

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

LÍVIA SOARES ANDRADE

**ANÁLISE COMPARATIVA DA SOLUÇÃO ESTRUTURAL DE
UM PAVIMENTO DE EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM LAJE
MACIÇA E NERVURADA**

Belo Horizonte

2023

Lívia Soares Andrade

**"ANÁLISE COMPARATIVA DA SOLUÇÃO ESTRUTURAL DE UM
PAVIMENTO DE EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM LAJE MACIÇA E
NERVURADA"**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Especialista em Estruturas".

Belo Horizonte

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA / TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos **seis** dias do mês de **julho de 2023**, às 17h, a estudante **Lívia Soares Andrade**, matrícula 2020674470, defendeu o Trabalho intitulado “**Análise Comparativa da Solução Estrutural de um Pavimento de Edifício Residencial em Laje Maciça e Nervurada**”.

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar; assinam eletronicamente a presente ata.

Nota: 90 (noventa pontos)

Orientador(a): Prof. Sebastião Salvador Real Pereira

Nota: 90 (noventa pontos)

Examinador(a): Prof. Pedro Vianna Pessoa de Mendonça



Documento assinado eletronicamente por **Sebastião Salvador Real Pereira, Professor do Magistério Superior**, em 20/07/2023, às 19:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Vianna Pessoa de Mendonca, Subchefe de departamento**, em 01/08/2023, às 09:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2441666** e o código CRC **E6F9CC9A**.

Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca.

Resumo

Durante o desenvolvimento de um projeto estrutural, faz-se necessário prezar não somente pela segurança e aceitabilidade sensorial da edificação, mas também pela economia no momento da construção. A partir disso, muitas vezes são estudadas diferentes soluções para a estrutura, afim de definir o melhor sistema dentro das possibilidades do empreendimento. Neste trabalho será realizada uma análise comparativa entre dois tipos de lajes, maciça e nervurada, para o pavimento térreo de um edifício residencial. Por meio da modelagem do edifício no software TQS, serão apresentadas duas propostas estruturalmente viáveis confrontando ao final os consumos de fôrma, aço e concreto em cada solução, bem como uma breve comparação dos resultados de flechas no pavimento e estabilidade global do edifício. A conclusão apontará entre as duas opções a solução estrutural mais econômica.

Palavras-chave: laje; soluções; maciça; nervurada; consumo.

Abstract

During the development of a structural project, it is necessary to prioritize not only the safety and sensory acceptability of the building but also the cost-effectiveness during construction. Based on this, different solutions for the structure are often studied to determine the best system within the possibilities of the project. This work will perform a comparative analysis between two types of slabs, solid and ribbed, for the ground floor of a residential building. By modeling the building in TQS software, two structurally viable proposals will be presented, comparing the formwork, steel, and concrete consumption in each solution, as well as a brief comparison of the deflection results on the floor and the stability of the building. The conclusion will point out the most economical structural solution among the two options.

Keywords: slab; solutions; solid; ribbed; consumption.

Lista de figuras

Figura 1 - Esquema de seção transversal de laje nervurada	16
Figura 2 - Imagem 3D da estrutura em concreto armado do edifício.	20
Figura 3 - Fôrma da fundação / 1º subsolo	21
Figura 4 - Imagem 3D da solução em laje nervurada para o pavimento térreo.....	22
Figura 5 - Fôrma do lazer / pilotis	23
Figura 6 - Fôrma do 1º pavimento	24
Figura 7 - Fôrma do tipo (2º ao 17º pavimento).....	25
Figura 8 - Fôrma do 18º pavimento	26
Figura 9 - Fôrma do barrilete.....	26
Figura 10 - Fôrma do fundo do reservatório	27
Figura 11 - Fôrma do topo do reservatório / cobertura	27
Figura 12 - Esquema de layout do pavimento térreo.	28
Figura 13 - Esquema ilustrativo das regiões de contenção.	29
Figura 14 - Fôrma do pavimento térreo - opção com laje maciça.	31
Figura 15 - Resultados do parâmetro γ_z - edifício com pavimento térreo em laje maciça.....	32
Figura 16 - Resultados do parâmetro α – edifício com pavimento térreo em laje maciça.	33
Figura 17 – Resultados de deslocamentos laterais absolutos – edifício com pavimento térreo em laje maciça.	34
Figura 18 - Resultados de deslocamentos laterais entre pisos - edifício com pavimento térreo em laje maciça.	35
Figura 19 - Resultados de deformações em lajes e vigas pelo método grelha não linear – edifício com pavimento térreo em laje maciça.	36
Figura 20 - Seção transversal da laje nervurada ATEX 800 25+7,5.	37
Figura 21 - Tabela com informações técnicas dos moldes ATEX 800 – marcado em verde o molde selecionado.....	38
Figura 22 - Fôrma do pavimento térreo - opção com laje nervurada.....	39
Figura 23 - Resultados do parâmetro γ_z - edifício com pavimento térreo em laje nervurada. ..	40
Figura 24 - Resultados do parâmetro α – edifício com pavimento térreo em laje nervurada. .	41

Figura 25 – Resultados de deslocamentos laterais absolutos – edifício com pavimento térreo em laje nervurada.....	42
Figura 26 - Resultados de deslocamentos laterais entre pisos - edifício com pavimento térreo em laje nervurada.....	43
Figura 27 - Resultados de deformações em lajes e vigas pelo método grelha não linear – edifício com pavimento térreo em laje nervurada.	44

Lista de tabelas

Tabela 1 – Consumo de fôrma, concreto e aço no pavimento térreo - opção em laje maciça. .	36
Tabela 2 - Consumo de fôrma, concreto e aço no pavimento térreo - opção em laje nervurada.	44
Tabela 3 - Quantitativos de insumos laje nervurada.....	45
Tabela 4 - Comparativo entre os parâmetros analisados para o pavimento em laje maciça e nervurada.	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVO	10
3	REVISÃO DA LITERATURA	11
3.1	Lajes em Concreto Armado.....	11
3.1.1	Esforços solicitantes em lajes.....	12
3.1.2	Estados limite	12
3.1.3	Estabilidade global.....	14
3.2	Lajes Maciças	15
3.3	Lajes Nervuradas	15
4	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	17
4.1	Metodologia.....	17
4.2	Códigos e Normas.....	18
4.3	Caracterização do Empreendimento	19
4.3.1	Descrição do pavimento térreo.....	27
4.3.2	Esforços solicitantes no térreo.....	29
4.4	Pavimento Térreo em Laje Maciça.....	30
4.4.1	Estabilidade global do edifício	31
4.4.2	Flechas e deslocamentos no térreo	35
4.4.3	Consumo de materiais.....	36
4.5	Pavimento Térreo em Laje Nervurada.....	37
4.5.1	Estabilidade global do edifício	39
4.5.2	Flechas e deslocamentos no térreo	43
4.5.3	Consumo de materiais.....	44
5	DISCUSSÃO	45
6	CONCLUSÃO	48
7	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades mais antigas da humanidade e está em constante desenvolvimento. Atualmente é um mercado que oferece bastante inovação no âmbito de soluções construtivas, materiais e projetos. Com essa oferta tecnológica, os projetos arquitetônicos têm espaço para serem cada vez mais criativos, demandando assim, que a estrutura encontre soluções para atender as expectativas estéticas dos empreendimentos.

Estima-se que a estrutura equivale a cerca de 20% do custo total de uma construção (VARGAS *et. al*, 2010). Dessa forma, o mercado exige que os projetos estruturais não só atendam às necessidades de aparência estipuladas pela arquitetura, mas também que atendam proporcionando máxima economia, sem que a segurança da edificação seja prejudicada. A partir disso, durante o desenvolvimento de um projeto estrutural, frequentemente se faz necessário estudar diferentes soluções, afim de definir o melhor sistema estrutural dentro das possibilidades do empreendimento e das preferências do cliente em questão.

Este trabalho visa apresentar um estudo comparativo entre soluções de laje maciça e nervurada para o pavimento térreo de um edifício residencial de alto padrão. Ambas as propostas são viáveis estruturalmente e atendem aos requisitos de segurança e comportamento em serviço, tipologia do pavimento e do empreendimento. A comparação será realizada por meio da análise dos quantitativos de fôrma, aço e concreto, apresentando-se a proposta mais econômica.

2 OBJETIVO

Estudar soluções em laje maciça e nervurada do pavimento térreo de um edifício residencial comparando consumo de aço, concreto e fôrma, e analisar as diferenças entre flechas, estabilidade global do edifício, e consumo de materiais com a utilização de cada sistema. A partir do estudo, concluir, para este caso, qual é a melhor solução a ser empregada.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Lajes em Concreto Armado

Estruturas em concreto armado são estruturas monolíticas que resistem a esforços de tração e compressão. O concreto resiste a compressão e as barras de aço são responsáveis pela parcela de resistência à tração. O dimensionamento dessas estruturas depende do emprego de um modelo de cálculo adequado e de verificações quanto aos estados limite último (ELU) e de serviço (ELS).

Os elementos denominados lajes são elementos planos bidimensionais nos quais uma das dimensões, denominada espessura, é muito pequena em relação as demais. As lajes são elementos de placas, sujeitas principalmente a ações normais a seu plano (NBR 6118, 2014).

Segundo Cunha (1998, apud SOUZA e LOPES, 2016) as lajes em concreto armado ou protendido podem ser classificadas em 4 categorias:

Quanto à seção transversal (maciça, nervurada); quanto à execução (moldada in loco, pré-moldada); quanto ao apoio (em vigas/alvenaria estrutural, em pilares) e quanto à armação (armada em uma direção, em duas direções).

As lajes devem ser capazes de absorver aos esforços solicitantes sem que haja ruína da estrutura, e de forma que deformações, fissuração e vibrações estejam dentro dos parâmetros pré-estabelecidos pela normatização vigente.

São três os sistemas estruturais mais comumente empregados em lajes: lajes convencionais, lajes-cogumelo e lajes lisas. As lajes convencionais são aquelas que se apoiam diretamente em vigas, que por sua vez se apoiam nos pilares. No caso das lajes-cogumelo, o apoio se dá diretamente nos pilares, em volta dos quais se projeta uma porção de laje mais espessa chamada capitel, criando assim uma região mais resistente. No sistema de lajes lisas, o apoio é diretamente nos pilares sem que sejam projetados capitéis.

Santos, Muzardo e Pinheiro (2003) definiram que nas lajes armadas em duas direções as armaduras devem ser calculadas para resistirem aos momentos fletores em cada direção. Já nas lajes armadas em uma direção, calcula-se uma armadura principal na direção do menor vão, de forma que essa resista ao momento fletor nessa direção, excluindo a outra. Com isso, coloca-se uma armadura de distribuição na direção secundária com a função de solidarizar as faixas de

laje da direção principal. Ainda segundo Santos, Muzardo e Pinheiro (2003), as lajes armadas em uma direção funcionam como um conjunto de vigas-faixa na direção do menor vão.

3.1.1 Esforços solicitantes em lajes

Conforme a norma NBR 6118 (ABNT, 2014, p.56) “na análise estrutural deve ser considerada a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura em exame, levando-se em conta os possíveis estados limites últimos e de serviço. ”

A seguir cita-se em tópicos as principais ações permanentes e variáveis consideradas para o projeto de lajes em concreto armado:

- Peso próprio da laje: carga permanente distribuída em toda a área de laje, calculada a partir do peso específico do concreto armado (2500 kg/m^3 - NBR 6118:2014);
- Revestimentos: carga permanente distribuída em toda a área em que a laje é revestida, somando o peso do contrapiso e do material que será utilizado no revestimento do piso. (Os valores de peso próprio de diversos revestimentos são fornecidos na NBR 6120);
- Peso de alvenaria sobre a laje: carga permanente distribuída linearmente onde houver paredes apoiadas sobre a laje. (Os valores de peso próprio das alvenarias também são fornecidos pela NBR 6120);
- Sobrecarga de utilização: carga variável uniformemente distribuída sobre a laje que depende da utilização do ambiente, já considerando equipamentos, pessoas, mobiliário etc. (A NBR 6120 preconiza os valores mínimos a serem adotados de acordo com cada cômodo).

3.1.2 Estados limite

Uma vez determinados os esforços solicitantes, é necessário verificar se as lajes atendem ao dimensionamento nos estados limite último e de serviço, garantindo que a estrutura esteja em condições de absorver aos esforços (BOCCHI JR., 1995).

Na seção 10.3 de NBR 6118:2014 encontram-se listados os estados limites últimos que devem ser verificados:

- a) Estado-limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- b) Estado-limite último do esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, devido às solicitações normais e tangenciais, admitindo-se a redistribuição de esforços internos, desde que seja respeitada a capacidade de adaptação plástica (...), e admitindo-se, em geral, as verificações separadas das solicitações normais e tangenciais;
- c) Estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;
- d) Estado-limite último provocado por solicitações dinâmicas;
- e) Estado-limite último de colapso progressivo;
- f) Estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando exposição ao fogo, conforme a ABNT NBR 15200;
- g) Estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas, de acordo com a ABNT NBR 15421;
- h) Outros estados-limites últimos que eventualmente possam ocorrer em casos especiais.

Analisando-se isoladamente um conjunto de lajes, o dimensionamento necessário no estado limite último passa por verificações de flexão, cisalhamento, punção e colapso progressivo.

A NBR 6118 (2014) também define os estados limites de serviço como “aqueles relacionados ao conforto do usuário e à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas, seja em relação aos usuários, seja em relação às máquinas e aos equipamentos suportados pelas estruturas” e preconiza que com a intenção de garantir o bom desempenho de uma estrutura em serviço, usualmente é necessário respeitar limitações de flechas, de abertura de fissuras ou de vibrações, mas também pode-se necessitar garantir estanqueidade, conforto térmico ou acústico. (ABNT, 2014, p.116)

A importância da verificação das flechas se dá principalmente para garantir que os deslocamentos experimentados pela estrutura não são significativos a ponto de precisarem ser considerados no modelo de cálculo. Também é importante prezar pela aceitabilidade e conforto sensorial da estrutura, bem como evitar possíveis patologias em elementos não estruturais, como nas alvenarias. A NBR 6118 (2014) fornece na tabela 13.3 os valores limites para os deslocamentos para cada tipo de efeito na estrutura. Esses valores são dados em função do vão analisado.

O atendimento aos parâmetros máximos de abertura de fissuras assegura aceitabilidade sensorial, além de garantir proteção contra a corrosão das armaduras.

Quanto às limitações de vibrações, no estado limite de serviço, também devem ser atendidas para proporcionar aos usuários da estrutura conforto sensorial. Em casos de possibilidade de vibrações provocadas por ações dinâmicas, a estrutura deve ser verificada no estado limite último para assegurar que não haja colapso por fadiga dos materiais.

3.1.3 Estabilidade global

A análise da estabilidade global é uma das etapas fundamentais na elaboração do projeto estrutural. Segundo Valandro e Trombetta (2016) esta análise tem o objetivo de certificar a segurança da estrutura de modo que ela não atinja o estado limite último de instabilidade, situação em que haveria perda de capacidade resistente devido ao aumento das deformações. Existem dois processos para avaliar a estabilidade global de uma estrutura: através do parâmetro de instabilidade α e coeficiente γ_z , e por meio do processo P-Delta.

O parâmetro de instabilidade α depende do número de pavimentos do edifício, da altura total da edificação, das cargas verticais atuantes e da rigidez dos pilares. O cálculo deste parâmetro determina se a estrutura deve ser considerada de nós fixos ou móveis. O coeficiente γ_z avalia a importância dos esforços de segunda ordem globais e é calculado utilizando o somatório dos momentos de todas as forças horizontais e verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada (ABNT NBR 6118, 2014). Já o processo P-Delta é utilizado quando se constata a necessidade de considerar os efeitos de segunda ordem globais no cálculo da estrutura. Este processo considera a estrutura em sua condição geométrica inicial, substituindo a deformação por esforços horizontais adicionais (VALANDRO e TROMBETTA, 2016).

Na seção 15.4.2 a NBR 6118 (2014) define as estruturas de nós fixos e estruturas de nós móveis:

As estruturas são consideradas, para efeito de cálculo, de nós fixos, quando os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, por decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são desprezíveis (inferiores a 10% dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas, basta considerar os efeitos locais e localizados de 2ª ordem.

As estruturas de nós móveis são aquelas onde os deslocamentos horizontais não são pequenos e, em decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são importantes (superiores a 10% dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas devem ser considerados tanto os esforços de 2ª ordem globais como os locais e localizados.

A rigidez de uma estrutura as ações horizontais é constituída por subestruturas que resistem à maior parte dos esforços provenientes dessas ações. Essas subestruturas são chamadas de elementos de contraventamento, e os elementos que não formam contraventamento são chamados elementos contraventados (ABNT NBR 6118, 2014). Com isso, durante a elaboração do projeto estrutural procura-se um arranjo de vigas e pilares que possibilite a formação de pórticos de contraventamento em cada pavimento, nas duas direções do edifício.

3.2 Lajes Maciças

Lajes maciças são lajes que possuem toda a sua seção transversal preenchida em concreto armado. São calculadas e armadas para resistir a esforços de flexão em uma ou duas direções. Essas lajes podem ser pré-moldadas ou moldadas no local, a partir da utilização de escoramento, fôrmas e posicionamento das armações. Apresentam espessura mínima definida por norma de acordo com seu uso, variando entre 7 e 16 cm.

Nascimento e Gidrao (2019) apresentam como vantagens das lajes maciças:

- É um elemento estrutural bastante difundido e utilizado, o que gera oferta de mão de obra treinada.
- Oferece bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços na estrutura.

Nappi (1993) aponta outras vantagens que podem ser citadas:

- Proporcionam maior rigidez ao conjunto da estrutura
- Apresentam segurança na execução da concretagem

Como desvantagem, Nappi (1993) cita a necessidade de utilização de fôrmas moldadas *in loco*, o que gera consumo de tempo e mão de obra especializada em carpintaria, bem como a utilização de concreto em regiões que não demandam resistência a compressão.

3.3 Lajes Nervuradas

Bocchi Júnior (1995) define que as lajes nervuradas de concreto armado são constituídas por vigas associadas a uma mesa de concreto. Essas vigas são denominadas nervuras e podem ser pré-moldadas ou moldadas *in loco*. A NBR 6118 (ABNT, 2014) complementa que nesse sistema estrutural a “zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras, entre as quais

pode ser colocado material inerte”. A figura 1 ilustra uma seção transversal genérica de laje nervurada.

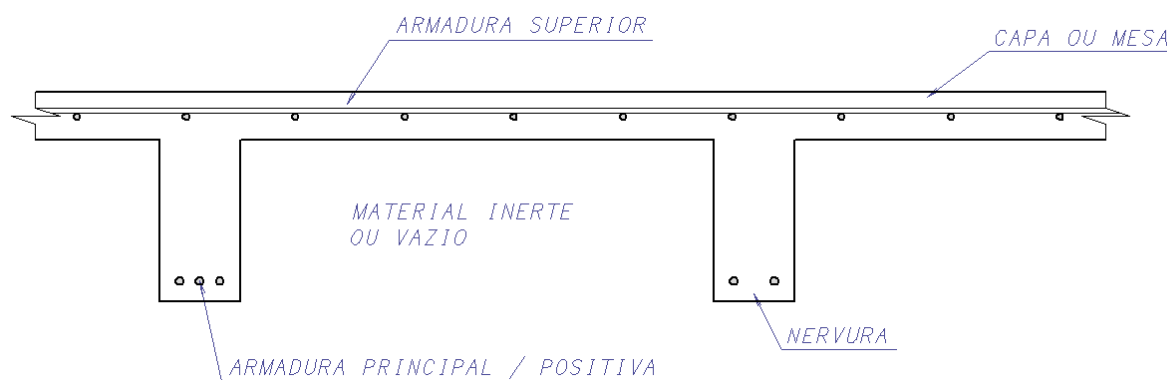


Figura 1 - Esquema de seção transversal de laje nervurada

A condição de apoio ideal para a laje nervurada ocorre com as bordas apoiadas. Nessa conjuntura, a parte inferior da laje resiste à tração (armaduras positivas nas nervuras) e a porção superior resiste à compressão (mesa de concreto). A configuração da seção transversal com vigas e vazios permite economia de concreto nas regiões de laje solicitadas a tração. No entanto, também é possível haver bordas engastadas ou em balanço. De acordo com Bocchi Júnior (1995) é interessante evitar engastes e balanços, para evitar tensões de tração na face superior e esforços de compressão na face inferior. Nestes casos, pode ser necessário um aumento de seção ou utilização de trechos maciços, o que aumentaria o consumo de concreto deixando a estrutura menos econômica.

De acordo com Cunha (2012), as lajes nervuradas apresentam grande rigidez à torção devido a configuração de barras interceptadas ortogonalmente ligadas pela capa de concreto. Essas lajes são adequadas para vencer vãos entre 6,0 e 13,0 metros.

As lajes nervuradas podem ser pré-moldadas ou moldadas no local. Chama-se de pré-moldada a laje em que a nervura ou parte dela é executada fora do local da construção. As lajes moldadas *in loco* são montadas e executadas em sua posição definitiva. Os tipos mais comuns de laje nervurada são as moldadas no local, com a utilização de fôrmas plásticas removíveis ou preenchimento entre as nervuras com blocos cerâmicos, de concreto celular ou espuma de poliestireno expandido (EPS).

Segundo Silva (2005, apud SOUZA e LOPES, 2016) as fôrmas plásticas de polipropileno têm a vantagem de serem reaproveitáveis, reforçadas internamente, possuem ótima precisão nas dimensões, são leves, de fácil manuseio, não incorporam peso a laje, a desforma é manual, sem necessidade de utilizar ar comprimido, e podem ser colocadas diretamente em cima do escoramento, dispensando o assoalho da laje”.

Cunha (2012) cita as vantagens das lajes nervuradas de concreto armado moldadas no local:

- a) Permitem vencer grandes vãos com peso próprio menor que as lajes maciças;
- b) Podem ser construídas com a mesma tecnologia empregada nas lajes maciças;
- c) Possuem versatilidade nas aplicações, podendo ser utilizadas em pavimentos de edificações comerciais, residenciais, educacionais, hospitalares, garagens, clubes e centros de compras;
- d) Permitem o uso de procedimentos racionalizados, tais como o uso de telas para a armadura de distribuição e a utilização de fôrmas plásticas recuperáveis;
- e) São adequadas aos sistemas de lajes sem vigas, devendo manter-se regiões maciças apenas nas regiões dos pilares, onde há grande concentração de esforços.

Como desvantagens, tem-se:

- Aumento na altura de laje de cada pavimento, podendo causar, conseqüentemente, um aumento na altura total da edificação;
- Apresenta maior dificuldade na compatibilização com as instalações;
- A concretagem dessas lajes exige cuidado para que não haja vazios nas nervuras, que normalmente tem seções de largura pequena.

4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

4.1 Metodologia

Para realização do estudo comparativo entre as soluções de laje nervurada e laje maciça para o pavimento térreo deste edifício, utilizou-se o programa TQS na versão 23.8.

Inicialmente a estrutura do prédio foi lançada e carregada, considerando laje maciça convencional no térreo. Verificou-se a estabilidade global do edifício, as flechas nas lajes e vigas em cada pavimento e o dimensionamento das lajes, vigas e pilares.

Em um segundo momento realizou-se a substituição das lajes maciças do térreo por lajes nervuradas do tipo ATEX 800, ocasionando a remoção de algumas vigas e a alteração nas

dimensões de outras, adequando-se a nova solução estrutural do pavimento. Verificou-se novamente a estabilidade global do edifício, as flechas nas vigas e lajes do térreo e o dimensionamento das lajes, vigas e pilares.

O modelo de cálculo utilizado para análise e obtenção dos esforços do edifício foi o modelo IV do TQS, no qual nas lajes discretizadas em grelha somente os esforços gerados por forças verticais são calculados, gerando esforços resultantes nas vigas que são transferidos como carga para o pórtico espacial. No pórtico são calculados os esforços oriundos das ações verticais e horizontais nas vigas e pilares. Isto é, neste modelo as lajes não são consideradas como estruturas de contraventamento do edifício.

O fck do concreto adotado para este edifício foi de 35 MPa para pilares, vigas e lajes da fundação até o 6º pavimento e 30 MPa para pilares, vigas e lajes do 7º pavimento até a cobertura. Optou-se por tal variação afim de proporcionar economia, uma vez que os esforços solicitantes em um edifício são maiores em sua base em comparação com o topo. O aço utilizado para a armadura passiva foi o CA 50.

A classe de agressividade ambiental (CAA) foi definida de acordo com os parâmetros da tabela 6.1 da NBR 6118:2014. O empreendimento encontra-se em ambiente urbano sem presença de fatores de agravamento da agressividade, portanto foi considerado com CAA II – moderada. Para esta classe, os cobrimentos gerais utilizados em projeto estão listados a seguir:

- Blocos de fundação = 40 mm
- Pilares e vigas = 30 mm
- Lajes e escadas = 25 mm

4.2 Códigos e Normas

O projeto da estrutura em concreto armado do edifício como um todo foi desenvolvido de acordo com as prescrições das normas nacionais aplicáveis da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na sua revisão mais recente. Abaixo, a relação das principais normas utilizadas:

- ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- ABNT NBR 6120:2019 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – procedimento;

- ABNT NBR 7480:2022 – Aço destinado a armaduras para concreto armado – Requisitos;
- ABNT NBR 7481:1990 – Tela de aço soldada – Armadura para concreto;
- ABNT NBR 8953:2015 – Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência – Classificação;
- ABNT NBR 15200:2012 – Projeto de estruturas de concreto em situações de incêndio – Procedimento.

4.3 Caracterização do Empreendimento

O empreendimento em questão é um edifício residencial que será construído em cidade do interior de Minas Gerais. Trata-se de terreno plano de aproximadamente 3000 m² com área total construída de 19267 m² em 20 pavimentos. A altura total da edificação é de 68,6 m e o pavimento tipo, que se repete 16x apresenta dimensões aproximadas de 41 x 21 m.

A seguir apresenta-se figura 2 com imagem do edifício e breve descrição de cada pavimento.

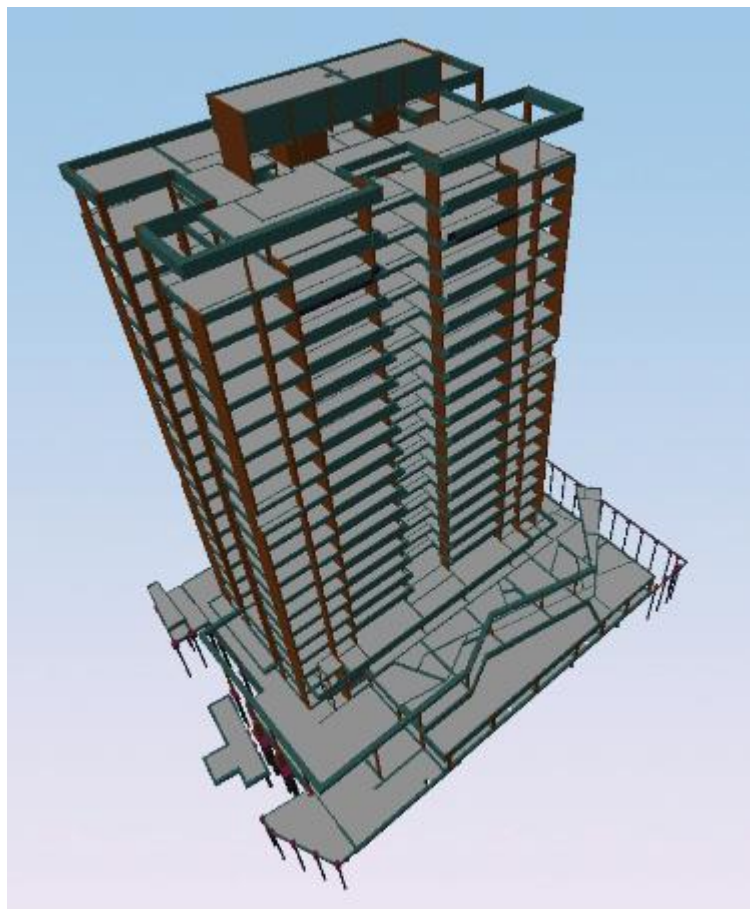


Figura 2 - Imagem 3D da estrutura em concreto armado do edifício.

- 1º subsolo: pavimento que será escavado no terreno, no nível do qual será construída a fundação do edifício e estruturas de contenção no perímetro. Conta com área estruturada de 2300 m² e será utilizado para estacionamento de veículos.

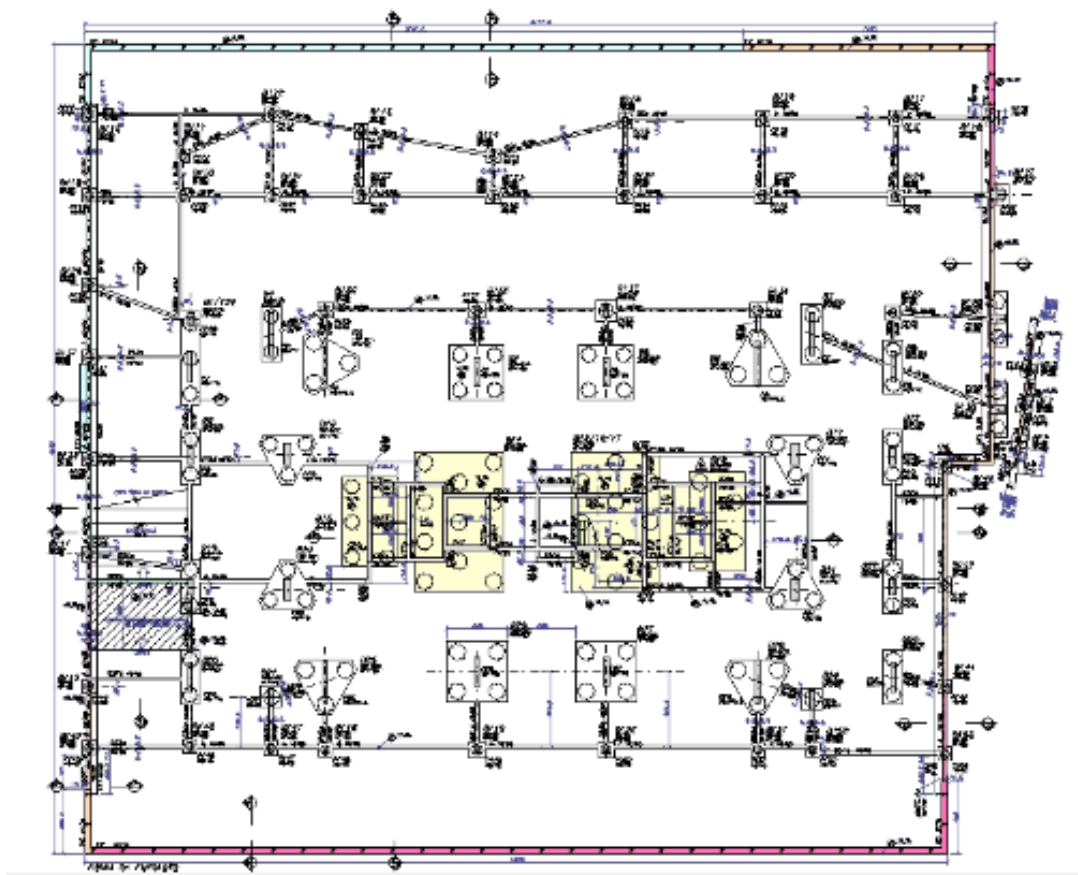


Figura 3 - Fôrma da fundação / 1º subsolo

- Térreo: pavimento objeto de estudo deste trabalho. Este pavimento está no nível da rua, onde localizam-se a fachada e entrada do edifício. Também conta com área de estacionamento, cômodos técnicos, área de lazer, playground, pomar e *pet place*. A área estruturada é de 2300 m².

O subitem 4.3.1 deste trabalho é dedicado a descrição completa deste pavimento, bem como informações sobre a estrutura adotada. Abaixo na figura 4 o 3D de uma das soluções estruturais para o pavimento.

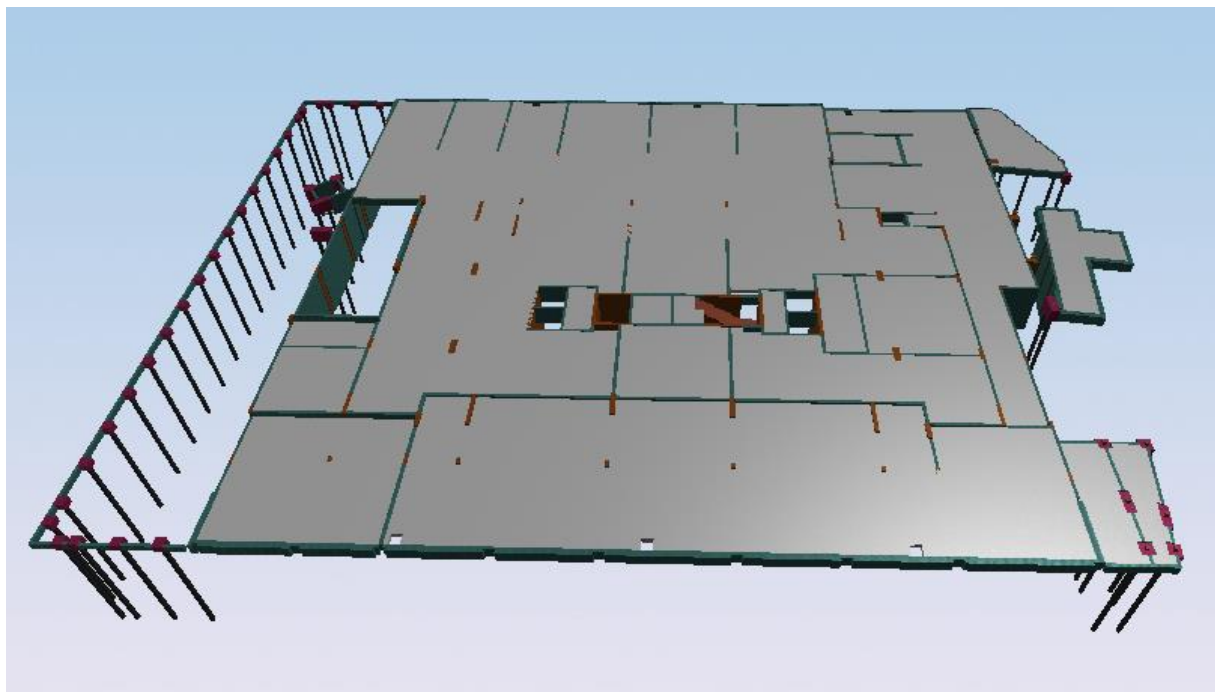


Figura 4 - Imagem 3D da solução em laje nervurada para o pavimento térreo.

- Lazer: pavimento pilotis – conta com três piscinas (adulto, infantil e *family*), salão de festas, pátio descoberto, brinquedoteca, academia, salão de jogos, espaço gourmet, cinema e sala para *coworking* e reunião. A área estruturada é de 1535 m².

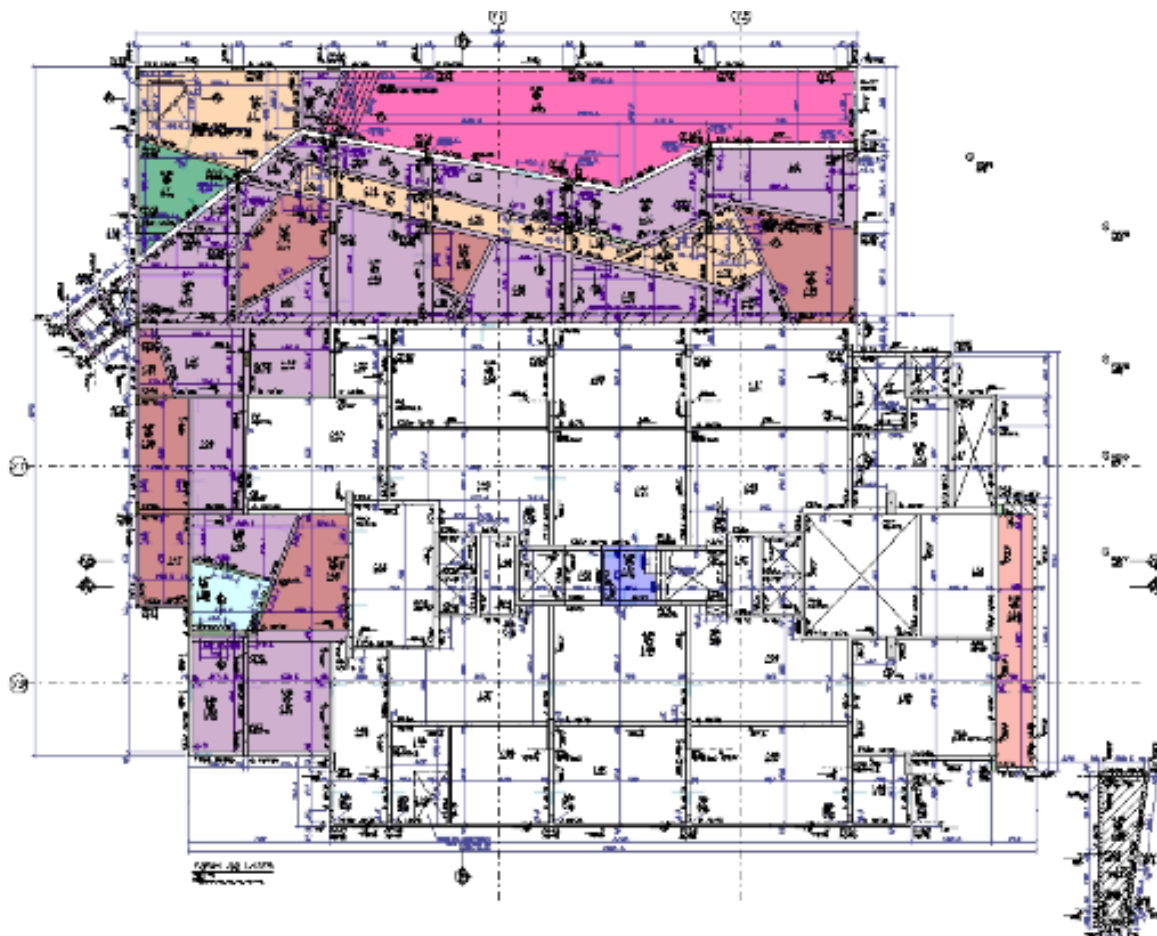


Figura 5 - Fôrma do lazer / pilotis

- 1º pavimento: este pavimento possui área estruturada de 978 m² e é a primeira laje de apartamentos do edifício. São 4 apartamentos, cada um com três suítes, cozinha, área de serviço sala de estar, varanda *gourmet* e terraço privativo com SPA.

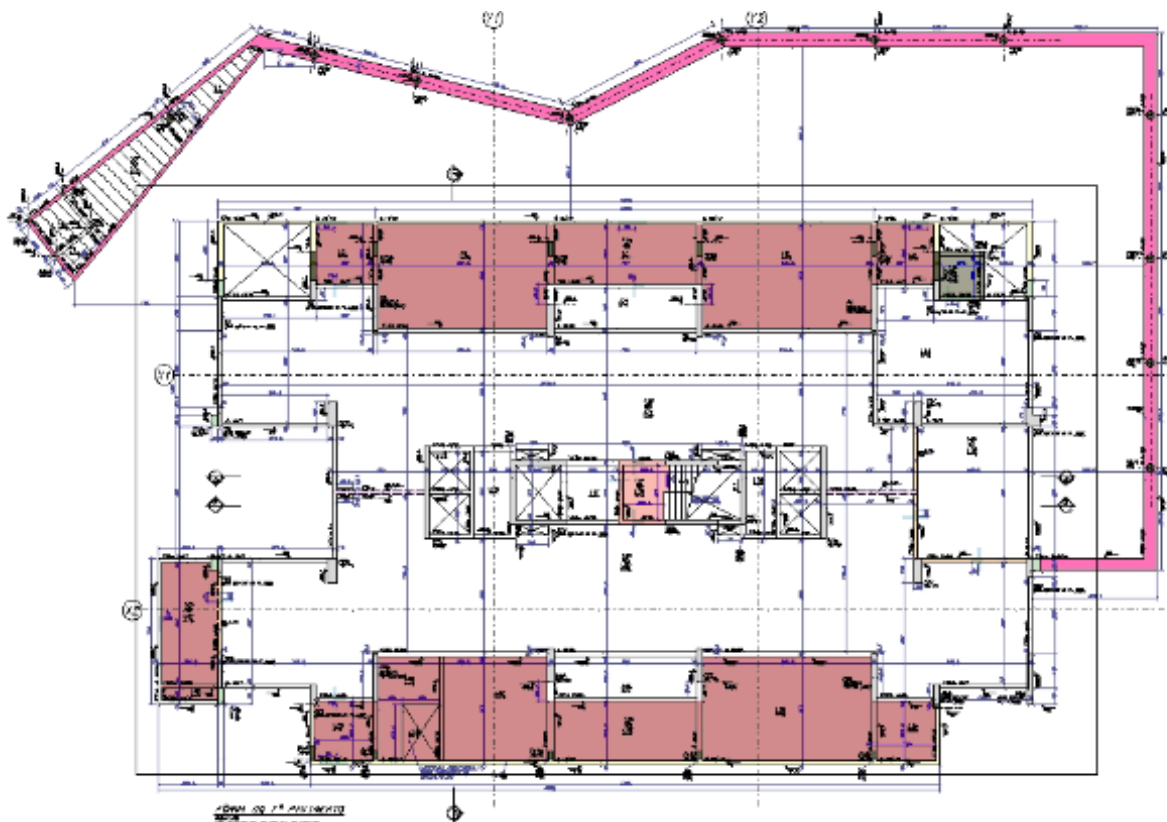


Figura 6 - Fôrma do 1º pavimento

- 2º ao 17º pavimento: são os apartamentos tipo do edifício. Em cada pavimento são 4 apartamentos, cada um com três suítes, cozinha, área de serviço, sala de estar e varanda *gourmet*. A área estruturada é de 669 m² em cada pavimento, totalizando 10704 m².

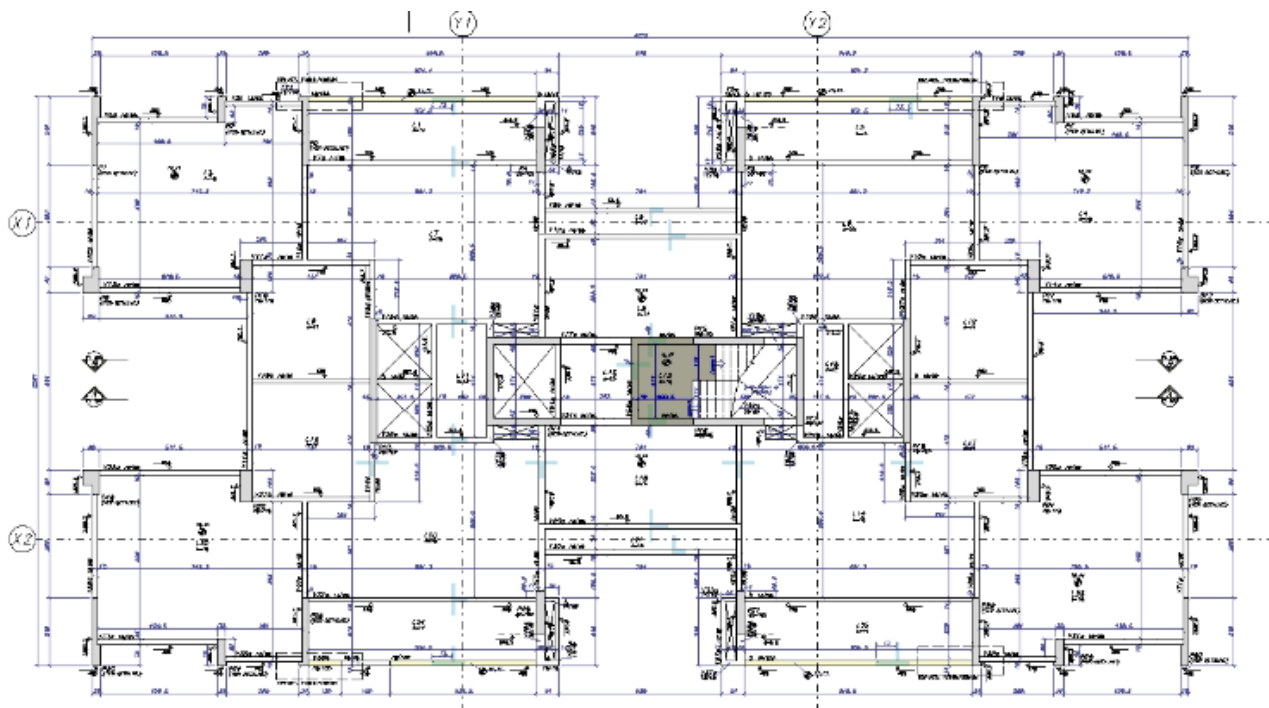


Figura 7 - Fôrma do tipo (2º ao 17º pavimento)

- 18º pavimento: pavimento do tipo cobertura linear. Constitui-se de 2 apartamentos, cada um com 4 suítes, cozinha, área de serviço, sala de TV, espaço *living*, sala de jantar, varanda *gourmet* e terraço descoberto com SPA. Este pavimento apresenta área estruturada de 670 m²

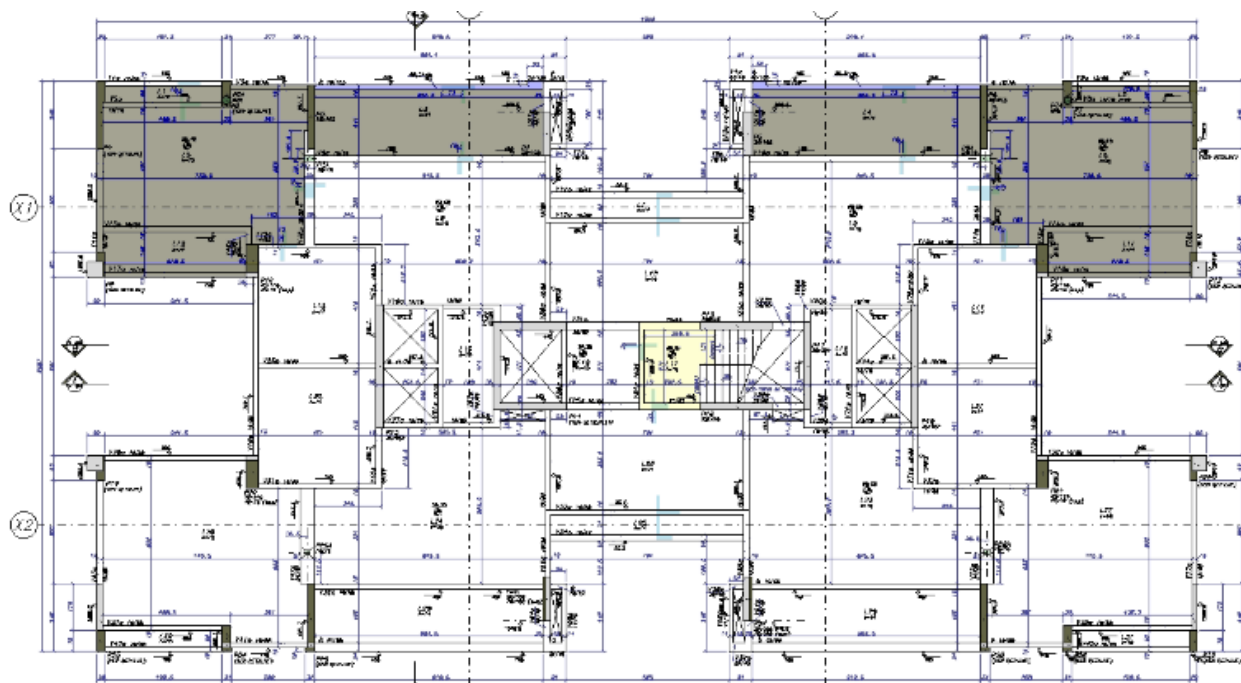


Figura 8 - Fôrma do 18º pavimento

- Barrilete: pavimento de casa de máquinas e cobertura do edifício. Conta com área estruturada de 630 m²

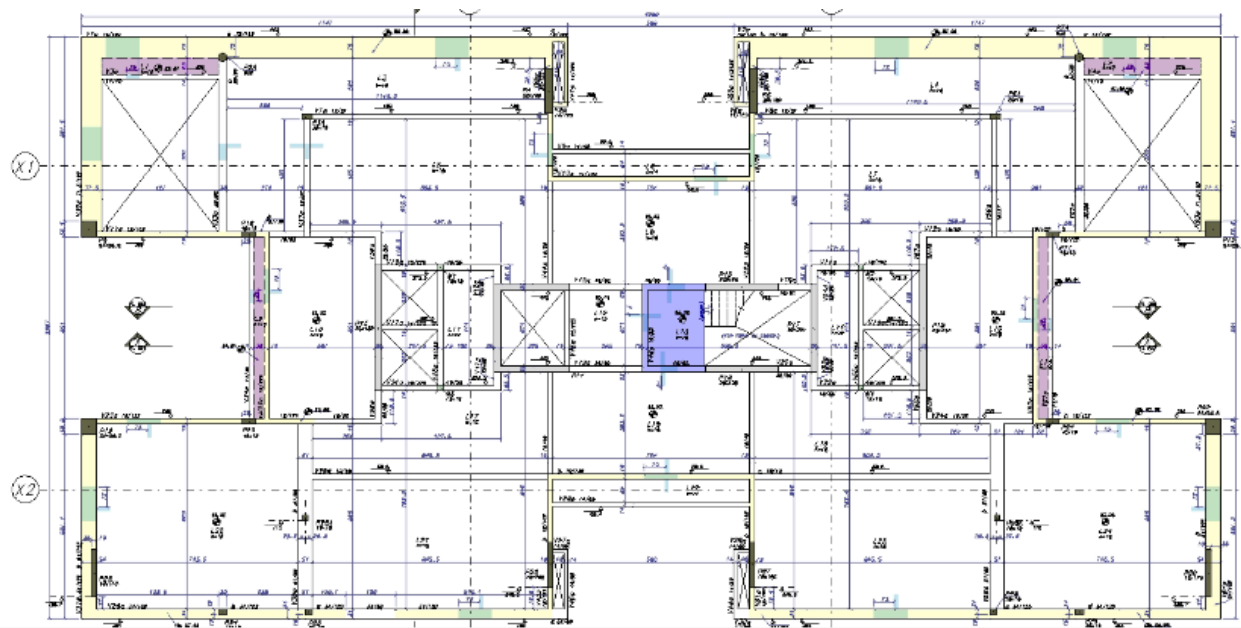


Figura 9 - Fôrma do barrilete

- Reservatório e cobertura: O edifício conta com 2 reservatórios em concreto armado de 120.000 l cada. A área estruturada é de 75 m² tanto para a laje do fundo quanto para a laje do topo, totalizando 150 m².

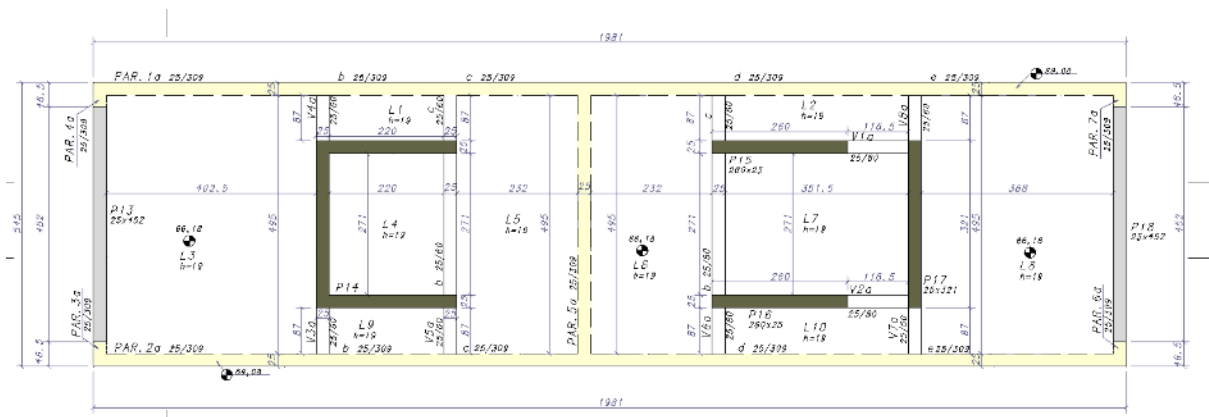


Figura 10 - Fôrma do fundo do reservatório

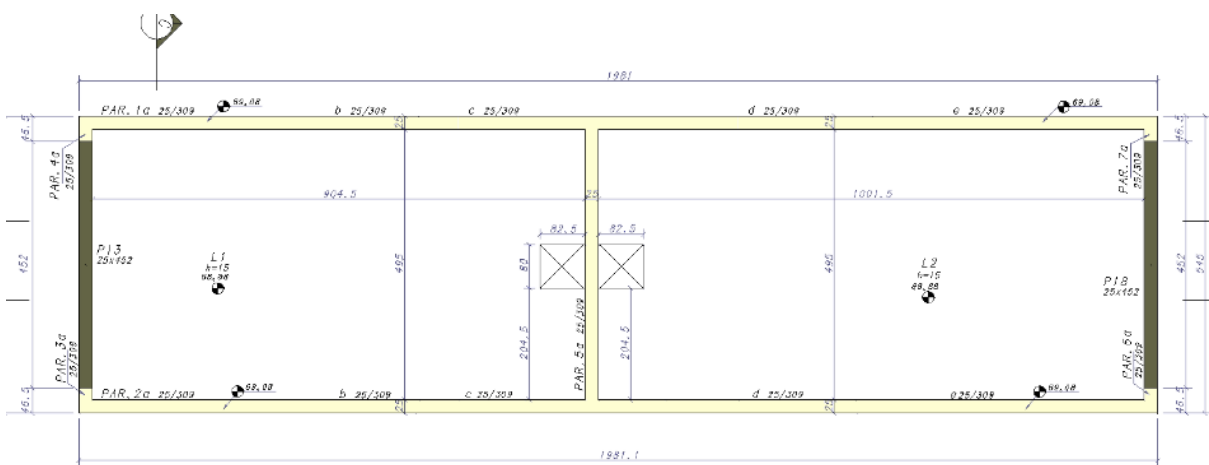


Figura 11 - Fôrma do topo do reservatório / cobertura

4.3.1 Descrição do pavimento térreo

Conforme explicitado no item 4.3 este é um pavimento utilizado principalmente como estacionamento. Conta também com área de jardins na região da fachada do prédio, quadra de areia descoberta e alguns cômodos técnicos. A figura 12 apresenta um esquema com o *layout*

do pavimento. O cômodo destinado a subestação é subterrâneo e ficará abaixo do jardim, com acesso pelo 1º subsolo.

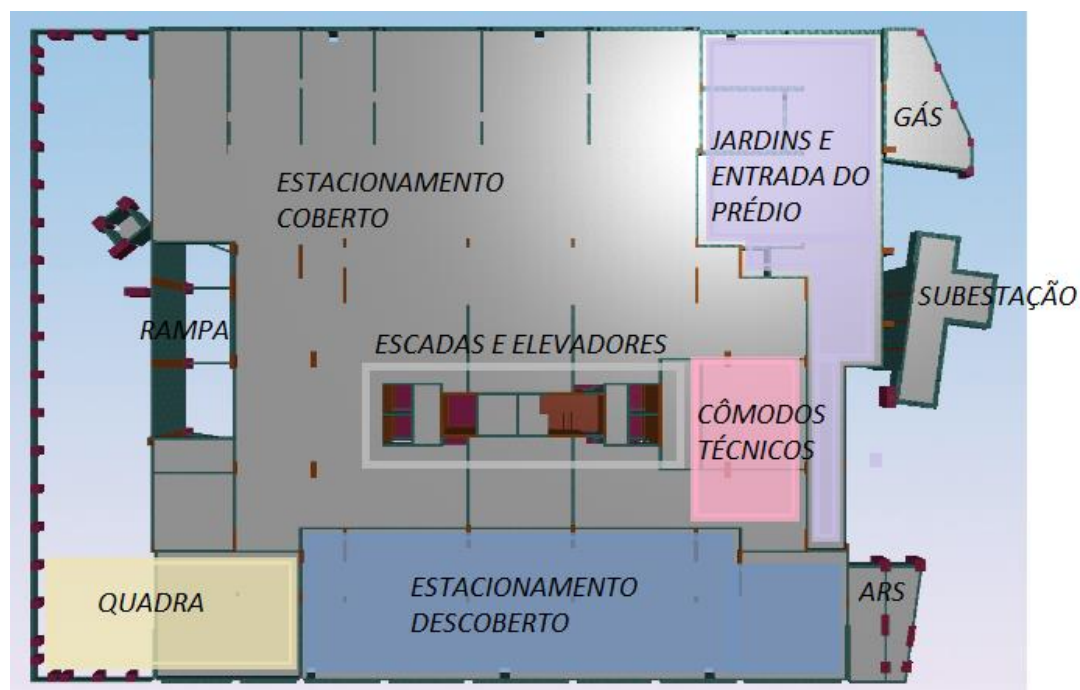


Figura 12 - Esquema de layout do pavimento térreo.

Existem também estruturas de contenção nos perímetros, descendo até o 1º subsolo. Nas laterais esquerda e direita foi prevista contenção em cortina de concreto, cuja altura máxima é de 4,44 m. Para essas cortinas foi previsto fundação em estaca hélice contínua monitorada. Já nas porções superior e inferior as contenções serão executadas com estacas metálicas cravadas e parede em concreto pré-moldado entre as estacas. A distância entre perfis foi de 70 cm em média. Na porção superior existem pilares que nascem em cima da contenção, na viga de coroamento, e suportam a estrutura do próximo pavimento. Com isso, na solução em laje nervurada algumas vigas foram mantidas nessa região para contribuírem como travamento desses pilares. A figura 13 mostra onde foi empregado cada tipo de contenção descrito.

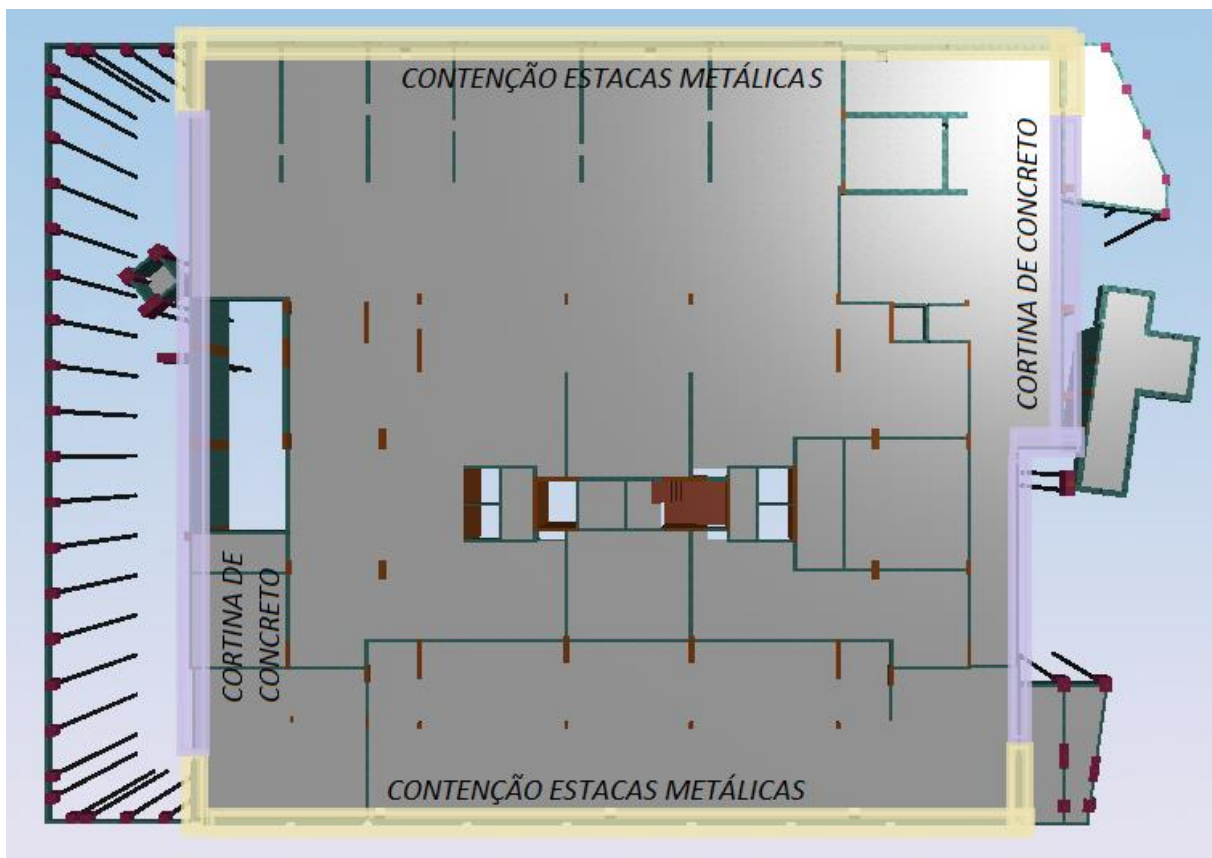


Figura 13 - Esquema ilustrativo das regiões de contenção.

Para desenvolvimento das duas soluções de laje para este piso, todos os pilares foram mantidos com as mesmas dimensões e na mesma posição e além do tipo de laje alterou-se posição e dimensão de vigas, respeitando as necessidades arquitetônicas e de uso do pavimento. Nos próximos itens encontra-se um descritivo de cada solução utilizada juntamente com os resultados obtidos.

4.3.2 Esforços solicitantes no térreo

As ações permanentes sobre lajes e vigas se resumem, essencialmente, a revestimento de piso e alvenarias nas áreas internas e altura de solo e impermeabilização nas áreas externas.

As ações acidentais são as cargas de utilização de cada ambiente, consideradas de acordo com o layout do pavimento.

Os esforços foram considerados de acordo com a arquitetura do pavimento, levando em consideração as regiões de jardim, abrigo de equipamentos ou resíduos, garagem, quadra etc.

Abaixo descreve-se os esforços considerados para as lajes e vigas no pavimento térreo:

Área coberta:

- Carga permanente onde não terá revestimento de piso (estacionamentos e cômodos técnicos) = 50 kg/m²;
- Carga permanente onde terá revestimento de piso (hall dos elevadores e entrada do prédio) = 120 kg/m²;
- Sobrecarga de utilização = 300 kg/m².

Área descoberta:

- Carga permanente = 250 kg/m²;
- Sobrecarga de utilização = 300 kg/m²;
- Jardins = adicional de 940 kg/m² na carga permanente;
- Quadra de areia = adicional de 750 kg/m² na carga permanente.

Carga linear de alvenaria em bloco cerâmico, conforme tabela 2 da ABNT NBR 6120:2019, variando de acordo com a espessura das paredes detalhada em projeto arquitetônico.

No modelo estrutural não foi considerado esforços de empuxo lateral, variações térmicas ou retração.

4.4 Pavimento Térreo em Laje Maciça

A proposta para o pavimento em laje maciça foi elaborada considerando lajes de vãos médios em torno de 5,0 m, com o maior vão de 8,50 m. As espessuras empregadas para as lajes foram de 12, 15 e 19cm, utilizadas de acordo com o vão e o carregamento da laje.

A fôrma apresentada na figura 14 mostra a estrutura final do pavimento, na qual as regiões coloridas representam os desníveis das lajes em relação ao nível do piso interno. Nos próximos tópicos serão apresentados os resultados de cálculo e verificação do projeto do edifício com essa solução.

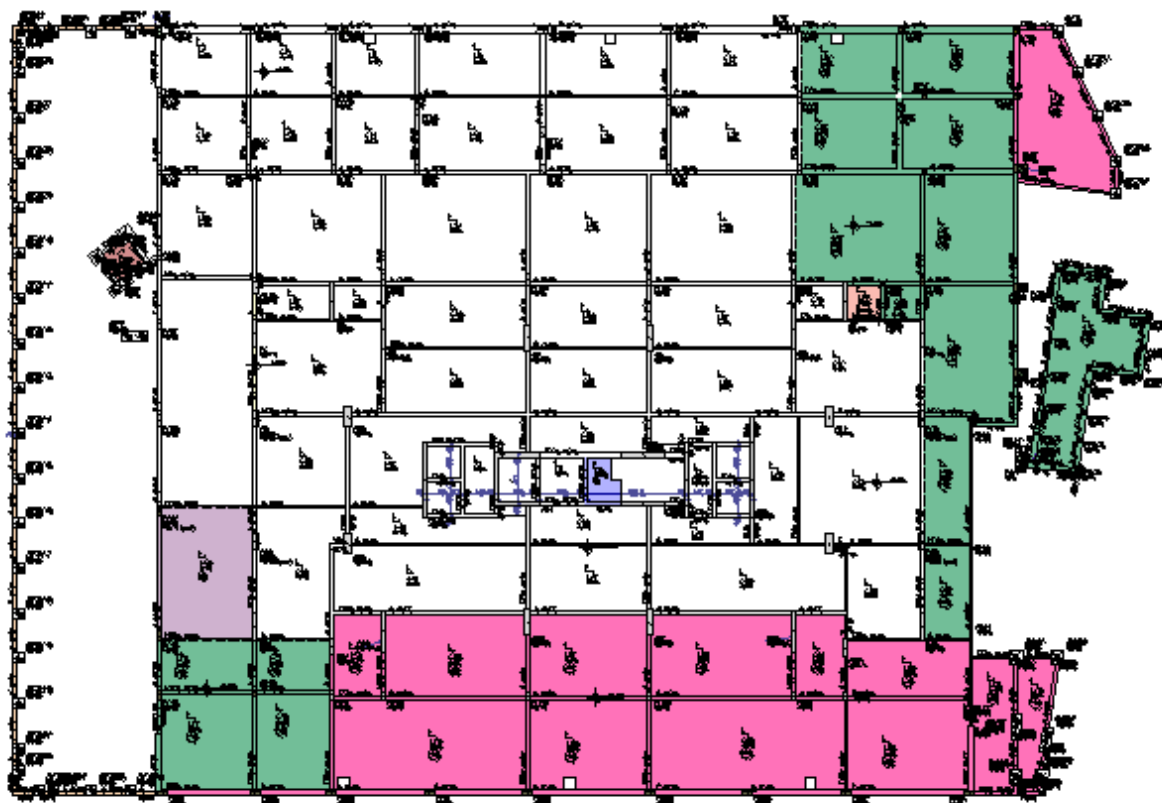


Figura 14 - Fôrma do pavimento térreo - opção com laje maciça.

4.4.1 Estabilidade global do edifício

A estabilidade global foi avaliada de acordo com os parâmetros α e γ_z . O γ_z máximo ocorreu nos casos de vento a 0° e 180° , obtendo o valor de 1,18 (figura 15).

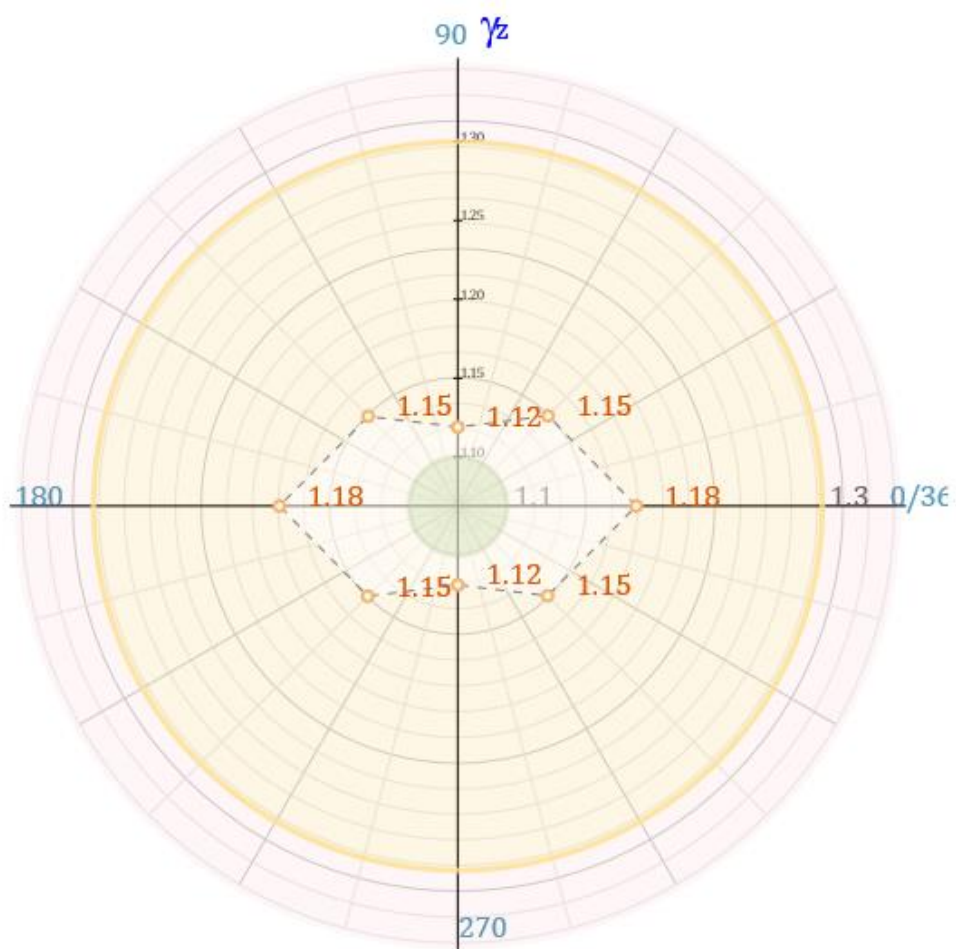


Figura 15 - Resultados do parâmetro γ_z - edifício com pavimento térreo em laje maciça.

O parâmetro α obtido foi de 1,017 na direção do vento 0° e 360° , indicando uma estrutura de nós móveis (figura 16).

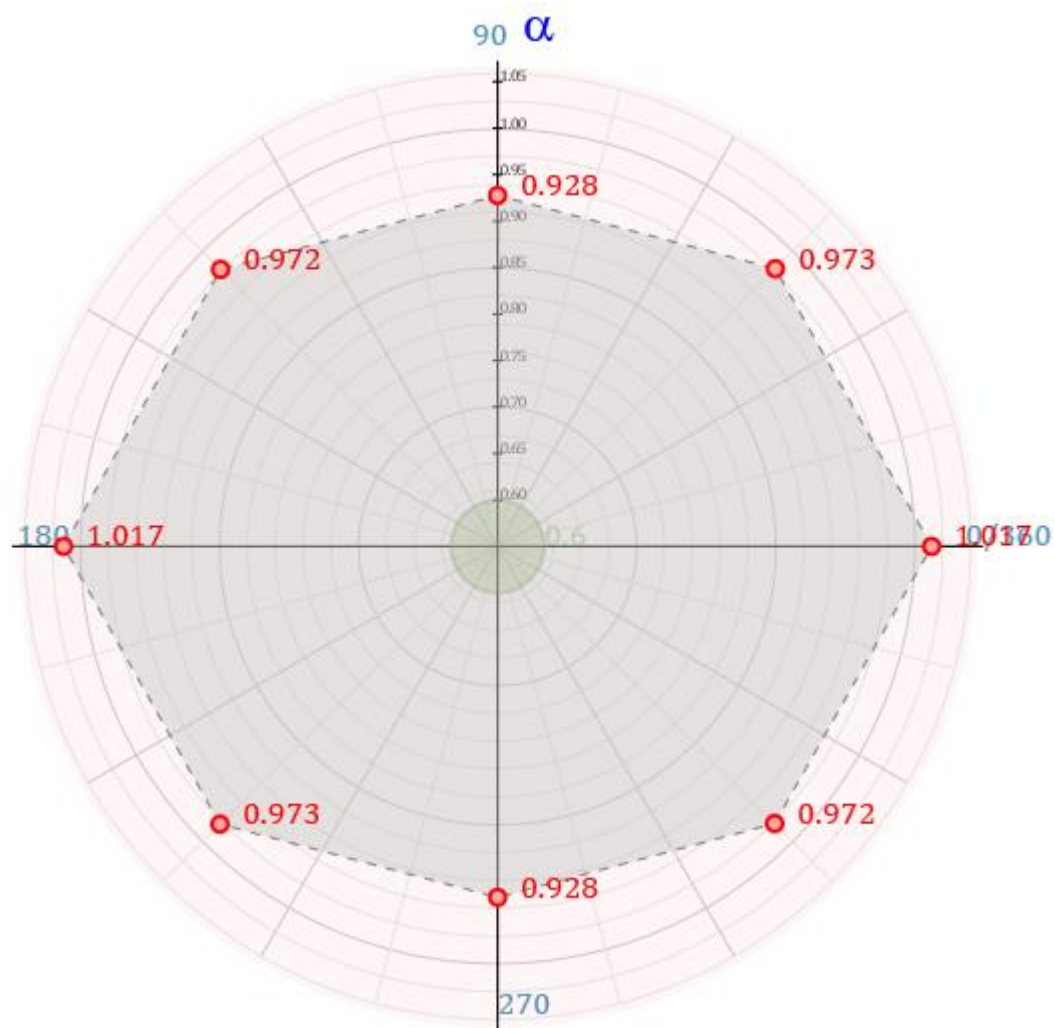


Figura 16 - Resultados do parâmetro α – edifício com pavimento térreo em laje maciça.

Os deslocamentos laterais também atenderam aos limites de norma, conforme resultados nas figuras 17 e 18 abaixo.

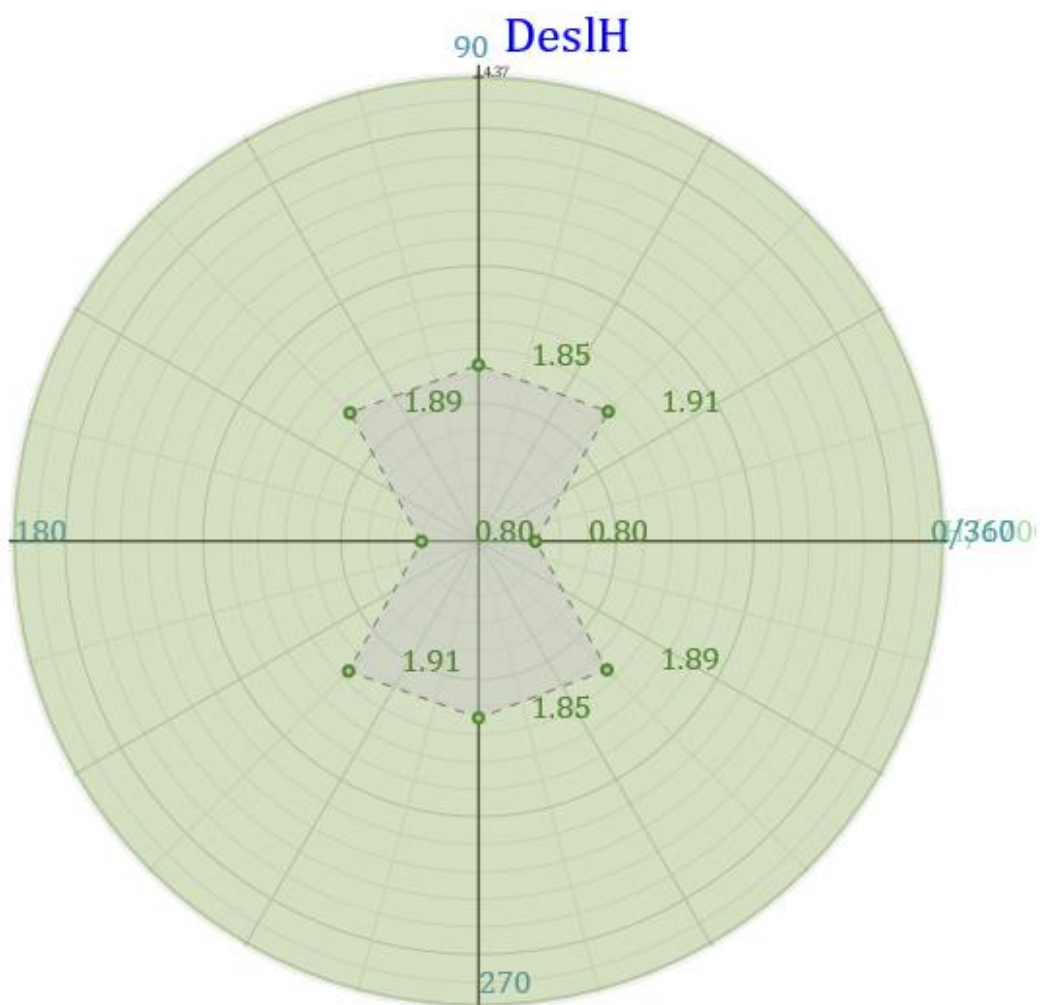


Figura 17 – Resultados de deslocamentos laterais absolutos – edifício com pavimento térreo em laje maciça.

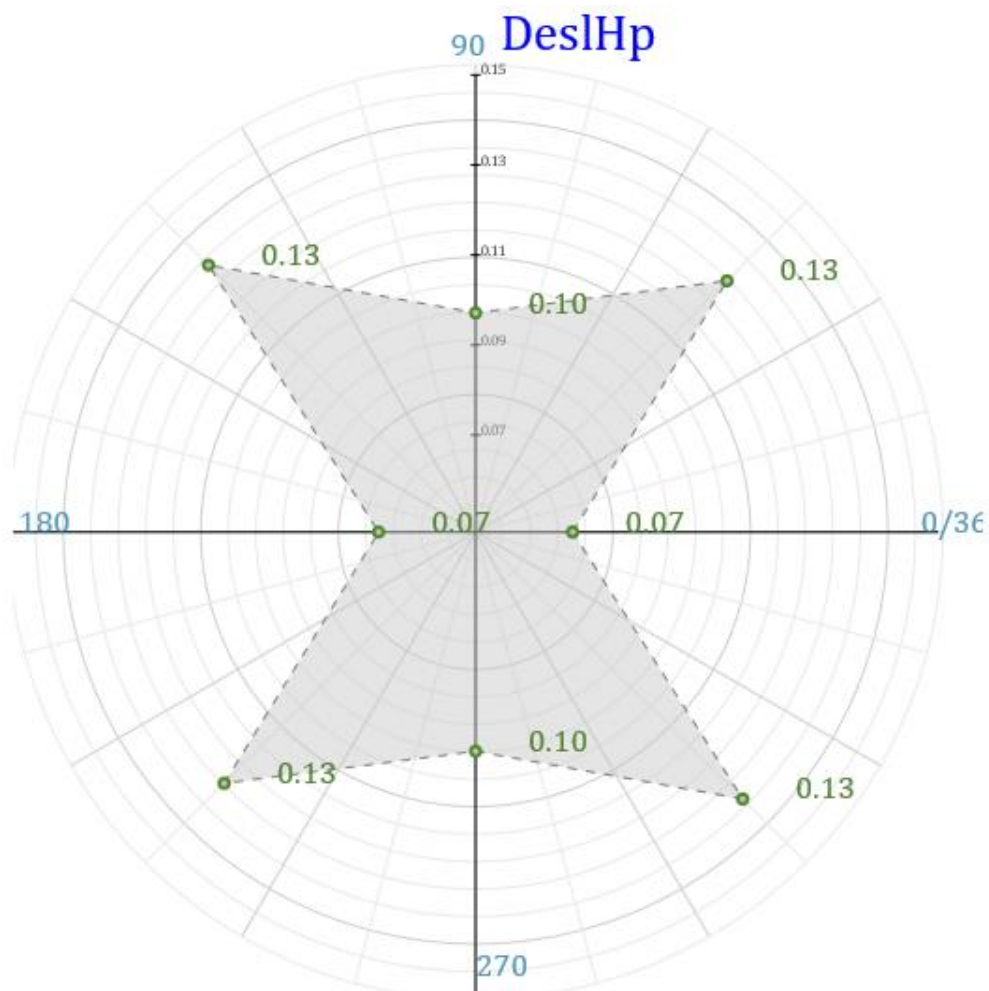


Figura 18 - Resultados de deslocamentos laterais entre pisos - edifício com pavimento térreo em laje maciça.

4.4.2 Flechas e deslocamentos no térreo

Os deslocamentos nas vigas e lajes foram avaliados a partir do modelo de grelha não linear. Este modelo fornece uma verificação mais refinada das flechas em um pavimento, uma vez que tem como base a não-linearidade física do concreto armado e leva em conta a fissuração do concreto, a presença de armaduras nas lajes e vigas e a fluência.

O valor máximo de deslocamento obtido para a solução do pavimento em laje maciça foi de 1,91 cm em um vão de aproximadamente 5,60 m – caracterizando deslocamento de vão/293, o que atende aos limites estabelecidos na NBR 6118:2014. Abaixo a figura 19 com os resultados do processamento em grelha não linear.

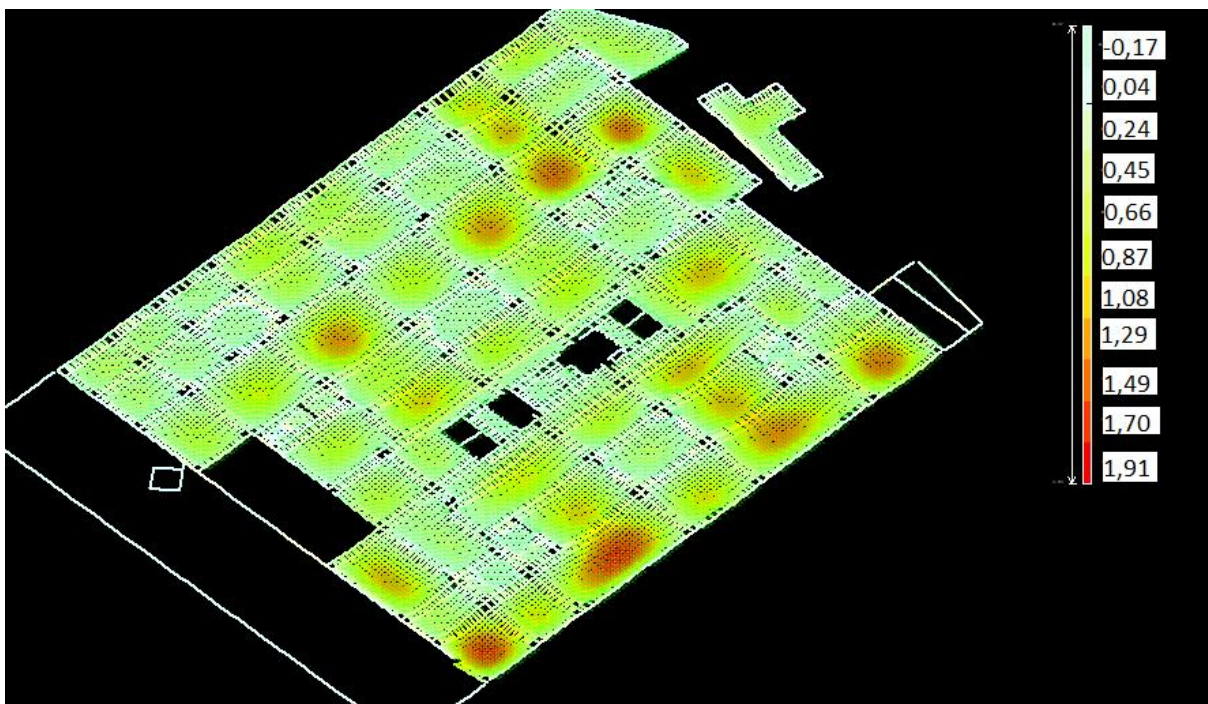


Figura 19 - Resultados de deformações em lajes e vigas pelo método grelha não linear – edifício com pavimento térreo em laje maciça.

4.4.3 Consumo de materiais

Foi levantado o quantitativo de fôrmas e concreto necessários para a construção do pavimento térreo em laje maciça, bem como realizado o detalhamento das armações das lajes e vigas deste piso. Os índices obtidos estão resumidos na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Consumo de fôrma, concreto e aço no pavimento térreo - opção em laje maciça.

PAVIMENTO TÉRREO EM LAJE MACIÇA - CONSUMO DE FÔRMA, CONCRETO E AÇO					
Peça	Fôrma (m ²)	Concreto (m ³)	Aço (kg)	Consumo (kg/m ²)	Consumo (kg/m ³)
Vigas	1685	177,7	12677	7,5	71,3
Lajes	2082	294,3	24022	11,5	81,6
Total	3767	472	36699	9,7	77,8

A espessura média é o índice calculado a partir da razão entre o volume total de concreto e a área estruturada do pavimento. O valor calculado para essa opção de estrutura foi de 25,2 cm, considerando o volume de concreto de 106 m³ referente aos pilares.

Vale ressaltar que como a seção, posição e quantidade de pilares não foi alterada de uma solução para a outra, os índices dessas peças não foram levantados, pois apesar de haver diferença de esforços devido a alteração no peso próprio das lajes e vigas do pavimento, esta diferença é pequena e provocaria mínima alteração no quantitativo de aço de pilares, optando-se então por não a considerar.

4.5 Pavimento Térreo em Laje Nervurada

Para a proposta do pavimento em laje nervurada, a maioria das vigas foi retirada explorando assim a solução em laje cogumelo. Vigas foram mantidas fora do perímetro do pavimento em duas situações específicas: para conformar os desníveis entre as lajes onde necessário e para contribuir no travamento da estrutura de contenção na porção superior do pavimento.

A laje nervurada adotada para essa solução foi com fôrmas removíveis de polipropileno. Essas fôrmas são fabricadas pela empresa ATEX e o tipo de molde escolhido foi o ATEX 800 (25+7,5) – esse molde corresponde a laje com nervuras de 25 cm de altura e 7,5 cm de capa de concreto, conforme mostra a figura 20. Esse tipo de laje atende ao TRRF (tempo requerido de resistência ao fogo) de 90 minutos calculado para essa edificação. A figura 21 extraída do catálogo do fabricante ATEX mostra as propriedades da seção transversal da laje adotada.

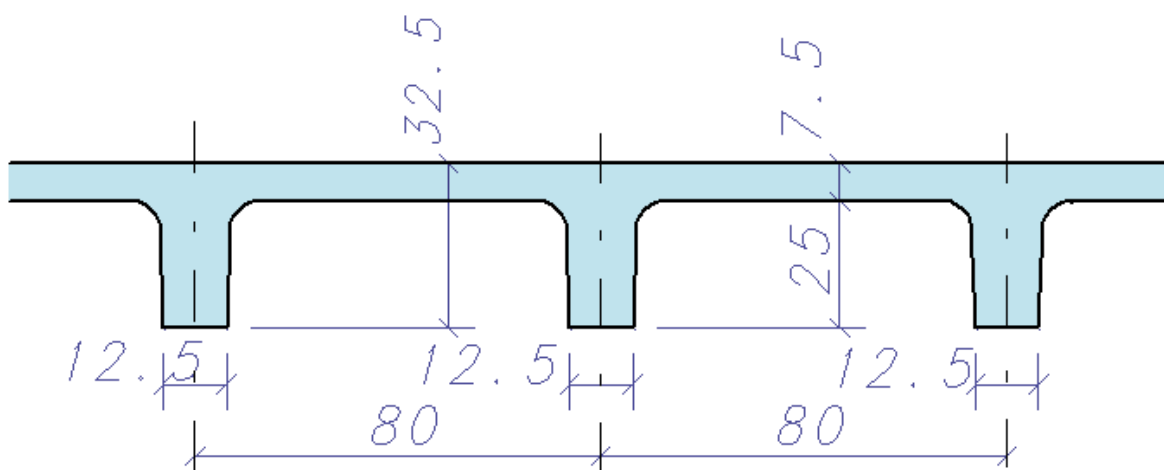



Figura 20 - Seção transversal da laje nervurada ATEX 800 25+7,5.

Fôrma
Atex 800
Bidirecional



Altura do Molde	Espessura da Lâmina	Altura Total	Largura da Nervura			Área da Seção	Distância do C. G. à		Inércia		Volume do Vazio		Peso Próprio	Volume de Concreto
			Inferior	Superior	Média		Face Superior	Face Inferior	Inércia para nervurada	Altura equivalente	m³	m³/m²		
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm²	cm	cm	cm⁴	cm	m³	m³/m²	KN/m²	m³/m²
20,0	5,0	25,0				681	7,5	17,5	34444	17,3			2,85	0,114
	7,5	27,5	12,5	15,6	14,0	881	8,0	19,5	46395	19,1	0,087	0,136	3,48	0,139
	10,0	30,0				1081	8,8	21,2	60494	20,9			4,10	0,164
25,0	5,0	30,0				770	9,4	20,6	59543	20,7			3,35	0,134
	7,5	32,5	12,5	17,1	14,8	970	9,7	22,8	77643	22,7	0,106	0,166	3,98	0,159
	10,0	35,0				1170	10,3	24,7	97633	24,5			4,60	0,184
30,0	5,0	35,0				888	11,5	23,5	95454	24,3			3,98	0,159
	7,5	37,5	12,5	20,0	16,3	1088	11,6	25,9	122004	26,3	0,122	0,191	4,60	0,184
	10,0	40,0				1288	12,1	27,9	150167	28,2			5,23	0,209
35,0	5,0	40,0				1013	13,6	26,4	142988	27,8			4,65	0,186
	7,5	42,5	12,5	22,5	17,5	1213	13,6	28,9	179875	30,0	0,137	0,214	5,28	0,211
	10,0	45,0				1413	14,0	31,0	218056	32,0			5,90	0,236
40,0	5,0	45,0				1166	15,8	29,2	205963	31,4			5,48	0,219
	7,5	47,5	12,5	25,8	19,2	1366	15,8	31,7	255473	33,7	0,148	0,231	6,10	0,244
	d1	50,0				1566	16,1	33,9	306124	35,8			6,73	0,269
d1	ds	D	bi	bs	br	A	rs	ri	I	heq	v/v	Concreto 25 kN/m³		

Figura 21 - Tabela com informações técnicas dos moldes ATEX 800 – marcado em verde o molde selecionado.

Fonte: Catálogo técnico ATEX. Disponível em: <<https://atex.com.br/pt/wp-content/uploads/2020/10/Formas-Atex-Bidirecionais.pdf>>. Acesso em 15/05/23.

A figura 22 mostra a fôrma adotada para o térreo em laje nervurada e os próximos itens deste trabalho mostram os resultados obtidos.

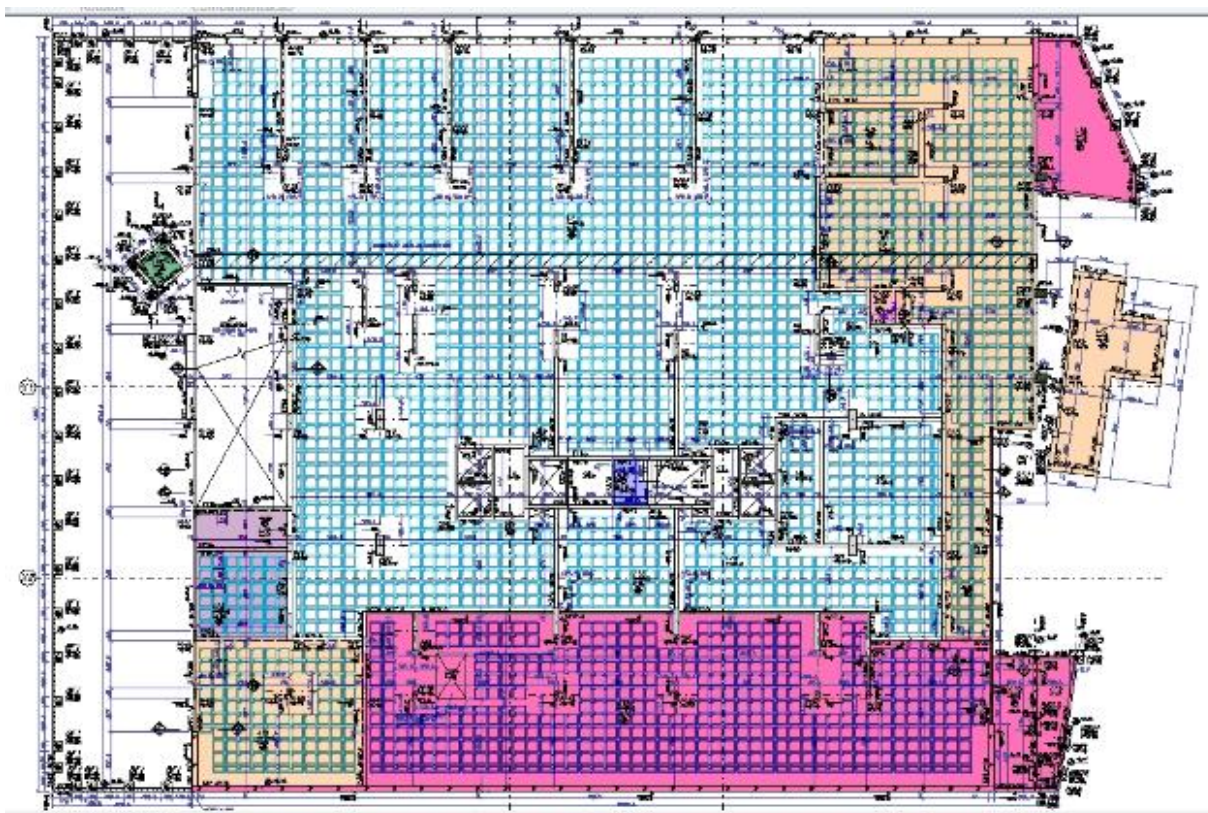


Figura 22 - Fôrma do pavimento térreo - opção com laje nervurada.

4.5.1 Estabilidade global do edifício

A estabilidade global foi avaliada de acordo com os parâmetros α e γ_z . O γ_z máximo ocorreu nos casos de vento a 0° e 180° , obtendo o valor de 1,19 (figura 23).

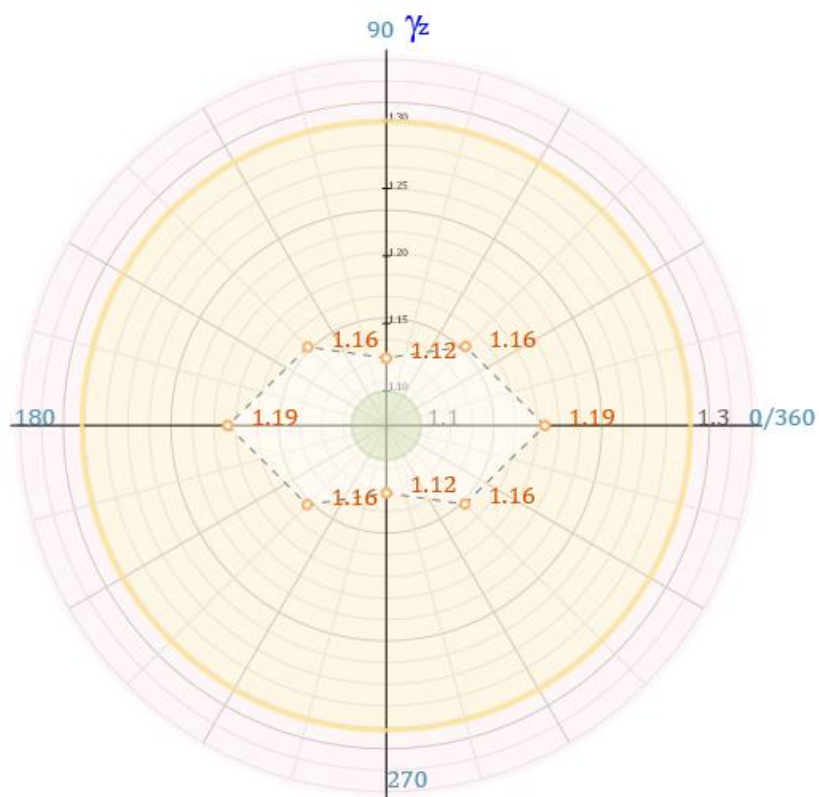


Figura 23 - Resultados do parâmetro γ_z - edifício com pavimento térreo em laje nervurada.

O parâmetro α obtido foi de 1,033 na direção do vento 0° e 360° , indicando uma estrutura de nós móveis (figura 24).

^ Parâmetro α

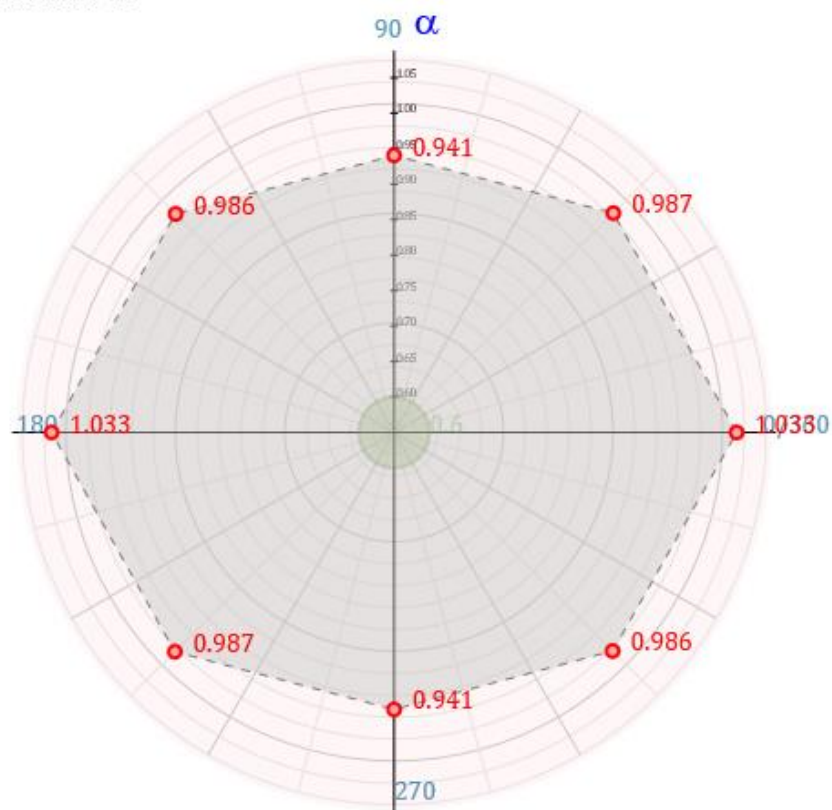


Figura 24 - Resultados do parâmetro α – edifício com pavimento térreo em laje nervurada.

Os deslocamentos laterais também atenderam aos limites de norma, conforme resultados nas figuras 25 e 26 abaixo.

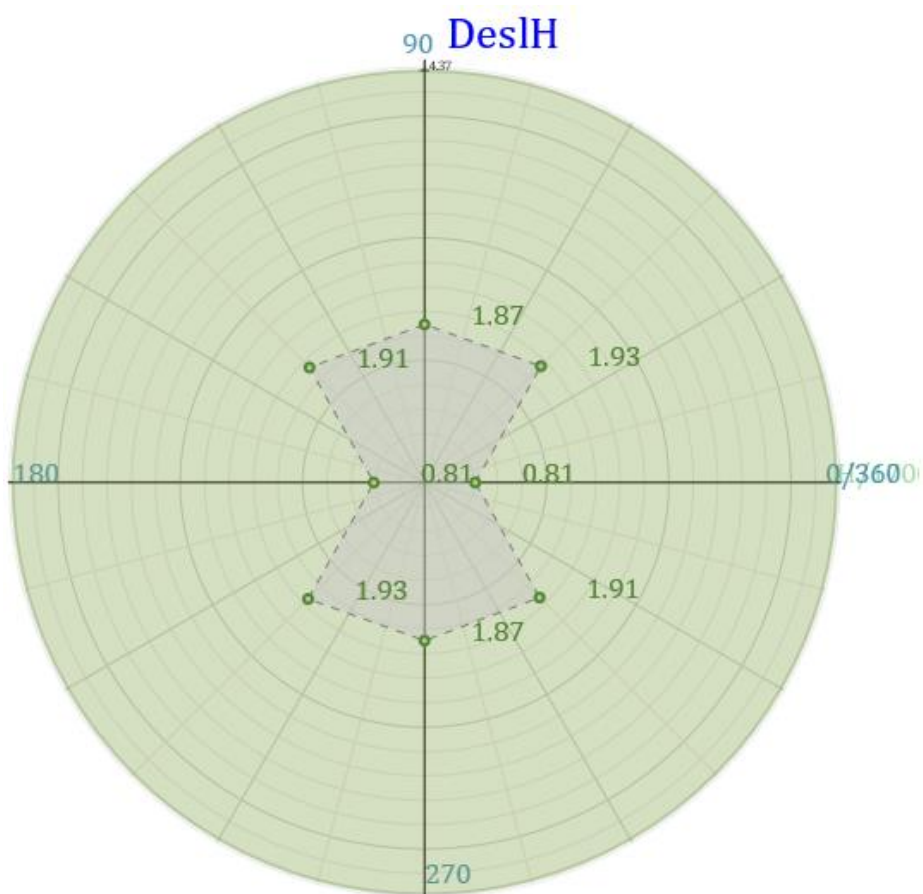


Figura 25 – Resultados de deslocamentos laterais absolutos – edifício com pavimento térreo em laje nervurada.

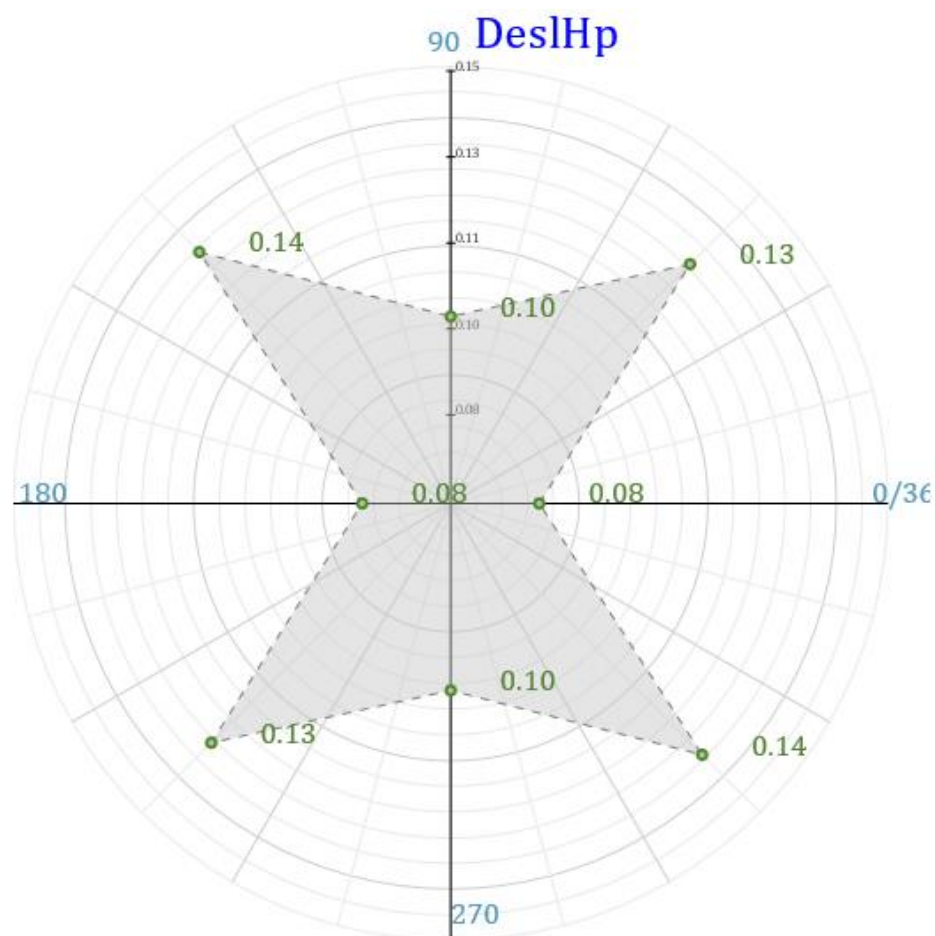


Figura 26 - Resultados de deslocamentos laterais entre pisos - edifício com pavimento térreo em laje nervurada.

4.5.2 Flechas e deslocamentos no térreo

O valor máximo de deslocamento obtido para a solução do pavimento em laje nervurada foi de 1,72 cm em um vão de aproximadamente 6,35 m – caracterizando deslocamento de vão/369, o que atende aos limites estabelecidos na NBR 6118:2014. Abaixo a figura 27 com os resultados do processamento em grelha não linear.

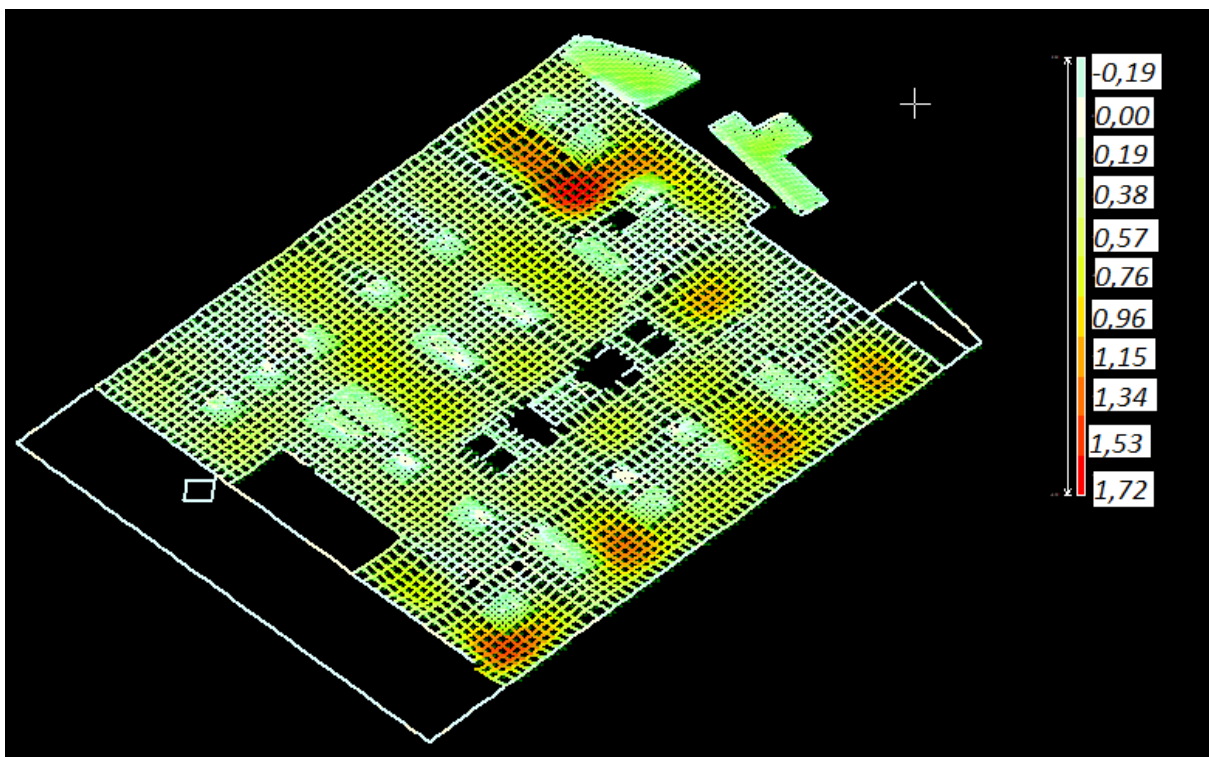


Figura 27 - Resultados de deformações em lajes e vigas pelo método grelha não linear – edifício com pavimento térreo em laje nervurada.

4.5.3 Consumo de materiais

Foi levantado o quantitativo de fôrmas e concreto necessários para a construção do pavimento térreo em laje nervurada, bem como realizado o detalhamento das armações das lajes e vigas deste piso. Os índices obtidos estão resumidos na tabela 2 abaixo e outras informações a respeito dos insumos utilizados nessa solução também estão listadas na tabela 3 abaixo. O valor da espessura média obtida para essa solução foi de 28 cm, considerando o mesmo volume de 106 m³ de concreto para pilares.

Tabela 2 - Consumo de fôrma, concreto e aço no pavimento térreo - opção em laje nervurada.

PAVIMENTO TÉRREO EM LAJE NERVURADA - CONSUMO DE FÔRMA, CONCRETO E AÇO					
Peça	Fôrma (m ²)	Concreto (m ³)	Aço (kg)	Consumo (kg/m ²)	Consumo (kg/m ³)
Vigas	1145	122,4	6708	5,9	54,8
Lajes	154	413,6	19928	129,4	48,2
Total	1299	536	26636	135,3	103,0

Tabela 3 - Quantitativos de insumos laje nervurada

PAVIMENTO TÉRREO EM LAJE NERVURADA – INSUMOS	
Área de laje nervurada (m ²)	2012
Área de capiteis (m ²)	224
Quantidade de moldes inteiros - 80x80 cm (un.)	2335
Quantidade de meios moldes - 40x80 cm (un.)	261

5 DISCUSSÃO

A tabela 4 a seguir foi produzida com a finalidade de comparar as duas soluções e facilitar a discussão dos resultados:

Tabela 4 - Comparativo entre os parâmetros analisados para o pavimento em laje maciça e nervurada.

COMPARAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS ANALISADOS - PAVIMENTO TÉRREO EM LAJE MACIÇA E NERVURADA		
Parâmetro	Tipo de laje	
	Maciça	Nervurada
γ_z	1,18	1,19
α	1,017	1,033
Flecha máx.	1,91 cm = vão/293	1,72 cm = vão/369
Fôrma (m ²)	3767	1299
Concreto (m ³)	472	536
Aço (kg)	36699	26636
Consumo (kg/m ²)	9,7	20,5
Consumo (kg/m ³)	77,8	49,7
Espessura média	25,2	28

Observa-se, portanto, pouca variação dos parâmetros α e γ_z . Isso ocorre, pois trata-se de um edifício de múltiplos pavimentos, no qual houve variação apenas da tipologia de lajes de um pavimento. Além disso, os pilares e as vigas do núcleo central do edifício, onde se encontra maior parte da estrutura responsável pela estabilização deste, foram mantidos nas duas soluções. Quanto a flecha máxima, houve variação não só no valor, mas também na laje em que ocorreu este deslocamento, observando-se melhor resultado na opção do pavimento em laje nervurada.

Na opção de pavimento em laje maciça, o deslocamento máximo ocorreu em uma das lajes da parte inferior do pavimento, conforme mostra a mancha alaranjada na figura 19, esta laje foi calculada com altura de 15 cm. Já na opção em laje nervurada, o deslocamento máximo se deu na porção superior direita (figura 27); na solução do pavimento em laje maciça, essa mesma laje foi calculada com altura de 19 cm.

Inicialmente as soluções dos pavimentos foram idealizadas com a intenção de proporcionar maior economia em cada sistema estrutural. Por este motivo as espessuras das lajes maciças variaram entre 12 e 19 cm, para proporcionar menor consumo de concreto e menor peso próprio da estrutura nas regiões menos solicitadas e/ou de vãos menores. No entanto, após a comparação dos resultados percebeu-se que para efeito comparativo de deslocamentos, teria sido mais interessante a modelagem do pavimento em laje maciça mantendo a mesma espessura em todas as lajes, pois como os pilares não foram alterados de uma solução para a outra, pode-se se dizer que os vãos também seriam mantidos, proporcionando, então, flecha máxima na mesma região onde foi obtida a flecha máxima nas lajes nervuradas. Somente assim poderia haver uma comparação justa entre esses valores. Todavia, o emprego dessa premissa provavelmente causaria ônus no restante dos índices do pavimento, pois as lajes seriam todas dimensionadas de acordo com a maior necessidade de altura útil, no caso, 19 cm.

A respeito do quantitativo de fôrmas e do consumo em kg/m^2 , esperava-se de fato uma redução significativa no quantitativo de fôrmas da laje nervurada em relação a laje maciça, uma vez que nas lajes nervuradas não é utilizado fôrma de madeira e houve a eliminação de algumas vigas do pavimento nessa solução. Como a área de fôrmas obtida para o pavimento em laje nervurada é cerca de 65,5% menor do que no pavimento em laje maciça, a razão entre consumo de aço e fôrmas para essa laje conseqüentemente seria maior em comparação com a laje maciça, como de fato ocorreu. Entende-se, portanto, que a análise do índice em kg/m^2 , nesse caso, não fornece uma boa base de comparação entre as soluções estruturais estudadas.

Com relação aos consumos de concreto e aço, observa-se uma redução no consumo de aço de aproximadamente 27% na laje nervurada, contra um aumento no consumo de concreto de aproximadamente 13%, obtendo-se um consumo em kg/m^3 de aproximadamente 36% menor que na solução em laje maciça.

A espessura média maior na solução em laje nervurada explica-se pelo maior consumo de concreto, uma vez que a área estruturada em ambas as soluções é a mesma.

6 CONCLUSÃO

A partir dos estudos e comparações desenvolvidos entre as duas soluções para o pavimento térreo do edifício em questão, conclui-se que a opção em laje nervurada atende melhor no quesito de economia do empreendimento. Essa conclusão se baseia, principalmente, nos índices comparativos entre os quantitativos de consumo de concreto e aço das duas soluções, nos quais obteve-se resultado mais econômico para as lajes nervuradas. Além disso, pode-se ponderar que a opção com lajes nervuradas, nesse caso terá uma execução mais rápida, já que com o menor quantitativo de fôrmas haverá uma redução no tempo gasto na fase de montagem do pavimento. É importante ressaltar, no entanto, que nem sempre as decisões por uma solução estrutural são apenas econômicas. Muitas vezes é necessário ponderar questões estéticas e também de oferta de material e mão de obra no prazo necessário para a execução da obra. Com relação às questões estéticas, as lajes nervuradas costumam não atender quando se trata de pavimentos de apartamentos, por exemplo. As nervuras e vazios aparentes em geral não fazem parte da estética desejável para o teto, enquanto a laje maciça fornece a possibilidade de um acabamento liso, sem que seja necessária a instalação de forro. No entanto, como neste caso o pavimento inferior ao térreo é também um pavimento de garagem, a estética das nervuras e vazios não é prejudicial.

7 REFERÊNCIAS

NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento

NBR 10520:2002 – Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação

NBR 6023:2002 – Informação e documentação – Referências – Elaboração

NASCIMENTO, Tarcísio Marcos; GIDRAO, Gustavo de Miranda Salame. Estudo comparativo entre laje maciça e laje de vigotas pré-fabricadas treliçadas em construções usuais. Revista Científica da FHO|UNIARARAS v.7, n.1/2019.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. Lajes maciças – capítulo 11. 26 maio 2003.

BOCCHI JÚNIOR, Carlos Fernando. **Lajes nervuradas de concreto armado: projeto e execução**: São Carlos, 1995.

CUNHA, José Carlos A.C. **Análise de lajes nervuradas bidirecionais através de modelos simplificados**: Uberlândia, 2012.

SOUZA, Caroline Gonçalves Silva; LOPES, Rayane Campos. **Estudo comparativo entre laje maciça convencional e lajes nervuradas**: Goiânia, 2016.

NAPPI, Sérgio Castello Branco. **Análise comparativa entre lajes maciças, com vigotes pré-moldados e nervuradas**: Florianópolis, 1993.

VALANDRO, Amanda; TROMBETTA, Dâmaris Thaise. **Estabilidade global de edifícios – aplicação do parâmetro de instabilidade α e processo P-delta**: Pato Branco, 2016.

5º ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, 19 a 22 outubro 2010. **Custos médios dos serviços em edificações baseados em série histórica de orçamentos reais**. 2010. Disponível em: <http://www.5eetcg.uepg.br/Anais/artigospdf/50003_vf1.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2023.