

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIA**

KAIRA TOMAZI

**ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO:
ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO CONFORME ABNT NBR 15200:2012**

CAXIAS DO SUL

2023

KAIRA TOMAZI

**ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO:
ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO CONFORME ABNT NBR 15200:2012**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Área do Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Luciano Zatti

CAXIAS DO SUL

2023

KAIRA TOMAZI

**ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO:
ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO CONFORME ABNT NBR 15200:2012**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Área do Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovada em ___/___/___

Banca Examinadora

Prof. Me. Luciano Zatti

Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Esp. Maurício Monteiro Almeron

Universidade de Caxias do Sul – UCS

AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo a minha família, pelo apoio, pela disponibilidade de estar junto comigo quando precisei. Agradeço a minha irmã pela ajuda, sem ela eu não teria conseguido. Agradeço aos meus amigos por terem trilhado esse caminho comigo. Agradeço a Universidade de Caxias do Sul pelo suporte técnico da disponibilização de *softwares*. Em especial ao meu orientador Luciano Zatti, por todo o conhecimento passado não só na confecção deste trabalho, mas de toda a sua contribuição durante minha graduação, me fazendo gostar cada vez mais da área estrutural.

RESUMO

Casos com incêndios sempre existiram e já causaram muitas vítimas, sendo pelo efeito do fogo, pela fumaça ou pelo pânico causado no momento da fuga. Por isso, a importância de projetar estruturas resistentes a chamas. A resistência ao fogo dos elementos construtivos é calculada pela reação ao calor do material, e pode levar ao colapso parcial ou total da edificação. Por isso, existem normas técnicas que estabelecem os requisitos para o dimensionamento dos elementos estruturais. Este estudo apresentou uma comparação de quantitativos e dimensionamento de uma edificação calculada seguindo a norma ABNT NBR 6118:2014 para condições de temperatura ambiente e, posteriormente, verificado para a situação de incêndio conforme a norma ABNT NBR 15200:2012. O dimensionamento da estrutura foi realizado com auxílio do *software* CAD/TQS V23, utilizando o método tabular para lajes e vigas e o método analítico para pilares. Foram feitas análises dos elementos estruturais em todos os pavimentos da edificação, considerando a situação de incêndio. Os resultados obtidos, foram para lajes e vigas, o atendimento a verificação de incêndio do TRRF de 60 minutos, já para pilares, precisou ser redimensionadas as seções dos mesmos, aumentando-os. Assim, resultou num acréscimo das quantidades dos materiais, mas atendendo ao TRRF mínimo de 60 minutos. Concluiu-se que a análise para incêndio é muito importante, visto que possíveis alterações envolvem aumento de quantidades e podem alterar significativamente a arquitetura do local.

Palavra-chave: incêndio; estrutura; fogo; comparativo.

ABSTRACT

Cases of fire have always existed and have caused many victims, whether due to the effect of fire, smoke or panic caused at the time of escape. Hence, the importance of designing flame-resistant structures. The fire resistance of construction elements is calculated by the occurrence of heat in the material, and can lead to partial or total collapse of the building. Therefore, there are technical standards that establish the requirements for the design of structural elements. This study presented a comparison of quantities and sizing of a building calculated according to the ABNT NBR 6118:2014 standard for ambient temperature conditions and, subsequently, verified for the fire situation according to the ABNT NBR 15200:2012 standard. The design of the structure was carried out with the aid of CAD/TQS V23 software, using the tabular method for slabs and beams and the analytical method for columns. Analyzes of the structural elements were carried out on all floors of the building, considering the fire situation. The results obtained were for slabs and beams, meeting the 60-minute TRRF fire check, while for pillars, their declarations needed to be resized, increasing them. Thus, an increase in the quantities of materials was made, but at least the TRRF was met. It is concluded that fire analysis is very important, as possible changes involve increased details and can significantly alter the architecture of the site.

Keyword: fire, structure, fire, comparative.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Casa de Ópera	23
Figura 2 - Interior de Ycua Bolaños após incêndio	23
Figura 3 - Edifício Andraus e Joelma em chamas.....	24
Figura 4 - Interior da Boate Kiss após incêndio	25
Figura 5 - Desabamento total do edifício Wilton Paes de Almeida	25
Figura 6 - Quadrilátero do fogo	27
Figura 7 - Fluxo de calor por radiação	28
Figura 8 - Fluxo de calor por convecção	28
Figura 9 - Etapas de um incêndio real	29
Figura 10 - Curva temperatura-tempo do modelo de incêndio-padrão	30
Figura 11 - Transformações do concreto quanto ao aumento da temperatura	32
Figura 12 - Efeitos dos elementos estruturais em situação de incêndio	36
Figura 13 - Ação térmica e reação das estruturas	36
Figura 14 - Exemplos de compartimentação vertical e horizontal num edifício	38
Figura 15 - Distância entre edifícios	38
Figura 16 - Edificações geminadas	39
Figura 17 - Curva Temperatura-tempo	40
Figura 18 - Fatores das medidas de segurança contra incêndio	42
Figura 19 - Risco de ativação γ_{s2}	43
Figura 20 - Dimensões mínimas para vigas biapoiadas	44
Figura 21 - Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos	44
Figura 22 - Distância c_1 e c_{1l}	45
Figura 23 - Dimensões mínimas para lajes simplesmente apoiadas	47

Figura 24 - Dimensões mínimas para lajes contínuas	48
Figura 25 - Dimensões mínimas para lajes lisas	48
Figura 26 - Dimensões mínimas para pilares com uma face exposta ao fogo	50
Figura 27 - Planta pavimento tipo do edifício	52
Figura 28 - Planta de fôrmas do pavimento tipo	56
Figura 29 - Classificação da edificação quanto a ocupação.....	57
Figura 30 - Corte esquemático da edificação	58
Figura 31 - Determinação do TRRF.....	58
Figura 32 - Tipos de escadas de emergência devida à ocupação	59
Figura 33 - Modelo 3D do edifício.....	59
Figura 34 – Critérios para pilares - Efeitos de 2ª ordem	60
Figura 35 – Critérios para pilares - Minoradores e Majoradores	60
Figura 36 – Critérios para vigas - Minoradores e Majoradores	61
Figura 37 - Critérios para lajes - Minoradores e Majoradores	63
Figura 38 – Coeficientes para verificação para incêndio	64
Figura 39 - Pilares redimensionados – Pavimento 5	68
Figura 40 - Pilares redimensionados – Pavimento 6	71
Figura 41 - Representação gráfica dos pilares no Pavimento 6	71
Figura 42 - Pilares redimensionados – Cobertura	73
Figura 42 - Consumo de Aço (kgf)	75
Figura 43 - Volume de Concreto (m ³)	75
Figura 44 - Volume de Forma (m ³)	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos estruturais e seus respectivos cobrimentos	54
Tabela 2 - Parâmetros de projeto	55
Tabela 3- Pilares não atendidos na verificação de incêndio no Pavimento 5	67
Tabela 4 - Pilares redimensionados – Pavimento 5	67
Tabela 5- Pilares não atendidos na verificação de incêndio no Pavimento 6	70
Tabela 6 - Pilares redimensionados – Pavimento 6	70
Tabela 7- Pilares não atendidos na verificação de incêndio na Cobertura	72
Tabela 8 - Pilares redimensionados – Cobertura	72
Tabela 9 - Quantitativos pela ABNT NBR 6118:2014	73
Tabela 10 - Quantitativos pela ABNT NBR 15200:2012	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBMRS Corpo de Militar do Estado do Rio Grande do Sul

CBPMESP Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo

E.L.S Estado Limite de Serviço

E.L.U Estado Limite Último

IT Instrução Técnica

NBR Norma Brasileira

TRF Tempo de Resistência ao Fogo

TRRF Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

LISTA DE SÍMBOLOS

t_{eq} – tempo equivalente

q_{fi} – valor da carga do incêndio

γ_n – proteção contra incêndio

γ_{s2} – risco de ativação

w – influência da ventilação e da altura do ambiente

A_f – área de piso do compartimento

h – altura do piso / viga

H – altura do compartimento

A_v – área de ventilação vertical

A_h – área de ventilação horizontal

L – dimensão do vão entre pilares

$A_{s, calc}(x)$ – área mínima de armadura negativa localizada na distância “ x ”

$A_{s, calc}(0)$ – área de armadura negativa

l_{ef} – comprimento efetivo do vão da viga

c_1 – distância no fundo das vigas

$c_1|$ – valor tabelado da distância no fundo das vigas

S_d – valor de cálculo dos esforços solicitantes em situação normal

$A_{s, calc}$ – armadura calculada

$A_{s, ef}$ – armadura instalada

A_{si} – área da seção transversal da armadura

N_{sd} – força axial em situação de incêndio

N_{rd} – força normal resistente do pilar

A_c – área da seção transversal do pilar

b – menor dimensão da seção transversal do pilar

h – maior dimensão da seção transversal do pilar

A_s – área total das armaduras

e – excentricidade de primeira ordem da força normal em situação de incêndio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 DIRETRIZES DE PESQUISA.....	19
1.1.1 Tema de pesquisa.....	19
1.1.2 Questão de pesquisa.....	19
1.1.3 Objetivos.....	19
1.1.3.1 Objetivo principal.....	19
1.1.3.2 Objetivos específicos.....	19
1.1.4 Hipótese.....	20
1.1.5 Pressuposto.....	20
1.1.6 Delimitações.....	20
1.1.7 Delineamento	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1 INCÊNDIOS PELO MUNDO.....	22
2.1.1 Incêndios no Brasil.....	24
2.1.2 Leis e Normas de segurança contra incêndio	26
2.2 CARACTERIZAÇÃO DE UM INCÊNDIO.....	27
2.3 COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	31
2.3.1 Concreto	31
2.3.2 Aço	33
2.3.3 Água.....	34
2.3.4 Agregados	34

2.4 COMPORTAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	34
2.5 AÇÕES PARA SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS	37
2.5.1 Compartimentação e afastamento entre edificações.....	37
2.5.2 TRF e TRRF	39
2.5.3 Determinação do TRRF	40
2.5.3.1 Método Tabular	41
2.5.3.2 Método do Tempo Equivalente	41
2.6 VERIFICAÇÃO CONFORME A ABNT NBR 15200:2012	43
2.6.1 Vigas	43
2.6.1.1 Vigas biapoiadas	43
2.6.1.2 Vigas contínuas	44
2.6.2 Lajes	47
2.6.3 Pilares	49
3 METODOLOGIA	51
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	51
3.2 PROJETO ESTRUTURAL.....	53
3.2.1 Dimensionamento conforme ABNT NBR 6118:2014	53
3.2.2 Verificação para situação de incêndio	57
3.3 MODELAGEM ESTRUTURAL	59
3.4 PARAMETROS PARA SITUAÇÃO NORMAL	60
3.5 PARÂMETRO TRRF – VERIFICAÇÃO PARA INCÊNDIO	63

4 RESULTADOS	65
4.1 VERIFICAÇÃO DA ESTRUTURA PARA SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	67
4.1.1 Verificação de incêndio para lajes	65
4.1.2 Verificação de incêndio para vigas	66
4.1.3 Verificação de incêndio para pilares	66
4.1.3.1 Verificação de incêndio para pilares no Pavimento 5	67
4.1.3.2 Verificação de incêndio para pilares no Pavimento 6	69
4.1.3.3 Verificação de incêndio para pilares no Pavimento Cobertura	71
4.2 QUANTITATIVOS DE MATERIAIS	73
4.3 COMPARATIVO	74
4.3.1 Análise técnica de dimensionamento	74
4.3.2 Quantitativos de materiais	74
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	78
REFERÊNCIAS	79
APÊNDICE A – ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS PILARES	82
APÊNDICE B – PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PILARES	84
APÊNDICE C – PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE VIGAS	85

APÊNDICE D – RELATÓRIO DA VERIFICAÇÃO DE INCÊNDIO DO PAVIMENTO 5	84
--	-----------

ANEXO A – TABELA DOS TEMPOS REQUERIDOS DE RESISTÊNCIA AO FOGO	93
--	-----------

ANEXO B – CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES QUANTO À OCUPAÇÃO	95
--	-----------

ANEXO C – RELAÇÃO DO TRRF E ESPESSURA DA PAREDE	95
--	-----------

1 INTRODUÇÃO

O fogo surge de um processo químico de transformação, chamado de combustão, resultado da combinação de um combustível inflamável, comburente e uma fonte de calor (JUNIOR, 2022). O fogo sempre esteve presente na vida dos homens, mas em formas diferentes. Na era primitiva, o fogo queimava florestas e o homem não podia dominá-lo, aos poucos a habilidade de controlá-lo passou a ser fundamental para a espécie (CALDAS, 2008).

Muitas são as vantagens que o fogo pode trazer, mas ele também pode ser perigoso e causar muitos danos quando não for manuseado corretamente. A falta de medidas preventivas contra incêndio, podem resultar em perda de patrimônio ou até vidas humanas. Os materiais construtivos também são um fator muito importante, podendo impedir o início ou a propagação do fogo (CALDAS, 2008).

Na era da Revolução Industrial, construções de madeira eram comuns, mas frequentemente incendiavam devido à proximidade das máquinas, desencadeando preocupações sobre a segurança. O engenheiro Charles Bage propôs uma solução crucial: substituir a madeira pelo aço na construção. Embora o aço seja naturalmente mais resistente do que a madeira, ele perde sua resistência em altas temperaturas. Por isso, começaram a ser estudados métodos de proteção do aço contra o calor. Um avanço significativo ocorreu no século XIX, quando o concreto começou a ser utilizado como uma camada de proteção em torno do aço, fazendo com que os dois materiais trabalhassem juntos na resistência aos esforços (SILVA, 2012).

Desde a Era Cristã, a preocupação com incêndios nas edificações era grande justamente pelos danos que podem causar. Com a verticalização das cidades, a complexidade de projetos e materiais aumentou o risco ao fogo, e o perigo para a vida humana aumentou (CRISPIN, 2021).

A preocupação com a prevenção de incêndios deve ser pensada desde o projeto da estrutura, e por isso, foram criadas normas e legislações de proteção (ZABEU; JACINTHO, 2021). No Brasil e no mundo, tem surgido diversos estudos e modelos numéricos, analíticos e experimentais a fim de melhorar o conhecimento sobre o comportamento das estruturas em situação de incêndio (CALDAS, 2008).

Na concepção de um projeto estrutural, o engenheiro deve respeitar uma lei ou norma referente à situação frente a um incêndio. No Brasil, a ABNT publicou em

2000 a norma ABNT NBR 14432, que estabelece as exigências de resistência ao fogo. Para o dimensionamento tem-se as normas ABNT NBR 14323 voltadas ao aço e a ABNT NBR 15200 para estruturas de concreto, a última com atualização em 2012. Em São Paulo tais normas são citadas na instrução técnica nº8 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de São Paulo (CBPMESP), vários estados, incluindo o Rio Grande do Sul utilizam essa Instrução de São Paulo (CBPMESP, 2019).

Costa (2008) cita que uma estrutura quando dimensionada pela ABNT NBR 6118, deve garantir segurança estrutural em situação de incêndio, já a ABNT NBR 6118:2014 traz no item 1.4 que para ações em situação de incêndio, é necessário consultar a ABNT NBR 15200. Visando isso, este trabalho teve como objetivo calcular uma estrutura utilizando o *software* CAD/TQS V23, seguindo a ABNT NBR 6118:2014, e comparar os resultados com os obtidos pela ABNT NBR 15200:2012, com o intuito de comparar os valores e verificar se a primeira norma proporciona resultados semelhantes à segunda.

1.1 DIRETRIZES DE PESQUISA

1.1.1 Tema de pesquisa

Estruturas de concreto armado em situação de incêndio.

1.1.2 Questão de pesquisa

Quais as diferenças de dimensionamento e quantitativo de material dos elementos estruturais de uma edificação em temperatura ambiente seguindo a norma ABNT NBR 6118:2014 e quando projetada para situação de incêndio seguindo a ABNT NBR 15200:2012?

1.1.3 Objetivos

1.1.3.1 Objetivo principal

Comparar o dimensionamento e o quantitativo de materiais resultantes de um projeto estrutural em situação normal conforme a ABNT NBR 6118:2014 e quando verificado para incêndio conforme a ABNT NBR 15200:2012.

1.1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- a) verificar se o dimensionamento pela ABNT NBR 6118:2014 atende os mesmos requisitos da ABNT NBR 15200:2012, para estruturas de concreto armado em situação de incêndio, através do *software* CAD/TQS V23;
- b) verificar se o quantitativo de materiais é o mesmo quando verifica a estrutura pela norma ABNT NBR 15200:2012, para estruturas de concreto armado em situação de incêndio;
- c) fazer uma análise técnica dos resultados obtidos e propor soluções em caso de não atendimento.

1.1.4 Hipótese

O quantitativo e dimensionamento estrutural pode alterar significativamente, quando uma estrutura calculada pela ABNT NBR 6118 for verificada para incêndio conforme ABNT NBR 15200.

1.1.5 Pressuposto

O trabalho teve como pressuposto que o dimensionamento e quantitativos de materiais será o mesmo para quando uma estrutura for dimensionada pela ABNT NBR 6118 e verificada para incêndio pela ABNT NBR 15200.

1.1.6 Delimitações

O trabalho delimitou-se no dimensionamento e análise estrutural de uma residência multifamiliar de concreto armado em situação de incêndio, de acordo com os seguintes parâmetros:

- a) estudo de uma edificação de seis pavimentos, multifamiliar de uso residencial em concreto armado;
- b) o modelo estrutural foi dimensionado em temperatura ambiente seguindo a norma ABNT NBR 6118:2014, modelado no *software* CAD/TQS V23, após verificado a estrutura para situação de incêndio, dimensionando os elementos construtivos pelo método tabular e analítico conforme rege a ABNT NBR 15200:2012;
- c) análise das diferenças de dimensionamento, avaliando tecnicamente a estrutura em situação de incêndio e comparando quantitativos gerados por ambos os cálculos.

1.1.7 Delineamento

As etapas abaixo contemplaram o desenvolvimento do trabalho:

- a) definição das diretrizes de pesquisa;
- b) pesquisa de referencial bibliográfico de caracterização, normas, segurança e dimensionamento contra incêndio;
- c) metodologia e apresentação do projeto;
- d) dimensionamento conforme ABNT NBR 6118:2014;
- e) verificação no *software* CAD/TQS V23 e análise de segurança contra fogo conforme ABNT NBR 15200:2012;
- f) comparativo de materiais entre ambos os dimensionamentos;
- g) análise estrutural e resultados;
- h) considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Diferentes forças exercem pressões sobre estruturas, incluindo ação do vento, movimentação sísmica, variações de temperatura e carga gravitacional (decorrente do próprio peso e cargas acidentais). A ação térmica representa uma carga excepcional, quando em cenários de incêndio, a ação térmica torna-se especialmente crítica e deve ser considerada durante o processo de projeto estrutural (COSTA, 2008).

2.1 INCÊNDIOS PELO MUNDO

Na antiguidade, o homem não controlava o fogo, ele apenas controlava a ignição quando batia uma pedra em outra. O domínio mesmo veio com o avanço no conhecimento (SEITO et al., 2008). Historicamente, o primeiro grande incêndio foi registrado em Roma na Era Cristã, as chamas consumiram a cidade e o Imperador Nero colocou pessoas (chamado de vigiles), para passarem pelas ruas buscando novos indícios de fogo (SILVA, 2012).

Outros incêndios aconteceram nos anos seguintes, em 1896, nos Estados Unidos foi criado um livro com recomendações para evitar e combater incêndios, chamado de *Handbook* e servia de apoio aos inspetores da companhia de seguros. No início, o objetivo deste livro era a proteção do patrimônio, quando eventos trágicos começaram a matar pessoas, o foco do livro precisou ser alterado (SILVA, 2012).

Em 1903, um incêndio no Teatro *Iroquois* em Chicago resultou em uma enorme perda de vidas humanas. O proprietário do teatro tinha conhecimento das medidas de segurança contra incêndio, porém algumas delas não foram implementadas e outras falharam em impedir a propagação das chamas. No momento em que o fogo começou, havia uma plateia de 1600 pessoas, o desastre acabou vitimando 600 delas (SEITO et al., 2008).

Em 1908, ocorreu um incêndio na Casa de Ópera *Rhoads*, na Pensilvânia, que resultou na perda de 170 vidas humanas. O incidente destacou a importância de garantir a segurança das pessoas em edifícios públicos e de entretenimento. Nesse caso, as saídas estavam bloqueadas, deixando apenas uma saída estreita disponível, que não foi suficiente para que todos os ocupantes do prédio saíssem. A Figura 1 traz

a situação em que o prédio se encontrou após ser consumido pelas chamas. Então, as edições do *Handbook* foram revisadas. E Isso levou à criação do *Handbook Fire Protection* (Manual Contra Incêndios), que trazia a importância da segurança para a vida humana (SEITO et al., 2008).

Figura 1 - Casa de Ópera



Fonte: SEITO et al., 2008

Mesmo com os trágicos incêndios do passado, ainda ocorrem eventos graves e destrutivos. Um exemplo, foi em 2004, quando um supermercado no Paraguai, chamado *Ycua Bolaños*, pegou fogo, resultando em quase 400 vítimas fatais. O fogo atingiu temperatura de cerca de 1000°C , o que corresponde à temperatura de cremação (ALVAREZ; MONCADA, 2004). A Figura 2 traz o interior do supermercado, após ser destruído pelas chamas.

Figura 2 - Interior de *Ycua Bolaños* após incêndio



Fonte: Alvarez e Moncada, 2004.

2.1.1 Incêndios no Brasil

No Brasil, até o início dos anos 70, o conhecimento e estudos sobre incêndios eram poucos e o que existia era de responsabilidades do corpo de bombeiros. Somente após a ocorrência de várias tragédias é que houve uma mudança nesse pensamento (SEITO et al., 2008).

Em 1961, em Niterói, no Rio de Janeiro, o Circo *Gran Circo Norte-Americano*, ficou destruído pelas chamas, foram 503 mortes (estabelecido pelo prefeito da cidade), algumas morreram queimadas e outras foram pisoteadas, não existia saída de emergência, e as que tinham ficaram obstruídas com os corpos das pessoas feridas ou já mortas. A dúvida se foi curto-circuito ou crime não foi respondida e em proporção de vidas perdidas foi o maior desastre do Brasil até hoje (VENTURA, 2011).

São Paulo (SP) foi palco de dois grandes incêndios, o primeiro aconteceu em 1972 no edifício Andraus, vitimou 16 pessoas e deixou mais de 300 feridos. Em 1974, o segundo incêndio aconteceu no edifício Joelma, deixou 179 mortos e 20 feridos. Ambos os incêndios (Figura 3) foram muito parecidos, os prédios eram de mais de 20 andares e com estrutura de concreto armado (SILVA, 2012).

Figura 3 - Edifício Andraus e Joelma em chamas



Fonte: Globo, 2021.

Em 2013, o incêndio ocorrido na boate Kiss (Figura 4), na cidade de Santa Maria, no Rio Grande do Sul, foi um trágico evento que resultou na morte de 242 jovens. O início do incêndio foi o uso de um artefato pirotécnico dentro da boate que possuía espumas tóxicas no teto e a falha de um extintor de incêndio. Foram um conjunto de falhas que juntos causaram todas essas perdas, bem como, a

segurança do local, a falta de saídas de emergência, sinalização inadequada, bloqueio das janelas dos banheiros e pisoteamento de pessoas (WOBETO; MANGANELI, 2021).

Figura 4 - Interior da Boate Kiss após incêndio



Fonte: GZH, 2014.

Em 2018, na cidade de São Paulo, houve um incêndio que resultou no desabamento total do edifício Wilton Paes em poucos minutos, causando a morte de sete pessoas e grandes prejuízos às construções vizinhas. Ao contrário dos incêndios nos edifícios Joelma e Andraus, que suportam as chamas por bastante tempo sem colapsar, nesse edifício, a estrutura não resistiu à rápida propagação do fogo pelos pavimentos. A falta de compartimentação e um projeto de segurança não bem estruturado foram as principais causas da tragédia (PACHECO, 2019). A Figura 5 mostra o edifício completamente destruído após o incêndio.

Figura 5 - Desabamento total do edifício Wilton Paes de Almeida



Fonte: PACHECO, 2019.

2.1.2 Leis e Normas de segurança contra incêndio

De acordo com Silva (2012), após o incêndio no edifício Joelma, a prefeitura de São Paulo alterou o Decreto Municipal nº 10.878 que traz normas especiais para a segurança dos edifícios, essas devem ser seguidas desde a elaboração do projeto até a instalação de equipamentos. Também em 1974 é realizado o primeiro Simpósio de Engenharia em segurança contra incêndio e a ABNT publica a NB 208 – Saídas de Emergências em Edifícios Altos.

Após a tragédia na Boate Kiss, o Corpo de Bombeiros juntamente com o Estado do Rio Grande do Sul, elaboraram e revisaram Leis, Decreto estaduais e Regulamentações Técnicas do Estado e do país. Com isso, foram criados a Lei nº 13.425 de 2017 e o Decreto nº 51.803 de 2014, que estabelecem normas de segurança e proteção contra incêndio (SISBOM, 2023).

Ao longo do tempo, muitos estudos e regulamentações foram criadas para orientar o projeto de estruturas em situação de incêndio. A ABNT NBR 14432:2001 e a ABNT NBR 15200:2012 junto com várias instruções técnicas do corpo de bombeiros, apresentam conceitos e diretrizes para os cálculos (SILVA, 2012).

A ABNT NBR 14432:2001 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos das edificações - traz as exigências da resistência dos elementos das estruturas de concreto armado e de outros materiais em situação de incêndio. Tem como finalidade trazer as condições que precisam ser atendidas pelos elementos construtivos, mantendo a estanqueidade e isolamento em situação de incêndio (COSTA, ONO, SILVA, 2005).

Essa norma também traz a definição do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), mas pode ser complementada pelas Instruções dos Bombeiros de cada estado. O Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP) traz várias Instruções Técnicas baseadas na ABNT NBR 14432:2001, e vários estados utilizam essas Its (instruções técnicas), como também o estado do Rio Grande do Sul. Um exemplo disso é a Instrução Técnica nº 8.

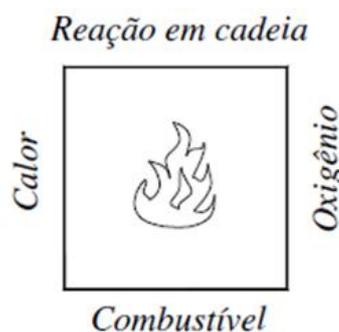
Já para o dimensionamento de estruturas de concreto em situação de incêndio, tem-se a ABNT NBR 15200:2012, essa traz métodos de dimensionamento para atender às exigências da ABNT NBR 14432:2000 (COSTA, ONO, SILVA, 2005). Para o dimensionamento, a ABNT NBR 15200:2012 demonstra os métodos tabular e analítico, além de outros exemplos gerais.

Antes de fazer a verificação para incêndio, uma estrutura necessita ser dimensionada para situação normal conforme a ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto – que estabelece o dimensionamento de estruturas de concreto em condições normais de temperatura. Essa Norma traz no item 1.4 que não abrange os estados-limites gerados por algumas ações, como sismos, impactos, explosões e fogo. Também que para ações em situação de incêndio é necessário consultar a ABNT NBR 15200. Então, para incêndio, tem-se que primeiro fazer a verificação para situação normal, e após, verificar para incêndio, conforme rege a ABNT NBR 15200:2012 (COSTA, ONO, SILVA, 2005).

2.2 CARACTERIZAÇÃO DE UM INCÊNDIO

O fogo é constituído de uma reação entre o combustível (esse podendo ser a madeira, gasolina, papel, etc.), o calor e o comburente (oxigênio), ocorre então a combustão (fogo) (CALDAS, 2008). Quando a combustão é mantida com parte do calor que está sendo produzido, é formado o quadrilátero do fogo, conforme mostra a Figura 6 (SEITO et al., 2008).

Figura 6 - Quadrilátero do fogo



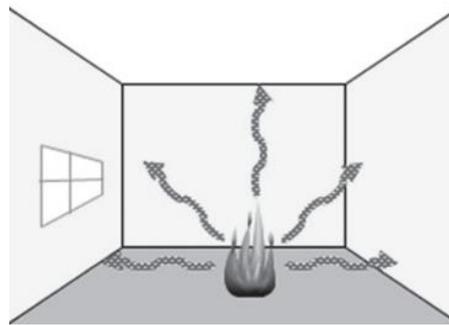
Fonte: CALDAS, 2008

Durante um incêndio, ocorre um aumento da temperatura dos elementos estruturais, provenientes da ação térmica resultante do fluxo de calor por radiação ou convecção (SILVA, 2012). Por resultado disso, a temperatura elevada pode comprometer a integridade da estrutura (COSTA; SILVA, 2002).

O fluxo de calor por radiação ocorre pela diferença de temperatura entre as chamas e a superfície dos elementos estruturais e de compartimentação, o calor é

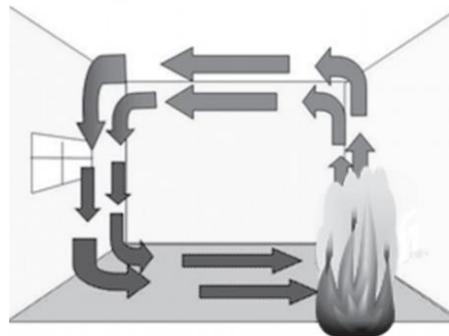
transmitido por meio de ondas eletromagnéticas (Figura 7) (SEITO et al., 2008). O calor propagado pela convecção é gerado pela movimentação do fluido misturado entre sólidos e fluidos, e ocorre devido a diferença de densidade dos gases em temperaturas diferentes, quando esses gases entram em contato, ocorre a transferência de calor de um para outro (Figura 8) (SILVA, 2012).

Figura 7 - Fluxo de calor por radiação



Fonte: SILVA, 2012.

Figura 8 - Fluxo de calor por convecção



Fonte: SILVA, 2012.

Um fator a ser analisado é a cor da fumaça gerada em um incêndio, essa indica o tipo de combustão: quando branca, indica a combustão mais completa, com boa quantidade de comburente (oxigênio) e rápido consumo de combustível. Quando tiver cor escura (preta), indica temperaturas altas, mas com pouco comburente. Quando amarela, roxa ou violeta, indica a presença de gases tóxicos (CALDAS, 2008).

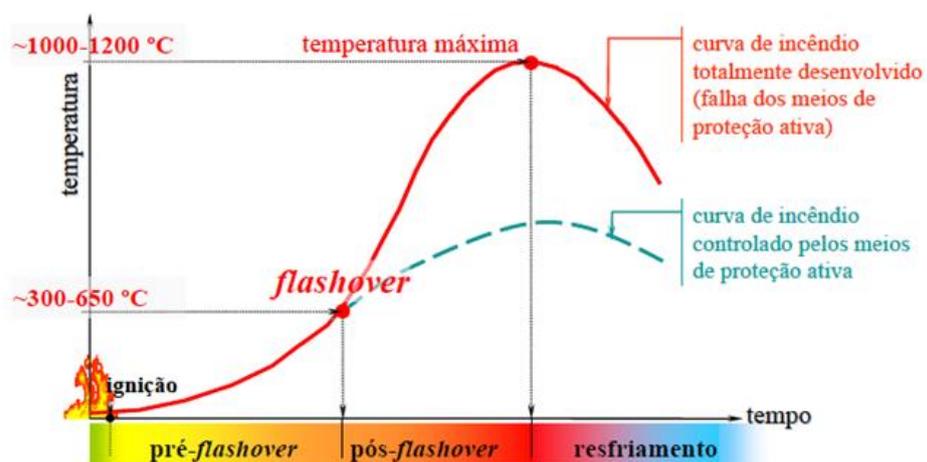
Existem três pontos relacionados à combustão de um material, o primeiro é o ponto de fulgor, que representa a menor temperatura na qual um combustível desprende vapores em quantidade suficiente para que a mistura de vapor e ar possa

ser inflamada por uma fonte de ignição. O segundo ponto, é o ponto de combustão, o qual é a temperatura do combustível mínima em que o combustível começa a liberar vapores para serem inflamados por uma fonte externa de calor e continuarem queimando mesmo com a retirada dessa fonte de calor. O último é o ponto de ignição que é a temperatura em que o combustível queima apenas pelo contato com o oxigênio do ar, sem uma chama direta (CRISPIN, 2021).

A proporção de um incêndio vai depender de vários fatores: carga de incêndio, geometria do ambiente, ventilação, propriedades dos materiais estruturais ou não, entre outros. Um incêndio real é caracterizado por etapas, que formam uma curva de temperatura-tempo, a primeira parte, sendo de aquecimento até atingir o pico máximo da temperatura e a segunda de resfriamento (COSTA, 2008).

Para melhor entendimento de um incêndio é formado uma curva do incêndio, nessa o primeiro ponto é conhecido como ignição, essa etapa marca o início da inflamação, onde a temperatura começa a crescer gradativamente, sem risco ao patrimônio (CRISPIN, 2021), o risco a vida humana se dá pelos gases tóxicos que o material em chamas pode exalar (SILVA, 2012). O próximo é o pré-*flashover* que é quando ocorre uma aceleração da temperatura, o incêndio ainda é localizado. Depois, tem-se o pós-*flashover* em que o material combustível total entra em combustão, a temperatura sobe até atingir a máxima (pico da curva). Por fim, a fase de resfriamento em que ocorre a redução gradativa da temperatura, sem material para continuar queimando (COSTA, 2008). A Figura 9 traz essas etapas do incêndio real.

Figura 9 - Etapas de um incêndio real



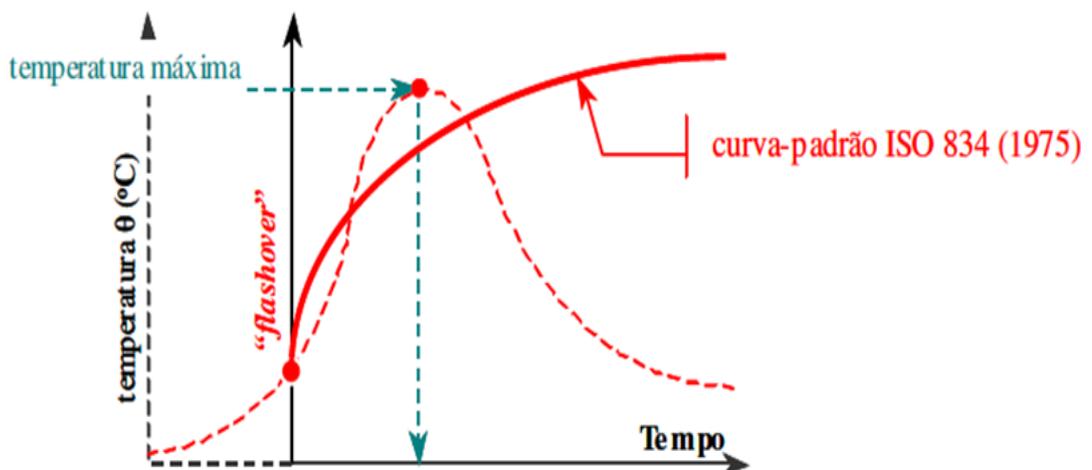
Fonte: COSTA, 2008

Existem meios de proteção que servem para evitar a propagação do incêndio, chamados de proteção ativa e passiva. Os meios de proteção ativa funcionam antes do *flashover*, e necessitam ser acionados no momento do incêndio. São exemplos deste, sistema de alarme, chuveiros automáticos (sprinklers), exaustão de fumaça, detector de fumaça, extintores, hidrantes, etc. Os meios de proteção passiva são eficazes após o *flashover*, precisam ser pensados ainda na etapa de projeto e não necessitam de acionamento para funcionarem, alguns exemplos são, compartimentação da estrutura, janelas e portas e rotas de fuga (COSTA, 2008).

Da curva de temperatura-tempo de um incêndio real, visto anteriormente foi idealizado um modelo de curva utilizado em análises experimentais, conforme a ISO 834 (1975) (Figura 10), chamado de incêndio-padrão. Esse modelo assume que a temperatura dos gases quentes no compartimento em chamas obedeça às curvas padronizadas (COSTA; SILVA, 2006).

Existem curvas padronizadas para diferentes tipos de materiais combustíveis, como celulósicos e hidrocarbonetos. Essas curvas têm apenas o ramo ascendente, representando um aumento de temperatura ao longo do tempo, sem levar em conta variações como carga de incêndio, ventilação ou propriedades térmicas dos materiais (COSTA; SILVA, 2006). Contudo não representa um incêndio real. O objetivo é apenas para controle laboratorial (SILVA, 2012).

Figura 10 - Curva temperatura-tempo do modelo de incêndio-padrão



Fonte: COSTA; SILVA, 2006

2.3 COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

2.3.1 Concreto

O concreto é uma mistura de cimento, agregado miúdo e graúdo e água, pode ser adicionado componentes ou não à mistura, e desenvolve as propriedades devido o endurecimento da pasta. O concreto não queima, é incombustível, possui baixa condutividade térmica e por isso demora para propagar o calor (CRISPIM, 2021).

Quando submetido a temperaturas mais altas, o concreto apresenta boa resistência, isso se dá, devido às características térmicas dos materiais, baixa condutividade térmica, baixo coeficiente de dilatação e incombustibilidade (ROCHA, 2008). Contudo com o aumento da temperatura, o concreto sofre diminuição da resistência à compressão (SILVA, 2012).

Quando o concreto está entre a temperatura de 4°C a 80°C, os produtos de hidratação da pasta de cimento Portland mantêm-se quimicamente estáveis, e a água é totalmente evaporada até os 100°C. A evaporação da água pode causar a formação de pequenas fissuras no concreto e fazem a desidratação dos silicatos de cálcio, que possuem um papel fundamental na resistência e durabilidade do material (COSTA; FIGUEIREDO; SILVA, 2002).

A pasta do concreto começa a apresentar instabilidade térmica a partir dos 100°C e até 200°C. Inicia a perda da resistência e mais fissuras podem aparecer até os 300°C (COSTA, 2002). Essa redução na resistência, pode levar a danos como a desagregação, que se manifesta por meio de fenômenos como esfrelamento da superfície e separação de pequenas camadas de materiais da superfície, conhecido como *spalling* (COSTA; FIGUEIREDO; SILVA, 2002).

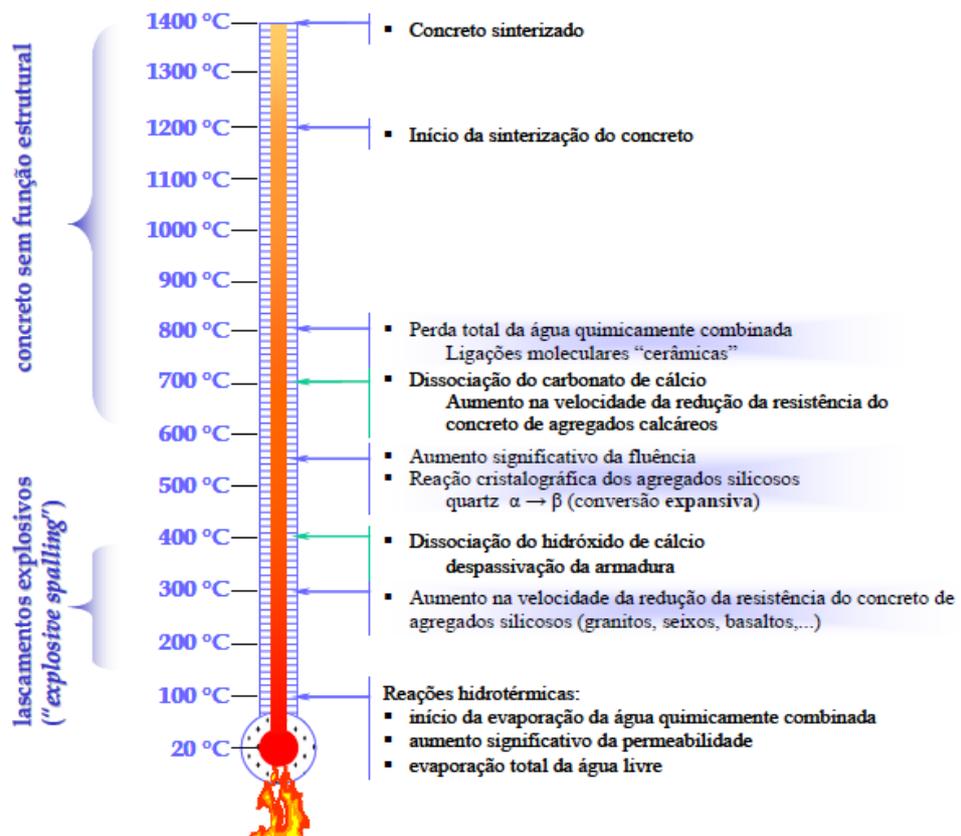
Entre as temperaturas de 400°C e 500°C, há uma dissociação do hidróxido de cálcio presente no concreto, o que leva à formação de uma camada protetora ao redor da armadura evitando sua corrosão. Mas acima dessa temperatura, essa camada não é mais formada e a armadura fica exposta. Quando um incêndio passa dos 500°C, a estrutura não pode mais ser recuperada.

Na marca dos 600°C, a pasta de cimento começa a sofrer uma série de reações químicas e a dessecação dos poros, o que leva a perda da sua função estrutural. Nessa temperatura, há um aumento da fluência, quando as deformações

plásticas começam a atuar no concreto (COSTA et al., 2002).

Quando a temperatura chega perto dos 800°C a resistência é 20% da inicial (COSTA; SILVA, 2002), ocorre a perda total da água, a pasta fica completamente seca. Em 1200°C ocorre o início da sinterização do concreto, é onde ele começa a se fundir, começa a derreter, e as chamas já são de grandes proporções, não se tem mais nenhuma resistência. Difícilmente um incêndio passa desta temperatura. Em 1400°C, o concreto está totalmente sinterizado (COSTA et al., 2002). A Figura 11 mostra as transformações que o concreto sofre ao longo do aumento da temperatura.

Figura 11 - Transformações do concreto quanto ao aumento da temperatura



Fonte: Costa, 2008

Também, o concreto armado é conhecido por apresentar alta capacidade de resistência à compressão e boa aderência entre aço e concreto. Mas quando é colocado em altas temperaturas, ocorre a separação entre o aço e o concreto, tornando-se materiais distintos (COSTA, 2008).

Até a temperatura de 100°C, a resistência a aderência só aumenta. De 100°C

a 400°C a aderência passa a diminuir. Acima disso, a perda da aderência é maior do que a redução da resistência à compressão do concreto. A partir dos 600°C, se perde totalmente a aderência entre aço e concreto (COSTA; FIGUEIREDO; SILVA, 2002).

Quanto à cor do concreto, à medida que ocorre o aumento da temperatura, a cor do concreto sofre alterações, então é possível estimar a temperatura aproximada que o incêndio chegou. Para avaliar isso, é necessário fazer a lavagem da superfície do concreto para remoção da fuligem (ANDRADE, 2019).

Entre 230°C a 300°C a coloração começa se tornar rosa. A cor vai escurecendo e ao chegar aos 600°C apresenta um tom de vermelho-marrom, após vai se tornando cinza e depois vai para um amarelo-claro quando chega perto dos 900°C (COSTA; FIGUEIREDO; SILVA, 2002).

2.3.2 Aço

Quando a temperatura do aço atinge 1550°C, ocorre a fusão do aço. Contudo é incomum um incêndio alcançar temperaturas tão elevadas, sendo o máximo registrado de 1200°C, momento em que o aço perde completamente sua capacidade de suportar carga (COSTA; FIGUEIREDO; SILVA, 2002). A resistência ao escoamento do aço da armadura passiva decresce com o aumento da temperatura (SILVA, 2012).

Quando comparado com o concreto, o aço é um bom condutor térmico, sendo 4000 vezes mais, absorvendo o calor mais rápido. Por isso, a proteção adequada da armadura é fundamental, quanto maior o cobrimento, maior o tempo necessário para aquecimento da mesma, causando dilatações maiores que as do concreto. Isso resulta na flambagem das barras podendo gerar danos e fissuras na interface (COSTA; SILVA, 2002).

Quando colocado em altas temperaturas, o aço vai perdendo sua resistência até o ponto em que a estrutura não pode mais ser recuperada (SILVA, 2012).

2.3.3 Água

A água é responsável pela hidratação do concreto, pois atua nas propriedades do concreto fresco e endurecido. Na pasta de cimento Portland, a água pode existir de várias formas, água capilar (aquela que está nos vazios) e quando combinada quimicamente com os elementos do concreto (ROCHA, 2008).

Quando submetida a temperaturas elevadas, entre os 65°C a 80°C a água absorvida é evaporada, entre os 80°C a 100°C a água livre é evaporada e a temperatura do concreto não sobe até que essas sejam eliminadas, com isso, pode-se causar danos devido a retração do concreto (ROCHA, 2008). Também, a temperatura provoca na água a dilatação térmica, gerando o processo de lascamento do concreto (*spalling*) (KALIFA, 2000). Quando há excesso de água na pasta, aumenta a pressão dos poros de concreto durante a evaporação e liberação do ar incorporado, com isso, o aparecimento de trincas se torna mais comum (COSTA et al., 2002).

2.3.4 Agregados

As propriedades dos agregados em situação de incêndio vão depender do tipo de agregado a ser usado: basalto, granito, calcário ou quartzito (COSTA; FIGUEIREDO; SILVA, 2002), como por exemplo a condutividade térmica, fusão e expansão térmica (ROCHA, 2008).

Quando o concreto é submetido a altas temperaturas, sofre expansão dos agregados, provocando "*pop-outs*" (pipocamentos) e "*spalling*" (lascamentos). Esses efeitos geram tensões térmicas no agregado graúdo, fazendo surgir microfissuras e causando enfraquecimento do material (COSTA et al., 2002).

2.4 COMPORTAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Para garantir a segurança contra incêndios em edifícios, é fundamental adotar um conjunto de medidas que assegurem a integridade estrutural e a proteção dos ocupantes. Assim, tem-se o sistema global de segurança contra incêndios, com o objetivo de proporcionar uma alta probabilidade de sobrevivência a todos os

ocupantes em caso de incêndio (SEITO et. al.,2008).

Durante um incêndio, existe a possibilidade de ocorrer o colapso estrutural de um edifício, o qual pode ser classificado como colapso local ou global, devido ao aumento das cargas excepcionais sobre a estrutura. O colapso local refere-se à perda de elementos estruturais isolados (TQS, 2011). Já, o colapso global (ou progressivo), é caracterizado pela completa ruína da estrutura, frequentemente desencadeada pela falha de um elemento primário, como um pilar (FELIPE, 2017).

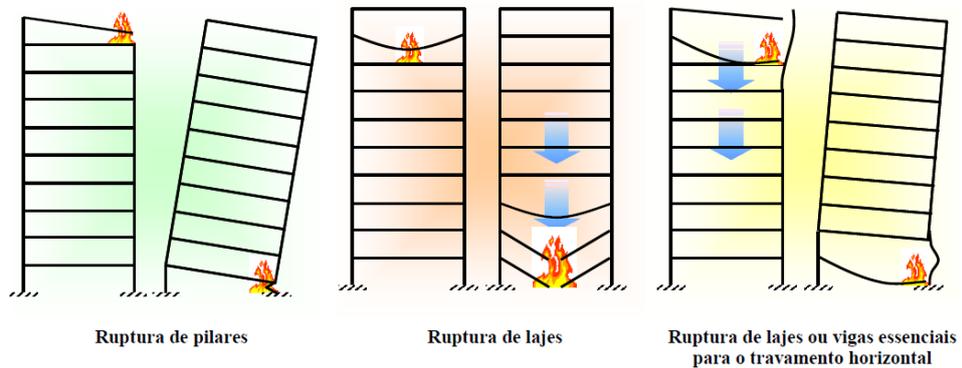
A concepção convencional de uma estrutura é realizada por meio de pórticos, constituídos por vigas e pilares. A função principal desses pórticos é receber e suportar tanto as cargas verticais quanto as horizontais, e distribuir para os elementos estruturais, como vigas, lajes e pilares. As lajes desempenham um papel crucial ao absorver a carga aplicada sobre a estrutura e transmiti-la de forma para as vigas. Por sua vez, as vigas são responsáveis por conduzir essa carga até os pilares, e esses direcionam para a fundação, assim assegurando a estabilidade da estrutura (CEZARIO, 2019).

Diante de um cenário de incêndio, a falha estrutural de um pilar é um fator crucial, dado que este elemento é o mais carregado da estrutura. Durante o incêndio, os pilares internos podem estar sujeitos à flexão composta devido às cargas resultantes da ação térmica. Além disso, a dilatação térmica proveniente do aquecimento dos elementos estruturais pode gerar maiores esforços nos pilares, principalmente na direção de menor rigidez (COSTA, 2008).

É possível fazer uma análise do percurso das cargas ao longo dos elementos estruturais, levando em consideração tanto as cargas permanentes quanto as acidentais. Assim, nos pavimentos próximos ao térreo, as cargas suportadas pelos pilares são maiores.

Então, lajes e vigas desempenham papéis de estabilidade. Já, quando ocorre colapso nos pilares, tem-se uma preocupação significativa da segurança estrutural, visto que esses elementos recebem as cargas dos outros elementos (CEZARIO, 2019). A Figura 12 mostra os efeitos dos elementos estruturais quando colapsados pelo incêndio.

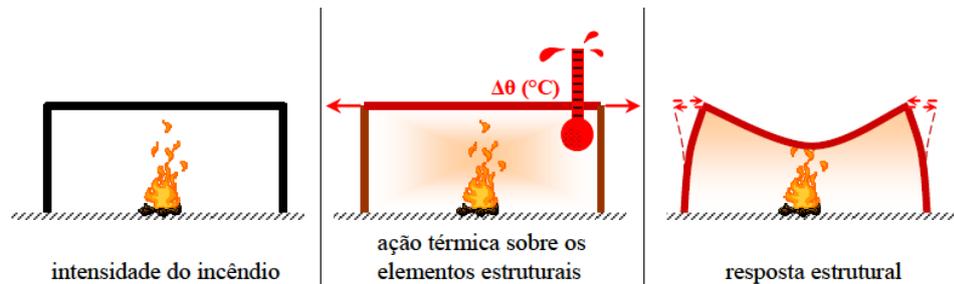
Figura 12 - Efeitos dos elementos estruturais em situação de incêndio



Fonte: COSTA, 2008

Quando se trata de projeto estrutural, deve-se levar em consideração a rigidez das ligações entre os elementos, como a ligação laje-pilar ou viga-pilar, para garantir a estabilidade da estrutura. Quando em situações de incêndio, a rigidez normalmente é mantida graças à presença de armaduras nas ligações. Além disso, é importante considerar os esforços adicionais que os elementos estruturais hiperestáticos podem sofrer devido às deformações térmicas durante um incêndio (Figura 13) (COSTA, 2008).

Figura 13 - Ação térmica e reação das estruturas



Fonte: COSTA, 2008

O concreto armado só existe pela aderência do aço e concreto (COSTA, 2008). Em um incêndio, quanto mais elevada a temperatura, maior a perda de aderência entre aço e concreto em função do aquecimento, isso pode gerar fissuras levando ao colapso do elemento estrutural (CÁNOVAS, 1988).

2.5 AÇÕES PARA SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS

2.5.1 Compartimentação e afastamento entre edificações

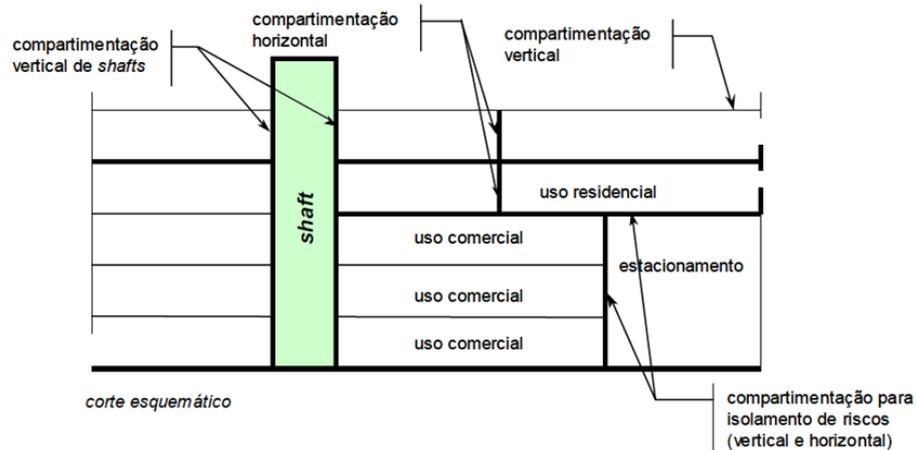
Um compartimento é uma região definida por elementos como paredes e lajes, que delimitam um espaço. São utilizados como barreiras que evitam a propagação do incêndio, mantendo o isolamento e estanqueidade da estrutura (COSTA; ONO; SILVA, 2005) garantindo a evacuação segura dos ocupantes (IT CBPMESP N°9, 2011).

O isolamento de um compartimento refere-se à capacidade do elemento estrutural em evitar que a temperatura na face não exposta ao fogo ultrapasse a temperatura limite de 140°C. A estanqueidade é a habilidade da estrutura em evitar a propagação do fogo, através da prevenção da penetração de chamas e calor em outras áreas adjacentes, mesmo através de fissuras ou fraturas (COSTA; ONO; SILVA, 2005).

Existem dois tipos de compartimentação: horizontal e vertical. Compartimentação horizontal são elementos que impedem as chamas de se propagarem por meios das fissuras, exemplos disso são lajes corta-fogo e entre pisos. Para reduzir esse risco é recomendado o uso de lajes mais espessas ou a aplicação de revestimentos térmicos adequados (COSTA, 2002).

A compartimentação vertical é uma técnica que consiste na divisão vertical de um edifício separados por elementos físicos, como paredes, portas corta-fogo, enclausuramento de dutos (*shafts*) e escadas, e afastamento das aberturas. O objetivo é limitar a propagação do fogo, da fumaça e do calor entre as diferentes zonas (COSTA; ONO; SILVA, 2005). A Figura 14 traz exemplos de compartimentação vertical e horizontal.

Figura 14 - Exemplos de compartimentação vertical e horizontal num edifício

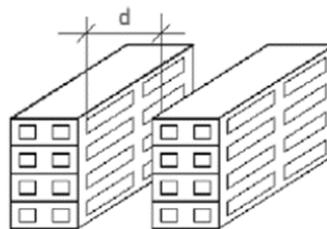


Fonte: COSTA; ONO; SILVA, 2005

De acordo com a Instrução Técnica nº 09 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, a compartimentação vertical e horizontal em edifícios é fundamental, mas não substitui outras medidas de segurança estrutural. Para as áreas máximas de compartimentação devem ser determinadas de acordo com o uso da edificação (SILVA, 2012).

Enquanto que a compartimentação de um edifício se refere à separação de ambientes dentro do próprio prédio, a compartimentação entre edifícios é a separação entre prédios vizinhos para evitar a propagação de incêndios (COSTA; ONO; SILVA, 2005). Na compartimentação entre edifícios, deve-se manter uma distância segura entre eles (Figura 15) (SILVA, 2012), pois as chamas podem se alastrar para fora e levadas para vizinha por convecção, fagulhas levadas pelo vento ou radiação (SEITO et al., 2008).

Figura 15 - Distância entre edifícios

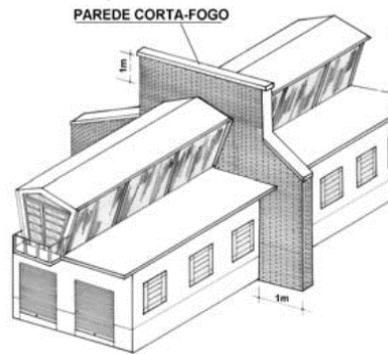


Fonte: SEITO et al., 2008

Quando em edificações geminadas, a parede corta-fogo desempenha um papel fundamental na compartimentação entre os edifícios, sendo responsável por

impedir a propagação de chamas e fumaça de um prédio para o outro (Figura 16) (SILVA, 2012). Para isso, a parede deve apresentar alta resistência mecânica, isolamento térmico, e estanqueidade (SEITO et al., 2008).

Figura 16 - Edificações geminadas



Fonte: SEITO et al., 2008

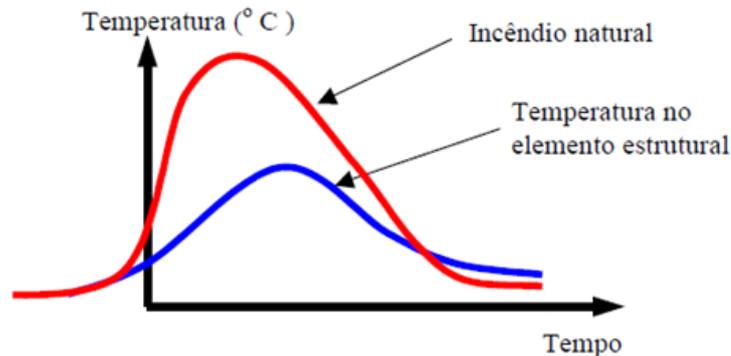
2.5.2 TRF e TRRF

O TRF (Tempo de Resistência ao Fogo) é o tempo máximo que o elemento construtivo pode manter a sua função resistindo ao fogo, mantendo sua integridade estrutural. O TRF é determinado por meio do cálculo dos esforços atuantes, que levam em consideração as combinações de ações excepcionais para a situação de incêndio, e dos esforços resistentes, que levam em consideração os coeficientes de ponderação próprios da situação excepcional e os fatores de redução de resistência em função da temperatura elevada (COSTA, 2008).

O TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo) é o primeiro parâmetro a ser definido em um projeto estrutural em situação de incêndio. A ABNT NBR 14432:2001 estabelece que o TRRF representa o tempo mínimo que a estrutura deve resistir em um incêndio-padrão (COSTA, 2008).

Porém, a curva-padrão de incêndio (vista anteriormente) não apresenta o valor máximo da temperatura atingida dos elementos estruturais em um incêndio real. Para resolver essa inconsistência, é possível admitir um "tempo" em que ocorre a temperatura máxima, esse é o chamado de TRRF, o qual é definido por Normas e Códigos, a fim de garantir o dimensionamento adequado das estruturas em situação de incêndio (SEITO et al., 2008). A Figura 17 mostra a relação entre a curva do incêndio natural e a temperatura do elemento estrutural.

Figura 17 - Curva Temperatura-tempo



Fonte: COSTA, 2008

Para dimensionar o TRRF é utilizado o método previsto na norma ABNT NBR 15200:2012, que estabelece as diretrizes para o projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Nessa, os elementos estruturais são dimensionados à temperatura ambiente e somente depois são verificados quanto à situação de incêndio (ABECE, 2021).

Ao realizar o cálculo de TRRF, fatores como a altura e o tipo da edificação são levados em consideração, mas os materiais de compartimentação e a ventilação não são. É importante destacar que o TRRF não corresponde à duração do incêndio ou ao tempo de chegada do corpo de bombeiros (CALDAS, 2008). Esse tempo é o que deve ser suficiente para possibilitar a fuga dos ocupantes em segurança (CRISPIM, 2021).

No processo de dimensionamento de estruturas descrito por Costa (2008), o primeiro passo é determinar o Tempo de Resistência ao Fogo Requerido (TRRF) de acordo com a norma ABNT NBR 14432:2001. Na sequência, os elementos estruturais são dimensionados de acordo com as normas ABNT NBR 6118:2014 e verificadas para incêndio conforme ABNT NBR 15200:2012. Caso a estrutura não atenda a esses requisitos, deve ser revisto o aumento da seção de concreto, área de aço ou a resistência dos materiais.

2.5.3 Determinação do TRRF

O TRRF pode ser determinado utilizando-se o método tabular ou o método do tempo equivalente. Este último é um procedimento que permite reduzir o valor do TRRF dados pelas normas (SILVA, 2012).

2.5.3.1 Método Tabular

Para determinar o TRRF de elementos construtivos em situação de incêndio, a ABNT NBR 14432:2001 disponibiliza duas tabelas: uma relacionada ao tipo de ocupação da edificação e seu TRRF correspondente e outra que organiza as edificações em classes, em função da ocupação (COSTA, 2008).

Mas cada estado pode adotar suas próprias tabelas, como no Estado de São Paulo, que traz nas suas Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP, 2019). Além disso, vários estados, inclusive o Rio Grande do Sul, se ocupam dessas mesmas Instruções, conforme site do Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul (CBMRS).

Incluindo a Instrução Técnica nº 8 da CBPMESP, que apresenta as tabelas com exigência a serem cumpridas nas edificações. No site do Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul (CBMRS) traz como tabela dos tempos requeridos de resistência ao fogo o anexo A da CBPMESP, relacionado ao anexo B e ao decreto nº 51.803 de 2014 do CBMRS que trazem a classificação detalhada quanto à ocupação das edificações. No anexo C desta Instrução, tem-se a relação do tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) e a espessura da parede, conforme características.

As fachadas de compartimentação devem atender no mínimo o mesmo TRRF da edificação. E as fachadas das edificações vizinhas devem estar a uma distância segura para que o fogo não se alastre para a vizinhança.

A estrutura das escadas de emergência não necessita de verificação da resistência ao fogo (SILVA, 2012), visto que essas precisam atender conforme cita a IT nº 11 do CBMRS.

2.5.3.2 Método do Tempo Equivalente

A ABNT NBR 14432:2001 traz o dimensionamento pelo método equivalente, porém, como pelo método tabular, nesse também cada estado pode se basear na norma e criar suas próprias instruções de acordo com o Corpo de Bombeiros. Conforme o Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul, no estado, esse dimensionamento se dá pela IT nº 8 da CBPMESP, 2019 (Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo).

A instrução técnica nº 8 rege que o tempo equivalente a ser determinado deve seguir regras e que essa redução deve obedecer ao item 5.3 desta instrução. Ainda, a redução de TRRF está limitada a 30 min dos valores de TRRF. O dimensionamento seguindo a Instrução Técnica nº 8 se dá pela Equação 1:

$$t_{eq}=0,07 \times q_{fi} \times \gamma_n \times W \quad (1)$$

Onde:

t_{eq} = tempo equivalente (minutos);

q_{fi} = valor da carga do incêndio específica do compartimento (MJ/m²), conforme estabelecido pela CBMRS - Decreto nº 51.803 de 2014;

γ_n = resultado de $\gamma_{n1} \times \gamma_{n2} \times \gamma_{n3}$ (fatores admissionais), levam em conta a presença ou não de proteção contra incêndio na edificação, conforme Figura 18;

γ_s = resultado de $\gamma_{s1} \times \gamma_{s2}$, dependem do risco de incêndio, determinados respectivamente pela Equação 2 e pela Figura 19;

W = Influência da ventilação e da altura do ambiente, conforme Equação 3.

$$\gamma_{s1} = 1 + \frac{[Ah(h+3)]}{10^5} \quad \text{onde } \gamma_{s1} \text{ deve ser maior que 1 e menor que 3} \quad (2)$$

$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \left[0,62 + \left(90 \frac{0,4 \left(\frac{A_v}{A_f}\right)^4}{1} + 12,5 \left(1 + 10 \left(\frac{A_v}{A_f}\right) \left(\frac{A_h}{A_f}\right)\right)\right) \right] \geq 0,5 \quad (3)$$

Onde:

A_f = área de piso do compartimento (m²);

h = altura do piso (m);

H = altura do compartimento (m);

A_v = área de ventilação vertical (m²);

A_h = área de ventilação horizontal (m²).

Figura 18 - Fatores das medidas de segurança contra incêndio

Valores de $\gamma_{n1} \times \gamma_{n2} \times \gamma_{n3}$		
Existência de chuveiros automáticos (γ_{n1})	Brigada contra incêndio (γ_{n2})	Existência de detecção automática (γ_{n3})
0,60	0,90	0,90

Fonte: CBPMESP, 2019 - Adaptação autora, 2023

Figura 19 - Risco de ativação γ_{s2}

Valores de γ_{s2}	Risco de ativação do incêndio	Exemplos de ocupação
0,85	Pequena	Escola, galeria de arte, parque aquático, igreja, museu
1,0	Normal	Biblioteca, cinema, correio, consultório médico, escritório, farmácia, frigorífico, hotel, livraria, hospital, laboratório fotográfico, indústria de papel, oficina elétrica ou mecânica, residência, restaurante, teatro, depósitos de: produtos farmacêuticos, bebidas alcoólicas, supermercado, venda de acessórios de automóveis, depósitos em geral
1,2	Média	Montagem de automóveis, hangar, indústria mecânica
1,5	Alta	Laboratório químico, oficina de pintura de automóveis

Fonte: CBPMESP, 2019 - Adaptação autora, 2023

2.6 VERIFICAÇÃO CONFORME A ABNT NBR 15200:2012

A verificação da estrutura em situação de incêndio, pode ser feita por meio de três métodos: tabular, simplificado e geral, e a escolha é do projetista, a ABNT NBR 15200:2012 traz esses dimensionamentos. Um fator importante a ser analisado é o cobrimento, quanto mais distante a armadura estiver da face exposta ao calor menor será a sua temperatura, então, quanto maior o cobrimento, maior a proteção da armadura (PIGNATTA, 2007).

O *software* CAD/TQS V23 é utilizado para o dimensionamento de estruturas de concreto, podendo ser feita a verificação da capacidade de resistência de elementos estruturais em situação de incêndio, seguindo as normas técnicas da ABNT NBR 15200. Para verificação, o programa utiliza o método tabular para vigas e lajes. Para os pilares, o programa permite que o usuário decida entre o método analítico ou tabular. O *software* dimensiona a estrutura seguindo a ABNT NBR 6118:2014, depois verifica se atende aos requisitos contra fogo que podem ser estabelecidos por normas técnicas, como a ABNT NBR 15200:2012 (TQS, 2009).

2.6.1 Vigas

2.6.1.1 Vigas biapoiadas

Como a seção transversal da barra de aço quando comparada ao do concreto é pequena, considera-se que o centro de gravidade da barra de aço (c_g) terá a mesma temperatura que a do concreto que está ao redor da barra. A temperatura é

afetada dependendo da dimensão da viga e a distância do centro da barra de aço até a face exposta ao fogo (SILVA, 2012).

A Figura 20 traz a largura mínima da viga (b_{\min}), a distância mínima entre o centro da armadura longitudinal (c_g) e a face de concreto exposta ao fogo (c_1).

Figura 20 - Dimensões mínimas para vigas biapoiadas

TRRF min	Combinações de b_{\min}/c_1 mm/mm				b_{\min} mm
	1	2	3	4	
30	80/25	120/20	160/15	190/15	80
60	120/40	160/35	190/30	300/25	100
90	140/60	190/45	300/40	400/35	100
120	190/68	240/60	300/55	500/50	120
180	240/80	300/70	400/65	600/60	140

Fonte: ABNT NBR 15200 - Adaptação autora, 2023

2.6.1.2 Vigas contínuas

Quando em temperatura ambiente, os momentos fletores são redistribuídos dos apoios para o meio do vão (do negativo para o positivo), quando em temperatura de incêndio, o valor age no inferior da viga, e por isso o momento positivo está em pior situação e o negativo está mais seguro, por isso, a distribuição dos momentos é do positivo para o negativo. Seguindo essa premissa, a Figura 21 mostra exatamente isso (considerando aquecimento em 3 lados da viga) (SILVA, 2012):

Figura 21 - Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos

TRRF min	Combinações de b_{\min}/c_1 mm/mm				b_{\min} mm
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	-	-	80
60	120/25	190/12	-	-	100
90	140/37	250/25	-	-	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

Fonte: ABNT NBR 15200 - Adaptação autora, 2023

Quando vigas contínuas com TRRF ≥ 90 min a área de aço negativa entre o centro do apoio e a distância de $0,3 l_{ef}$ (comprimento efetivo do vão da viga calculado conforme a ABNT NBR 6118), não deve ser menor que a Equação 4:

$$A_{s, calc}(x) = A_{s, calc}(0) \left(1 - \frac{2,5x}{l_{ef}}\right) \quad (4)$$

Onde:

X = distância entre o centro do apoio e a seção considerada;

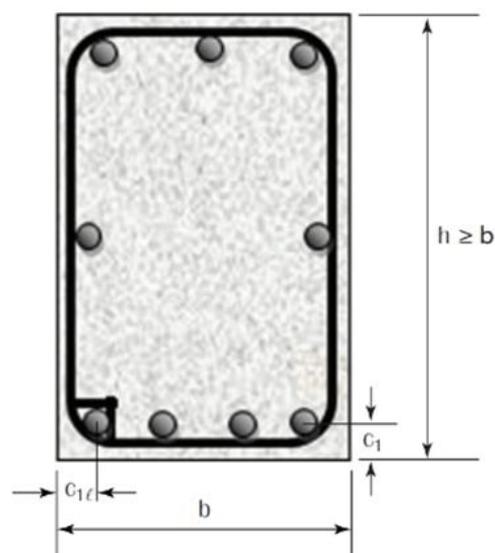
$A_{s, calc}(x)$ = mínima área de armadura negativa localizada na distância “ x ”;

$A_{s, calc}(0)$ = área de armadura negativa calculada conforme ABNT NBR 6118.

Para as armaduras negativas, quando a consideração for feita para 4 faces expostas ao fogo, a tabela usada ainda é a mesma que para 3 lados, contudo, só é possível isso se a altura da viga não for inferior a b_{\min} e a área da seção transversal não for menor que $2xb_{\min}^2$. Quando respeitado isso, não tem necessidade de limitar o c_1 para armaduras negativas (SILVA, 2012).

Para armadura de canto, quando houver apenas uma camada de armadura e largura não acima de b_{\min} , a norma traz que a distância c_1 no fundo das vigas deve ser 10 mm maior que c_{1l} dado pelas tabelas (SILVA, 2012). A Figura 22 mostra a distância entre c_1 e c_{1l} .

Figura 22 - Distância c_1 e c_{1l}



Fonte: SILVA, 2012

Para evitar diferentes tipos de cobrimento na viga, a ABNT NBR 15200:2012, permite usar $c_1=c_{1i}$ quando, para concreto armado, as barras de canto terem um diâmetro superior ao calculado, conforme ABNT NBR 7480. É possível reduzir o valor de c_1 , seguindo as Equações 5 e 6:

$$S_{d,fi} / S_d = 0,7 \quad (5)$$

$$A_{s,calc} / A_{s,ef} = 1 \quad (6)$$

Sendo:

$S_{d,fi}$ = Valor de cálculo dos esforços solicitantes em situação de incêndio;

S_d = Valor de cálculo dos esforços solicitantes em situação normal;

$A_{s,calc}$ = Valor da armadura calculada;

$A_{s,ef}$ = Valor da armadura instalada.

Se esses valores, forem menores, c_1 pode ser reduzido conforme a Equação 7:

$$c_1 = 24,5 - 35 \left(\frac{S_{d,fi}}{S_d} \right) \left(\frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}} \right) \quad (7)$$

Onde, a equação é válida para os termos dados nas Equações 8 e 9:

$$0,7 \leq \left(\frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}} \right) \leq 1,0 \quad (8)$$

$$0,4 \leq \left(\frac{S_{d,fi}}{S_d} \right) \leq 0,7 \quad (9)$$

Sendo que, se $A_{s,calc}/A_{s,ef}$ for menor que 0,7, deve adotar o valor de 0,7 e se $S_{d,fi}/S_d$ for menor que 0,4, adota-se 0,4.

Quando a viga possuir várias camadas de armadura, a distância média a face do concreto (c_{1m}) deve respeitar os valores de $c_{1mín}$ tabelados. O valor de c_{1m} é obtido no menor resultado entres as Equações 10 e 11 (SILVA, 2012):

$$c_{1m} < (c_{1vi} * A_{si}) / A_{si} \quad \text{ou,} \quad (10)$$

$$c_{1m} < (c_{1hi} \cdot A_{si}) / A_{si} \quad (11)$$

Onde:

c_{1v1} = Distância da barra ao fundo da viga;

c_{1h1} = Distância da barra a face lateral mais próxima;

A_{si} = Área da seção transversal da armadura.

Quando o revestimento for refratário, a ABNT NBR 15200:2012, traz que é possível considerar o revestimento, quando esse seguir os parâmetros conforme item 8.2 desta mesma Norma.

2.6.2 Lajes

Quando considerado para o cálculo lajes de compartimentação, o valor de h das tabelas abaixo deve ser respeitado, garantindo a função corta-fogo. Caso contrário, a laje pode ser dimensionada conforme ABNT NBR 6118:2014, para temperatura ambiente. Para o dimensionamento das lajes utiliza-se conforme traz a Figura 23 (SILVA, 2012).

Figura 23 - Dimensões mínimas para lajes simplesmente apoiadas

TRRF min	h ^a mm	c1 mm		
		Laje armada em duas direções ^b		Laje armada em uma direção ly/lx>2
		ly/lx≤1,5	1,5<ly/lx≤2	
30	60	10	10	10
60	80	10	15	20
90	100	15	20	30
120	120	20	25	40
180	150	30	40	55

a- Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo.
b- Lajes apoiadas nas quatro bordas; caso contrário, a laje deve ser considerada armada em uma direção.
c- Os valores de c1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Fonte: ABNT NBR 15200 - Adaptação autora, 2023

Referente a coluna $l_y/l_x > 2$, pode-se considerar as mesmas observações da redução de c_1 para vigas. A Figura 24 traz as dimensões mínimas para lajes contínuas.

Figura 24 - Dimensões mínimas para lajes contínuas

TRRF min	h min	c1 min
30	150	10
60	180	15
90	200	25
120	200	35
180	200	45

a- Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo.
b- Válido para lajes armadas em uma ou duas direções.
c- Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Fonte: ABNT NBR 15200 - Adaptação autora, 2023

A redistribuição dos momentos deve ser feita igual como das vigas contínuas. No caso disso não acontecer, as lajes contínuas são consideradas simplesmente apoiadas, as lajes lisas possuem c_1 igual a laje simplesmente apoiada armada em apenas 1 direção, contudo h deve seguir a Figura 25 (SILVA, 2012).

Figura 25 - Dimensões mínimas para lajes lisas

TRRF min	h min	c1 min
30	150	10
60	180	15
90	200	25
120	200	35
180	200	45

a- Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Fonte: ABNT NBR 15200 - Adaptação autora, 2023

2.6.3 Pilares

A norma ABNT NBR 15200:2012 apresenta duas formas de dimensionamento para situações de incêndio: o Método Tabular e o Método Analítico. Como é possível que o usuário decida qual método utilizar (TQS, 2009) será apresentado apenas o método analítico de verificação contra incêndio. Esse método visa garantir que o tempo de resistência ao fogo do pilar seja maior que o valor determinado pelo TRRF, conforme Equação 12 (SILVA, 2012):

$$TRF = 120 \left(\frac{R_u + R_a + R_L + R_b + R_n}{120} \right)^{1,8} \quad (12)$$

Onde:

$R_u = 83 (1 - u_{fi})$ (determinado pela Equação 13);

$R_a = 1,60 (c_1 - 30)$; c_1 em mm

$R_L = 9,60 (5 - l_{ef,fi})$;

$R_b = 0,09 b'$ para $190 \text{ mm} \leq b' \leq 450 \text{ mm}$, e b' sendo o resultado conforme determinado pelas Equações 14 e 15;

$R_b = 40,5$ para $b' > 450$;

$R_n = 0$ para $n=4$, sendo n o número de barras longitudinais;

$R_n = 12$ para $n > 4$.

Sendo:

$$u_{fi} = \frac{N_{sd,fi}}{N_{rd}} \quad (13)$$

Onde:

$N_{sd,fi}$ = Valor de cálculo da força axial em situação de incêndio;

N_{rd} = Valor de cálculo da força normal resistente do pilar;

c_1 = Distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo;

$l_{ef,fi}$ = Comprimento equivalente do pilar em situação de incêndio, em metros, e pode ser sempre considerado igual ao da temperatura do ambiente, l_e . Para pavimentos intermediários, $l_{ef,fi} = 0,5.l_e$, para pavimentos mais altos, $l_{ef,fi} = 0,7.l_e$.

$$b' = \frac{2A_c}{(b+h)}, \text{ para } h \leq 1,5b \quad (14)$$

$$b' = 1,2b, \text{ para } h > 1,5b \quad (15)$$

Sendo as limitações dadas nas Equações 16, 17, 18, 19 e 20:

$$\frac{A_s}{A_c} \leq 0,04 \quad (16)$$

$$25 \text{ mm} \leq c_1 \leq 80 \text{ mm} \quad (17)$$

$$b' \geq 190 \text{ mm} \quad (18)$$

$$e \leq 0,15b \quad (19)$$

$$l_{ef,fi} \leq 6 \text{ m} \quad (20)$$

Onde:

A_c = Área da seção transversal do pilar;

b = Menor dimensão da seção transversal do pilar;

h = Maior dimensão da seção transversal do pilar;

A_s =Área total das armaduras;

e é a excentricidade de primeira ordem da força normal em situação de incêndio.

A ABNT NBR 15200:2012 apresenta as dimensões mínimas para a seção transversal e valores das armaduras para pilares com uma face exposta ao fogo (c_1) em função do TRRF (Figura 26).

Figura 26 - Dimensões mínimas para pilares com uma face exposta ao fogo

TRRF min	Combinações de b_{min}/c_1 mm/mm
30	155/25
60	155/25
90	155/25
120	175/35
180	130/55

Fonte: ABNT NBR 15200 - Adaptação autora, 2023

3 METODOLOGIA

A metodologia proposta neste trabalho teve como objetivo descrever os métodos utilizados para conduzir o estudo de caso, com o intuito de realizar uma comparação técnica e de materiais entre uma estrutura quando dimensionada para situação normal e quando verificada para incêndio. Para exemplificar, foi escolhido um edifício residencial multifamiliar como modelo, e para facilitar os cálculos, a análise foi focada apenas no pavimento tipo com seis andares.

Com o projeto arquitetônico, foi desenvolvido o cálculo estrutural, considerando apenas os esforços em situação normal em temperatura ambiente, seguindo a ABNT NBR 6118:2014 com auxílio da ABNT NBR 6120 (2019), conferido pelo *software* CAD/TQS V23. Após, neste mesmo programa, fez-se a análise dessa mesma estrutura, dimensionada pela ABNT NBR 15200:2012, cujo *software* utiliza para o cálculo de vigas e lajes o método tabular, e para pilares foi adotado o método analítico.

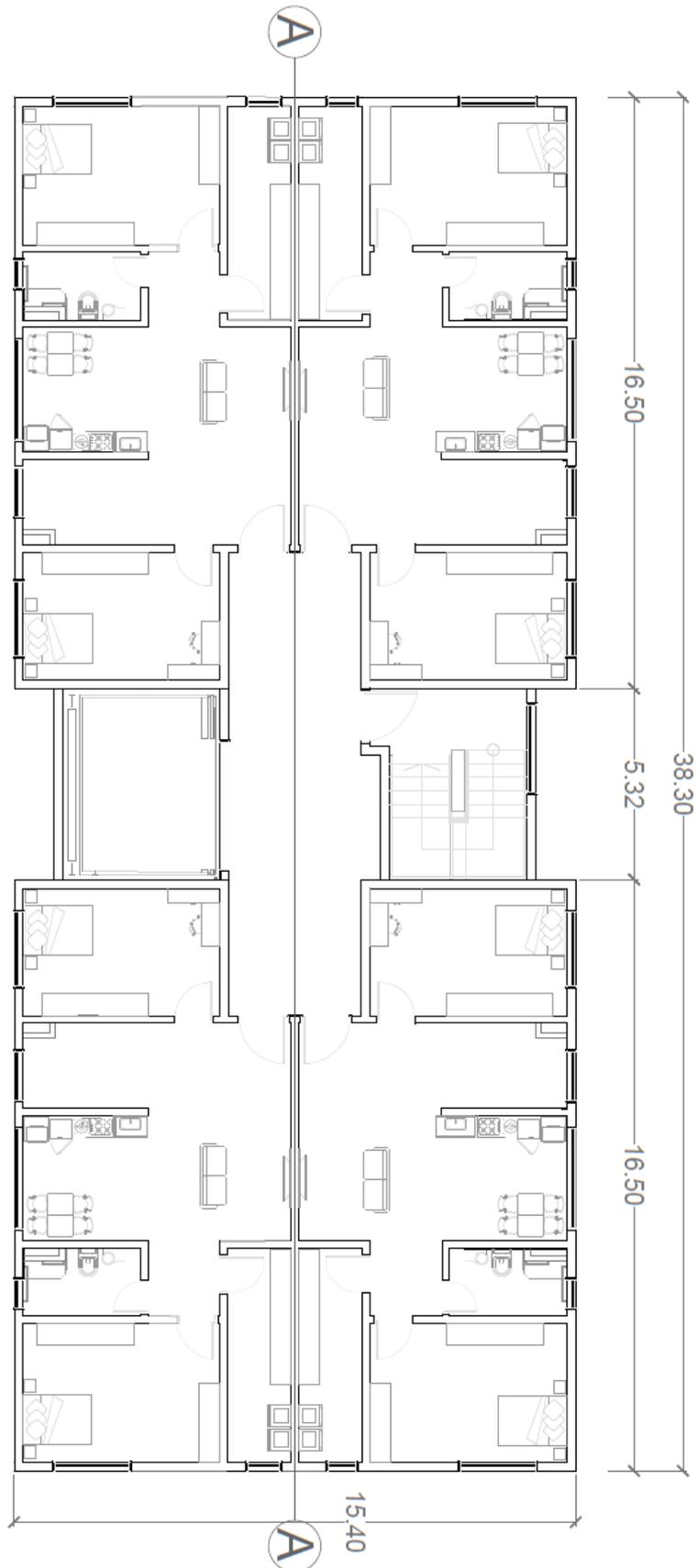
Para a realização dessa etapa, inicialmente foram feitas avaliações da edificação, considerando apenas os elementos estruturais de lajes, vigas e pilares, bem como o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Com o objetivo de aprimorar o estudo e a compreensão dos dados, foi proposto a realização de um estudo de caso de um edifício. O edifício em questão é uma construção residencial multifamiliar com seis pavimentos, todos iguais, excluindo-se a cobertura e subsolos. A localização escolhida para o estudo de caso é na cidade de Flores da Cunha, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, e a edificação é considerada de padrão médio.

O edifício possui área total por pavimento tipo de 578,21 m², somando ao total 2.312,8 m². Cada pavimento contempla 4 unidades domiciliares, ao total 24. Todas as unidades possuem: cozinha, sala, dormitórios, área de serviço e banheiro. Ainda, o prédio possui 1 elevador fechado por paredes em alvenaria e uma escada de emergência enclausurada protegida, também em alvenaria. A altura total do prédio a ser considerada é apenas dos pavimentos tipo, totalizando 16,8 metros, com 2,80 metros de pé direito e laje de 10 cm. A Figura 27 traz a planta do pavimento tipo.

Figura 27 - Planta pavimento tipo do edifício



3.2 PROJETO ESTRUTURAL

Antes de ser submetida à verificação quanto à resistência ao fogo, uma estrutura é projetada de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 6118:2014. Assim, são determinados os parâmetros essenciais para o seu dimensionamento.

3.2.1 Dimensionamento conforme ABNT NBR 6118:2014

O prédio foi elaborado em concreto armado, possuindo lajes, vigas e pilares em todos os pavimentos. Considerando alvenaria de vedação para as paredes com finalização de chapisco e reboco.

Para o dimensionamento seguindo a ABNT NBR 6118:2014, a estrutura precisou ser pré-dimensionada antes de ser colocada no *software* CAD/TQS. O primeiro passo é o posicionamento dos elementos estruturais na planta, bem como a orientação dos pilares prevendo a estabilidade da estrutura.

Conforme prossegue o processo, ocorre o dimensionamento dos elementos estruturais, estabelecendo a espessura dos blocos utilizados em conjunto com a arquitetura e a espessura das paredes. No caso específico do edifício, optou-se por utilizar blocos de 19 cm tanto nas paredes internas quanto nas externas. Portanto, as larguras das vigas e pilares devem ser projetadas para atender a essa dimensão também.

No pré-dimensionamento das alturas das vigas, é adotado o critério conforme Norma citada acima, onde, a altura da viga é determinada pelo vão teórico da viga a ser dimensionada, dividido por 10. Para a largura, usualmente é adotado a mesma da parede.

Quanto aos pilares, também é seguido a ABNT NBR 6118:2014, essa apresenta uma tabela com as seções mínimas permitidas para pilares, também, na escolha da dimensão dos pilares, um dos fatores considerados é o tamanho da parede, deixando sempre elementos estruturais em seu interior. A escolha dos blocos também vai influenciar nessa decisão. Após é feito o dimensionamento conforme Norma.

No caso das lajes, conforme a ABNT NBR 6118:2014, é necessário primeiro, definir os vãos das lajes, determinando se será unidirecional ou bidirecional, após, são feitas as determinações de cargas. Para fins de pré-dimensionamento, foram

utilizadas para todas as lajes o valor de 10 cm, comumente adotado.

Além do pré-dimensionamento dos elementos estruturais, são determinados os parâmetros de projeto, que incluem a definição dos valores de carga permanente, carga variável, ação dos ventos e cobrimento.

De acordo com as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 6118:2014, o cobrimento dos elementos estruturais é determinado com base na localização da estrutura, a Norma, traz a relação entre o cobrimento mínimo das armaduras e a classe de agressividade do ambiente. No caso em questão, considerando que a estrutura está situada em uma zona urbana, é adotada a classe de agressividade ambiental (CAA) II, que é classificada como moderada e apresenta um pequeno risco de deterioração da estrutura. Os valores específicos de cobrimento são obtidos de acordo com as indicações apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Elementos estruturais e seus respectivos cobrimentos

Elemento	Cobrimento (cm)
Vigas	3
Pilares	3
Lajes	2,5

Fonte: Autora, 2023

Para a carga permanente, considerando que o edifício será construído em concreto armado, o valor do peso específico adotado é de 25 kN/m². Com base nisso, e levando em conta a altura de piso a piso com 2,80 metros e a espessura de 0,22 metros (levando em consideração o bloco cerâmico, chapisco e reboco), é calculada a carga das paredes acabadas e distribuída por metro quadrado da estrutura, conforme apresentado na Tabela 2.

Em relação à carga acidental, ela é determinada de acordo com o uso e a ocupação da edificação, conforme indicado também na Tabela 2, juntamente com a consideração da ação do vento. No caso do edifício, devido à sua localização, as definições de vento o classificam na Categoria IV - Classe B, e demais fatores como fator topográfico e estatístico conforme consta na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de projeto

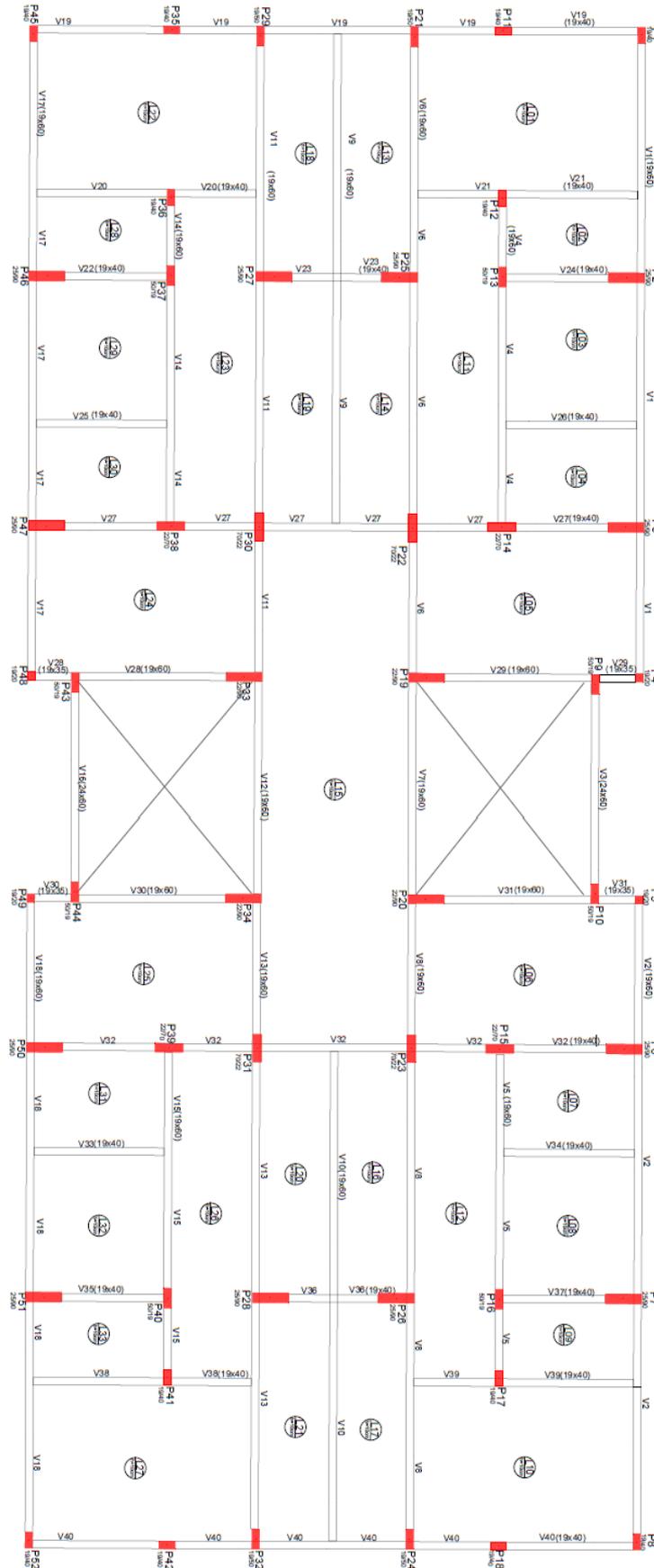
Parâmetros	Valor
Peso Específico	25 kN/m ³
Peso alvenaria (bloco cerâmico 19cm)	2,3 kN/m ²
Resistência à Compressão	25 MPa
Carga acidental para: Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5 kN/m ²
Carga acidental para: Despensa, área de serviço e lavanderia	2,0 kN/m ²
Velocidade básica do vento	43 m/s
Fator S1 - Vento (Terreno plano)	1
Fator S2 – Rugosidade e Altura edificação	IV - B
Fator S3 – Fator Estatístico	1

Fonte: Autora, 2023

Após é feito o lançamento no *software* CAD/TQS V23 da empresa TQS Informática Ltda. O programa utiliza para a obtenção de esforços e armaduras das lajes, dois métodos (ficando a critério do projetista), método elástico (Czerny) ou o que foi escolhido para este estudo, o processamento de grelhas.

O dimensionamento de vigas pelo programa é realizado para os momentos positivos nos vãos e os momentos negativos nos apoios. Para os pilares, é através do Método Geral, conforme prescrito na ABNT NBR 6118:2014. A Figura 28 apresenta a planta de formas do pavimento tipo da estrutura, com as devidas posições e dimensões dos elementos estruturais.

Figura 28 - Planta de fôrmas do pavimento tipo



Fonte: Autora, 2023

3.2.2 Verificação para situação de incêndio

Quando verificado conforme a ABNT NBR 15200:2012, foi necessário redimensionar a estrutura através do *software* CAD/TQS V23. Esse cálculo foi aplicado em todos os elementos estruturais de concreto armado, utilizando o método tabular para vigas e lajes, e o método analítico para pilares.

Uma característica muito importante a ser definida é a determinação do tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), onde se analisa a edificação e suas particularidades, bem como, ocupação, atividade a ser desenvolvida no prédio e altura da edificação. Para os respectivos usos e ocupação das atividades da edificação são enquadradas no anexo B. Para este estudo, a edificação faz parte do grupo A, na divisão A-2, conforme Figura 29:

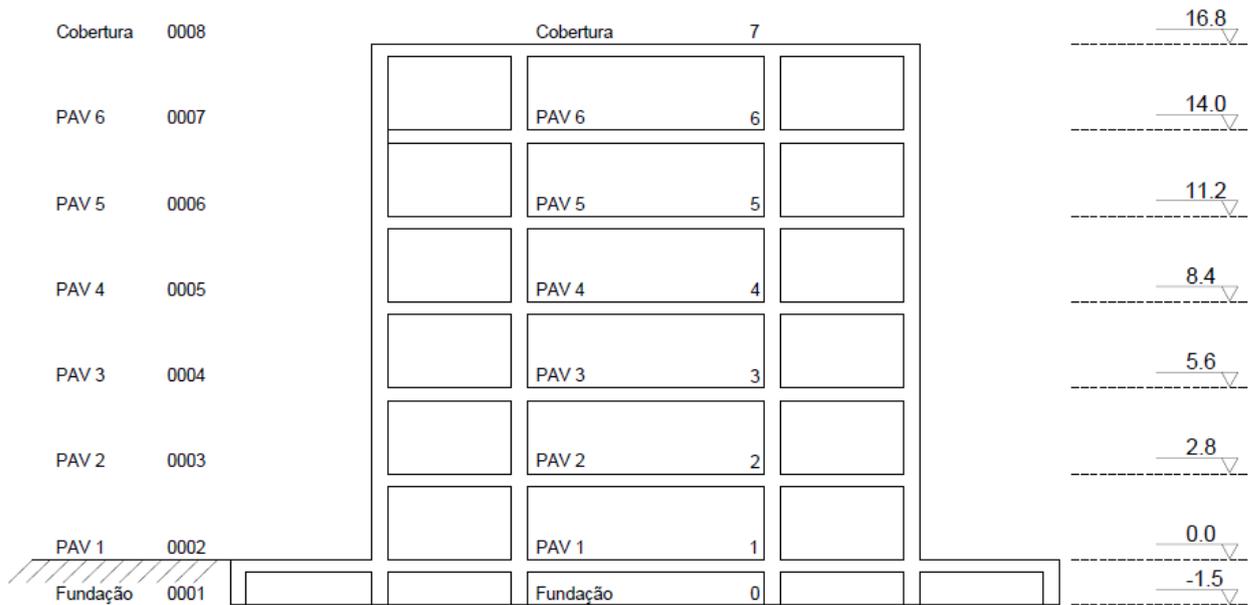
Figura 29 - Classificação da edificação quanto a ocupação

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitação unifamiliar	Casas térreas ou assobradadas (isoladas e não isoladas) e condomínios horizontais
		A-2	Habitação multifamiliar	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, vestiários, mosteiros, conventos, residências geriátricas. Capacidade máxima de 16 leitos

Fonte: CBMRS, 2014

Quanto à altura da edificação é considerado o ponto que caracteriza a saída ao nível da descarga até o ponto mais alto do piso último pavimento, conforme a Resolução Técnica nº 2 do CBMRS (2014). Com isso, tem-se 14 metros, conforme Figura 30:

Figura 30 - Corte esquemático da edificação



Fonte: Software Cad/TQS, 2023

Com esses parâmetros, conforme rege a IT nº 8 da CBPMESP (2019), presente no Anexo A deste presente trabalho, determina-se o TRRF necessário para a estrutura da edificação. Conforme a Figura 31, por ser uma edificação do tipo residencial, possuir mais de 12 metros e menos de 23 metros, o TRRF é igual a 60 minutos. Esse número é importante, visto que representa o tempo mínimo que a estrutura deve resistir, garantindo que todos os ocupantes em situação de incêndio saiam em segurança.

Figura 31 - Determinação do TRRF

Grupo	Ocupação/ Uso	Divisão	Profundidade do subsolo hs		Classe P1	Classe P2	Classe P3	Classe P4	Classe P5	Classe P6	Classe P7	Classe P8
			Classe S2	Classe S1	h ≤ 6m	6m < h ≤ 12m	12m < h ≤ 23m	23m < h ≤ 30m	30m < h ≤ 80m	80m < h ≤ 120m	120m < h ≤ 150m	150m < h ≤ 250m
			hs > 10m	hs ≤ 10m								
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180

Fonte: CBPMESP, 2019 – Adaptação autora (2023)

Devido a ter escada de emergência, essa precisa atender a um TRRF diferente, visto que essa é considerada rota de fuga, seguindo a IT nº11 do CBMRS, sendo, a ocupação do tipo A-2 e EP significando escada enclausurada e protegida (Figura 32). Conforme item 5.7.8, essas devem possuir as paredes com TRRF igual a 120 minutos. Contudo, não foram analisados os resultados do elemento escada no projeto.

Figura 32 - Tipos de escadas de emergência devida à ocupação

Dimensão					
Altura (em metros)		H ≤ 6	6 < H ≤ 12	12 < H ≤ 30	Acima de 30
Ocupação		Tipo Escada	Tipo Escada	Tipo Escada	Tipo Escada
Gupo	Divisão				
A	A-1	NE	NE	-	-
	A-2	NE	NE	EP	PF (1)
	A-3	NE	NE	EP	PF

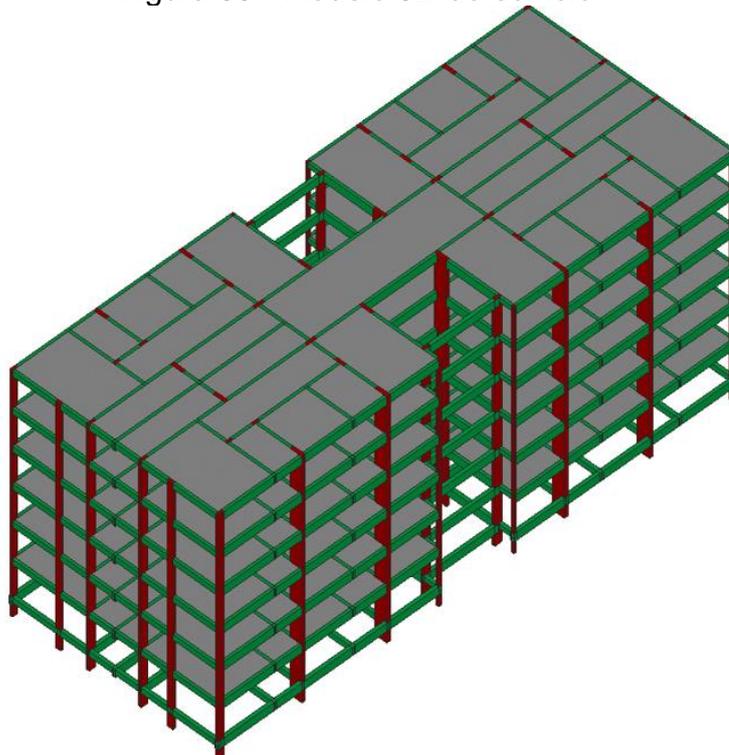
Fonte: CBMRS, 2016 – Adaptação autora (2023)

Por fim, fez-se a comparação entre os resultados obtidos quando comparados o dimensionamento pela ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 15200:2012.

3.3 MODELAGEM ESTRUTURAL

De acordo com as informações apresentadas anteriormente, o dimensionamento do edifício em questão foi conduzido em conformidade com a ABNT NBR 6118:2014. Além disso, para realizar esse processo de dimensionamento, foi empregado o *software* CAD/TQS na versão 23. A representação do modelo estrutural tridimensional do edifício pode ser visualizada na Figura 33:

Figura 33 - Modelo 3D do edifício

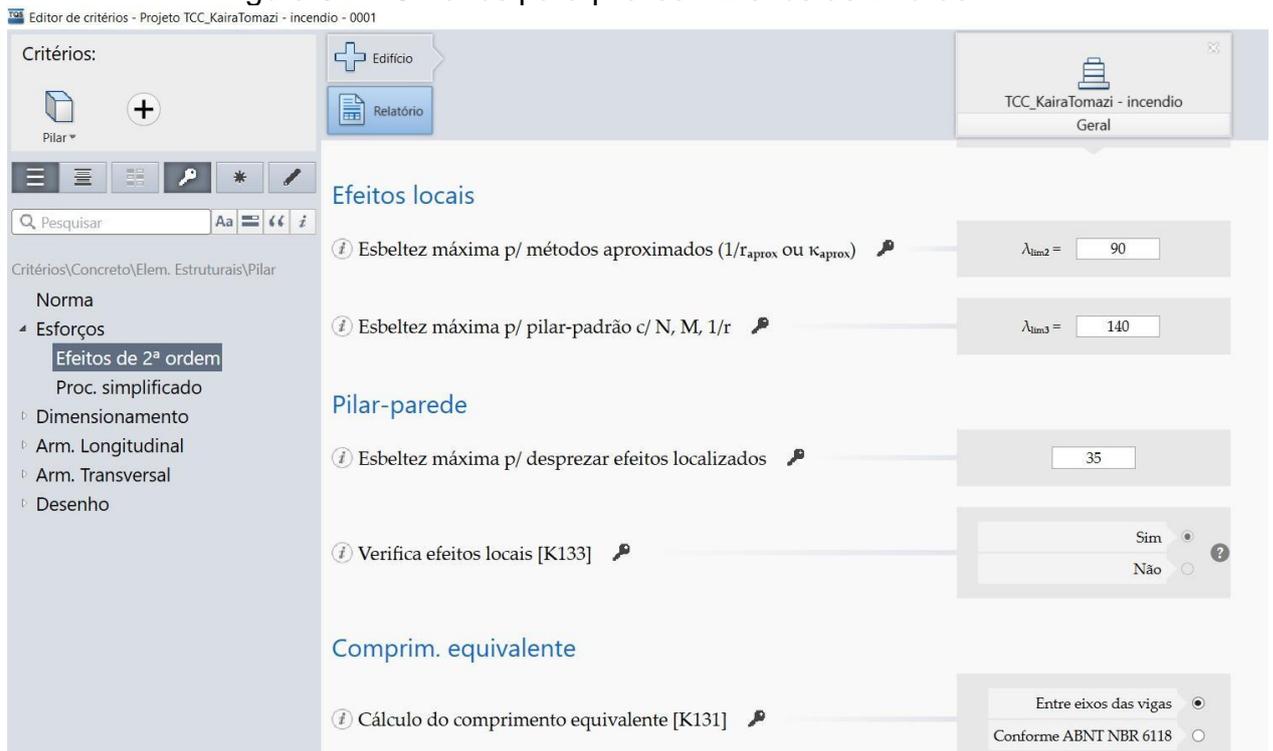


Fonte: CAD/TQS, 2023

3.4 PARAMETROS PARA SITUAÇÃO NORMAL

Após o pré-dimensionamento conforme visto anteriormente, no *software* CAD/TQS V23 na aba critérios, são colocados os parâmetros de dimensionamento. Para os pilares, foram considerados os seguintes critérios conforme Figuras 34 e 35.

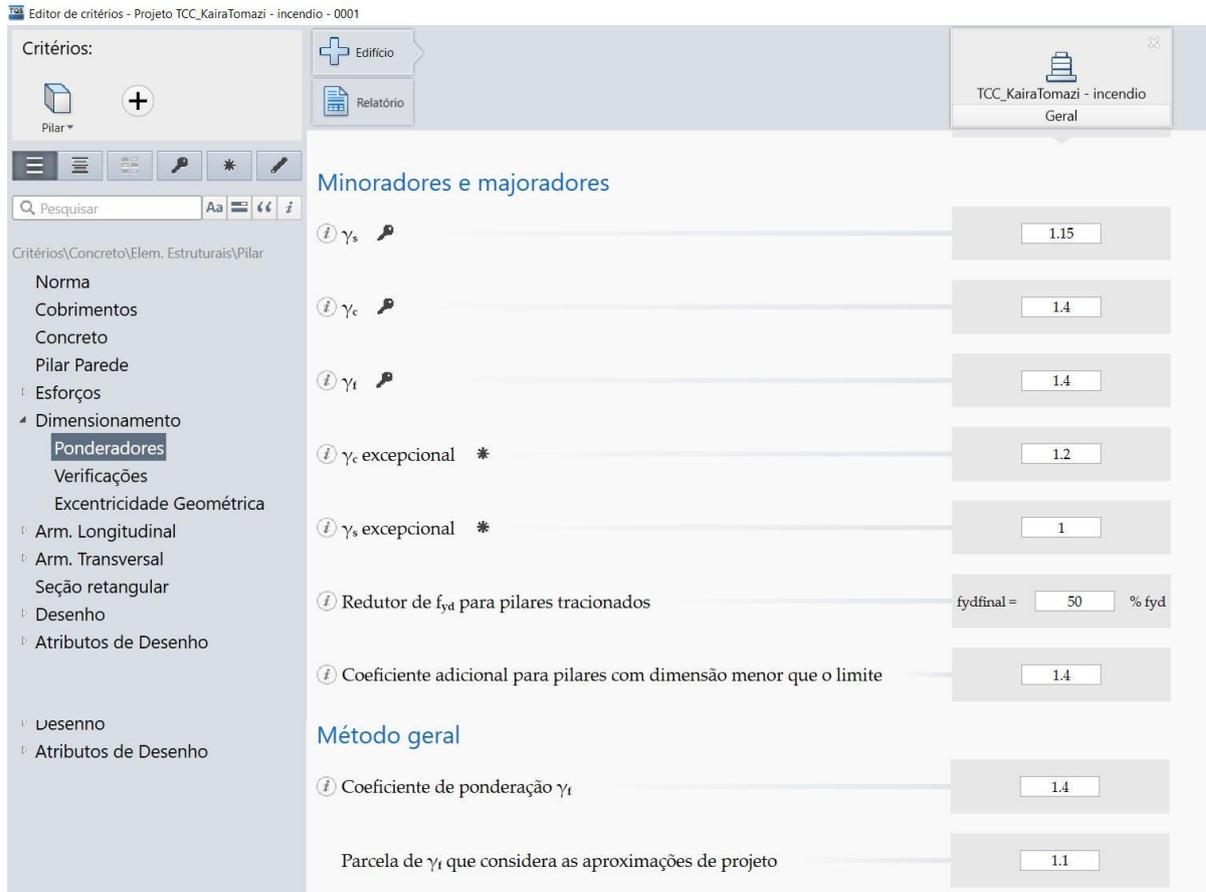
Figura 34 – Critérios para pilares - Efeitos de 2ª ordem



Fonte: CAD/TQS, 2023 – Adaptação autora (2023)

Dentre esses parâmetros, os efeitos locais referem-se a esbeltez máxima para métodos aproximados. A ABNT NBR 6118:2014 diz que esse índice deve ser igual a 90. Já para o critério de esbeltez máxima para pilar-padrão $c/N, M, 1/r$, a Norma traz que precisa ser igual a 140. Ambos, são valores que definem o índice de esbeltez máximo, no primeiro caso, os efeitos locais de 2ª ordem são calculados por meio dos métodos pilar-padrão com curvatura aproximada ou pilar-padrão com rigidez aproximada. Para o segundo caso, são calculados por meio do método pilar-padrão acoplado a diagrama $N, M, 1/r$.

Figura 35 – Critérios para pilares - Minoradores e Majoradores

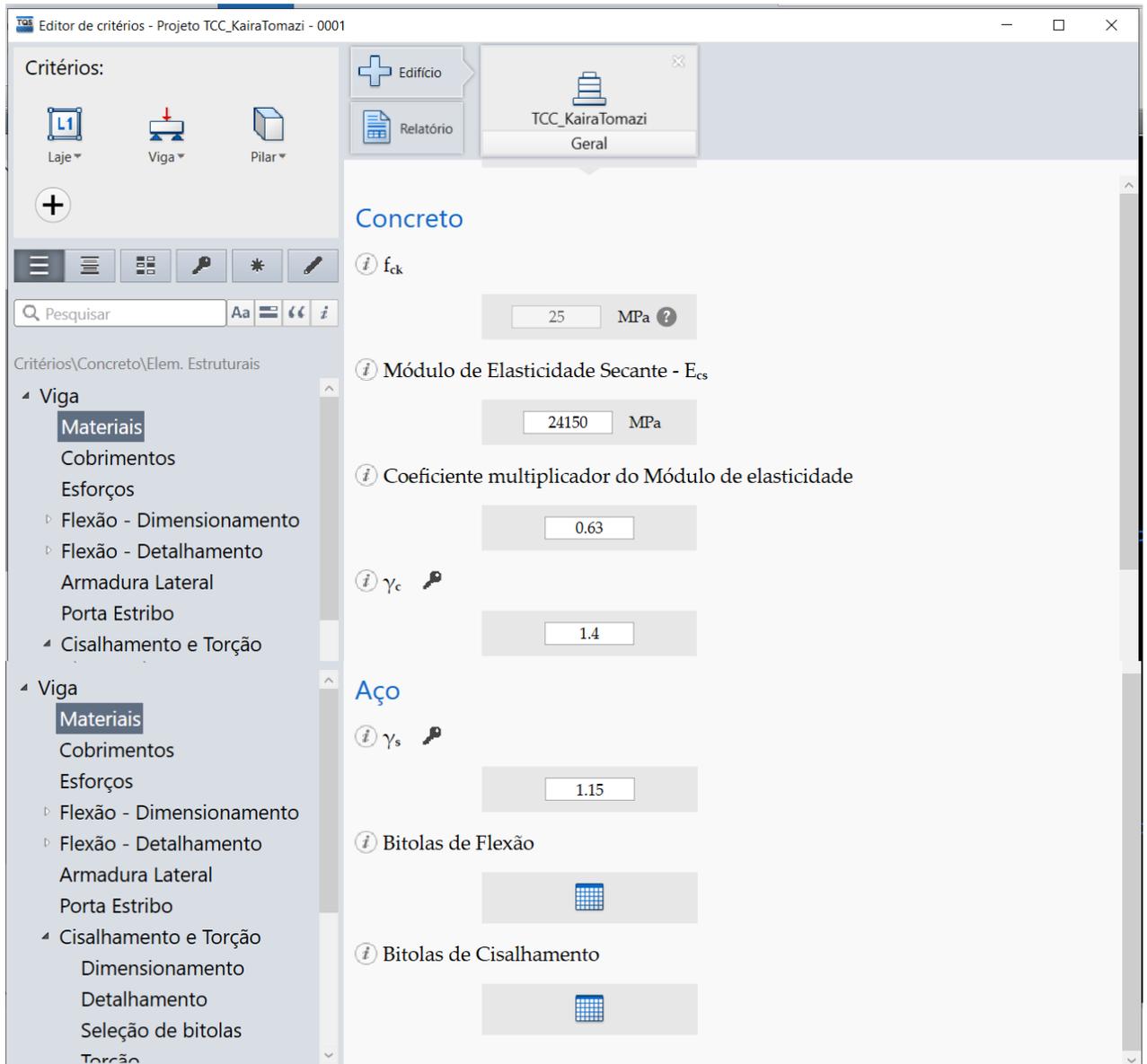


Fonte: CAD/TQS, 2023 – Adaptação autora (2023)

A Figura 35, traz os índices minoradores e majoradores determinados conforme ABNT NBR 6118:2014, para o critério γ_s , sendo o coeficiente minorador da resistência do aço, esse, transforma o valor característico da resistência do aço em seu respectivo valor de cálculo. O coeficiente γ_c é o minerador da resistência característica do concreto, transforma o valor característico da resistência do concreto no seu valor de cálculo. Para o índice γ_f , é o majorador dos esforços. Coeficientes excepcionais são coeficientes para ações excepcionais. Os coeficientes de ponderação, conforme ABNT NBR 6118:2014, transformam o valor característico das ações no seu respectivo valor de cálculo, assim, para as combinações ELU, os coeficientes são divididos por um ponderador cujo valor é 1,4.

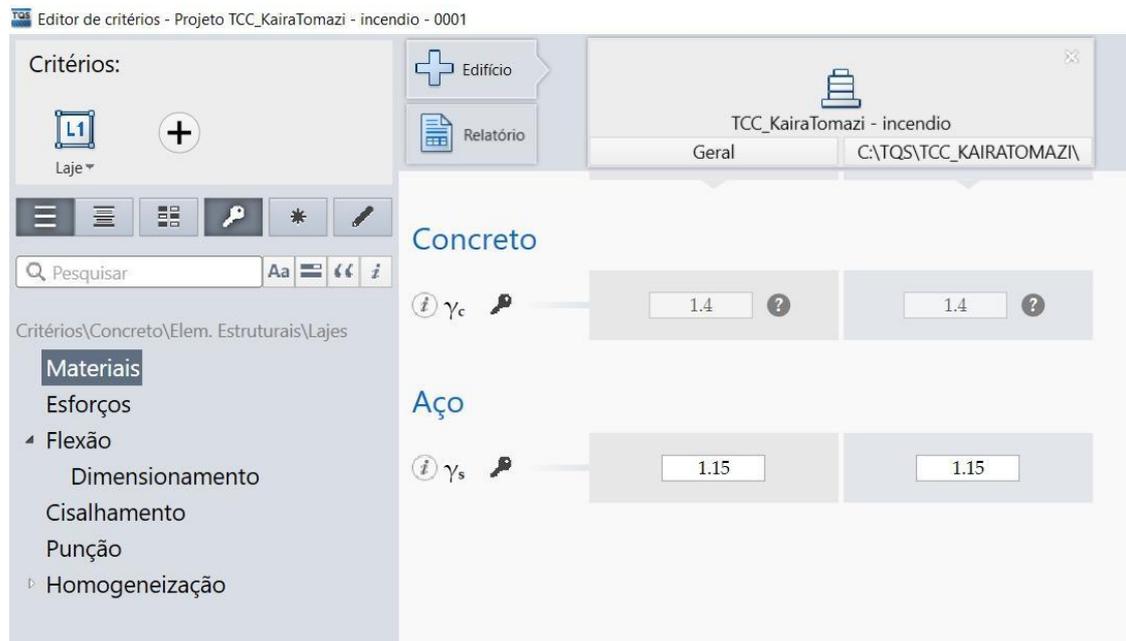
Para lajes e vigas, os critérios seguidos são encontrados na Figuras 36 e 37.

Figura 36 – Critérios para vigas - Minoradores e Majoradores



Fonte: CAD/TQS, 2023 – Adaptação autora (2023)

Figura 37 - Critérios para lajes - Minoradores e Majoradores



Fonte: CAD/TQS, 2023 – Adaptação autora (2023)

3.5 PARÂMETRO TRRF – VERIFICAÇÃO PARA INCÊNDIO

No *software* CAD/TQS V23, a determinação do parâmetro TRRF envolve a utilização de uma aba específica dedicada a considerações relacionadas a incêndios. Assim, com base na altura do edifício e no tipo de ocupação a ser atribuído, o programa calcula o valor de TRRF, definido anteriormente de 60 minutos.

Também, lembrando que, para lajes e vigas, o programa verifica para incêndio através do método tabular. Já para pilares, é necessário selecionar entre dois métodos disponíveis, tabular ou analítico, conforme Figura 38, ficando escolhido o método analítico. A Figura 38 traz também, os coeficientes usados para verificação para incêndio.

Figura 38 – Coeficientes para verificação para incêndio

Editor de critérios - Projeto TCC_KairaTomazi_Incendio00 - 0001 - C:\TQS\TCC_KairaTomazi_Incendio00\TABSFIRE.DAT

Critérios:

Formas

Edifício

Relatório

TCC_KairaTomazi_Incendio00

Geral

Solicitações de cálculo (Sd_{fi})

Envoltória de combinações a ser considerada

Fogo

ELU1

Multiplicador das solicitações de cálculo em situação normal (S_d)

0.7

Verificação de pilares

Tabela a ser utilizada

NBR 15200:2004

NBR 15200:2012 (TRF)

Tipo padrão de vigas

Tipo padrão de vigas

Bi-apoiada Contínua ou de pórtico

Armadura negativa em vigas e lajes

Considerar A_s(-) no cálculo de c₁

Sim Não

Multiplicadores para cálculo de l_e,f_i

Lances intermediários

0.5

Último lance

0.7

Nós móveis

2

Fonte: CAD/TQS, 2023 – Adaptação autora (2023)

O parâmetro S_d , é um multiplicador das solicitações de cálculo em situação normal. Para definição aproximada das solicitações de cálculo em situação de incêndio, o parâmetro é chamado de $S_{d,fi}$, e é multiplicado por 0,7.

4 RESULTADOS

Após realizar o dimensionamento conforme as prescrições estabelecidas na norma ABNT NBR 6118:2014 utilizando o *software* CAD/TQS V23, foi feita a verificação da estrutura em relação à sua resistência a incêndios.

4.1 VERIFICAÇÃO DA ESTRUTURA PARA SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

No CAD/TQS V23, usando o comando "Processar - Verificação de Incêndio", utilizando método tabular para vigas e lajes, e método analítico para pilares. Assim, os elementos estruturais foram verificados para incêndio, precisando atender ao TRRF de 60 minutos.

Como resultado desse processo, o *software* CAD/TQS V23 gera um relatório completo, apresentando de forma abrangente todos os resultados obtidos na verificação para incêndio. Além disso, o programa traz um recurso de visualização gráfica que contribuiu significativamente para a compreensão dos resultados por parte dos envolvidos no projeto.

4.1.1 Verificação de incêndio para lajes

De acordo com o conteúdo exposto no Capítulo 2 deste trabalho, a metodologia adotada para a verificação de incêndio das lajes baseia-se na norma ABNT NBR 15200:2012, que emprega o método tabular. Esse método tem como parâmetro utilizado na verificação: Tempo de TRRF de 60 minutos, condição de apoio, tipo de laje, espessura e a distância do centro geométrico das armaduras ao fundo da laje. Assim, a seção dimensionada é comparada com os valores obtidos da norma.

Para o projeto em estudo, as lajes possuem vinculação de apoio, e obtiveram resultados de "h" igual a 100 mm e c1 igual a 25 mm. Como resultado desse processo de verificação, todas as lajes foram consideradas em conformidade com os requisitos de resistência ao fogo, uma vez que atenderam ao valor mínimo estabelecido para o TRRF, que é de 60 minutos. Portanto, pode-se afirmar que as lajes demonstraram segurança estrutural contra incêndios. Para melhor obtenção da compressão dos resultados, foram anexados ao trabalho conforme Apêndice D, os resultados obtidos

através do relatório do CAD/TQS V23, do Pavimento 5.

4.1.2 Verificação de incêndio para vigas

Conforme delineado no capítulo 2 deste estudo, as vigas foram sujeitas a uma análise de verificação de incêndio com base no método tabular. O programa leva em consideração parâmetros como: TRRF de 60 minutos, condição de apoio das vigas, largura e a distância do centro geométrico das armaduras ao fundo da viga.

Então o programa faz a comparação entre a seção dimensionada das vigas e os valores limites definidos pelas diretrizes normativas. No contexto do objeto de estudo, considerando a vinculação contínua das vigas, todos os parâmetros críticos, como, "bw," "h," "Ac," e "c1," cumpriram os valores mínimos estabelecidos.

Em resultado, as vigas foram verificadas como atendendo ao requisito de TRRF de 60 minutos, demonstrando, portanto, conformidade em relação à segurança estrutural contra incêndios. Para melhor obtenção da compressão dos resultados, foram anexados ao trabalho conforme Apêndice D, os resultados obtidos através do relatório do CAD/TQS V23, do Pavimento 5.

4.1.3 Verificação de incêndio para pilares

Para a verificação de incêndio realizada com base no método analítico para os pilares, identificou-se a presença de erros em determinados pilares nos pavimentos 5, 6 e na cobertura, os quais não atenderam ao requisito de Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) de 60 minutos, conforme estabelecido.

Para o método analítico, é necessário atender a condição de que o valor do TRF seja igual ou superior ao TRRF, também, é preciso atender a diversas limitações. Os pilares que não atenderam a verificação de incêndio, deve-se à falha do TRF igual ou superior ao TRRF, não satisfeita a condição da restrição associada à excentricidade.

Para corrigir essa situação, pode-se ter diversas alternativas dadas pelo CAD/TQS V23, como o aumento da área de aço, o aumento da seção do pilar, aumento do cobrimento ou o incremento da resistência dos materiais. Para esse trabalho, foram testados o aumento do cobrimento nos pilares, de 3 cm para 4 e 5 cm. Porém, os pilares continuaram apresentando erros de verificação para incêndio.

Assim, optou-se por aumentar a seção do pilar, essa alternativa foi positiva e assim os pilares atenderam a verificação para incêndio.

4.1.3.1 Verificação de incêndio para pilares no Pavimento 5

Para o pavimento 5, o relatório completo da verificação para incêndio, encontra-se no Apêndice D deste trabalho. A Tabela 3, traz os resultados dos pilares que não tiveram o atendimento ao TRRF requerido. Os parâmetros de verificação estão conforme descritos no Capítulo 2.

Tabela 3- Pilares não atendidos na verificação de incêndio no Pavimento 5

Título	Tipo	NSdi/NRd	e	As/Ac	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P14	Pilar	23.10/244.29 = 0.09	37	0,004	0,11	2,8	1,4	8	220x700	40	TRF>TRRF*, TRF=205
P15	Pilar	23.06/244.29 = 0.09	38	0,004	0,11	2,8	1,4	8	220x700	40	TRF>TRRF*, TRF=205
P38	Pilar	23.03/244.29 = 0.09	38	0,004	0,11	2,8	1,4	8	220x700	40	TRF>TRRF*, TRF=205
P39	Pilar	23.01/244.46 = 0.09	38	0,004	0,11	2,8	1,4	8	220x700	40	TRF>TRRF*, TRF=205

Fonte: CAD/TQS, 2023 – Adaptação autora (2023)

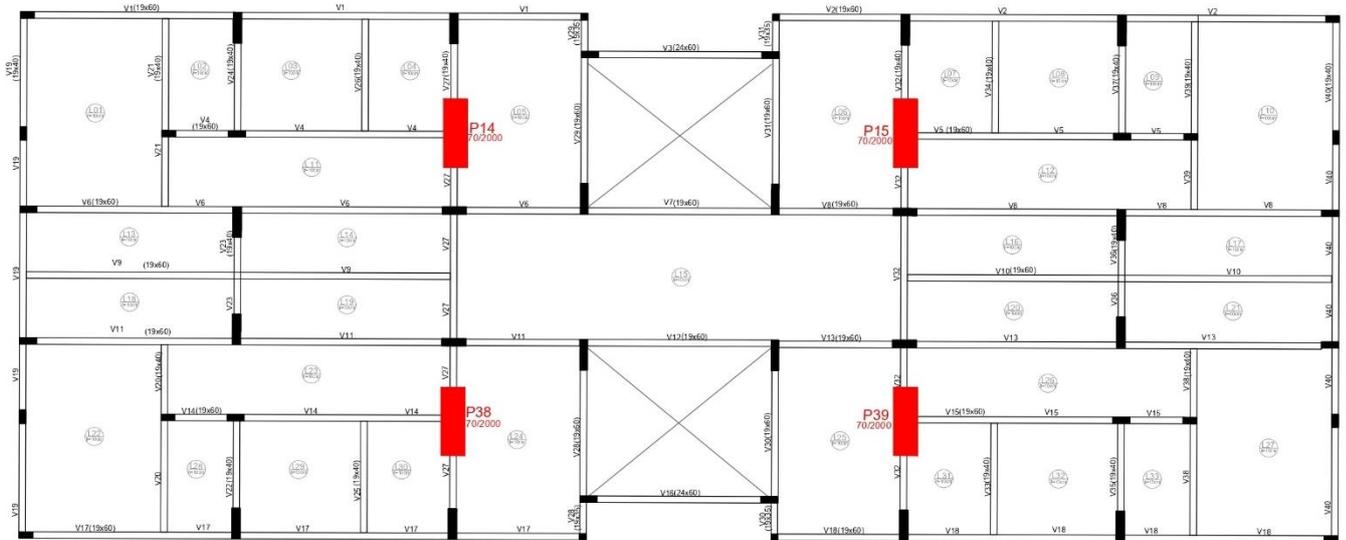
A Tabela 4 a seguir demonstra as seções dos pilares dimensionadas em situação normal, conforme a ABNT NBR 6118:2014, e as seções redimensionadas para atender aos critérios de verificação em situação de incêndio no pavimento 5, seguida da planta que contém a localização dos pilares, conforme Figura 39. Neste pavimento, foram testados o aumento da resistência no pilar 14, passando de 25 Mpa para 40 Mpa, porém não obteve resultados melhores.

Tabela 4 - Pilares redimensionados – Pavimento 5

Pilar	Pavimento	Seção em situação normal (cm)	Seção em situação de incêndio (cm)	Porcentagem do aumento da seção (%)
P14	Pav 5	22 x 70	70 x 200	809
P15	Pav 5	22 x 70	70 x 200	809
P38	Pav 5	22 x 70	70 x 200	809
P39	Pav 5	22 x 70	70 x 200	809

Fonte: Autora (2023)

Figura 39 - Pilares redimensionados – Pavimento 5



Fonte: Autora (2023)

Nesta análise, verificou-se que a área da seção na pior situação necessitou de um aumento de mais de 800%, o que teve um impacto substancial na configuração arquitetônica do projeto e, conseqüentemente, podendo gerar um aumento significativo nos custos da obra.

Também, como demonstração de cálculo, segue abaixo segue o dimensionamento do pilar 14 nesse pavimento, conforme Equação 21, seguindo o Capítulo 2 deste trabalho.

$$TRF = 120 \left(\frac{R_u + R_a + R_L + R_b + R_n}{120} \right)^{1,8} \quad (21)$$

$$TRF = 1,20 * ((75,53 + 16 + 34,56 + 23,76 + 12) / 120)^{1,8}$$

$$TRF = 205 \text{ minutos}$$

Onde,

$$U_{fi} = N_{sd,fi} / N_{rd} = 0,09$$

$$R_u = 83(1 - U_{fi}) = 83(1 - 0,09) = 75,53$$

$$c_1 = 40 \text{ mm}$$

$$R_a = 1,60(c_1 - 30) = 1,60(40 - 30) = 16$$

$$NB = \text{Número de barras longitudinais} = 8 \text{ barras}$$

$$b = 220 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$1,5 * b = 330 \text{ mm}$, então, $h > 1,5b$

Assim, $b' = 1,2 * b = 1,2 * 220 \text{ mm} = 264 \text{ mm}$

$R_n = 12$

$R_L = 9,60(5 - I_{ef,fi}) = 9,60(5 - 1,4) = 34,56$

$R_b = 0,09 * b' = 0,09 * 264 = 23,76$

Para o método analítico, é necessário atender a seguinte solicitação de TRF \leq TRRF, para o pilar em questão, o valor do TRF deu igual a 205 minutos, e o TRRF requerido era de 60 minutos, assim, não atendendo a verificação requerida.

Além disso, algumas condições precisam ser atendidas para a verificação para incêndio conforme demonstrado no Capítulo 2. A condição não atendida nesse caso, foi a da excentricidade ser menor ou igual a 0,15 da menor dimensão do pilar, sendo conforme Equação 22.

$$e \leq 0,15 * b \quad (22)$$

$$0,15 * b = 0,15 * 220 \text{ mm} = 33$$

$$e = 37$$

Assim $37 > 33$, ou seja, não atendendo a condição limitada pela Norma.

4.1.3.2 Verificação de incêndio para pilares no Pavimento 6

Para esse pavimento, a Tabela 5, traz os resultados dos pilares que não tiveram o atendimento ao TRRF requerido. Os parâmetros de verificação estão conforme descritos no Capítulo 2.

Tabela 5- Pilares não atendidos na verificação de incêndio no Pavimento 6

Título	Tipo	NSdi/NRd	e	As/Ac	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	$9.10/120.93 = 0.08$	34	0,006	0,08	2.8	1.4	6	190x400	40	TRF>TRRF*, TRF=201
P8	Pilar	$9.05/121.19 = 0.07$	31	0,006	0,08	2.8	1.4	6	190x400	40	TRF>TRRF*, TRF=201
P12	Pilar	$4.06/127.11 = 0.03$	39	0,006	0,04	2.8	1,96	6	190x400	40	TRF>TRRF*, TRF=197
P17	Pilar	$4.28/126.80 = 0.03$	40	0,006	0,04	2.8	1,96	6	190x400	40	TRF>TRRF*, TRF=197
P36	Pilar	$4.03/127.26 = 0.03$	36	0,006	0,04	2.8	1,96	6	190x400	40	TRF>TRRF*, TRF=197
P41	Pilar	$4.27/126.80 = 0.03$	37	0,006	0,04	2.8	1,96	6	190x400	40	TRF>TRRF*, TRF=197
P45	Pilar	$10.13/120.93 = 0.08$	34	0,006	0,08	2.8	1.4	6	190x400	40	TRF>TRRF*, TRF=201
P52	Pilar	$9.01/121.19 = 0.07$	32	0,006	0,08	2,8	1,4	6	190x400	40	TRF>TRRF*, TRF=201

Fonte: CAD/TQS, 2023 – Adaptação autora (2023)

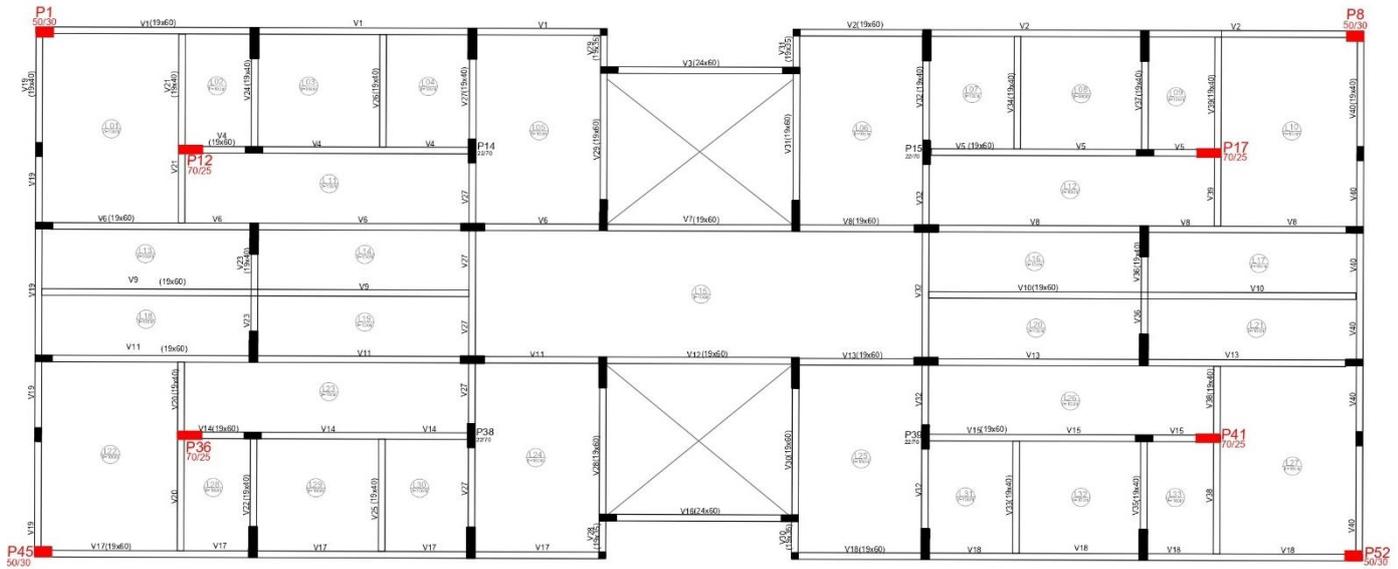
Também, foram feitos os seguintes redimensionamentos nas seções dos pilares, conforme Tabela 6, seguido da planta na Figura 40. Além disso, a Figura 41 traz a representação gráfica dos resultados obtidos pelo CAD/TQS V23, sendo pilares em vermelho os que não passaram na verificação contra incêndio.

Tabela 6 - Pilares redimensionados – Pavimento 6

Pilar	Pavimento	Seção em situação normal (cm)	Seção em situação de incêndio (cm)	Porcentagem do aumento da seção (%)
P1	Pav 6	19 x 40	30 x 50	97
P8	Pav 6	19 x 40	30 x 50	97
P12	Pav 6	19 x 40	25 x 70	130
P17	Pav 6	19 x 40	25 x 70	130
P36	Pav 6	19 x 40	25 x 70	130
P41	Pav 6	19 x 40	25 x 70	130
P45	Pav 6	19 x 40	30 x 50	97
P52	Pav 6	19 x 40	30 x 50	97

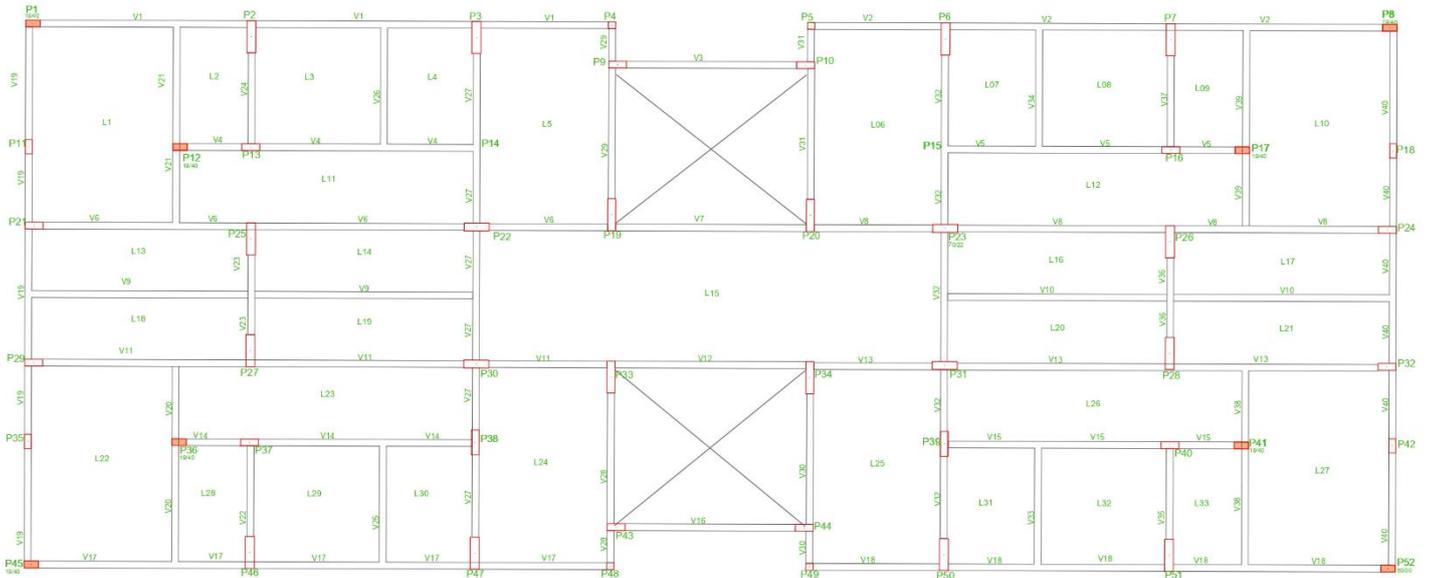
Fonte: Autora (2023)

Figura 40 - Pilares redimensionados – Pavimento 6



Fonte: Autora (2023)

Figura 41 - Representação gráfica dos pilares no Pavimento 6



Fonte: CAD/TQS, 2023 – Adaptação autora (2023)

4.1.3.3 Verificação de incêndio para pilares no Pavimento Cobertura

Igualmente para a cobertura, a Tabela 7 traz os resultados dos pilares que não tiveram o atendimento ao TRRF requerido. Os parâmetros de verificação estão conforme descritos no Capítulo 2.

Tabela 7- Pilares não atendidos na verificação de incêndio na Cobertura

Título	Tipo	NSdi/NRd	e	As/Ac	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P4	Pilar	$0.85/69.66 = 0.01$	54	0,008	0,01	2,8	1,96	4	190x200	40	TRF>TRRF*, TRF=168
P5	Pilar	$0.85/69.66 = 0.01$	58	0,008	0,01	2,8	1,96	4	190x200	40	TRF>TRRF*, TRF=168
P21	Pilar	$5.24/148.16 = 0.04$	71	0,005	0,04	2,8	1,96	6	190x500	40	TRF>TRRF*, TRF=196
P24	Pilar	$5.15/148.32 = 0.03$	71	0,005	0,04	2,8	1,96	6	190x500	40	TRF>TRRF*, TRF=196
P29	Pilar	$5.75/148.70 = 0.04$	63	0,005	0,04	2,8	1,96	6	190x500	40	TRF>TRRF*, TRF=196
P32	Pilar	$5.97/149.08 = 0.04$	59	0,005	0,04	2,8	1,96	6	190x500	40	TRF>TRRF*, TRF=196
P48	Pilar	$0.87/69.43 = 0.01$	68	0,008	0,02	2,8	1,96	4	190x200	40	TRF>TRRF*, TRF=168
P49	Pilar	$0.86/69.60 = 0.01$	63	0,008	0,02	2,8	1,96	4	190x200	40	TRF>TRRF*, TRF=168

Fonte: CAD/TQS, 2023 – Adaptação autora (2023)

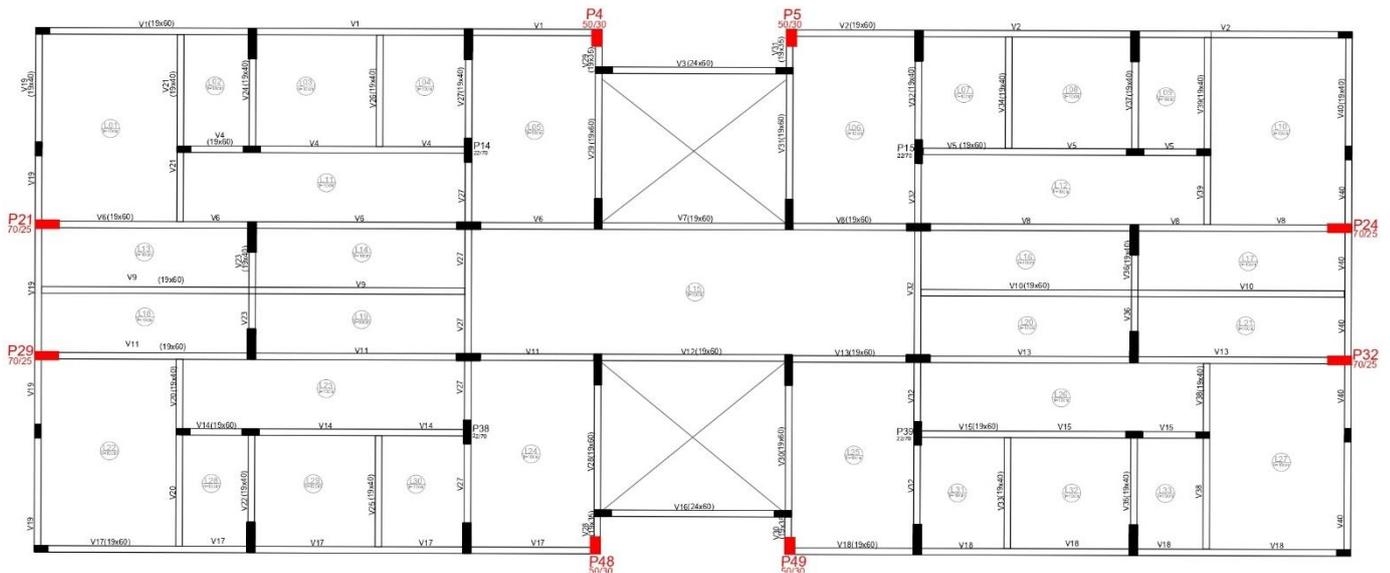
Foram feitos os seguintes redimensionamentos nas seções dos pilares, conforme Tabela 8, seguido da planta na Figura 42.

Tabela 8 - Pilares redimensionados – Cobertura

Pilar	Pavimento	Seção em situação normal (cm)	Seção em situação de incêndio (cm)	Porcentagem do aumento da seção (%)
P4	Cob	19 x 20	30 x 50	295
P5	Cob	19 x 20	30 x 50	295
P21	Cob	19 x 50	25 x 70	84
P24	Cob	19 x 50	25 x 70	84
P29	Cob	19 x 50	25 x 70	84
P32	Cob	19 x 50	25 x 70	84
P48	Cob	19 x 20	30 x 50	295
P49	Cob	19 x 20	30 x 50	295

Fonte: Autora (2023)

Figura 42 - Pilares redimensionados – Cobertura



Fonte: Autora (2023)

4.2 QUANTITATIVOS DE MATERIAIS

Após a etapa de dimensionamento conforme os parâmetros estabelecidos na ABNT NBR 6118:2014, fez-se à retirada dos quantitativos de materiais com a finalidade de realizar uma posterior comparação com os resultados da verificação de incêndio. Os resultados obtidos nesse processo foram os seguintes conforme Tabela 9:

Tabela 9 - Quantitativos pela ABNT NBR 6118:2014

	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m³)
Situação	Normal	Normal	Normal
Pilares	8.452	126,79	1557,72
Vigas	9.228	232,96	2477,41
Lajes	72.594	278,45	2784,42
TOTAL	90.274	638,2	6819,55

Fonte: Autora (2023)

Subsequentemente, realizou-se a verificação para situação de incêndio conforme as diretrizes estabelecidas na ABNT NBR 15200:2012. Após o redimensionamento dos ajustes requeridos nos pilares, a Tabela 10 traz os resultados em relação aos quantitativos de materiais:

Tabela 10 - Quantitativos pela ABNT NBR 15200:2012

	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m³)
Situação	Incêndio	Incêndio	Incêndio
Pilares	15.888	244,70	1999,80
Vigas	12.696	225,58	2399,23
Lajes	72.594	275,82	2758,38
TOTAL	101.178	746,10	7157,41

Fonte: Autora (2023)

4.3 COMPARATIVO

Avaliando a estrutura total, teve-se um atendimento de 62% para verificação de incêndio na estrutura. Dos 52 pilares, 32 apresentaram satisfação na resistência contra o fogo.

4.3.1 Análise técnica de dimensionamento

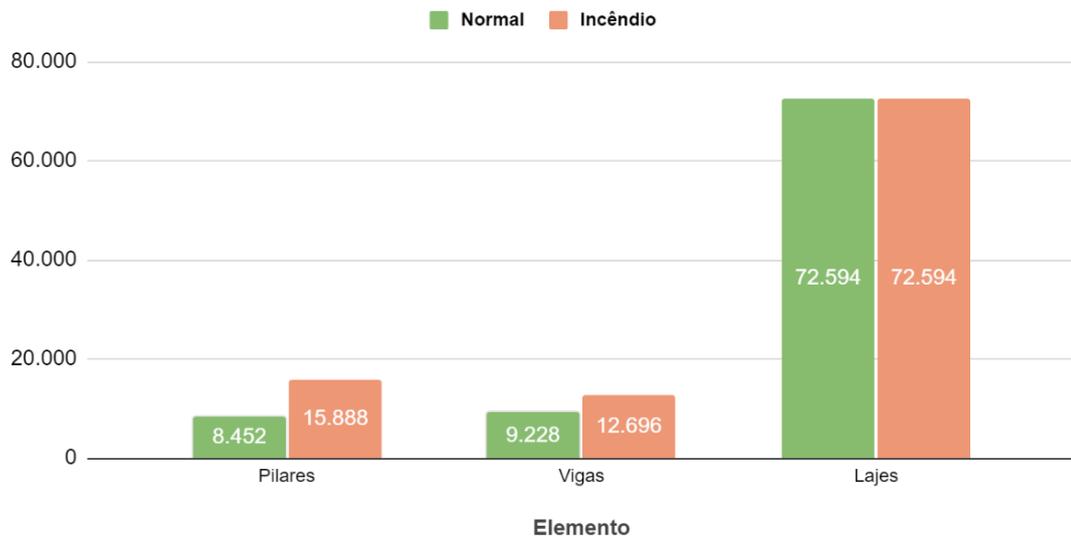
Um total de 20 pilares precisou passar por um processo de redimensionamento, que se limitou ao aumento de suas seções. O dimensionamento estrutural original não sofreu modificações substanciais, exceto pelo aumento das seções dos pilares, devido à não conformidade com os requisitos de resistência ao fogo.

Durante a análise dos momentos em "M_y" levando em consideração as cargas acidentais e permanentes, os pilares sofreram um aumento de carga em virtude da ocorrência de incêndio. Essa carga adicional, quando expressa em termos percentuais, representou um acréscimo de 7,3%.

4.3.2 Quantitativos de materiais

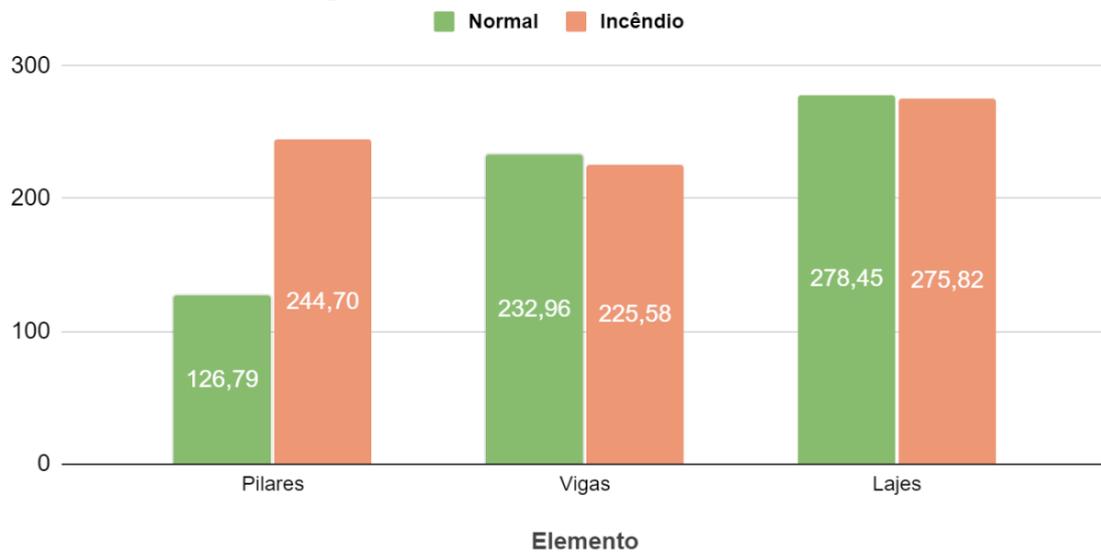
No que se refere às quantidades, observou-se um aumento de todos os materiais. Em termos significativos, o aumento na quantidade de aço após o redimensionamento da estrutura para situações de incêndio totalizou 10.904 quilogramas, o que é um incremento de 12,08%, como mostrado na Figura 42:

Figura 42 - Consumo de Aço (kgf)



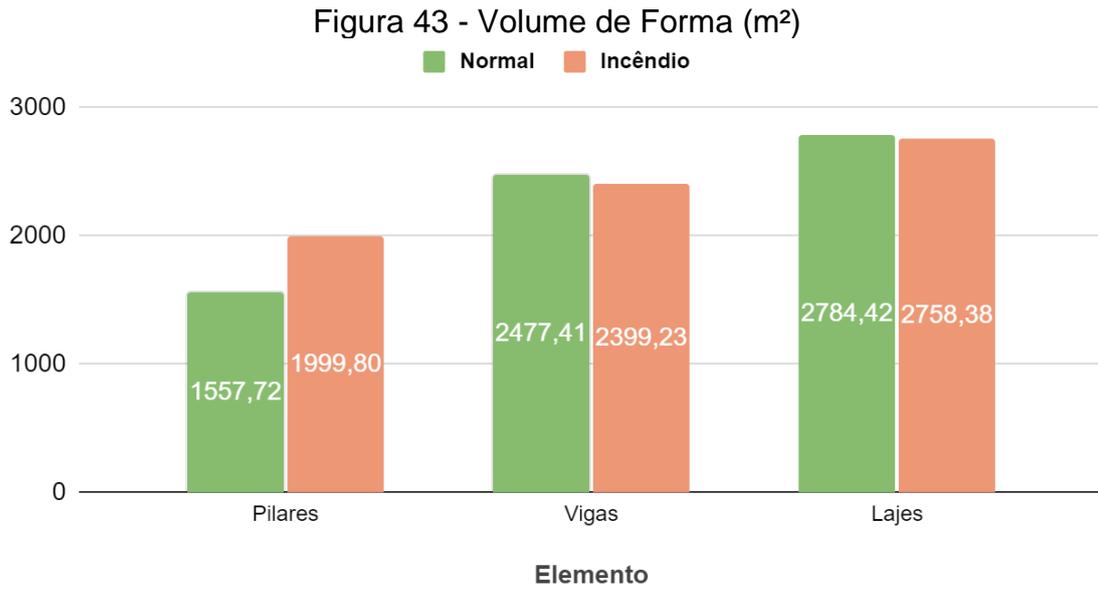
Fonte: Autora (2023)

Quanto ao volume de concreto, teve-se um acréscimo de 107,90 metros cúbicos, correspondendo a um aumento de 16,9%, visto na Figura 43.

Figura 43 - Volume de Concreto (m³)

Fonte: Autora (2023)

Também, para o volume de formas, medido em metros quadrados, teve um aumento de 337,86 metros quadrados, representando um acréscimo de 4,95%, conforme Figura 43.



Fonte: Autora (2023)

Após os ajustes realizados para o aumento das seções nos pilares, resultaram na conformidade com os requisitos de segurança estrutural em situações de incêndio, conforme estabelecidos pela norma ABNT NBR 15200:2012. A análise e verificação efetuadas por meio do *software* CAD/TQS V23 garantem que a edificação em estudo atende a todas as exigências, garantindo a integridade e segurança estrutural.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo propôs pesquisar as diferenças nos requisitos de materiais e dimensionamento para estruturas em condições normais e em situações de incêndio, seguindo os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2014 e pela ABNT NBR 15200:2012, respectivamente, através do *software* CAD/TQS V23. Desse modo, a análise disso pode apresentar divergências nos quantitativos de materiais e de dimensionamento.

Portanto, os resultados obtidos mostram que, enquanto as lajes e vigas, verificadas pelo método tabular, atenderam satisfatoriamente ao tempo de resistência ao fogo de 60 minutos em todos os pavimentos, alguns pilares não cumpriram com esse requisito, sendo necessário um redimensionamento estrutural para garantir a segurança em situações de incêndio.

Quando verificado para incêndio pelo método analítico, alguns pilares localizados nos pavimentos 5, 6 e cobertura, não atenderam ao TRRF de 60 minutos, requerendo um aumento significativo nas seções dos pilares para alcançar o tempo de resistência ao fogo desejado. Esta solução, embora técnica, destaca a complexidade e a importância de projetar estruturas que não apenas resistam às cargas normais, mas também mantenham sua integridade em cenários adversos, como incêndios.

Um dos mais preocupantes resultados, são os encontrados nos pilares 14, 15, 38 e 39, tendo um aumento substancial acima de 800%, assim, tornando inviável a concepção estrutural, visto que seu tamanho interfere nas fundações, no arquetônico e na execução dos mesmos.

O aumento, principalmente dos quantitativos de materiais foi bem significativo, podendo resultar até em aumento no custo da obra. Além disso, a carga suportada pelos pilares também aumenta devido ao aumento da temperatura. Salientando que, a solução técnica de aumento na seção dos pilares foi em decorrência da escolha dentre as soluções disponibilizadas pelo programa TQS, visto que há outras medidas cabíveis que podem ser tomadas para a verificação de incêndio, como revestimentos e pinturas.

Concluindo que, considerando um edifício, onde os parâmetros usados sejam iguais ou parecidos ao utilizado no projeto, há uma mudança significativa de materiais e dimensionamento, quando este é verificado para incêndio após ter sido calculado

pela ABNT NR 6118:2014. Somente através de uma análise cuidadosa, considerando todos os cenários possíveis, pode-se garantir que as estruturas estejam verdadeiramente preparadas para enfrentar os desafios do mundo real, inclusive em situações tão críticas quanto incêndios.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de contribuir para o avanço do conhecimento na área da verificação estrutural em situações de incêndio, considerando o presente estudo, proponho algumas sugestões para pesquisas futuras que possam aprofundar a compreensão desse tema.

- a) análise técnica do aumento na seção dos pilares: recomenda-se buscar soluções que minimizem o aumento excessivo nas seções dos pilares, por meio de ajustes na posição dos elementos estruturais e na seleção de materiais.
- b) verificação para incêndio pelo Método Tabular: sugere-se a realização de verificações para incêndio dos pilares utilizando o método tabular como uma abordagem complementar ao método analítico. Isso permitiria uma comparação detalhada entre os resultados obtidos por meio dessas duas metodologias.

REFERÊNCIAS

ABECE, Associação Brasileira Engenharia Consultoria Estrutural. Tópicos para o projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. 2021. vídeo (116 min). Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=16nIrY_KOs0>. Acesso em: 28 fevereiro 2023.

ALVAREZ, Eduardo D.; MONCADA, Jaime A. O incêndio do supermercado Ycuá Bolanos. **NFPA Journal Latinoamericano – A revista da National Fire Protection Association**. 2004. Disponível em: <https://www.nfpajla.org/pt/arquivos/lugares-de-reunioes-publicas-discotecas/986-el-incendio-del-supermercado-ycua-bolanos>. Acesso em: 05 de abril de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432**: exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200**: projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

BASTOS, Paulo Sérgio. **Flexão composta e pilares de concreto armado**. Estruturas de Concreto II. UNESP – Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2021.

CALDAS, Rodrigo Barreto. **Análise numérica de estruturas de aço, concreto e mistas em situação de incêndio**. 2008. 226 f. Tese (Doutorado em Engenharia Estrutural) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2008.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 1988.

CEZARIO, Nicole Schwantes. **Sistemas Estruturais I**. ed. Editora e Distribuidora Educacional S.A. Londrina, 2019. 192 p.

COSTA, Carla Neves; FIGUEIREDO, Antônio Domingues de; SILVA, Valdir Pignatta. **Aspectos Tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas**. In. Nutau. São Paulo, 2002.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (CBMRS). **Estruturas de concreto armado: Danos**. Sisbom Msci. Disponível em: <https://www.bombeiros.rs.gov.br/sisbom-msci>. Acesso em: 8 abril 2023.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (CBMRS). **Regulamentação da Lei Complementar nº 14.376**. DECRETO Nº 51.803. Porto Alegre: Secretaria da Segurança Pública, 2014.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (CBMRS). **Saídas de Emergência - Parte 01**. RESOLUÇÃO TÉCNICA Nº 11. Porto Alegre: Secretaria da Segurança Pública, 2016.

CORPO DE BOMBEIROS – POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). **Compartimentação horizontal e compartimentação vertical**. INSTRUÇÃO TÉCNICA (IT 09/11). São Paulo: Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2011.

CORPO DE BOMBEIROS – POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). **Segurança Estrutural contra incêndios**. INSTRUÇÃO TÉCNICA (IT 08/19). São Paulo: Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2019.

COSTA, Carla Neves; ONO, Rosaria; SILVA, Valdir Pignatta e. A Importância da Compartimentação e suas Implicações no Dimensionamento das Estruturas de Concreto para Situação de Incêndio. 47º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2005, 2005, Recife, PE. **[Anais]**. Disponível em: www.researchgate.net/publication/340682308_A_importancia_da_compartimentacao_e_suas_implicacoes_no_dimensionamento_das_estruturas_de_concreto_para_situacao_de_incendio. Acesso em: 3 abril 2023.

COSTA, Carla Neves; SILVA, Valdir Pignatta e. **Estruturas de concreto armado em situação de incêndio**. 2002. In: XXX Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Universidade de Brasília – UnB. Brasília – DF, 2002.

COSTA, Carla Neves; SILVA, Valdir Pignatta. Revisão histórica das curvas padronizadas de incêndio. SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU, Inovações tecnológicas e sustentabilidade, 2006, São Paulo. **[Anais]**. Disponível em: www.researchgate.net/publication/340682840_Revisao_historica_das_curvas_padronizadas_de_incendio. Acesso em: 3 abril 2023.

CRISPIN, Honório Assis Filho; CRISPIN, Calvin Mariano Rêgo. Análise de estruturas de concreto armado em situação de incêndio: um insight. **Revista da Arquitetura: Cidade e Habitação**, [s. l.], v. 1, n. 1, jan./jun. 2021. Disponível em: <https://www.uhumanas.uniceub.br/ra/article/viewFile/7012/pdf>. Acesso em: 02 abril 2023.

FELIPE, T. R. C. **Novo método para a avaliação do risco de colapso progressivo em edifícios de alvenaria estrutural**. 2017. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017
GLOBO, Memória. **Incêndio no edifício Andraus**. Disponível em: <https://memoriaglobo.globo.com/jornalismo/coberturas/incendio-no-edificio-andraus/noticia/incendio-no-edificio-andraus.ghtml> . Acesso em: 08 abril 2023.

JUNIOR, Abel Batista Camillo. **Manual de Prevenção e Combate a Incêndios**. 16ªed; ed, Senac, São Paulo; março de 2022.

LARANJEIRAS, Antonio C.R. **Colapso progressivo dos edifícios – breve introdução**. Artigo para TQS, News, 2011.

PACHECO, Jessika; COUTO, D.; HELENE, Paulo. **Colapso do edifício Wilton Paes de Almeida: Lições aprendidas**. 2019.XV Congresso Latinoamericano de Patologia de Construção e XVII Congresso de Controle de Calamidade na construção, CONPAT. Vol.2. México. 2019.

PIGNATTA, Valdir. **Considerações sobre as Normas Brasileiras de Estruturas em Situação de Incêndio**. 2007. Revista Incêndio nº 46.2007.

PINHEIRO, Libânio M; MUZARDO, Cassiane D; SANTOS, Sandro P. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. 2003. Universidade Estadual de Campinas. São Paulo. 2003.

ROCHA, Rochanna Alves. **Efeito da Alta temperatura em Concretos: uma revisão da literatura**. InterScientia, v. 6, n. 1, 2008. Disponível em: periodicos.unipe.br/index.php/interscientia/article/view/726. Acesso em: 10 abril 2023.

SEITO, Alexandre Itiu et al. A Segurança Contra Incêndios no Brasil. **Projeto Editora**. São Paulo, 2008. Disponível em: https://portalclubedeengenharia.org.br/wp-content/uploads/2018/12/Livro-a_seguranca_contra_incendio_no_brasil-1-Robson-Barradas-1.pdf. Acesso em: 3 abril 2023.

SILVA, Valdir Pignatta. **Projeto de estruturas de Concreto em Situação de Incêndio: Conforme ABNT NBR 15200:2012**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2012.237 p.

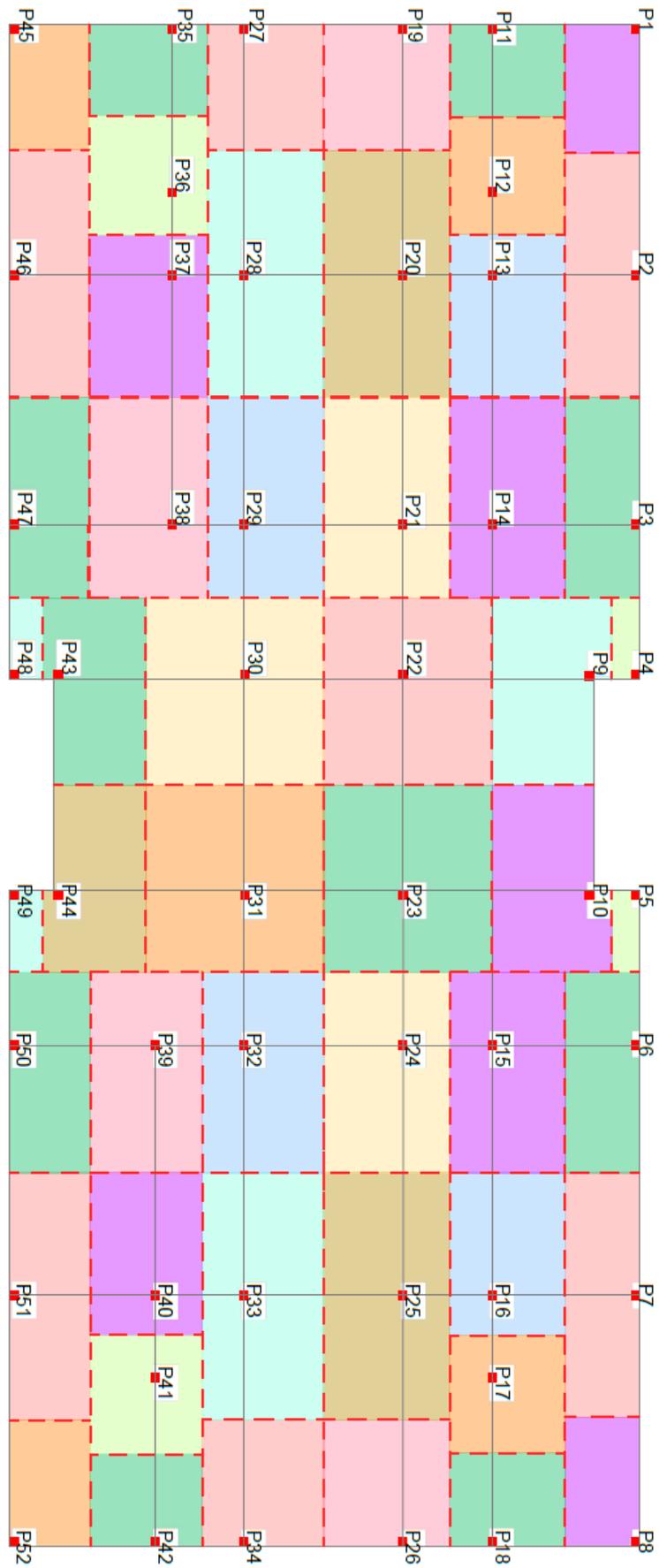
TQS Informática Ltda. **Manual de Migração: versão 15**. São Paulo, 2009. 91 pgs.

VENTURA, Mauro. **O espetáculo mais triste da terra o incêndio do Gran Circo Norte-americano**. 1. ed. Companhia das Letras. 2011. 352 pgs.

WOBETO, Samara; MANGANELI, Tayline Alves. **A Kiss Antes do Incêndio**. Revista Arco: Jornalismo científico e cultural. Santa Maria, 2021. Disponível em: www.ufsm.br/midias/arco/a-kiss-antes-do-incendio. Acesso em: 10 abril 2023.

ZABEU, Leandro José Lopes; JACINTHO, Ana Elisabete P.G. **Comportamento de Estruturas de Concreto de Edifícios Industriais Compartimentados Submetidos à Situação de Incêndio**. Zigurat Global Institute of Technology. Janeiro de 2021.

APÊNDICE A – ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS PILARES



Fonte: Autora (2023)

APÊNDICE B – PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PILARES

PILAR	Área (m ²)	Largura (cm)	Altura (cm)
P1	5,85	19	20
P2	11,13	19	40
P3	9,14	19	40
P4	1,34	19	20
P5	1,34	19	20
P6	9,14	19	40
P7	11,13	19	40
P8	5,85	19	20
P9	12,51	19	50
P10	12,51	19	50
P11	6,55	19	40
P12	8,30	19	40
P13	11,48	19	40
P14	14,98	19	50
P15	14,98	19	50
P16	11,48	19	40
P17	8,30	19	40
P18	6,55	19	40
P19	9,74	19	40
P20	19,07	19	75
P21	15,48	19	60
P22	19,33	19	75
P23	19,33	19	75
P24	15,48	19	60
P25	19,07	19	75
P26	9,74	19	40
P27	8,97	19	40
P28	19,07	19	75
P29	15,48	19	60
P30	19,33	19	75
P31	19,33	19	75
P32	15,48	19	60
P33	19,07	19	75
P34	8,97	19	40
P35	6,6	19	40
P36	8,30	19	40
P37	11,48	19	50
P38	14,98	19	50
P39	14,98	19	50
P40	11,48	19	40
P41	8,30	19	40

P42	6,6	19	40
P43	12,51	19	50
P44	12,51	19	50
P45	5,85	19	20
P46	11,13	19	40
P47	9,14	19	40
P48	1,34	19	20
P49	1,34	19	20
P50	9,14	19	40
P51	11,13	19	40
P52	5,85	19	20

Fonte: Autora (2023)

APÊNDICE C – PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE VIGAS

Viga	L= Maior vão (m)	Largura (cm)	Altura (cm)
V1	5,99	19	60
V2	5,52	19	60
V3	5,99	19	60
V4	5,99	19	60
V5	5,99	19	60
V6	5,99	19	60
V7	5,52	19	60
V8	5,99	19	60
V9	5,99	19	60
V10	5,99	19	60
V11	5,99	19	60
V12	5,52	19	60
V13	5,99	19	60
V14	5,99	19	60
V15	5,99	19	60
V16	5,52	19	60
V17	5,99	19	60
V18	5,99	19	60
V19	3,57	19	40
V20	3,38	19	40
V21	3,38	19	40
V22	3,38	19	40
V23	2,03	19	20
V24	2,03	19	40
V25	3,38	19	40
V26	3,38	19	40
V27	3,38	19	40
V28	4,57	19	60
V29	4,57	19	60
V30	4,57	19	60
V31	4,57	19	60
V32	5,26	19	40
V33	5,26	19	40
V34	3,57	19	40
V35	3,57	19	20
V36	3,38	19	40
V37	3,38	19	40
V38	3,38	19	40
V39	2,03	19	40

Fonte: Autora (2023)

APÊNDICE D – RELATÓRIO DA VERIFICAÇÃO DE INCÊNDIO DO PAVIMENTO 5

Legenda – Tabela de Vigas

- Tipo: biapoiada ou contínua
- b: largura da seção transversal (mm)
- c_1 : Distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm)

Legenda - Tabela de lajes

- Tipo: apoiada em vigas, lisa ou cogumelo, nervurada biapoiada ou nervurada contínua

- Dir. A_s : armada em uma direção ou em duas
- L_y/L_x : relação entre as dimensões em planta
- h: altura total da laje (mm)
- c_1 : distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm)
- b: largura da nervura (mm)
- h_c : altura da capa (mm)

Legenda - Tabela de pilares

- Tipo: comum, pilar-parede ou tirante
- N_{Sdi}/N_{Rd} : relação entre a força solicitante de cálculo em situação de incêndio (t_f) e a força resistente de cálculo em situação normal (t_f)
- N_{FE} : número de faces expostas ao fogo
- e: excentricidade (mm)
- A_s/A_c : taxa geométrica de armadura
- w: taxa mecânica de armadura
- n_i : força normal adimensional
- l_e : pé-direito (m)
- $l_{e,fi}$: comprimento efetivo em incêndio (m)
- NB: número total de barras de armaduras
- b x h: menor e maior dimensão do pilar (mm)
- c_1 : distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm)
- TRF: Tempo de resistência ao fogo
- TRRF: Tempo requerido de resistência ao fogo = 60 min
- Situação: $TRF > TRRF^*$ significa que embora o tempo de resistência (TRF)

seja superior à requerida (TRRF), há algum parâmetro fora dos limites normativos.
TRF expresso em min

Vigas					
Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V501	Contínua	1	190	39	ok
		2	190	39	ok
		3	190	41	ok
V502	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	41	ok
		3	190	41	ok
V503	Contínua	1	240	41	ok
V504	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	39	ok
V505	Contínua	1	190	39	ok
		2	190	41	ok
V506	Contínua	1	190	39	ok
		2	190	41	ok
		3	190	41	ok
V507	Contínua	1	190	39	ok
V508	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	41	ok
		3	190	41	ok
V509	Contínua	1	190	39	ok
		2	190	41	ok
V510	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	39	ok
V511	Contínua	1	190	39	ok
		2	190	41	ok
		3	190	41	ok
V512	Contínua	1	190	39	ok
V513	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	41	ok
		3	190	41	ok
V514	Contínua	1	190	41	ok

		2	190	39	ok
V515	Contínua	1	190	39	ok
		2	190	41	ok
V516	Contínua	1	240	41	ok
V517	Contínua	1	190	39	ok
		2	190	39	ok
		3	190	41	ok
V518	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	41	ok
		3	190	41	ok
V519	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	41	ok
		3	190	41	ok
		4	190	41	ok
		5	190	41	ok
V520	Contínua	1	190	39	ok
		2	190	41	ok
V521	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	39	ok
V522	Contínua	1	190	41	ok
V523	Contínua	1	190	43	ok
V524	Contínua	1	190	41	ok
V525	Contínua	1	190	39	ok
V526	Contínua	1	190	39	ok
V527	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	41	ok
		3	190	41	ok
		4	190	41	ok
		5	190	41	ok
V528	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	41	ok
V529	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	41	ok
V530	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	41	ok

V531	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	41	ok
V532	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	41	ok
		3	190	41	ok
		4	190	41	ok
		5	190	41	ok
V533	Contínua	1	190	39	ok
V534	Contínua	1	190	39	ok
V535	Contínua	1	190	41	ok
V536	Contínua	1	190	43	ok
V537	Contínua	1	190	41	ok
V538	Contínua	1	190	39	ok
		2	190	41	ok
V539	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	39	ok
V540	Contínua	1	190	41	ok
		2	190	41	ok
		3	190	41	ok
		4	190	41	ok
		5	190	41	ok

LAJES						
Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	Situação
L1	Apoiada	2 dir.	1,4	100	25	OK
L2	Apoiada	2 dir.	1,7	100	25	OK
L3	Apoiada	2 dir.	1,1	100	25	OK
L4	Apoiada	2 dir.	1,4	100	25	OK
L5	Apoiada	1 dir.	4	100	25	OK
L6	Apoiada	1 dir.	3,5	100	25	OK
L7	Apoiada	1 dir.	3,5	100	25	OK
L8	Apoiada	1 dir.	3,5	100	25	OK
L9	Apoiada	1 dir.	3,5	100	25	OK
L10	Apoiada	2 dir.	1,4	100	25	OK
L11	Apoiada	1 dir.	4	100	25	OK

L12	Apoiada	2 dir.	1,7	100	25	OK
L13	Apoiada	2 dir.	1,1	100	25	OK
L14	Apoiada	2 dir.	1,4	100	25	OK
L15	Apoiada	2 dir.	1,5	100	25	OK
L16	Apoiada	2 dir.	1,5	100	25	OK
L17	Apoiada	2 dir.	1,3	100	25	OK
L18	Apoiada	2 dir.	1,1	100	25	OK
L19	Apoiada	2 dir.	1,7	100	25	OK
L20	Apoiada	2 dir.	1,4	100	25	OK
L21	Apoiada	1 dir.	4	100	25	OK
L22	Apoiada	1 dir.	3,5	100	25	OK
L23	Apoiada	1 dir.	3,5	100	25	OK
L24	Apoiada	1 dir.	3,5	100	25	OK
L25	Apoiada	1 dir.	3,5	100	25	OK
L26	Apoiada	2 dir.	1,5	100	25	OK
L27	Apoiada	2 dir.	1,3	100	25	OK
L28	Apoiada	1 dir.	4	100	25	OK
L29	Apoiada	2 dir.	1,1	100	25	OK
L30	Apoiada	2 dir.	1,7	100	25	OK
L31	Apoiada	2 dir.	1,4	100	25	OK
L32	Apoiada	2 dir.	1,5	100	25	OK
L33	Apoiada	1 dir.	3,5	100	25	OK

PILARES													
Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	$15.26/121.31 = 0.13$	2	19	0,006	0,151	0,14	2,8	1,4	6	190x400	40	OK, TRF=192
P2	Pilar	$38.10/379.49 = 0.10$	2	1	0,004	0,106	0,12	2,8	1,4	8	250x900	42	OK, TRF=220
P3	Pilar	$32.00/371.86 = 0.09$	2	21	0,004	0,106	0,1	2,8	1,4	8	250x900	42	OK, TRF=223
P4	Pilar	$4.28/69.66 = 0.06$	2	7	0,008	0,201	0,07	2,8	1,4	4	190x200	40	OK, TRF=171
P5	Pilar	$4.23/69.66 = 0.06$	2	7	0,008	0,201	0,07	2,8	1,4	4	190x200	40	OK, TRF=171
P6	Pilar	$31.90/371.86 = 0.09$	2	21	0,004	0,106	0,1	2,8	1,4	8	250x900	42	OK, TRF=223
P7	Pilar	$38.42/379.49 = 0.10$	2	2	0,004	0,106	0,12	2,8	1,4	8	250x900	42	OK, TRF=220
P8	Pilar	$15.17/121.61 = 0.12$	2	17	0,006	0,151	0,14	2,8	1,4	6	190x400	40	OK, TRF=192

P9	Pilar	$16.81/157.62 = 0.11$	2	9	0,005	0,121	0,13	2,8	1,4	6	190x500	40	OK, TRF=195
P10	Pilar	$16.81/157.51 = 0.11$	2	9	0,005	0,121	0,13	2,8	1,4	6	190x500	40	OK, TRF=195
P11	Pilar	$11.92/128.63 = 0.09$	2	16	0,006	0,151	0,11	2,8	1,4	6	190x400	40	OK, TRF=198
P12	Pilar	$18.72/129.24 = 0.14$	2	7	0,006	0,151	0,17	2,8	1,4	6	190x400	40	OK, TRF=188
P13	Pilar	$25.04/154.57 = 0.16$	2	5	0,005	0,121	0,19	2,8	1,4	6	190x500	40	OK, TRF=185
P14	Pilar	$23.10/244.29 = 0.09$	2	37	0,004	0,099	0,11	2,8	1,4	8	220x700	40	TRF>TRRF*, TRF=205
P15	Pilar	$23.06/244.29 = 0.09$	2	38	0,004	0,099	0,11	2,8	1,4	8	220x700	40	TRF>TRRF*, TRF=205
P16	Pilar	$24.99/154.57 = 0.16$	2	5	0,005	0,121	0,19	2,8	1,4	6	190x500	40	OK, TRF=185
P17	Pilar	$19.34/128.94 = 0.15$	2	8	0,006	0,151	0,18	2,8	1,4	6	190x400	40	OK, TRF=187
P18	Pilar	$11.70/128.82 = 0.09$	2	15	0,006	0,151	0,11	2,8	1,4	6	190x400	40	OK, TRF=198
P19	Pilar	$32.07/323.26 = 0.10$	2	18	0,004	0,097	0,12	2,8	1,4	10	220x900	40	OK, TRF=204
P20	Pilar	$31.83/323.83 = 0.10$	2	17	0,004	0,097	0,12	2,8	1,4	10	220x900	40	OK, TRF=204
P21	Pilar	$26.47/148.77 = 0.18$	2	16	0,005	0,121	0,2	2,8	1,4	6	190x500	40	OK, TRF=182
P22	Pilar	$32.50/252.84 = 0.13$	2	12	0,004	0,099	0,15	2,8	1,4	8	220x700	40	OK, TRF=198
P23	Pilar	$32.58/252.72 = 0.13$	2	12	0,004	0,099	0,15	2,8	1,4	8	220x700	40	OK, TRF=198
P24	Pilar	$26.31/148.96 = 0.18$	2	16	0,005	0,121	0,2	2,8	1,4	6	190x500	40	OK, TRF=182
P25	Pilar	$45.00/373.08 = 0.12$	2	10	0,004	0,106	0,14	2,8	1,4	8	250x900	42	OK, TRF=216
P26	Pilar	$45.20/372.96 = 0.12$	2	10	0,004	0,106	0,15	2,8	1,4	8	250x900	42	OK, TRF=216
P27	Pilar	$45.19/373.08 = 0.12$	2	9	0,004	0,106	0,15	2,8	1,4	8	250x900	42	OK, TRF=216
P28	Pilar	$45.26/372.77 = 0.12$	2	10	0,004	0,106	0,15	2,8	1,4	8	250x900	42	OK, TRF=216
P29	Pilar	$26.99/148.77 = 0.18$	2	15	0,005	0,121	0,2	2,8	1,4	6	190x500	40	OK, TRF=182
P30	Pilar	$32.61/252.46 = 0.13$	2	13	0,004	0,099	0,15	2,8	1,4	8	220x700	40	OK, TRF=198
P31	Pilar	$32.61/252.15 = 0.13$	2	13	0,004	0,099	0,15	2,8	1,4	8	220x700	40	OK, TRF=198
P32	Pilar	$27.08/148.93 = 0.18$	2	15	0,005	0,121	0,2	2,8	1,4	6	190x500	40	OK, TRF=181
P33	Pilar	$28.15/329.61 = 0.09$	2	7	0,004	0,097	0,1	2,8	1,4	10	220x900	40	OK, TRF=206
P34	Pilar	$28.03/329.74 = 0.08$	2	6	0,004	0,097	0,1	2,8	1,4	10	220x900	40	OK, TRF=207

P35	Pilar	$14.12/128.86 = 0.11$	2	13	0,006	0,151	0,13	2,8	1,4	6	190x400	40	OK, TRF=195
P36	Pilar	$18.63/129.24 = 0.14$	2	7	0,006	0,151	0,17	2,8	1,4	6	190x400	40	OK, TRF=188
P37	Pilar	$24.99/154.57 = 0.16$	2	5	0,005	0,121	0,19	2,8	1,4	6	190x500	40	OK, TRF=185
P38	Pilar	$23.03/244.29 = 0.09$	2	38	0,004	0,099	0,11	2,8	1,4	8	220x700	40	TRF>TRRF*, TRF=205
P39	Pilar	$23.01/244.46 = 0.09$	2	38	0,004	0,099	0,11	2,8	1,4	8	220x700	40	TRF>TRRF*, TRF=205
P40	Pilar	$24.89/154.57 = 0.16$	2	5	0,005	0,121	0,19	2,8	1,4	6	190x500	40	OK, TRF=185
P41	Pilar	$19.33/129.09 = 0.15$	2	7	0,006	0,151	0,18	2,8	1,4	6	190x400	40	OK, TRF=187
P42	Pilar	$12.42/128.94 = 0.10$	2	14	0,006	0,151	0,11	2,8	1,4	6	190x400	40	OK, TRF=197
P43	Pilar	$16.81/157.55 = 0.11$	2	9	0,005	0,121	0,13	2,8	1,4	6	190x500	40	OK, TRF=195
P44	Pilar	$16.84/157.32 = 0.11$	2	9	0,005	0,121	0,13	2,8	1,4	6	190x500	40	OK, TRF=195
P45	Pilar	$16.28/121.31 = 0.13$	2	19	0,006	0,151	0,15	2,8	1,4	6	190x400	40	OK, TRF=190
P46	Pilar	$38.08/379.68 = 0.10$	2	1	0,004	0,106	0,12	2,8	1,4	8	250x900	42	OK, TRF=220
P47	Pilar	$32.07/371.86 = 0.09$	2	21	0,004	0,106	0,1	2,8	1,4	8	250x900	42	OK, TRF=223
P48	Pilar	$4.32/69.62 = 0.06$	2	8	0,008	0,201	0,08	2,8	1,4	4	190x200	40	OK, TRF=171
P49	Pilar	$4.25/69.62 = 0.06$	2	8	0,008	0,201	0,07	2,8	1,4	4	190x200	40	OK, TRF=171
P50	Pilar	$31.88/371.86 = 0.09$	2	21	0,004	0,106	0,1	2,8	1,4	8	250x900	42	OK, TRF=223
P51	Pilar	$38.38/379.68 = 0.10$	2	1	0,004	0,106	0,12	2,8	1,4	8	250x900	42	OK, TRF=220
P52	Pilar	$15.12/121.61 = 0.12$	2	18	0,006	0,151	0,14	2,8	1,4	6	190x400	40	OK, TRF=192

Fonte: CAD/TQS, 2023 – Adaptação autora (2023)

ANEXO A - TABELA DOS TEMPOS REQUERIDOS DE RESISTÊNCIA AO FOGO

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Profundidade do subsolo h_s		Altura da edificação h							
			Classe S_2	Classe S_1	Classe P_1	Classe P_2	Classe P_3	Classe P_4	Classe P_5	Classe P_6	Classe P_7	Classe P_8
			$h_s > 10m$	$h_s \leq 10m$	$h \leq 6m$	$6m < h \leq 12m$	$12m < h \leq 23m$	$23m < h \leq 30m$	$30m < h \leq 80m$	$80m < h \leq 120m$	$120m < h \leq 150m$	$150m < h \leq 250m$
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
C	Comercial varejista	C-1	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180
		C-2 e C-3	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-4	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
E	Educação e cultura física	E-1 a E-6	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6, F-8, F-10 e F-11	90	60	60	60	60	90	120	150	180	-
		F-3, F-4 e F-7	90	60	Ver item A.2.3.3.		30	60	60	90	120	-
		F-9	90	60	30	60	60	90	120	-	-	-
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60	30	30	30	30	60	120	120	150
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 e H-4	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
		H-2, H-3, H-5 e H-6	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
I	Industrial	I-1	90	60	30	30	30	60	120	-	-	-
		I-2	120	90	30	30	60	90	120	-	-	-
		I-3	120	90	60	60	90	120	120	-	-	-
J	Depósitos	J-1	60	30	Ver item A.2.3.4.		30	30	60	-	-	-
		J-2	90	60	60	60	60	60	60	-	-	-
		J-3	90	60	60	60	60	120	120	-	-	-
		J-4	120	90	60	60	90	120	120	-	-	-
L	Explosivos	L-1, L-2 e L-3	120	120	120	-	-	-	-	-	-	
M	Especial	M-1	150	150	150	-	-	-	-	-	-	
		M-2	-	-	120	120	-	-	-	-	-	
		M-5	120	90	60	60	90	120	120	-	-	
		M-3	120	90	90	90	120	120	120	150	-	
K	Energia	K-1	120	90	90	90	120	120	120	150	-	

NOTAS:

- 1) Casos não enquadrados serão definidos pelo SSCI do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo;
- 2) O TRRF dos subsolos e sobressolos não pode ser inferior ao TRRF dos pavimentos situados acima do solo (ver item 5.12);
- 3) Para indústria ou depósito com inflamáveis, considerar I-3 e J-4, respectivamente.

Fonte: IT CBPMESP nº08:2019

ANEXO B - CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES QUANTO À OCUPAÇÃO

Grupo	Ocupação/Usos	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitação unifamiliar	Casas térreas ou assobradadas (isoladas e não isoladas) e condomínios horizontais
		A-2	Habitação multifamiliar	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, vestiários, mosteiros, conventos, residências geriátricas. Capacidade máxima de 16 leitos
B	Serviço de Hospedagem	B-1	Hotel e assemelhado	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, pousadas, albergues, casas de cômodos, divisão A-3 com mais de 16 leitos
		B-2	Hotel residencial	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se <i>apart-hotéis</i> , <i>flats</i> , hotéis residenciais)
C	Comercial	C-1	Comércio com baixa carga de incêndio	Artigos de metal, louças, artigos hospitalares e outros
		C-2	Comércio com média e alta carga de incêndio	Edifícios de lojas de departamentos, magazines, armazéns, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e outros
		C-3	<i>Shopping centers</i>	Centro de compras em geral (<i>shopping centers</i>)
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1	Local para prestação de serviço profissional ou condução de negócios	Escritórios administrativos ou técnicos, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), repartições públicas, cabeleireiros, centros profissionais e assemelhados
		D-2	Agência bancária	Agências bancárias e assemelhados
		D-3	Serviço de reparação (exceto os classificados em G-4)	Lavanderias, assistência técnica, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros
		D-4	Laboratório	Laboratórios de análises clínicas sem internação, laboratórios químicos, fotográficos e assemelhados
		D-5	Teleatendimento em geral	“Call-center”; televentas e assemelhados
E	Educativa e cultura física	E-1	Escola em geral	Escolas de primeiro, segundo e terceiro graus, cursos supletivos e pré-universitário e assemelhados
		E-2	Escola especial	Escolas de artes e artesanato, de línguas, de cultura geral, de cultura estrangeira, escolas religiosas e assemelhados
		E-3	Espaço para cultura física	Locais de ensino e/ou práticas de artes marciais, natação, ginástica (artística, dança, musculação e outros) esportes coletivos (tênis, futebol e outros) que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de fisioterapia e assemelhados. Sem arquibancadas
		E-4	Centro de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral
		E-5	Pré-escola	Creches, escolas maternas, jardins de infância
		E-6	Escola para portadores de deficiências	Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e assemelhados

F	Locais de reunião de público	F-1	Local onde há objeto de valor inestimável	Museus, centro de documentos históricos, galerias de arte, bibliotecas e assemelhados
		F-2	Local religioso e velório	Igrejas, capelas, sinagogas, mesquitas, templos, cemitérios, crematórios, necrotérios, salas de funerais e assemelhados
		F-3	Centro esportivo e de exibição	Arenas em geral, estádios, ginásios, piscinas, rodeios, autódromos, sambódromos, pista de patinação e assemelhados. Todos com arquibancadas
		F-4	Estação e terminal de passageiro	Estações rodoferroviárias e marítimas, portos, metrô, aeroportos, heliponto, estações de transbordo em geral e assemelhados
		F-5	Arte cênica e auditório	Teatros em geral, cinemas, óperas, auditórios de estúdios de rádio e televisão, auditórios em geral e assemelhados
		F-6	Casas noturnas	Boates, casas de show, casas noturnas e salões de bailes, restaurantes dançantes
		F-7	Construção provisória e evento temporário	Eventos temporários, circos e assemelhados
		F-8	Local para refeição	Restaurantes, lanchonetes, bares, cafês, refeitórios, cantinas e assemelhados
		F-9	Recreação pública	Jardim zoológico, parques recreativos e assemelhados
		F-10	Exposição de objetos ou animais	Centros, salões e salas para feiras e exposições de objetos ou animais. Edificações permanentes
		F-11	Edificações de Caráter Regional	Centros de Tradições Gaúchas – CTG's
		F-12	Clubes sociais, comunitários e de diversão	Clubes comunitários e de diversão, Salões Paroquiais, Salões Comunitários, Clubes de Sócios, Clubes e salões exclusivos para festas de caráter familiar (casamentos, aniversários, festas infantis e similares), Sedes de entidades de classe. Clubes de bilhares, tiro ao alvo, boliche e assemelhados
G	Serviços automotivos e assemelhados	G-1	Garagem e estacionamento sem acesso de público e sem abastecimento	Garagens e estacionamentos automáticos, garagens e estacionamentos com manobristas
		G-2	Garagem e estacionamento com acesso de público e sem abastecimento	Garagens e estacionamentos coletivos sem automação e sem abastecimento (exceto veículos de carga e coletivos)
		G-3	Local dotado de abastecimento de combustível	Postos de abastecimento e serviço, garagens e estacionamentos (exceto veículos de carga e coletivos)
		G-4	Serviço de conservação, manutenção e reparos	Oficinas de conserto de veículos, borracharia (sem recauchutagem). Oficinas, garagens e estacionamentos de veículos de carga e coletivos, máquinas agrícolas e rodoviárias, retificadoras de motores
		G-5	Hangares	Abrigos para aeronaves com ou sem abastecimento
		G-6	Marinas, garagens e estacionamentos náuticos	Marinas, garagem e estacionamentos de barcos e assemelhados
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1	Hospital veterinário e assemelhados	Hospitais, clínicas e consultórios veterinários e assemelhados (inclui-se alojamento com ou sem adestramento)

		H-2	Local onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais	Asilos, orfanatos, abrigos geriátricos, hospitais psiquiátricos, reformatórios, tratamento de dependentes de drogas, álcool. E assemelhados. Todos sem celas
		H-3	Hospital e assemelhado	Hospitais, casa de saúde, prontos-socorros, clínicas com internação, ambulatórios e postos de atendimento de urgência, postos de saúde e puericultura e assemelhados com internação
		H-4	Edificações das forças armadas e de segurança pública	Quartéis, delegacias e assemelhados
		H-5	Local onde a liberdade das pessoas sofre restrições	Hospitais psiquiátricos, manicômios, reformatórios, prisões em geral (casa de detenção, penitenciárias, presídios) e instituições assemelhadas. Todos com celas
		H-6	Clínica e consultório médico e odontológico	Clínicas médicas, consultórios em geral, unidades de hemodiálise, ambulatórios e assemelhados. Todos sem internação
I	Industrial	I-1	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam baixo potencial de incêndio. Locais com carga de incêndio de até 300MJ/m ²	Atividades que utilizam pequenas quantidades de materiais combustíveis. Aço, aparelhos de rádio e som, armas, artigos de metal, gesso, esculturas de pedra, ferramentas, jóias, relógios, sabão, serralheria, suco de frutas, louças, máquinas
		I-2	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam médio potencial de incêndio. Locais com carga de incêndio acima de 300 até 1.200MJ/m ²	Artigos de vidro, automóveis, bebidas destiladas, instrumentos musicais, móveis, alimentos, marcenarias, fábricas de caixas
		I-3	Locais onde há alto risco de incêndio. Locais com carga de incêndio acima de 1.200MJ/m ²	Atividades industriais que envolvam inflamáveis, materiais oxidantes, ceras, espuma sintética, beneficiamento de grãos, tintas, borracha, processamento de lixo
J	Depósito	J-1	Depósitos de material incombustível	Edificações sem processo industrial que armazenam tijolos, pedras, areias, cal, cimentos, metais não pirofóricos e outros materiais incombustíveis. Todos sem embalagem
		J-2	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio até 300MJ/m ²
		J-3	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio acima de 300 até 1.200MJ/m ²
		J-4	Todo tipo de Depósito	Depósitos onde a carga de incêndio acima de 1.200MJ/m ²
L	Explosivo	L-1	Comércio	Comércio em geral de fogos de artifício e assemelhados
		L-2	Indústria	Indústria de material explosivo
		L-3	Depósito	Depósito de material explosivo
M	Especial	M-1	Túnel	Túnel rodoviário e marítimo, destinados a transporte de passageiros ou cargas diversas
		M-2	Líquido ou gás inflamáveis ou combustíveis	Edificação destinada a produção, manipulação, armazenamento e distribuição de líquidos ou gases inflamáveis ou combustíveis
		M-3	Central de comunicação	Central telefônica, centros e estações de comunicação e assemelhados
		M-4	Propriedade em transformação	Locais em construção, demolição, canteiros de obras e assemelhados

		M-5	Unidades de armazenamento e processamento de produtos agrícolas e insumos	Armazéns de grãos, silos e assemelhados, sem beneficiamento
		M-6	Central de energia	Geração, transmissão e distribuição de energia e assemelhados
		M-7	Pátio de contêineres	Área aberta destinada a armazenamento de contêineres

Fonte: CBMRS, 2014

ANEXO C - RELAÇÃO DO TRRF E ESPESSURA DA PAREDE

Paredes ensaiadas (*)		Características das paredes											Resultado dos ensaios				
		Traço em volume da argamassa do assentamento			Espessura média da argamassa de assentamento (cm)	Traço em volume de argamassa de revestimento					Espessura de argamassa de revestimento (cada face) (cm)	Espessura total da parede (cm)	Duração do ensaio (min)	Tempo de atendimento aos critérios de avaliação (horas)			Resistência ao fogo (horas)
						Chapisco		Emboço						Integridade	Estanqueidade	Isolação térmica	
		Cimento	Cal	Areia		Cimento	Areia	Cimento	Cal	Areia							
Parede de tijolos de barro cozido (dimensões nominais dos tijolos) 5 cm x 10 cm x 20 cm; Massa: 1,5 kg	Meio tijolo sem revestimento	-	1	5	1	-	-	-	-	-	-	10	120	≥ 2	≥ 2	1½	1½
	Um tijolo sem revestimento	-	1	5	1	-	-	-	-	-	-	20	395 (**)	≥ 6	≥ 6	≥ 6	≥ 6
	Meio tijolo com revestimento	-	1	5	1	1	3	1	2	9	2,5	15	300	≥ 4	≥ 4	4	4
	Um tijolo com revestimento	-	1	5	1	1	3	1	2	9	2,5	25	300 (**)	≥ 6	≥ 6	≥ 5	> 6
Parede de blocos vazados de concreto (2 furos) blocos com dimensões nominais: 14 cm x 19 cm x 39 cm e 19 cm x 19 cm x 39 cm; e massas de 13 kg e 17 kg respectivamente	Bloco de 14 cm sem revestimento	1	1	8	1	-	-	-	-	-	-	14	100	≥ 1½	≥ 1½	1½	1½
	Bloco de 19 cm sem revestimento	1	1	8	1	-	-	-	-	-	-	19	120	≥ 2	≥ 2	1½	1½
	Bloco de 14 cm com revestimento	1	1	8	1	1	3	1	2	9	1,5	17	150	≥ 2	≥ 2	2	2
	Bloco de 19 cm com revestimento	1	1	8	1	1	3	1	2	9	1,5	22	185	≥ 3	≥ 3	3	3
Paredes de tijolos cerâmicos de 8 furos (dimensões nominais dos tijolos 10 cm x 20 cm x 20 cm (massa 2,9 Kg)	Meio tijolo com revestimento	-	1	4	1	1	3	1	2	9	1,5	13	150	≥ 2	≥ 2	2	2
	Um tijolo com revestimento	-	1	4	1	1	3	1	2	9	1,5	23	300 (**)	≥ 4	≥ 4	≥ 4	> 4
Paredes de concreto armado monolítico sem revestimento	Traço do concreto em volume, 1 cimento: 2,5 areia média: 3,5 agregado graúdo (granizo pedra nº 3): armadura simples posicionada à meia espessura das paredes, possuindo malha de lados 15 cm, de aço CA - 50A diâmetro ¼ polegada											11,5	150	2	2	1	1½
												16	210	3	3	3	3

(*) Paredes sem função estrutural ensaiadas totalmente vinculadas dentro da estrutura de concreto armado, com dimensões 2,8m x 2,8m totalmente expostas ao fogo (em uma face);

(**) Ensaio encerrado sem ocorrência de falência em nenhum dos 3 critérios de avaliação.

Fonte: CBMRS, 2014