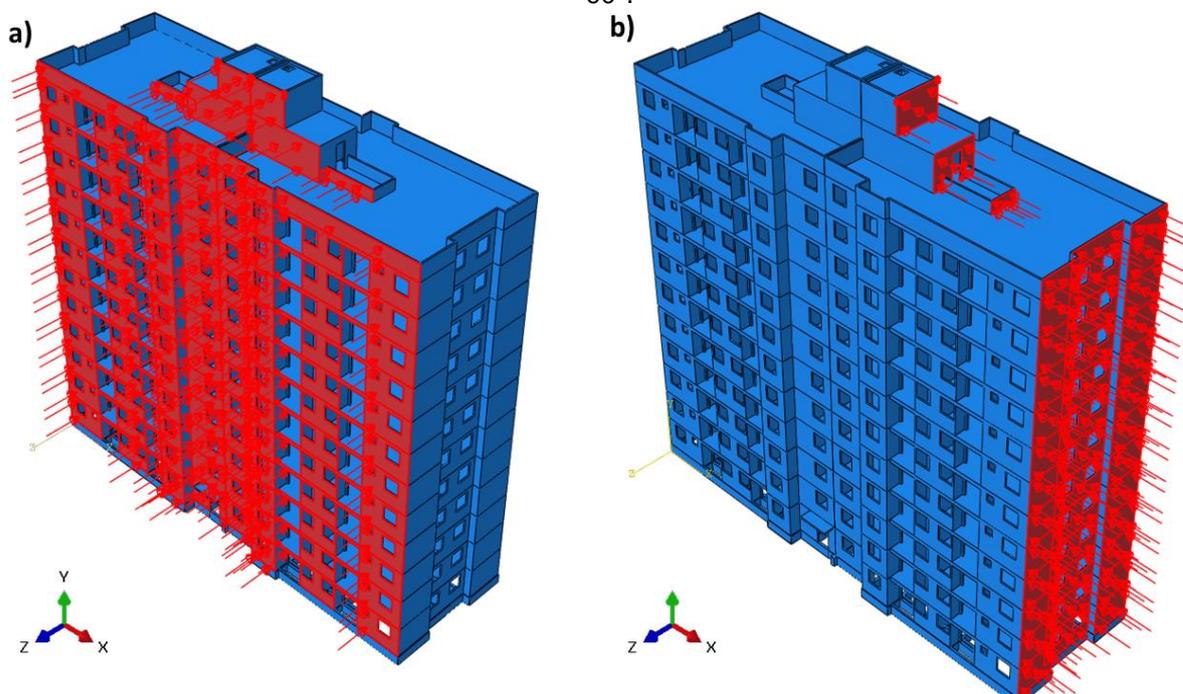
$$S_2 = 0,98$$

$$S_3 = 1,0$$

$$q = 1192,17 \text{ N/m}^2$$

A Figura 20 a seguir, mostra as direções a  $0^\circ$  e a  $90^\circ$  nas quais foram consideradas as ações do vento para o Modelo 16, assim, em a) observa-se a atuação do vento a  $0^\circ$  e, em b), a atuação do vento a  $90^\circ$ .

Figura 20 - Consideração das ações do vento na estrutura: a) Ação do vento a  $0^\circ$ ; b) Ação do vento a  $90^\circ$ .



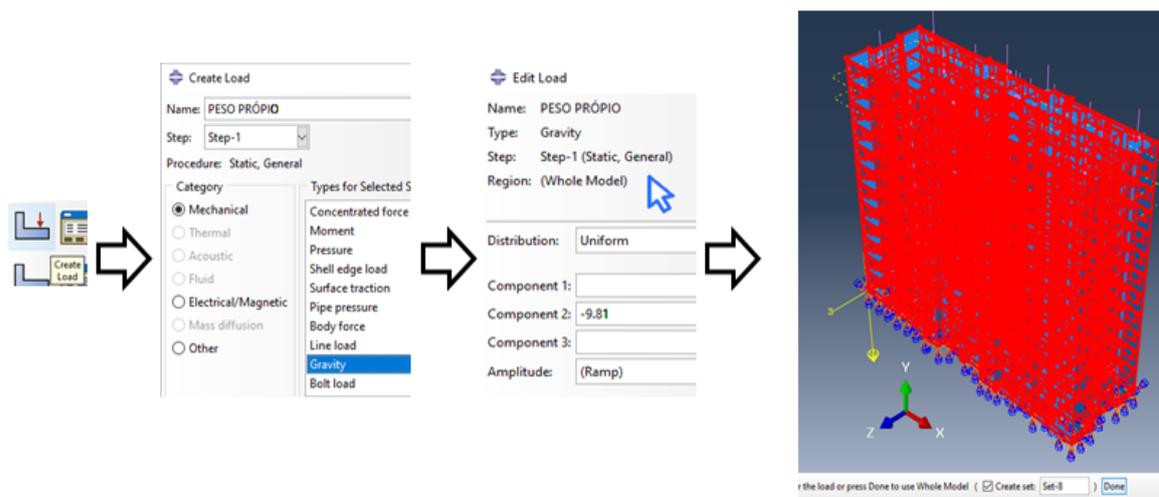
Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.5.1 Aplicação das ações no *software* Abaqus

##### 4.5.1.1 Peso próprio

Além da criação da propriedade densidade de massa para o material concreto, faz-se necessário criar um carregamento específico para aplicação do peso próprio à geometria do modelo. Este carregamento deve ser configurado com a aceleração da gravidade que tem valor aproximado de  $9,81 \text{ m/s}^2$ . a Figura 2121 mostra o passo-a-passo para criação da ação em questão.

Figura 21- Passo-a-passo para criação e aplicação da ação peso próprio

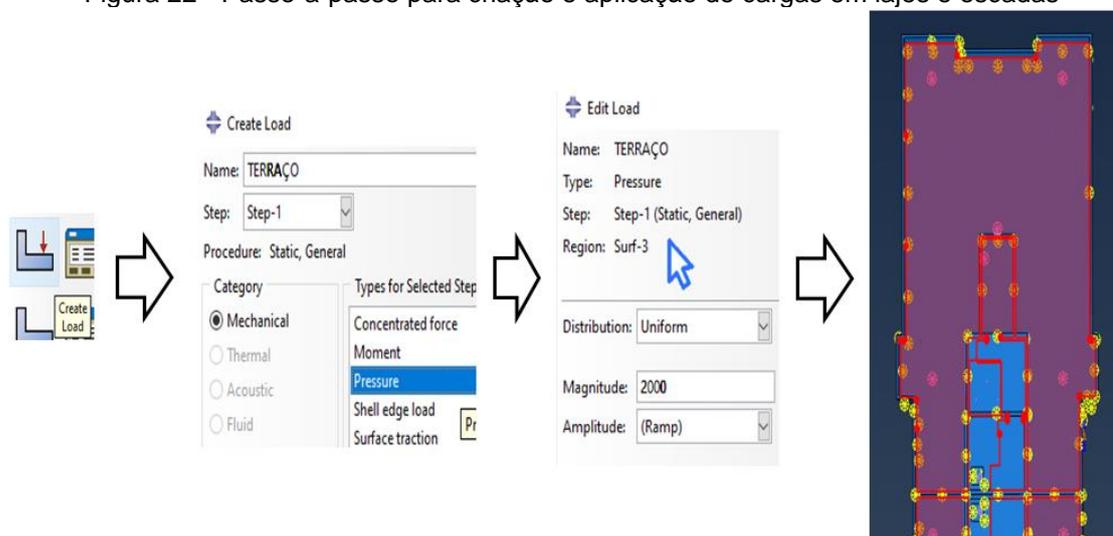


Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.5.1.2 Carregamentos nas lajes e escadas

As lajes e escadas podem sofrer as ações de cargas permanentes e acidentais, no caso deste estudo estão sendo consideradas as cargas de ocupação, pavimentação e revestimento para estes elementos estruturais. No *software* Abaqus® estes carregamentos devem ser aplicados na forma de pressão ( $N/m^2$ ). O passo-a-passo para criação e aplicação de cargas nas estruturas de escadas e lajes é o mesmo para ambos os casos e está ilustrado na Figura 22 22:

Figura 22 - Passo-a-passo para criação e aplicação de cargas em lajes e escadas

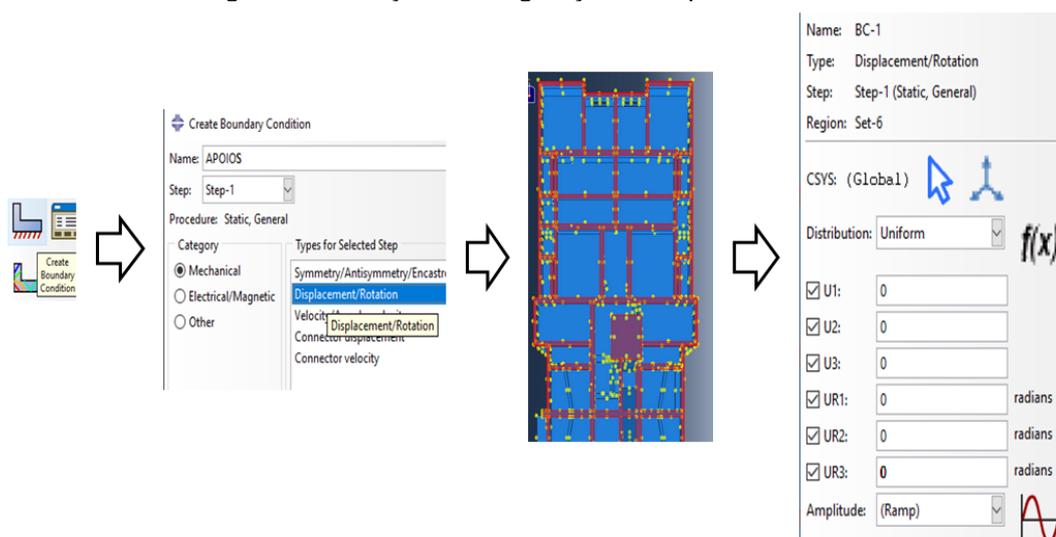


Fonte: Elaborado pelo autor

### 4.5.1.3 Configuração dos apoios

Outra parte importante de uma análise estrutural são as condições de apoio da estrutura, no *software* Abaqus® existem diversas maneiras de configurar estas condições. A Figura 2323 a seguir, mostra o passo-a-passo para criação e aplicação das condições de apoio aos modelos deste estudo:

Figura 23 - Criação e configuração dos apoios do modelo



Fonte: Elaborado pelo autor

Com o objetivo de reduzir o número de elementos analisados e simplificar as geometrias dos modelos, as fundações foram simplificadas, e, neste caso, as estacas e blocos de coroamento não foram modelados. Assim, foram modeladas apenas as vigas baldrame da estrutura. Portanto, como pode ser observado na Figura 233 estas fundações tiveram seu deslocamento bloqueados em todos os sentidos (U1, U2, U3, UR1, UR2 e UR3). Desta forma, neste estudo, não foi considerado a possibilidade de recalque das fundações.

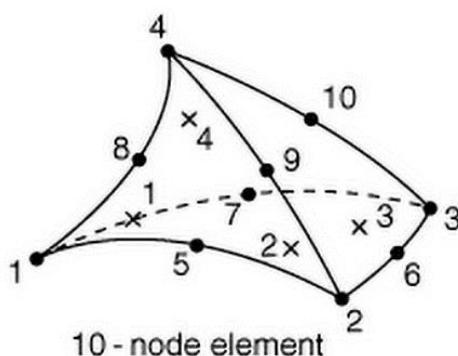
## 4.6 MALHA ADOTADA NO MODELO

### 4.6.1 Tipo de elemento escolhido

Devido à alta complexidade das geometrias dos modelos, foi necessário utilizar elementos tetraédricos que, devido ao funcionamento do *software* Abaqus, se

adaptam melhor às geometrias complexas, reduzindo assim o tempo gasto para a confecção das malhas dos 16 modelos. Devido à grande quantidade de modelos com geometrias complexas de grandes dimensões e com objetivo de facilitar a implementação das malhas, padronizou-se o tamanho dos elementos em 0,4 m de aresta. O tipo de elemento adotado foi o C3D10 que, de acordo Tripathi (2020), é um elemento tetraédrico com 4 pontos de integração e 10 nós, com interpolação quadrática de deslocamento. A Figura 24 a seguir ilustra a forma do elemento e o posicionamento destes nós.

Figura 24 - Elemento C3D10 disponível na biblioteca de elementos do Software Abaqus®



Fonte: (TRIPATHI, 2020)

A Tabela 4 abaixo traz as características das malhas adotadas nos modelos, onde verifica-se o modelo, a quantidade de elementos e nós gerados.

Tabela 4 - Características das malhas adotadas nos modelos.

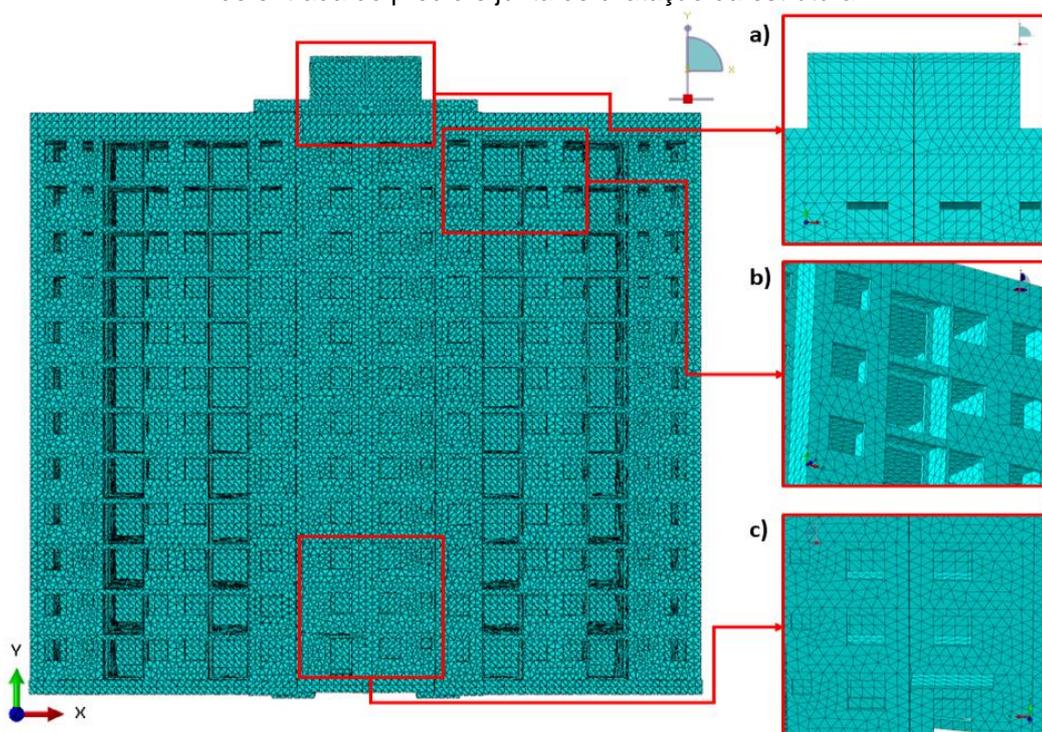
Modelo	Nº de Elementos	Nº de Nós	Nº de Variáveis
Modelo 1	69.955	139.976	419.928
Modelo 2	117.260	232.551	697.653
Modelo 3	190.563	381.126	1.143.378
Modelo 4	211.463	422.926	1.268.778
Modelo 5	258.759	517.518	1.552.554
Modelo 6	305.503	601.871	1.805.613
Modelo 7	353.060	706.120	2.118.360
Modelo 8	400.253	787.387	2.362.161
Modelo 9	447.344	879.782	2.639.346
Modelo 10	494.154	971.807	2.915.421
Modelo 11	541.432	1.064.444	3.193.332
Modelo 12	586.265	1.172.530	3.517.590
Modelo 13	593.297	1.165.906	3.497.718
Modelo 14	602.286	1.183.067	3.549.201
Modelo 15	605.860	1.190.104	3.570.312
Modelo 16	605.860	1.190.104	3.570.312

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.6.2 Determinação das malhas

A Figura 255 traz uma amostra da malha do Modelo 16 com destaque para a) detalhe da região próximo à Caixa D'água e junta de dilatação da estrutura; b) detalhe da região das varandas no 11º e 12º andares; c) detalhe da abertura de entrada do prédio e junta de dilatação da estrutura.

Figura 25 - Detalhe da malha do Modelo 16: a) detalhe da região próximo à Caixa D'água e junta de dilatação da estrutura; b) detalhe da região das varandas no 11º e 12º andares; c) detalhe da abertura de entrada do prédio e junta de dilatação da estrutura.



Fonte: Elaborado pelo autor

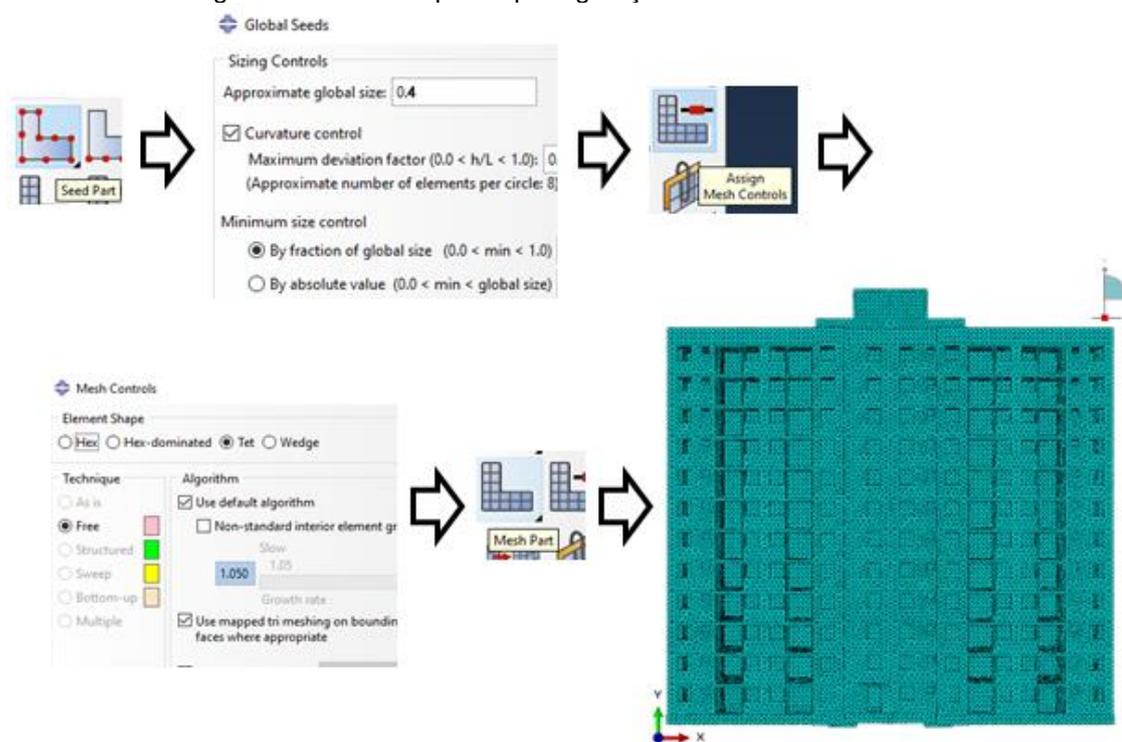
Ressalta-se que, em todos os dezesseis modelos 3D elaborados para este estudo, procurou-se manter os mesmos padrões de formatação das malhas para que os resultados pudessem ser os mais fiéis possíveis, possibilitando um melhor entendimento do comportamento estrutural da edificação analisada, assim, é prudente afirmar que as malhas geradas em todos os modelos possuem as mesmas características de escolha de elemento e tamanho aproximado da aresta do elemento escolhido, diferenciando-se apenas na quantidade de elementos e, conseqüentemente, na quantidade de nós. Isto explica-se pelo fato que cada novo

modelo concebido possui um pavimento a mais que seu antecessor. Sendo o Modelo 16 a única exceção para esta regra, já que possui geometria idêntica ao Modelo 15.

#### 4.6.3 Passo-a-passo para determinação de malhas

Sabe-se que a malha também é um dos elementos fundamentais para uma análise via Método dos Elementos Finitos, tanto que problemas na malha podem influenciar nos resultados da análise, além de provocar erros, fazendo com que o *solver* do modelo 3D seja abortado. Assim a Figura 266 a seguir, mostra o passo-a-passo para geração de malhas utilizadas neste estudo através do *software* Abaqus®.

Figura 26 - Passo-a-passo para geração de malhas deste estudo

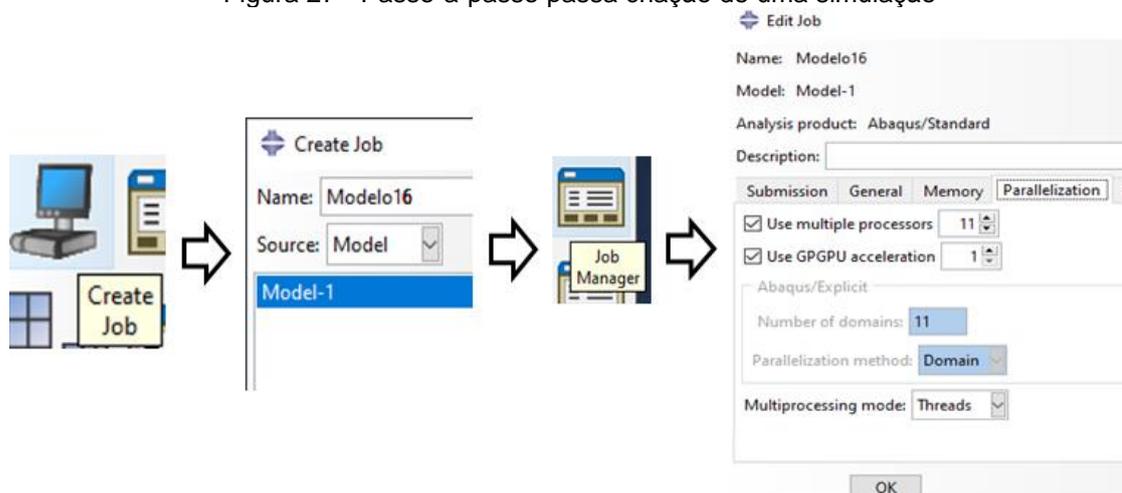


Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.7 FINALIZAÇÃO DA MODELAGEM

Por fim, após a criação das geometrias, configuração dos materiais, determinação das ações que agem sobre a estrutura e geração das malhas, realiza-se a criação da simulação, que no Abaqus é uma seção responsável por resolver o problema numérico definido nos modelos. Assim, a Figura 277 demonstra o passo-a-passo para criação desta simulação.

Figura 27 - Passo-a-passo para criação de uma simulação



Fonte: Elaborado pelo autor

Para realização desta etapa, faz necessário selecionar a aba “*job*” e criar uma simulação. Outro ponto importante é definir o número de processadores lógicos e, se for o caso, a placa gráfica que serão utilizados para o *solver* da análise. A quantidade de processadores utilizados depende do *hardware* do computador disponível. No caso deste estudo utilizou-se um processador Intel Core i7 (3.6GHz) com 12 núcleos, 16,00GB de memória RAM DDR4 (2400MHz) e GPU 1050ti com 4,00GB dedicada.

Com a finalização das simulações, foram utilizados os espectros de cores gerados pelo *software* Abaqus®, para verificação da distribuição de tensões nos elementos estruturais, bem como realizar estudo comparativo entre a distribuição de tensões analisada e fissuras existentes. Este estudo comparativo será realizado com o auxílio de fotografias destas fissuras que foram disponibilizadas pela empresa responsável pela obra.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises a seguir foram realizadas para explicar algumas fissuras apresentadas na estrutura. De acordo com Teixeira (2015), neste tipo de estrutura a laje é solidária com as paredes resistentes e funciona como diafragma rígido, de forma a transferir a estes os esforços horizontais e verticais. Com isso é de fundamental importância a discretização da estrutura com um elemento sólido, adotando a teoria de meio contínuo. Portanto, os principais esforços a serem analisados são as tensões principais, os deslocamentos e as tensões de cisalhamento nos planos das paredes e lajes.

Assim, com base no exposto acima, as distribuições de tensões analisadas serão as tensões Máximas Principais e as tensões inclinadas nos eixos XY e YZ, que, no Abaqus, são respectivamente referentes a S12 e S23. No Modelo 16 também serão observados os deslocamentos horizontais referentes aos eixos X e Z, definidos com U1 e U3 no Abaqus.

Estes dados serão analisados com o objetivo de identificar se nas regiões destacadas no ANEXO VIII - RESUMO DO RELATÓRIO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS RECORRENTES, que sofreram fissuras devido ao acúmulo excessivo de tensões.

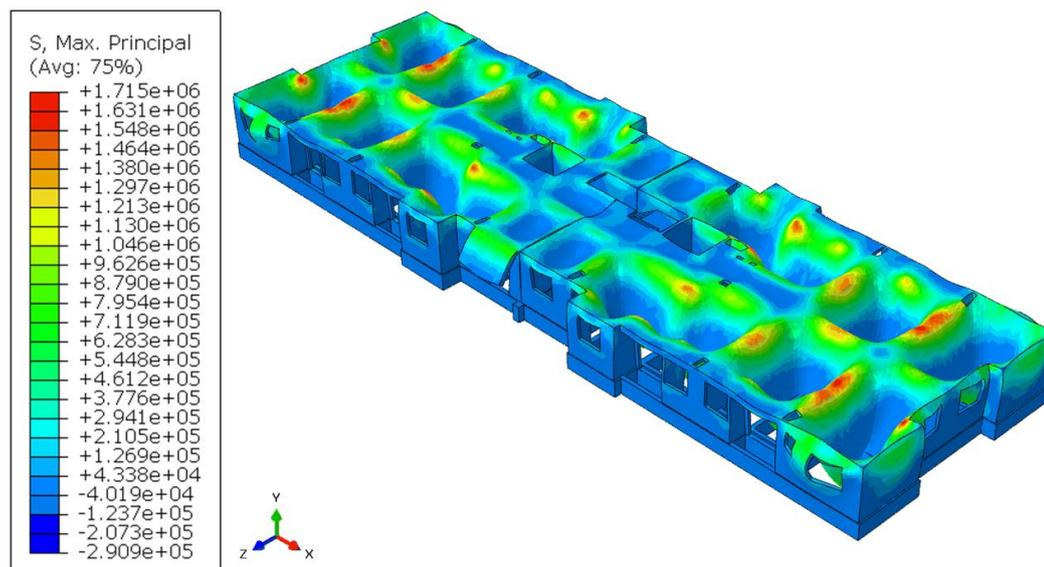
A seguir, verificam-se os resultados dos Modelos 1, 6, 15 e 16. Os demais modelos podem ser verificados no APÊNDICE B – RESULTADOS DOS MODELOS ELABORADOS.

### 5.1 ANÁLISE DO MODELO 1

O Modelo 1 foi concebido apenas com as fundações e o pavimento térreo da estrutura. Sabendo que a simulação trata de expor um novo pavimento concretado à carga de ocupação apenas 12 horas após a sua execução, levando-se em consideração a resistência do concreto de acordo com a sua idade, os módulos de elasticidades das fundações, Páv. Térreo A e Páv. Térreo B são respectivamente: 27,54 GPa; 15,27 GPa e; 14,65 GPa. No caso do  $f_{cm_t}$ , com  $t = 0,58$  dia, para Páv. Térreo A e Páv. Térreo B obteve-se 8,25 Mpa e 7,66 Mpa respectivamente.

A Figura 28 abaixo mostra a distribuição das tensões máximas principais do Modelo 1. Nota-se, através da legenda de cores disponibilizada pelo Abaqus que as maiores tensões de tração são de aproximadamente 1,71 MPa. E as tensões de compressão giram em torno de 0,291 MPa.

Figura 28 - Tensões máximas principais - Modelo 1.



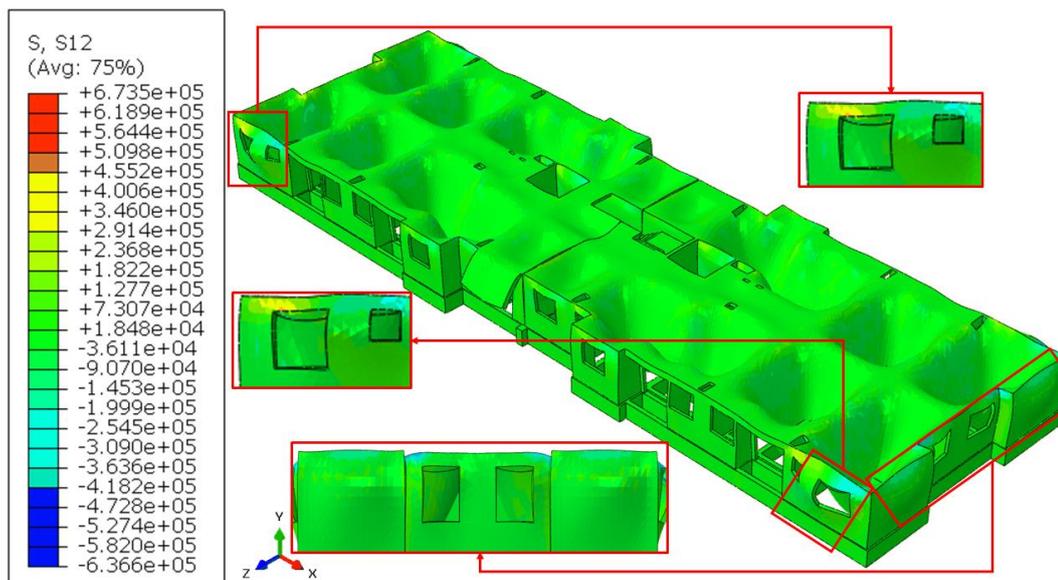
Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se então que as tensões de compressão não são suficientes para causar danos a estrutura, já que de acordo com a Tabela 4, a menor tensão de compressão que o modelo suporta é superior a 7 MPa.

Porém, sabendo que as tensões de tração máximas suportadas pelo concreto variam entre 10% e 15% do seu  $f_{cm_t}$ , verificam-se valores entre 0,83 Mpa e 1,24 MPa para o concreto do Páv. Térreo A e 0,77 Mpa e 1,15 MPa para o concreto do Páv. Térreo B. Portanto, nota-se que as tensões máximas principais de tração superam a capacidade máxima de resistência do concreto do pavimento térreo em ambas as etapas de concretagem.

No caso das tensões inclinadas S12, observa-se na Figura 29 a seguir, que a legenda de cores disponibilizada pelo Abaqus mostra que as maiores tensões de tração são de aproximadamente 0,67 MPa e as tensões de compressão giram em torno de 0,64 MPa. Portanto as tensões S12, bem inferiores as tensões máximas principais, não foram suficientes para causarem fissuras na estrutura analisada.

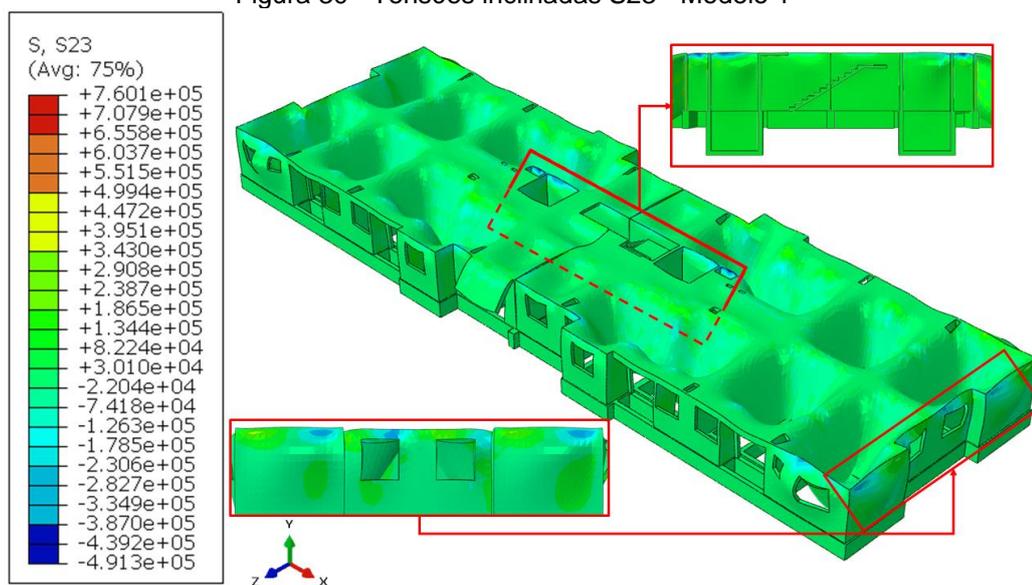
Figura 29 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 1



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 30, que traz a distribuição das tensões inclinadas S23, mostra em sua legenda a tensão de tração máxima igual a 0,76 MPa e a máxima de compressão igual a 0,49 MPa. Assim, é notório que as tensões inclinadas S23 não são suficientes para que ocorra fissuração na peça, mas que estão próximas ao limite de tensão de tração suportado pelo Páv. Térreo B quando se considera que o limite de resistência a tração equivale a 10% do  $f_{cm_t}$ .

Figura 30 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 1



Fonte: Elaborado pelo autor

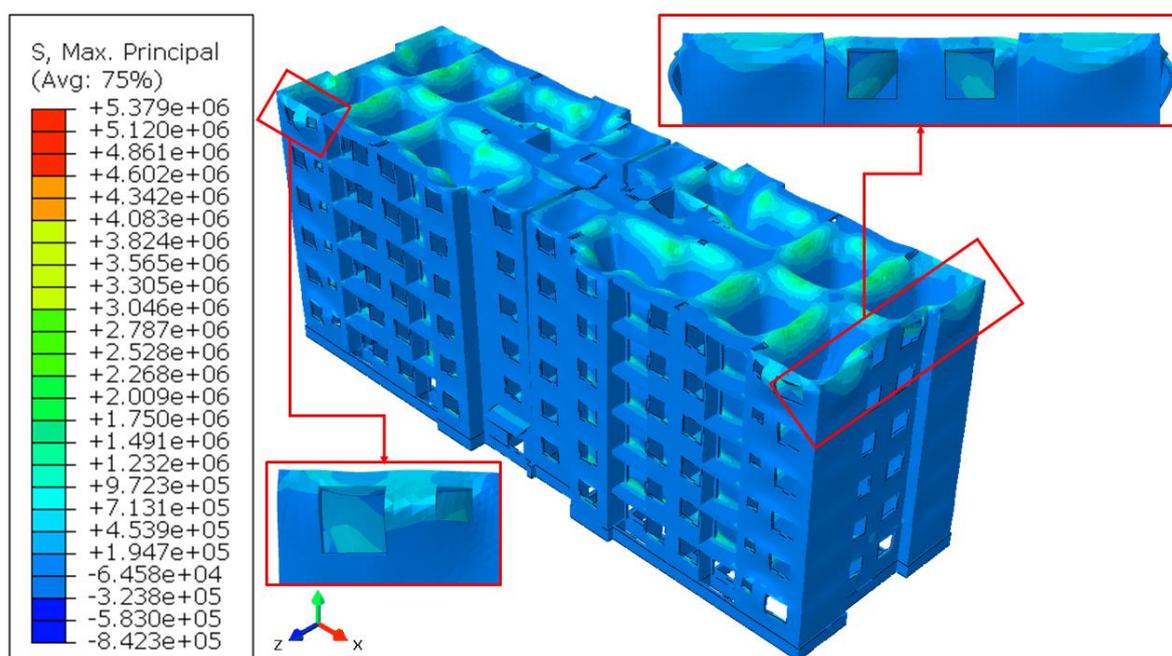
Nota-se que as tensões inclinadas sofridas pelo modelo, não são suficientes para causar danos a edificação. Porém, quando se fala das tensões máximas principais, observa-se que as tensões positivas (de tração), superam a capacidade resistiva do pavimento térreo em ambas as etapas de concretagem. Por fim, o modelo é capaz de resistir aos esforços de compressão.

## 5.2 ANÁLISE DO MODELO 6

De acordo como o APÊNDICE A - DETERMINAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DOS MODELOS, os módulos de elasticidade do sexto pavimento são 13,99 GPa e 14,41 GPa para 6º Páv. A e 6 Páv. B respectivamente. Ainda de acordo com o mesmo anexo, o  $f_{cm_t}$  destes dois materiais é 7,05 MPa par o 6º Páv. A e 7,44 MPa para o 6º Páv. B. as demais resistências podem ser verificados no referido anexo.

A Figura 31 ilustra a distribuição das tensões máximas principais no Modelo 6, onde é possível notar que, existem tensões de tração que variam de 0,1 MPa a 0,7 MPa atuando nos encontros das paredes com as lajes do sexto pavimento. Com relação as tensões de compressão, verifica-se uma tensão máxima de 0,84 MPa.

Figura 31 - Tensões máximas principais - Modelo 6.

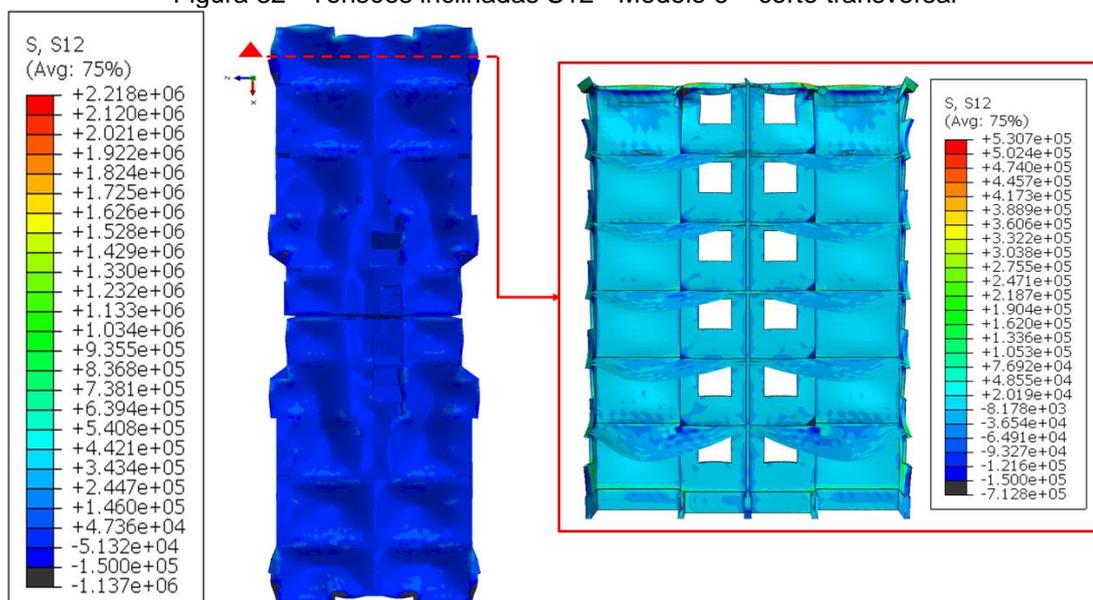


Fonte: Elaborado pelo autor

Sabendo que o  $f_{cm_t}$ , com  $t = 0,58$  dia para o 6º Páv. A é 7,05 MPa e para o 6º Páv. B é 7,44 MPa, pode-se inferir que a capacidade máxima de resistência a tração destes dois materiais varia de 0,71 MPa até 1,05 MPa e de 0,74 MPa até 1,11 MPa respectivamente. Assim, nota-se que as tensões de tração mostradas na Figura 31 estão bastante próximas da capacidade de resistência a tração destes materiais.

A Figura 32 abaixo mostra a distribuição das tensões inclinadas nos eixos X e Y (S12) com ênfase para um corte no sentido transversal do Modelo 6. Assim, nota-se que as máximas tensões existentes são de 0,54 MPa e 1,13 MPa para tração e compressão respectivamente. Além destas, as tensões de compressão atingem valores próximos a 1,13 MPa nos encontros de paredes longitudinais e lajes.

Figura 32 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 6 – corte transversal

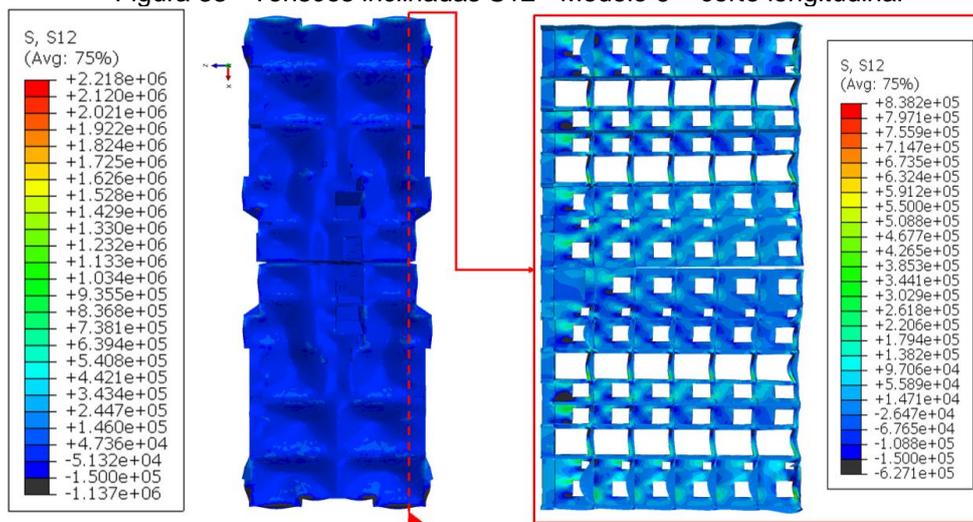


Fonte: Elaborado pelo autor

Ainda analisando a Figura 32, observa-se que no sexto pavimento as tensões de tração e compressão podem atingir valores de 0,33 MPa e 0,03 MPa respectivamente. Logo, é possível afirmar que estas tensões não são capazes de provocar danos ao modelo.

A Figura 33 mostra as tensões inclinadas S12 com destaque para um corte longitudinal à geometria do modelo, onde observa-se que as maiores tensões registradas são de 0,55 MPa para tração e 1,13 MPa para compressão. Além disso, no sexto pavimento as tensões existentes tem valores de 0,33 MPa e 0,06 MPa para tração e compressão que também não têm capacidade de causar danos a estrutura.

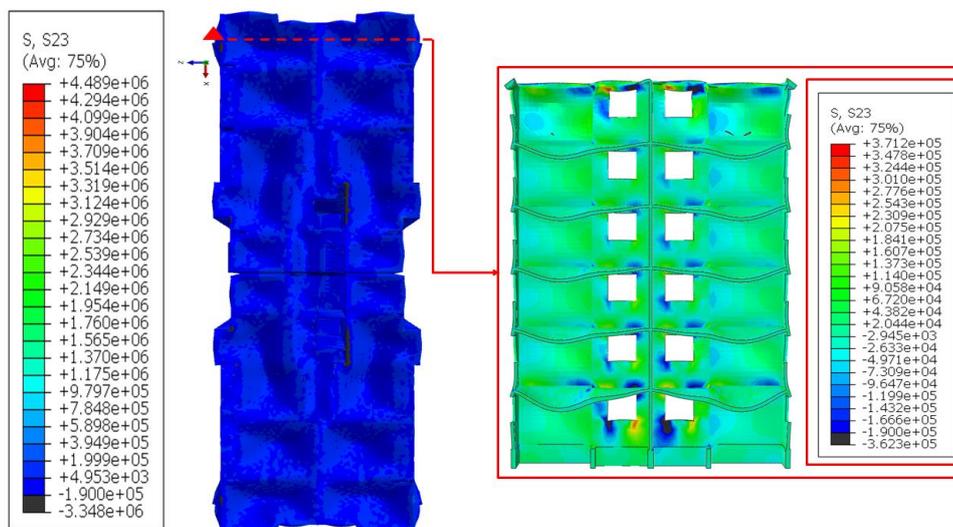
Figura 33 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 6 – corte longitudinal



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 34 abaixo, mostra a distribuição das tensões inclinadas nos eixos Y e z ( $S_{23}$ ) com ênfase para um corte no sentido transversal do Modelo 6, onde nota-se que as máximas tensões existentes são de 3,71 MPa e 0,36 MPa para tração e compressão respectivamente. Assim, sabendo que a capacidade resistiva do concreto do sexto pavimento, que neste modelo tem idade de 0,58 dia, variam de 0,71 MPa até 1,05 MPa para o 6º Páv. A e de 0,74 MPa até 1,11 MPa para o 6º Páv. B, é possível notar que as tensões de tração encontradas serão suficientes para causar danos a estrutura.

Figura 34- Tensões inclinadas S23 - Modelo 6 – corte transversal

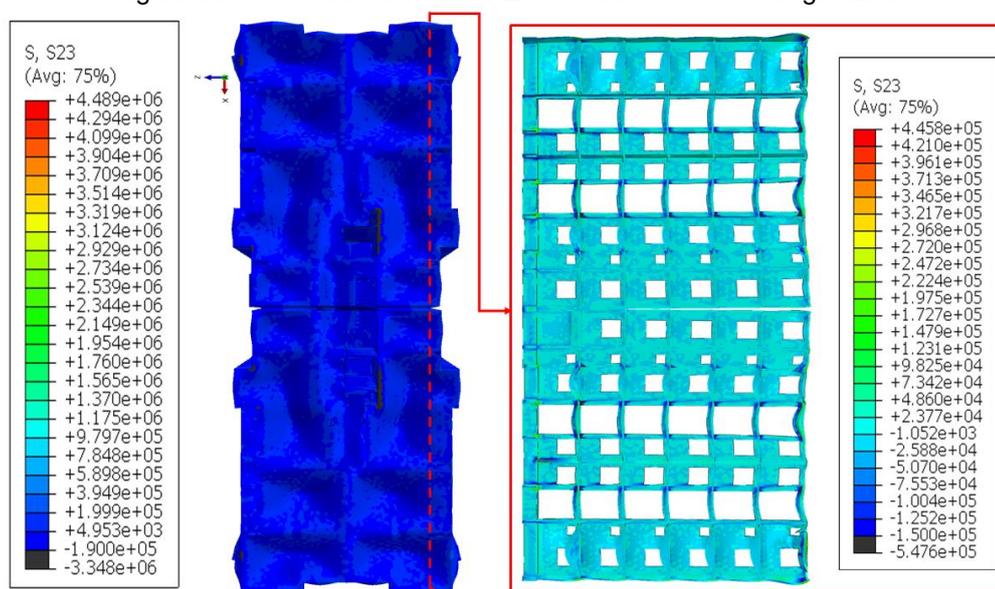


Fonte: Elaborado pelo autor

Ainda analisando a Figura 34, observa-se que as máximas tensões de compressão não chegam a atingir o  $f_{cm_t}$  do concreto do sexto pavimento (7,05 MPa para 6º Páv. A e 7,44 MPa para o 6º Páv. B). Assim, observa-se que estas tensões não causaram danos a estrutura.

A Figura 35 abaixo mostra as tensões inclinadas S23 com destaque para um corte longitudinal à geometria do modelo, onde observa-se que as maiores tensões registradas são de 0,78 MPa para tração e 1,13 MPa para compressão. Além disso, no sexto pavimento as tensões existentes tem valores de 0,33 MPa e 3,35 MPa para tração e compressão que também não têm capacidade de causar danos a estrutura.

Figura 35 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 6 – corte longitudinal



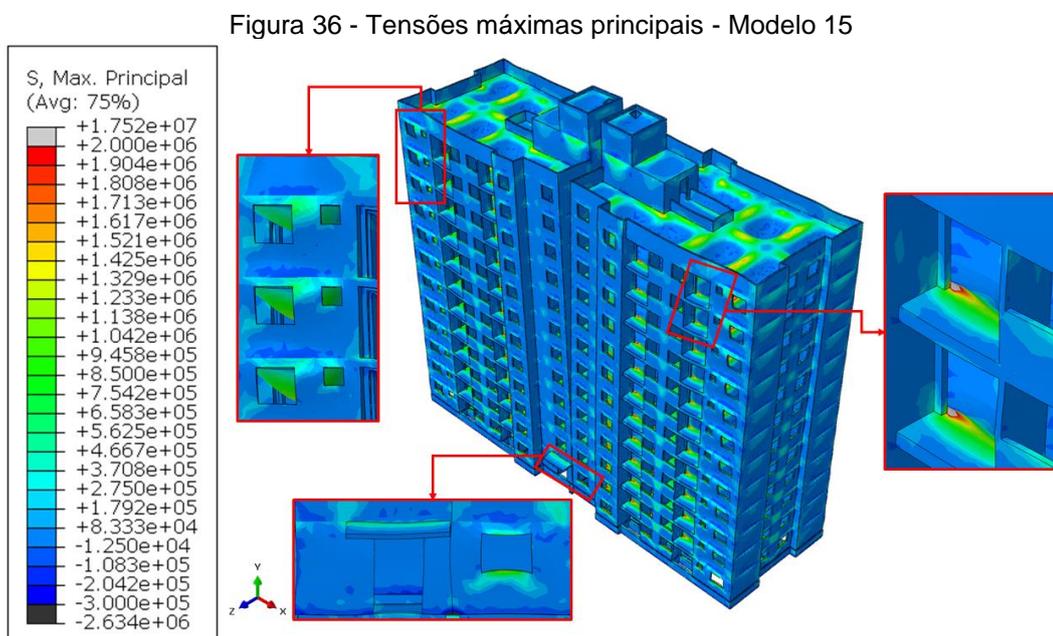
Fonte: Elaborado pelo autor

Ainda com relação a Figura 35, pode-se notar que no sexto pavimento as tensões de tração máximas encontradas estão próximas a 0,04 Mpa e que as tensões de compressão máximas têm valores de 0,54 Mpa. Assim, sabendo que o sexto pavimento é o que tem as menores capacidades resistivas de tração e compressão, é possível inferir que as tensões inclinadas S23 não têm, ao longo do eixo longitudinal da estrutura, magnitude suficiente para causar danos.

### 5.3 ANÁLISE DO MODELO 15

De acordo com o APÊNDICE A - DETERMINAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DOS MODELOS, os concretos de todos os pavimentos, com exceção do concreto da Cx. D'Água e do Barrilete, tem idade superior a 28 dias, sendo 6,94 MPa a resistência do concreto da Cx. D'Água aos 0,58 dias e 30,79 MPa a resistência do concreto do Barrilete aos 21 dias. As demais resistências podem ser verificadas no referido anexo.

A Figura 36 ilustra a distribuição das tensões máximas principais no Modelo 15, onde é possível notar que, existem tensões de tração que variam de 1,45 MPa a 17,52 MPa atuando nos encontros das paredes com as lajes. Com relação as tensões de compressão, verifica-se uma tensão máxima de 0,30 MPa que atua na região de encontro entre as paredes do pavimento térreo e as fundações. Outros valores de tensão de tração próximos a 1,42 MPa podem ser verificados próximos a aberturas de portas e janelas e nas lajes da cobertura. Na Cx. D'Água, o concreto está sendo tracionado por tensões com valores próximos a 0,37 MPa.

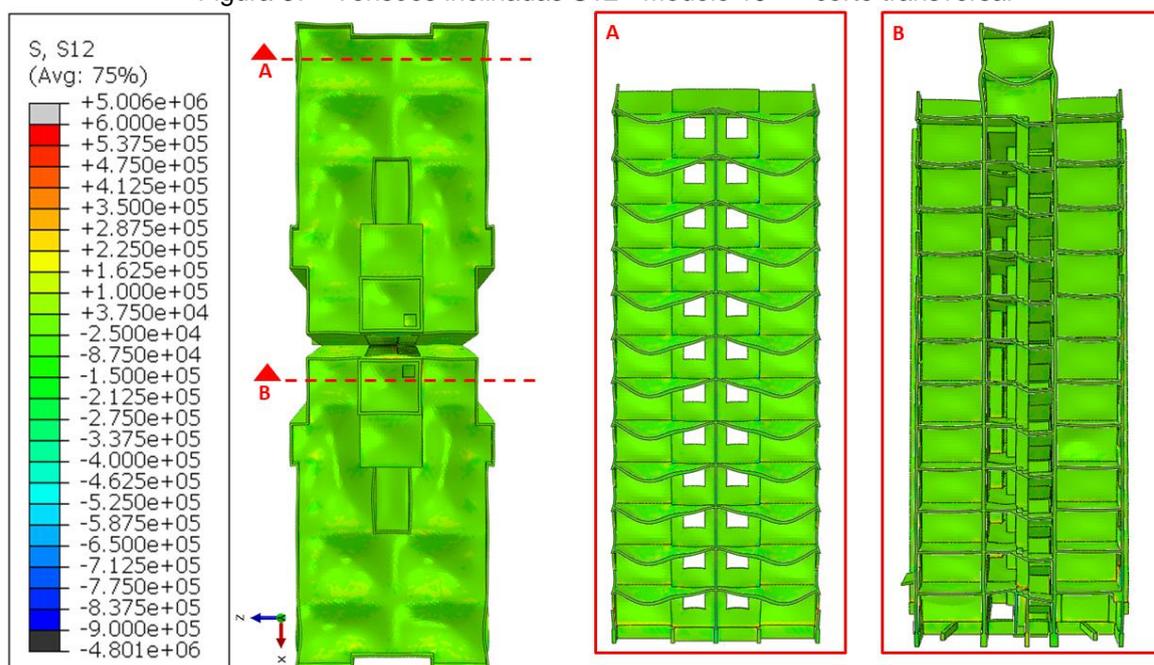


Fonte: Elaborado pelo autor

Sabendo que a capacidade máxima de resistência a tração do concreto da Cx. D'Água pode variar de 0,69 MPa até 1,04 MPa, pode-se afirmar que as tensões de tração atuantes nesta parte da estrutura não são capazes de provocar danos.

A Figura 37 mostra as tensões inclinadas S12 com destaque para dois cortes transversais à geometria do modelo, onde observa-se que as maiores tensões registradas são de 0,1 MPa para tração e 0,58 MPa. No Corte A da Figura 35 observa-se a distribuição de tensões inclinadas S12 nas paredes localizadas na fachada lateral da estrutura, já no Corte B as tensões nas paredes próximas a junta de dilatação e sob a caixa d'água.

Figura 37 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 15 -- corte transversal

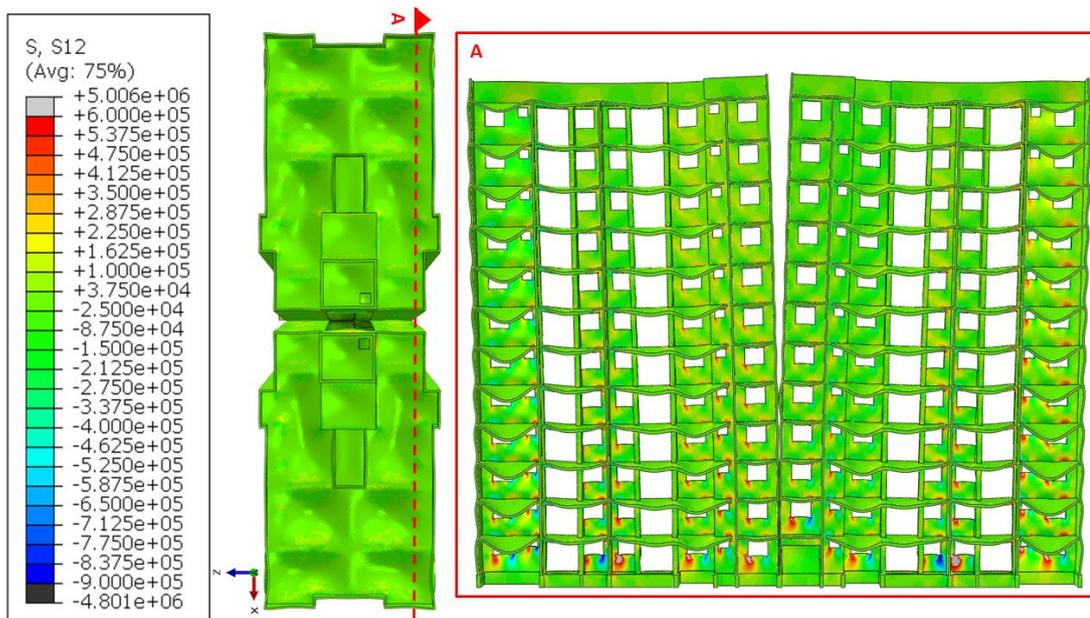


Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 38 mostra as tensões inclinadas S12 com destaque para dois cortes longitudinais à geometria do modelo, onde observa-se que as tensões de maiores valores são de 5,00 MPa para tração e 4,80 MPa para compressão nos vértices das janelas dos pavimentos inferiores.

No Corte A da Figura 38 observa-se a distribuição de tensões inclinadas S12 nas paredes localizadas na fachada posterior da estrutura, onde é possível notar que nos vértices das janelas as tensões são inversamente proporcionais à altura da edificação, ou seja, quanto mais alto for o pavimento, menor será a tensão nos vértices das janelas. Porém, nos pontos de encontro de lajes e paredes esta regra não se aplica e, em todos os pavimentos, é possível notar pontos de tensões de tração com valores próximos a 0,60 MPa.

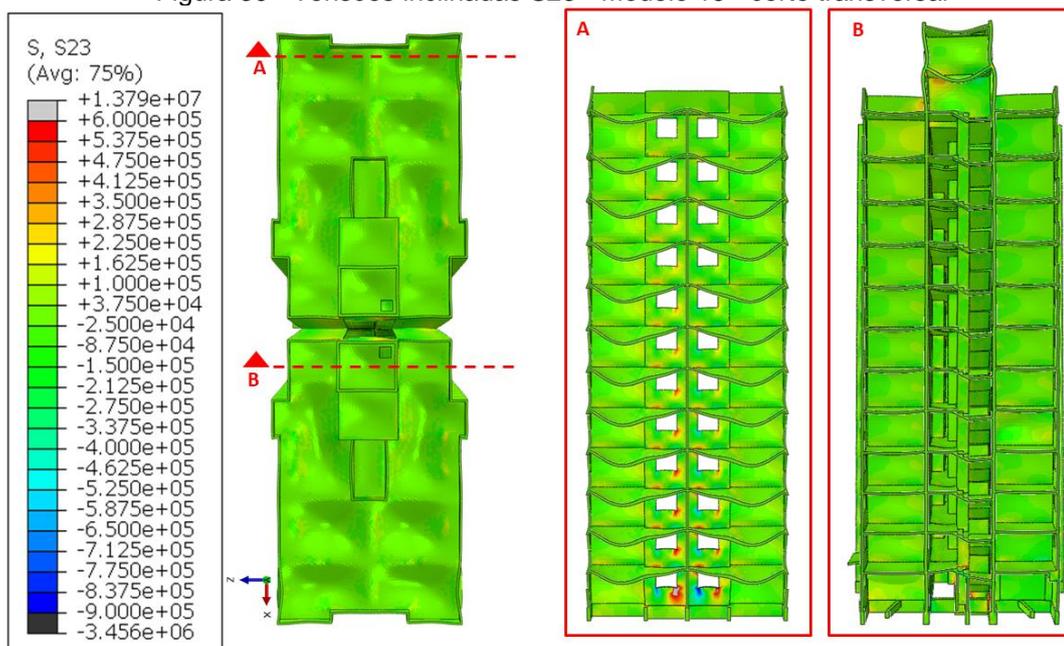
Figura 38 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 15 – corte longitudinal



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 39 mostra as tensões inclinadas S23 com destaque para dois cortes transversais à geometria do modelo, onde observa-se que as maiores tensões registradas são de 13,79 MPa para tração e 3,45 MPa para compressão nos vértices das janelas dos pavimentos inferiores.

Figura 39 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 15 - corte transversal



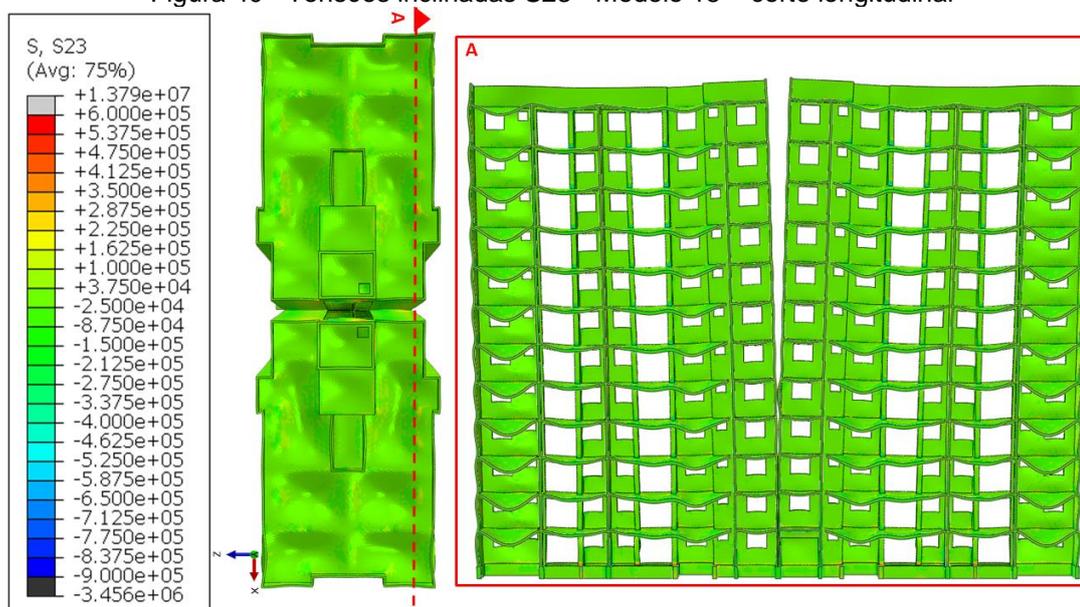
Fonte: Elaborado pelo autor

No Corte A da Figura 39 observa-se a distribuição de tensões inclinadas S23 nas paredes localizadas na fachada lateral da estrutura, já, no Corte B, verificam-se as tensões nas paredes próximas a junta de dilatação e sob a caixa d'água.

Nos demais pontos as tensões de tração variam de 0,08 MPa até 0,6 Mpa, o que não configura risco de fissuras, conforme visto anteriormente. Por fim, as tensões de compressão nos demais pontos da estrutura variam de 0,15 MPa até 0,4 MPa.

A Figura 40 mostra as tensões inclinadas S23 com destaque para dois cortes longitudinais à geometria do modelo, onde observa-se que as maiores tensões registradas são de 0,35 MPa para tração e 0,65 MPa para compressão nos vértices das janelas dos pavimentos inferiores.

Figura 40 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 15 – corte longitudinal



Fonte: Elaborado pelo autor

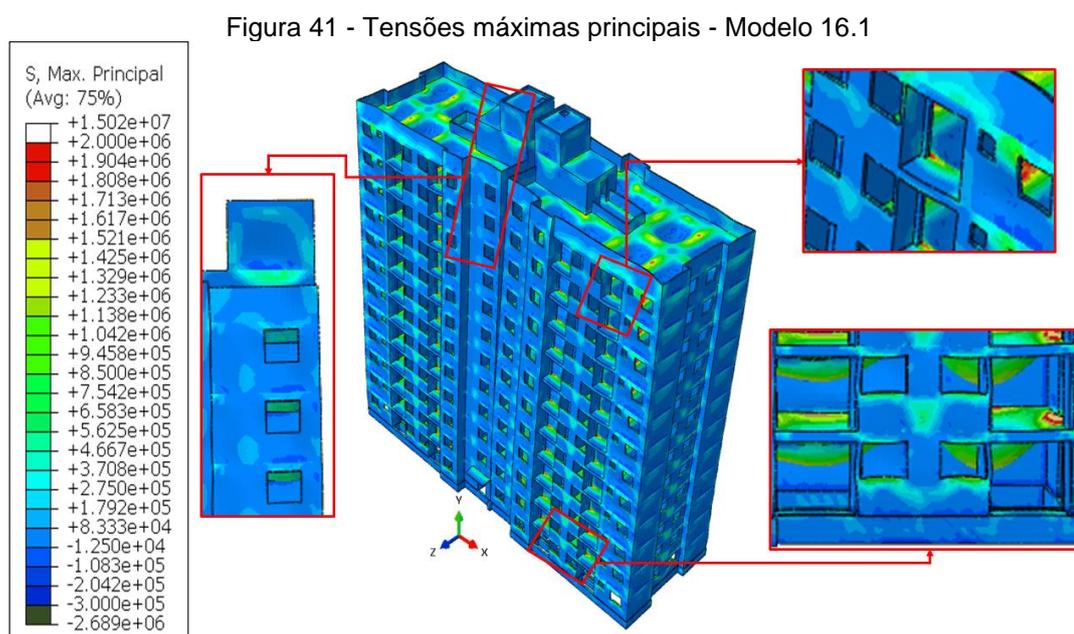
No Corte A da Figura 40 observa-se a distribuição de tensões inclinadas S23 nas paredes localizadas na fachada posterior da estrutura, onde é possível notar que as tensões estão próximas a 0,36 MPa e se distribuem por quase toda a superfície analisada, com exceção dos pontos de encontro de lajes e paredes em que é possível notar pontos de tensões de tração com valores próximos a 0,60 MPa. Nota-se, porém, que os valores de tração e compressão aqui verificados estão abaixo das capacidades resistivas dos materiais adotados para o Modelo 15.

## 5.4 ANÁLISE DO MODELO 16

De acordo como o APÊNDICE A - DETERMINAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DOS MODELOS, os concretos de todos os pavimentos têm idade superior a 28 dias. O Modelo 16 consiste em analisar a estrutura considerando a ação do vento a zero e a noventa graus, para isso, este modelo foi dividido em duas análises, a primeira, Modelo 16.1, que considera a ação do vento a  $0^{\circ}$  e a segunda, Modelo 16.2, na qual o vento exerce pressão a  $90^{\circ}$ .

### 5.4.1 Modelo 16.1 - vento a zero grau

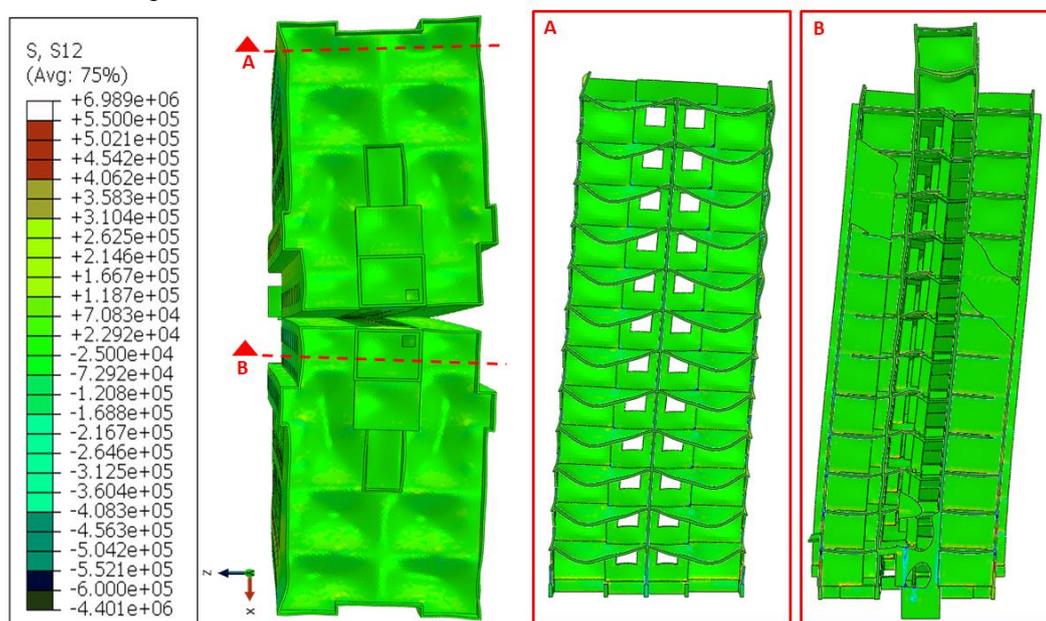
A Figura 41 ilustra a distribuição das tensões máximas principais no Modelo 16.1, onde é possível notar que, existem tensões de tração que variam de 0,18 MPa a 2,00 MPa, estas últimas atuando nos encontros das paredes com as lajes. No que diz respeito as tensões de compressão, verifica-se uma tensão máxima de 0,30 MPa que atua na região de encontro entre as paredes do pavimento térreo e as fundações. Outros valores de tensão de tração aproximadamente iguais a 1,13 MPa podem ser verificados próximos a aberturas das janelas e nas lajes da cobertura. Na Cx. D'Água, o concreto está sendo tracionado por tensões com valores que variam de 0,08 MPa até 1,04 MPa.



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 42 mostra as tensões inclinadas S12 com destaque para dois cortes transversais à geometria do modelo, onde observa-se que as maiores tensões registradas são de 0,26 MPa para tração e 0,17 MPa para compressão. No Corte A observa-se a distribuição de tensões inclinadas S12 nas paredes localizadas na fachada lateral da estrutura, já no Corte B verifica-se as tensões nas paredes próximas a junta de dilatação e sob a caixa d'água.

Figura 42 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 16.1 – corte transversal

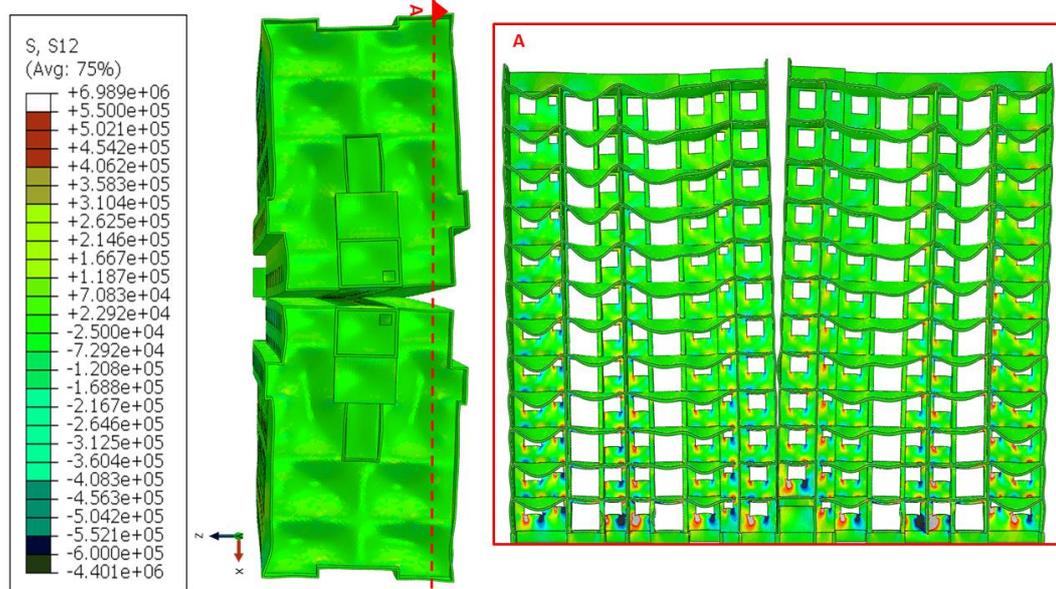


Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 43 a seguir, mostra as tensões inclinadas S12 com destaque para um corte longitudinal à geometria do modelo, onde observa-se que as tensões de maiores valores são de 6,98 MPa para tração e 4,40 MPa para compressão nos vértices das janelas dos pavimentos inferiores.

No Corte A da Figura 43 observa-se a distribuição de tensões inclinadas S12 nas paredes localizadas na fachada posterior da estrutura, onde é possível notar que nos vértices das janelas as tensões são inversamente proporcionais à altura da edificação, ou seja, quanto mais alto for o pavimento, menor será a tensão nos vértices das janelas. Porém, nos pontos de encontro de lajes e paredes esta regra não se aplica e em todos os pavimentos é possível notar pontos de tensões de tração com valores próximos a 0,60 MPa.

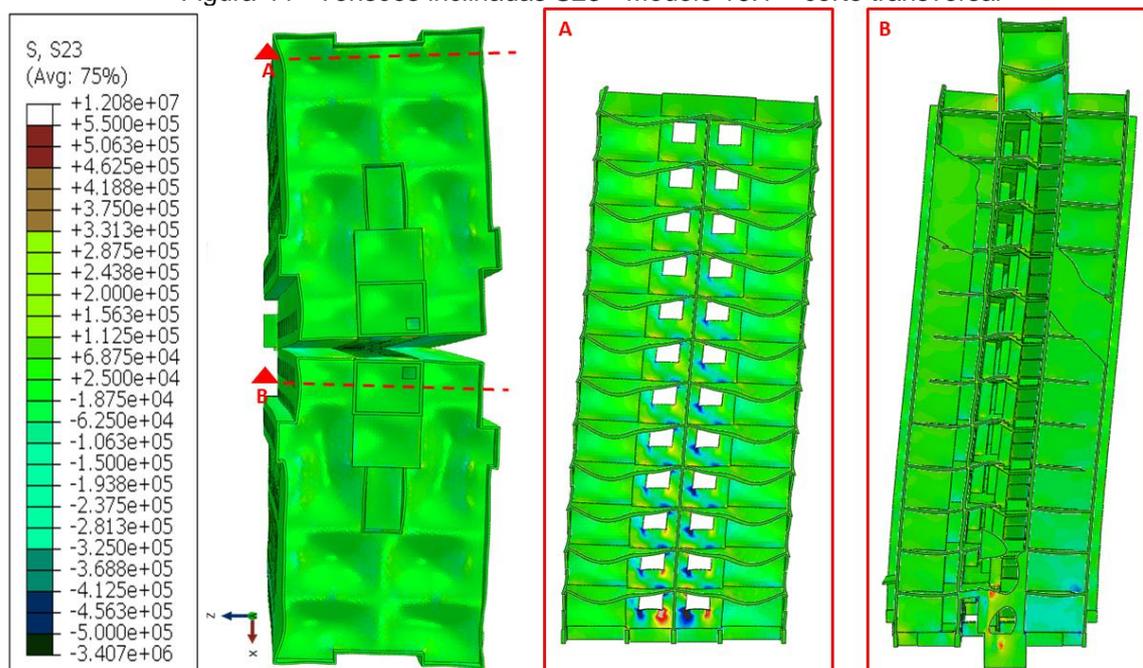
Figura 43 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 16.1 – corte longitudinal



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 44 mostra as tensões inclinadas S23 com destaque para dois cortes transversais à geometria do modelo, onde observa-se que as maiores tensões registradas são de 12,08 MPa para tração e 3,44 MPa para compressão nos vértices das janelas dos pavimentos inferiores.

Figura 44 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 16.1 – corte transversal



Fonte: Elaborado pelo autor

No Corte A da Figura 44 observa-se a distribuição de tensões inclinadas S23 nas paredes localizadas na fachada lateral da estrutura, já no Corte B as tensões nas paredes próximas a junta de dilatação e sob a caixa d'água.

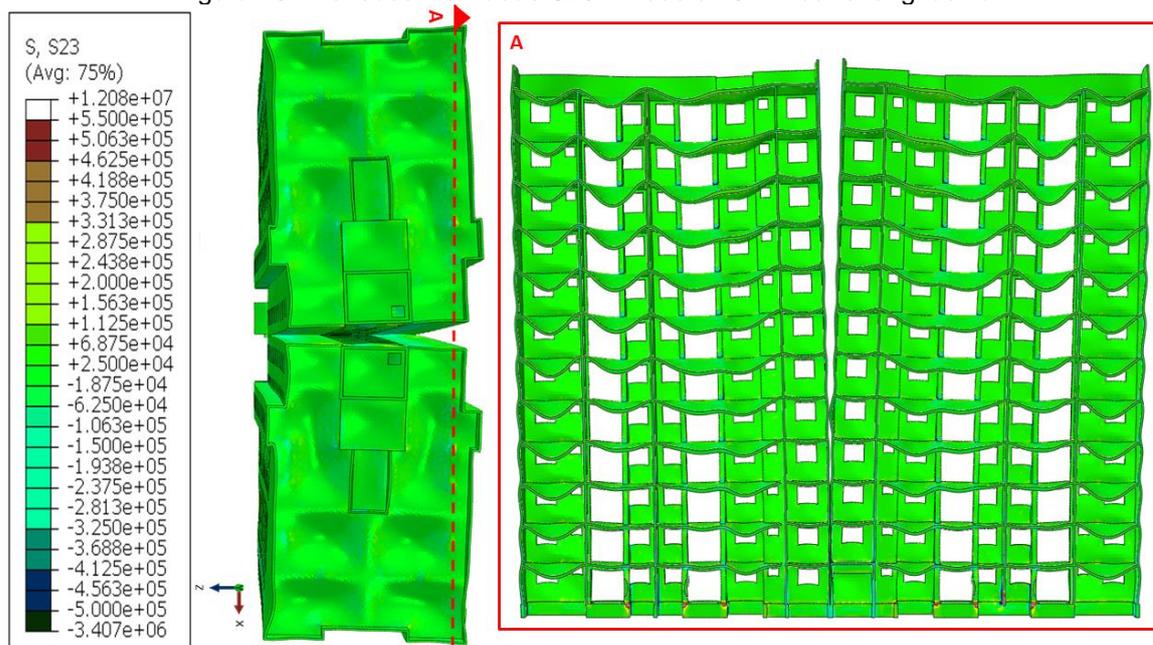
Nos demais pontos as tensões de tração variam de 0,02 MPa até 0,55 MPa, o que não configura risco de fissuras, conforme visto anteriormente. Para as tensões de compressão nos demais pontos da estrutura variam de 0,23 MPa até 0,45 MPa.

A Figura 45 mostra as tensões inclinadas S23 com destaque para um corte longitudinal à geometria do modelo, onde observa-se que as maiores tensões registradas são de 5,50 MPa para tração e 3,40 MPa para compressão. Observa-se que não existem grandes variações nas tensões o que indica baixa sollicitação no plano YZ.

No Corte A da Figura 45 observa-se a distribuição de tensões inclinadas S23 nas paredes localizadas na fachada posterior da estrutura, onde é possível notar que as tensões estão próximas a 0,11 MPa e se distribuem por quase toda a superfície analisada, com exceção dos pontos de encontro de lajes e paredes onde é possível notar pontos de tensões de compressão com valores próximos a 0,41 MPa.

Ainda nos pavimentos inferiores, observa-se nos pontos de encontros entre paredes e lajes que as tensões de tração atingem seu valor máximo, 12,08 MPa, e alguns pontos em que a compressão tem valores de 0,32 MPa.

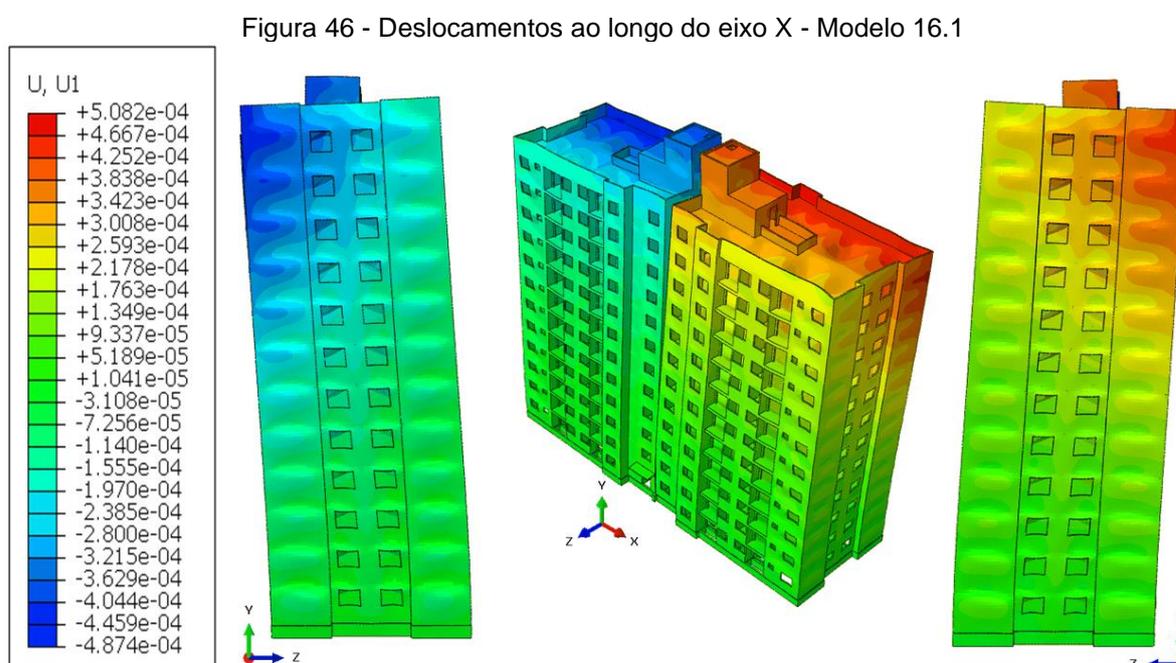
Figura 45 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 16.1 – corte longitudinal



Fonte: Elaborado pelo autor

As tensões de tração citadas acima, estas superam a capacidade resistiva dos concretos do pavimento térreo que, de acordo com o ANEXO IV - DETERMINAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DOS MODELOS possuem  $f_{cm_{28}}$  de 36,50 MPa para o Páv. Térreo A e de 33,90 o Páv. Térreo B, logo a capacidade de resistir a tração destes dois materiais de 3,65 MPa até 5,47 MPa e 3,39 MPa até 5,08 MPa respectivamente.

A Figura 46 abaixo mostra os deslocamentos ao longo do eixo X (U1) sofridos pelo Modelo 16.1. Nesta imagem é possível verificar que os deslocamentos máximos ocorridos no sentido positivo do eixo X equivalem a aproximadamente 0,50 mm e, no sentido negativo, 0,48 mm.



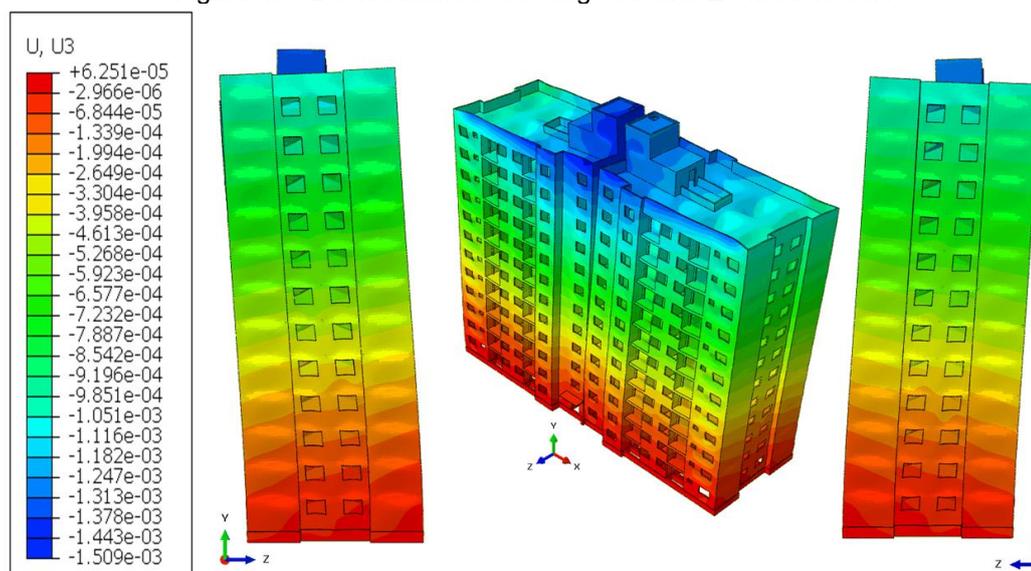
Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se também que estes deslocamentos ocorreram na parte superior da edificação, próximos ao 16º pavimento e na região da caixa d'água. Por outro lado, nas regiões próximas as fundações e pavimento térreo, os deslocamentos estão na ordem 0,01 mm.

Estas informações levam ao entendimento de que os deslocamentos horizontais em U1 sofridos pela estrutura são muito pequenos e, portanto, incapazes de provocar danos.

Na Figura 47 abaixo observa-se os deslocamentos ao longo do eixo Z (U3) sofridos pelo Modelo 16.1. Nesta imagem é possível verificar que os deslocamentos máximos ocorridos no sentido positivo do eixo Z equivalem a aproximadamente 0,06 mm e, no sentido negativo, 1,50 mm.

Figura 47 - Deslocamentos ao longo do eixo Z - Modelo 16.1



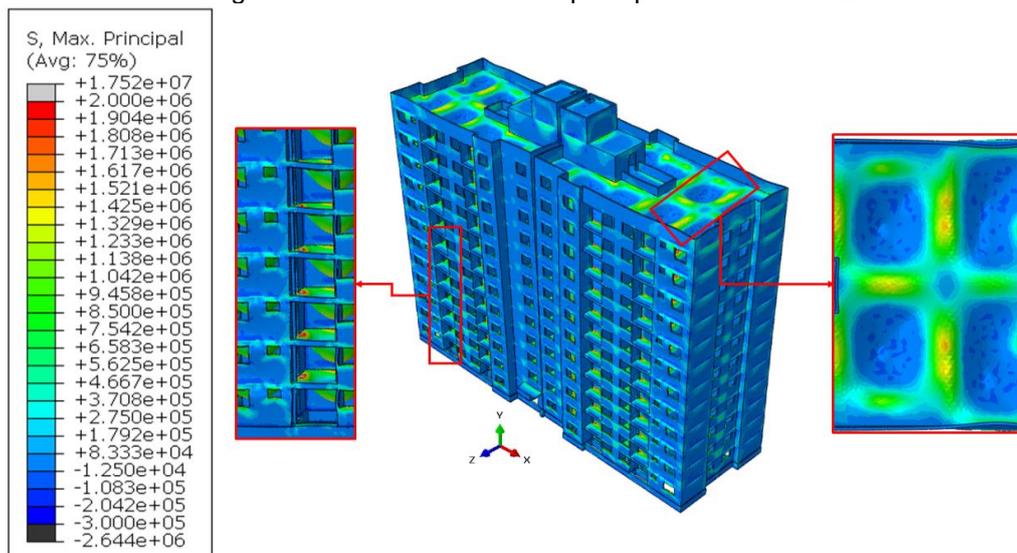
Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se também que os deslocamentos no sentido positivos são praticamente nulos, o que se justifica pela proximidade com as fundações, já no caso dos deslocamentos no sentido negativo de U3 se localizam na parte superior da edificação, na região da caixa d'água e 16º pavimento. Estas informações levam ao entendimento de que os deslocamentos horizontais em U3 sofridos pela estrutura são muito pequenos e, portanto, incapazes de provocar danos.

#### 5.4.2 Modelo 16 com vento a noventa graus

A Figura 48 ilustra a distribuição das tensões máximas principais no Modelo 16.2, onde é possível notar que, existem tensões de tração que variam de 0,17 MPa a 2,00 MPa, estas últimas atuando nos encontros das paredes com as lajes. No que diz respeito as tensões de compressão, verifica-se uma tensão máxima de 0,20 MPa que atua na região de encontro entre as paredes do pavimento térreo e as fundações.

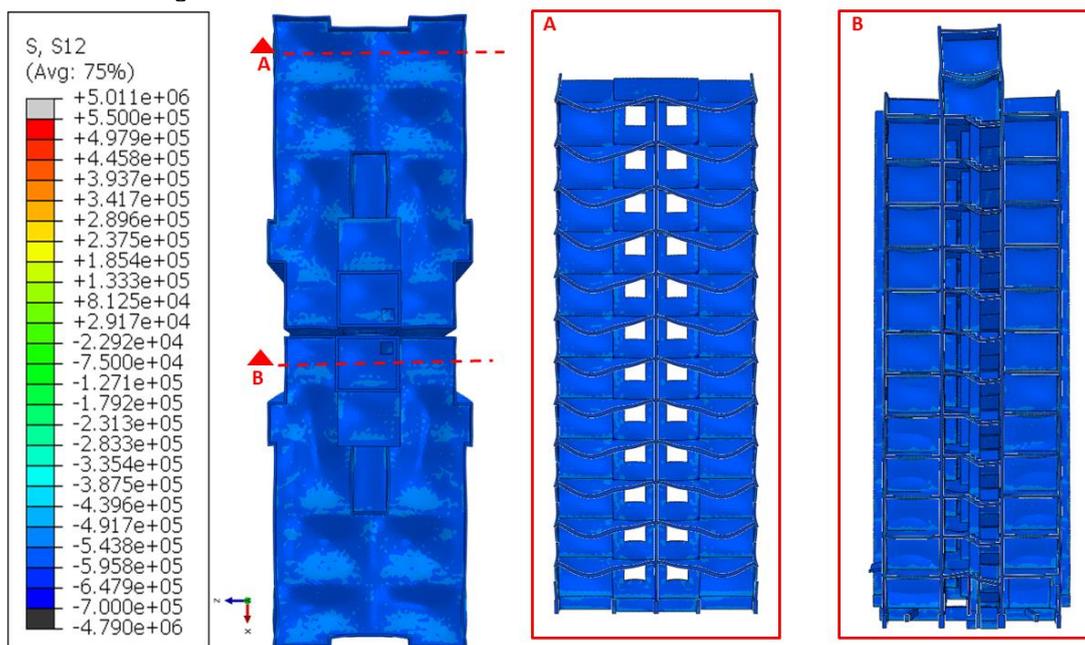
Figura 48 - Tensões máximas principais - Modelo 16.2



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 49 mostra as tensões inclinadas S12 com destaque para dois cortes transversais à geometria do modelo, onde observa-se que as maiores tensões registradas são de 0,03 MPa para tração e 0,70 MPa para compressão. No Corte A observa-se a distribuição de tensões inclinadas S12 nas paredes localizadas na fachada lateral da estrutura, já no Corte B verifica-se as tensões nas paredes próximas a junta de dilatação e sob a caixa d'água.

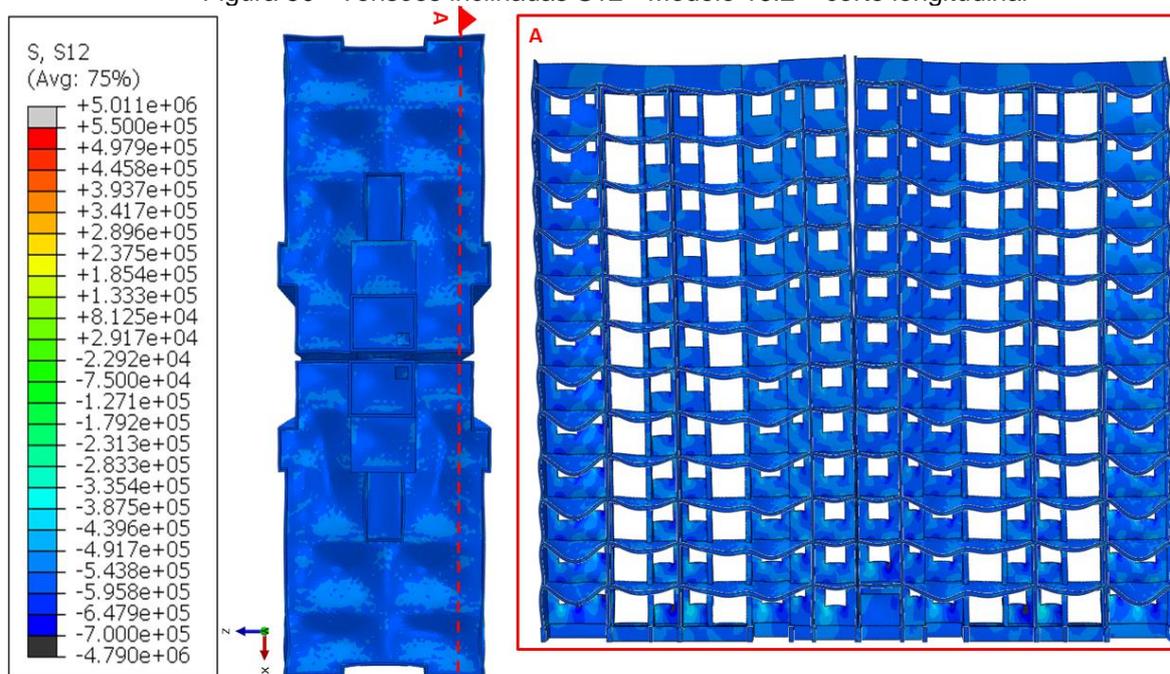
Figura 49 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 16.2 – corte transversal



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 50 mostra as tensões inclinadas S12 com destaque para um corte longitudinal à geometria do modelo, onde observa-se que as tensões de maiores valores são de 0,30 MPa para tração e 4,79 MPa para compressão nos vértices das janelas dos pavimentos inferiores.

Figura 50 - Tensões inclinadas S12 - Modelo 16.2 – corte longitudinal



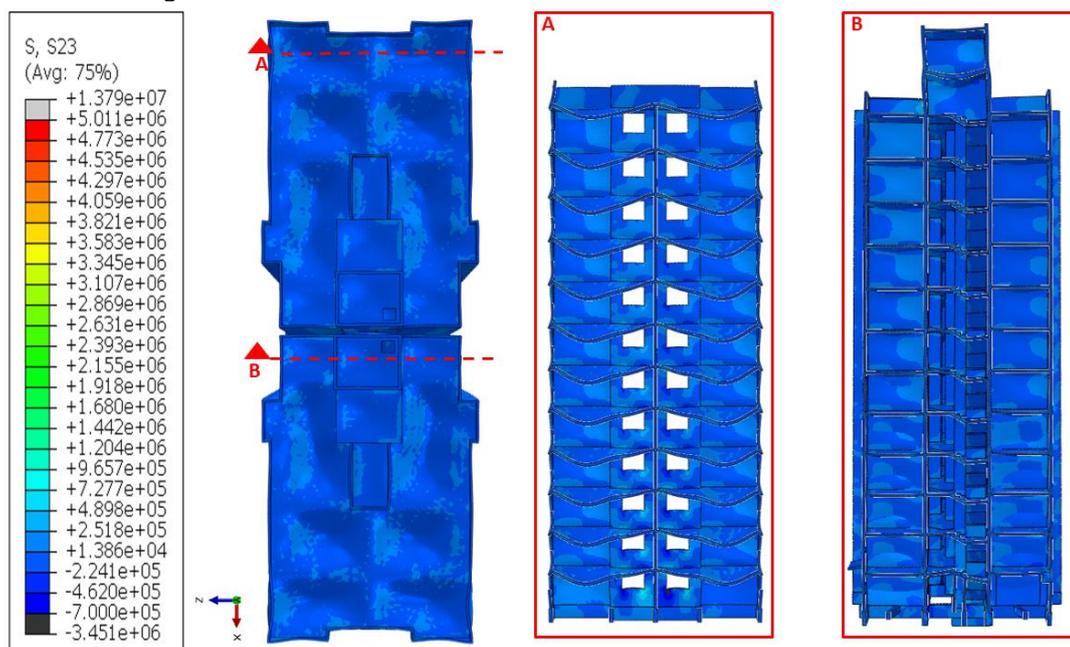
Fonte: Elaborado pelo autor

No Corte A da Figura 50 observa-se a distribuição de tensões inclinadas S12 nas paredes localizadas na fachada posterior da estrutura, onde é possível notar que as tensões de tração e compressão que se encontram nos vértices das janelas reduzem à medida que a altura aumenta.

A Figura 51 mostra as tensões inclinadas S23 com destaque para dois cortes transversais à geometria do modelo, onde observa-se que as maiores tensões registradas são de 2,89 MPa para tração e 3,45 MPa para compressão nos vértices das aberturas das janelas dos pavimentos inferiores.

No Corte A da Figura 51 observa-se a distribuição de tensões inclinadas S23 nas paredes localizadas na fachada lateral da estrutura, já no Corte B as tensões nas paredes próximas a junta de dilatação e sob a caixa d'água.

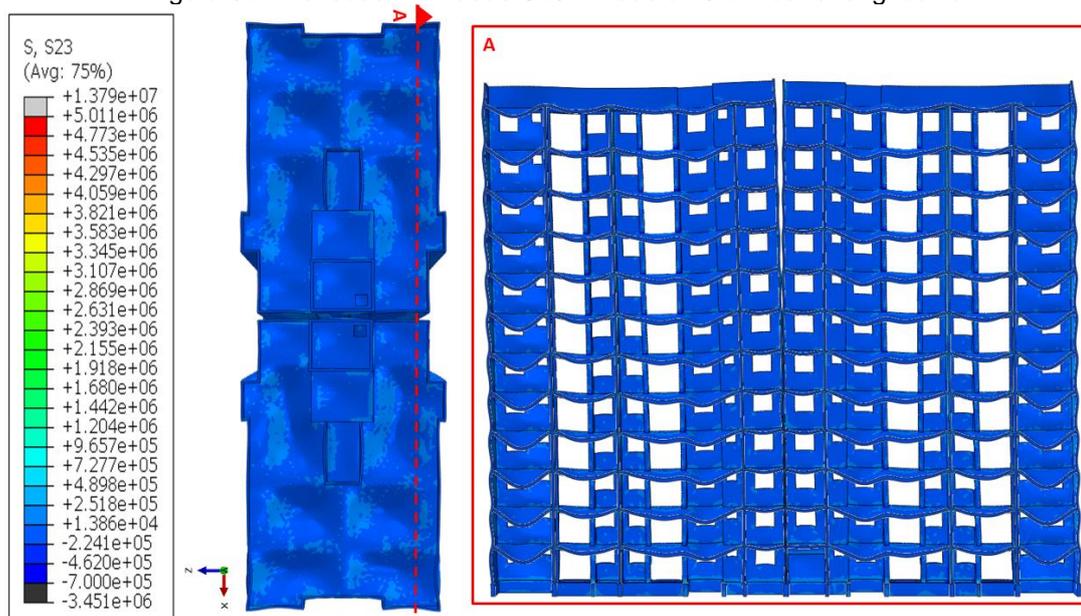
Figura 51 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 16.2 – corte transversal



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 52 mostra as tensões inclinadas S23 com destaque para um corte longitudinal à geometria do modelo, onde observa-se que as maiores tensões registradas são de 0,48 MPa para tração e 0,70 MPa para compressão. No Corte A observa-se a distribuição de tensões inclinadas S23 nas paredes localizadas na fachada posterior da estrutura.

Figura 52 - Tensões inclinadas S23 - Modelo 16.2 – corte longitudinal



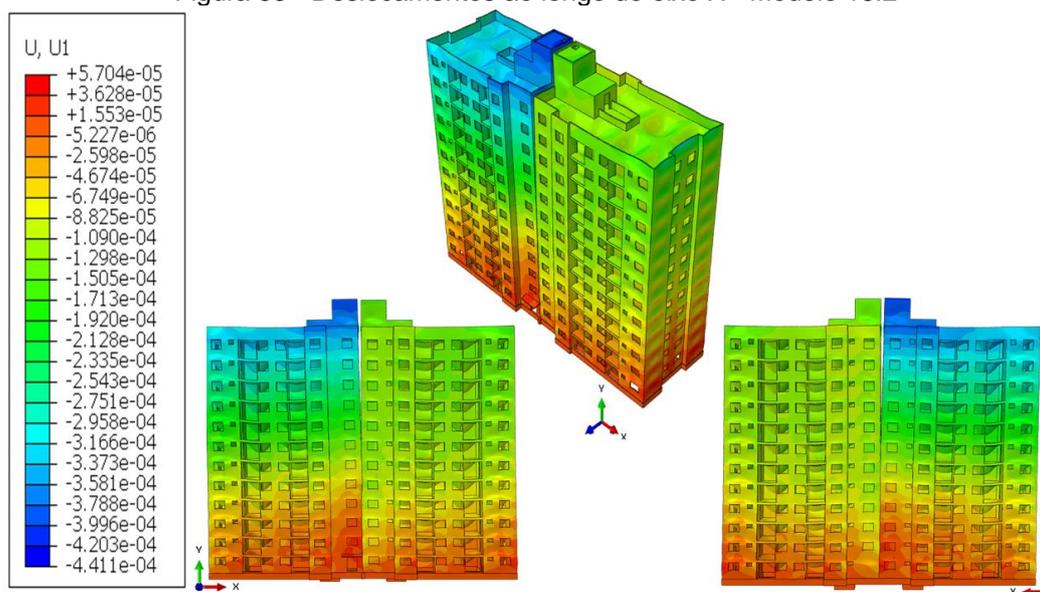
Fonte: Elaborado pelo autor

Ainda nos pavimentos inferiores, observa-se nos pontos de encontros entre paredes e lajes que as tensões de tração atingem seu valor máximo 0,72 MPa e alguns pontos em que a compressão tem valores de 0,70 MPa.

A Figura 53 abaixo mostra os deslocamentos ao longo do eixo X (U1) sofridos pelo Modelo 16.2. Nesta imagem é possível verificar que os deslocamentos máximos ocorridos no sentido positivo do eixo X equivalem a aproximadamente 0,57 mm e, no sentido negativo, 0,44 mm.

Nota-se também que estes deslocamentos ocorreram na parte superior da edificação, próximos ao 16º pavimento e na região da caixa d'água. Por outro lado, nas regiões próximas as fundações e pavimento térreo, os deslocamentos estão na ordem 0,01 mm.

Figura 53 - Deslocamentos ao longo do eixo X - Modelo 16.2

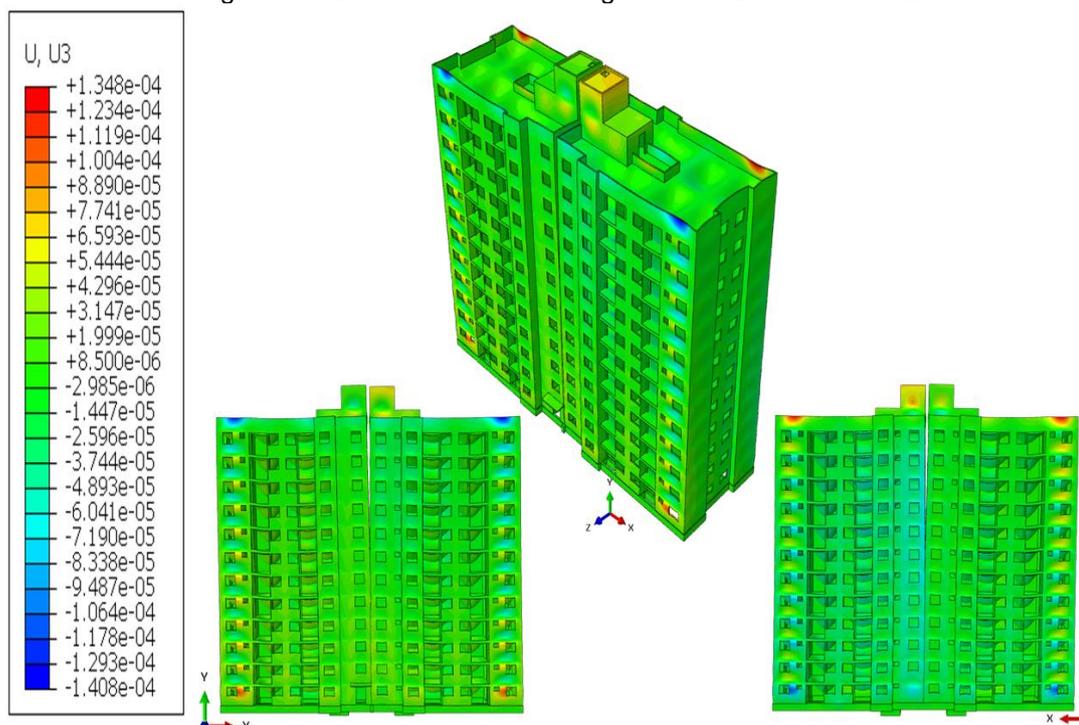


Fonte: Elaborado pelo autor

Estas informações levam ao entendimento de que os deslocamentos horizontais em U1 sofridos pela estrutura são muito pequenos e, portanto, incapazes de provocar danos.

Na Figura 54 abaixo observa-se os deslocamentos ao longo do eixo Z (U3) sofridos pelo Modelo 16.2. Nesta imagem é possível verificar que os deslocamentos máximos ocorridos no sentido positivo do eixo Z equivalem a aproximadamente 0,13 mm e, no sentido negativo, 0,14 mm.

Figura 54 - Deslocamentos ao longo do eixo Z - Modelo 16.2



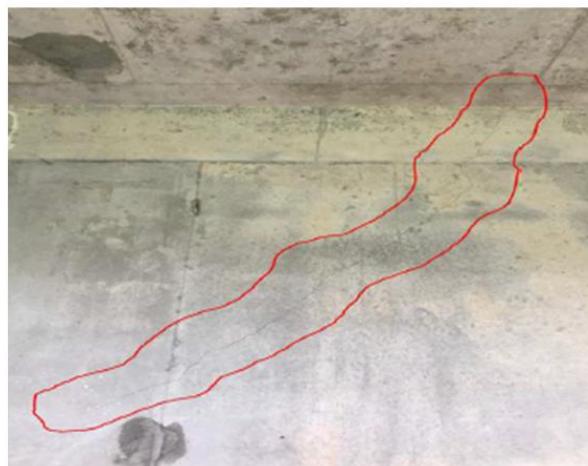
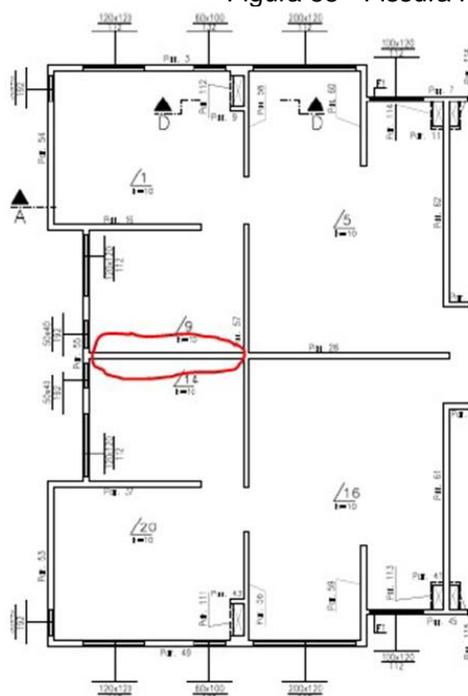
Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se também que os deslocamentos nos sentidos positivos e negativos equivalem a aproximadamente um decimo de milímetro e estão localizados nas platibandas da edificação. Nas regiões próximas as fundações e ao pavimento térreo os deslocamentos estão na ordem de  $8,5e-3$  mm. Entende-se, portanto, que os deslocamentos horizontais em U3 sofridos pela estrutura são muito pequenos e, portanto, incapazes de provocar danos.

## 6 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE RESULTADOS E PATOLOGIAS RECORRENTES

Com base nos resultados dos modelos 3D desenvolvidos com o intuito de entender melhor o comportamento estrutural do Edifício Arbo Condomínio Parque, é possível entender o motivo do aparecimento de algumas patologias descritas no ANEXO VIII - RESUMO DO RELATÓRIO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS RECORRENTES. A Figura 55 mostra uma das principais patologias encontradas nas edificações construídas pela empresa que cedeu os projetos utilizados neste estudo. É válido ressaltar que esta patologia ocorre em várias obras desta empresa e, segundo informações do Corpo Técnico, surge em vários pavimentos e tem a mesma tipologia, atinge a laje e a parede de concreto que a sustenta.

Figura 55 - Fissura recorrente nos encontros de lajes e paredes



Fonte: Elaborado pelo autor

A resistência a tração do concreto ( $f_{ct}$ ) pode variar de 10% até 15% da sua tração de compressão e que pelo padrão de produtividade adotado, a estrutura é submetida a carga de ocupação com 14 horas após a concretagem de cada pavimento, portanto, quando um novo andar é concretado, o concreto do pavimento anterior possui resistência bem inferior à resistência característica aos 28 dias, seja por tração ou compressão.

Assim, foi realizado um estudo comparativo entre as patologias ilustradas e distribuição de tensões, considerando a resistência característica do concreto com a idade de 0,58 dias. A Tabela 5 mostra resistência a tração do concreto do com idade de 0,58 dia, indicando a resistência mínima e resistência máxima que equivalem a 10% e a 15 % da resistência a compressão do concreto.

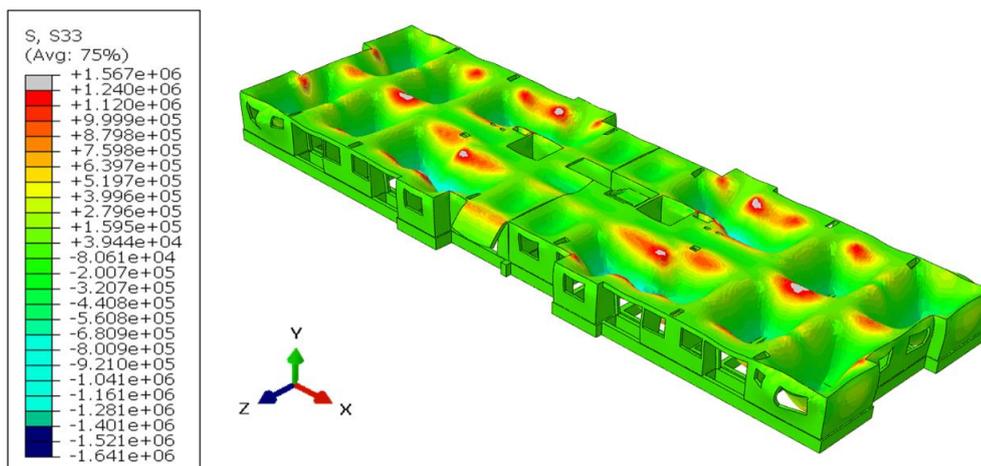
Tabela 5 - Resistência a tração do concreto do com idade de 0,58 dia

Indicação do material	Idade (dias)	fcm(t) (Mpa)	fct(t) (Mpa)		
			10% de fcm(t) (MPa)	15% de fcm(t) (MPa)	
Pav. Térreo	A	0,58	8,25	0,83	1,24
	B	0,58	7,66	0,77	1,15
2º Pav.	A	0,58	7,08	0,71	1,06
	B	0,58	8,50	0,85	1,28
3º Pav.	A	0,58	7,44	0,74	1,12
	B	0,58	6,83	0,68	1,02
4º Pav.	A	0,58	7,17	0,72	1,08
	B	0,58	7,17	0,72	1,08
5º Pav.	A	0,58	7,26	0,73	1,09
	B	0,58	7,30	0,73	1,10
6º Pav.	A	0,58	7,05	0,71	1,06
	B	0,58	7,44	0,74	1,12
7º Pav.	A	0,58	6,94	0,69	1,04
	B	0,58	7,53	0,75	1,13
8º Pav.	A	0,58	7,08	0,71	1,06
	B	0,58	6,71	0,67	1,01
9º Pav.	A	0,58	6,94	0,69	1,04
	B	0,58	7,60	0,76	1,14
10º Pav.	A	0,58	6,44	0,64	0,97
	B	0,58	6,87	0,69	1,03
11º Pav.	A	0,58	7,23	0,72	1,09
	B	0,58	7,42	0,74	1,11
12º Pav.	A	0,58	7,73	0,77	1,16
	B	0,58	6,99	0,70	1,05

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 56 abaixo mostra a distribuição de tensões ao longo do eixo Z (S33) que ocorreram no Modelo 1. Neste caso, é possível observar que a máxima tensão de tração registrada chega a 1,5 MPa e, sabendo que a capacidade máxima de resistência a tração dos materiais do primeiro pavimento são de no máximo 1,24 MPa, a legenda de tensões do Abaqus foi configurada para mostrar todas as tensões com valor superior a 1,24 MPa na cor branca.

Figura 56 - Distribuição das tensões S33 - Modelo 1

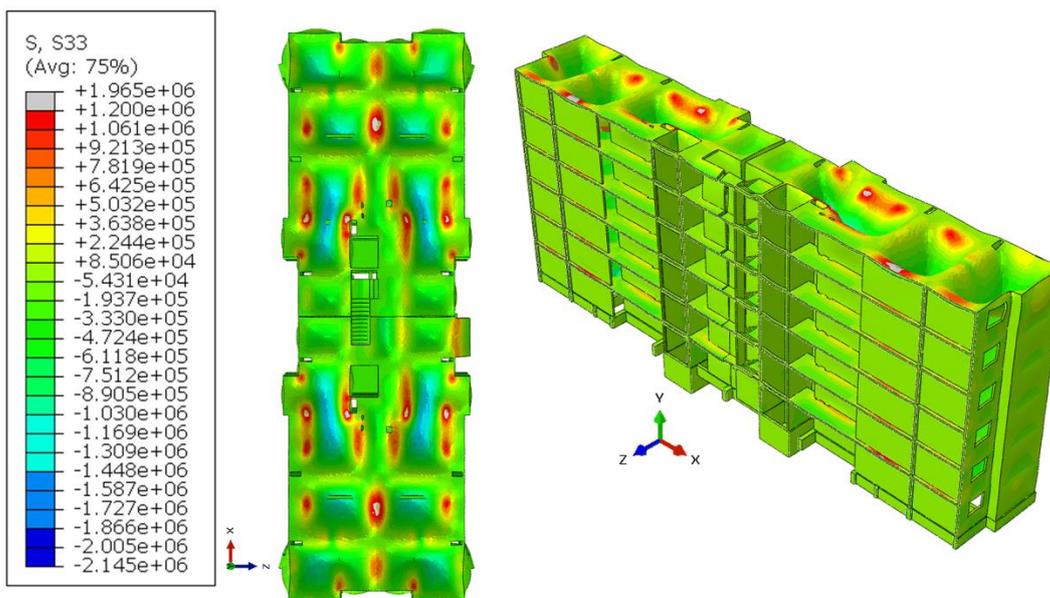


Fonte: Elaborado pelo autor

Assim, observa-se que existem regiões de contato entre laje e parede que possuem tensão superior a capacidade máxima de resistência do concreto do pavimento térreo.

Da mesma forma, na Figura 57 que traz a distribuição das tensões S33 do Modelo 6, a legenda de cores do abaqus foi manipulada para que as tensões de tração com valor maior que 1,2 MPa apareçam na cor branca.

Figura 57 - Distribuição das tensões S33 - Modelo 6



Fonte: Elaborado pelo autor

Novamente ocorre o aparecimento de pontos de contato das lajes com as paredes na cor branca, ou seja, com uma concentração de tensões maior que 1,2 MPa. Então, sabendo que os materiais usados na execução do sexto pavimento têm, com idade de 0,58 dia, a capacidade de resistir a no máximo 1,12 MPa, é correto afirmar que esta capacidade foi ultrapassada.

## 7 CONCLUSÃO

Este trabalho constitui em realizar a modelagem através do Método dos Elementos Finitos do edifício Residencial Arbo Condomínio Parque, para tal foram desenvolvidos 16 modelos que simularam as resistências dos concretos utilizados de acordo com suas idades e carregamentos aos quais foram submetidos.

Como foco principal do estudo, buscou-se criar um modelo de análise que proporcionasse um melhor entendimento da edificação em estudo e, conseqüentemente, facilitar o esclarecimento dos motivos que levam ao surgimento de patologias recorrentes. As patologias aqui estudadas foram fissuras que aparecem em diversas obras da empresa que disponibilizou os projetos usados neste estudo.

Observou-se que houve pontos em que as tensões de tração e compressão superavam as capacidades resistivas dos materiais, o que pode causar fissurações. Estes pontos foram identificados principalmente nos vértices das aberturas para janelas e nos encontros de paredes e lajes.

Na análise dos deslocamentos horizontais ao longo dos eixos X e Z não foram observados valores que pusessem a edificação em risco, ou que fossem suficientes para causar fissuras.

Através das simulações realizadas, identificou-se, que as tensões ao longo do eixo Z (S33), também superavam as capacidades resistivas do concreto nos encontros entre lajes e paredes quando as idades dos concretos utilizados eram inferiores a um dia. Assim, quando com idade de 0,58 dias, ou 14 horas após sua aplicação, o concreto receber a sobrecarga de ocupação de edifícios residenciais equivalente a 2,0 kN/m<sup>2</sup>, considerando que a resistência a tração do material analisado é equivalente a no máximo 15% do  $f_{cm_{0,58}}$ , as tensões de tração no ao longo do eixo Z iram superar a capacidade do concreto, havendo fissuração das áreas onde isso ocorrer.

Neste trabalho não houve a possibilidade de realizar análise não-linear dos modelos criados devido ao grande número de elementos e variáveis geradas, assim, propõe-se como sugestão para trabalhos futuros, que a áreas onde ocorreram fissurações sejam modeladas isoladamente e, assim, com uma quantidade reduzida de elementos, realizada análise não linear, possibilitando um melhor entendimento do comportamento das zonas fissuradas.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR 6120: **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. NBR 6122: **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. NBR 6123: **Projeto e execução de fundações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. NBR 12055: **Parede de Concreto Moldada no Local Para a Construção de Edificações - Requisitos e Procedimentos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): Rio de Janeiro, 2015.

4I ENGENHARIA. Análise linear e não linear com software de engenharia, 2017. Disponível em: <<https://www.4ieng.com.br/single-post/analise-linear-e-nao-linear-com-software-de-engenharia>>. Acesso em: 20 dezembro 2020.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary (ACI 318RM-14)**. American Concrete Institute. [S.l.], p. 524. 2014. (ISBN: 978-1-942727-11-8).

ARAÚJO, J. M. D. **Curso de Concreto Armado**. 4ª. ed. Cidade Nova -RS: DUNAS, v. I, 2014.

BRAGUIM, T. C. **Utilização de Modelos de Cálculo Para Projeto de Edifícios de Paredes de Concreto Armado Moldadas no Local**. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 227. 2013.

BRESCANSIN, J. **Comportamento à Fratura de Compósitos de Matriz**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia.. Rio de Janeiro, p. 72. 2003. (0116465/CA).

CEB-FIP. **fib Bulletin 65: Model Code 2010**. International Federation for Structural Concrete. [S.l.], p. 357. 2012. (ISBN: 978-2-88394-105-2/ ISSN: 1562-3610).

COOK, R. D.; MALKUS, D. S.; PLESHA, M. E. **Concepts and applications of finite element analysis**. 4ª. ed. New York: John Wiley & Sons, 2002.

CORSINI, R. Paredes Normalizadas. **Revista Técnica**, v. 183, 2012.

DELGADO, J. L. **Avaliação sísmica de um edifício crítico em alvenaria**. Instituto Superior Técnico de Lisboa. Lisboa, p. 144. 2013.

DIRECIONAL ENGENHARIA. Direcional Engenharia. **Direcional Engenharia**, 2020. Disponível em: <<https://direcional.com.br/sao-paulo/empreendimentos/arbo-condominio-parque/>>. Acesso em: 10 Agosto 2020.

DORNELLES, K. A.; OLIVEIRA, L. S. D. **Sistema Construtivo de Parede de Concreto Moldadas no Local**. 1ª. ed. São Carlos: Univercidade de São Paulo - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, v. 1, 2012.

FILHO, A. A. **Elementos Finitos: A Base da Teoria CAE: Análise Não Linear**. 1º. ed. São Paulo: Érica, 2012.

FILHO, A. A. **Elementos Finitos: Abase da Tecnologia CAE**. 6ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

HOFFMANN, R. **Análise Estatística de Relações Lineares e Não Lineares**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 246. 2016. (ISBN: 978-85-921057-1-6).

LIMA, É. M. F. **Análise Nuérica de vigas mistas protendidas com interação parcial**. Univecidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 96. 2018.

LORDSLEEM JR, A. C.; LIRA, V. Q. Manifestações Patológicas Em Paredes de Concreto Moldadas in Loco: Estudo de Caso. **XV Congresso Latinoamericano de Patología de Construcción y XVII Congreso de Control de Calidad en la Construcción**, Tuxtla Gutiérrez, 9 Outubro 2019. 12.

MIOTTO, A. **Avaliação Das Patologias No Sistema Construtivo Em Paredes De Concreto Moldadas No Local Para Edifícios Residenciais**. Univercidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 72. 2014.

NACIMBA, D. G. G. **COMPARACIÓN ECONÓMICA ENTRE METODOLOGÍAS DE VIVIENDA UNIFAMILIAR DE TIPO TRADICIONAL DE HORMIGÓN ARMADO (columnas, vigas y losas alivianadas) Vs. PAREDES PORTANTES DE HORMIGÓN (paredes de hormigón armado y losas macizas), EN EL ESTUDIO DE LA URBANIZACIÓN**. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. QUITO, p. 228. 2009.

NUNES, V. Q. G. **Análise estrutural de edifícios de paredes de concreto armado**. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 152. 2011.

SACHT, H. M. **Painéis de vedação de concreto moldado in loco: avaliação do desempenho térmico e desenvolvimento de concretos**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, p. 286. 2008.

SANTOS, A. Cimento Itambé. **Cimento Itambé**, 2018. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/cresce-uso-de-paredes-de-concreto-entre-paises-latinos/>>. Acesso em: 20 jul. 2020.

SANTOS, M. G. C. **Análise Estrutural dos Efeitos dos Deslocamentos dos**

**Apoios de Edifícios de Paredes de Concreto Moldadas no Local.**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS. São Carlos, p. 273. 2016.

SOBRINHO, A. D. S. C. **Introdução ao Método dos Elementos Finitos**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006.

SOEIRO, M. A. R. **Avaliação da segurança de torres metálicas para escoramentos de estruturas de concreto armado**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 111. 2012.

TEIXEIRA, V. A. **Análise Estrutural Pelo Método Dos Elementos Finitos Do Sistema Construtivo De Parede De Concreto Autoportante Moldada In Loco**. Universidade Estadual Vale do Acaraú. Sobral, p. 124. 2015.

TRIPATHI, A. Caelynx. **Caelynx**, 2020. Disponível em: <<https://caelynx.com/whats-the-difference-between-c3d10-and-c3d10hs-elements/>>. Acesso em: 22 Dezembro 2020.

VIEIRA, L. B. **Projeto de Paredes de Concreto Armado: Apresentação das Recomendações Normativas**. Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 128. 2014.

## APÊNDICE A - DETERMINAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DOS MODELOS

MODELO 1								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	0,58	0,226	8,25	14337,22	15272,41
	B	33,900	29/05/2020	0,58	0,226	7,66	13716,38	14654,54
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	9,00	0,826	30,40	27543,24	28415,31
MODELO 2								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
2º Páv.	A	31,300	03/06/2020	0,58	0,226	7,08	13083,06	14024,25
	B	37,600	05/06/2020	0,58	0,226	8,50	14596,56	15530,51
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	13,00	0,890	32,47	28441,48	29309,26
	B	33,900	29/05/2020	7,00	0,779	26,40	25458,17	26340,21
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	24,00	0,980	36,07	30000,44	30860,77
MODELO 3								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
3º Páv.	A	32,900	09/06/2020	0,58	0,226	7,44	13474,38	14413,69
	B	30,200	10/06/2020	0,58	0,226	6,83	12810,87	13753,36
2º Páv.	A	31,300	03/06/2020	6,00	0,748	23,42	23801,20	24691,15
	B	37,600	05/06/2020	5,00	0,711	26,72	25879,03	26759,05
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	19,00	0,948	34,60	29357,59	30220,99
	B	33,900	29/05/2020	12,00	0,876	29,71	27006,84	27881,48
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	29,00	1,004	36,80	30302,38	31161,27
MODELO 4								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
4º Páv.	A	31,700	12/06/2020	0,58	0,226	7,17	13181,38	14122,10
	B	31,700	16/06/2020	0,58	0,226	7,17	13181,38	14122,10
3º Páv.	A	32,900	09/06/2020	3,00	0,598	19,68	21919,32	22818,27
	B	30,200	10/06/2020	6,00	0,748	22,60	23306,02	24198,34
2º Páv.	A	31,300	03/06/2020	9,00	0,826	25,86	25010,16	25894,34
	B	37,600	05/06/2020	11,00	0,862	32,40	28496,91	29364,43
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	22,00	0,968	35,35	29674,11	30536,00
	B	33,900	29/05/2020	18,00	0,940	31,87	27969,78	28839,82
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	35,00	1,027	36,80	30302,38	31161,27
MODELO 5								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
5º Páv.	A	32,100	18/06/2020	0,58	0,226	7,26	13279,37	14219,62
	B	32,300	22/06/2020	0,58	0,226	7,30	13328,24	14268,26

4° Páv.	A	31,700	12/06/2020	6,00	0,748	23,72	23980,07	24869,17
	B	31,700	16/06/2020	6,00	0,748	23,72	23980,07	24869,17
3° Páv.	A	32,900	09/06/2020	9,00	0,826	27,18	25758,22	26638,82
	B	30,200	10/06/2020	12,00	0,876	26,47	25223,94	26107,10
2° Páv.	A	31,300	03/06/2020	15,00	0,913	28,56	26284,35	27162,44
	B	37,600	05/06/2020	17,00	0,932	35,03	29630,39	30492,49
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	28,00	1,000	36,50	30153,24	31012,84
	B	33,900	29/05/2020	24,00	0,980	33,23	28560,07	29427,28
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	41,00	1,044	36,80	30302,38	31161,27
MODELO 6								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
6° Páv.	A	31,200	24/06/2020	0,58	0,226	7,05	13058,43	13999,73
	B	32,900	26/06/2020	0,58	0,226	7,44	13474,38	14413,69
5° Páv.	A	32,100	18/06/2020	6,00	0,748	24,02	24158,34	25046,59
	B	32,300	22/06/2020	4,00	0,663	21,41	22819,63	23714,28
4° Páv.	A	31,700	12/06/2020	12,00	0,876	27,78	25953,46	26833,14
	B	31,700	16/06/2020	10,00	0,845	26,79	25484,81	26366,72
3° Páv.	A	32,900	09/06/2020	15,00	0,913	30,02	27070,52	27944,85
	B	30,200	10/06/2020	16,00	0,922	27,86	25877,46	26757,49
2° Páv.	A	31,300	03/06/2020	21,00	0,962	30,11	26988,64	27863,36
	B	37,600	05/06/2020	21,00	0,962	36,17	30110,79	30970,59
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	34,00	1,023	36,50	30153,24	31012,84
	B	33,900	29/05/2020	28,00	1,000	33,90	28847,52	29713,36
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	45,00	1,054	36,80	30302,38	31161,27
MODELO 7								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
7° Páv.	A	30,700	30/06/2020	0,58	0,226	6,94	12934,93	13876,82
	B	33,300	02/07/2020	0,58	0,226	7,53	13571,40	14510,26
6° Páv.	A	31,200	24/06/2020	6,00	0,748	23,35	23756,38	24646,55
	B	32,900	26/06/2020	6,00	0,748	24,62	24513,09	25399,65
5° Páv.	A	32,100	18/06/2020	12,00	0,876	28,13	26146,40	27025,15
	B	32,300	22/06/2020	10,00	0,845	27,30	25768,75	26649,30
4° Páv.	A	31,700	12/06/2020	18,00	0,940	29,80	26878,85	27754,10
	B	31,700	16/06/2020	16,00	0,922	29,24	26625,88	27502,34
3° Páv.	A	32,900	09/06/2020	21,00	0,962	31,65	27795,87	28666,74
	B	30,200	10/06/2020	22,00	0,968	29,25	26514,99	27391,97
2° Páv.	A	31,300	03/06/2020	27,00	0,995	31,16	27452,52	28325,03
	B	37,600	05/06/2020	27,00	0,995	37,43	30628,34	31485,66
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	40,00	1,042	36,50	30153,24	31012,84
	B	33,900	29/05/2020	34,00	1,023	33,90	28847,52	29713,36
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	51,00	1,067	36,80	30302,38	31161,27
MODELO 8								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
8° Páv.	A	31,300	04/07/2020	0,58	0,226	7,08	13083,06	14024,25

	B	29,700	07/07/2020	0,58	0,226	6,71	12686,24	13629,32
7º Páv.	A	30,700	30/06/2020	4,00	0,663	20,35	22146,22	23044,09
	B	33,300	02/07/2020	5,00	0,711	23,66	24061,48	24950,19
6º Páv.	A	31,200	24/06/2020	10,00	0,845	26,37	25247,08	26130,13
	B	32,900	26/06/2020	11,00	0,862	28,35	26306,07	27184,06
5º Páv.	A	32,100	18/06/2020	16,00	0,922	29,61	26823,81	27699,32
	B	32,300	22/06/2020	15,00	0,913	29,47	26776,94	27652,67
4º Páv.	A	31,700	12/06/2020	22,00	0,968	30,70	27281,85	28155,17
	B	31,700	16/06/2020	21,00	0,962	30,50	27191,47	28065,22
3º Páv.	A	32,900	09/06/2020	25,00	0,986	32,42	28132,80	29002,06
	B	30,200	10/06/2020	27,00	0,995	30,06	26881,38	27756,62
2º Páv.	A	31,300	03/06/2020	31,00	1,012	31,30	27515,56	28387,76
	B	37,600	05/06/2020	32,00	1,016	37,60	30698,66	31555,65
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	44,00	1,052	36,50	30153,24	31012,84
	B	33,900	29/05/2020	39,00	1,039	33,90	28847,52	29713,36
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	56,00	1,076	36,80	30302,38	31161,27
MODELO 9								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
9º Páv.	A	30,700	09/07/2020	0,58	0,226	6,94	12934,93	13876,82
	B	33,600	11/07/2020	0,58	0,226	7,60	13643,98	14582,48
8º Páv.	A	31,300	04/07/2020	5,00	0,711	22,24	23195,66	24088,52
	B	29,700	07/07/2020	4,00	0,663	19,68	21720,44	22620,34
7º Páv.	A	30,700	30/06/2020	9,00	0,826	25,36	24726,99	25612,52
	B	33,300	02/07/2020	9,00	0,826	27,51	25943,70	26823,42
6º Páv.	A	31,200	24/06/2020	15,00	0,913	28,47	26234,86	27113,19
	B	32,900	26/06/2020	15,00	0,913	30,02	27070,52	27944,85
5º Páv.	A	32,100	18/06/2020	21,00	0,962	30,88	27393,61	28266,40
	B	32,300	22/06/2020	19,00	0,948	30,62	27291,55	28164,83
4º Páv.	A	31,700	12/06/2020	27,00	0,995	31,55	27658,84	28530,36
	B	31,700	16/06/2020	25,00	0,986	31,24	27521,08	28393,25
3º Páv.	A	32,900	09/06/2020	30,00	1,009	32,90	28338,55	29206,82
	B	30,200	10/06/2020	31,00	1,012	30,20	26943,11	27818,05
2º Páv.	A	31,300	03/06/2020	36,00	1,030	31,30	27515,56	28387,76
	B	37,600	05/06/2020	36,00	1,030	37,60	30698,66	31555,65
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	49,00	1,063	36,50	30153,24	31012,84
	B	33,900	29/05/2020	43,00	1,049	33,90	28847,52	29713,36
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	60,00	1,082	36,80	30302,38	31161,27
MODELO 10								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
10º Páv.	A	28,500	14/07/2020	0,58	0,226	6,44	12384,66	13329,19
	B	30,400	16/07/2020	0,58	0,226	6,87	12860,56	13802,81
9º Páv.	A	30,700	09/07/2020	5,00	0,711	21,82	22933,03	23827,14
	B	33,600	11/07/2020	5,00	0,711	23,88	24190,14	25078,24
8º Páv.	A	31,300	04/07/2020	10,00	0,845	26,45	25294,71	26177,53
	B	29,700	07/07/2020	9,00	0,826	24,54	24251,58	25139,39
7º Páv.	A	30,700	30/06/2020	14,00	0,902	27,68	25831,46	26711,72
	B	33,300	02/07/2020	14,00	0,902	30,02	27102,53	27976,71

6° Páv.	A	31,200	24/06/2020	20,00	0,955	29,80	26841,99	27717,41
	B	32,900	26/06/2020	20,00	0,955	31,43	27696,98	28568,32
5° Páv.	A	32,100	18/06/2020	26,00	0,991	31,80	27796,97	28667,83
	B	32,300	22/06/2020	24,00	0,980	31,66	27751,90	28622,98
4° Páv.	A	31,700	12/06/2020	32,00	1,016	31,70	27722,35	28593,57
	B	31,700	16/06/2020	30,00	1,009	31,70	27722,35	28593,57
3° Páv.	A	32,900	09/06/2020	35,00	1,027	32,90	28338,55	29206,82
	B	30,200	10/06/2020	36,00	1,030	30,20	26943,11	27818,05
2° Páv.	A	31,300	03/06/2020	41,00	1,044	31,30	27515,56	28387,76
	B	37,600	05/06/2020	41,00	1,044	37,60	30698,66	31555,65
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	54,00	1,072	36,50	30153,24	31012,84
	B	33,900	29/05/2020	48,00	1,061	33,90	28847,52	29713,36
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	65,00	1,090	36,80	30302,38	31161,27
<b>MODELO 11</b>								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
11° Páv.	A	32,000	18/07/2020	0,58	0,226	7,23	13254,91	14195,27
	B	32,800	21/07/2020	0,58	0,226	7,42	13450,07	14389,50
10° Páv.	A	28,500	14/07/2020	4,00	0,663	18,89	21204,10	22106,47
	B	30,400	16/07/2020	5,00	0,711	21,60	22801,18	23695,92
9° Páv.	A	30,700	09/07/2020	9,00	0,826	25,36	24726,99	25612,52
	B	33,600	11/07/2020	10,00	0,845	28,40	26379,18	27256,82
8° Páv.	A	31,300	04/07/2020	14,00	0,902	28,22	26127,29	27006,13
	B	29,700	07/07/2020	14,00	0,902	26,78	25334,82	26217,45
7° Páv.	A	30,700	30/06/2020	18,00	0,940	28,86	26376,29	27253,94
	B	33,300	02/07/2020	19,00	0,948	31,57	27789,46	28660,36
6° Páv.	A	31,200	24/06/2020	24,00	0,980	30,58	27190,09	28063,85
	B	32,900	26/06/2020	25,00	0,986	32,42	28132,80	29002,06
5° Páv.	A	32,100	18/06/2020	30,00	1,009	32,10	27928,43	28798,66
	B	32,300	22/06/2020	29,00	1,004	32,30	28031,22	28900,96
4° Páv.	A	31,700	12/06/2020	36,00	1,030	31,70	27722,35	28593,57
	B	31,700	16/06/2020	35,00	1,027	31,70	27722,35	28593,57
3° Páv.	A	32,900	09/06/2020	39,00	1,039	32,90	28338,55	29206,82
	B	30,200	10/06/2020	41,00	1,044	30,20	26943,11	27818,05
2° Páv.	A	31,300	03/06/2020	45,00	1,054	31,30	27515,56	28387,76
	B	37,600	05/06/2020	46,00	1,056	37,60	30698,66	31555,65
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	58,00	1,079	36,50	30153,24	31012,84
	B	33,900	29/05/2020	53,00	1,071	33,90	28847,52	29713,36
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	70,00	1,096	36,80	30302,38	31161,27
<b>MODELO 12</b>								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
12° Páv.	A	34,200	23/07/2020	0,58	0,226	7,73	13788,62	14726,43
	B	30,900	25/07/2020	0,58	0,226	6,99	12984,39	13926,05
11° Páv.	A	32,000	18/07/2020	5,00	0,711	22,74	23500,34	24391,74
	B	32,800	21/07/2020	4,00	0,663	21,74	23028,21	23921,86
10° Páv.	A	28,500	14/07/2020	9,00	0,826	23,55	23675,08	24565,64
	B	30,400	16/07/2020	9,00	0,826	25,12	24584,82	25471,04
9° Páv.	A	30,700	09/07/2020	14,00	0,902	27,68	25831,46	26711,72

	B	33,600	11/07/2020	14,00	0,902	30,30	27247,45	28120,94
8° Páv.	A	31,300	04/07/2020	19,00	0,948	29,67	26789,50	27665,18
	B	29,700	07/07/2020	18,00	0,940	27,92	25869,17	26749,25
7° Páv.	A	30,700	30/06/2020	23,00	0,974	29,92	26854,85	27730,22
	B	33,300	02/07/2020	23,00	0,974	32,45	28176,28	29045,32
6° Páv.	A	31,200	24/06/2020	29,00	1,004	31,20	27463,75	28336,20
	B	32,900	26/06/2020	29,00	1,004	32,90	28338,55	29206,82
5° Páv.	A	32,100	18/06/2020	35,00	1,027	32,10	27928,43	28798,66
	B	32,300	22/06/2020	33,00	1,020	32,30	28031,22	28900,96
4° Páv.	A	31,700	12/06/2020	41,00	1,044	31,70	27722,35	28593,57
	B	31,700	16/06/2020	39,00	1,039	31,70	27722,35	28593,57
3° Páv.	A	32,900	09/06/2020	44,00	1,052	32,90	28338,55	29206,82
	B	30,200	10/06/2020	45,00	1,054	30,20	26943,11	27818,05
2° Páv.	A	31,300	03/06/2020	50,00	1,065	31,30	27515,56	28387,76
	B	37,600	05/06/2020	50,00	1,065	37,60	30698,66	31555,65
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	63,00	1,087	36,50	30153,24	31012,84
	B	33,900	29/05/2020	57,00	1,078	33,90	28847,52	29713,36
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	74,00	1,101	36,80	30302,38	31161,27
<b>MODELO 13</b>								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
Platibanda	-	33,100	29/07/2020	0,58	0,226	7,48	13522,93	14462,01
12° Páv.	A	34,200	23/07/2020	6,00	0,748	25,59	25084,77	25968,59
	B	30,900	25/07/2020	4,00	0,663	20,48	22230,91	23128,38
11° Páv.	A	32,000	18/07/2020	11,00	0,862	27,57	25877,60	26757,64
	B	32,800	21/07/2020	8,00	0,804	26,38	25370,20	26252,66
10° Páv.	A	28,500	14/07/2020	15,00	0,913	26,01	24881,25	25766,05
	B	30,400	16/07/2020	13,00	0,890	27,05	25512,15	26393,93
9° Páv.	A	30,700	09/07/2020	20,00	0,955	29,33	26588,13	27464,77
	B	33,600	11/07/2020	18,00	0,940	31,59	27822,14	28692,88
8° Páv.	A	31,300	04/07/2020	25,00	0,986	30,85	27315,79	28188,95
	B	29,700	07/07/2020	22,00	0,968	28,76	26257,03	27135,25
7° Páv.	A	30,700	30/06/2020	29,00	1,004	30,70	27204,01	28077,71
	B	33,300	02/07/2020	27,00	0,995	33,15	28477,23	29344,84
6° Páv.	A	31,200	24/06/2020	35,00	1,027	31,20	27463,75	28336,20
	B	32,900	26/06/2020	33,00	1,020	32,90	28338,55	29206,82
5° Páv.	A	32,100	18/06/2020	41,00	1,044	32,10	27928,43	28798,66
	B	32,300	22/06/2020	37,00	1,033	32,30	28031,22	28900,96
4° Páv.	A	31,700	12/06/2020	47,00	1,059	31,70	27722,35	28593,57
	B	31,700	16/06/2020	43,00	1,049	31,70	27722,35	28593,57
3° Páv.	A	32,900	09/06/2020	50,00	1,065	32,90	28338,55	29206,82
	B	30,200	10/06/2020	49,00	1,063	30,20	26943,11	27818,05
2° Páv.	A	31,300	03/06/2020	56,00	1,076	31,30	27515,56	28387,76
	B	37,600	05/06/2020	54,00	1,072	37,60	30698,66	31555,65
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	69,00	1,095	36,50	30153,24	31012,84
	B	33,900	29/05/2020	61,00	1,084	33,90	28847,52	29713,36
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	78,00	1,105	36,80	30302,38	31161,27
<b>MODELO 14</b>								

ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
Barrilete	-	32,000	06/08/2020	0,58	0,226	7,23	13254,91	14195,27
Platibanda	-	33,100	29/07/2020	8,00	0,804	26,62	25507,63	26389,43
12° Páv.	A	34,200	23/07/2020	14,00	0,902	30,84	27536,30	28408,41
	B	30,900	25/07/2020	12,00	0,876	27,08	25565,60	26447,12
11° Páv.	A	32,000	18/07/2020	19,00	0,948	30,33	27141,39	28015,38
	B	32,800	21/07/2020	16,00	0,922	30,26	27168,61	28042,48
10° Páv.	A	28,500	14/07/2020	23,00	0,974	27,77	25712,43	26593,25
	B	30,400	16/07/2020	21,00	0,962	29,25	26529,65	27406,57
9° Páv.	A	30,700	09/07/2020	28,00	1,000	30,70	27204,01	28077,71
	B	33,600	11/07/2020	26,00	0,991	33,28	28560,18	29427,39
8° Páv.	A	31,300	04/07/2020	33,00	1,020	31,30	27515,56	28387,76
	B	29,700	07/07/2020	30,00	1,009	29,70	26680,99	27557,18
7° Páv.	A	30,700	30/06/2020	37,00	1,033	30,70	27204,01	28077,71
	B	33,300	02/07/2020	35,00	1,027	33,30	28542,62	29409,91
6° Páv.	A	31,200	24/06/2020	43,00	1,049	31,20	27463,75	28336,20
	B	32,900	26/06/2020	41,00	1,044	32,90	28338,55	29206,82
5° Páv.	A	32,100	18/06/2020	49,00	1,063	32,10	27928,43	28798,66
	B	32,300	22/06/2020	45,00	1,054	32,30	28031,22	28900,96
4° Páv.	A	31,700	12/06/2020	55,00	1,074	31,70	27722,35	28593,57
	B	31,700	16/06/2020	51,00	1,067	31,70	27722,35	28593,57
3° Páv.	A	32,900	09/06/2020	58,00	1,079	32,90	28338,55	29206,82
	B	30,200	10/06/2020	57,00	1,078	30,20	26943,11	27818,05
2° Páv.	A	31,300	03/06/2020	64,00	1,088	31,30	27515,56	28387,76
	B	37,600	05/06/2020	62,00	1,085	37,60	30698,66	31555,65
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	77,00	1,104	36,50	30153,24	31012,84
	B	33,900	29/05/2020	69,00	1,095	33,90	28847,52	29713,36
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	86,00	1,113	36,80	30302,38	31161,27
MODELO 15								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
Cx. D'Água	-	30,700	27/08/2020	0,58	0,226	6,94	12934,93	13876,82
Barrilete	-	32,000	06/08/2020	21,00	0,962	30,79	27343,14	28216,17
Platibanda	-	33,100	29/07/2020	29,00	1,004	33,10	28440,67	29308,45
12° Páv.	A	34,200	23/07/2020	35,00	1,027	34,20	28999,44	29864,55
	B	30,900	25/07/2020	33,00	1,020	30,90	27308,05	28181,24
11° Páv.	A	32,000	18/07/2020	40,00	1,042	32,00	27876,98	28747,45
	B	32,800	21/07/2020	37,00	1,033	32,80	28287,43	29155,95
10° Páv.	A	28,500	14/07/2020	44,00	1,052	28,50	26046,73	26925,96
	B	30,400	16/07/2020	42,00	1,047	30,40	27047,61	27922,05
9° Páv.	A	30,700	09/07/2020	49,00	1,063	30,70	27204,01	28077,71
	B	33,600	11/07/2020	47,00	1,059	33,60	28695,24	29561,81
8° Páv.	A	31,300	04/07/2020	54,00	1,072	31,30	27515,56	28387,76
	B	29,700	07/07/2020	51,00	1,067	29,70	26680,99	27557,18
7° Páv.	A	30,700	30/06/2020	58,00	1,079	30,70	27204,01	28077,71
	B	33,300	02/07/2020	56,00	1,076	33,30	28542,62	29409,91
6° Páv.	A	31,200	24/06/2020	64,00	1,088	31,20	27463,75	28336,20
	B	32,900	26/06/2020	62,00	1,085	32,90	28338,55	29206,82

5° Páv.	A	32,100	18/06/2020	70,00	1,096	32,10	27928,43	28798,66
	B	32,300	22/06/2020	66,00	1,091	32,30	28031,22	28900,96
4° Páv.	A	31,700	12/06/2020	76,00	1,103	31,70	27722,35	28593,57
	B	31,700	16/06/2020	72,00	1,099	31,70	27722,35	28593,57
3° Páv.	A	32,900	09/06/2020	79,00	1,106	32,90	28338,55	29206,82
	B	30,200	10/06/2020	78,00	1,105	30,20	26943,11	27818,05
2° Páv.	A	31,300	03/06/2020	85,00	1,112	31,30	27515,56	28387,76
	B	37,600	05/06/2020	83,00	1,110	37,60	30698,66	31555,65
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	98,00	1,123	36,50	30153,24	31012,84
	B	33,900	29/05/2020	90,00	1,117	33,90	28847,52	29713,36
Cintas e Blocos	-	36,800	12/05/2020	107,00	1,130	36,80	30302,38	31161,27
<b>MODELO 16</b>								
ELEMENTO		Fcm 28 = Fck,est (Mpa)	Data da concretagem	dias	$\beta_{cc}(t)$	fcm(t) (Mpa)	Ecs (Mpa)	E'cs (Mpa)
Cx. D'Água	-	30,700	27/08/2020	28,00	1,000	30,70	27204,01	28077,71
Barrilete	-	32,000	06/08/2020	49,00	1,063	32,00	27876,98	28747,45
Platibanda	-	33,100	29/07/2020	57,00	1,078	33,10	28440,67	29308,45
12° Páv.	A	34,200	23/07/2020	63,00	1,087	34,20	28999,44	29864,55
	B	30,900	25/07/2020	61,00	1,084	30,90	27308,05	28181,24
11° Páv.	A	32,000	18/07/2020	68,00	1,094	32,00	27876,98	28747,45
	B	32,800	21/07/2020	65,00	1,090	32,80	28287,43	29155,95
10° Páv.	A	28,500	14/07/2020	72,00	1,099	28,50	26046,73	26925,96
	B	30,400	16/07/2020	70,00	1,096	30,40	27047,61	27922,05
9° Páv.	A	30,700	09/07/2020	77,00	1,104	30,70	27204,01	28077,71
	B	33,600	11/07/2020	75,00	1,102	33,60	28695,24	29561,81
8° Páv.	A	31,300	04/07/2020	82,00	1,109	31,30	27515,56	28387,76
	B	29,700	07/07/2020	79,00	1,106	29,70	26680,99	27557,18
7° Páv.	A	30,700	30/06/2020	86,00	1,113	30,70	27204,01	28077,71
	B	33,300	02/07/2020	84,00	1,111	33,30	28542,62	29409,91
6° Páv.	A	31,200	24/06/2020	92,00	1,119	31,20	27463,75	28336,20
	B	32,900	26/06/2020	90,00	1,117	32,90	28338,55	29206,82
5° Páv.	A	32,100	18/06/2020	98,00	1,123	32,10	27928,43	28798,66
	B	32,300	22/06/2020	94,00	1,120	32,30	28031,22	28900,96
4° Páv.	A	31,700	12/06/2020	104,00	1,128	31,70	27722,35	28593,57
	B	31,700	16/06/2020	100,00	1,125	31,70	27722,35	28593,57
3° Páv.	A	32,900	09/06/2020	107,00	1,130	32,90	28338,55	29206,82
	B	30,200	10/06/2020	106,00	1,129	30,20	26943,11	27818,05
2° Páv.	A	31,300	03/06/2020	113,00	1,134	31,30	27515,56	28387,76
	B	37,600	05/06/2020	111,00	1,132	37,60	30698,66	31555,65
Páv. Térreo	A	36,500	21/05/2020	126,00	1,141	36,50	30153,24	31012,84
	B	33,900	29/05/2020	118,00	1,137	33,90	28847,52	29713,36
Cintas e Blocos		36,800	12/05/2020	135,00	1,146	36,80	30302,38	31161,27

## APÊNDICE B - IMAGENS DOS RESULTADOS DOS MODELOS 3D UTILIZADOS NO ESTUDO

Figura 58 - Deslocamentos - MODELO 1- U1

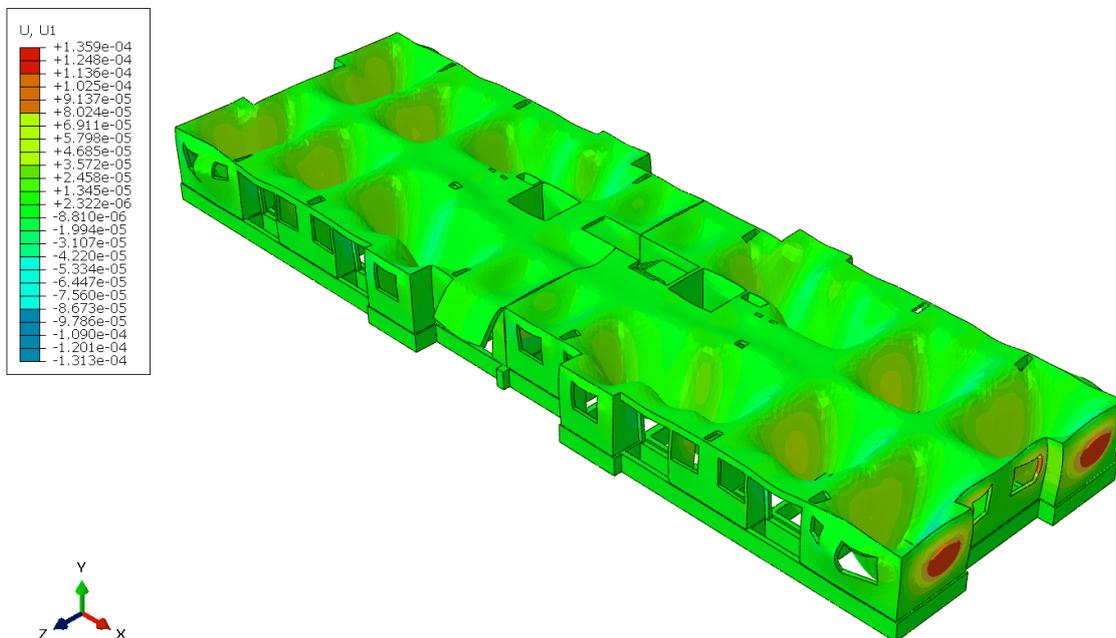


Figura 59 - Deslocamentos - MODELO 1- U3

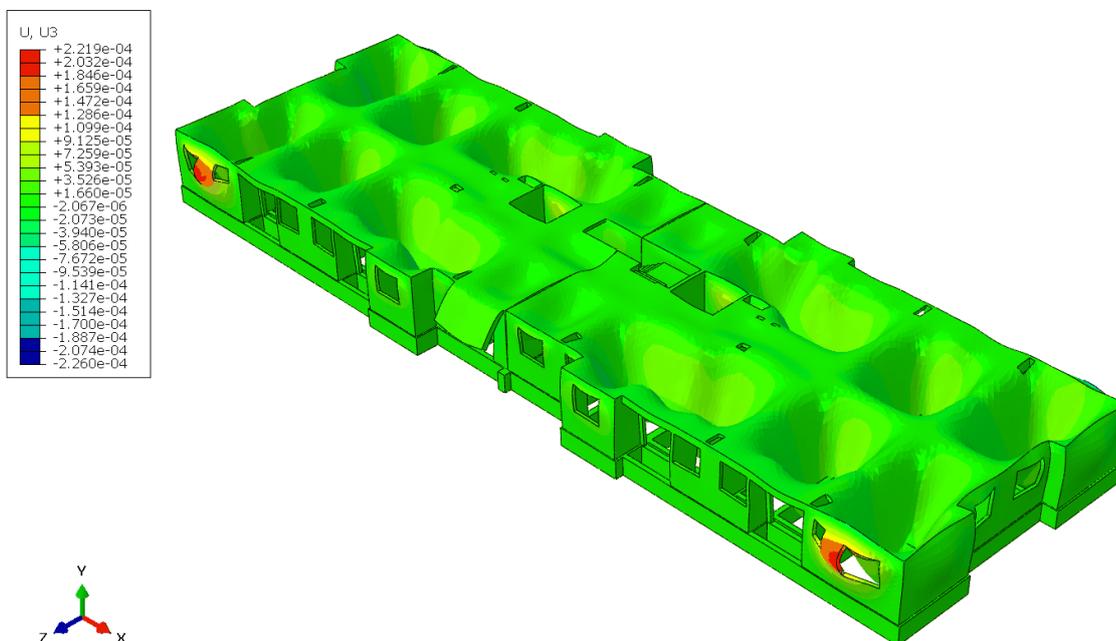


Figura 60 - Tensões - MODELO 1- MÁXIMA PRINCIPAL

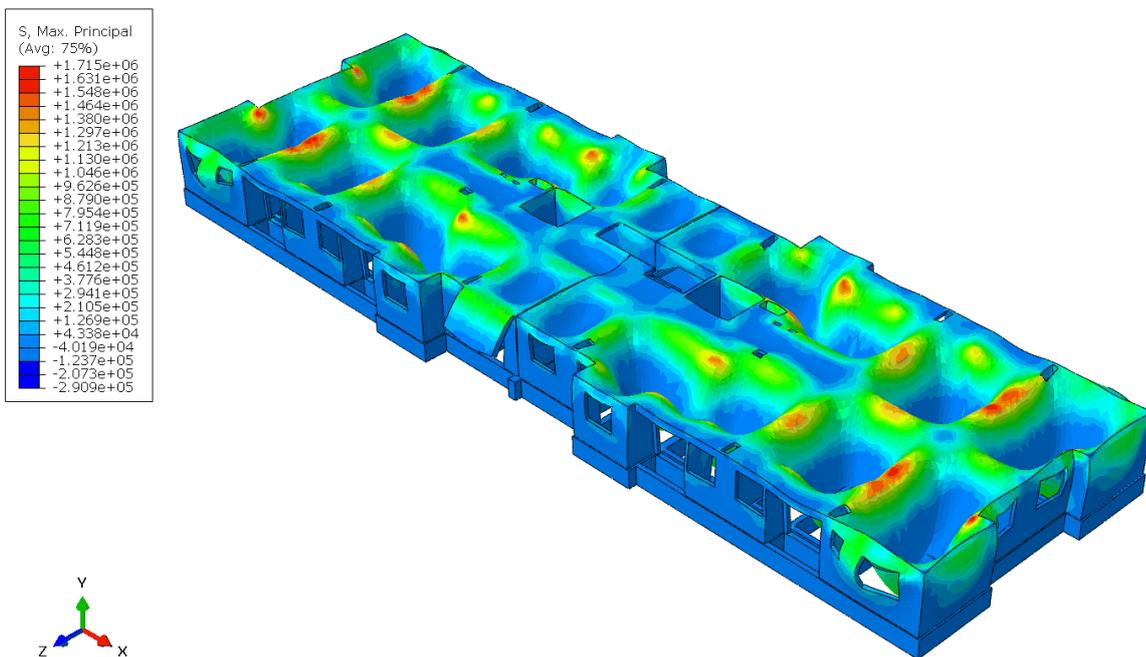


Figura 61 - Tensões - MODELO 1- S12

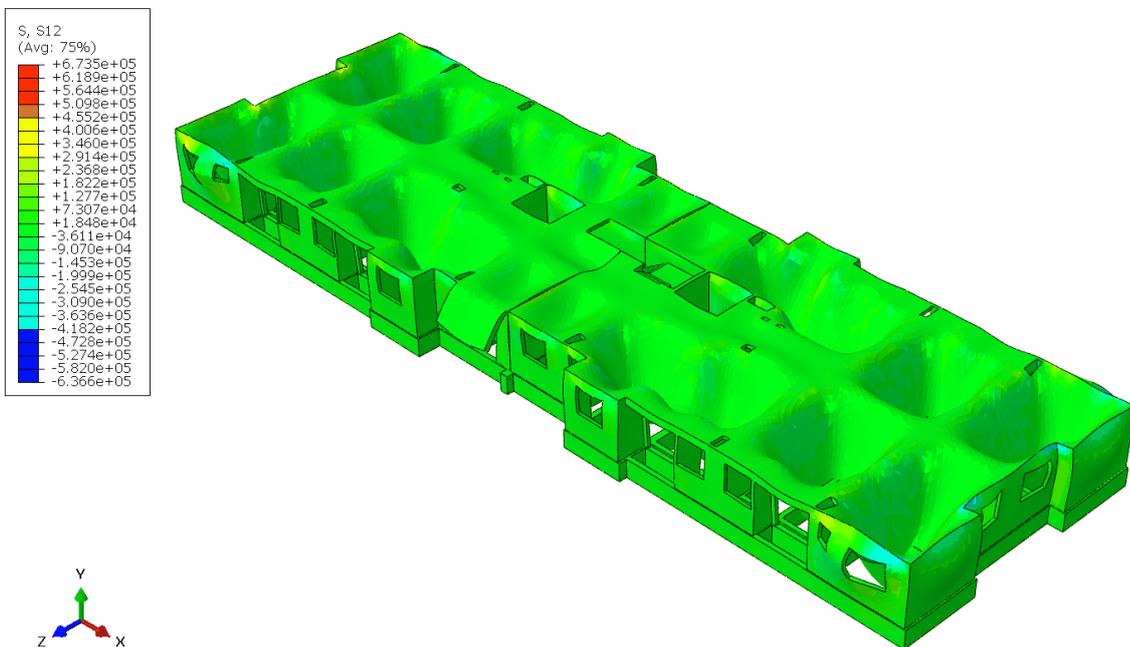


Figura 62 - Tensões - MODELO 1- S23

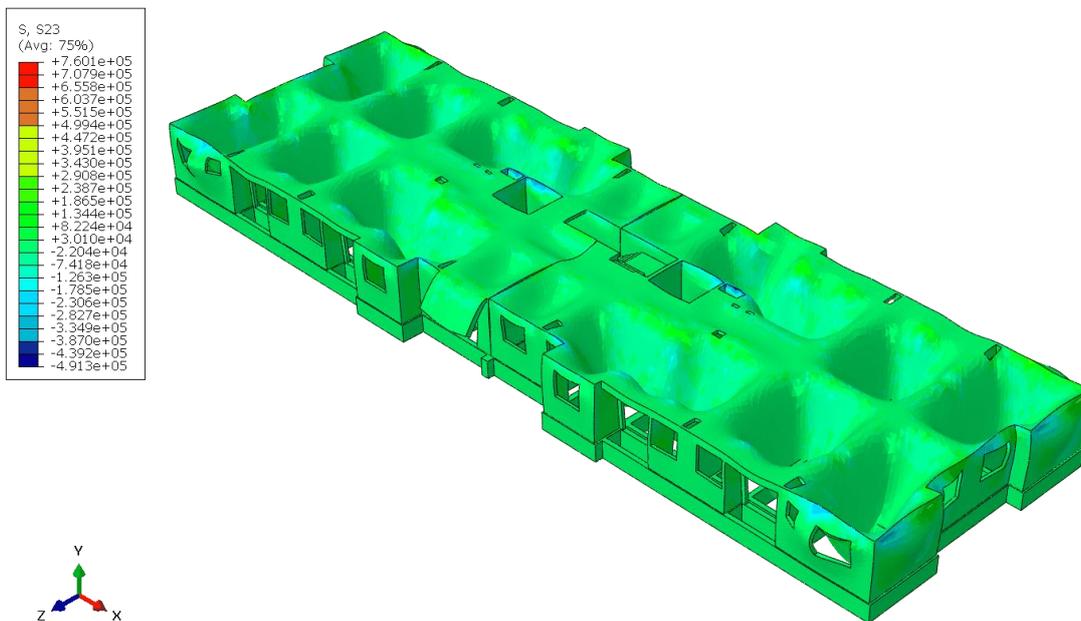


Figura 63 - Deslocamentos - MODELO 2- U1

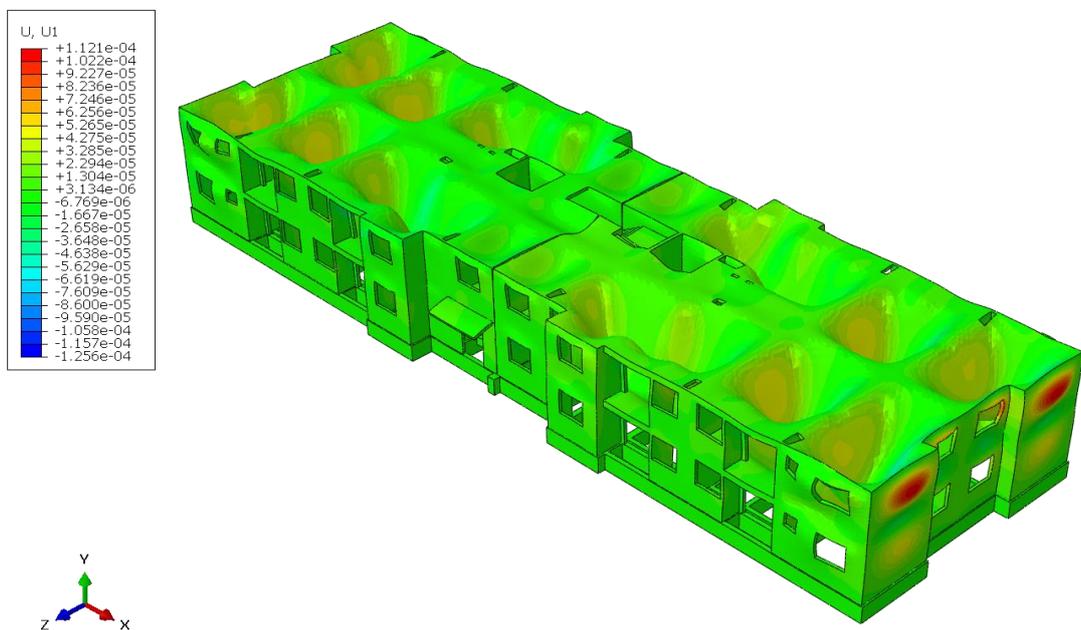


Figura 64- Deslocamentos - MODELO 2- U3

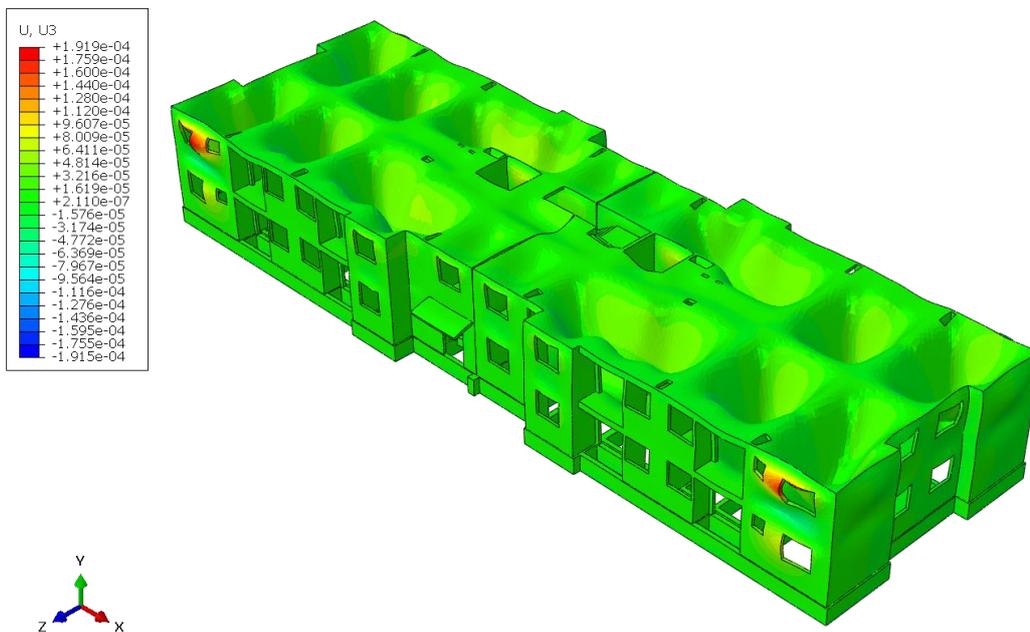


Figura 65 - Tensões - MODELO 2- MÁXIMA PRINCIPAL

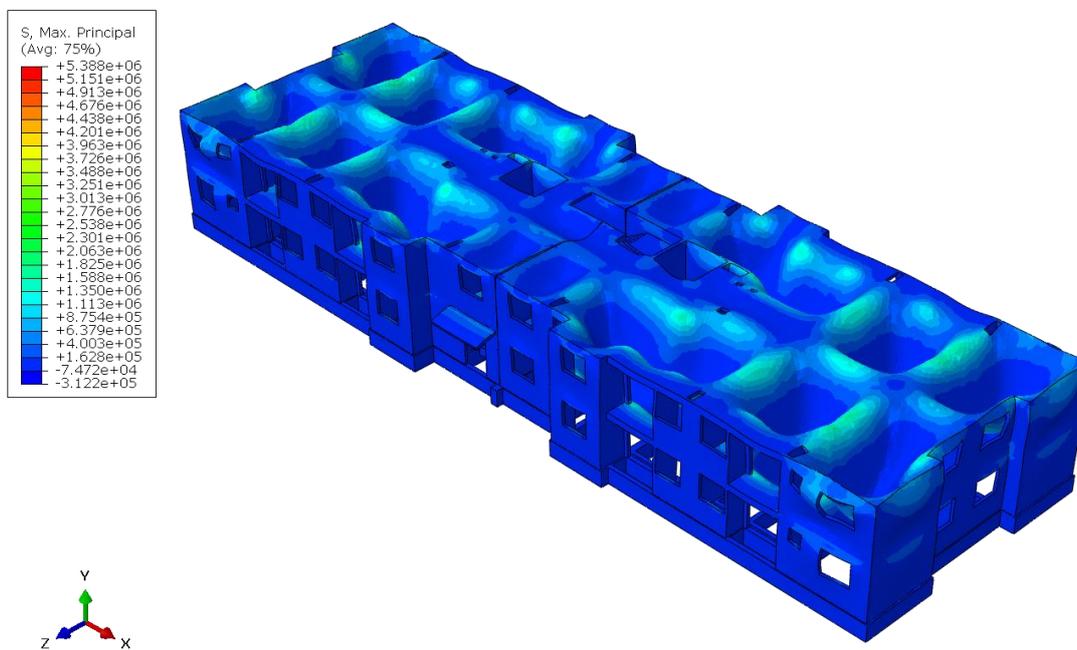


Figura 66- Tensões - MODELO 2- S12

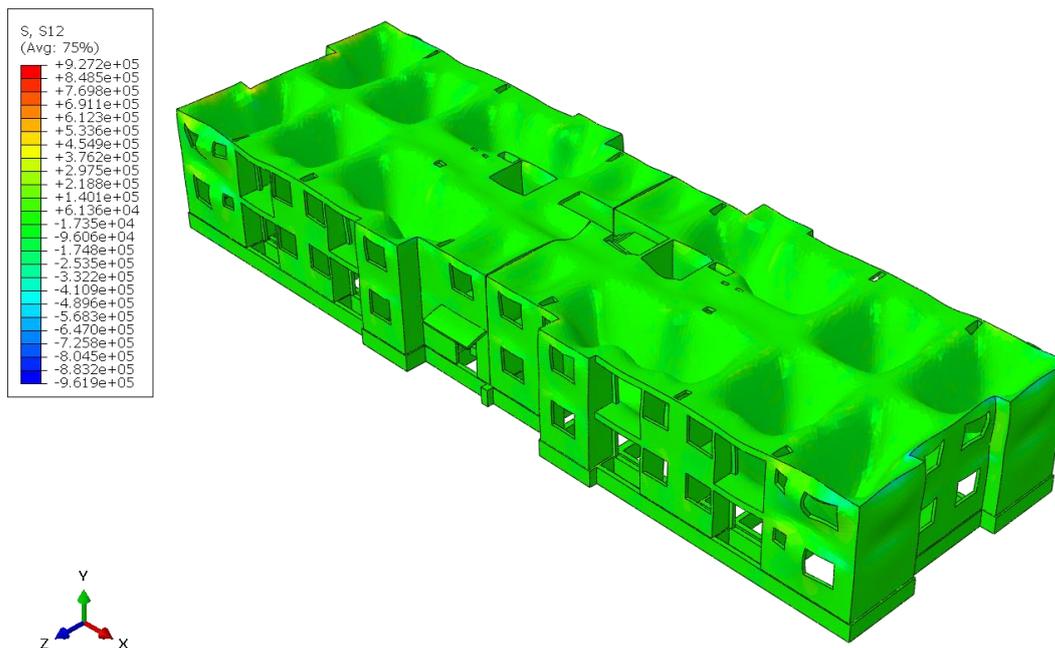


Figura 67- Tensões - MODELO 2- S23

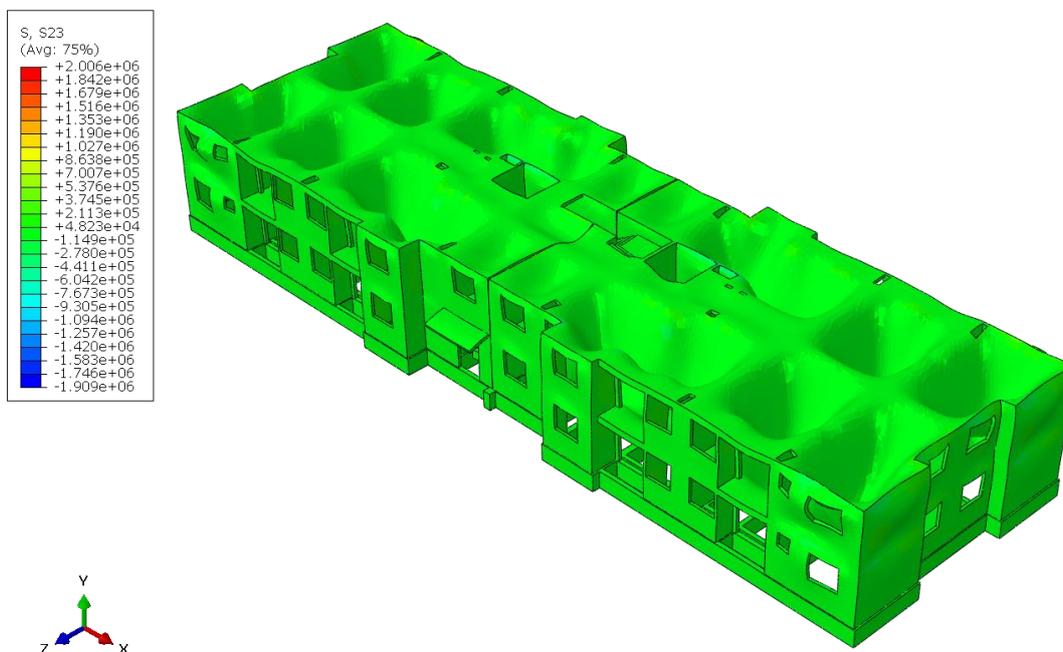


Figura 68- Deslocamentos - MODELO 3- U1

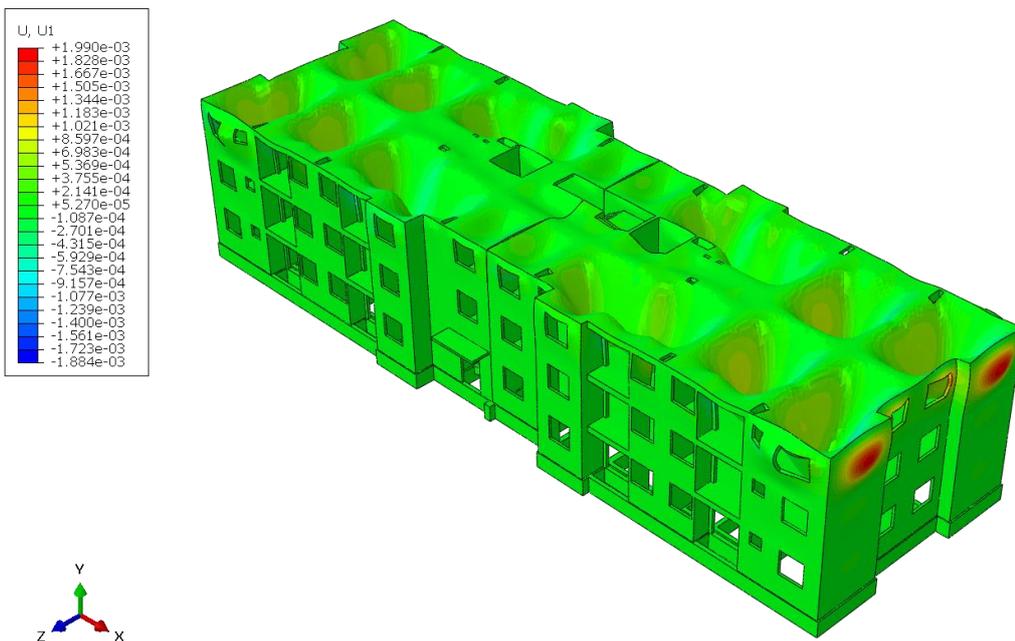


Figura 69- Deslocamentos - MODELO 3- U3

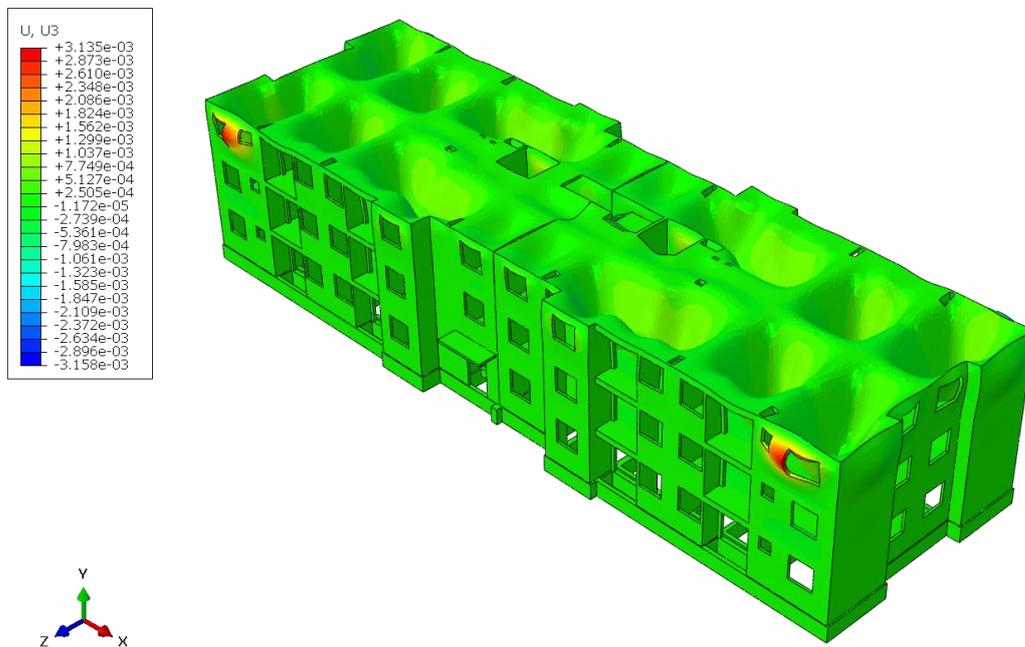


Figura 70- Tensões - MODELO 3- MÁXIMA PRINCIPAL

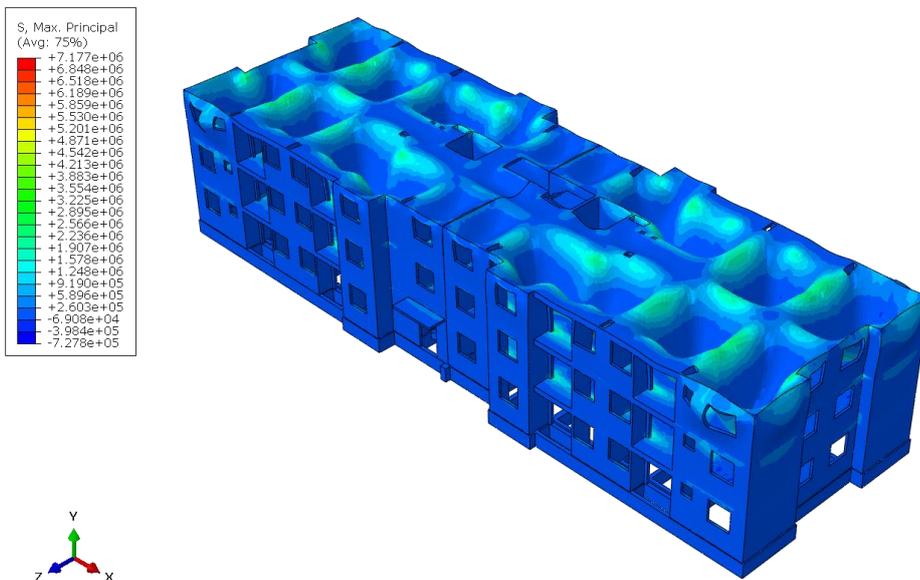


Figura 71- Tensões - MODELO 3- S12

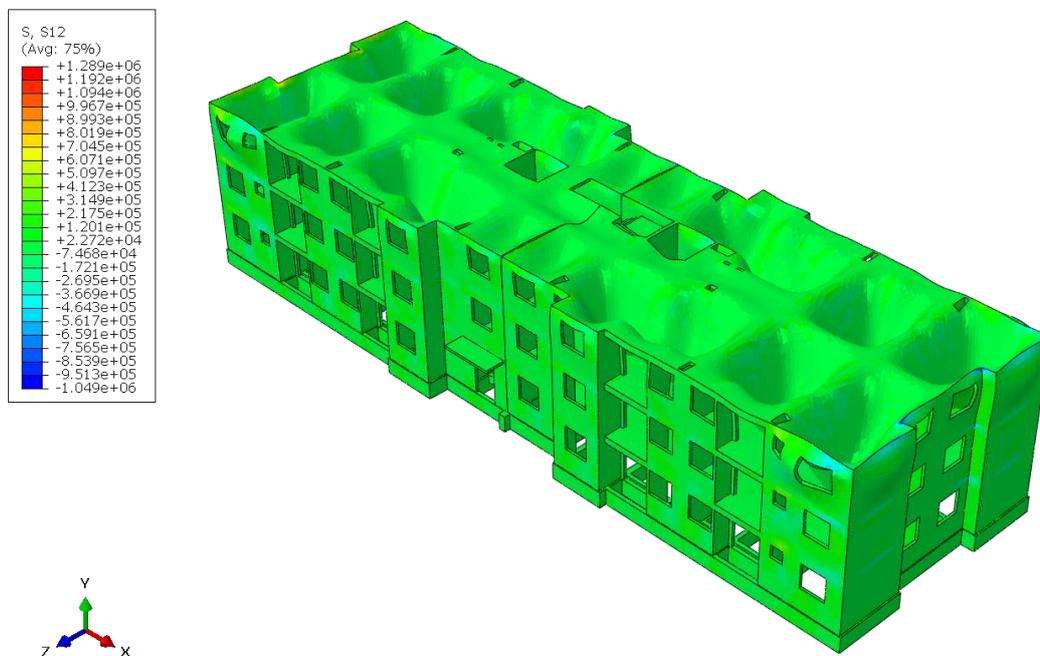


Figura 72- Tensões - MODELO 3- S23

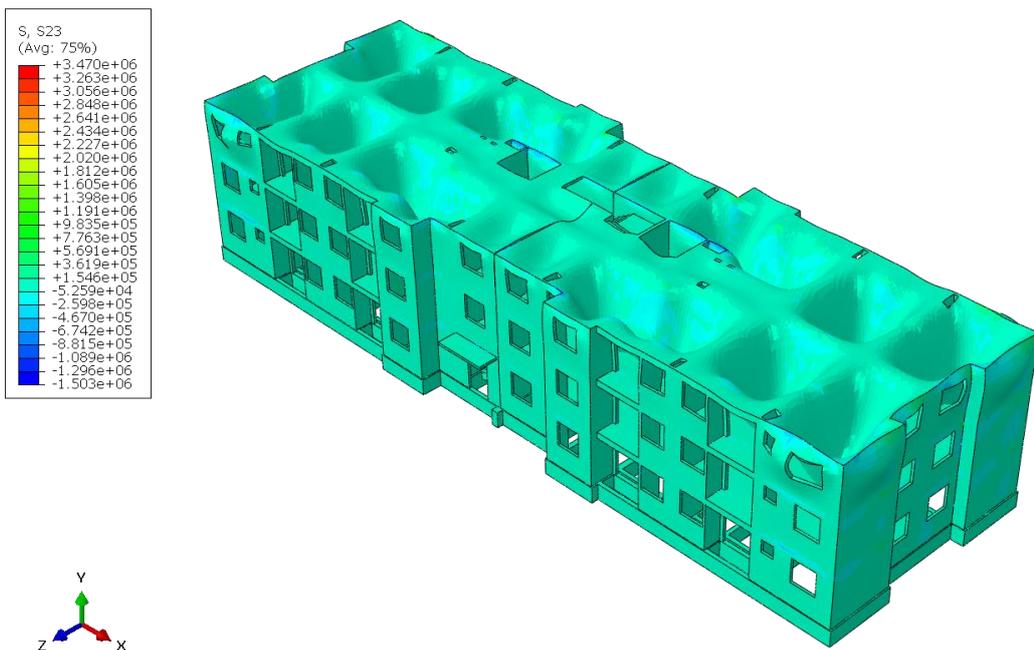


Figura 73- Deslocamentos - MODELO 4- U1

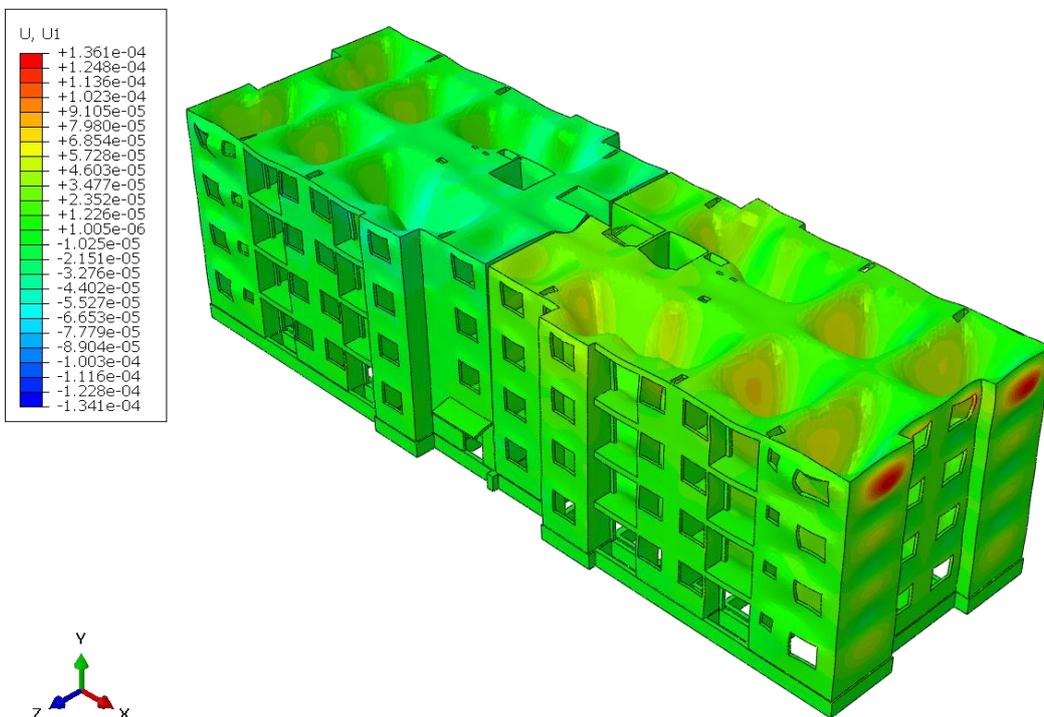


Figura 74- Deslocamentos - MODELO 4- U3

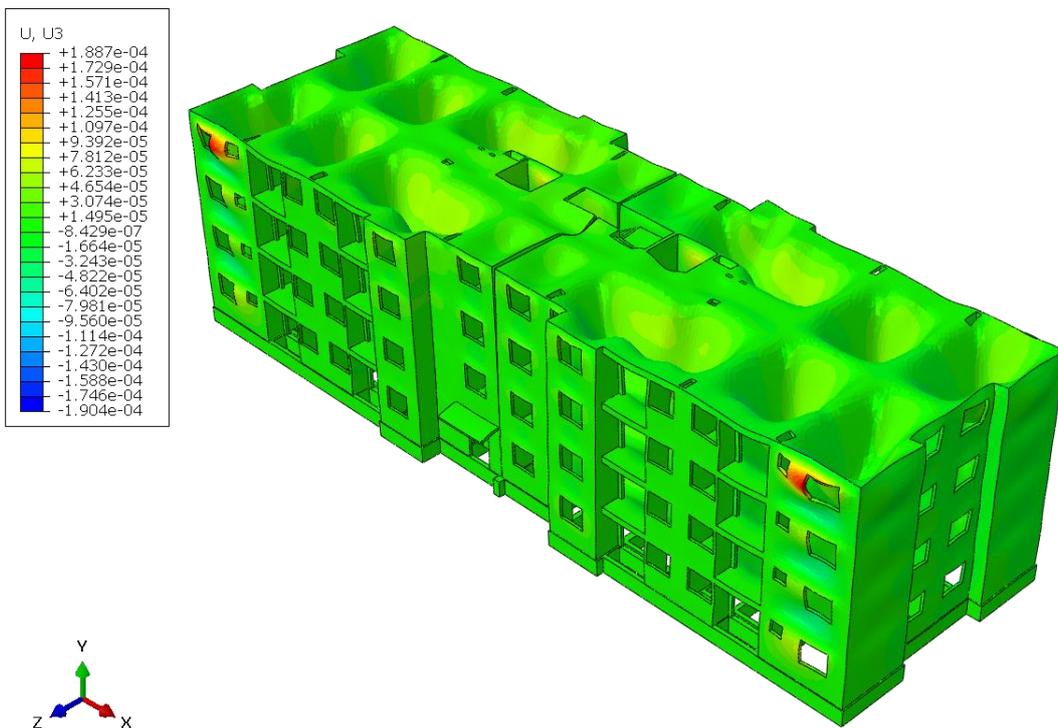


Figura 75 - MODELO 4- MÁXIMA PRINCIPAL

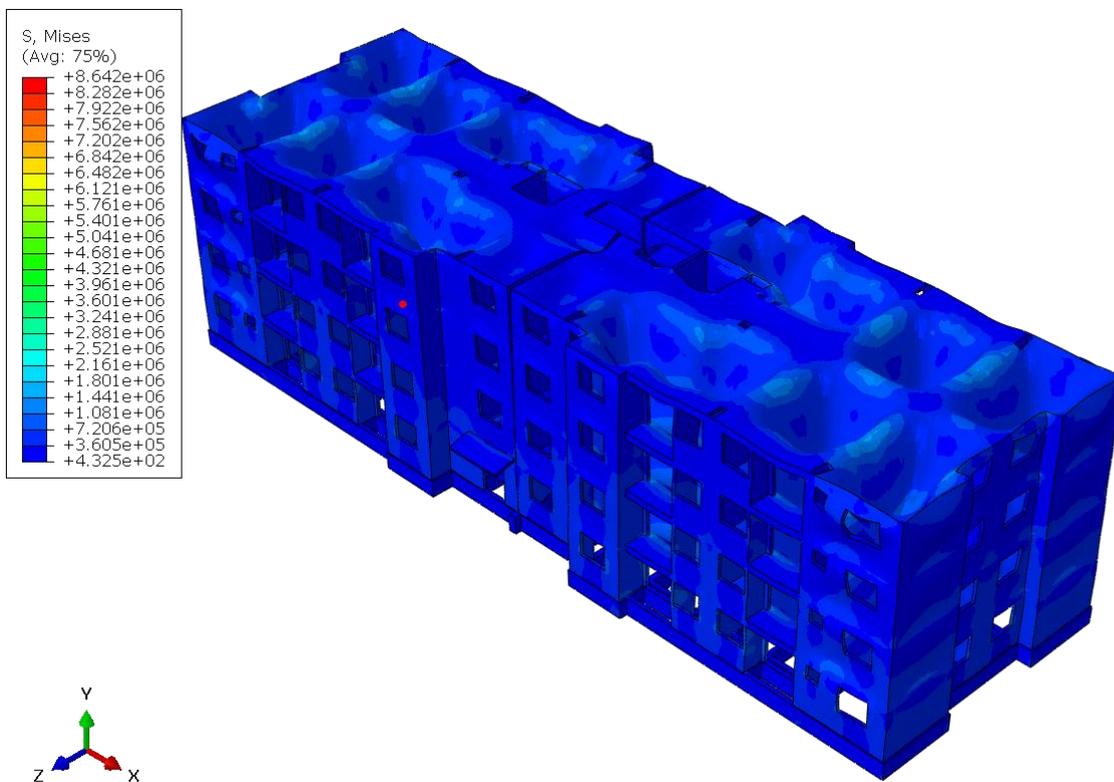


Figura 76- Tensões - MODELO 4- S12

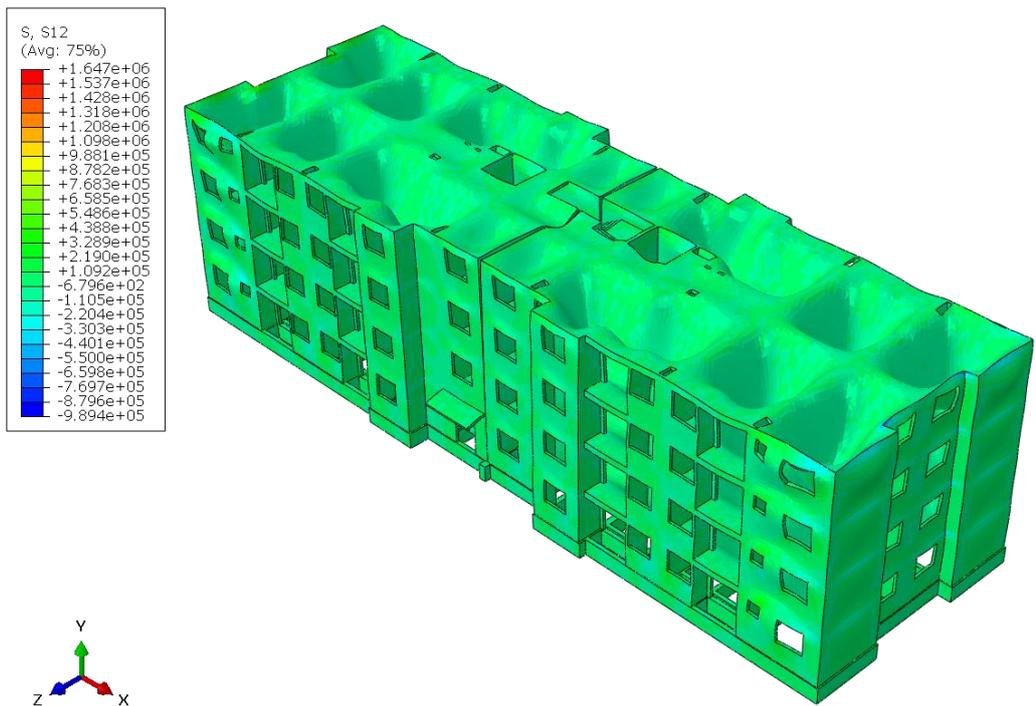


Figura 77- Tensões - MODELO 4- S23

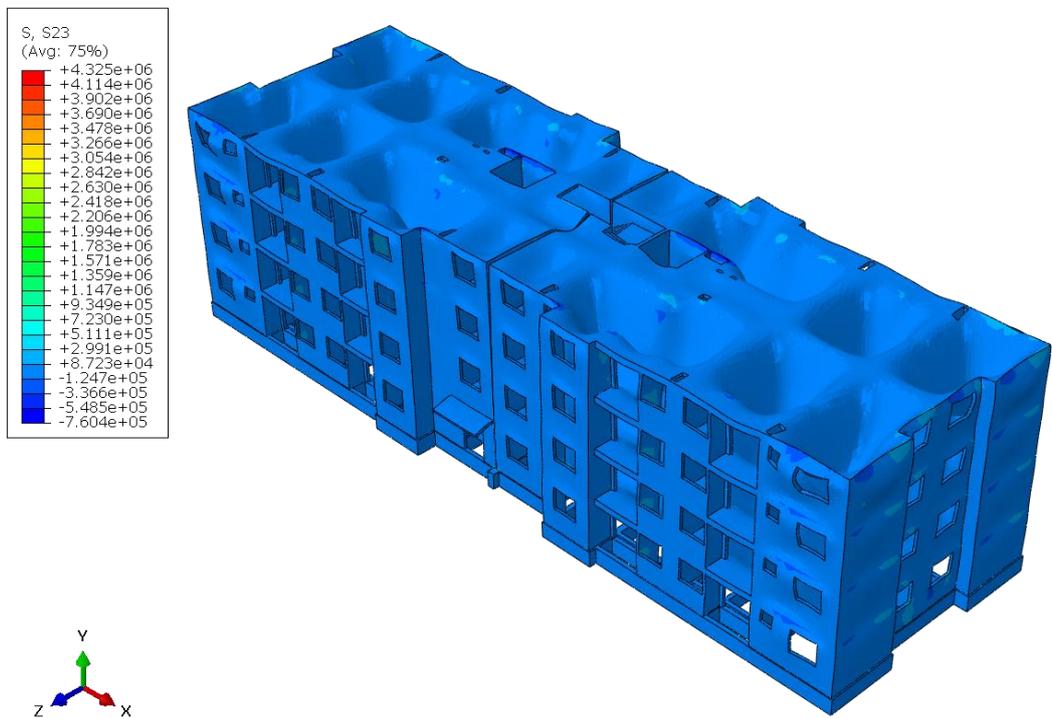


Figura 78- Deslocamentos - MODELO 5- U1

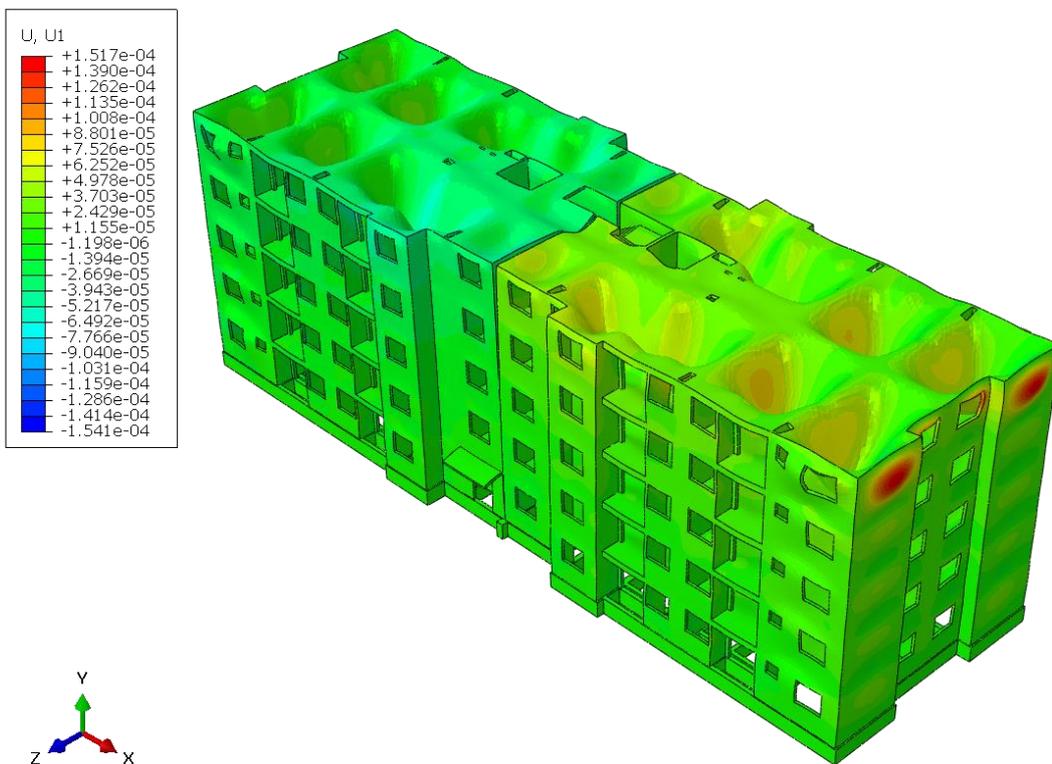


Figura 79- Deslocamentos - MODELO 5- U3

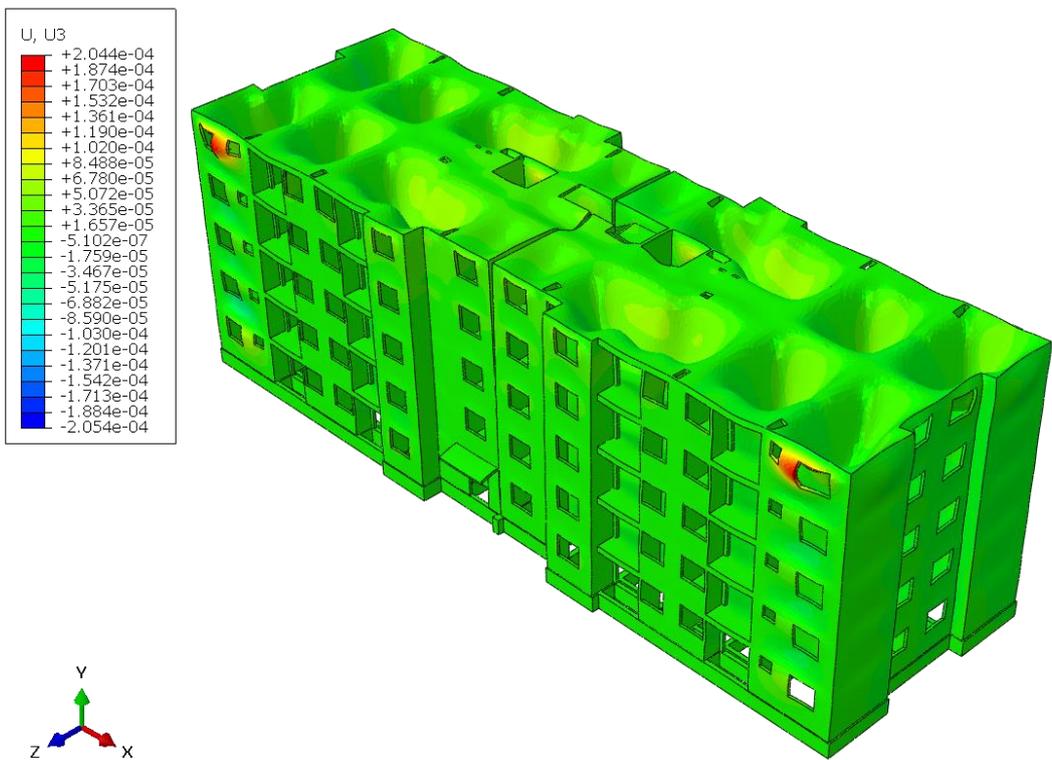


Figura 80- Tensões - MODELO 5- MÁXIMA PRINCIPAL

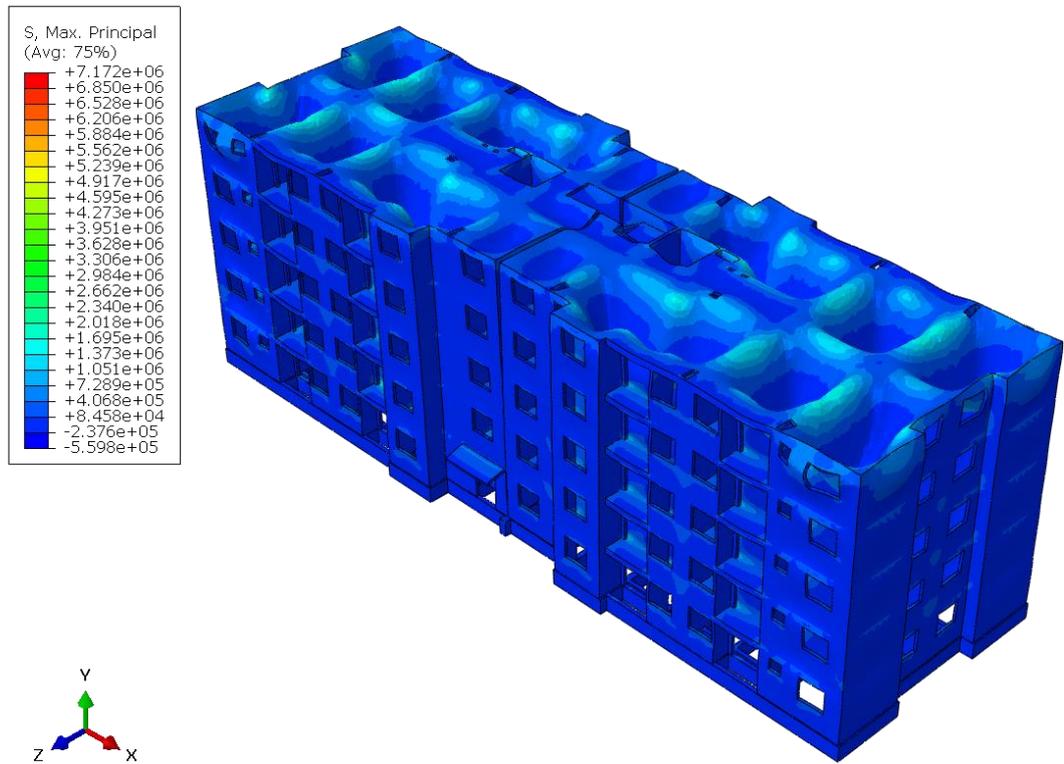


Figura 81- Tensões - MODELO 5- S12

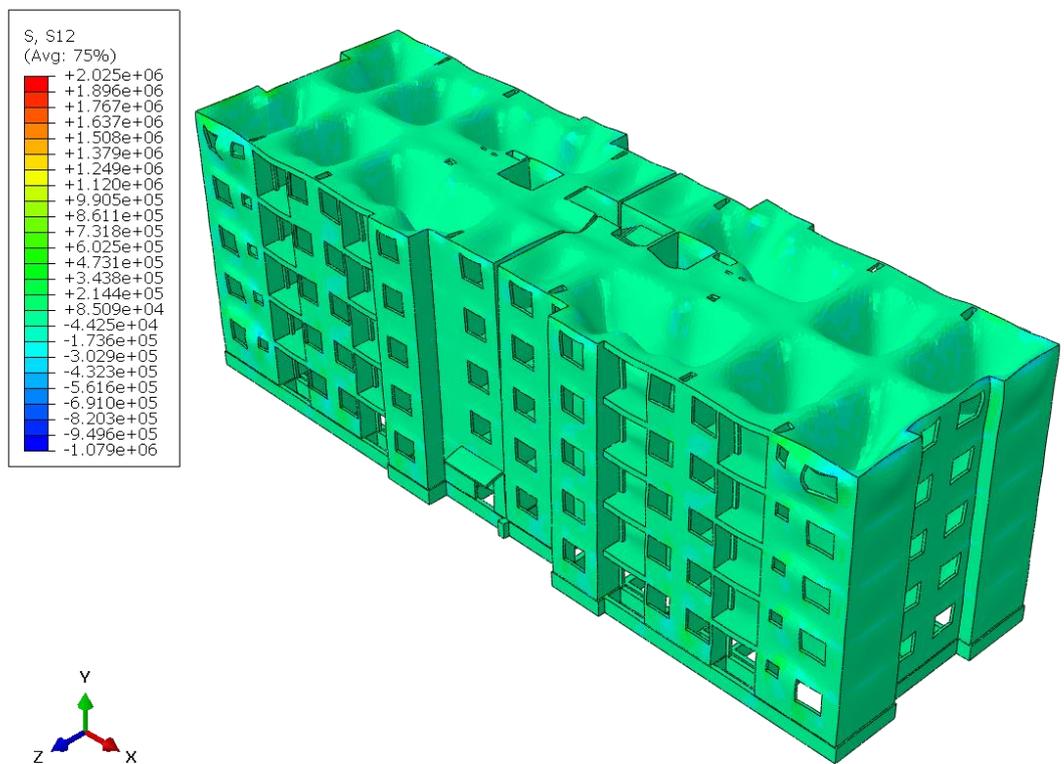


Figura 82- Tensões - MODELO 5- S23

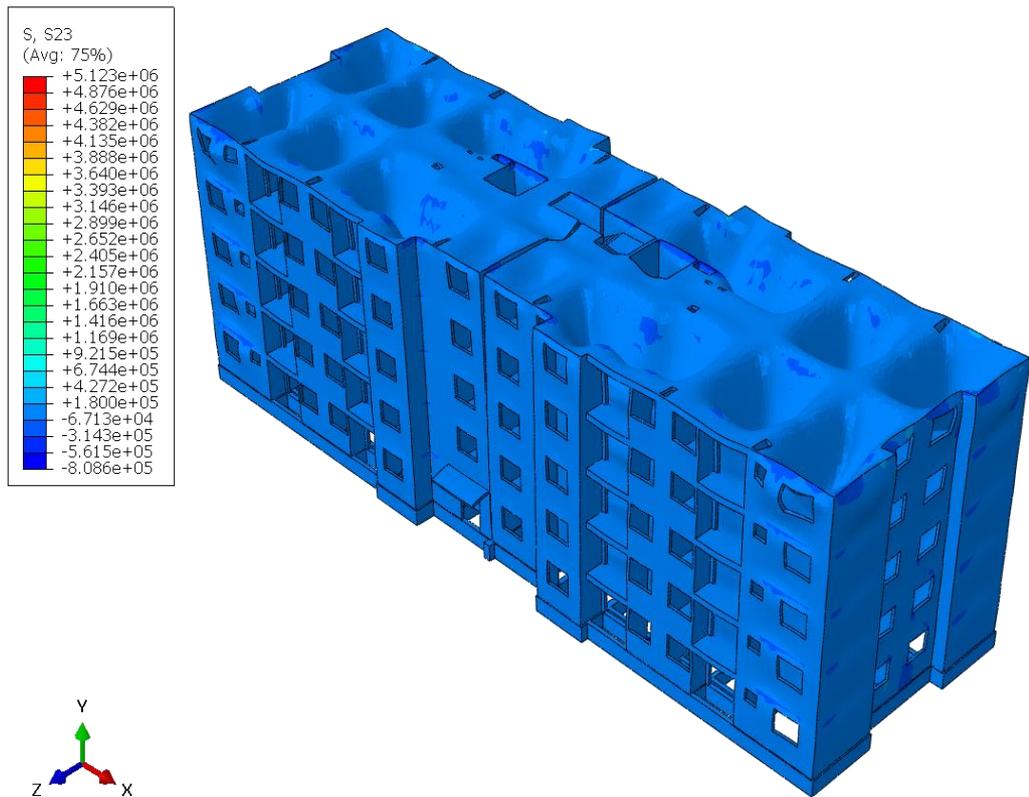


Figura 83- Deslocamentos - MODELO 6- U1

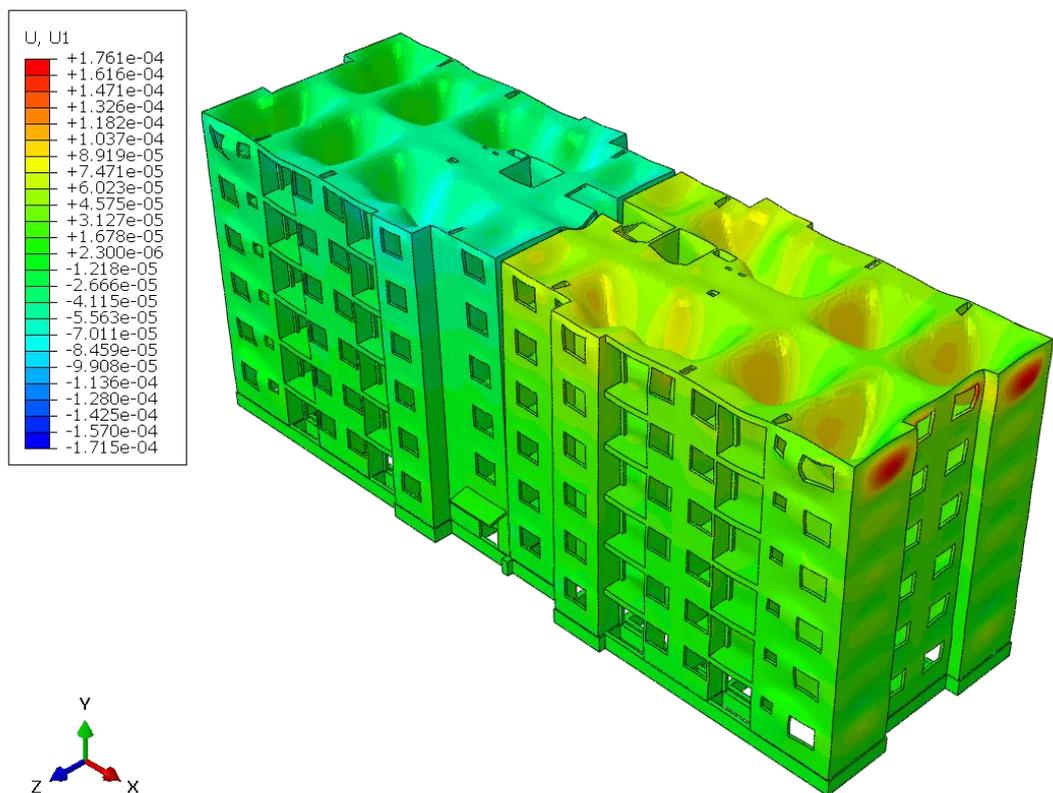


Figura 84- Deslocamentos - MODELO 6- U3

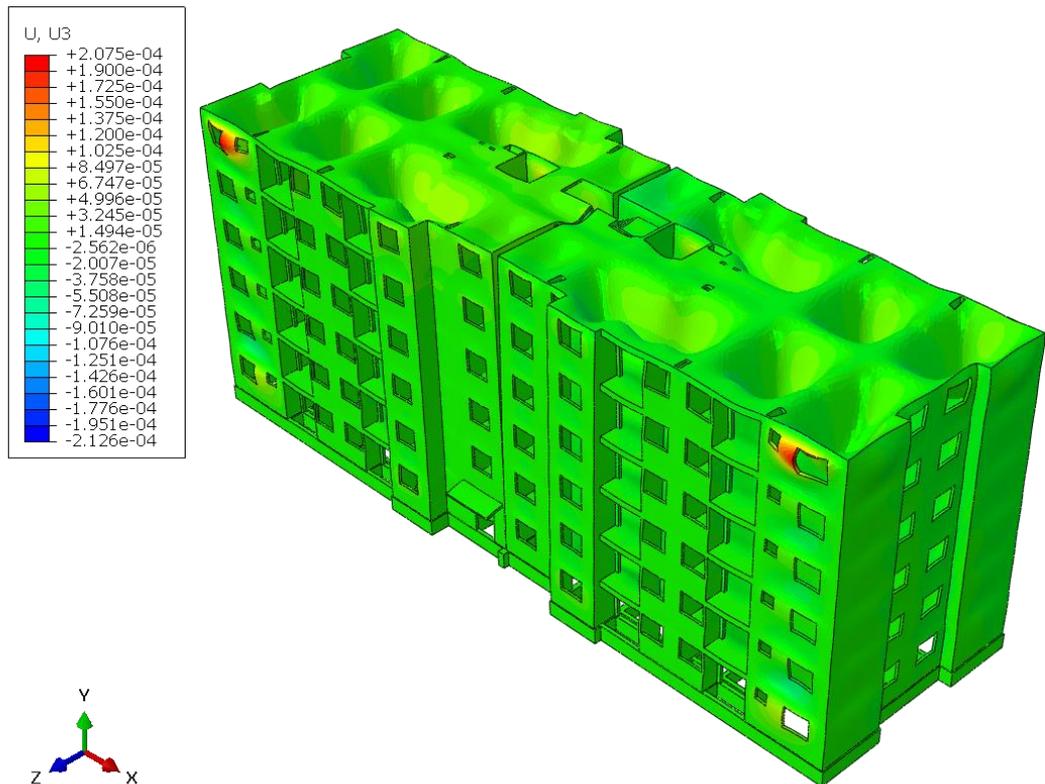


Figura 85- Tensões - MODELO 6- MÁXIMA PRINCIPAL

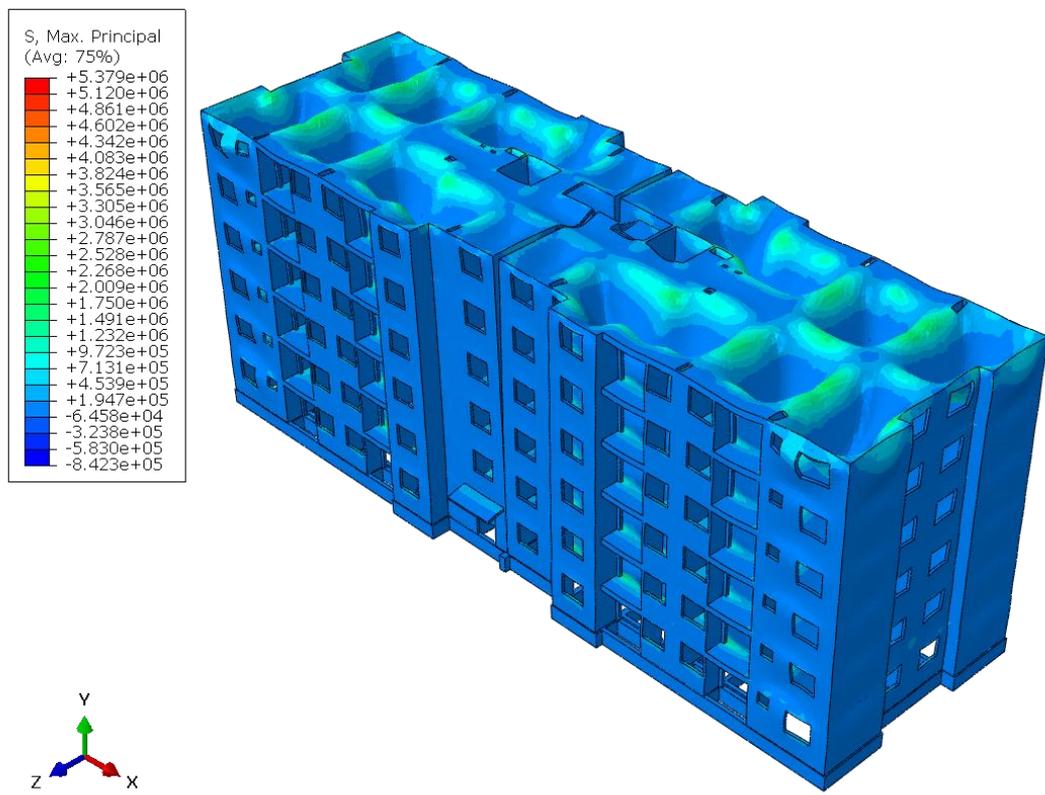


Figura 86- Tensões - MODELO 6- S12

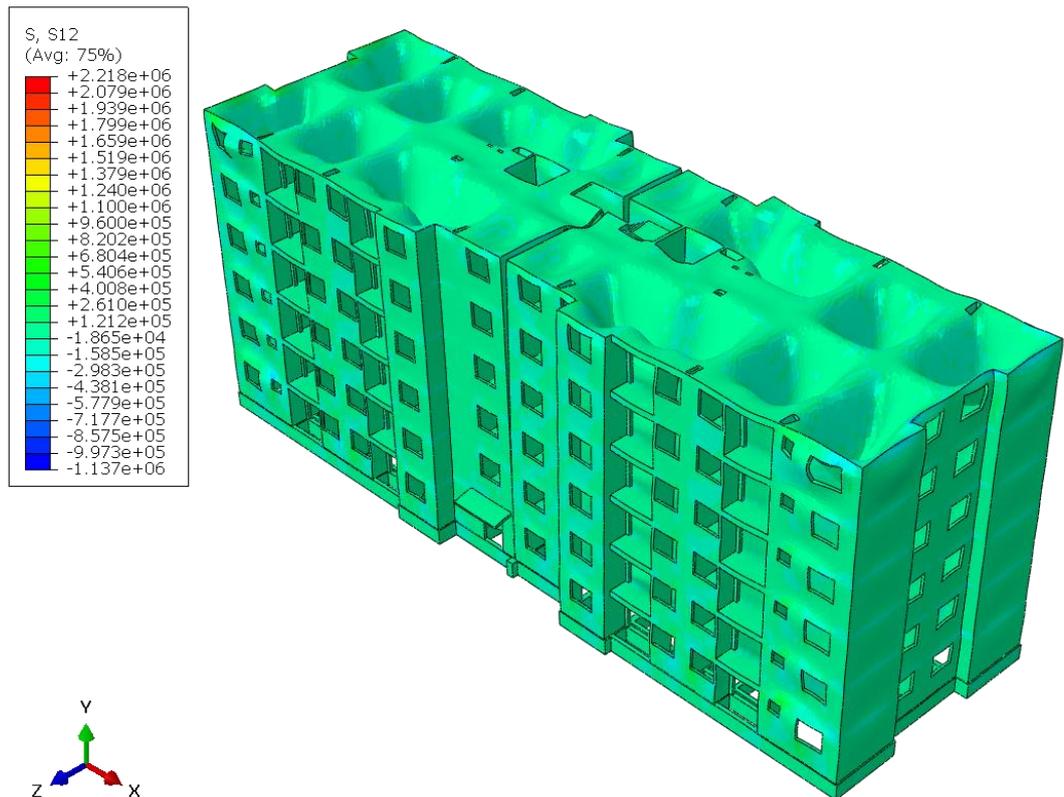


Figura 87- Tensões - MODELO 6 - S23

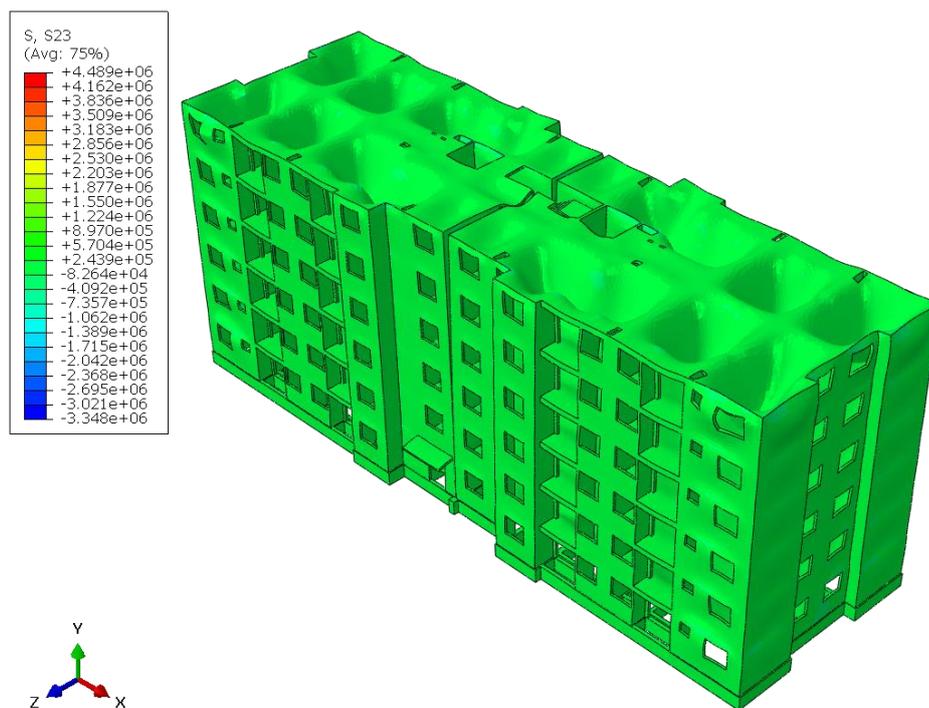


Figura 88- Deslocamentos - MODELO 7- U1

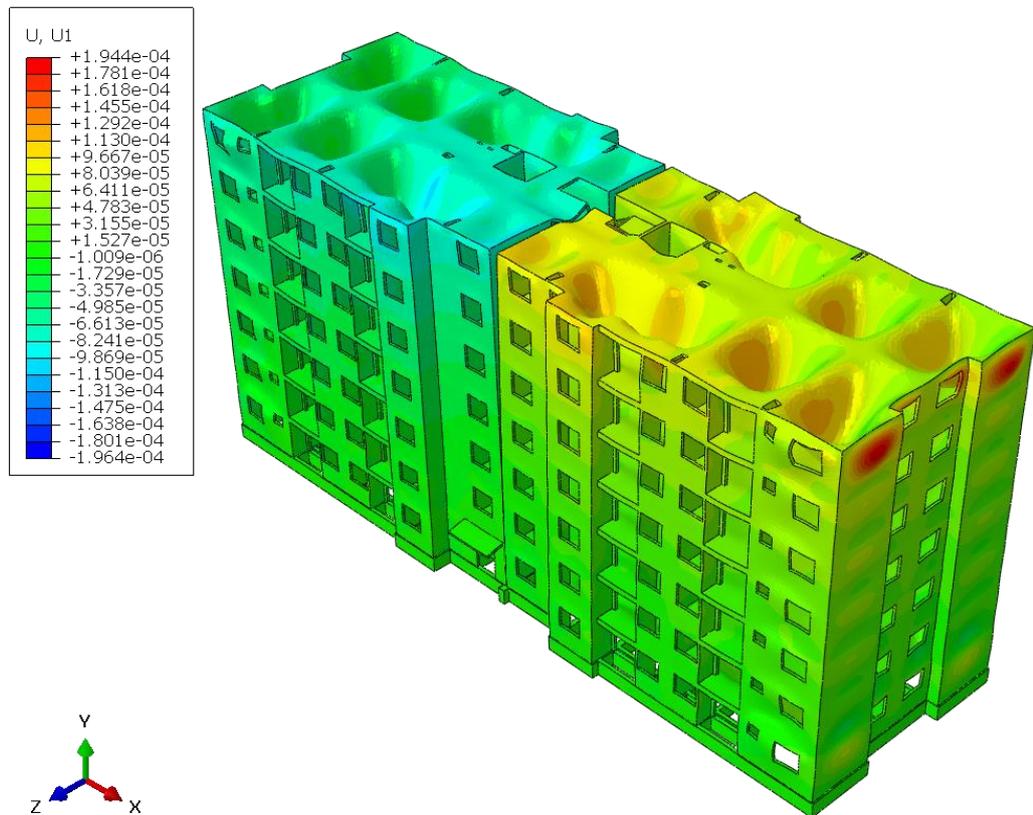


Figura 89- Deslocamentos - MODELO 7- U3

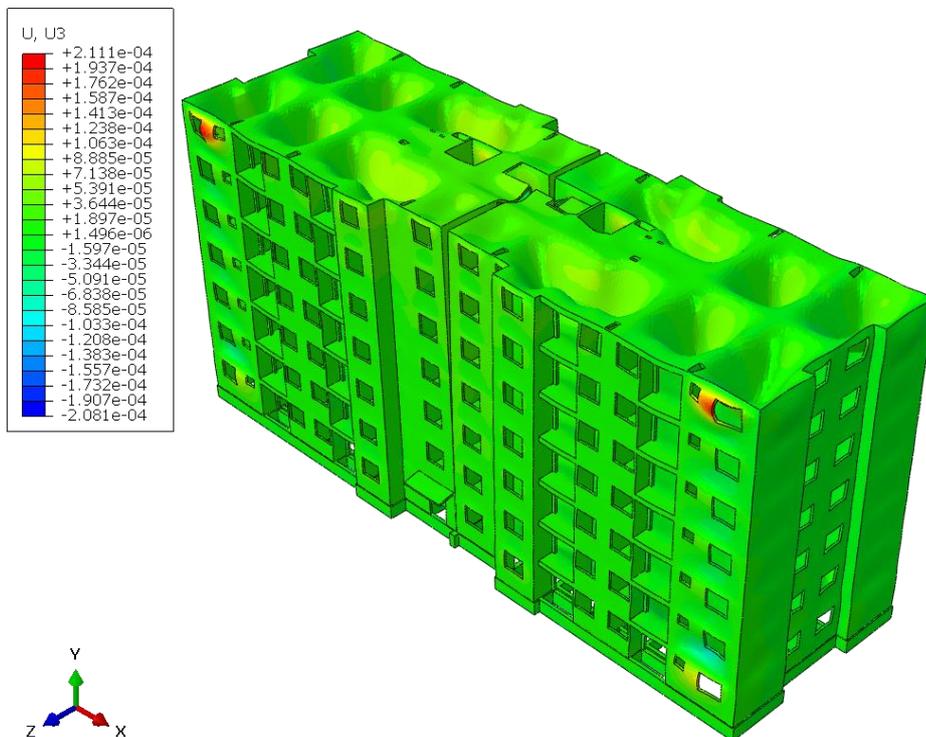


Figura 90- Tensões - MODELO 7- MÁXIMA PRINCIPAL

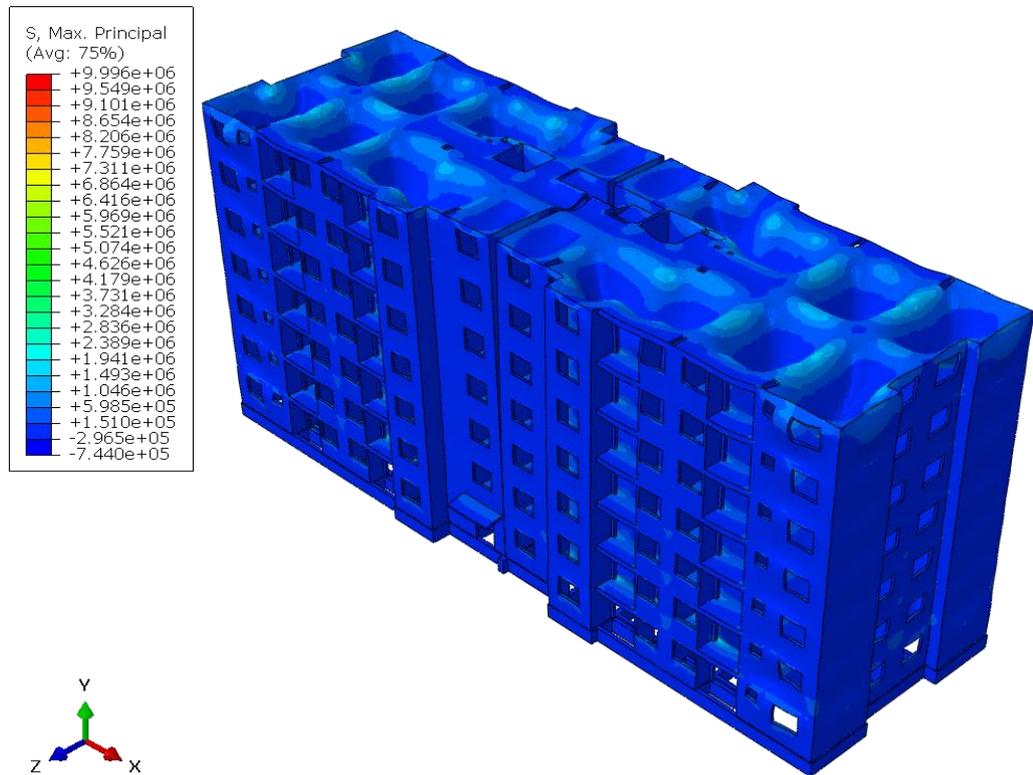


Figura 91- Tensões - MODELO 7- S 12

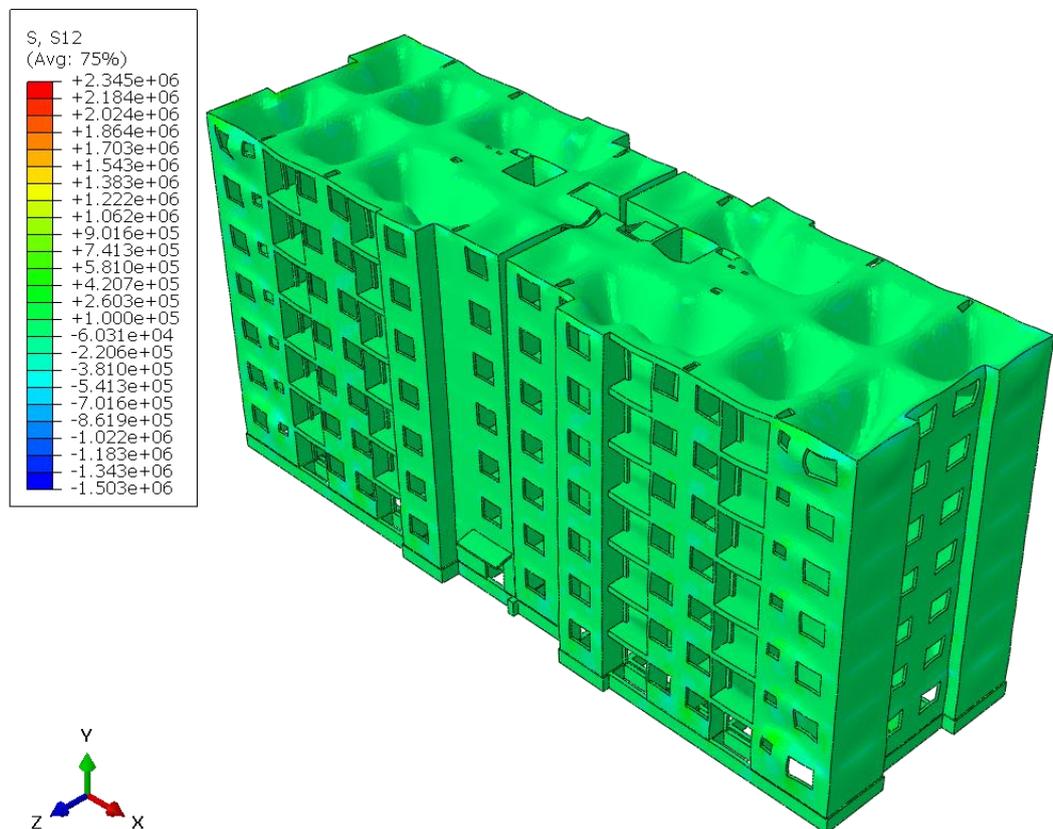


Figura 92- Tensões - MODELO 7- S 23

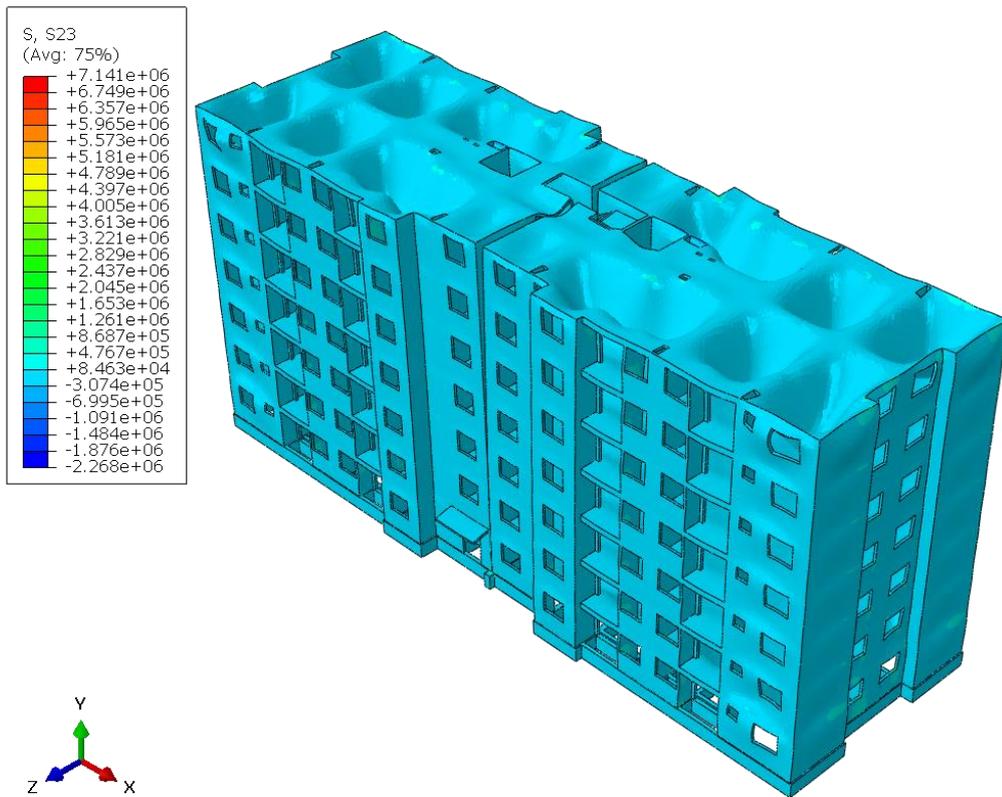


Figura 93- Deslocamentos - MODELO 8- U1

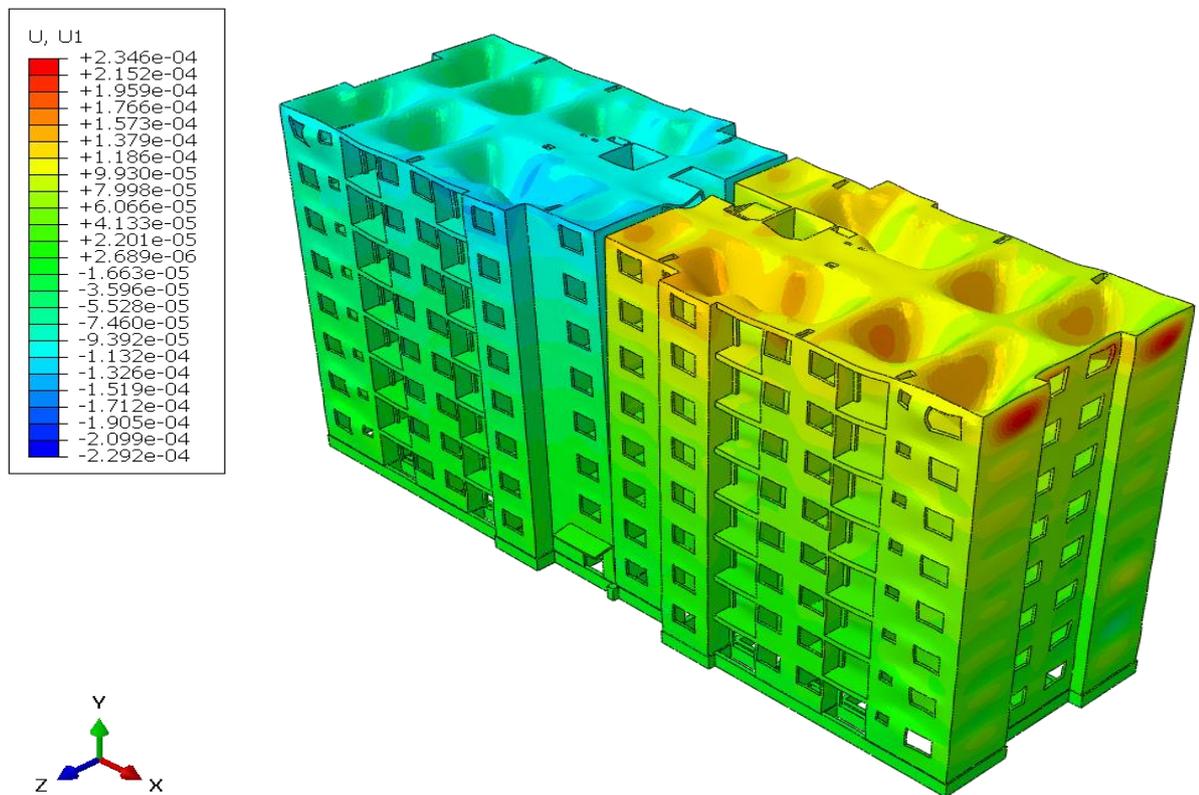


Figura 94 - Deslocamentos - MODELO 8- U3

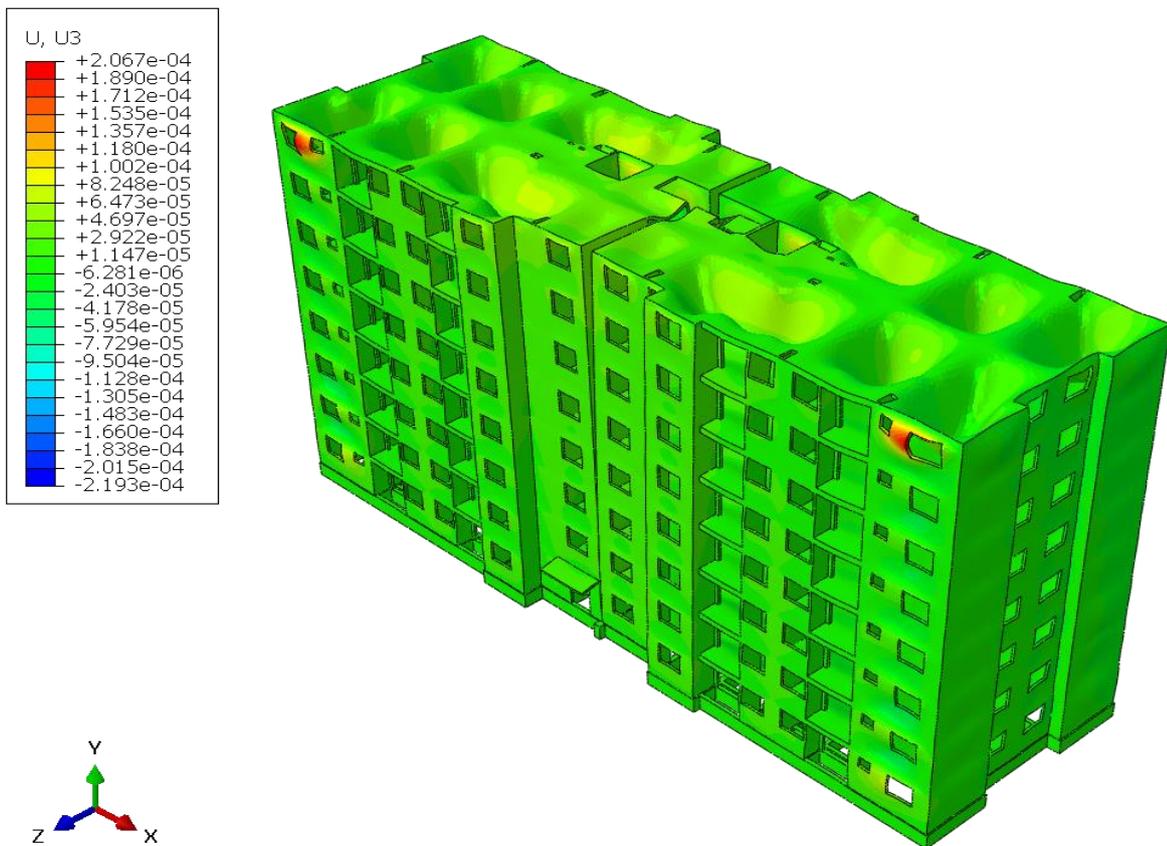


Figura 95- Tensões - MODELO 8- MÁXIMA PRINCIPAL

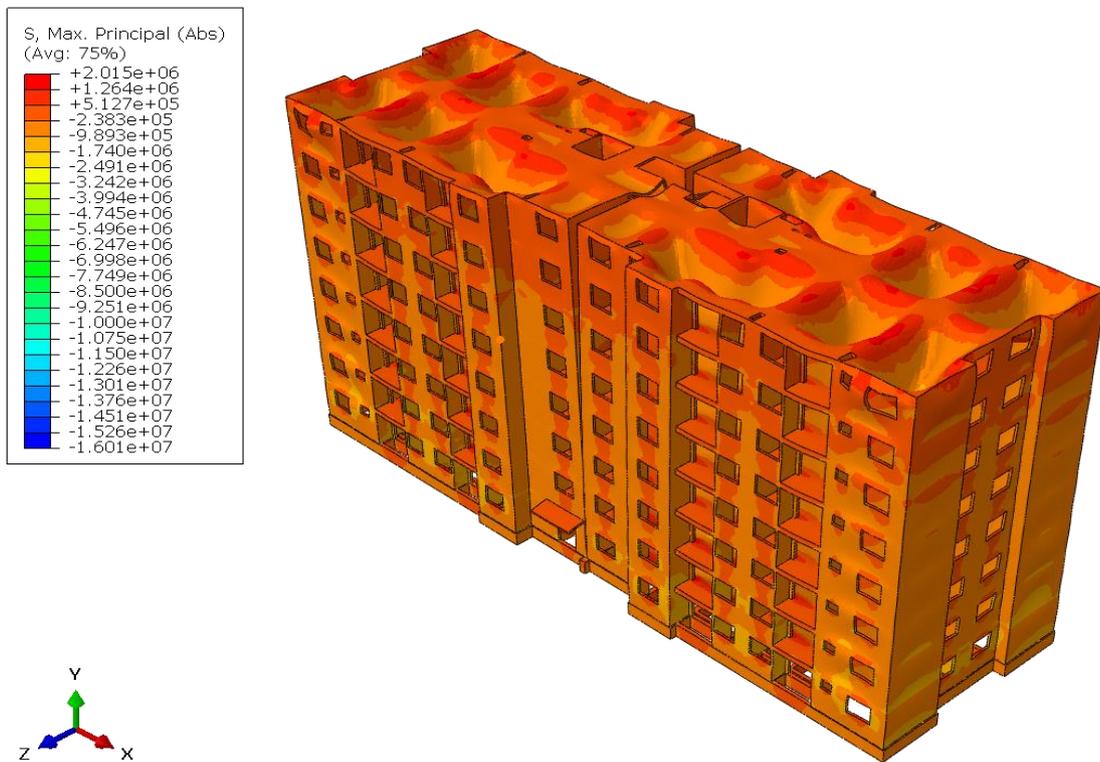


Figura 96- Tensões - MODELO 8- S 12

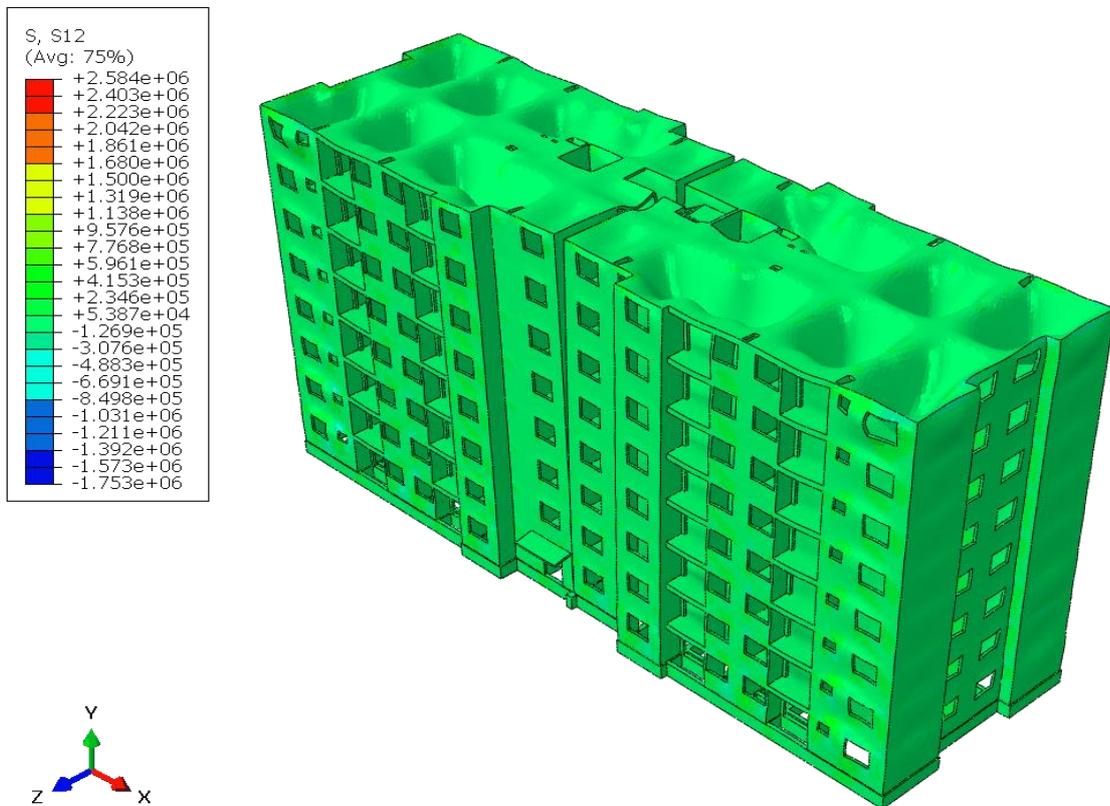


Figura 97- Tensões - MODELO 8- S 23

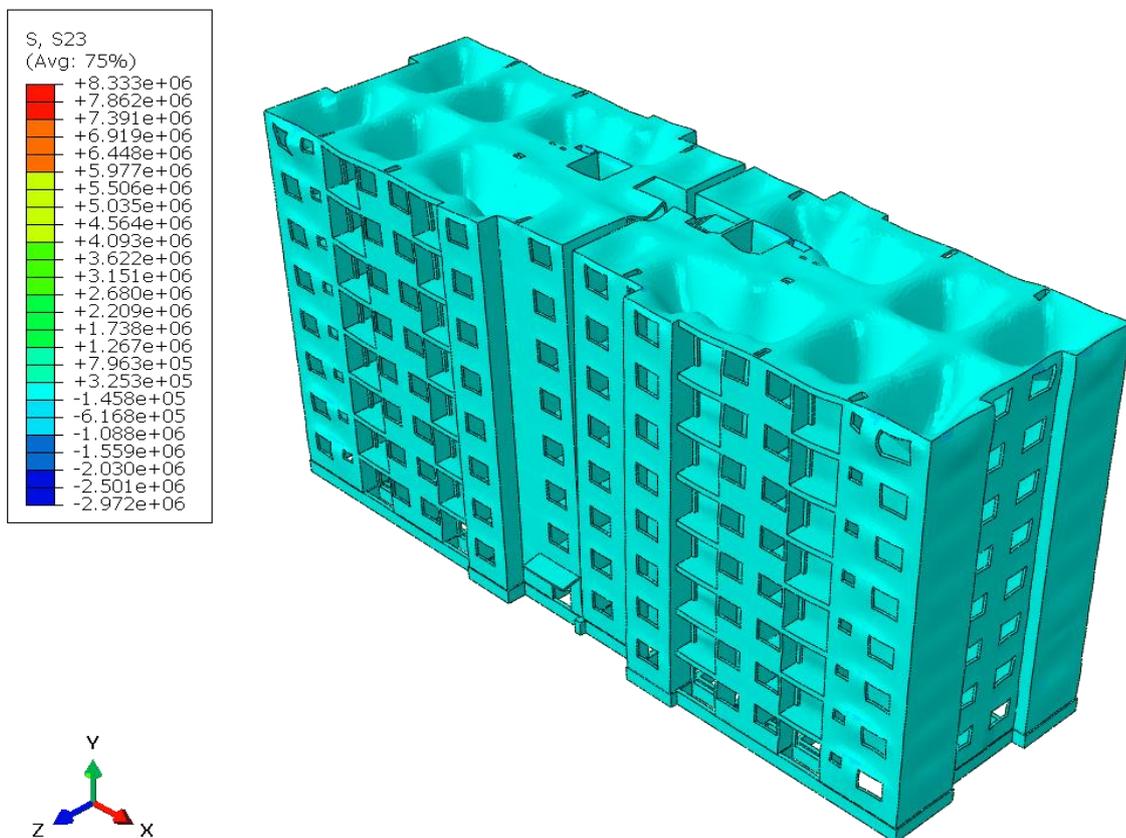


Figura 98- Deslocamentos - MODELO 9- U1

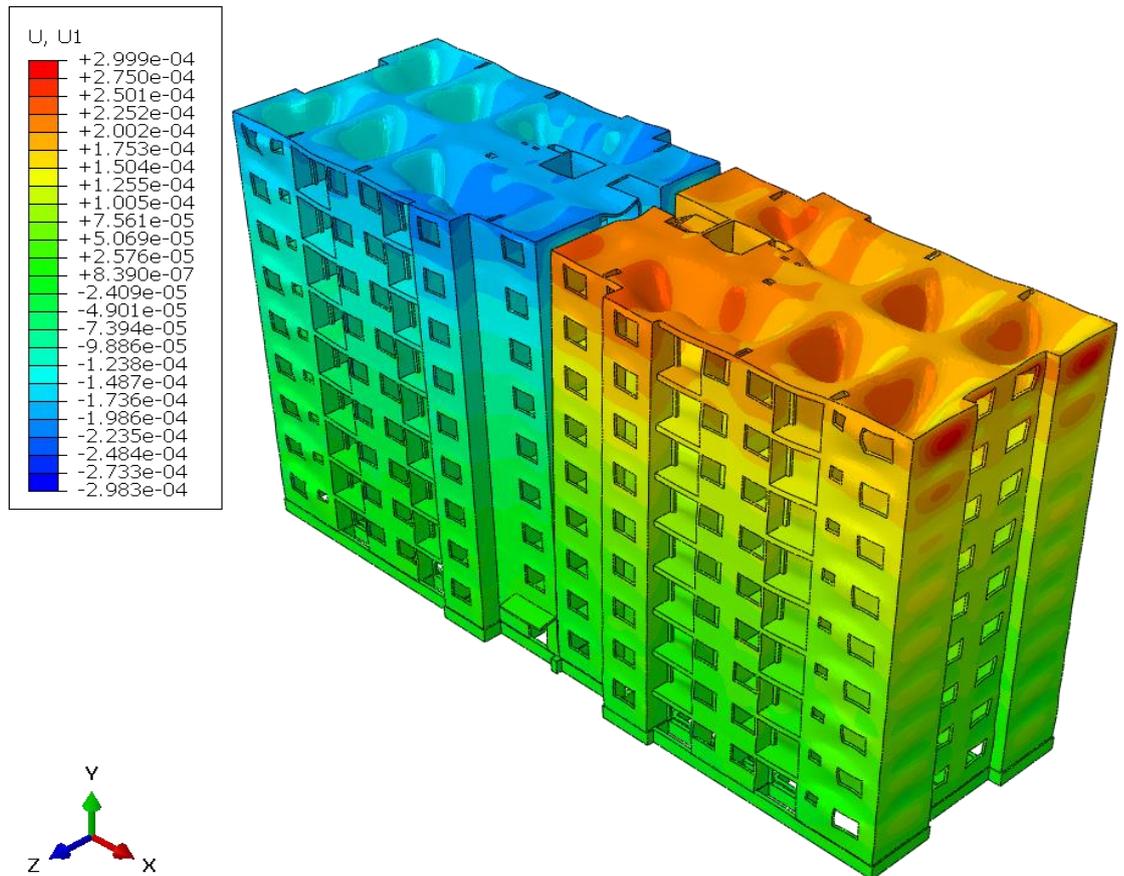


Figura 99- Deslocamentos - MODELO 9- U3

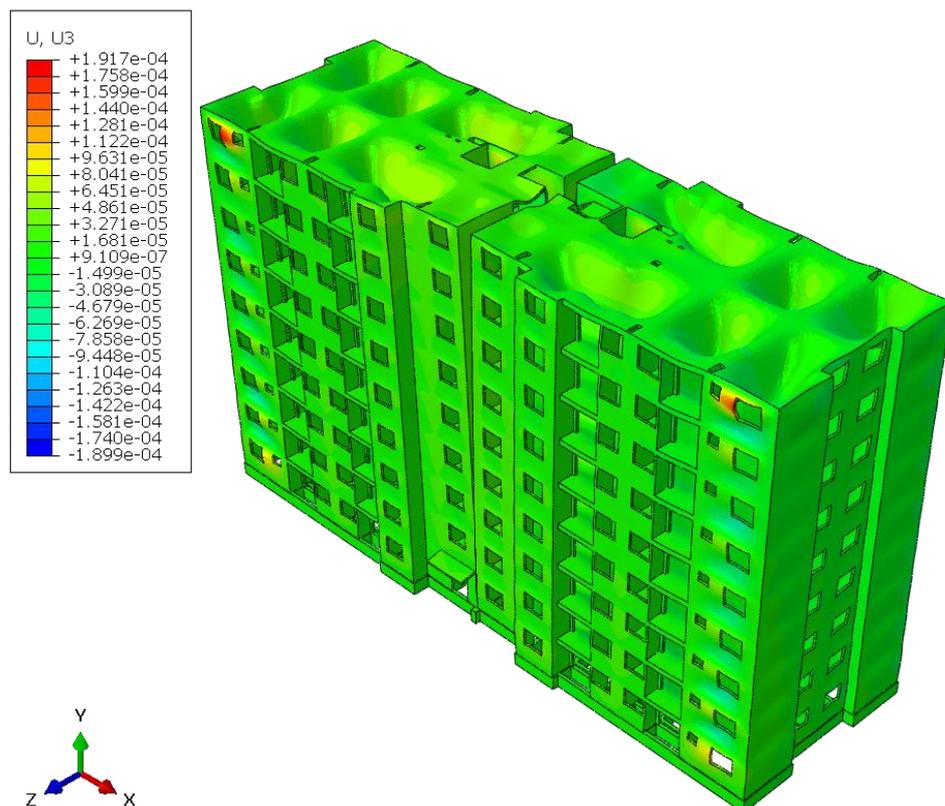


Figura 100- Tensões - MODELO 9- MÁXIMA PRINCIPAL

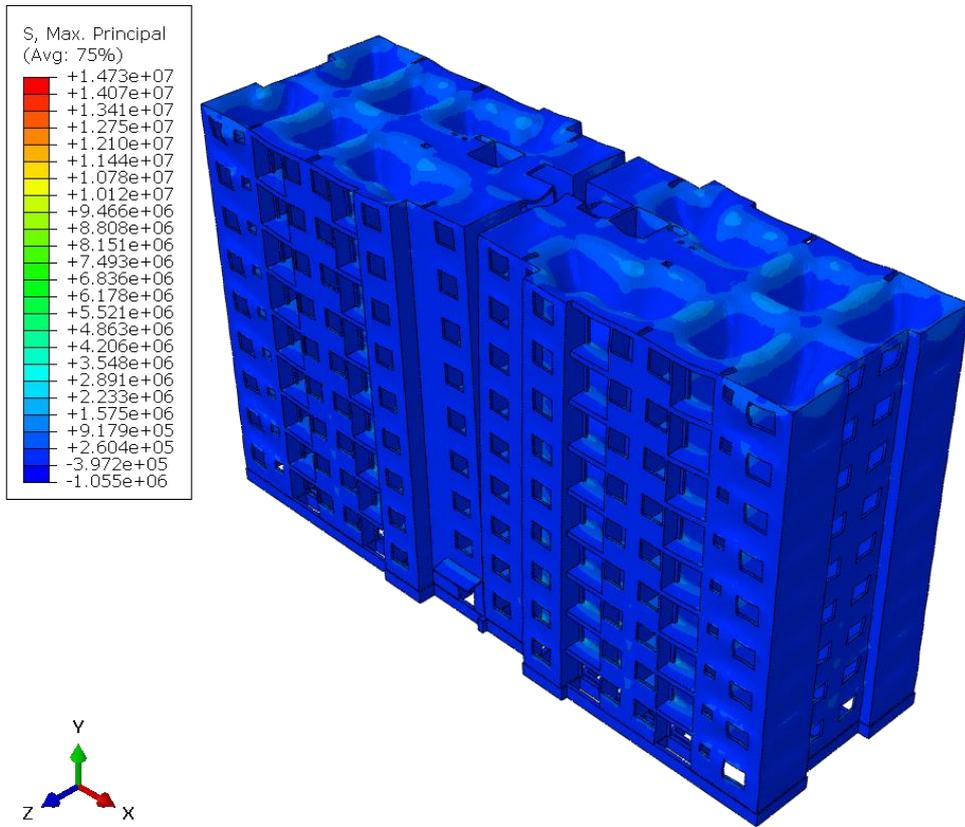


Figura 101- Tensões - MODELO 9- S12

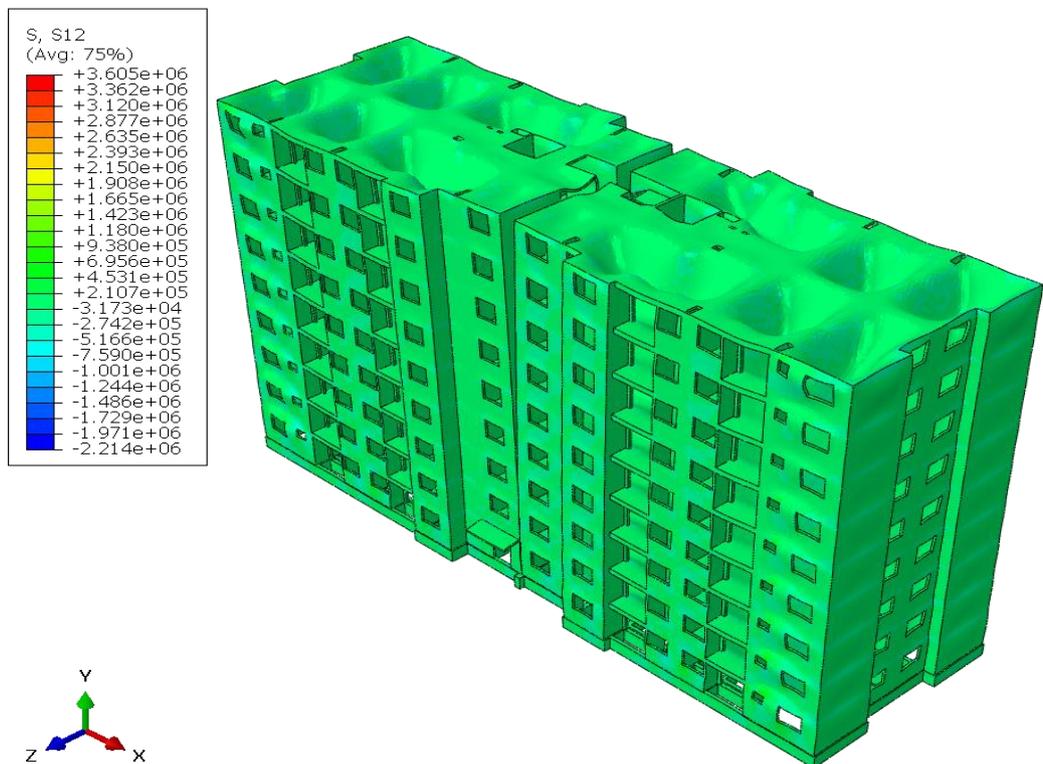


Figura 102- Tensões - MODELO 9- S23

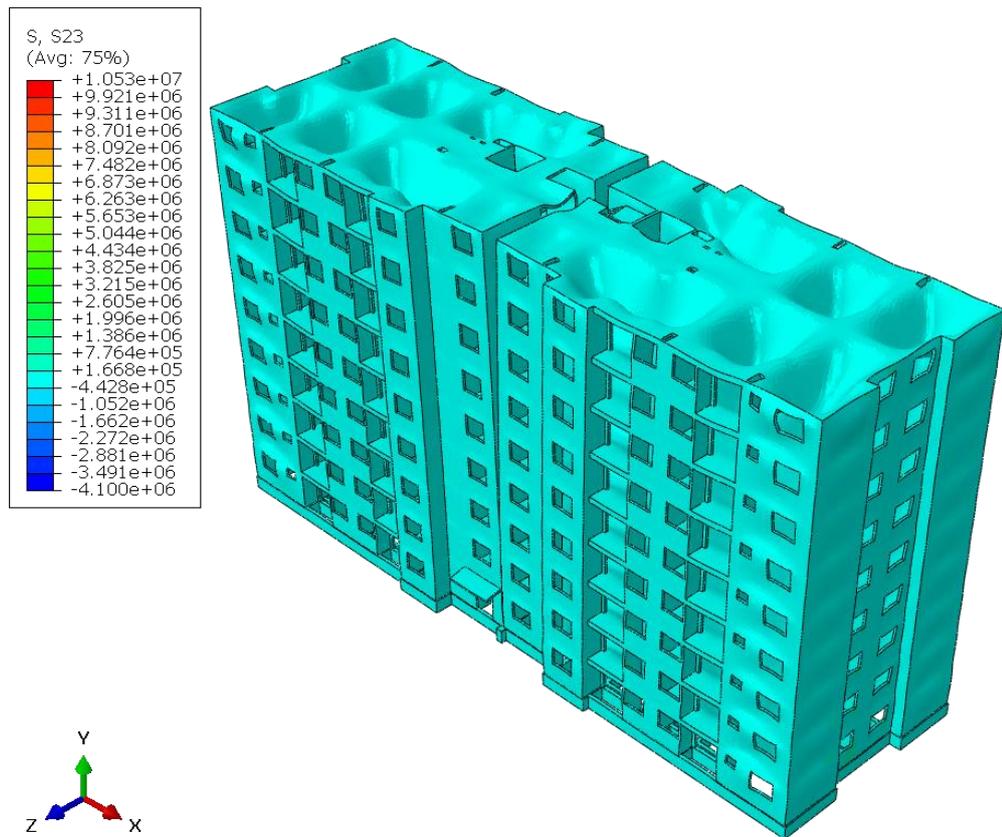


Figura 103- Deslocamentos - MODELO 10- U1

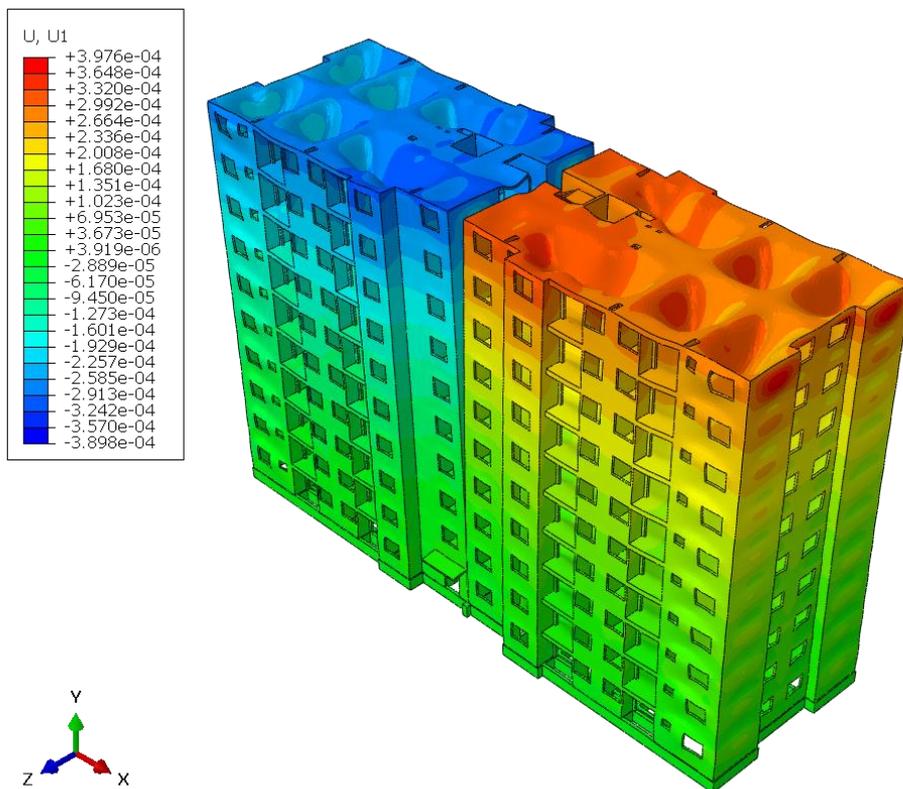


Figura 104- Deslocamentos - MODELO 10- U3

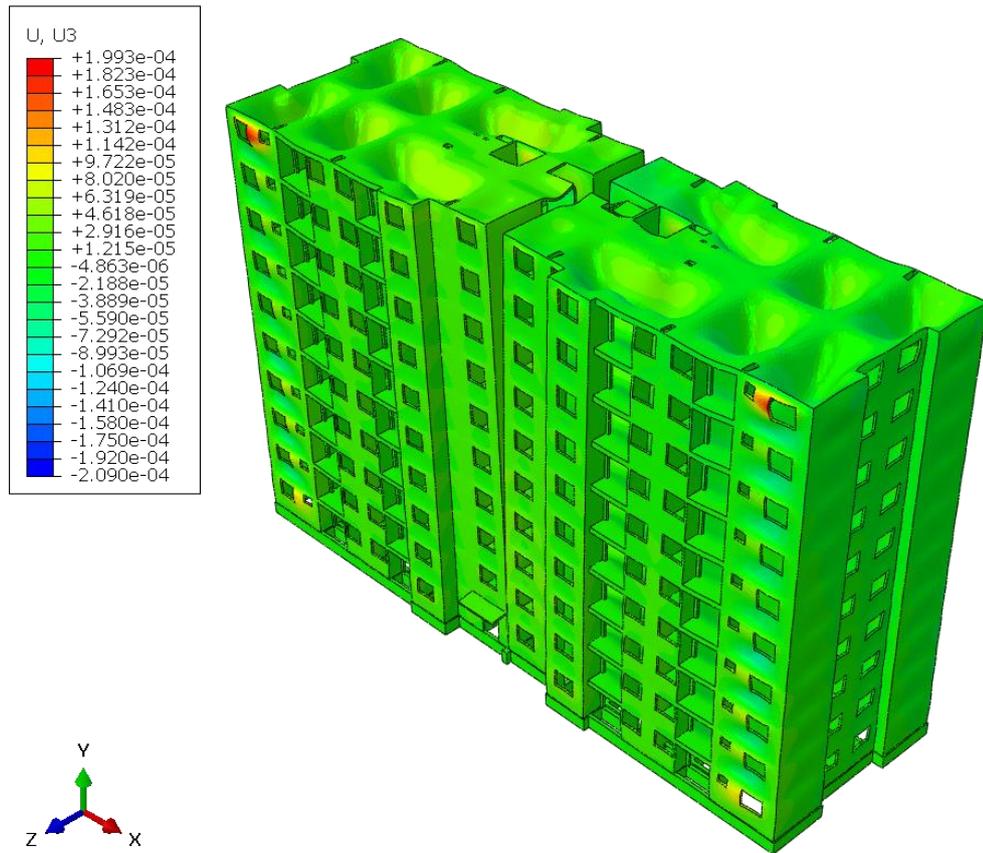


Figura 105- Tensões - MODELO 10- MÁXIMA PRINCIPAL

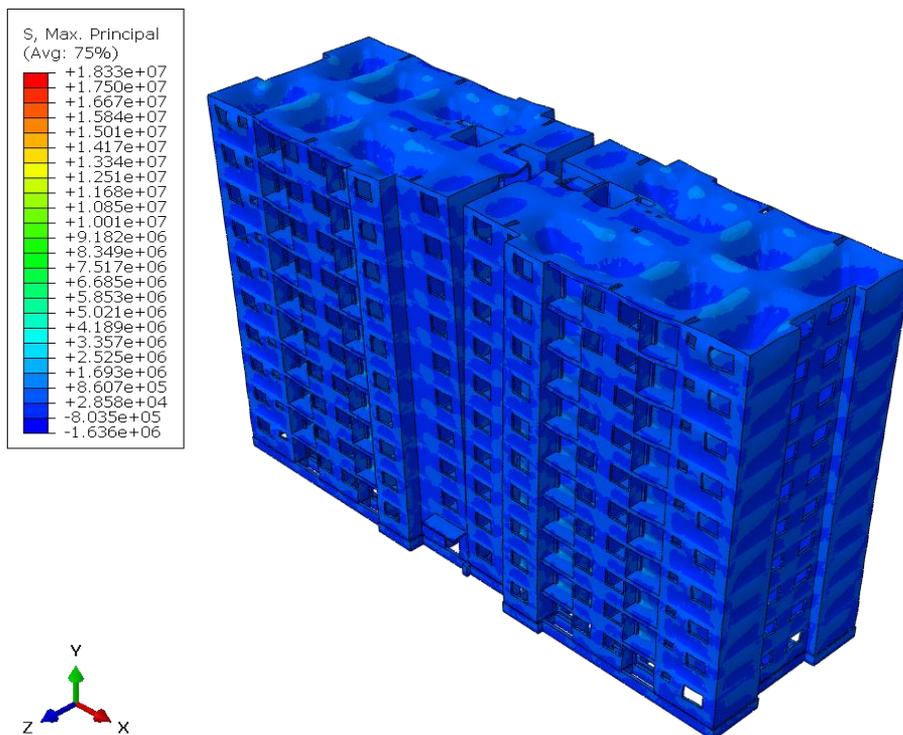


Figura 106- Tensões - MODELO 10- S12

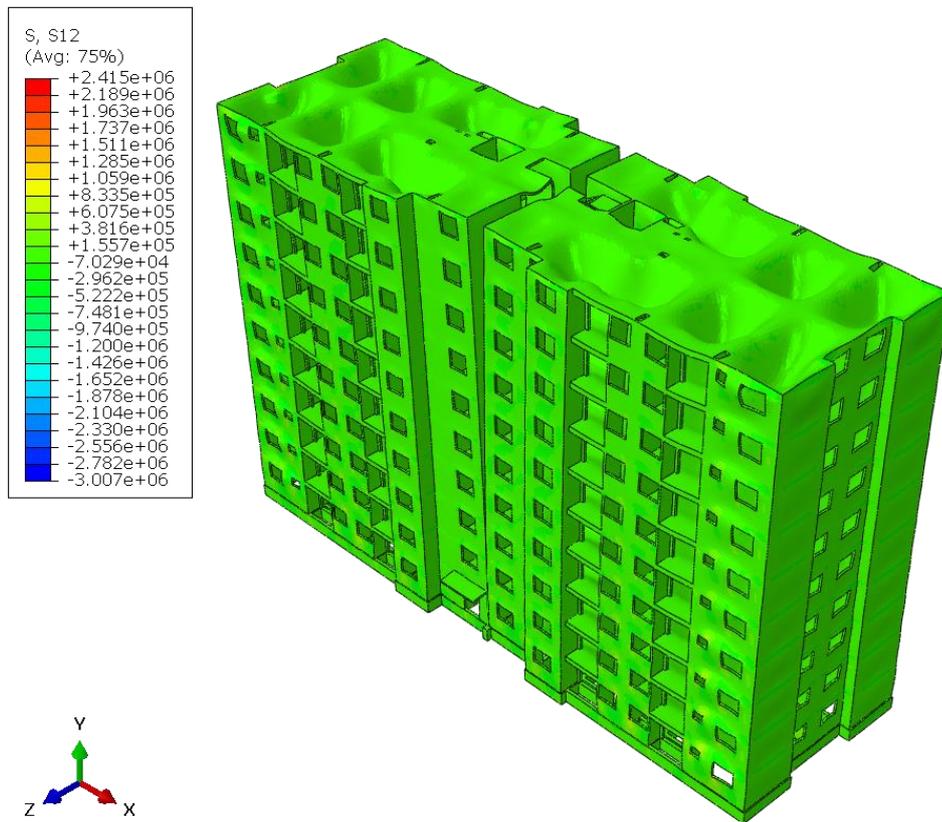


Figura 107- Tensões - MODELO 10- S23

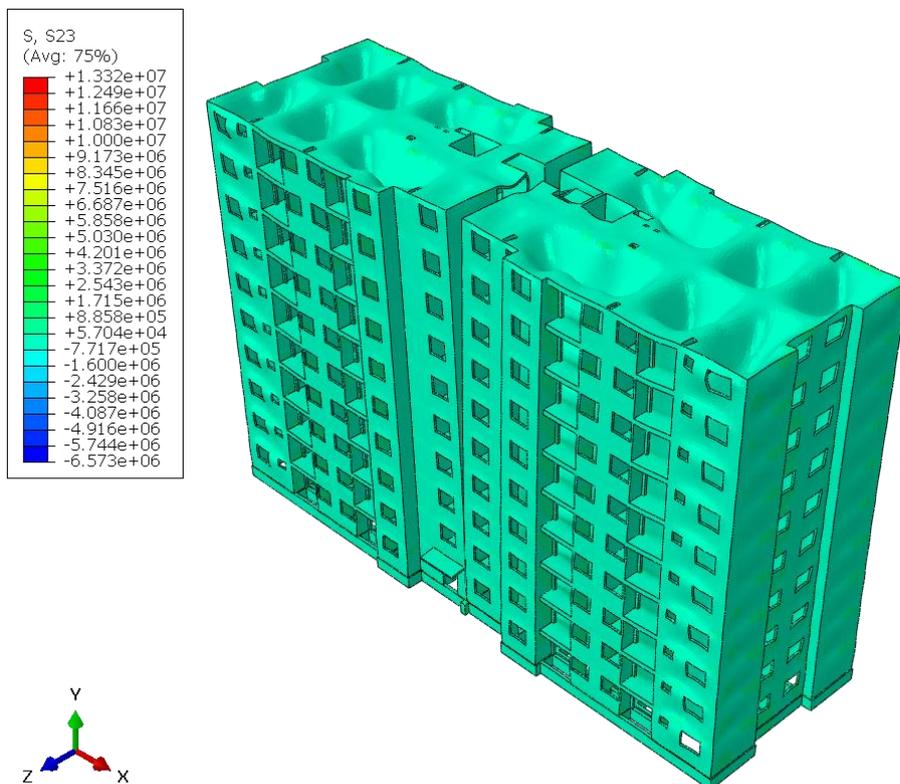


Figura 108- Deslocamentos - MODELO 11- U1

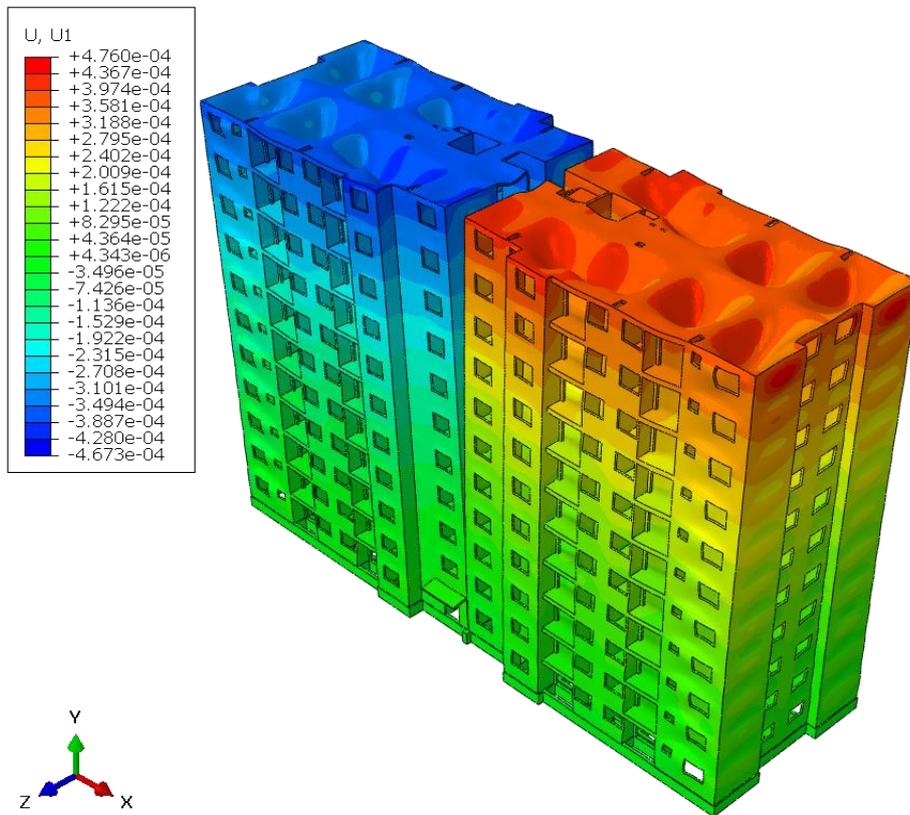


Figura 109- Deslocamentos - MODELO 11- U3

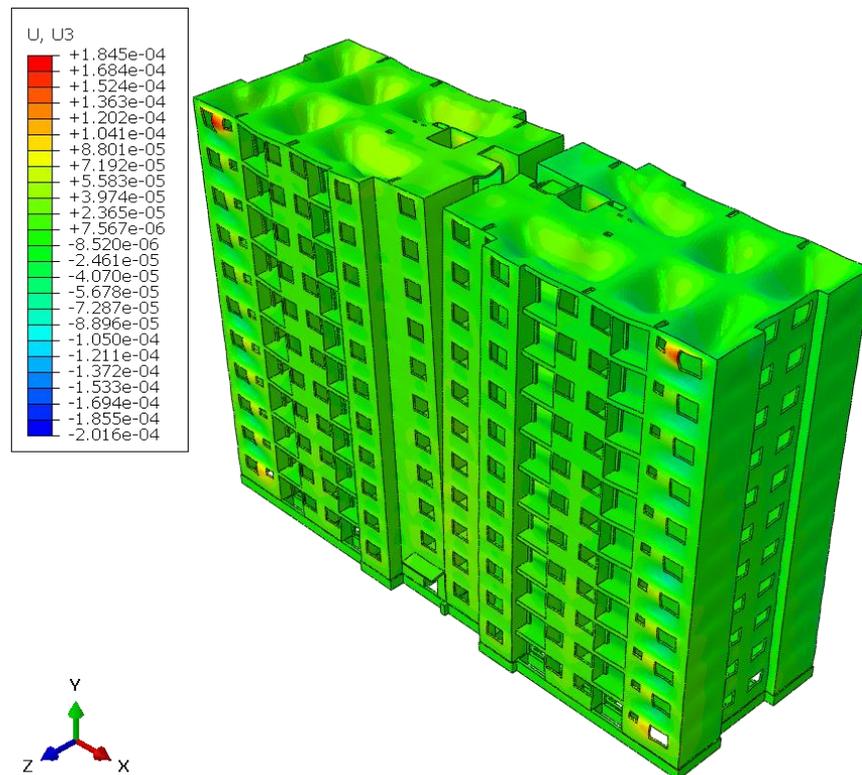


Figura 110- Tensões - MODELO 11- MÁXIMA PRINCIPAL

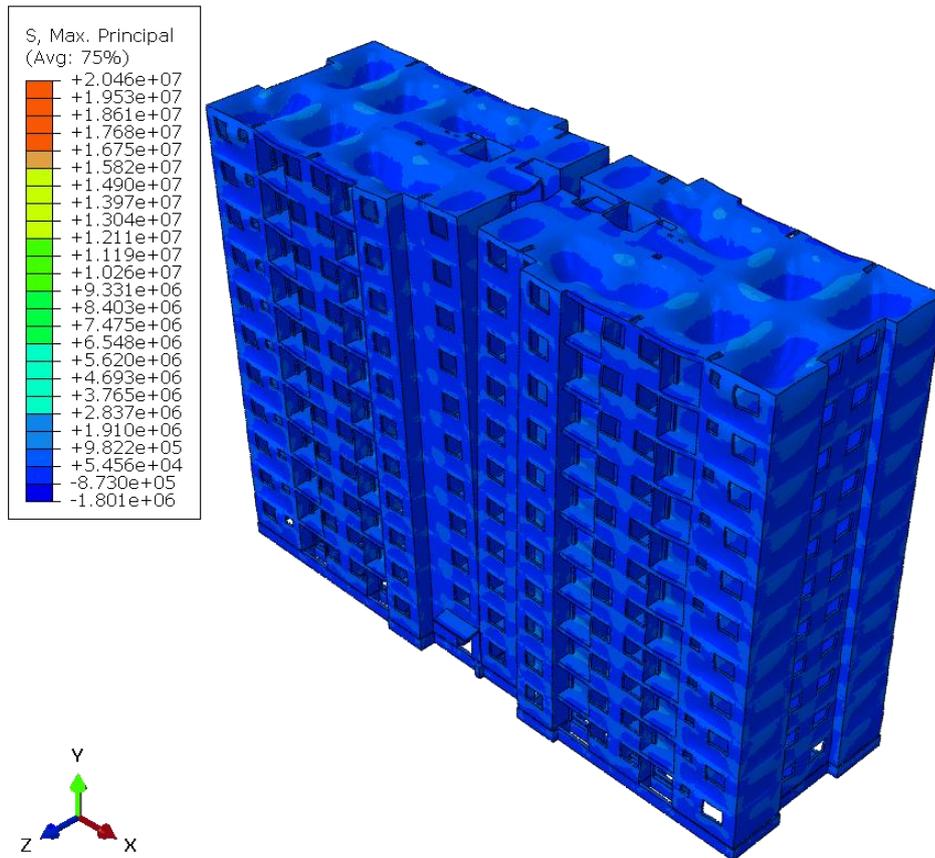


Figura 111 - Tensões - MODELO 11- S12

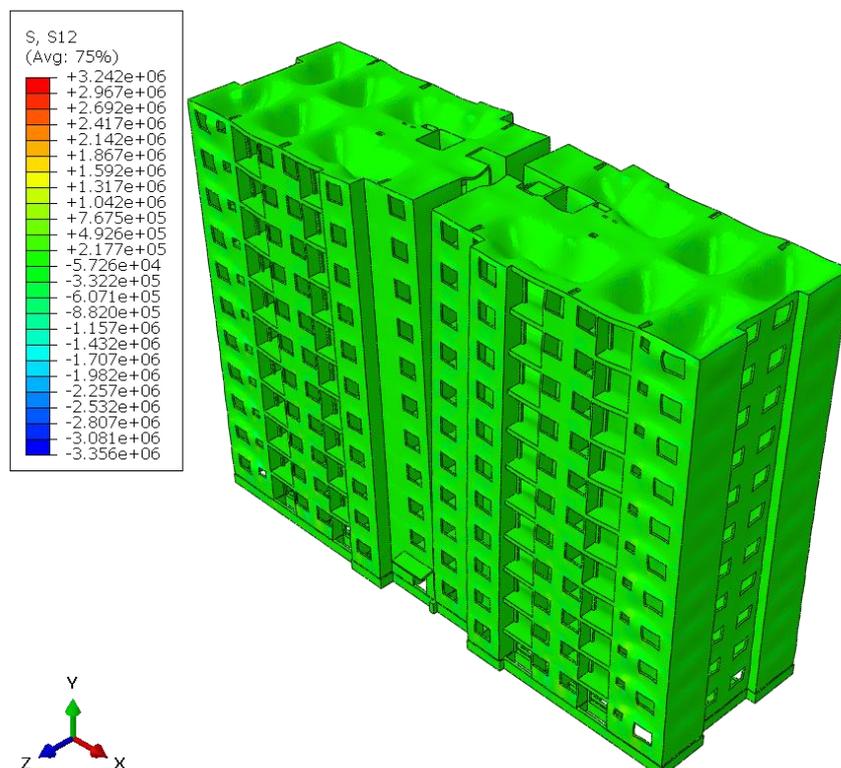


Figura 112- Tensões - MODELO 11- S23

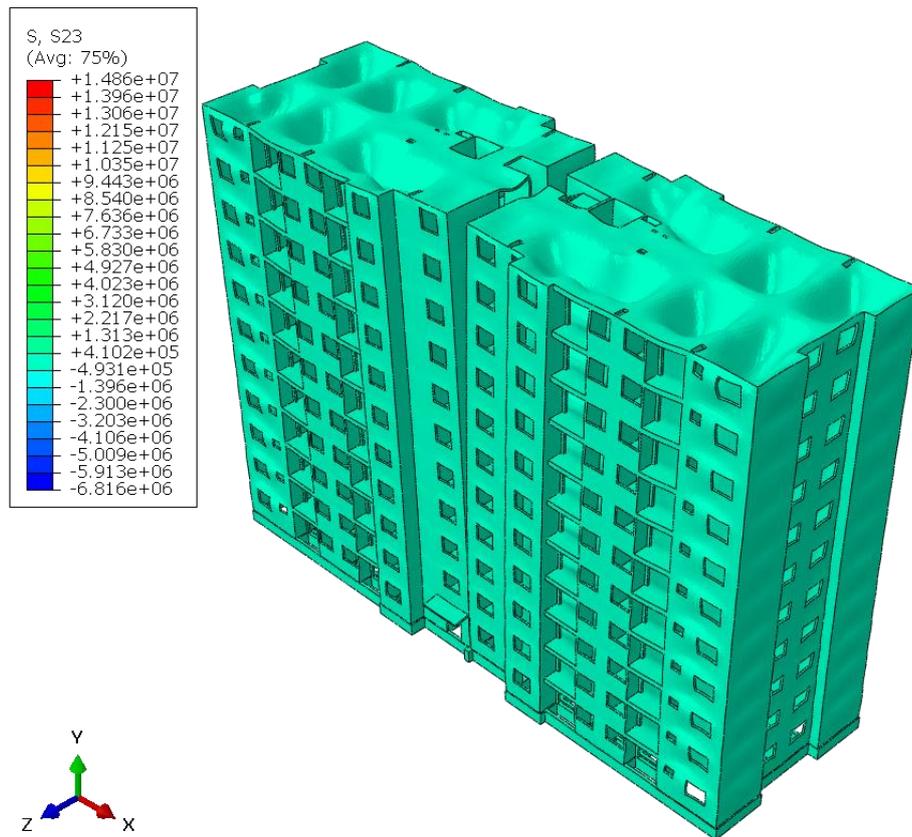


Figura 113- Deslocamentos - MODELO 12- U1

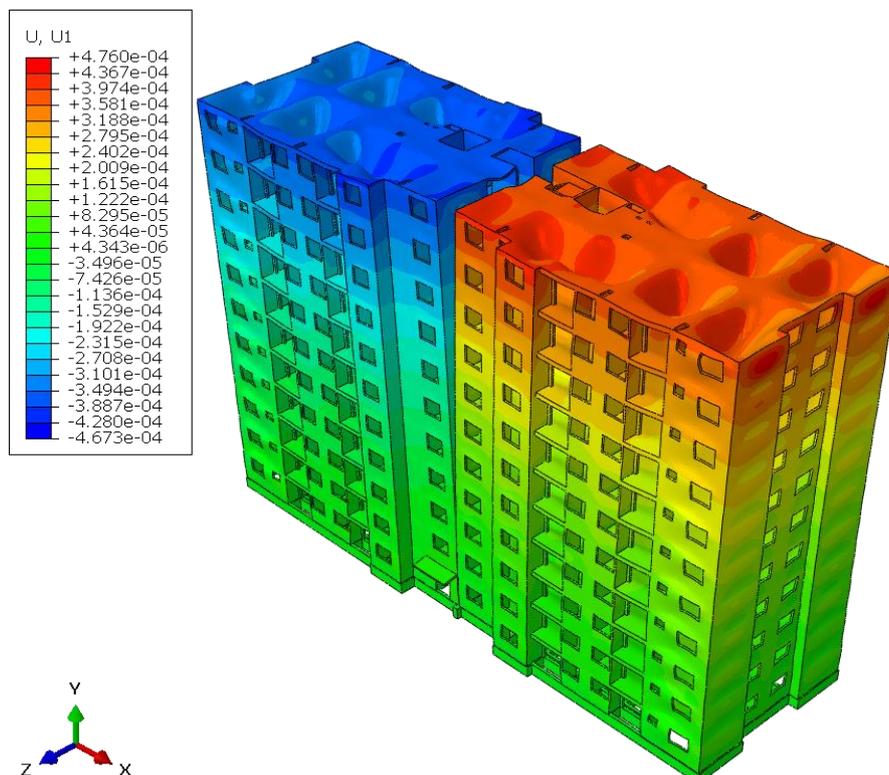


Figura 114- Deslocamentos - MODELO 12- U3

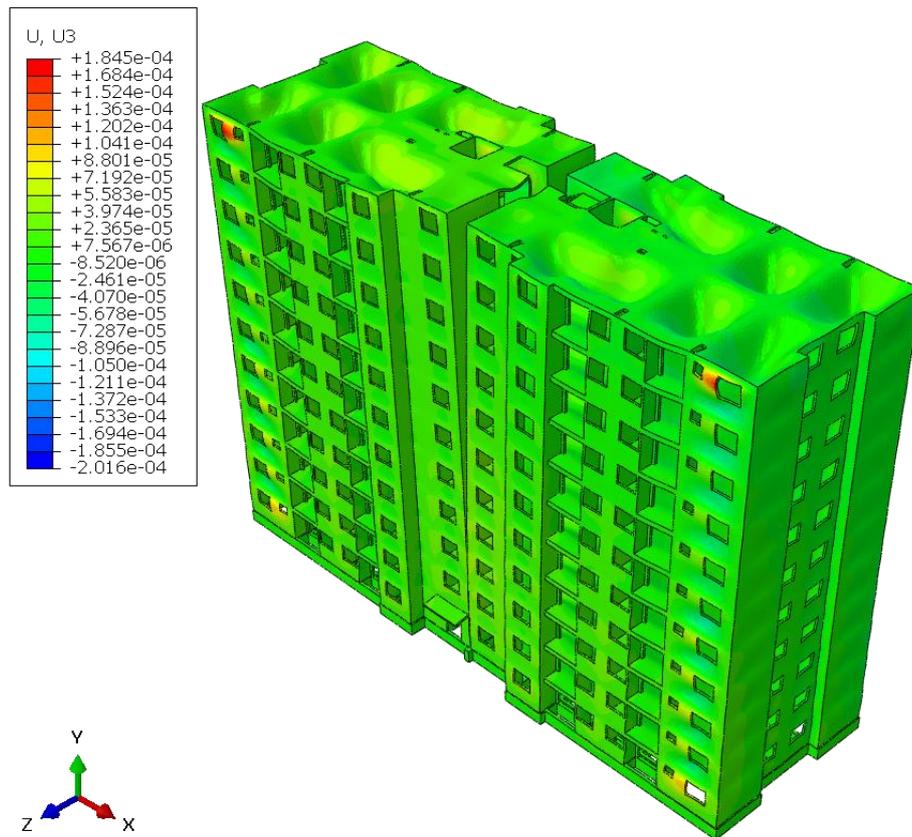


Figura 115 - Tensões - MODELO 12- MÁXIMA PRINCIPAL

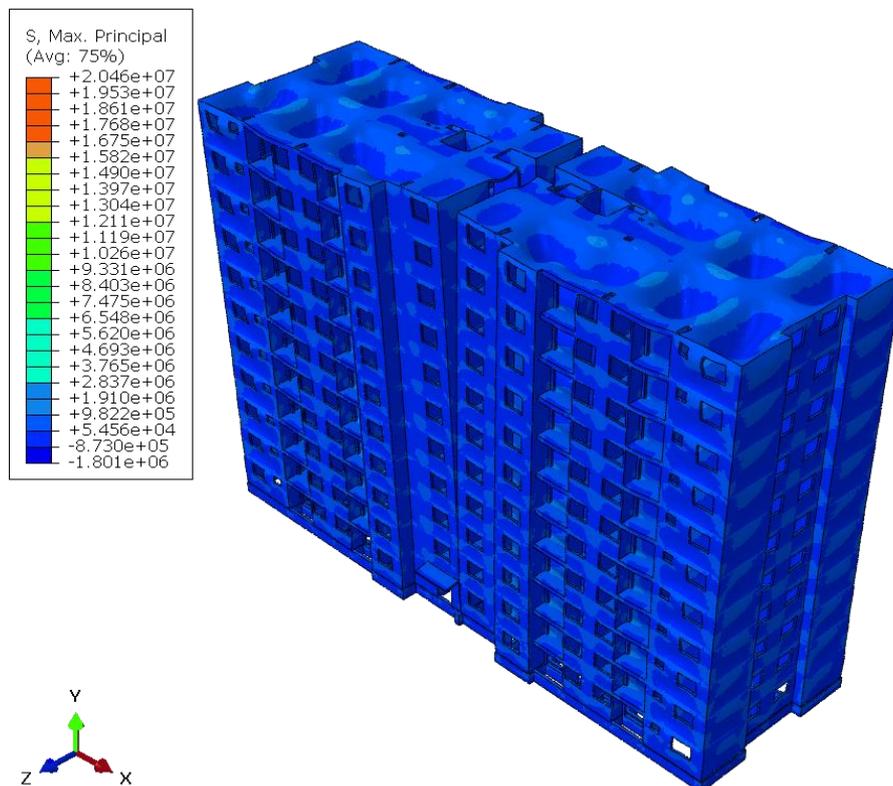


Figura 116- Tensões - MODELO 12- S12

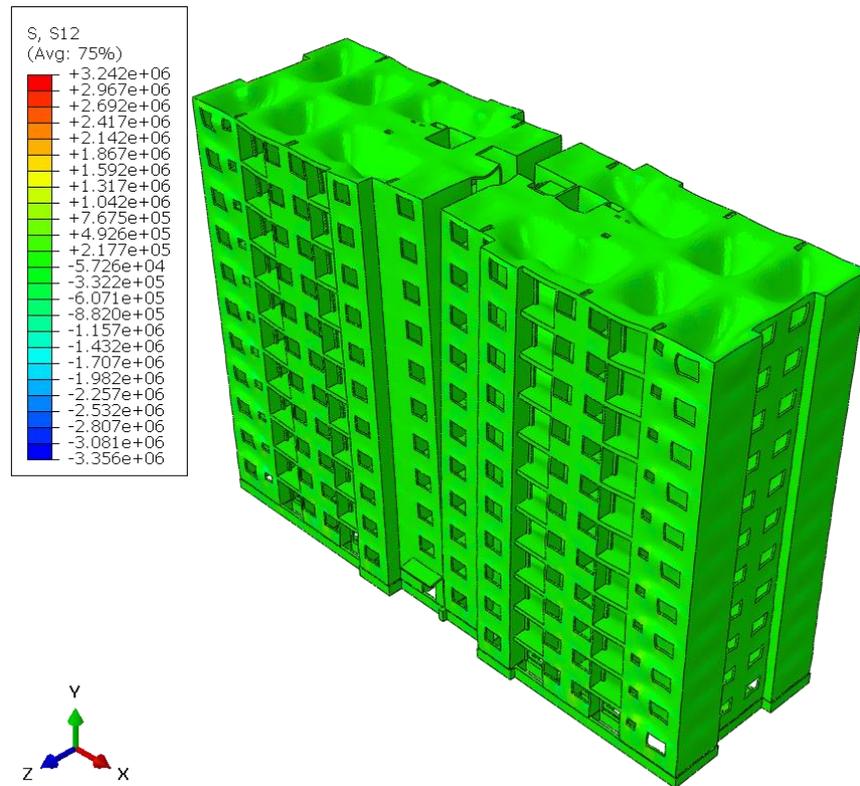


Figura 117 - Tensões - MODELO 12- S23

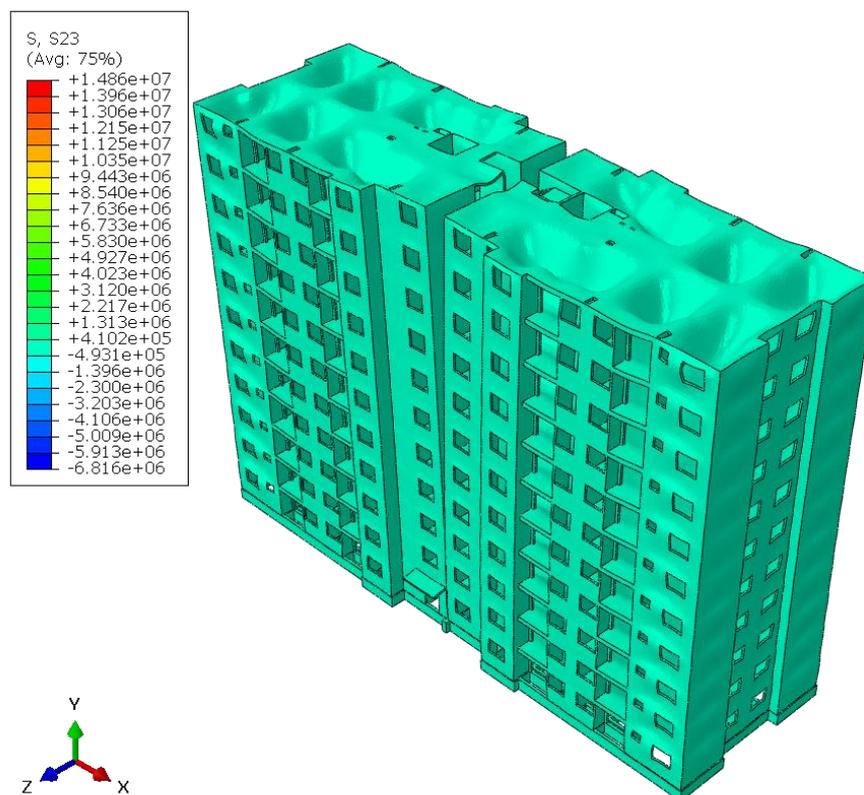


Figura 118-- Deslocamentos - MODELO 13- U1

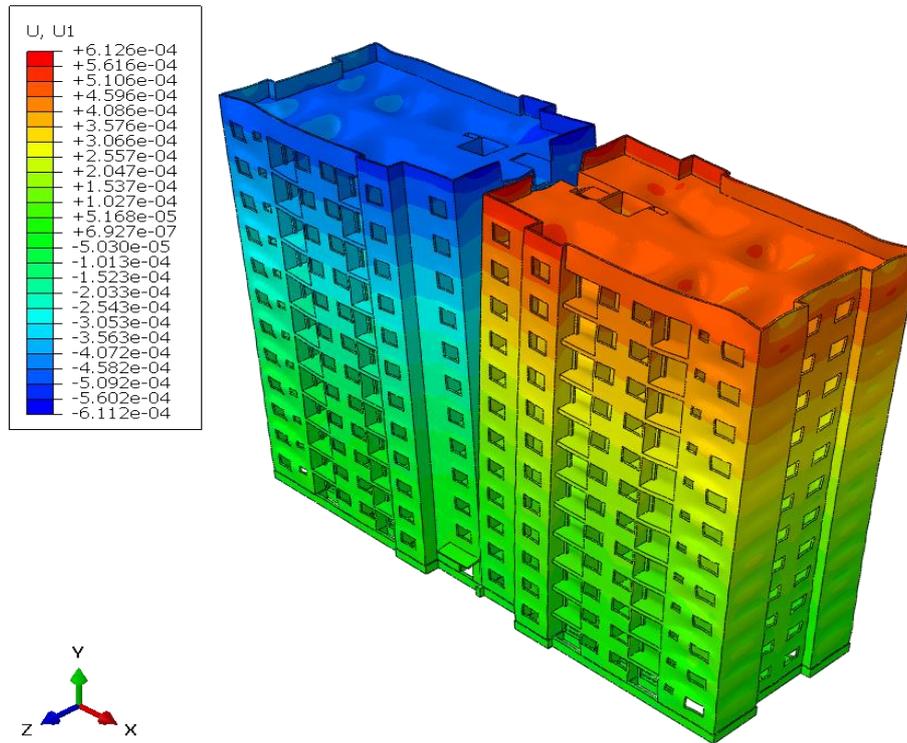


Figura 119 - Deslocamentos - MODELO 13- U3

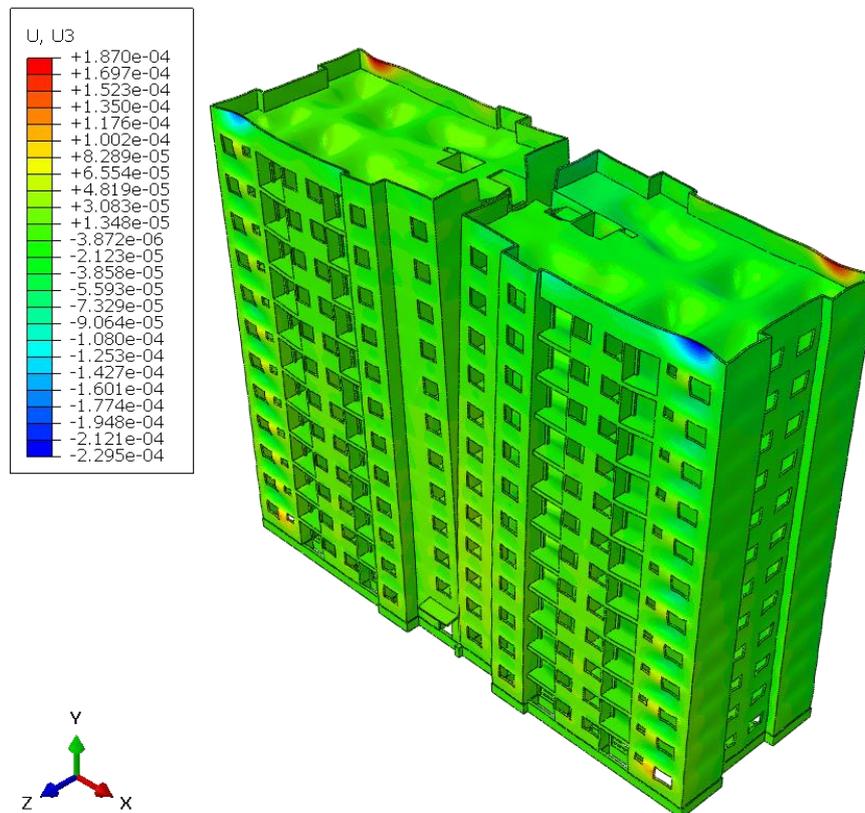


Figura 120 - Tensões - MODELO 13- MÁXIMA PRINCIPAL

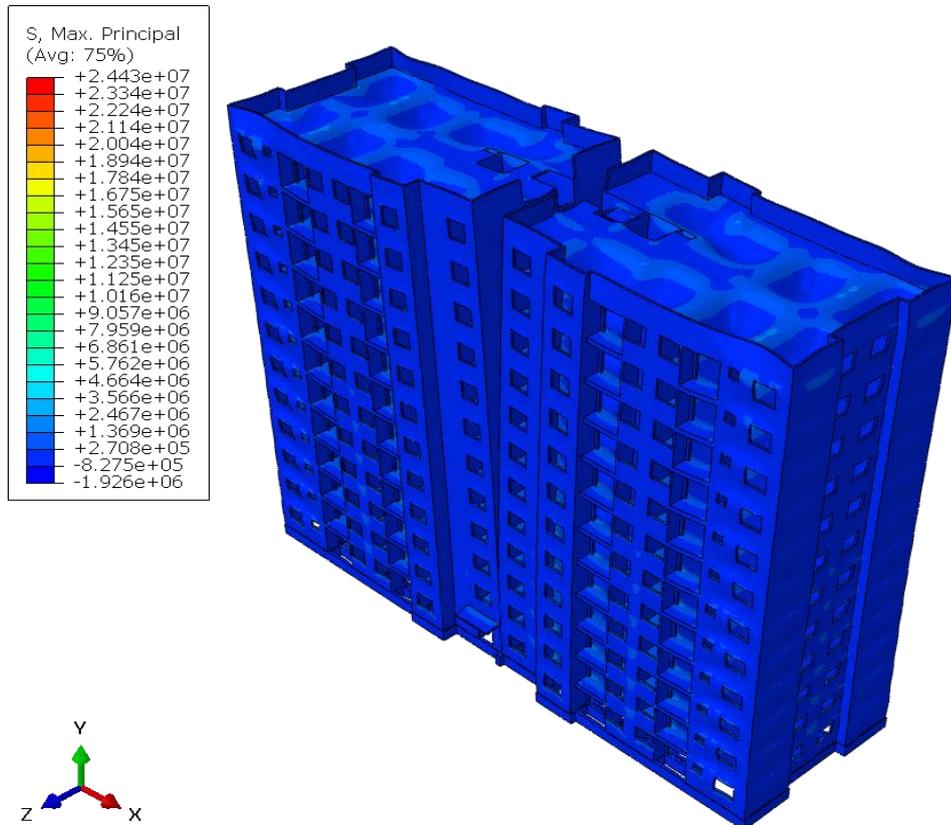


Figura 121 - Tensões - MODELO 13- S12

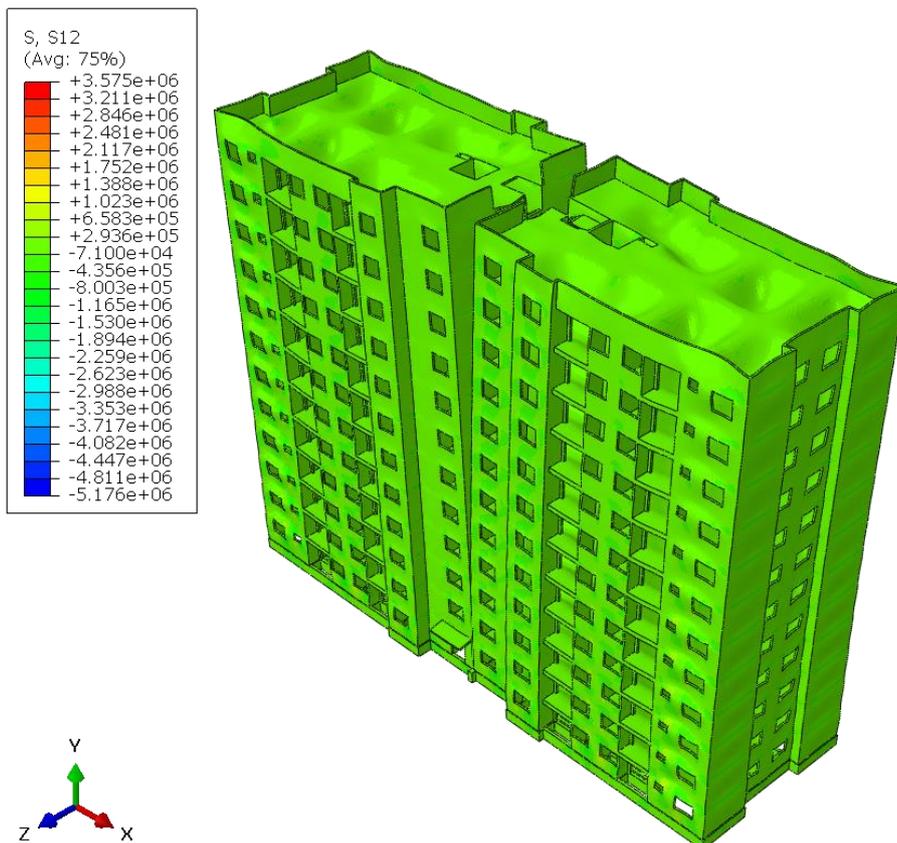


Figura 122 - Tensões - MODELO 13- S23

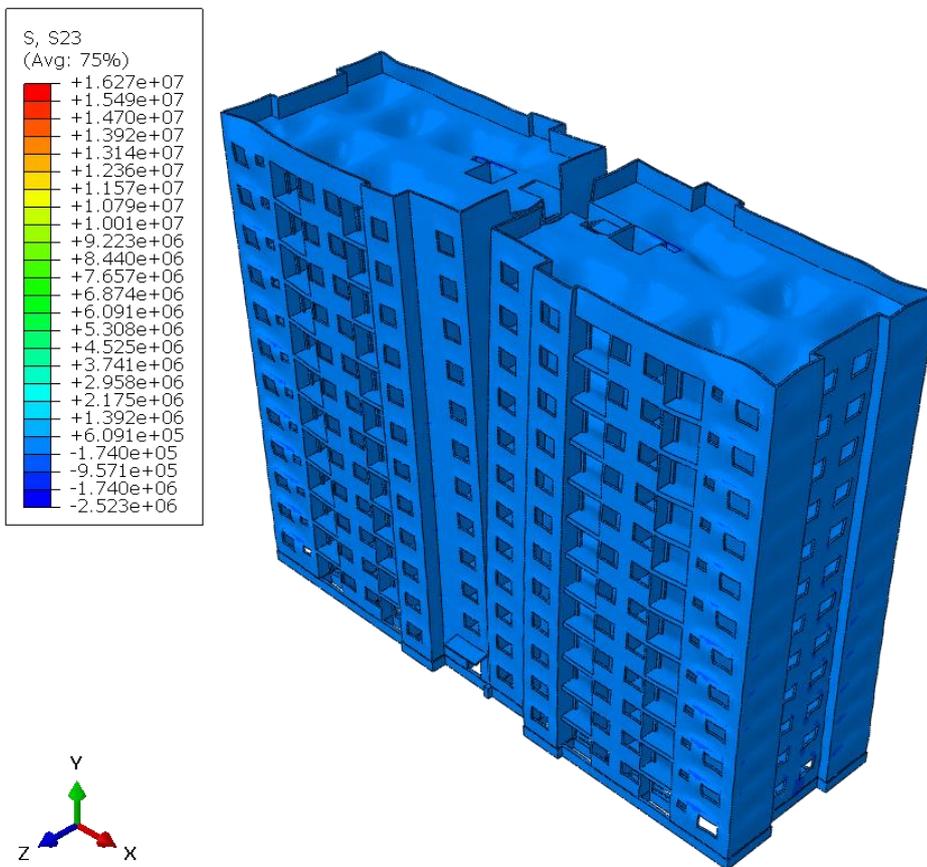


Figura 123- Deslocamentos - MODELO 14- U1

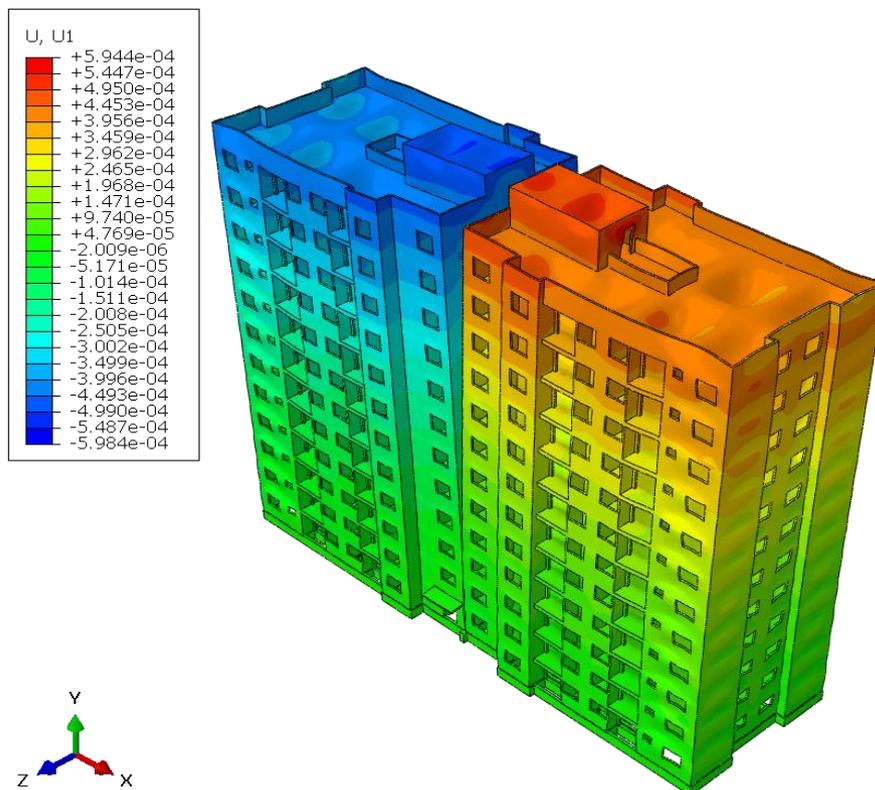


Figura 124- Deslocamentos - MODELO 14- U3

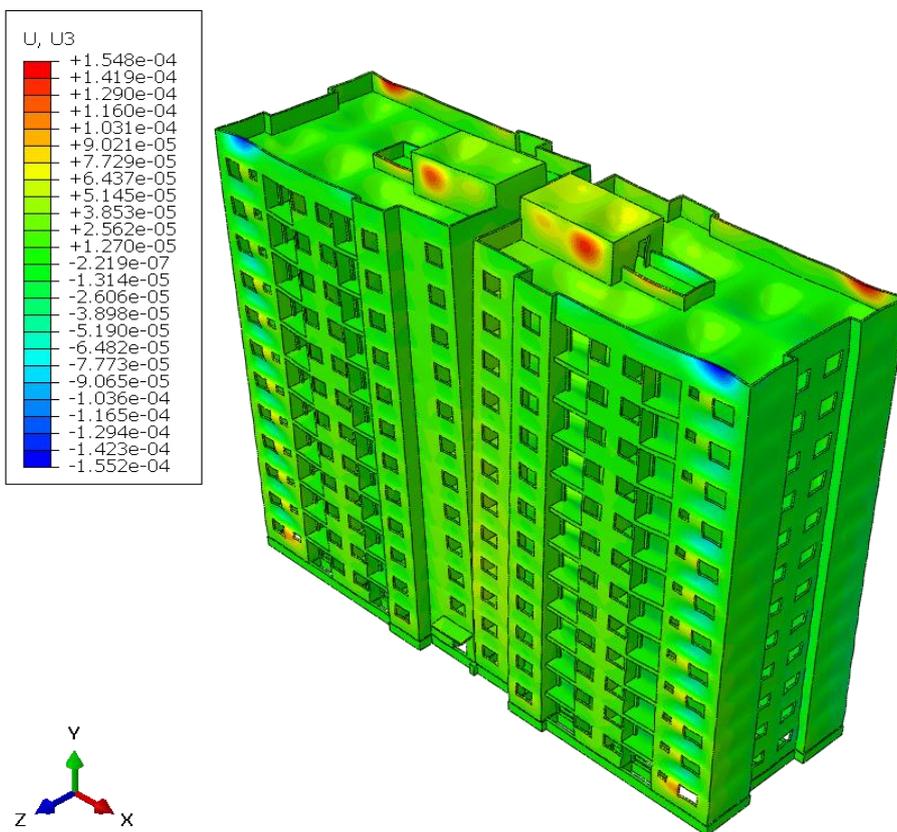


Figura 125 - Tensões - MODELO 14- MÁXIMA PRINCIPAL

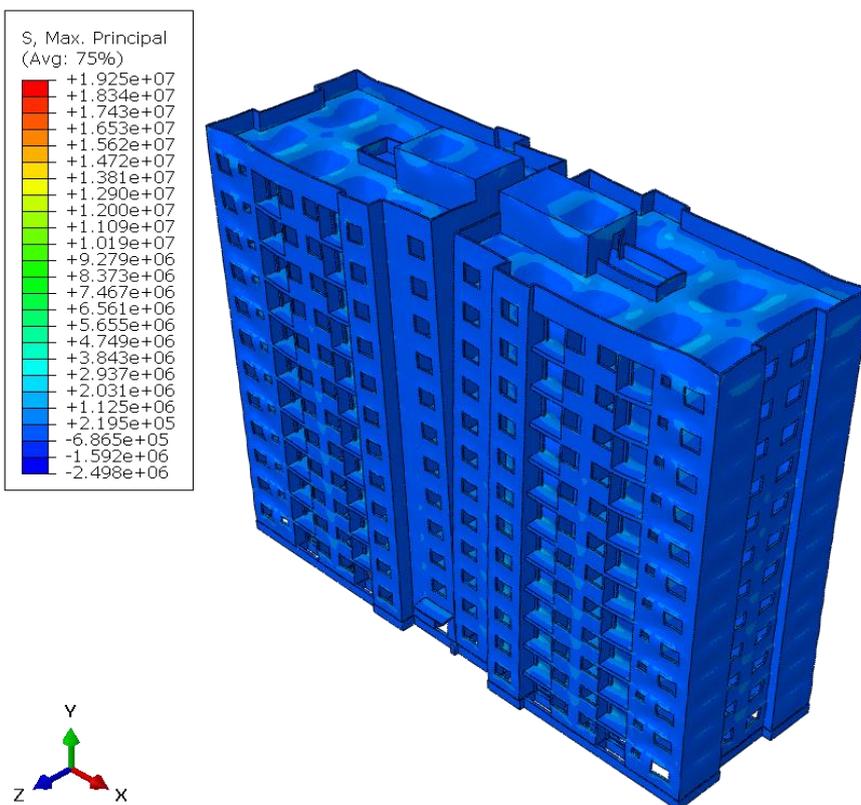


Figura 126- Tensões - MODELO 14- S12

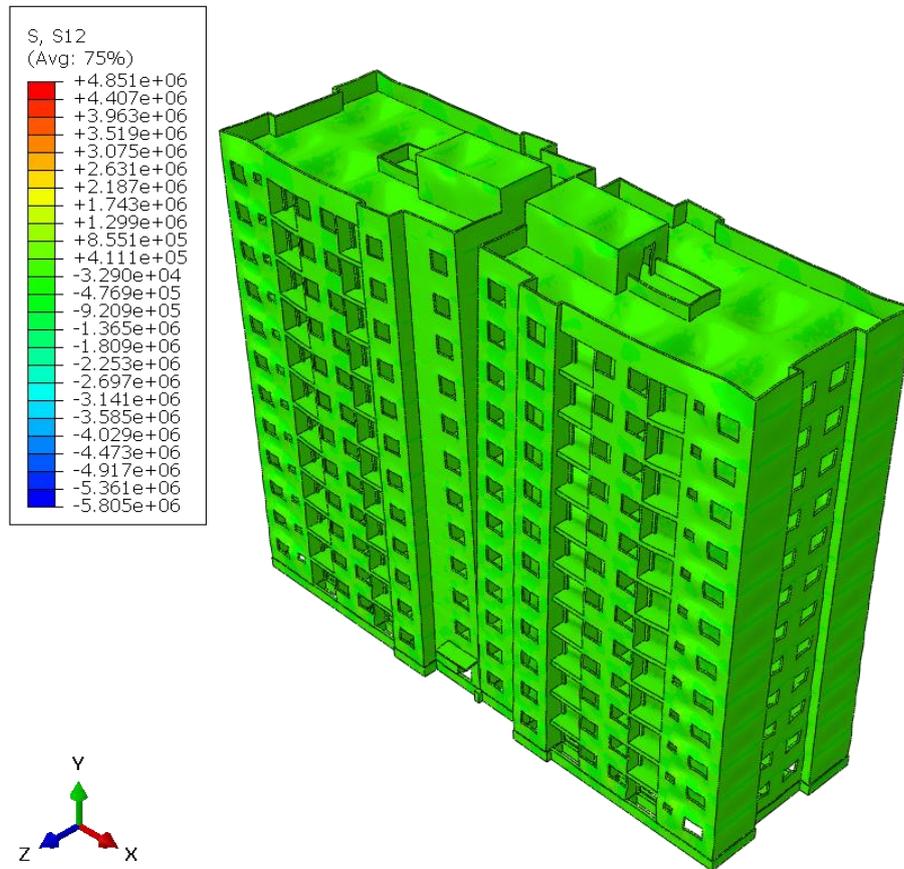


Figura 127 - Tensões - MODELO 14- S23

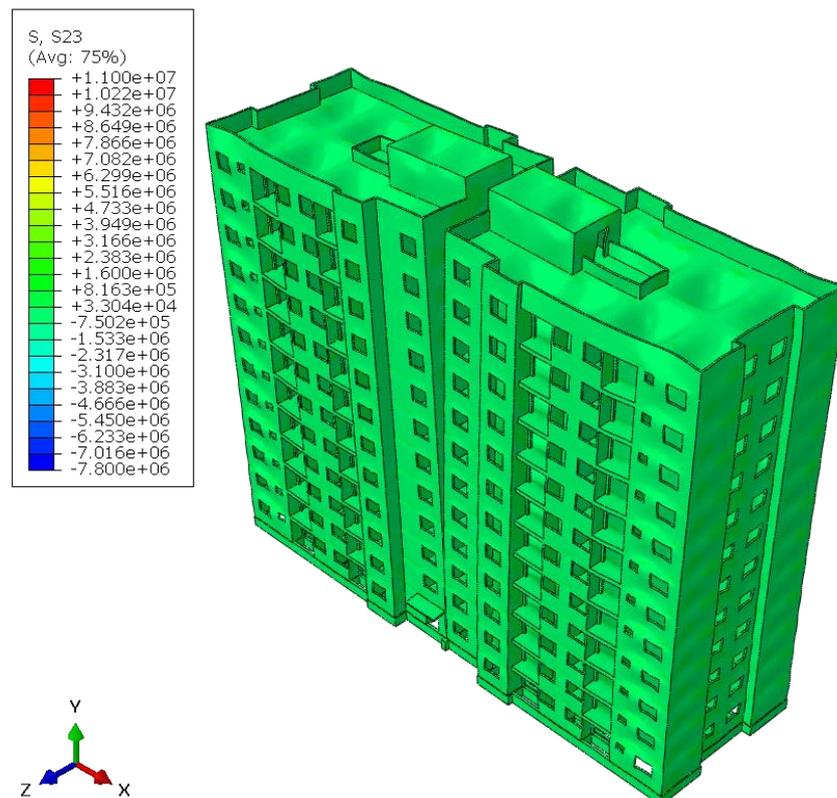


Figura 128- Deslocamentos - MODELO 15- U1

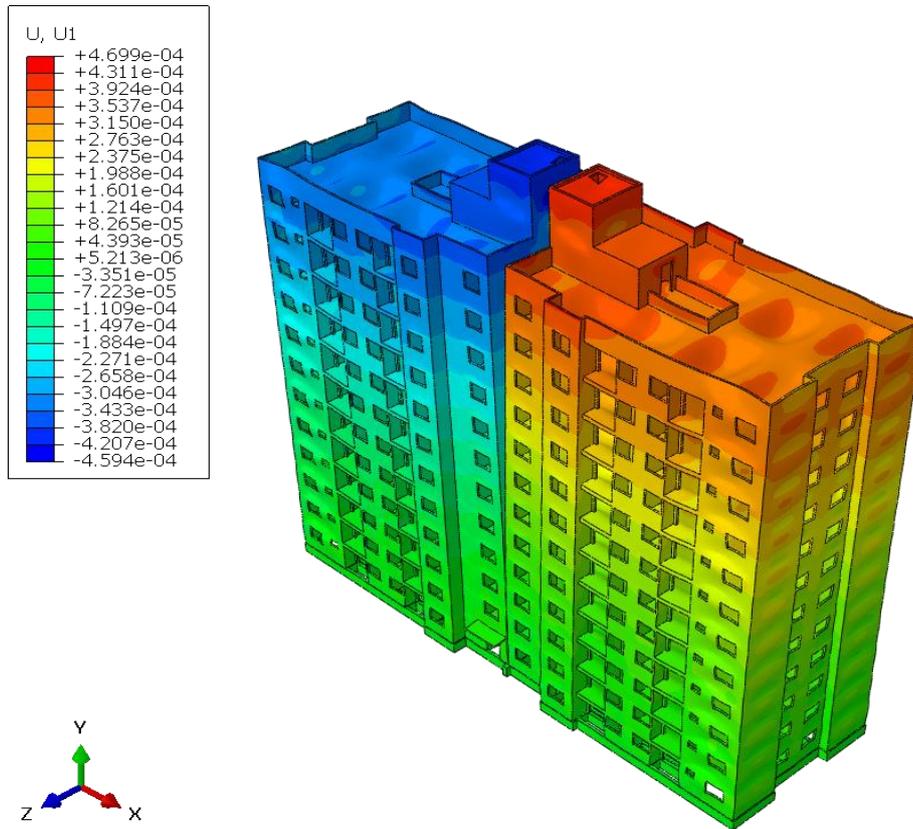


Figura 129- Deslocamentos - MODELO 15- U3

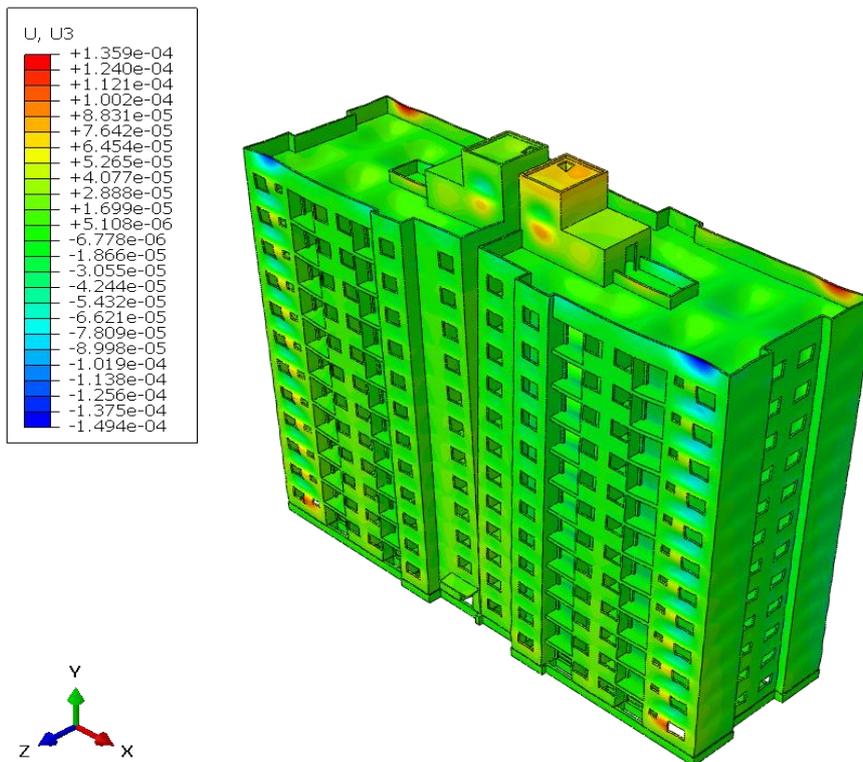


Figura 130- Tensões - MODELO 15- MÁXIMA PRINCIPAL

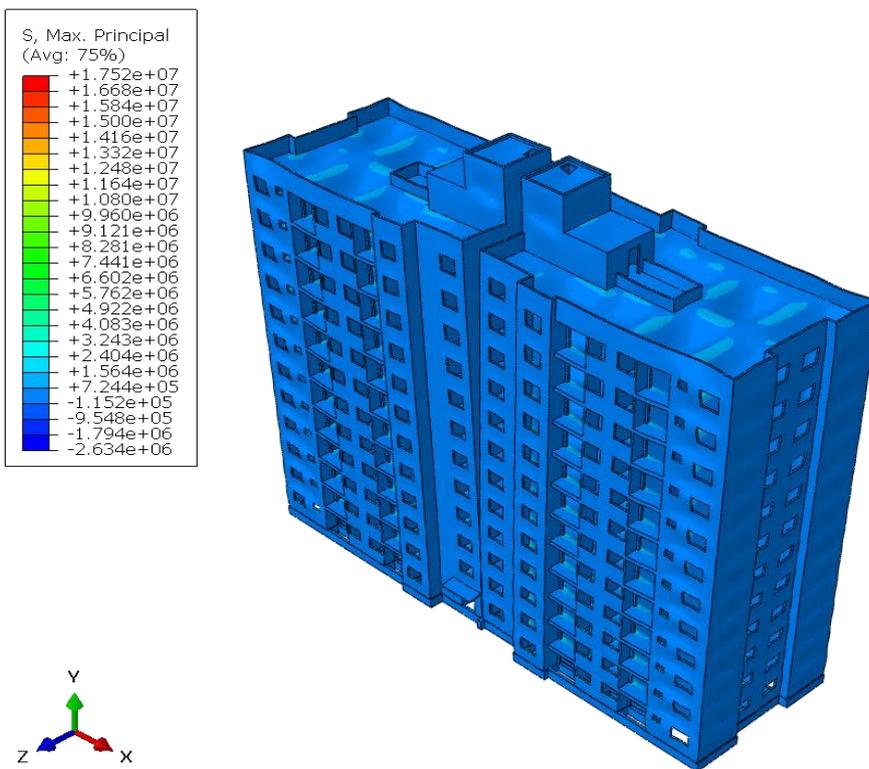


Figura 131- Tensões - MODELO 15- S12

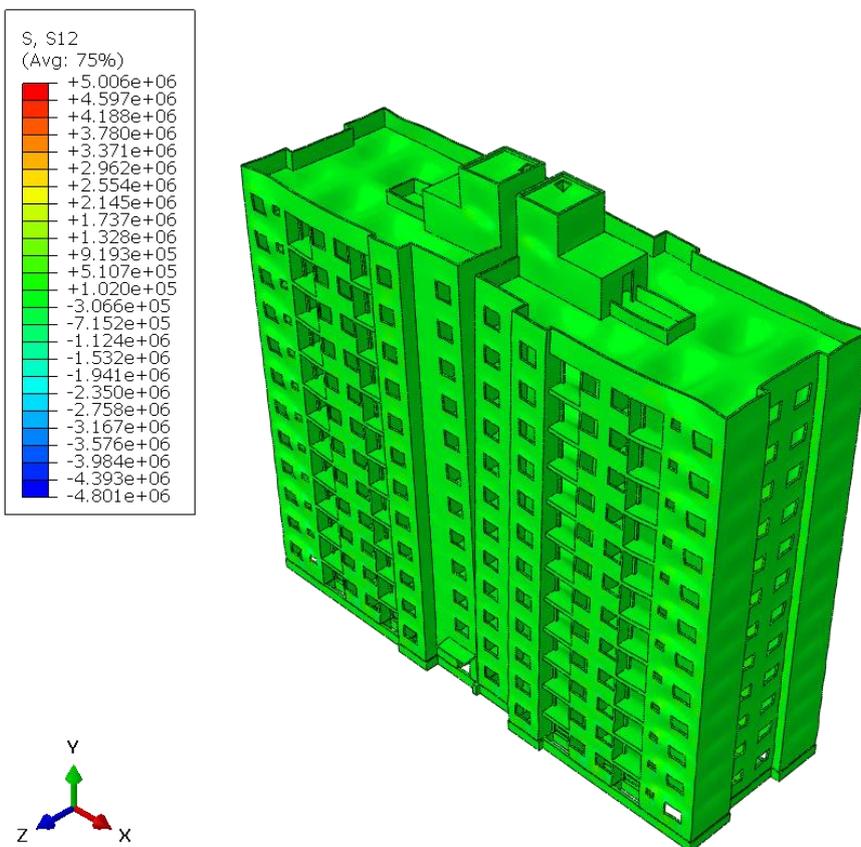


Figura 132- Tensões - MODELO 15- S23

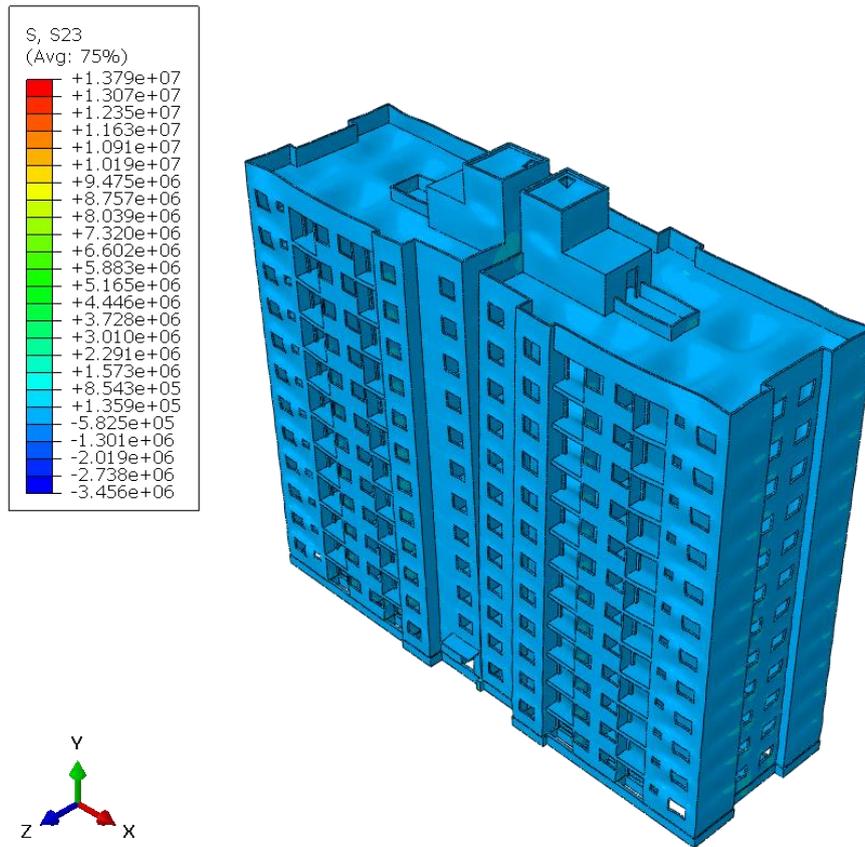


Figura 133- Deslocamentos - MODELO 16 - 1 - U1

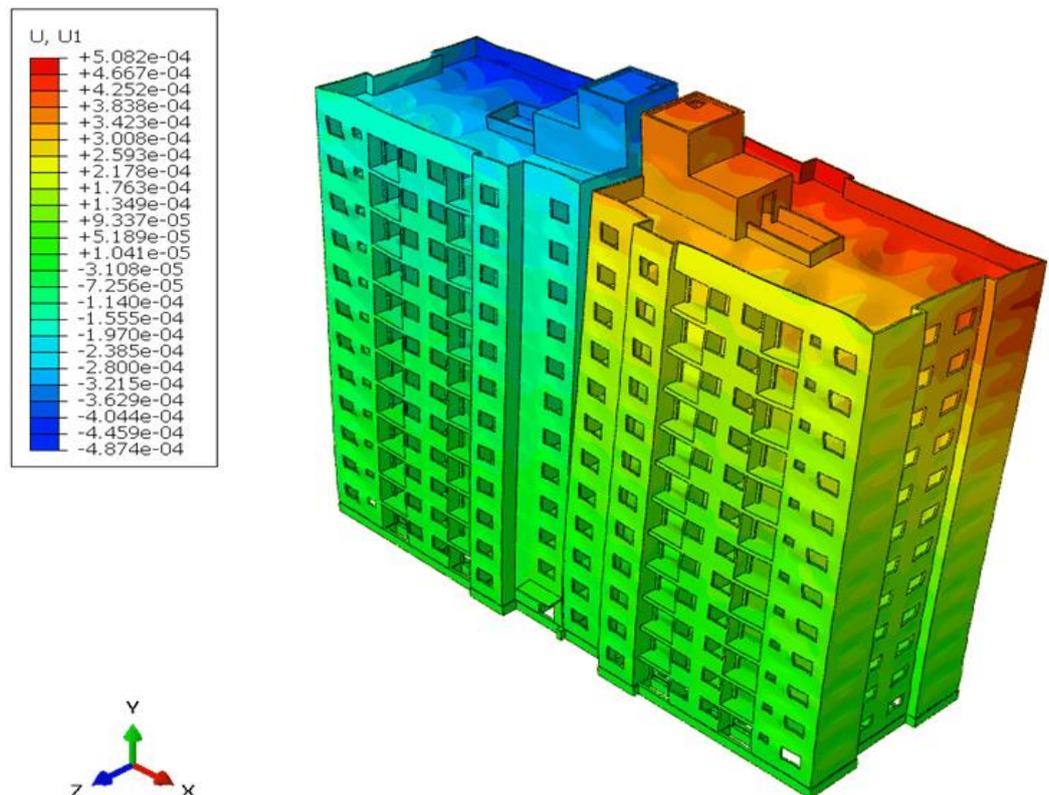


Figura 134- Deslocamentos - MODELO 16 - 1 - U3

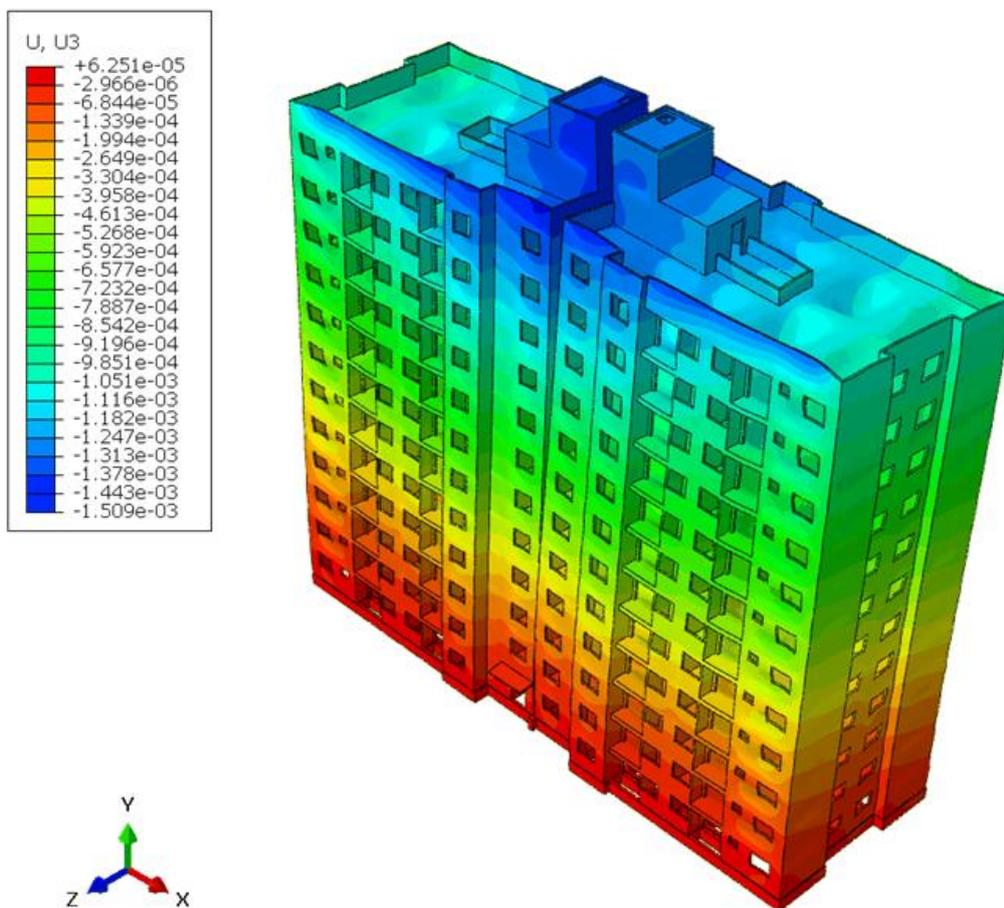


Figura 135 - Tensões - MODELO 16 -1 - MÁXIMA PRINCIPAL

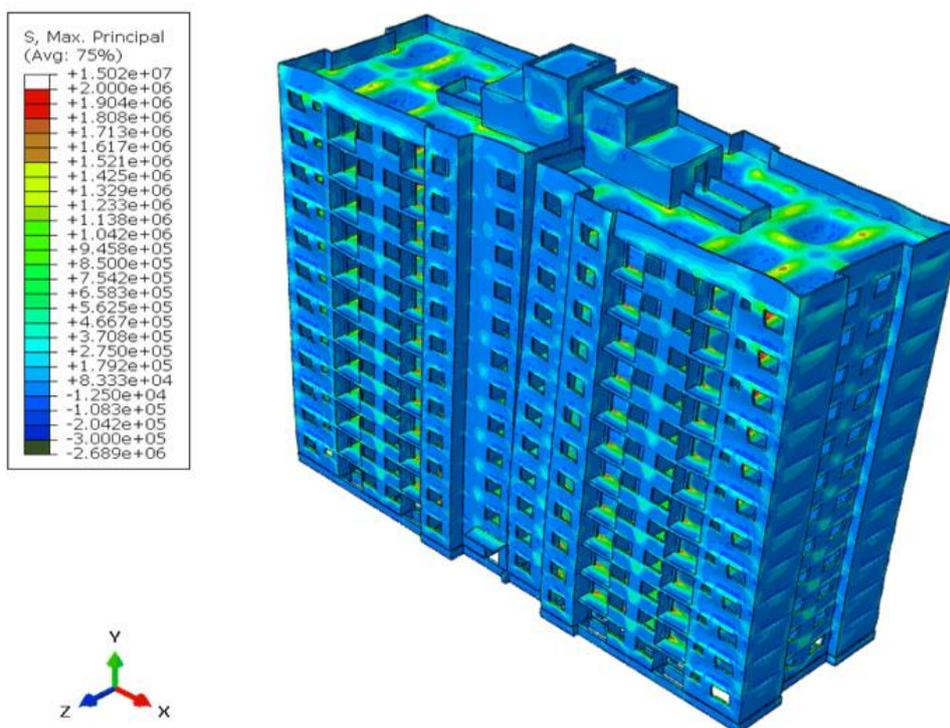


Figura 136- Tensões - MODELO 16 - 1 - S12

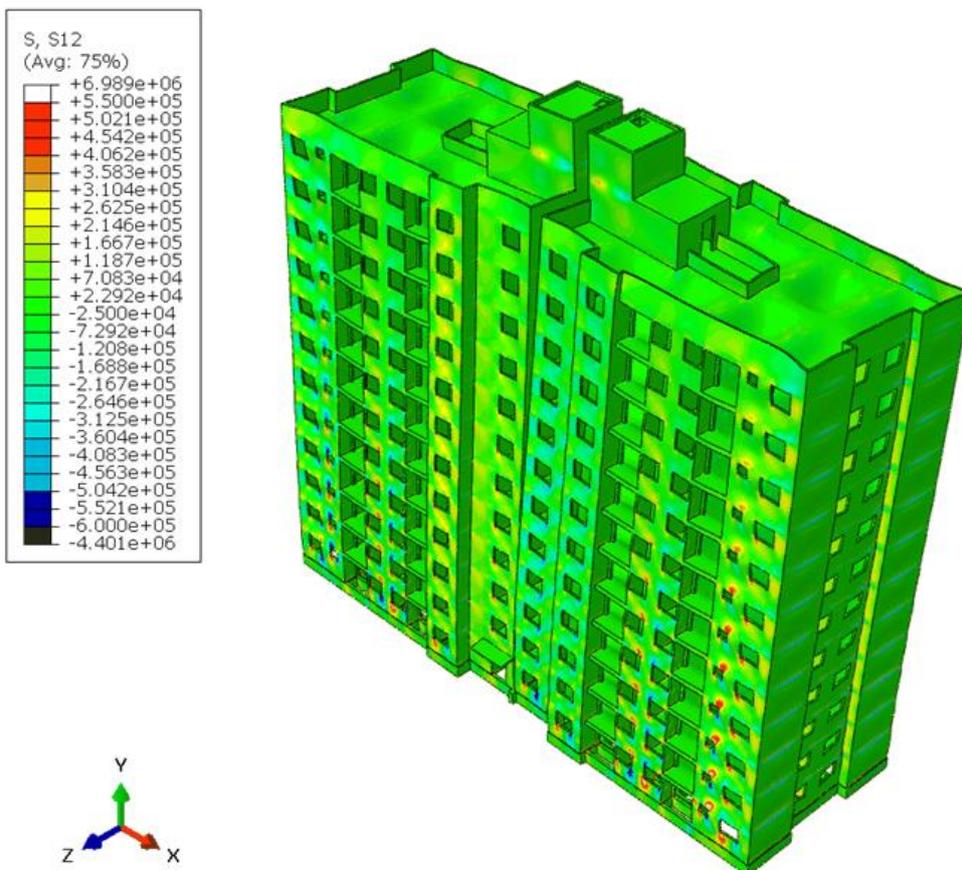


Figura 137- Tensões - MODELO 16 - 1 - S23

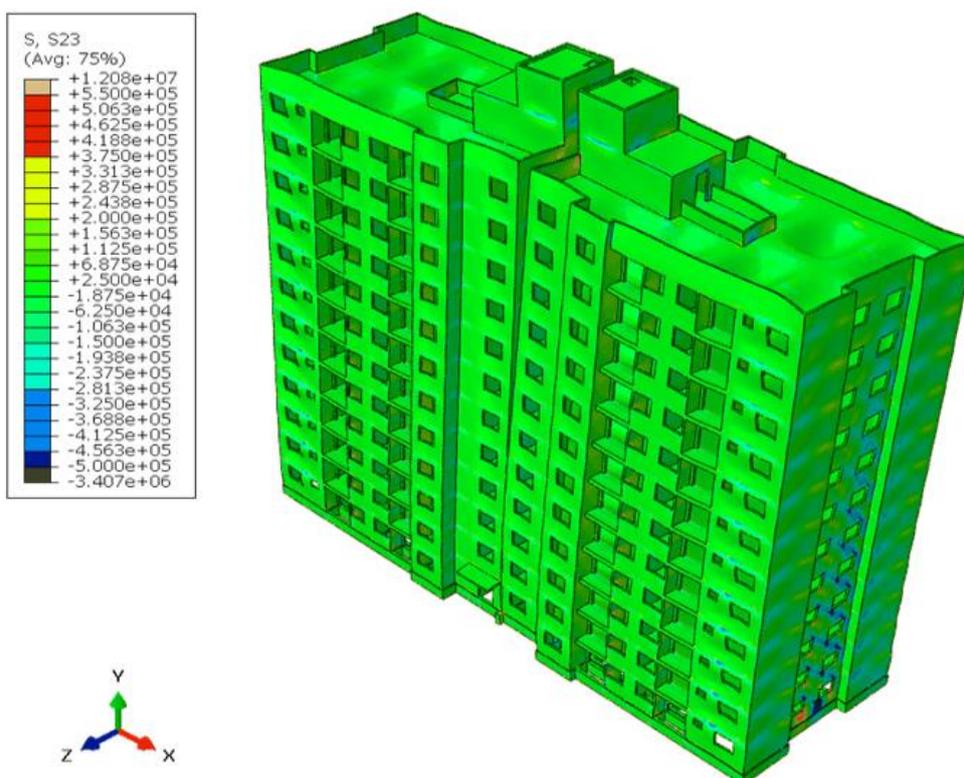


Figura 138 - Deslocamentos - MODELO 16 - 2 - U1

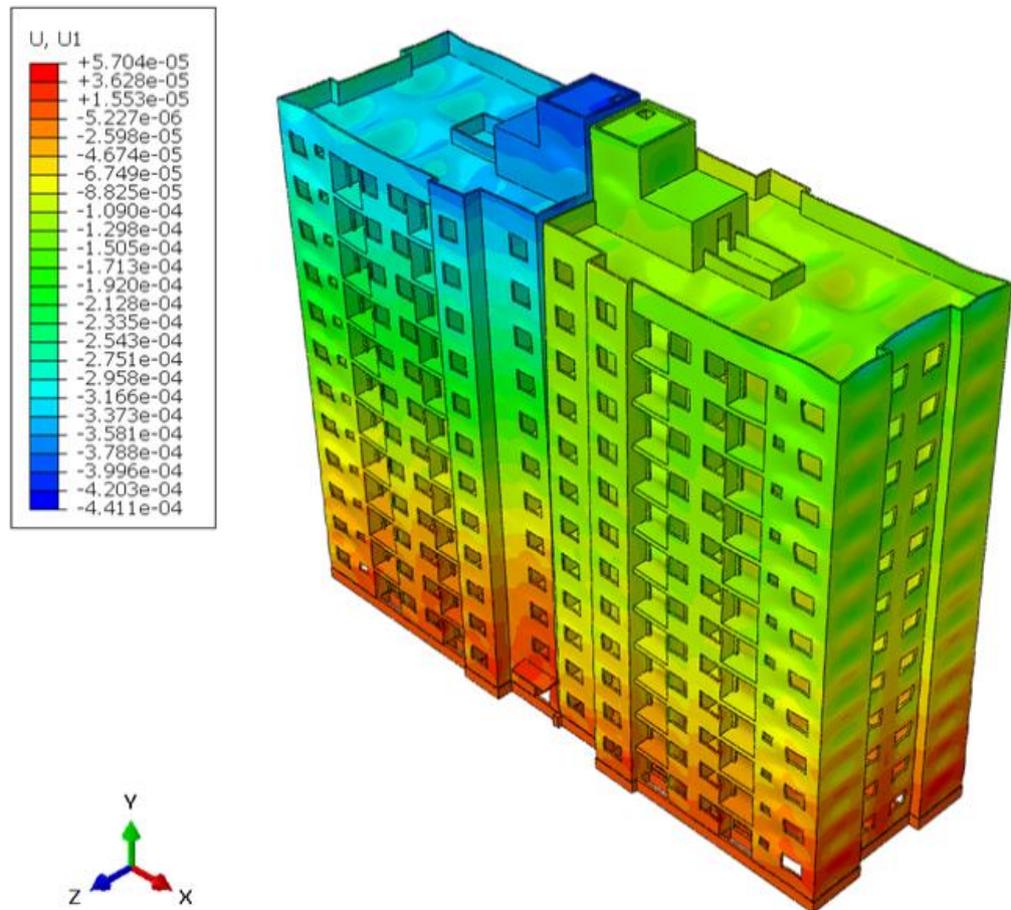


Figura 139- Deslocamentos - MODELO 16 - 2 - U3

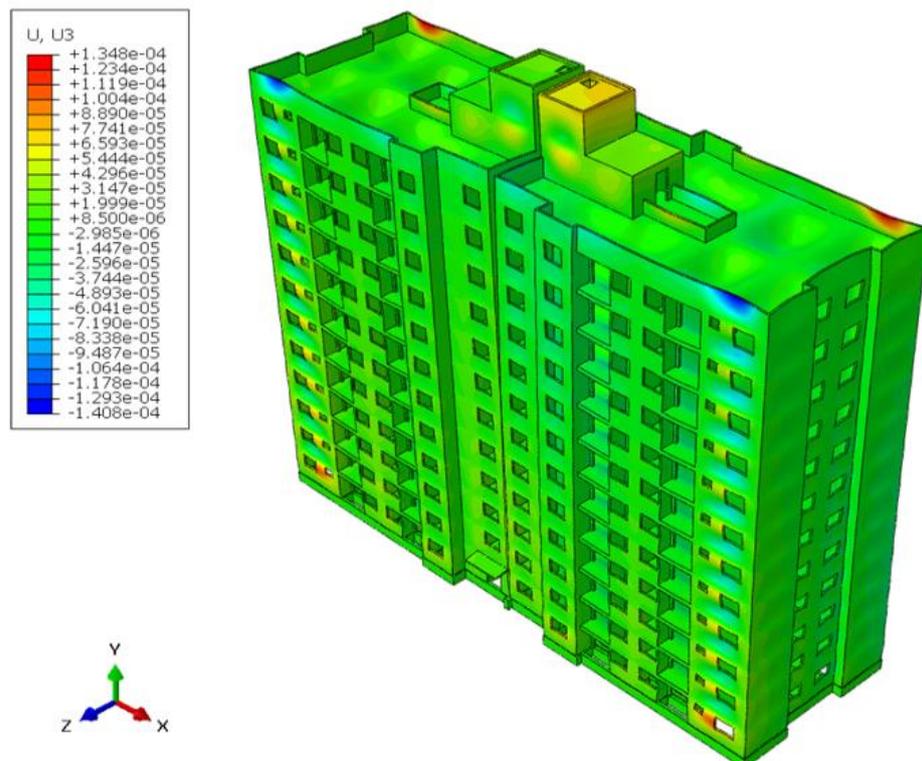


Figura 140- - Tensões - MODELO 16 -2 - MÁXIMA PRINCIPAL

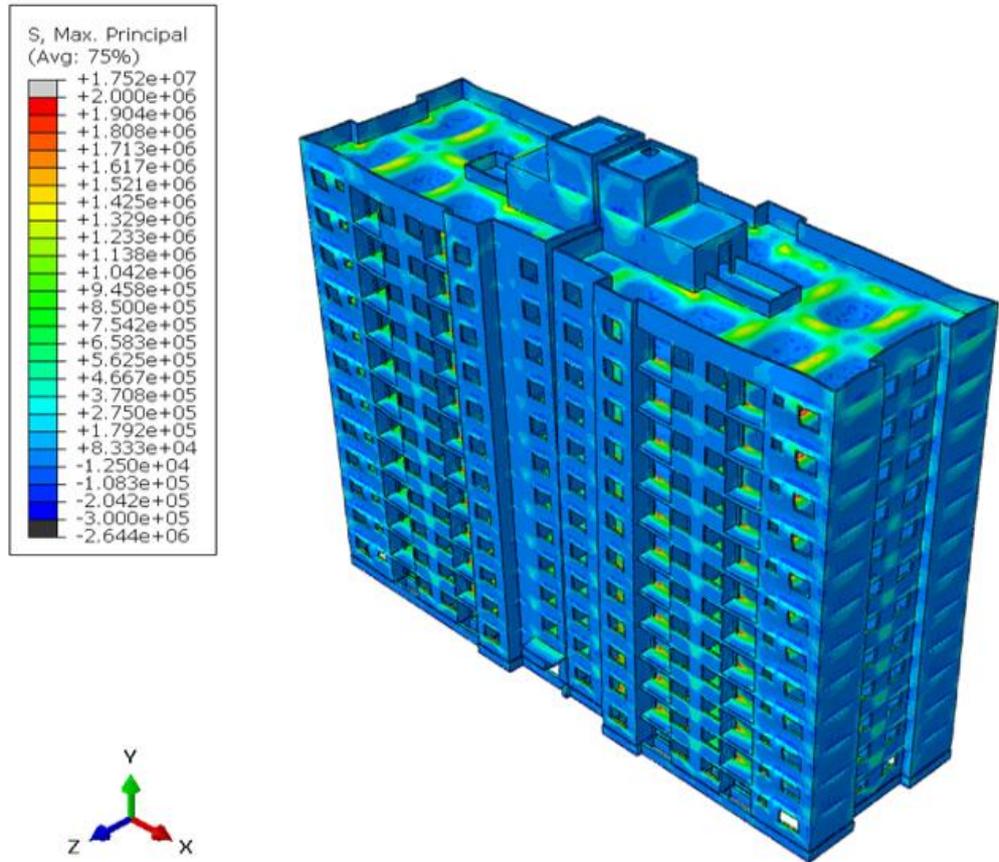


Figura 141- - Tensões - MODELO 16 - 2 - S12

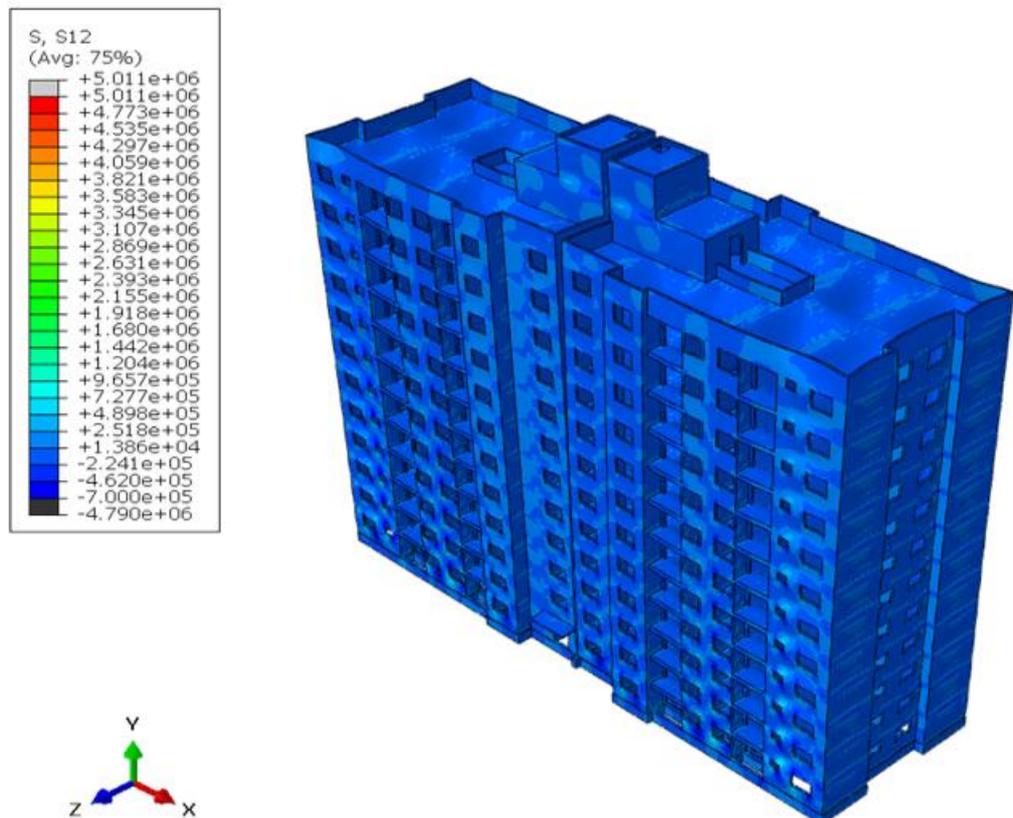
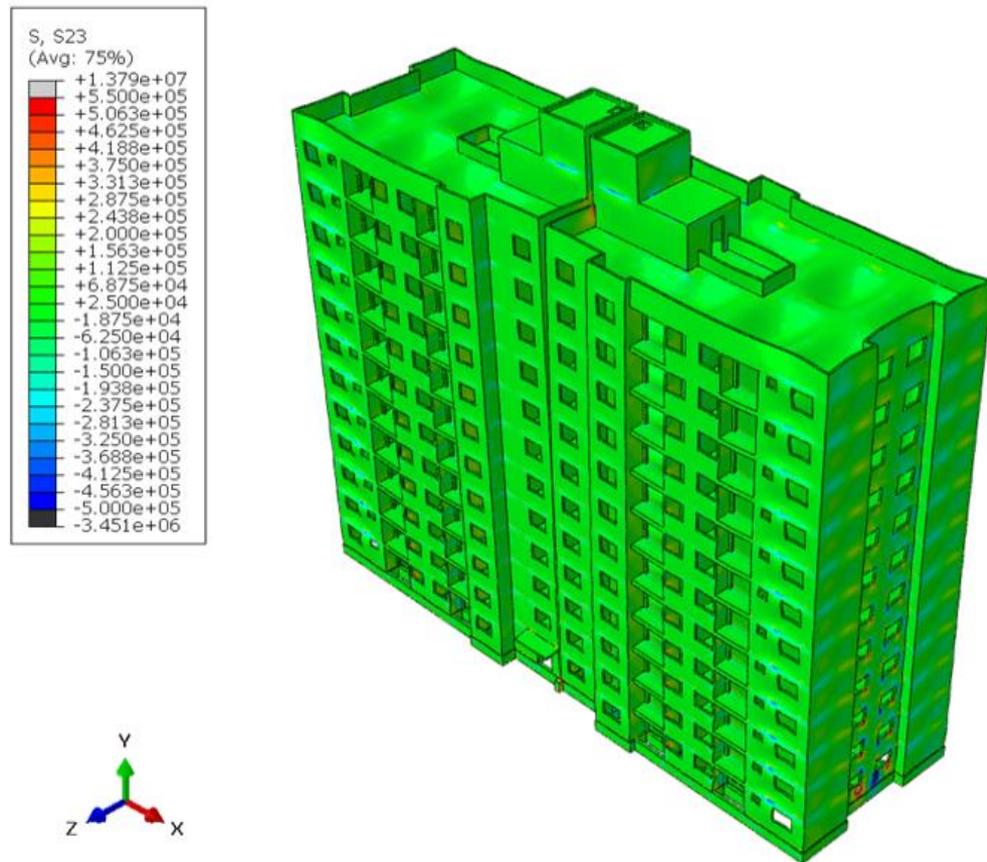


Figura 142 - Tensões - MODELO 16 - 2 - S23



## ANEXO I - RASTREABILIDADE DE CONCRETAGEM

492 – Arbo Condomínio Parque - Período de 03/03/2020 a 30/10/2020		
Torre 01	Torre 02	Área Externa
Caixa D'água (27/10/2020)	Caixa D'água - 30.7 MPa (27/08/2020)	
Platibanda - 34.3 MPa (29/09/2020)	Platibanda - 33.1 MPa (29/07/2020)	
12º Pavimento B - 30.4 MPa (24/09/2020)	12º Pavimento B - 30.9 MPa (25/07/2020)	
12º Pavimento A - 29.1 MPa (22/09/2020)	12º Pavimento A - 34.2 MPa (23/07/2020)	
11º Pavimento B - 34.6 MPa (19/09/2020)	11º Pavimento B - 32.8 MPa (21/07/2020)	
11º Pavimento A - 31.8 MPa (17/09/2020)	11º Pavimento A - 32.0 MPa (18/07/2020)	
10º Pavimento B - 33.6 MPa (15/09/2020)	10º Pavimento B - 30.4 MPa (16/07/2020)	
10º Pavimento A - 33.0 MPa (11/09/2020)	10º Pavimento A - 28.5 MPa (14/07/2020)	
9º Pavimento B - 28.7 MPa (09/09/2020)	9º Pavimento B - 33.6 MPa (11/07/2020)	
9º Pavimento A - 30.3 MPa (05/09/2020)	9º Pavimento A - 30.7 MPa (09/07/2020)	
8º Pavimento B - 30.9 MPa (03/09/2020)	8º Pavimento B - 29.7 MPa (07/07/2020)	
8º Pavimento A - 29.7 MPa (01/09/2020)	8º Pavimento A - 31.3 MPa (04/07/2020)	
7º Pavimento B - 30.4 MPa (29/08/2020)	7º Pavimento B - 33.3 MPa (02/07/2020)	
7º Pavimento A - 29.7 MPa (27/08/2020)	7º Pavimento A - 30.7 MPa (30/06/2020)	
6º Pavimento B - 31.0 MPa (25/08/2020)	6º Pavimento B - 31.9 MPa (26/06/2020)	
6º Pavimento A - 32.6 MPa (22/08/2020)	6º Pavimento A - 32.1 MPa (24/06/2020)	
5º Pavimento B - 31.9 MPa (20/08/2020)	5º Pavimento B - 32.3 MPa (22/06/2020)	
5º Pavimento A - 29.5 MPa (18/08/2020)	5º Pavimento A - 32.1 MPa (18/06/2020)	
4º Pavimento B - 31.9 MPa (15/08/2020)	4º Pavimento B - 31.7 MPa (16/06/2020)	
4º Pavimento A - 30.2 MPa (13/08/2020)	4º Pavimento A - 31.7 MPa (12/06/2020)	
3º Pavimento B - 31.3 MPa (11/08/2020)	3º Pavimento B - 30.2 MPa (10/06/2020)	
3º Pavimento A - 29.3 MPa (08/08/2020)	3º Pavimento A - 32.9 MPa (09/06/2020)	
2º Pavimento B - 30.9 MPa (06/08/2020)	2º Pavimento B - 37.6 MPa (05/06/2020)	
2º Pavimento A - 29.8 MPa (04/08/2020)	2º Pavimento A - 31.3 MPa (03/06/2020)	
1º Pavimento B - 30.1 MPa (31/07/2020)	1º Pavimento B - 33.9 MPa (29/05/2020)	
1º Pavimento A - 30.1 MPa (29/07/2020)	1º Pavimento A - 36.5 MPa (21/05/2020)	
Impermeabilizante - 30.1 MPa (05/06/2020)	Impermeabilizante - 31.6 MPa (08/05/2020)	
Blocos e Cintas - 35.5 MPa (12/05/2020)	Jocos e Cintas - 38.6 MPa (20/04/2020)	
Estaca - 34.4 MPa (26/03/2020)	Estaca - 33.5 MPa (17/03/2020)	
Barrilete (05/10/2020)	Barrilete - 32.0 MPa (08/08/2020)	Salão de Festas
<b>Contencões</b>		

De 0 a 15 MPa

Menor que 28 dias

Emitido em 11/11/2020

De 15 a 20 MPa

Extração < 25 MPa

De 20 a 25 MPa

Extração > 25 MPa

> 25 MPa

Liberado pelo Projetista

Consulte GEO

## ANEXO II

QUANTITATIVO DE AÇO UTILIZADO NA TORRE 02 DO EDIFÍCIO ARBO  
CONDOMÍNIO PARQUE

... RESUMO ...

Descrição	Unidade	Total
Aço CA-60 - Ø 5,0 mm (para Corte e Dobra ou Armação)	kg	2855
Aço CA-50 - Ø 6,3 mm (para Corte e Dobra ou Armação)	kg	1790
Aço CA-50 - Ø 8,0 mm (para Corte e Dobra ou Armação)	kg	2923
Aço CA-50 - Ø 10,0 mm (para Corte e Dobra ou Armação)	kg	8686
Aço CA-50 - Ø 12,5 mm (para Corte e Dobra ou Armação)	kg	827
Aço CA-50 - Ø 16,0 mm (para Corte e Dobra ou Armação)	kg	223
Tela soldada nervurada Q-113, fio 3,8 mm, malha 10 x 10 cm, peso 1,3	Unid	687
Tela soldada nervurada Q-138, fio 4,2 mm, malha 10 x 10 cm, peso 2,2	Unid	550
Tela Soldada Nervurada L-113, Fio 3,8 mm, Malha 10 x 30 cm, Peso 1,1	Unid	134
Tela Soldada Nervurada L-138, Fio 4,2 mm, Malha 10 x 30 cm, Peso 1,1	Unid	40
Tela Soldada Nervurada L-196, Fio 5,0 mm, Malha 10 x 30 cm, Peso 2,1	Unid	44
Tela soldada nervurada Q-196, fio 5,0 mm, malha 10 x 10 cm, peso 3,1	Unid	55
Tela soldada nervurada Q-246, fio 5,6 mm, malha 10 x 10 cm, peso 3,5	Unid	0
Tela soldada nervurada Q-159, fio 4,5 mm, malha 10 x 10 cm, peso 2,5	Unid	0
Tela soldada nervurada Q-92, fio 4,2 mm, malha 15 x 15 cm, peso 1,4	Unid	0

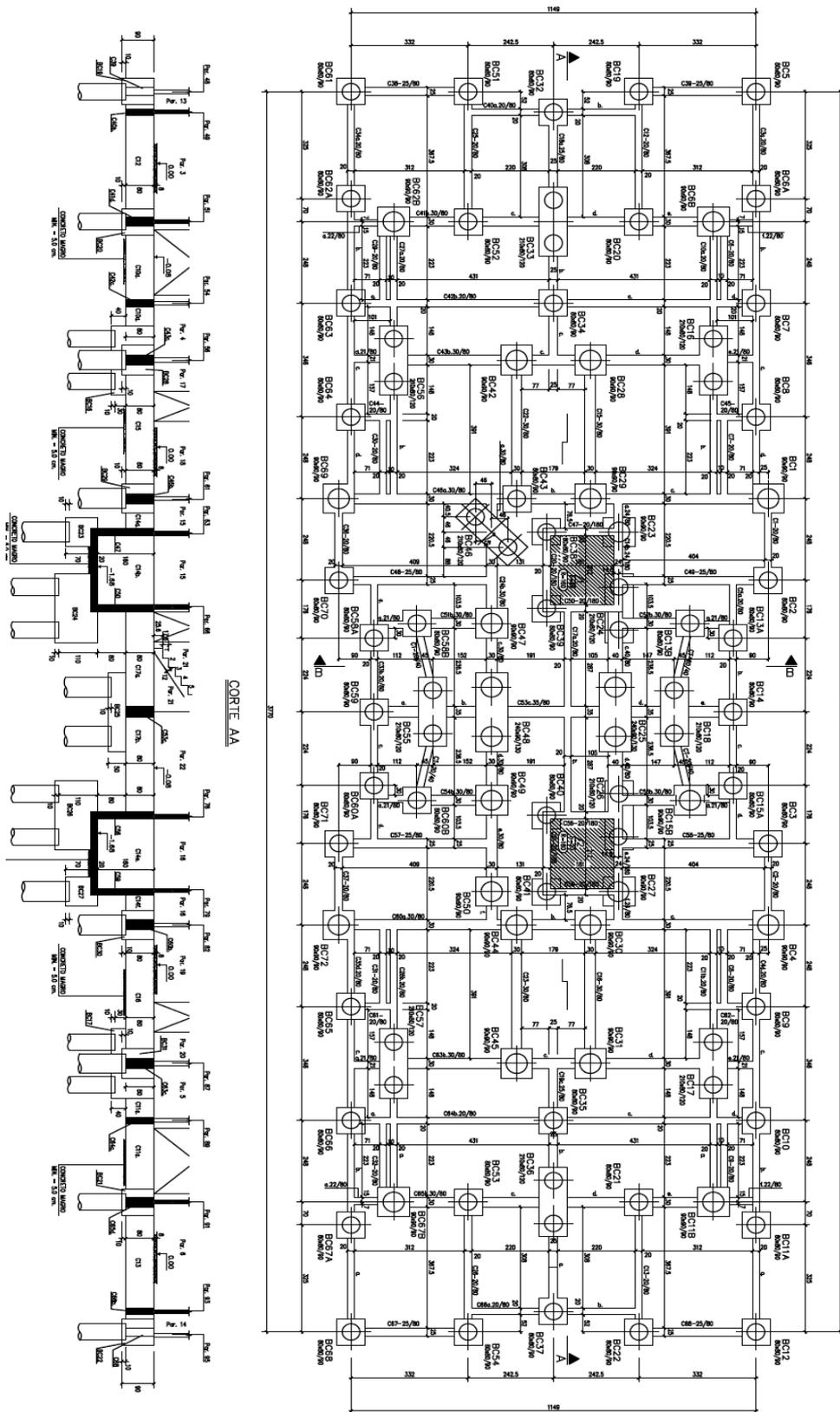
**ANEXO III**  
**QUANTITATIVO DE CONCRETO UTILIZADO NA TORRE 02 DO EDIFÍCIO ARBO**  
**CONDOMÍNIO PARQUE**

<b>Fundação Profunda</b>										
Local	Diâmetro (m)	Quantidade (m³)	Prof. (m)	Volume (m³)						Tipo de Concreto
Torre 02 - Estacas	0,5	20	20	111,47						Concreto Usinado Bombêxvel Fck=30 MPa, Slump 22 ± 3 cm, f'c < 0,6, 400kg/m³ de cimento, Incluso Taxa de Bomba - (+ 42% de perda)
	0,5	22	20	122,617						Concreto Usinado Bombêxvel Fck=30 MPa, Slump 22 ± 3 cm, f'c < 0,6, 400kg/m³ de cimento, Incluso Taxa de Bomba - (+ 42% de perda)
	0,5	22	20	176,5848						Concreto Usinado Bombêxvel Fck=30 MPa, Slump 22 ± 3 cm, f'c < 0,6, 400kg/m³ de cimento, Incluso Taxa de Bomba - (+ 42% de perda)
<b>Blocos de Transição/ Fundação Superficial/ Magro</b>										
Local	Área I Laminar (m²)	Área do Pav. (m²)	Nº de Pav.	Total (m²)	Espessura (m)		Área de Parede (m²)	Banheiro/ Peleto/ Vagas/ Escada (m²)	Volume (m³)	Tipo de Concreto
Torre 02 - Radier	481,05	481,05	1	481,05	0,415/57,198		140		40,4082	Concreto Usinado Bombêxvel Fck=30 MPa, Slump 10 ± 2 cm, f'c < 0,55 Incluso Taxa de Bomba - (+ 5% de perda)
					0,08					
<b>Paredes/ Lajes/ Platinhas</b>										
Local	Área I Laminar (m²)	Área do Pav. (m²)	Nº de Pav.	Total (m²)	Espessura da Laje (m)		Área de Parede (m²)	Banheiro/ Peleto/ Vagas/ Escada (m²)	Volume (m³)	Tipo de Concreto
Torre 02 - Laje/ Parede - Terreo	206,9472	413,8944	1	413,8944	0,12		25,0072	8,66989137	127,7231315	Concreto Usinado Bombêxvel Fck=25 MPa, Fc4d1 > 4 MPa, Slump 22 ± 3 cm, f'c < 0,60, Consumo de - (+ 5% de perda) [Cimento >= 300 kg / m³, Com Fibras de Polipropileno/Nilo (Mínimo 300 g / m³)], Incluso Taxa de Bomba - (+ 5% de perda)
Torre 02 - Laje/ Parede - Tipo	206,9472	413,8944	11	4552,8884	0,12		25,1544	7,93989137	1227,75	Concreto Usinado Bombêxvel Fck=25 MPa, Fc4d1 > 4 MPa, Slump 22 ± 3 cm, f'c < 0,60, Consumo de - (+ 5% de perda) [Cimento >= 300 kg / m³, Com Fibras de Polipropileno/Nilo (Mínimo 300 g / m³)], Incluso Taxa de Bomba - (+ 5% de perda)
Torre 02 - Laje/ Parede - Banhele	28,99	57,98	1	57,98	0,16		7,26	2,52	28,9506	Concreto Usinado Bombêxvel Fck=25 MPa, Fc4d1 > 4 MPa, Slump 22 ± 3 cm, f'c < 0,60, Consumo de - (+ 5% de perda) [Cimento >= 300 kg / m³, Com Fibras de Polipropileno/Nilo (Mínimo 300 g / m³)], Incluso Taxa de Bomba - (+ 5% de perda)
Torre 02 - Laje - Caixa D'Água (FINDO)	23,965	47,93	1	47,93	0,16		5,22	2,5	21,75474	Concreto Usinado Bombêxvel Fck=25 MPa, Fc4d1 > 4 MPa, Slump 22 ± 3 cm, f'c < 0,60, Consumo de - (+ 5% de perda) [Cimento >= 300 kg / m³, Com Fibras de Polipropileno/Nilo (Mínimo 300 g / m³)], Incluso Taxa de Bomba - (+ 5% de perda)
Torre 02 - Laje - Caixa D'Água (TAMPA)	11,905	23,81	1	23,81	0,12		0	0	3,00006	Concreto Usinado Bombêxvel Fck=25 MPa, Fc4d1 > 4 MPa, Slump 22 ± 3 cm, f'c < 0,60, Consumo de - (+ 5% de perda) [Cimento >= 300 kg / m³, Com Fibras de Polipropileno/Nilo (Mínimo 300 g / m³)], Incluso Taxa de Bomba - (+ 5% de perda)
Torre 02 - Platinha - Tipo 1	0	0	0	0	0		14,436	1,3	19,70514	Concreto Usinado Bombêxvel Fck=25 MPa, Fc4d1 > 4 MPa, Slump 22 ± 3 cm, f'c < 0,60, Consumo de - (+ 5% de perda) [Cimento >= 300 kg / m³, Com Fibras de Polipropileno/Nilo (Mínimo 300 g / m³)], Incluso Taxa de Bomba - (+ 5% de perda)
Torre 02 - Platinha - Tipo 2	0	0	0	0	0		2,556	0,9	2,41542	Concreto Usinado Bombêxvel Fck=25 MPa, Fc4d1 > 4 MPa, Slump 22 ± 3 cm, f'c < 0,60, Consumo de - (+ 5% de perda) [Cimento >= 300 kg / m³, Com Fibras de Polipropileno/Nilo (Mínimo 300 g / m³)], Incluso Taxa de Bomba - (+ 5% de perda)
Torre 02 - Platinha - Tipo 3	0	0	0	0	0		4,8912	0,2	1,027152	Concreto Usinado Bombêxvel Fck=25 MPa, Fc4d1 > 4 MPa, Slump 22 ± 3 cm, f'c < 0,60, Consumo de - (+ 5% de perda) [Cimento >= 300 kg / m³, Com Fibras de Polipropileno/Nilo (Mínimo 300 g / m³)], Incluso Taxa de Bomba - (+ 5% de perda)

# ANEXO IV

## FORMAS DA FUNDAÇÃO DA TORRE 02 DO EDIFÍCIO ARBO CONDOMÍNIO PARQUE

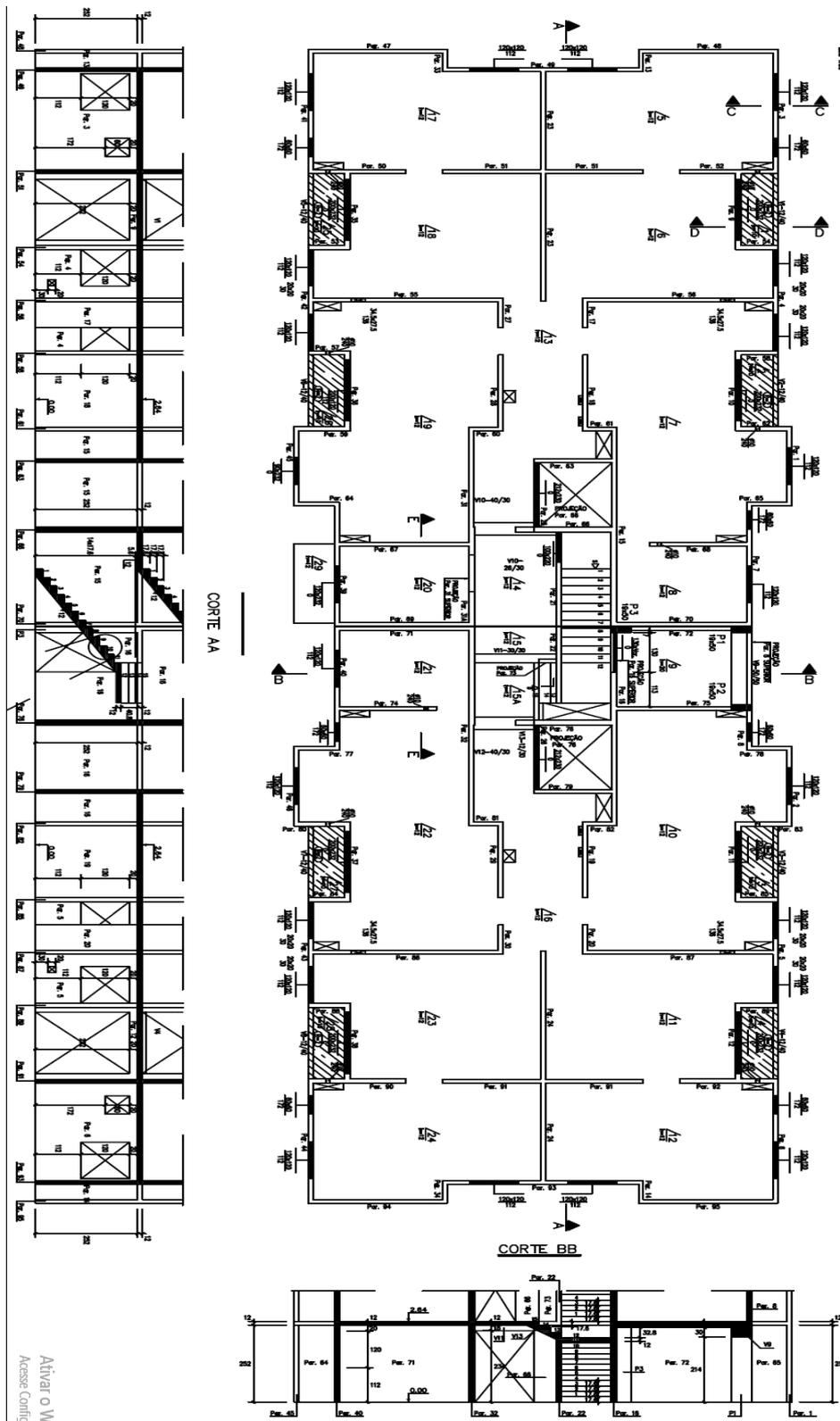
FORMAS DA FUNDAÇÃO – TORRES 12 PAVIOS



# ANEXO V

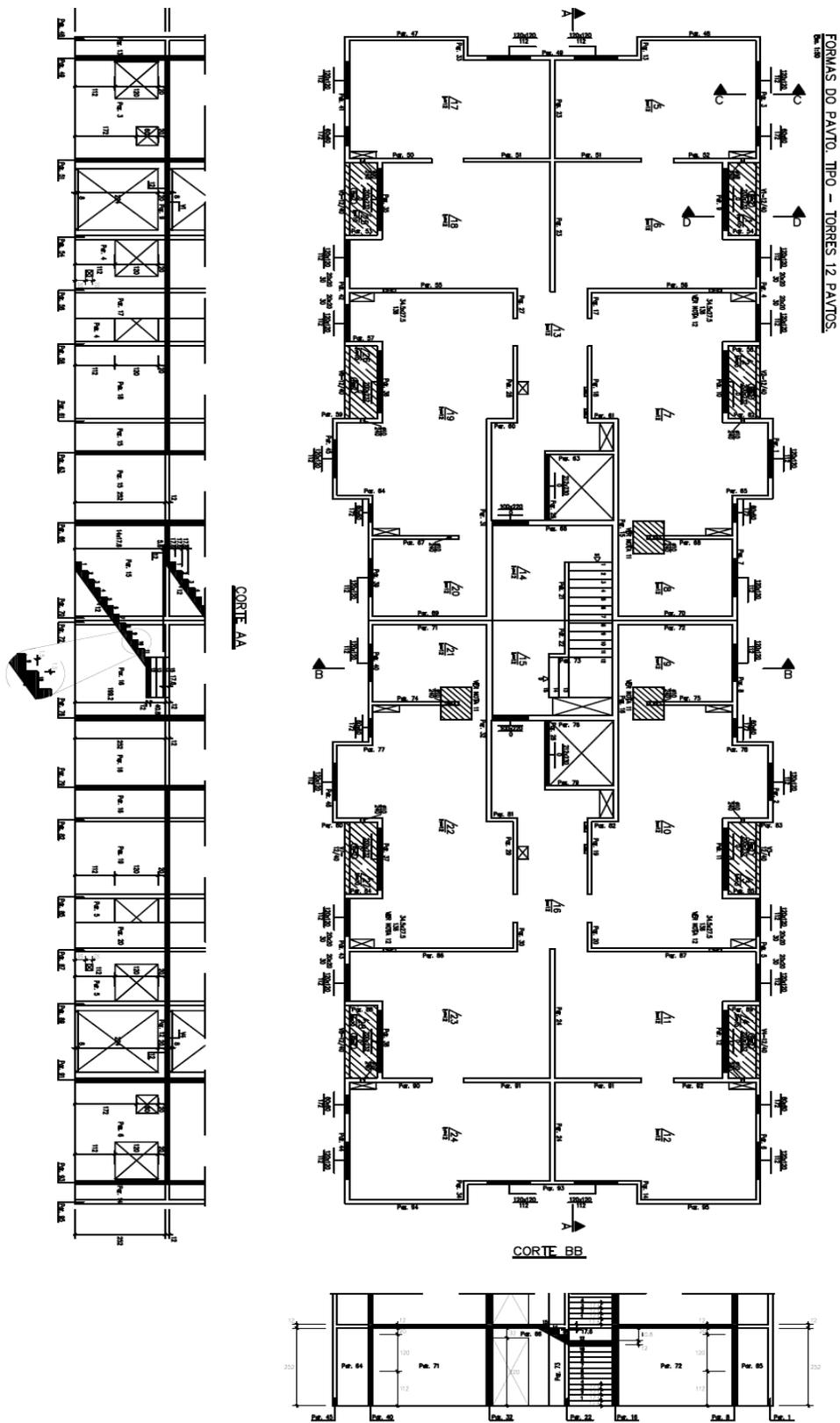
## FORMAS DO 1º PÁV.TO DA TORRE 02 DO EDIFÍCIO ARBO CONDOMÍNIO PARQUE

FORMAS DO 1º PAVTO. - TORRES 12 PAVTOS.



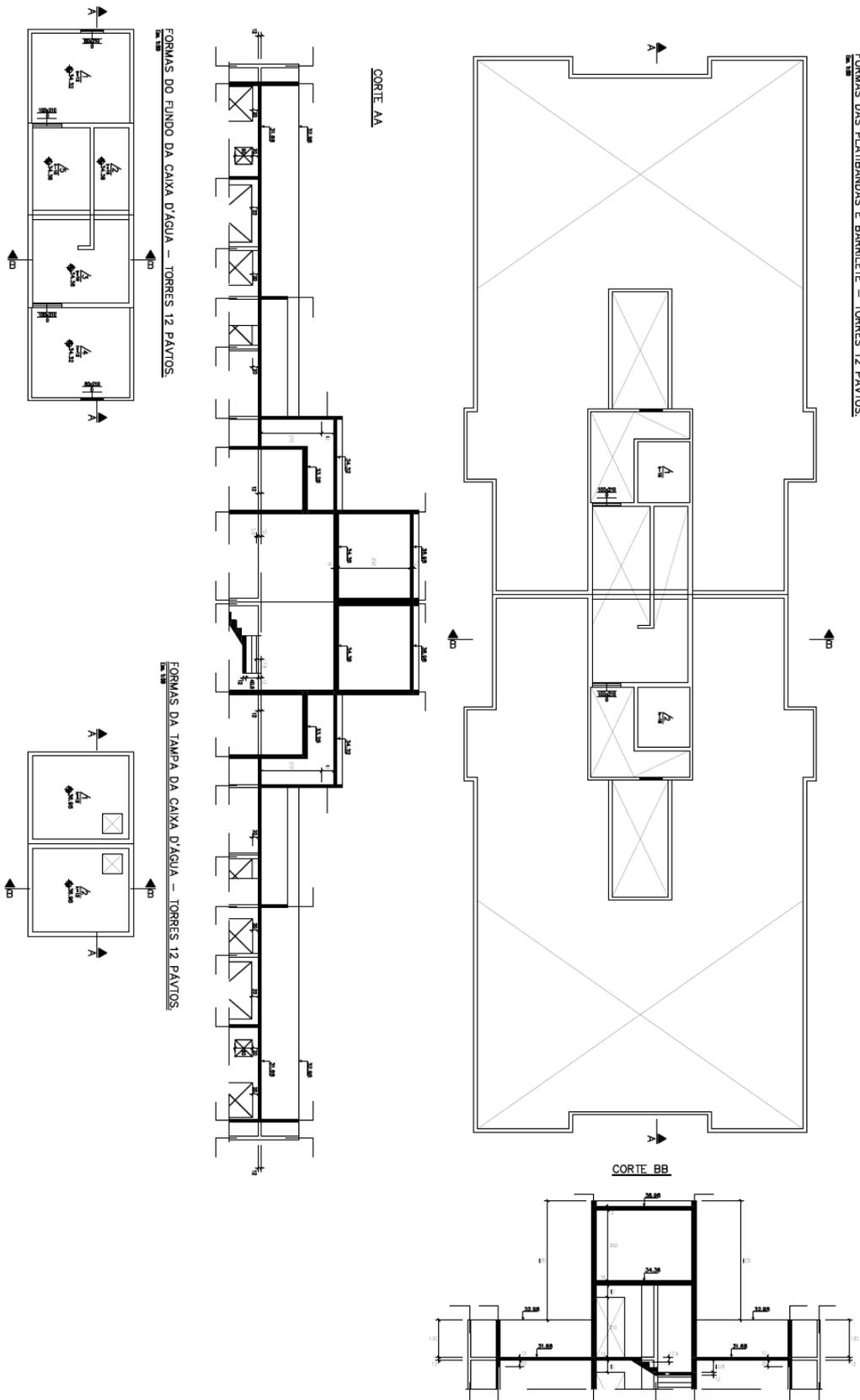
ATIVAR O W  
Access Config

**ANEXO VI**  
**FORMAS PÁV.TO TIPO DA TORRE 02 DO EDIFÍCIO ARBO CONDOMÍNIO**  
**PARQUE**



## ANEXO VII

### FORMAS DA PLATIBANDA E CX. D'ÁGUA DA TORRE 02 DO EDIFÍCIO ARBO CONDOMÍNIO PARQUE



## ANEXO VIII

### RESUMO DO RELATÓRIO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS RECORRENTES.

FERRAMENTAS	QTE	MATERIAIS	QTE	EQUIPAMENTOS	QTE
Trena Espátula metálica Pincel 4"	var.	P.U Impermeabilizante Cimento Tela de Poliéster	var.	Serra Circular Maquita Fissurômetro	var.
PESSOAL UTILIZADO	QTE	EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL		QTE	
Oficial (profissional treinado) Ajudante	var.	Conforme Programa de Controle Médico e Segurança Ocupacional (PCMSO).			

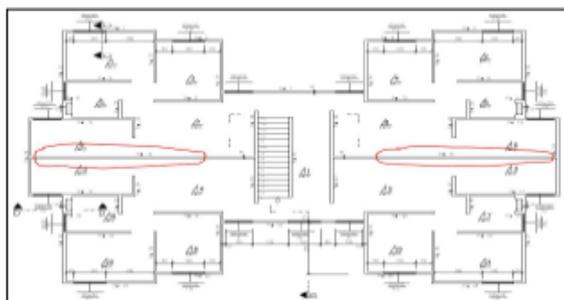
#### 1. INTRODUÇÃO

- ✓ Este documento mapeia as fissuras comumente encontradas nos empreendimentos da Direcional que utilizam a tipologia de Parede de Concreto como estrutura, dá detalhes sobre as mesmas e propõe tratamento. Os tratamentos são válidos apenas para as fissuras com as características descritas em cada item.
- ✓ Fissuras com características diferentes das descritas nessa instrução devem ser comunicadas ao Departamento de Projetos Executivos através de chamado para orientação das ações a serem tomadas.

#### 2. SEQUÊNCIA EXECUTIVA – TRATAMENTOS

##### ➤ Fissura na parede entre apartamentos de ponta

- ✓ Fissura comumente encontrada no primeiro e último pavimentos da parede entre apartamentos de ponta.



*Figura 1 - Possível localização em planta da fissura em tipologias de 4 apartamentos por pavimento*

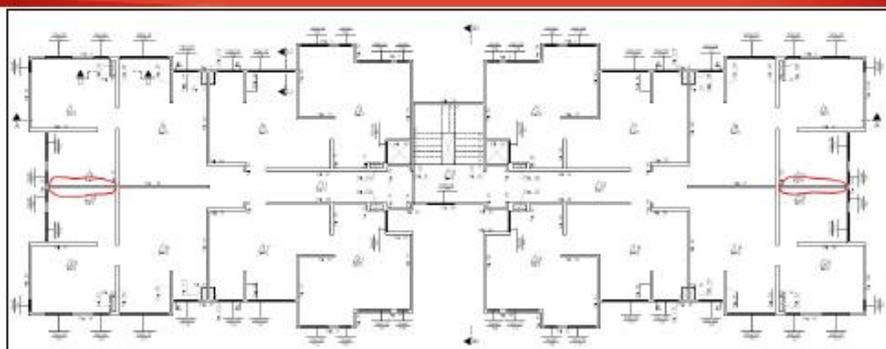


Figura 2 - Possível localização em planta da fissura em tipologias de 8 apartamentos por pavimento

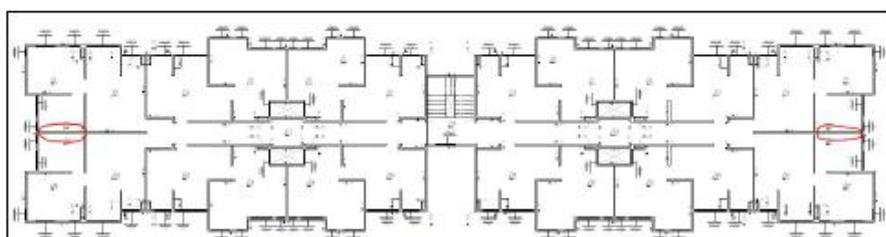


Figura 3 - Possível localização em planta da fissura em tipologias de 12 apartamentos por pavimento

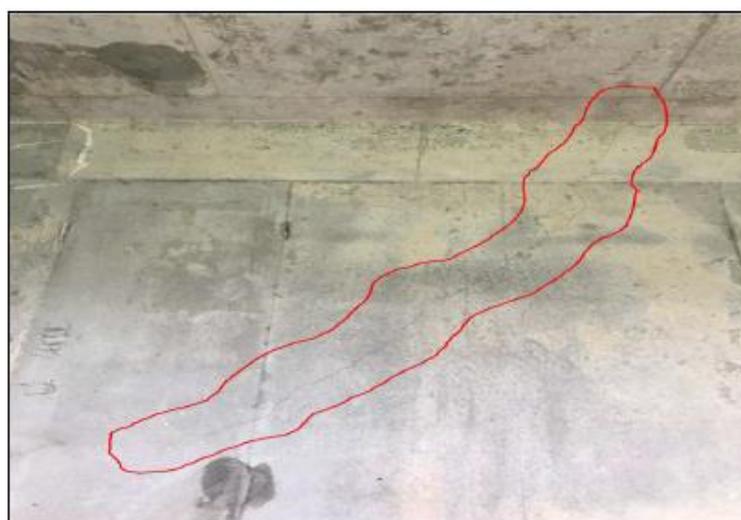


Figura 4 - Fissura em parede entre apartamentos de ponta

✓ Causas

- Combinação de dilatação térmica do prédio (lajes e paredes) e retração térmica durante a cura do concreto que assume valores altos para pequenas idades do concreto, principalmente no caso de estruturas de concreto com slump mais alto (como é o caso de paredes de concreto).

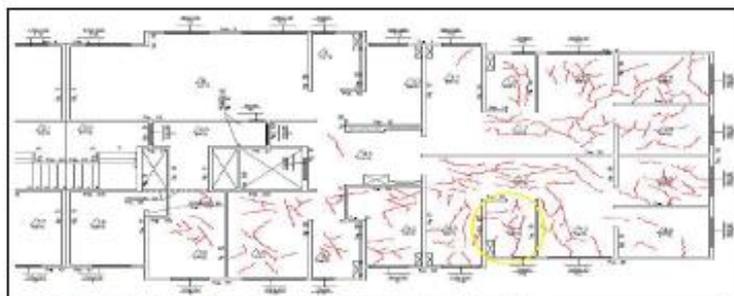


Figura 5 - Possível localização em planta da fissura em tipologias de 4 apartamentos por pavimento



Figura 6 - Fissuras em laje por retração do concreto

✓ Causa

- Cura inadequada e retração térmica durante a cura do concreto que assume valores altos para pequenas idades do concreto, principalmente no caso de estruturas de concreto com slump mais alto (como é o caso de paredes de concreto);
- Geralmente ocorre quando a concretagem é realizada em dias quentes.

✓ Cuidados para redução de ocorrência

- Maior cuidado na cura do concreto e sua exposição em dias quentes durante a execução.

✓ Limites

- Abertura  $\leq 0,3$  mm → Não há risco estrutural. O tratamento tem objetivo apenas estético.
- Abertura  $\leq 0,5$  mm → Executar tratamento conforme instruções a frente.
- Abertura  $> 0,5$  mm → Possibilidade de risco estrutural. Deve-se abrir chamado para análise pelo Departamento de Projetos Executivos e projetista.

✓ Tratamento

Tratamento Estrutural (obrigatório)

- Aplicar calda de cimento para preencher as fissuras.

➤ **Fissuras em laje junto à escada**

- ✓ Fissura comumente encontrada em prédios com escada de lance único e com parede dividindo a mesma do hall. É visível na parte superior e inferior da laje.

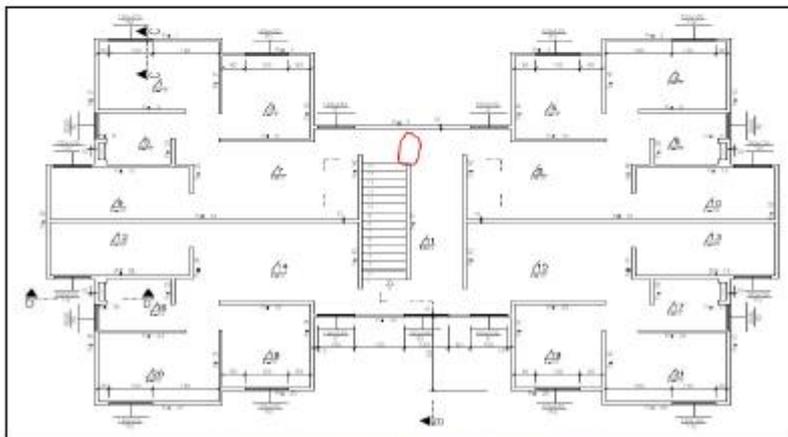


Figura 7 - Possível localização em planta da fissura



Figura 8 - Fissura em laje junto à escada

✓ **Causas**

- Presença de 1 ou mais (combinação) dos fatores a seguir:
- Cura ineficiente do concreto e retração exagerada;
- Remoção de forma e escoramentos muito cedo com trânsito de pessoas e equipamentos sobre a região.