

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ DEPARTAMENTO

LEE YOU CHEEN

LEONARDO DOS SANTOS SKRABA

RAFAEL DE OLIVEIRA FRANCO AZEVEDO

**ANÁLISE DOS IMPACTOS CAUSADOS EM CONSEQUÊNCIA DAS
ATUALIZAÇÕES DAS NORMAS ABNT NBR 6118 E NBR 6120 EM UM EDIFÍCIO
EXISTENTE ATRAVÉS DO SOFTWARE TQS**

CURITIBA

2021

LEE YOU CHEEN
LEONARDO DOS SANTOS SKRABA
RAFAEL DE OLIVEIRA FRANCO AZEVEDO

**ANÁLISE DOS IMPACTOS CAUSADOS EM CONSEQUÊNCIA DAS
ATUALIZAÇÕES DAS NORMAS ABNT NBR 6118 E NBR 6120 EM UM EDIFÍCIO
EXISTENTE ATRAVÉS DO SOFTWARE TQS**

**ANALYSIS OF THE IMPACTS CAUSED AS A CONSEQUENCE OF ABNT
NBR6188 AND NBR 6120 UPDATES IN NA EXISTING BUILDING THROUGH TQS
SOFTWARE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Medeiros

CURITIBA

2021



Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LEE YOU CHEEN

LEONARDO DOS SANTOS SKRABA

RAFAEL DE OLIVEIRA FRANCO AZEVEDO

**ANÁLISE DOS IMPACTOS CAUSADOS EM CONSEQUÊNCIA DAS
ATUALIZAÇÕES DAS NORMAS ABNT NBR 6118 E NBR 6120 EM UM EDIFÍCIO
EXISTENTE ATRAVÉS DO SOFTWARE TQS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Data de aprovação: 09/Dezembro/2021

Arthur Medeiros

Doutorado

Arthur Medeiros Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Amacin Rodrigues Moreira

Doutorado.

Amacin Rodrigues Moreira Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Allan Alexandre Honorio

Mestrado

Allan Alexandre Honorio Universidade Federal do Paraná

CURITIBA

2021

AGRADECIMENTOS

Agradecemos especialmente ao Professor Dr. Arthur Medeiros, pela orientação, atenção prestada e sugestões propostas para o desenvolvimento e a conclusão deste trabalho.

Agradecemos ao Professor Dr. Amacin Rodrigues Moreira e ao Me. Allan Alexandre Honorio, pelas críticas e sugestões durante a elaboração do trabalho.

Agradecemos aos engenheiros Aurélio Franceschi, Antônio Henrique Pereira de Souza e Gustavo Perezi Sagionetti pelos importantes conselhos e conhecimentos passados, sobre projetos de estruturas e sobre o funcionamento do programa de cálculo.

Agradecemos aos familiares dos participantes do grupo, amigos e colegas que de alguma forma contribuíram para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

A norma brasileira que conduz a utilização do concreto armado foi atualizada de acordo com estudos, informações e tecnologias pela primeira vez em 2003, sofrendo uma revisão geral, tornando-a muito mais abrangente e elaborada comparando a sua versão anterior de 1980. Isso vem ocorrendo para que as edificações sejam cada vez mais eficientes e seguras, contando com a atualização de valores que influenciam no dimensionamento e formato das estruturas projetadas, trazendo um avanço no cálculo estrutural. Todas as atualizações da norma e o avanço tecnológico na área computacional facilitaram o surgimento de programas voltados aos cálculos estruturais, assim auxiliando as etapas de dimensionamento e otimizando o tempo dos projetistas. Na intenção de realizar uma discussão confiável, o presente trabalho se baseia em dados oficiais, tendo como objetivo analisar um projeto realizado pela norma antiga de 1980, comparando com o dimensionamento dos softwares atuais. Com isso, resultados foram encontrados com a atualização das normas, como o aumento das cargas do edifício, o uso de concreto nas vigas, utilização de aço por pavimento, entre outras análises.

Palavras-chave: Cálculo estrutural. Concreto armado. NBR 6118. NBR 6120.

ABSTRACT

The Brazilian standard that conducts the use of reinforced concrete was updated according to studies, information and technologies for the first time in 2003, undergoing a general review, making it much more comprehensive and elaborate comparing its previous 1980 version. This has been happening so that the buildings are increasingly technological and safe, counting on the updating of values that influence the dimensioning and format of the projected structures, bringing an advance in the structural calculation. All the updates of the standard and the technological advance in the computational area facilitated the emergence of programs aimed at structural calculations, thus assisting the dimensioning steps and optimizing the time of the designers. In addition, changes such as increased coverage, differences in the rigidity of the structural elements, and the intention to ensure the longer service life of the projects, made the responsibilities of the designers even greater. In order to carry out a reliable discussion, the present work is based on official data, with the objective of analysing a project carried out by the old standard of 1980, comparing with the dimensioning of current software. Seeking to compare the quantitative and qualitative results generated in the execution of the building.

Keywords: Structural calculation. Reinforced concrete. Standard.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1. Objetivos.....	11
1.2. Objetivos secundários.....	11
1.3. Justificativa	11
2. REFERÊNCIAS	12
2.1. Definição do Concreto	12
2.2. História do concreto armado.....	13
2.3. História do cálculo estrutural.....	14
2.4. Surgimento das normas.....	15
2.5. Importância da utilização de <i>softwares</i> na elaboração de projetos estruturais	16
2.6. Utilização de softwares na engenharia civil	17
2.6.1. TQS – TQS Informática.....	18
2.7. Diferença nas normas.....	18
2.7.1. Atualização da norma NBR 6120	18
2.7.2. Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.....	22
2.7.3. Correspondência entre classe de agressividade e cobrimento nominal.....	22
2.7.4. Dimensões limites	23
2.7.5. Dimensionamento de armaduras longitudinais	24
2.7.6. Ancoragem das armaduras	25
2.7.7. Modelos de cálculo.....	26
2.8. Redistribuição de momentos fletores.....	29
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	30
3.1. Análise do edifício.....	31
3.1.1. Modelagem nos softwares	31
3.1.2. Adaptações do projeto para as normas NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 6120 (ABNT, 2019).....	33
3.1.3. Processamento do edifício	36
3.1.4. Validação da modelagem.....	36
3.1.5. Planta de cargas	38
3.1.6. Dimensionamento das armaduras	40
3.1.7. Análise quantitativa	40
3.1.8. Análise de elementos críticos.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41

4.1. Análise das cargas resultantes na fundação	41
4.2. Reações calculadas na base	42
4.3. Estudo dos elementos críticos	43
4.4. Análise dos quantitativos	46
4.5. Análise da vida útil	49
5. CONCLUSÃO	51
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. INTRODUÇÃO

A norma regulamentadora para construções em concreto armado surgiu em 1940 inicialmente com o nome de NR1, e posteriormente, em 1980, se tornou como é conhecida atualmente, a NBR, desde sua versão inicial já se passaram 4 revisões, sendo a mais recente publicada em 2014.

A NBR 6120 auxilia na determinação das cargas para o cálculo das estruturas, esta teve sua primeira versão publicada em 1980 e com apenas uma revisão publicada em 2019, sendo quase 40 anos entre estas.

O concreto armado é a opção estrutural de maior utilização na construção civil no Brasil (GONÇALVES, 2015). Essa utilização é dada em larga escala e decorre de constantes avanços em sua tecnologia e modelos de cálculo. Logo, faz-se necessária a conferência de métodos utilizados anteriormente com o propósito de verificar e garantir a atualizações de processos mais novos, certificando-se da capacidade estrutural do edifício.

Uma vez se tratando da segurança em estruturas de concreto armado, a norma NBR 6118 (ABNT, 2014) baseia-se em um método semi-probabilístico para obtenção dos níveis de segurança do projeto, majorando cargas e minorando resistências através de coeficientes de ponderação parciais. Tais coeficientes de ponderação são aplicados sobre valores característicos de resistências, provenientes de ensaios sobre os carregamentos estimados, enquanto as geometrias e dimensões das peças correspondem aos valores nominais especificados em projeto (SHERER, 2019).

Sendo assim, é desejável que o engenheiro conheça as alterações realizadas nas normas para compreender os efeitos que serão causados na estrutura, a fim de propor soluções viáveis para se adequar as novas exigências. Para isso o calculista deve ter conhecimento das ferramentas disponíveis para elaboração do projeto estrutural, sendo o TQS uma das opções bastante utilizadas no Brasil, o qual traz em suas configurações diversos parâmetros que obedecem às normas técnicas vigentes.

1.1. Objetivos

Este trabalho visa elaborar uma comparação entre as normas precedentes com as novas versões atualizadas em uma análise realizada no software TQS, utilizado atualmente para elaboração de projetos estruturais para construções realizadas em concreto armado.

1.2. Objetivos secundários

Os objetivos secundários para esta pesquisa são:

- Comparar os quantitativos extraídos do projeto antigo e o mesmo refeito no *software* TQS;
- Comparar as cargas para dimensionamento da fundação;
- Comparar os diagramas de esforços causados pela atualização das normas 6118 e 6120 em pontos críticos;
- Mostrar importância das novas medidas para maior vida útil das estruturas.

1.3. Justificativa

A motivação deste trabalho veio em reflexão a um edifício real, construído em 1995 e que após 26 anos de sua finalização se encontra em estado de deterioração crítica, necessitando reparos com urgência. Analisando as diferenças entre as taxas de armaduras, cobrimentos, resistências características do concreto e dimensionamento das estruturas, como vigas, pilares e lajes. Com o intuito de verificar as modificações necessárias para que o projeto se adeque à nova norma desta forma garantindo a vida útil do projeto conforme estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2014). Servindo como base para que outros edifícios sejam também verificados para futuras revitalizações.

2. REFERÊNCIAS

2.1. Definição do Concreto

O concreto, uma mistura muito utilizada na construção civil, é formado, na sua forma básica, por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Também podendo conter aditivos químicos, para auxiliar na melhor performance e modificar algumas propriedades do concreto (BASTOS, 2019).

Os agregados em geral, participam em torno de 75% da formação do concreto, sendo subdivididos em outras proporções de acordo com a necessidade da funcionalidade. A necessidade do agregado na fórmula do concreto, é sobre garantir a resistência desejada, a sua durabilidade na estrutura montada e o desempenho estrutural do concreto. Por apresentarem custos inferiores ao cimento, então é econômico utilizar a maior quantidade possível de agregados na fórmula, assim podendo diminuir a utilização do cimento. Porém, o uso dos agregados não é apenas um fator econômico para a criação do concreto, uma vez que também provem vantagens técnicas (NEVILLE, 1997)

O concreto é utilizado em inúmeras construções ao redor do planeta nos tempos modernos, porém os métodos construtivos de antigamente possuem grande influência no que vivenciamos hoje. Desde a existência do ser humano na terra, a necessidade de habitar em algum local existe e isso fez com que as habitações fossem se desenvolvendo ao passar do tempo. Mesmo com a dificuldade de manuseio e falta de conhecimento sobre solos e pedras, em meados do século II a.C os romanos utilizaram uma argamassa que hoje poderia ser chamada de concreto, para execução de edificações em Roma e realizaram fundações sobre água e tendo como uma grande inovação na época as plataformas de concreto (KAEFER, 1998).

Com o passar do tempo foram o concreto foi classificado de três formas, segundo Mehta e Monteiro (2014), o de densidade normal que é composto por areia natural ou artificial e agregados graúdos, sendo o pedregulho o mais comum para fins estruturais, com densidade próxima de 2400kg/m^3 . A outra classificação é o concreto leve, com densidade inferior a 1800kg/m^3 , obtido por agregados de menor densidade. Por último, o concreto pesado, muito utilizado em construções que possuem radiações em seu interior, composto por agregados de alta densidade, fazendo com que o concreto atinja densidade maior que 3200kg/m^3 .

Segundo Bastos (2006), um bom material na construção civil é aquele que

apresenta boas características físicas, como resistência e durabilidade. Nesse caso, pedras apresentam uma resistência elevada e alta durabilidade, no entanto, são frágeis e de baixa resistência à tração. Com isso, o aço começou a ser utilizado junto ao concreto para complementar o seu desempenho em situações as quais demandassem esforços de tração, como tirantes, vigas, lajes e outros elementos fletidos.

2.2. História do concreto armado

De acordo com Kaefer (1998), o primeiro relato de concreto armado, conhecido como cimento armado na época, foi próximo de 1850, desenvolvido pelo francês Joseph Louis Lambot, exibido na Figura 1.

Figura 1: Barco de Lambot, 1850.



Fonte: A Evolução de Concreto – Kaefer (1998).

O barco, possuía 4 m de comprimento por 1,3 m de largura e com paredes de 4 cm de espessura, inteiro de concreto e aço, foi relatado que durante esse período de conhecimento, Lambot utilizou de forma prática ferragens com massa de concreto. Anos depois, ele já realizava várias formas estruturais de diversas finalidades com a descoberta do “cimento armado”. Em 1854, um fabricante de gesso, chamado William Boutland Wilkinson, obteve a patente de um sistema de lajes nervuradas o qual é constituído por barras de aço nas regiões tracionadas nas vigas.

No Brasil, o concreto armado aparece no início do século XX. O jovem arquiteto, Lúcio Costa, 33 anos, cedeu uma entrevista à Revista da Diretoria de Engenharia, mudando seu ponto de vista, acreditando que o concreto armado fosse a técnica do momento para desenvolver as construções da época. Assumindo que a

estrutura metálica não fosse mais a tendência, a qual o arquiteto considerava a tendência alguns anos antes (COSTA, 2007).

Em 1929, foi o primeiro edifício alto construído pelo método do concreto armado, sendo um marco arquitetônico brasileiro, considerado na época o maior arranha-céu da América Latina e a maior edificação do mundo à base de concreto e aço (MARTINHO e CARVALHO, 2020), o qual ficou conhecido como A noite, desenvolvido pelo arquiteto Joseph Gire.

O sistema construtivo, chamado concreto armado se tornou o mais utilizado. A maior parte das construções legalizadas ou até mesmo informais, são baseadas nesse sistema. Para isso se tornar realidade, muitos passos foram dados nas décadas anteriores, como a criação do CREA (Conselho Regional de Engenharia e Agronomia), órgão corporativo que representa os engenheiros, arquitetos, agrimensores, sob tutela do estado. Além da inclusão de disciplinas relacionadas ao concreto armado nas universidades, o aumento significativo de escritórios de consultoria em cálculo estrutural e estudos acadêmico relacionados à resistência e performance do concreto e seus agregados (DOS SANTOS, 2008).

2.3. História do cálculo estrutural

A origem do cálculo estrutural é atribuída a Galileu, com a publicação do livro *Duas Ciências*, em 1638. Entretanto, é possível identificar a engenharia de estruturas muito antes disso, nas pirâmides do Egito e nos templos espalhados pelo mundo, assim como nas obras de Leonardo Da Vinci. Posterior a isso, outros grandes nomes contribuíram para a engenharia estrutural, como Bernoulli (1654-1705), Euler (1707-1783), Lagrange (1736-1813), Coulomb (1736-1806), Navier (1785-1836) e Stephen Timoshenko - engenheiro ucraniano, naturalizado estadunidense, que dedicou a maioria da sua carreira ao estudo da resistência dos materiais e os sistemas estruturais - considerado um dos pais da engenharia estrutural (MARTHA, 2010). Já a engenharia moderna tem suas raízes em dois em dois grandes marcos históricos do século XVIII: a revolução industrial e o iluminismo. Foi na revolução industrial o surgimento das grandes indústrias siderúrgicas e conseqüentemente as primeiras grandes construções com o uso do aço em grande quantidade. Durante o iluminismo os estudos a respeito da engenharia estrutural se multiplicaram; estudos estes feitos por pensadores, físicos e matemáticos fazendo uso de experimentações da interação

entre as ciências físicas e naturais (TELLES, 1984). Após isso, os maiores avanços passaram a ser nas formas e processos construtivos, com aprofundamento nos produtos manufaturados e industrializados, também no estudo enfático das matérias-primas, assim como, nos métodos de cálculo, que hoje estão normatizados e seguem diversos padrões de segurança (MARTHA, 2010).

2.4. Surgimento das normas

Durante um longo período, no século passado, a NB-1 (Norma Brasileira): cálculo e execução de obra de concreto armado, desenvolvida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), foi a principal norma brasileira utilizada para edificação de concreto armado, com sua criação em 1940 e a última atualização em 1978 (BASTOS, 2006). Inicialmente, a norma era formada por 24 páginas e abordava temas como: esforços solicitantes, esforços resistentes, disposições construtivas, execução de obras, materiais e tensões admissíveis (PORTO, 2015).

Na sequência, 20 anos depois, em 1960 ocorreu a primeira atualização da NB-1 (ABNT, 1960), discutindo resistência característica do concreto e por fim, em 1978, foi transformada em NBR-6118.



Fonte: Porto (2015).

Porto (2015) explica as funcionalidades da NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, criada para substituir a NB-1 no ano de 1980, a qual se manteve sem alterações por mais de duas décadas. Em 2003, após uma longa revisão foi substituída, 4 anos depois reeditada e sua última versão de 2014 segue como base até os dias de hoje para construções que utilizam o concreto armado, evolução demonstrada na Figura 2.

Além da NBR 6118 (ABNT, 2019), outras normas brasileiras são necessárias

para concepção de uma estrutura, necessitando a consulta (BASTOS, 2019), como por exemplo:

- NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento, (ABNT, 2019);
- NBR 6122 - Projeto e execução de fundações, (ABNT, 2019);
- NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações - Procedimento, (ABNT, 1988);
- NBR 7187 - Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento, (ABNT, 2003);
- NBR 7191 - Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado, (ABNT, 1982);
- NBR 7480 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação, (ABNT, 2007);
- NBR 8681 - Ações e segurança nas estruturas – Procedimento, (ABNT, 2004);
- NBR 9062 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, (ABNT, 2017);
- NBR 15421 – Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimento, (ABNT, 2006);
- NBR 15200 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – Procedimento, (ABNT, 2012).

2.5. Importância da utilização de *softwares* na elaboração de projetos estruturais

A modelagem estrutural em *software* permite que os engenheiros estruturais projetem, visualizem, simulem, analisem, documentem e construam projetos de forma mais eficiente, precisa e competitiva (AUTODESK, 2012), dessa forma o emprego do BIM (*Building Information Modeling* – Modelagem da Informação da Construção, em português) na elaboração de projetos estruturais vem inovando quase na mesma proporção que o Autodesk CAD inovou 50 anos atrás (MCCUEN, SUERMANN e KROGULECKI, 2012).

Uma das grandes vantagens da utilização do BIM, que os engenheiros podem tirar proveito, é o fato de que o modelo pode ser constantemente atualizado com quaisquer mudanças no design ou nas especificações, mantendo todos os dados básicos tão precisos quanto possíveis (AZHAR, 2011). Essa compatibilização é resultado de uma extensa pesquisa da indústria de *softwares*, as quais trouxeram muitas ferramentas de informações para dentro dos programas de construção (MIGILINSKAS et al., 2013). Outro fato a ser citado é que o comportamento de uma estrutura durante sua construção difere de seu comportamento durante seu período de serviço, abrindo a possibilidade para situações perigosas durante o primeiro (ZHANG e HU, 2010), mostrando a importância de o *software* cobrir todas as variáveis dos estados limites. Além disso, do ponto de vista da engenharia, a contribuição mais importante do BIM é o aumento da produtividade, principalmente na produção de documentos e pranchas (SACKS E BARAK, 2007).

Para que esse processo aconteça, é essencial que o projetista tenha uma boa compreensão do projeto como um todo para extrair o máximo de resultado do BIM (MIGILINSKAS et al., 2013). Para mitigar os efeitos maléficos futuros da estrutura é importante fazer constantemente visualizações, simulações e análises no projeto modelado (BENNETT, 2012).

Em contrapartida, cabe salientar que é dever do engenheiro conceber a estrutura, determinando, dessa forma, a solução mais adequada, uma vez que não existe software que faça isso, e é necessário haver sensibilidade para prever seu comportamento. (KIMURA, 2018).

2.6. Utilização de softwares na engenharia civil

Ao realizar um projeto estrutural, existem diversas influências de outras disciplinas na escolha do método construtivo e é necessário que haja uma compatibilização dessas, uma vez que o projeto deve ser visto como uma forma organizada de informações que devem ser compartilhadas pelos intervenientes na construção do objeto (FERREIRA, 2007). Para auxiliar na escolha da concepção estrutural e na compatibilização, diversos *softwares* foram criados e podem ser classificados como de análise, utilizado somente para cálculo de esforços; de desenho, utilizado para desenhar modelos genéricos; de dimensionamento, os quais são utilizados para dimensionamento de elementos (pilares, vigas e lajes) isolados e de sistema integrado, aquele que abrange todas as etapas anteriores (KIMURA,

2018), sendo o TQS um dos principais *softwares* de sistema integrado utilizados

2.6.1. TQS – TQS Informática

A TQS Informática, é uma empresa brasileira, criada em 1986 por engenheiros civis, que desenvolve softwares para elaboração de projetos de estruturas e fundações de edificações. O TQS tem como premissa básica disponibilizar softwares inovadores de forma profissional e transparente, compreendendo um suporte técnico capacitado e de fácil acesso (TQS, 2021).

2.7. Diferença nas normas

A seguir estão expostos algumas das diferenças modificadas na atualização da norma NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 6120 (ABNT, 2019).

- Dimensões mínimas das estruturas de concreto armado;
- Cobrimento mínimo exigido para diferentes ambientes de agressividade;
- Resistência característica do concreto à compressão;
- Valores mínimos de armadura;
- Valores de ancoragem das armaduras
- Cargas acidentais;
- Modelos de cálculo.

2.7.1. Atualização da norma NBR 6120

A última revisão da norma NBR 6120 (ABNT, 2019) trouxe várias atualizações desde sua primeira versão em 1980, a qual estava a vários anos sem mudanças. As principais ocorreram nas tabelas de ações permanentes e variáveis, também contando com um incremento de alguns materiais, determinando seu peso específicos.

Além disso, a revisão contou com algumas informações adicionais que não estavam presentes na versão de antiga, como as ações em garagens e demais áreas de circulação de veículos, forças horizontais em guarda-corpo e barreira; entre outros.

2.7.1.1. Ações permanentes

De acordo com a ABNT NBR 6120 (ABNT, 2019) as cargas permanentes atuam de maneira constante, podendo haver pequenas variações em torno de sua média durante toda a vida de uma edificação. Além disso, são consideradas cargas permanentes aquelas que estão presentes e aumentam seu valor constantemente tendendo a um valor-limite, em exemplo a realização de um contrapiso na laje do pavimento.

Dentro das considerações da norma, estão presentes valores para calcular o peso próprio da estrutura, além do peso específico dos materiais de construção, como: rochas naturais, blocos artificiais e pisos, argamassas e concreto, metais e madeiras.

A norma também conta com a determinação de pesos de componentes construtivos, como de alvenaria estrutural, alvenaria de vedação, divisórias e caixilhos, revestimento de pisos e impermeabilizações, telhas, telhados, enchimentos, forros, dutos e tubos.

Por fim, nas considerações de ações permanentes, também é explícito as cargas permanentes devido a materiais de armazenagem e de empuxos e pressões hidrostáticas.

2.7.1.2. Ações variáveis

De acordo com a norma NBR 6120 (ABNT, 2019), as estruturas devem ser planejadas para suportarem as cargas variáveis, calculando a envoltória da pior situação para cada área que receba diferentes ações acidentais. Exceto para pavimentos previamente especificados, que receberão cargas uniformemente distribuídas e verificadas para atuação de cargas isoladas e concentradas.

Na revisão da norma os valores de cargas que eram denominados como “Valores mínimos de cargas verticais”, passando a se chamar “Cargas variáveis”. Esta nova tabela, apresentou evoluções como mudanças em valores de cargas já preexistentes, além da adição de novas ações, as quais não eram expressas na versão anterior como por exemplo, as cargas em aeroportos, edifícios comerciais, hotéis entre outros. Além de novos subitens, os quais foram adicionados para locais já existentes antes da atualização, mostrados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Reprodução da NBR 6120/1980 - Carga accidental

Local		Carga (kN/m ²)
1 Arquibancadas		4
2 Balcões	Mesma carga da peça com a qual se comunicam e as previstas em 2.2.1.5	-
3 Bancos	Escritórios e banheiros Salas de diretoria e de gerência	2 1,5
4 Bibliotecas	Sala de leitura	2,5
	Sala para depósito de livros	4
	Sala com estantes de livros a ser determinada em cada caso ou 2,5 kN/m ² por metro de altura observado, porém o valor mínimo de	6
5 Casa de máquinas	(Incluindo o peso das máquinas) a ser determinada em cada caso, porém com o valor mínimo de	7,5
6 Cinemas	Plateia com assentos fixos	3
	Estúdio e plateia com assentos móveis	4
	Banheiro	2
7 Clubes	Sala de refeições e de assembleia com assentos fixos	3
	Sala de assembleia com assentos móveis	4
	Salão de danças e salão de esportes	5
	Sala de bilhar e banheiro	2
8 Corredores	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2
9 Cozinhas não residenciais	A ser determinada em cada caso, porém com mínimo de	3
10 Depósitos	A ser determinada em cada caso e na falta de valores experimentais conforme indicado em 2.2.1.3	-
11 Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5
	Dispensa, área de serviço e lavanderia	2

Fonte: Adaptado de NBR 6120 (ABNT, 1980).

Tabela 2: Reprodução da NBR-6120/2019 - Carga accidental

	Local	Carga (kN/m²)
Edifícios residenciais	Dormitórios	1,5
	Sala, copa, cozinha	1,5
	Sanitários	1,5
	Dispensa, área de serviço e lavanderia	2
	Quadras esportivas	5
	Salão de festas, salão de jogos	3
	Academia	3
	Forro acessíveis apenas para manutenção sem estoque de materiais	0,1
	Sótão	2
	Corredores dentro de unidades autônomas	1,5
	Corredores de uso comum	3
	Depósitos	3
	Áreas técnicas (ver item nesta Tabela)	-
Jardins (Ver item nesta Tabela)	-	

Fonte: Adaptado de NBR 6120 (ABNT, 2019).

No caso deste estudo, as cargas accidentais previstas para os edifícios residenciais em 1980 eram uniformizadas com apenas dois valores. A atualização realizada em 2019 apresentou diferentes cargas para os edifícios residenciais especificando os diferentes ambientes no pavimento, sendo possível aliviar ou

aumentar o carregamento das estruturas em alguns pontos, como por exemplo da carga para o ambiente destinado a corredores minorada para casos de unidades autônomas e a inclusão de quadras esportivas e academias.

2.7.2. Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

A versão da norma NBR 6118 (ABNT, 1980) não fazia referência sobre a qualidade do concreto a ser utilizada em cada situação, recomendando a aplicação das diretrizes impostas pela norma de concreto para preparo, controle e recebimento: a NBR 12655 (ABNT, 1996), tendo um mínimo aceitável para época de uma resistência característica do concreto à compressão de 10 MPa (Mega Pascal). Em contrapartida, na revisão da norma 6118 a partir de 2003, a Tabela 3 foi estabelecida para suprir esse problema.

Tabela 3: Relação entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto pela NBR 6118

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe do concreto	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

Fonte: Adaptado de NBR-6118 (ABNT, 2014).

O projeto executado em 1995 foi planejado com uma resistência característica à compressão de 15 MPa, sendo incoerente com o que a nova revisão prevê, pelo edifício estar localizado em uma região litorânea, a classe de agressividade III deve ser obedecida, desta forma uma resistência mínima para o concreto de 30MPa.

2.7.3. Correspondência entre classe de agressividade e cobrimento nominal

A durabilidade das construções em concreto não era um tema muito abordado na época que o edifício foi planejado, com isso, umas das mudanças de maior impacto para a proteção contra manifestações patológicas e consequentemente a conservação do edifício foi o aumento do cobrimento nas estruturas de concreto armado. Também, com a intenção de proteger o aço do início da corrosão, com o avanço dos agentes agressivos danificação da armadura, podendo levar ao colapso da estrutura. Ainda vale ressaltar que a corrosão de armaduras é o dano mais frequente nas edificações, o recordista em número de ocorrência de manifestações patológicas (SILVA, 2017). As relações de cada cobrimento estão representadas nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Relação e cobrimento nominal e classe de agressividade

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade			
		Cobrimento (mm)			
		I	II	III	IV
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30	30	40	50
Concreto protendido	Laje	25	30	40	50
	Viga/Pilar	30	35	45	55

Fonte: Adaptado de NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 5: Reprodução da relação entre cobrimento nominal e classe de agressividade NBR 6118

Concreto revestido com argamassa de espessura mínima de 1 cm	Laje no interior do edifício	0,5 cm
	Em paredes no interior do edifício	1,0 cm
	Em lajes e paredes ao ar livre	1,5 cm
	Em vigas, pilares e arcos no interior de edifício	1,5 cm
	Em vigas, pilares e arcos ao ar livre	2,0 cm
Concreto aparente	No interior de edifícios	2,0 cm
	Ao ar livre	2,5 cm
Concreto em contato com o solo		3,0 cm
Concreto em meio fortemente agressivo		4,0 cm

Fonte: Adaptado de NBR 6118 (ABNT, 1980).

Com a falta da distinção entre diferentes ambientes de agressividade as estruturas expostas a classes agressivas ficavam mais suscetíveis a manifestações patológicas em um mesmo espaço de tempo, deste modo gerando uma menor vida útil nestas edificações, pois segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) a durabilidade das estruturas é altamente dependente da qualidade do concreto e do cobrimento das armaduras.

2.7.4. Dimensões limites

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estipula no item 13.2, valores mínimos para as dimensões das peças estruturais.

A viga é um dos elementos estruturais mais comuns em vários tipos de construções, é fundamental para sustentação da maioria das edificações de concreto armado (SANTOS, 2006) no caso a NBR 6118 (ABNT, 2014) exige uma seção

transversal mínima de 12cm para as vigas e de 15 cm para vigas-parede.

Para os pilares tem-se como usual o valor mínimo de 19 cm em cada direção, contudo é permitido o uso de até 14 cm, com a utilização de um coeficiente de majoração de esforços, mostrado na Tabela 6, contudo a seção do pilar deve ser preservada, a qual não deve ser menor que 360 cm².

As lajes possuem dimensões mínimas de acordo com sua concepção, entre lajemaciça, nervurada, cogumelo, pré-moldado, se está ou não em balanço, sendo a menor espessura especificada de 7 cm.

Para a versão da NBR 6118 (ABNT, 1980) eram estipulados valores menores de dimensão para as estruturas de concreto quando comparado com a versão atual. No caso das vigas era estabelecido um valor mínimo de 8 cm de largura, para lajes a espessura mínima era de 5 cm, para a solução de lajes de cobertura sem balanço e no caso dos pilares a menor direção não poderia ser inferior a 12 cm.

Por conta destas diferenças de dimensões mínimas, na modelagem da edificação nos softwares que obedecem às versões atuais das normas brasileiras, o projeto contará com algumas mudanças significativas a respeito dos elementos estruturais, tornando a estrutura mais segura e com um melhor desempenho.

Tabela 6: Valores de γ_n para pilares NBR-6118

Valores do coeficiente adicional γ_n para pilares e pilares-parede						
b (cm)	≥19	18	17	16	15	1,4
γ_n	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25

Fonte: Adaptado de NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.7.5. Dimensionamento de armaduras longitudinais

O cálculo da armadura longitudinal é feito através do conceito de equilíbrio de forças atuantes na seção, sendo que o concreto resiste à compressão auxiliado ou não pelo aço, este responsável por resistir à tração ou a compressão como é o caso de armadura dupla (FREITAS, 2015). O dimensionamento é feito considerando o maior momento fletor atuante na seção, calculado para o momento positivo no meio do vão ou negativo no caso dos apoios, (CARVALHO, 2014).

As armaduras mínimas para vigas na NBR 6118 (ABNT, 1980) possuíam um valor de 0,25% para aços CA-25 e CA-32 e de 0,15% para aços com CA-40, CA-50 e CA-60, da seção transversal de concreto.

Na versão atual se faz necessário a análise da resistência característica do concreto à compressão para determinação dos valores mínimos de armadura longitudinal, que para vigas estão descritas no item 17.3.5.2 da norma, representado na Tabela 7.

Tabela 7: Valor mínimo de armadura longitudinal para vigas em função do f_{ck}

Forma da seção	Valor de ρ_{min} ($A_s, \text{mín}/A_c$) %											
	20/25/30	35	40	45	50	55	60	70	75	80	85	90
Retangular	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208	0,211	0,219	0,226	0,233	0,245	0,251	0,256

Fonte: Adaptado de NBR 6118, (ABNT, 2014).

Para o caso dos pilares o item 17.3.5.2.4 da NBR 6118 (ABNT, 2014) relata que a soma das armaduras de tração e compressão não pode ultrapassar o limite de 4% da área da seção transversal de concreto, esta limitação é de $0,45x_d$ (altura útil) para concretos de até 50 MPa, já a versão antiga da norma estabelece que a área de ferragem da estrutura deve estar compreendida entre 0,8% e 6,0% da seção de concreto, incluindo a o ferro de transpasse de cada pavimento e não pode ser utilizada bitola menor que 10 mm para armadura principal e 5 mm para estribos.

Esses valores foram atualizados em 2003 e estão vigentes até o presente momento com valores mínimos de 0,4% até um máximo de 8,0% da seção. Por conseguinte, as armaduras serão readequadas com os valores normativos atuais.

2.7.6. Ancoragem das armaduras

O comprimento de ancoragem básico (l_b), que é a dimensão necessária para ancorar uma barra reta, foi alterado na atualização da norma, passando a ter que atender ao comprimento mínimo de 25ϕ , conforme a Equação 1 abaixo:

$$l_{b, nec} = \alpha l_b \frac{A_{s, calc}}{A_{s, ef}} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde,

- $\alpha = 1,0$ para barras sem gancho;
- $\alpha = 0,7$ para barras tracionadas com gancho, com comprimento no plano normal ao do gancho $\geq 3 \phi$;
- $\alpha = 0,5$ quando houver barras transversais soldadas e gancho com comprimento no plano normal ao do gancho $\geq 3 \phi$;

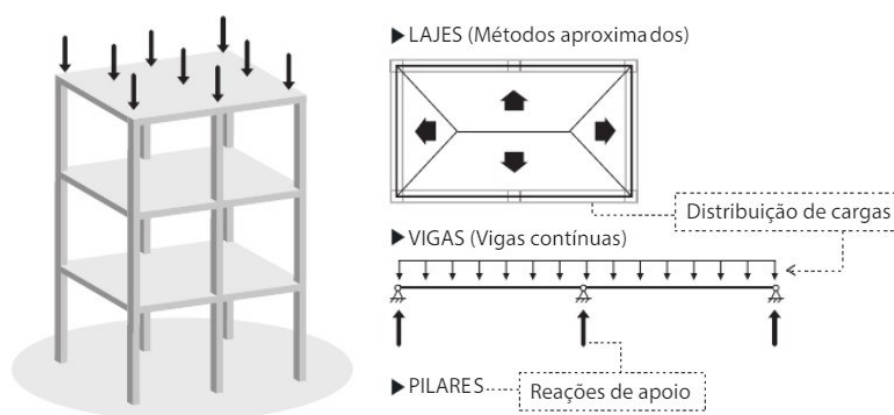
- l_b é conforme comprimento de ancoragem básico;
- l_b necessário não pode ser menor que o $l_{b,min}$ que é o maior valor entre $0,3 l_b$, 10ϕ , $100mm$.

2.7.7. Modelos de cálculo

2.7.7.1. Métodos aproximados e vigas contínuas

Os métodos aproximados são a primeira versão para um modelo de cálculo estrutural, esta análise é baseada no uso de tabela existentes para o dimensionamento das estruturas, de maneira simplificada o modelo para obtenção dos esforços é mostrado na Figura 3.

Figura 3: Método aproximado



Fonte: Informática aplicada a estruturas de concreto armado Kimura (2018).

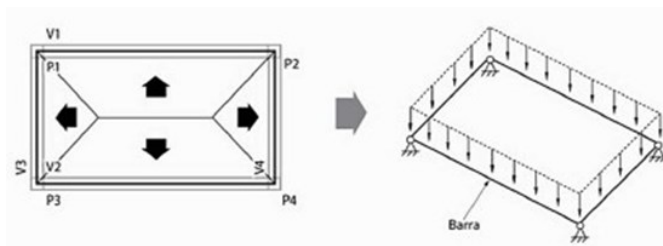
Em resumo, as lajes são calculadas com o uso de tabelas como modelo de Marcus, Czerny, etc. Esses esforços são transferidos para vigas por áreas de influência e então as reações calculadas são distribuídas para os pilares como carga concentrada, demonstrado na Figura 3.

Esse procedimento não abrange a interação dos elementos, as lajes, vigas e pilares são calculados de maneira independente. Como não é possível calcular lajes de geometria diferente da retangular e condições de apoio bem definidas, o que torna inviável sua utilização nas estruturas atuais, as quais envolvem estruturas mais complexas (KIMURA, 2018).

2.7.7.2. Grelhas somente de vigas

Trata-se de um modelo direcionado para a análise estrutural apenas de um pavimento, na qual envolve a interação entre todas as vigas presentes, representado na Figura 4.

Figura 4: Método de grelhas somente vigas



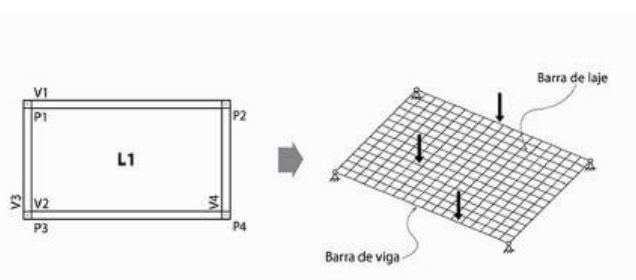
Fonte: Informática aplicada a estruturas de concreto armado, página 81, Kimura, 2018.

A interação com a laje não é considerada neste cálculo e deve ser analisada isoladamente. Já os pilares são representados em forma de apoio simples, modelo direcionado para análise de vigas (KIMURA, 2018).

2.7.7.3. Grelha de vigas e lajes

É um modelo mais avançado que o apresentado anteriormente, exemplificado na Figura 5, na qual a interação entre vigas e lajes são consideradas de acordo com a rigidez do elemento, cada interseção entre essas barras é definida um nó com três graus de liberdade, assim torna-se possível a obtenção de esforços cortante, momentos fletores e momento torsor.

Figura 5: Método de grelha vigas e lajes



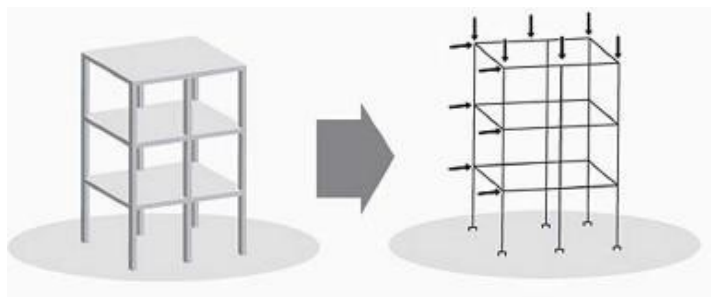
Fonte: Informática aplicada a estruturas de concreto armado, página 82, Kimura, 2018.

Esse é um método que permite dimensionar praticamente todas as soluções de laje para concreto armado, contudo se restringe a apenas um pavimento por vez (KIMURA, 2018), essa limitação é dada por se tratar de uma análise no plano da estrutura.

2.7.7.4. Pórtico espacial

Consiste em um modelo tridimensional, como na Figura 6, formado por barras que representam todas as vigas e pilares, possibilitando uma avaliação mais complexa. Neste sistema é possível avaliar simultaneamente as forças verticais e horizontais do edifício.

Figura 6: Método pórtico espacial



Fonte: Informática aplicada a estruturas de concreto armado, página 81, Kimura, 2018.

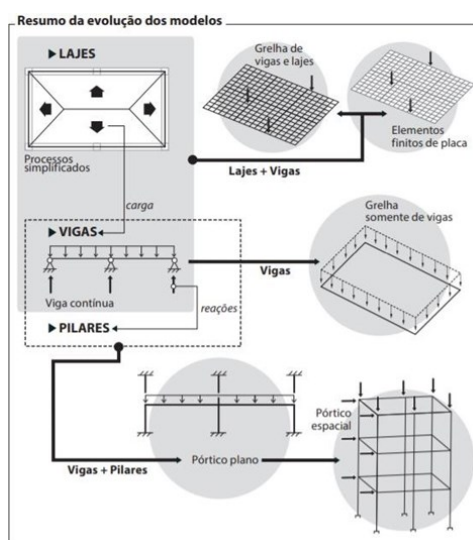
Para a construção do pórtico cada nó possui seis graus de liberdade, possibilitando a obtenção de deslocamentos, esforço cortante, força normal, momento fletores e momento torsor em todas as vigas e pilares (KIMURA, 2018).

2.7.7.5. Modelo atual

Com o surgimento de *softwares* mais complexos que são capazes de abranger uma vasta gama de variáveis e critério, é possível fazer uma mescla do sistema de pórtico espacial com a grelha de viga e laje. Sendo o primeiro para análise global da estrutura e o segundo para modelagem de cada pavimento do edifício. Neste método o projetista consegue configurar apoios elásticos, alterar rigidez das barras, flexibilizar as ligações, entre outras opções (KIMURA, 2018).

Por fim a evolução dos modelos de cálculo é sintetizada na Figura 7, representando os diferentes métodos para análise do projeto estrutural.

Figura 7: Evolução dos modelos de cálculo



Fonte: Informática aplicada a estruturas de concreto armado, página 89, Kimura, 2018.

Contudo vale ressaltar a importância do engenheiro de dominar o método que irá utilizar. De nada adianta dispor de uma ferramenta complexa sem o seu entendimento, pois o mau uso pode resultar em uma análise estrutural inexata e em consequência causar maiores problemas. Frequentemente a utilização de um modelo mais simples, é capaz de satisfazer o problema estrutural encontrado

Neste estudo o modelo inicial usado foi o de métodos aproximados, sendo todos os cálculos realizados manualmente. E para sequência do projeto será abordado o modelo de pórtico espacial com análise de grelha viga e laje, a fim de comparar a diferença entre os métodos de cálculo.

2.8. Redistribuição de momentos fletores

Considerar redistribuição na ligação entre uma viga e um pilar significa, de forma simplificada, considerar que uma parcela do momento negativo que ocorre na ligação entre os elementos é redistribuído para o momento positivo da viga. Em decorrência desse processo temos uma redução da área de aço necessária na ligação entre a viga e o pilar e um aumento da área de aço necessária para resistir ao momento positivo da viga (KIRSTEN, 2018)

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) em seu item 14.6.4.3 permite definir até 10% de redistribuição quando os efeitos de segunda ordem global na estrutura têm influência considerável (estrutura de nós móveis) e até 25% de redistribuição em estruturas de nós fixos.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para início do trabalho foi escolhido um edifício composto por térreo, 7 pavimentos tipo, sendo uma cobertura duplex, ático, barrilete e caixa d'água. O prédio está localizado na região litorânea (classe de agressividade III), projetado em março de 1995, o edifício foi elaborado com uma solução de lajes mista de concreto com lajotas cerâmicas e capa de 2 cm para o pavimento tipo e laje maciça para o demais, as vigas do pavimento tipo são em quase sua totalidade com largura de 10 cm, ainda na cobertura duplex cada apartamento possui uma piscina privativa de 3000 litros. Como o estudo se trata de um edifício real, a fim proteger a imagem e direitos dos projetistas e executores, as informações do nome da obra, local e engenheiros mantiveram-se ocultadas.

O edifício foi idealizado e concretizado com as especificações da norma nas versões da NBR 6118 (ABNT, 1980) e NBR 6120 (ABNT, 1980), as quais eram vigentes em seu presente momento.

A pesquisa foi dividida em cinco partes: a análise das cargas resultantes na fundação, a diferença das reações calculadas na base, estudo dos elementos críticos e a diferença nos quantitativos de aço e concreto.

Na primeira etapa o projeto foi estudado e entendido a maneira como foi concebida às suas soluções estruturais para a época. Então o prédio foi remodelado no software de cálculo estrutural o TQS na versão V21 e em seu modelo *default*, ou seja, as próprias especificações iniciais dos sistemas.

Para a análise, foram estudadas as principais atualizações ocorridas nas normas e procedimentos de cálculo da época para os métodos atuais, entre os principais pontos modificados no estudo, destacam-se os representados na Tabela 8.

Tabela 8: Dados modificados para análise do edifício.

Dados de entrada			
		Projeto 1995	Projeto 2021
Classe de agressividade		-	III
Fck		C15	C30
Cobrimento (mm)	Laje	10	35
	Viga/Pilar	20	40
Sobrecarga (kN/m ²)		De 1,5 a 2,0 Em função da utilização	De 1,5 a 5,0 Em função da utilização
Modelo de cálculo		Métodos aproximados	Portico espacial e Análise de grelha viga e laje
Seções mínimas (cm)	Viga	10	12
	Laje	Tipo - Capa de concreto 2,0	Tipo - Capa de concreto 4,0

Fonte: Autoria própria (2021).

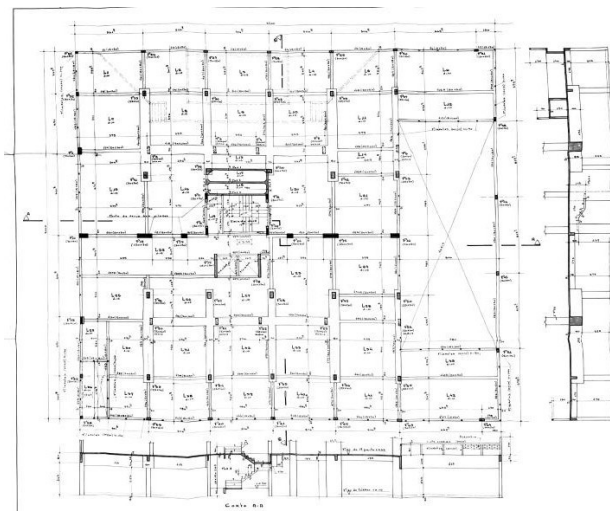
As principais mudanças ocorreram na resistência característica à compressão, do concreto passando de 15MPa para 30MPa e o aumento do cobrimento de 10 mm das lajes para 35 mm e nas vigas e pilares de 20 mm para 40 mm, esses dois fatores são os que mais influenciam na durabilidade da estrutura, a fim de evitar deterioração precoce da estrutura.

3.1. Análise do edifício

3.1.1. Modelagem nos softwares

Uma vez que o projeto original existente foi realizado a mão, ilustrado nas Figuras 8 e 9, foi definido um ponto base inicial e com as cotas do projeto foram locados os pilares e as vigas do edifício desde o pavimento térreo até a cobertura, então foram modeladas as lajes de todos os pavimentos com as dimensões e espessuras existentes. Com esses elementos modelados, obteve-se uma representação gráfica em 3D, mostrada na Figura 10.

Figura 8: Projeto do pavimento térreo



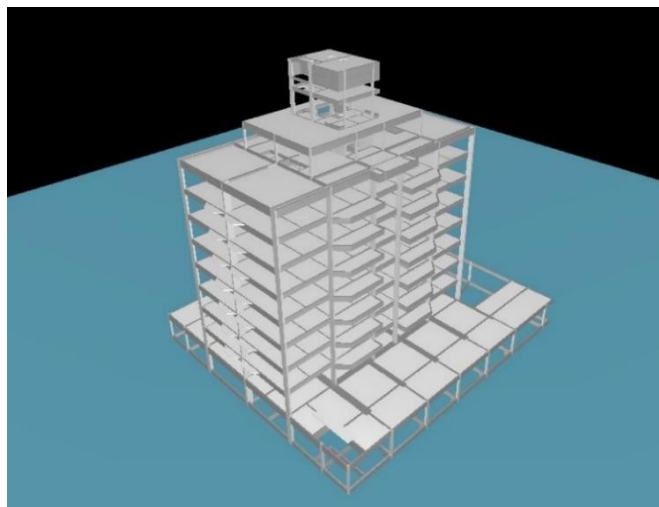
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 9: Elevação lateral do edifício



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 10: Representação gráfica, software TQS



Fonte: Autoria própria (2021).

Para todo o estudo foram criados 3 modelos numéricos de estrutura no TQS, sendo estes:

- Um modelo IFC (*Industry Foundation Classes*), ou seja, uma modelagem completa para melhor visualização do edifício 3D;
- Dois modelos para detalhamento da estrutura, para a versão construída na década de 1990 e outra adaptada as novas versões da norma NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 6120 (ABNT, 2019).

Para otimizar a rotina de cálculos para a modelagem da estrutura existente, nas normas de 1980, no TQS foram feitas considerações para se obter um resultado mais real dos esforços gerados nas peças estruturais, dentre as alterações não foram realizadas a modelagem das escadas, sendo aplicadas o carregamento com as mesmas propriedades, em forma de laje, e da piscina, representada em forma de carga distribuída em área.

3.1.2. Adaptações do projeto para as normas NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 6120 (ABNT, 2019)

Para atender algumas premissas básicas das novas normas, foram feitas adaptações na modelagem da estrutura:

- Mudança da sobrecarga do elevador

A NBR 6120 (ABNT, 2019), diferente da versão anterior, estabelece valores para carga acidental em elevadores, representado na Tabela 9.

Tabela 9: Reprodução da NBR-6120/2019 - Carga accidental para áreas técnicas -

	Local	Carga (kN/m ²)
	Barrilete	1,5
	Áreas técnicas em geral (fora da projeção dos equipamentos, exceto barrilete)	3
	Sala de ventiladores, pressurização, exaustores	3
	Sala de ar-condicionado (fan coil)	4
	Sala de painéis elétricos de baixa tensão	4
	Sala de gerador e transformador (com leiaute)	3
Áreas técnicas	Sala de gerador e transformador (sem leiaute)	10
As cargas devem ser validadas caso a caso, porém com os valores mínimos indicados nesta Tabela	Sala de no-breaks	7,5
	Sala de baterias	10
	CPD (centro de processamento de dados)	2,0
	Casa de máquinas de elevador de passageiros (v ≤ 1,0 m/s)	30
	Casa de máquinas de elevador de passageiros (v > 1,0 m/s)	50
	Poço de elevador de passageiros	50
	Poço de plataforma de elevação motorizada para pessoas com mobilidade reduzida	2,5

Fonte: Adaptado de NBR 6120 (ABNT, 2019).

No projeto original, a sobrecarga do elevador foi projetada aplicando três cargas pontuais de 1,5 tonelada, simulando três ganchos para sustentação do equipamento. Conforme demonstrado na Tabela 9, a nova norma especifica uma carga distribuída na laje de topo da caixa do elevador com um valor de 30 kN/m² para elevadores com velocidade menor ou igual a 1,0 m/s ou 50 kN/m² para elevadores com velocidade maior que 1,0 m/s. Para a nova modelagem, foi estimado um equipamento com velocidade maior que 1,0 m/s, portanto foi aplicada uma carga distribuída de 50 kN/m².

- Variação da seção das vigas

Além do aumento da largura das vigas para um mínimo de 12 cm, outras peças tiveram a necessidade de um aumento na seção bw, em função dos esforços calculados e em consequência da necessidade de uma área maior de aço para resistir a está solicitação, por conseguinte faz-se necessário obedecer a largura mínima no apoio desses elementos, para o caso de viga apoiando em viga, estabelecido no item 18.3.2.4.1 da Norma NBR-6118 (ABNT, 2014), demonstrado na Tabela 10.

Tabela 10: Largura mínima do apoio para receber a armadura

Bitola (mm)	Raio Interno (cm)	$r + 5,5 \varnothing$ (cm)	Largura mínima do apoio para atender $r + 5,5 \varnothing$ (cm)
Ø 10	2,5	8,0	11,0
Ø 12,5	3,1	10,0	13,0
Ø 16	4,0	12,8	16,0
Ø 20	8,0	19,0	22,0
Ø 25	10,0	23,8	27,0

Fonte: Autoria própria.

Neste estudo fora necessário utilizar barras com bitola maiores que 16 mm, para cobrir a área de aço necessária em algumas vigas. Dessa forma, baseada na ancoragem da armadura de tração no apoio, as vigas com maiores esforços positivos ou negativos tiveram que ter sua largura aumentada para fazer o alojamento das

barras de maneira adequada.

3.1.3. Processamento do edifício

Para executar o processamento de cálculo do edifício no *software* foi escolhido o modelo de pórtico espacial e grelha com viga contínua (Modelo IV, nas configurações do TQS), explicado anteriormente. Então foram verificadas as diferenças encontradas nas grelhas e pórticos do programa e comparado com o projeto existente.

3.1.4. Validação da modelagem

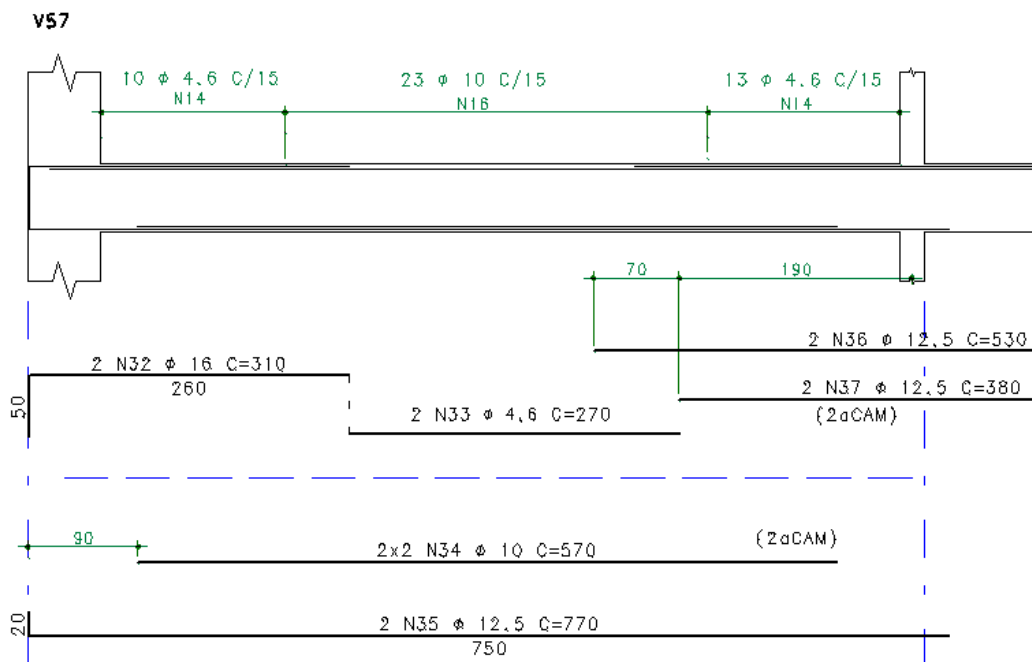
O modelo buscou representar o mais próximo possível o projeto original, para que dessa forma os esforços e a armaduras pudessem ficar parecidas com o existente. Para que isso acontecesse, foi testada a fidelidade do modelo com o projeto original de duas maneiras diferentes.

Com as cargas aplicadas conforme as normas vigentes para a época, foi possível encontrar as cargas verticais aplicadas na fundação e dessa forma foi possível comparar com as cargas definidas no projeto original, assim validando as cargas aplicadas.

Possuindo as armaduras dimensionadas no projeto base, foi possível estimar os esforços previstos pelo projetista com base na calculadora de armadura longitudinal para flexão simples em seção retangular, uma ferramenta do próprio software, na qual uma viga é dimensionada com as armaduras existentes e o programa calcula para qual esforço aquela armadura foi dimensionada. Com esse valor estimado foram validados os esforços calculados pelo processamento do edifício.

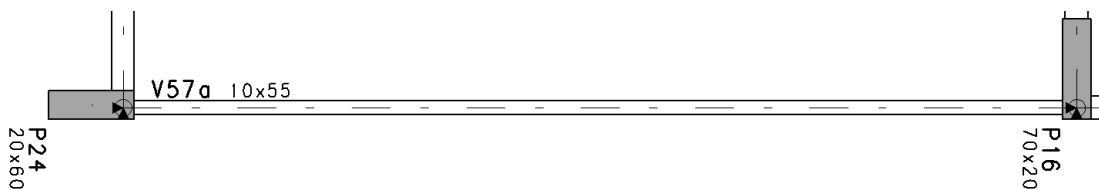
Nos pontos em que os momentos negativos das vigas apontavam uma deficiência de armadura, foram adicionadas articulações com a finalidade de redistribuir o momento negativo transformando o mesmo em positivo, assim aproximando ainda mais os esforços do modelo com os originais, exemplificado nas Figuras de 11 a 15.

Figura 11: Reprodução da viga existente no projeto original



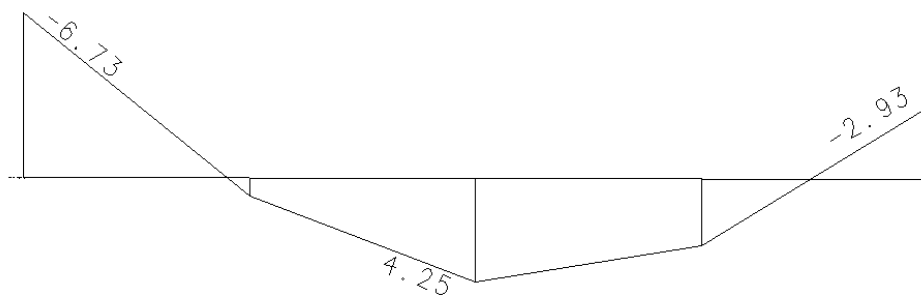
Fonte: Autoria própria, software TQS

Figura 12: Viga em planta em seu estado original



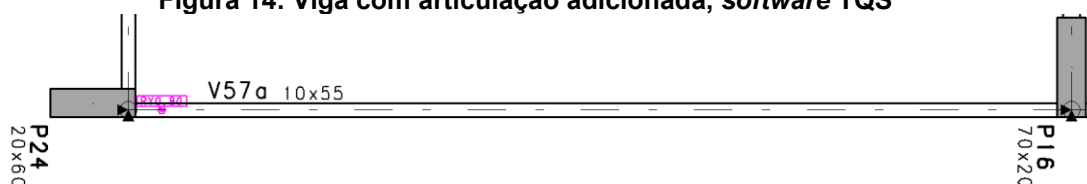
Fonte: Autoria própria, software TQS

Figura 13: Momento na viga anterior a adição articulação, software TQS



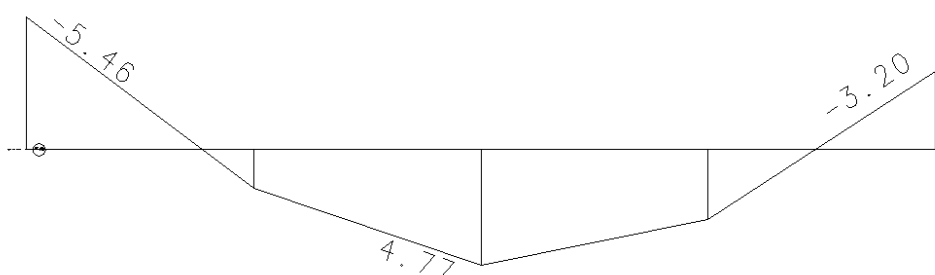
Fonte: Autoria própria, software TQS

Figura 14: Viga com articulação adicionada, software TQS



Fonte: Autoria própria, software TQS

Figura 15: Momento na viga após adição da articulação, software TQS



Fonte: Autoria própria, software TQS

Com esta ferramenta, foi presumível que a superestrutura se aproximou da melhor maneira possível da realidade da estrutura, devido aos esforços estarem calibrados para a mesma armadura existente. Ainda é possível prever as possíveis considerações do projetista da época, para serem replicadas no novo modelo, desde que essas condições estabelecidas não infrinjam as atuais implicações normativas.

3.1.5. Planta de cargas

Validada e processada a modelagem da estrutura, com as devidas dimensões, locações das cargas, foi gerada uma planta de cargas da estrutura e conferida com o projeto original, conforme Tabela 11.

Tabela 11: Validação da planta de carga da fundação

Pilar	Carga em toneladas	
	Projeto Executado 1995	Modelo Existente 1995 -

	NBR 6118/80	TQS NBR 6118/80
1	112	117
7	151	172
8	161	206
9	163	168
10	167	213
11	245	234
12	360	313
13	113	158
14	115	149
15	363	307
16	220	228
17	172	236
18	166	206
19	117	121
25	13	5
26	25	6
27	30	14
28	30	15
29	25	5
30	25	11
31	25	13
32	17	18
33	110	92
34	90	105
35	110	112
36	91	83
37	64	68
38	27	17
39	132	153
40	160	166
41	173	161
42	164	161
43	98	89
44	15	5
45	15	5
46	181	165
47	116	145
48	144	168
49	157	164
50	94	88
51	28	17
52	26	13
53	105	97
54	74	95
55	80	97
56	85	87
57	68	68
58	22	5
59	25	7
60	20	2
61	30	4
62	20	5
63	25	12
64	25	13
TOTAL	5389	5379

Fonte: Autoria própria, software TQS

Resultando em uma diferença de 10 toneladas, representando menos de 1% de diferença.

Em sequência foram feitos os ajustes necessários para as normas vigentes, destacando as dimensões mínimas e sobrecargas, então foi obtida uma nova planta de cargas para comparar com os resultados existentes.

3.1.6. Dimensionamento das armaduras

O dimensionamento das armaduras dos pilares, vigas e lajes foram feitos pela rotina de cálculo do software de acordo com os esforços resultantes do processamento global do edifício, respeitando todos os critérios das normas. Por conseguinte, foi comparado com o dimensionamento realizado na primeira versão do projeto e com os cálculos efetuados pelo TQS em seu modo padrão.

3.1.7. Análise quantitativa

Após o dimensionamento de toda estrutura, foi realizada uma estimativa do quantitativo de aço e concreto que seria utilizado para a obra, com o intuito de comparar com o montante que foi estipulado para a construção na época.

3.1.8. Análise de elementos críticos

Com o dimensionamento realizado, foram escolhidos o pilar P15 e a viga V17 do pavimento tipo, os quais representavam pontos críticos do projeto em função dos elevados esforços gerados, com a finalidade de analisar as diferenças encontradas nos diagramas de esforços normais, esforços cortantes, momentos fletores e deslocamentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo tem como finalidade apresentar os resultados obtidos a partir da análise dos dados extraídos do TQS.

4.1. Análise das cargas resultantes na fundação

Com o modelo validado, foi possível realizar todas as alterações previstas para se enquadrarem nos novos critérios da NBR 6118 (ABNT, 2014) e então foi gerada a planta de carga resultante dessa nova concepção, conforme detalhado na Tabela 12.

Tabela 12: Cargas aplicadas na fundação

Carga em toneladas		
Pilar	Projeto Executado 1995 NBR 6118/80	Modelo Revisado 2021 NBR 6118/2014
1	112	125
7	151	167
8	161	201
9	163	196
10	167	247
11	245	240
12	360	329
13	113	168
14	115	159
15	363	330
16	220	241
17	172	300
18	166	245
19	117	133
25	13	5
26	25	6
27	30	14
28	30	15
29	25	5
30	25	11
31	25	13
32	17	17
33	110	90
34	90	105
35	110	111
36	91	84
37	64	69
38	27	17
39	132	152
40	160	167
41	173	162
42	164	163
43	98	95
44	15	5
45	15	5

46	181	172
47	116	144
48	144	169
49	157	167
50	94	95
51	28	17
52	26	12
53	105	95
54	74	94
55	80	95
56	85	87
57	68	72
58	22	5
59	25	7
60	20	3
61	30	4
62	20	5
63	25	12
64	25	13
TOTAL	5389	5659,5

Fonte: Autoria própria, software TQS

Quando analisadas as plantas de carga extraídas da modelagem do *software*, com a do projeto executivo foi possível observar que as mudanças causadas pelas normas implicaram em um aumento de aproximadamente 5% na carga total aplicada na fundação do edifício, elevando a carga total de 5389 toneladas para 5660 toneladas.

Esse aumento é explicado pelo aumento da seção das vigas e da capa de concreto da laje, conseqüentemente aumentando o peso próprio da estrutura e pela diferença normativa nos valores considerados de cargas a serem aplicadas nas áreas comuns da estrutura, conforme indicado no item 3.1.2.

4.2. Reações calculadas na base

Para a análise da diferença entre o peso próprio da estrutura e o somatório de todas as cargas permanentes e acidentais de cada modelo para o valor característico, foram geradas as Tabela 13 e 14 das reações na base de cada pórtico, um com o modelo existente transpassado para o TQS e outro o modelo revisado com a nova vigente.

Tabela 13: Reação na base – peso próprio

Peso Próprio - Modelo Existente TQS 1995		Peso Próprio - Modelo Revisado TQS 2021	
Força	Valor (toneladas)	Força	Valor (toneladas)
Fx	0,00	Fx	0,00
Fx	0,00	Fx	0,00
Fz	-1762,74	Fz	-1955,16
Mx	0,00	Mx	0,00
My	0,00	My	0,00
Mz	0,00	Mz	0,00

Fonte: Autoria própria, software TQS

Tabela 14: Reação na base – todas as acidentais e permanentes

Cargas Acidentais e Permanentes - Modelo Revisado TQS 2021		Cargas Acidentais e Permanentes - Modelo Existente TQS 1995	
Força	Valor (toneladas)	Força	Valor (toneladas)
Fx	0,00	Fx	0,00
Fx	0,00	Fx	0,00
Fz	-4764,12	Fz	-4465,58
Mx	0,00	Mx	0,00
My	0,00	My	0,00
Mz	0,00	Mz	0,00

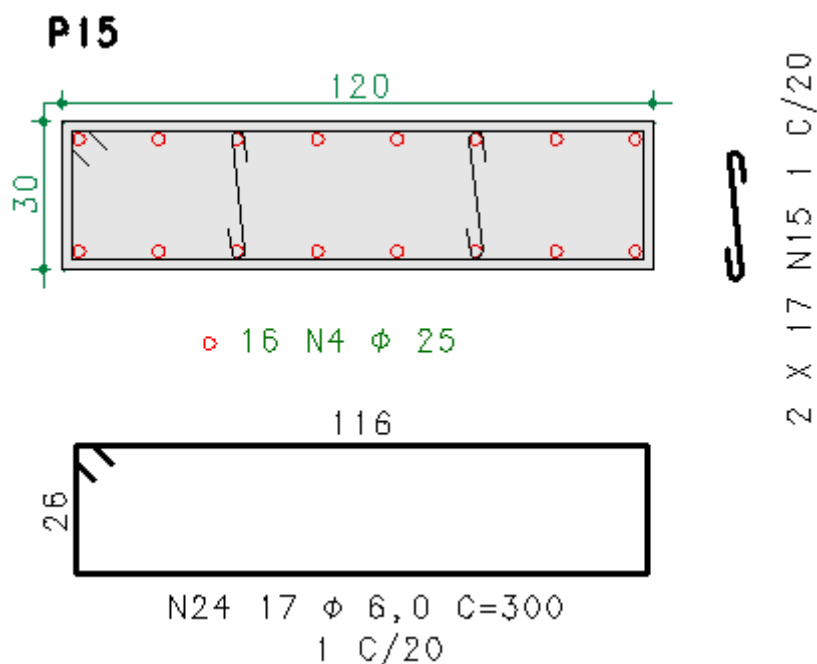
Fonte: Autoria própria, software TQS

Resultando em uma diferença de 192 toneladas para o peso da estrutura e de 298 toneladas para o somatório das cargas acidentais e permanentes, ou seja, 10% e 6,7% respectivamente.

4.3. Estudo dos elementos críticos

Para avaliar o dimensionamento realizado pelo projetista na época com os novos esforços encontrados, foram escolhidos dois elementos como citado no item 3.1.8 do trabalho para realizar uma análise mais aprofundada, mostrado nas Figura 16, 17, 18 e Tabela 15.

Figura 16: Pilar com maior carga na fundação



Fonte: Autoria própria

Tabela 15: Dimensionamento do pilar P15 pelo TQS

Análise P15 TQS				
Concreto		Aço		
Área Total	3600.0 cm ²	Área Total	78.5 cm ²	
Área por elemento	9.000 cm ²	Número por elemento	16	
Número por elemento	400	fyk	5000 kgf/cm ²	
fck	300 kgf/cm ²	Gama S	1.15	
Gama C	1.40	Módulo de elasticidade	2100000	
Resultado do cálculo				
Dimensionamento	-----		ok	
As existente	-----	78.5 cm ²	(2.18%)	
As necessário	-----	15.0 cm ²	(0.42%)	
Lista de carregamento				
Caso	FZ	Mx	My	Sd/Rd
1	434	13	0	0.58

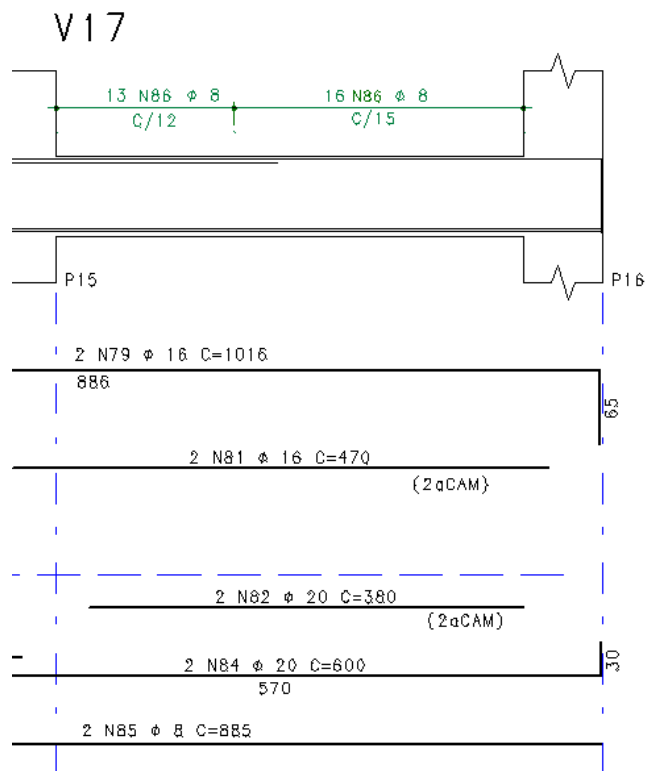
Fonte: Autoria própria, software TQS

O pilar se mostrou superdimensionado quando aplicado uma resistência característica maior e então comparado ao dimensionamento realizado com 16 ϕ 25 mm, pois seria necessário a armação de um mínimo de 15cm², no caso a área da seção existente é cerca de 78,5cm², contudo vale ressaltar que o esforço solicitante sobre a resistência é apenas de 0,58.

A mesma análise foi realizada para a viga V17, a qual o dimensionamento

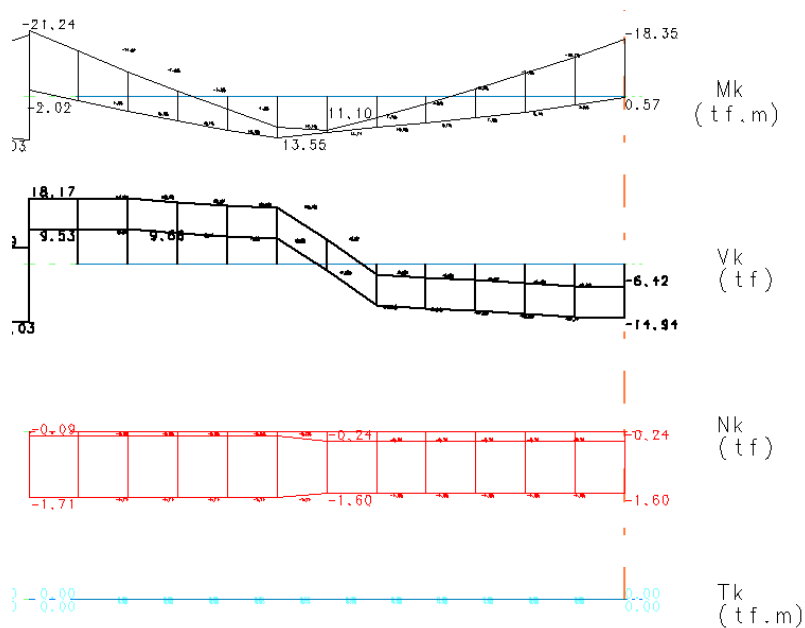
existente está representado pela Figura 17 e os diagramas para nova solicitação e respectivo dimensionamento nas Figuras 18 e 19.

Figura 17: Representação da armadura existente da V17 pelo TQS



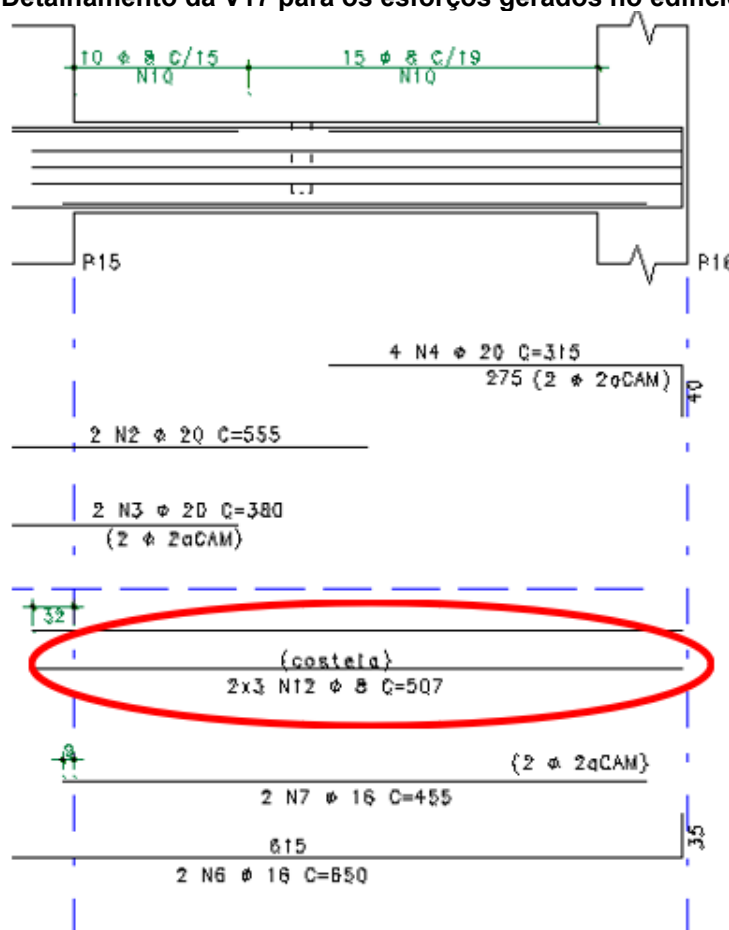
Fonte: Autoria própria, software TQS

Figura 18: Representação dos esforços gerados na V17 para o edifício revisado



Fonte: Autoria própria, software TQS

Figura 19: Detalhamento da V17 para os esforços gerados no edifício revisado



Fonte: Autoria própria, software TQS

Com o novo detalhamento realizado, notasse um aumento na armadura desta viga, visto a necessidade de armar vigas com altura acima de 60 cm com armaduras de pele, para evitar fissuras. Ainda notasse uma inversão na armadura negativa com a positiva, podendo ser explicado por questões de considerações de cálculo, como a flexibilização dos momentos, por fim as armaduras não se diferem muito quando considerado o As existente na seção total da viga, a principal diferença se encontra exatamente no dimensionamento mínimo para pele, fator que também contribuí para o aumento total de aço no edifício.

4.4. Análise dos quantitativos

Os quantitativos para análise foram extraídos do próprio software para o modelo revisado e transcrito das pranchas existentes para o projeto executado, dessa forma, foi possível verificar que tanto para o concreto quanto para o aço houve aumento nos quantitativos, mostradas nas Tabelas de 15 a 19.

Tabela 15: Quantitativos de concreto por peça e por pavimento – Projeto Existente 1995

Modelo Existente 1995 - NBR 6118/80			
Volume de concreto (m ³)			
	Pilar	Viga	Laje
Térreo		28,7	2
1° Pavimento	19,9	101,5	78,7
Tipo (7x)	67,9	97,3	180,6
Ático	11,2	30,6	38,9
Cobertura Ático	4,6	5,1	11,8
Casa de máquina	4,6	5,1	11,8
Barrilete	1,2	1,4	3,2
Fundo Caixa d'água	1,4	0,4	6,2
Total	110,8	270,1	333,2

Fonte: Autoria própria, software TQS

Tabela 16: Quantitativos de concreto por peça e por pavimento – Modelo Revisado 2021

Modelo Revisado 2021 - NBR 6118/2014			
Volume de concreto (m ³)			
	Pilar	Viga	Laje
Térreo		28,6	1,1
1° Pavimento	20,6	103,2	80,3
Tipo (7x)	67,2	144,2	192,5
Ático	10,3	22,6	36,5
Cobertura Ático	4,2	6,5	12,9
Casa de máquina	4,2	12,9	12,9
Barrilete	1,3	1,6	4,6
Fundo Caixa d'água	1,3	5,07	5,9
Total	109,1	324,67	346,7

Fonte: Autoria própria, software TQS

Tabela 17: Diferença nos quantitativos de concreto por peça

Volume (m ³)			
Elemento	Modelo Existente 1995 NBR 6118/80	Modelo Revisado 2021 NBR 6118/2014	Diferença
Pilares	110,8	109,1	-1,7
Vigas	270,1	324,67	54,57
Lajes	333,2	346,7	13,5
Total	714,1	780,47	66,37

Fonte: Autoria própria, software TQS

Tabela 18: Quantitativos de aço por pavimento – Modelo Existente 1995

Projeto executado 1995 - NBR 6118/80

Peso de aço (kg)

Pavimento	Peso
Térreo	10.429,00
1° Pavimento	19.766,00
Tipo (7x)	84.777,00
Ático	7.177,00
Cobertura Ático	
Casa de máquina	
Barrilete	2.382,00
Fundo Caixa d'água	
Tampa Caixa d'água	
Total	124.531,00

Fonte: Aatoria própria, software TQS

Tabela 19: Quantitativos de aço por pavimento – Modelo Revisado 2021

Modelo Revisado 2021 - NBR 6118/2014

Peso de aço (kg)

Pavimento	Peso
Térreo	12.478,30
1° Pavimento	23.229,00
Tipo (7x)	110.193,59
Ático	8.300,20
Cobertura Ático	
Casa de máquina	
Barrilete	2.814,08
Fundo Caixa d'água	
Tampa Caixa d'água	
Total	157.015,17

Fonte: Aatoria própria, software TQS

Para a verificação do volume de concreto, foram comparados os quantitativos de concreto dos pilares, das vigas e lajes, tendo como resultado um aumento de 66,37 m³, representando um aumento de pouco mais de 9%. Notou-se que para os pilares, praticamente não houve alteração, devido a não ter tido nenhuma mudança de seção durante o trabalho. O grande aumento foi obtido nas vigas, 20,2% de incremento, resultado das mudanças nas larguras das vigas para atendimento as novas normas. Para as lajes, obteve-se um aumento de 4,1%, representado pelo aumento da capa de concreto de 2 cm para 4 cm; entende-se que esse aumento poderia ser maior,

entretanto, não foi possível simular no software exatamente as nervuras das lajes, dessa forma, esse efeito causou uma minoração no quantitativo das lajes.

Quando analisado o quantitativo de aço da estrutura, percebeu-se que houve um aumento de mais de 26% no peso da armadura. A diferença se deve ao aumento nas seções das vigas e nos esforços solicitantes, exigindo um redimensionamento nas vigas e pilares para suportarem as novas sobrecargas.

4.5. Análise da vida útil

Como destacado em todo o estudo o principal intuito das atualizações da norma é maior qualidade dos projetos das edificações, melhorando sua durabilidade e conforto, a seguir estão destacadas as figuras 20,21,22 e 23 mostrando a deterioração do edifício ao longo de seus 26 anos desde a finalização parcial da construção, visto que a obra não foi totalmente finalizada.

Figura 20: Deterioração de peças por corrosão



(a) Pilar com armaduras expostas a corrosão (b) Vista do cobrimento dos pilares na base

Figura 21: Deterioração de peças por corrosão



(a) Viga com armadura exposta a corrosão

(b) Laje com armadura exposta a corrosão

Fonte: Autor anônimo

Como pôde ser observado nas imagens destacadas anteriormente é possível observar que o cobrimento e as especificação da época foram insuficientes para garantir a estrutura uma longa vida útil, sendo necessário a realização de reforços estruturais no edifício como um todo.

5. CONCLUSÃO

A ideia inicial do estudo, foi de analisar as atualizações das normas da ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 6120 (ABNT, 2019), trazendo os benefícios que as modificações trouxeram para elaboração das construções de edificações de concreto armado, como durabilidade, segurança e desempenho, isso tudo com o auxílio do *software* TQS para modelagem e verificação do estudo.

Como dito as preocupações que levaram o estudo adiante, foi a de ver uma estrutura de aproximadamente 26 anos estar muito deteriorada, pelo fato de a norma não ter previsto algumas situações de proteção para a edificação, como por exemplo a utilização de uma resistência característica a compressão baixa para o concreto, de 15MPa e cobrimentos menores, de 10 mm para as lajes e 20 mm para vigas e pilares. Muitas informações que são pauta dessa falta de proteção, foram adicionadas nas normas em outras atualizações.

Quando analisado a diferença das cargas que foram aplicadas na estrutura de fundação do edifício, o valor foi de 5% aproximadamente a mais na modelagem atual, ou seja, com as a normas atualizadas. Conclui-se que a esse valor vem de maior influência da norma NBR 6118 (ABNT, 2014), a qual definiu os novos valores mínimos para seções de vigas e lajes, com um aumento de 20% no total das seções das vigas e aumentando em 100% a capa mínima de concreto das lajes, de 2,0 cm para 4,0 cm, assim aumentado o peso próprio da estrutura e a maior necessidade de aço, sendo uma variação de 26%, devido a novos valores mínimo de armaduras, seções maiores e maiores esforços.

As atualizações realizadas na ABNT NBR 6120, também influenciaram no aumento das cargas de fundação, pelo fato dos valores considerados de cargas a serem aplicadas na estrutura passaram a ter um aumento dependendo da sua área de uso.

Em relação a comparação dos quantitativos no uso de concreto por pavimento, ocorreu uma diferença significativa no volume das vigas, pelo fato da última atualização da NBR 6118 (ABNT, 2014) exigir uma medida mínima de bw de 12 cm na seção da viga, a qual era de 10 cm. Também o acréscimo no carregamento, aumento na espessura da laje e seção das vigas, favoreceram para gerar um aumento na utilização de aço da obra como um todo, a qual teve um aumento de aproximadamente 26%, ainda deve-se ressaltar que houve um incremento de seção nos elementos estruturais e um concreto com maior resistência característica à compressão. Já para as lajes o resultado não foi tão significativo devido à dificuldade

de reproduzir no *software* a exatidão da laje mista, contudo se esperava ao menos um aumento de 50m³ de concreto proveniente do aumento da capa de concreto exigida pela norma atual.

Além disso, as verificações das reações calculadas na base, demonstraram que os esforços gerados foram maiores na modelagem baseada nas normas atuais, possuindo um peso próprio de 192 toneladas a mais que a estrutura antiga, resultante de um aumento de 10% e de 298 toneladas em relação as cargas variáveis e permanentes da estrutura, o que significa 6,7% superior da modelagem anterior. Com isso, conclui-se que as atualizações das normas proporcionam um aumento no consumo de aço e concreto na estrutura, porém isto auxilia na prevenção danos patológicos no futuro. Se por um lado as atualizações das normas levam a um maior consumo de materiais, por outro lado, a estrutura projetada, respeitando as recomendações, será mais durável

Assim, analisando o trabalho como um todo notasse que toda as atualizações que ocorreram nas normas geram um impacto positivo, visto que a implicação econômica pode não ser tão significativa quando posto em comparação com a maior vida útil e qualidade das estruturas.

Por fim, fica claro a necessidade de reforços estruturais no edifício construído em 1995, com isso, deve se ter uma discussão de como seriam feitos esses reforços. Como existe uma tendência das normas de serem atualizadas com mais frequência, nos tempos de hoje, seria importante que fosse determinado um procedimento a ser seguido, visto que hoje a legislação não contempla se deve ser apenas recuperado a estrutura existente ou deve ser realizada uma readequação aos novos padrões normativos.

Portanto, é um possível tema para ser abordado em novas discussões no futuro dentro do meio acadêmico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7187**: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7191**: Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15421**: Projeto de estruturas resistentes a sismos - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

AUTODESK. “The power of BIM for structural engineering.” Autodesk, 2021

AZHAR, S. **Building information modeling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry**. Leadership and Management in Engineering ASCE, 2011.

BASTOS, S.S.P. **Fundamentos do Concreto Armado**. Bauru: UNESP, 2019.

BENNETT, T. **Role of BIM in infrastructure seismic retrofit**. STRUCTURE Magazine, 2012.

CARVALHO, R e FILHO, J. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado, 4ª edição**. São Paulo: Ed UFSCAR, 2014.

COSTA, L. **Razões da Nova Arquitetura**. Porto Alegre: Ed. Ritter, 2007.

DOS SANTOS, E.R. **A ARMAÇÃO DO CONCRETO NO BRASIL**: História da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia, Belo Horizonte, 2008.

FERREIRA, S. L. Da engenharia simultânea ao modelo de informações de construção (BIM): contribuição das ferramentas ao processo de projeto e vice-versa. In: Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. Paraíba, 2007.

FREITAS, R, C; FREITAS, R, J. **Análise comparativa entre a NBR 6118/2003 e a NBR 6118/2014: Estudo das mudanças para cálculo de vigas**

GONÇALVES, E. **Estudo das patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. Rio de Janeiro, 2015.

KIMURA, A. **Informática aplicada a estruturas de concreto armado. 2ª Edição**. São Paulo: Oficina de textos, 2018.

KIRSTEN, A. **Análise dos esforços: Como saber até qual porcentagem de redistribuição posso usar em uma ligação semirrígida**. AltoQI, 2018.

LARANJEIRAS, A. C. R. **Colapso Progressivo de Edifícios. Associação Brasileira de Engenheiros Civis - ABENC**. Lajeado: Publicação Informativa, 2010.

LEE, Seung Il., Bae, Jun-Seo., Cho, Young Sang, (2012). "Efficiency analysis of set based design with structural building information modeling on high rise building structures." *Automation in Construction* 23, 20-32.

MARTINHO, A.; CARVALHO, B. **Relembre a história do Edifício A Noite, sede da histórica Rádio Nacional e que agora vai a leilão**. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/10/03/relembre-a-historia-do-edificio-a-noite-sede-da-historica-radio-nacional-e-que-agora-vai-a-leilao.ghtml>. Acesso: 02/08/2021

MCCUEN, T. "Evaluating award-winning BIM projects using the Nation Building Information Model standard capability maturity model." *Journal of Management in Engineering ASCE*, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 1 ed. São Paulo: Pini, 2014.

MIGILINSKAS, D., POPOV, V., JUOCEVICIUS, V. USTINOVICHUS, L. **The benefits, obstacles, and problems of practical BIM implementation**. *Procedia Engineering*, 2013.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1997.

PORTO, B, T; FERNANDES, G,S,D. **Curso Básico de Concreto Armado: conforme NBR**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015

SANTOS, D. D. **Análise de vigas de concreto armado utilizando modelo de bielas**

e tirantes. São Paulo: USP, 2006.

SCHERER, M. I. B. **Confiabilidade de vigas de concreto armado dimensionadas de acordo com a NBR-6118:2014.** Ibracon, 2019.

SILVA, G. A. O. **Avaliação da durabilidade de concretos contendo agregados reciclados de resíduos de construção civil (RCC)**". Salvador, Universidade Federal da Bahia, 2017.

SACKS, R. **"Impact of three dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice."** Automation in Construction, 2007.

TQS. 2021. Disponível em: <https://www.tqs.com.br/>

ZHANG, J.P., Hu, Z.Z. **BIM and 4D based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies.** Automation in construction 20, 2011.

KAEFER, F, L. **A Evolução do Concreto Armado.** São Paulo, 1998

MARTHA, L. F. **Análise de Estruturas: Conceitos e Métodos Básicos.** Rio de Janeiro, Campus, 2010.

TELLES, P. **História da Engenharia no Brasil.** Rio de Janeiro, Campus, 1984.