



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

HUGO VINÍCIUS RIBEIRO QUEIROZ

**A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TEMPOS REQUERIDOS DE RESISTÊNCIA AO
FOGO NO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO**

Palmas/TO

2022

HUGO VINÍCIUS RIBEIRO QUEIROZ

A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TEMPOS REQUERIDOS DE RESISTÊNCIA AO FOGO
NO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas (TO), Curso de graduação em Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Júnior.

Palmas/TO

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

Q3i Queiroz, Hugo Vinícius Ribeiro.

A influência de diferentes tempos requeridos de resistência ao fogo no dimensionamento de uma estrutura de concreto armado. / Hugo Vinícius Ribeiro Queiroz – Palmas, TO, 2022.

112 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2022.

Orientador: Roldão Pimentel de Araújo Júnior

1. Concreto Armado. 2. Resistência ao Fogo. 3. Incêndio. 4. Análise Comparativa. I. Título

CDD 624

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

HUGO VINÍCIUS RIBEIRO QUEIROZ

A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TEMPOS REQUERIDOS DE RESISTÊNCIA AO FOGO
NO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas (TO), Curso de graduação em Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Júnior.

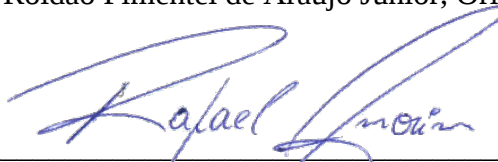
Data de Aprovação 06 / 07 / 22



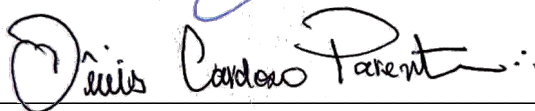
Banca Examinadora:

Prof. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Júnior
Matrícula 1783498
Eng. Civil/UFT

Prof. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Júnior, Orientador, UFT.



Prof. Me. Rafael Alves Amorim, Examinador, UFT.



Prof. Me. Dênis Cardoso Parente, Examinador, UFT.

*Dedico este trabalho a Deus, por estar
sempre conduzindo a minha vida.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre ao meu lado nos momentos bons e ruins, me ajudando a enfrentar todos os percalços que se apresentaram durante esses longos anos de graduação. À Virgem Maria, pelas bênçãos que foram alcançadas na minha vida graças a sua ação, e a São José, por ser um exemplo de trabalho e serviço nos dias comuns.

Aos meus pais, Valdira Ribeiro Jorge e Amarildo Pereira de Queiroz, por nunca medirem esforços para ver o meu sucesso e por terem sido a base da minha vida durante esse período. Aos meus irmãos, Vitor Luiz Ribeiro Queiroz e Maria Vitória Ribeiro Queiroz, pelo convívio e pela cumplicidade fraterna que sempre apresentaram.

Aos meus familiares, avó, tios e primos, por sempre reconhecerem o meu valor, e por me impulsionarem a chegar onde estou.

Aos meus amigos, em especial ao Matheus Moura de Oliveira, Leonardo Cunha Brasil, Weldisley Dias Martins, Bruna Macêdo Marra e Paula Gonçalves por tornarem os meus dias mais alegres. E, aos meus colegas de graduação, que facilitaram essa árdua jornada.

Ao Eng. Lucas Pacheco, por me auxiliar na produção dos resultados deste trabalho, pelo seu companheirismo e pela sua solicitude.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Júnior, que com todo o seu conhecimento e experiência me auxiliou de forma sublime na conclusão deste curso.

Aos professores examinadores, Me. Rafael Alves Amorim, Dra. Daniela Evaniki Pedroso e Me. Dênis Cardoso Parente, por todas as sugestões e auxílio para o melhor aperfeiçoamento deste trabalho.

A empresa TQS Informática LTDA, por disponibilizar o Software TQS Estruturas para a confecção da pesquisa.

Por fim, a todas as pessoas que diretamente ou indiretamente fizeram parte desse percurso que marcou a minha vida e me fez evoluir tanto.

RESUMO

Tendo em vista a capacidade de degradação dos incêndio nas estruturas de concreto armado, e, por consequência, no sistema econômico brasileiro, pesquisa-se sobre a influência de diferentes tempos requeridos de resistência ao fogo no dimensionamento de uma estrutura de concreto armado, a fim de ampliar o conhecimento científico nesta área realizando uma análise comparativa entre estruturas dimensionadas para três situações diferentes: sem as considerações de incêndio, para o tempo de resistência ao fogo mínimo de 30 minutos e de 120 minutos. Para tanto, é necessário comparar as dimensões, os esforços nas fundações e o quantitativo de materiais para esses três casos. Então, realiza-se através do software TQS a verificação de uma estrutura de referência para os dois tempos de submissão ao incêndio, os seus posteriores dimensionamentos e coleta dos dados. Diante disso, verifica-se que quanto maior o tempo de resistência dos elementos estruturais ao fogo maiores são as suas dimensões, o seu quantitativo de concreto e de fôrmas, isso também se mostra verdadeiro para o quantitativo de aço no tempo de 120 minutos, porém no tempo de 30 minutos existe um decréscimo desse último critério, e, quanto aos esforços transmitidos às fundações notou-se que houve uma redistribuição não padronizada desses valores. Assim, percebe-se que com o aumento do tempo requerido de resistência ao fogo considerado no dimensionamento de uma estrutura de concreto armado, a estrutura se torna mais robusta em relação às suas dimensões, apresenta maiores quantitativos de concreto e fôrmas, além de transmitir maiores esforços normais às fundações, porém no quantitativo de aço existe um decréscimo de valores no tempo de 30 minutos, atribuindo isso às maiores áreas de concreto dos pilares, e apesar de não se ter notado uma padronização na mudança dos esforços transmitidos às fundações, é possível notar a sua redistribuição.

Palavras-chave: Concreto Armado. Resistência ao Fogo. Incêndio. Análise Comparativa.

ABSTRACT

Considering the ability of fire to degrade in reinforced concrete structures, and, consequently, in the Brazilian economic system, research is carried out on the influence of different required times of fire resistance in the design of a reinforced concrete structure, in order to expand scientific knowledge in this area by carrying out a comparative analysis between structures designed for three different situations: without fire considerations, for a minimum fire resistance time of 30 minutes and 120 minutes. Therefore, it is necessary to compare the dimensions, the efforts in the foundations and the quantity of materials for these three cases. Then, through the TQS software, the verification of a reference structure for the two times of fire submission, the subsequent design and data collection is carried out. In view of this, it appears that the longer the resistance time of the structural elements to fire, the greater their dimensions, their quantity of concrete and forms, this is also true for the quantity of steel in the time of 120 minutes, however in the time of 30 minutes, there is a decrease in this last criterion, and, as for the efforts transmitted to the foundations, it was noted that there was a non-standardized redistribution of these values. Thus, it can be seen that with the increase in the required time of fire resistance considered in the design of a reinforced concrete structure, the structure becomes more robust in relation to its dimensions, presents greater amounts of concrete and forms, in addition to transmitting greater normal stresses to the foundations, however in the amount of steel there is a decrease of values in the time of 30 minutes, attributing this to the larger areas of concrete of the pillars, and despite not having noticed a standardization in the change of the forces transmitted to the foundations, it is possible note its redistribution.

Keywords: Reinforced Concrete. Fire resistance. Fire. Comparative Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tetraedro do fogo.....	21
Figura 2 - Curva temperatura-tempo de um incêndio.	22
Figura 3 - Curva de incêndio-padrão ISO 834.	26
Figura 4 – Distâncias de c_1 e c_{1L}	35
Figura 5 – Vista geral das lajes sobre vigas (planta de fôrma).....	41
Figura 6 – Planta baixa do 1º pavimento do projeto estrutural	43
Figura 7 – Fluxograma dos procedimentos da metodologia da pesquisa.	46
Figura 8 – Modelo tridimensional da estrutura desenvolvida para o estudo.	47
Figura 9 – Localização da construção.	48
Figura 10 - Planta de fôrma – pavimento “Térreo”.	56
Figura 11 - Planta de fôrma – pavimento “Tipo”.	56
Figura 12 - Planta de fôrma – pavimento “Pé Direito Duplo”.	57
Figura 13 - Planta de fôrma – pavimento “Platibanda”.	57
Figura 14 - Planta de fôrma – pavimento “Caixa d’água”.	58
Figura 15 - Representação das fôrmas das vigas.....	79
Gráfico 1 - Elementos não aprovados para TRRF de 30 minutos.	59
Gráfico 2 - Elementos não aprovados para TRRF de 120 minutos.	61
Gráfico 3 - Quantidade de pilares que não atenderam aos limites de excentricidade por pavimento no TRRF = 30 minutos.	63
Gráfico 4 - Quantidade de pilares que não atenderam aos limites de excentricidade por pavimento no TRRF = 120 minutos.	65
Gráfico 5 - Quantidade de elementos que sofreram alterações em relação à estrutura de referência.	66
Gráfico 6 – Esforços normais nas bases dos pilares (tf).....	69
Gráfico 7 – Momentos fletores na direção X na base dos pilares (tfm).	72
Gráfico 8 – Momentos fletores na direção Y na base dos pilares (tfm).	75
Gráfico 9 - Quantitativo de concreto para cada pavimento em m^3	77
Gráfico 10 - Quantitativo de fôrmas para cada pavimento em m^2	78

Gráfico 11 - Quantitativo de aço para cada pavimento em kg.	79
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – TRRF para os elementos do edifício estudado.	42
Tabela 2 – Pilares redimensionados.	43
Tabela 3 – Pré-dimensionamento de lajes treliçadas com blocos de EPS.	50
Tabela 4 - Pré-dimensionamento dos elementos estruturais.	55
Tabela 5 - Quantidade de pilares que apresentavam limitações por pavimento.	60
Tabela 6 – Esforços normais nas bases dos pilares (tf).	67
Tabela 7 – Momentos fletores na direção X na base dos pilares (tfm).	70
Tabela 8 – Momentos fletores na direção Y na base dos pilares (tfm).	73
Tabela 9 – Quantitativo total dos materiais para as três situações de projeto diferentes	80

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBMTO	Corpo de Bombeiros Militar do Tocantins
CERIB	Centro de Estudos e Pesquisa da Indústria de Concreto
EM	Norma Europeia
EPS	Poliestireno Expandido
ISB	Instituto Sprinkler Brasil
ISO	Organização Internacional de Padronização
NBR	Norma Brasileira
TRF	Tempo de Resistência ao Fogo
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo
UFT	Universidade Federal do Tocantins

LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
h_v	altura da viga;
$E_{c,\theta}$	módulo de elasticidade do concreto em temperaturas elevadas
E_c	módulo de elasticidade do concreto em temperatura ambiente
E_s	módulo de elasticidade do aço para temperatura ambiente
$L_{ef,fi}$	comprimento equivalente do pilar em situação de incêndio
L_v	comprimento do vão da viga
N_{Rd}	valor de cálculo da força normal resistente do pilar
$N_{Sd,fi}$	valor de cálculo da força axial em situação do incêndio
$R_{d,fi}$	valor de cálculo dos esforços resistentes reduzidos em função do aumento de temperatura
$S_{d,fi}$	valor de cálculo do esforço atuante
c_1	distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo
$f_{c,\theta}$	resistência característica do concreto na temperatura θ
f_{ck}	resistência característica do concreto à temperatura ambiente
$f_{y,k}$	resistência característica do aço em temperatura ambiente
$f_{y,\theta}$	resistência ao escoamento do aço em função da temperatura θ
$k_{ES,\theta}$	fator de redução do módulo de elasticidade do aço na temperatura θ
$k_{c,\theta}$	fator de redução da resistência do concreto na temperatura θ ;
$k_{cE,\theta}$	fator de redução do módulo de elasticidade do concreto em função da temperatura θ
$k_{s,\theta}$	fator de redução da resistência do aço em relação a temperatura θ
γ_c	coeficiente minoração do concreto
γ_z	gama z
h	maior dimensão da seção transversal do pilar
Kgf	quilograma-força
MPa	Mega Pascal
°C	Graus Celsius

T_f	tonelada-força
A_c	área da seção transversal do pilar
A_s	área total das armaduras;
b	menor dimensão da seção transversal do pilar
e	excentricidade de primeira ordem da força normal atuante em situação de incêndio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Problema de pesquisa.....	18
1.2 Hipóteses.....	18
1.3 Justificativa	19
1.4 Objetivos.....	19
1.4.1 Objetivo Geral	19
1.4.2 Objetivos Específicos	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 Incêndio	21
2.1.1 Transferência de calor	23
2.1.2 Curvas de incêndio padrão	24
2.1.2.1 <i>Curva de incêndio-padrão para edificações</i>	25
2.1.2.2 <i>Curva de incêndio-padrão externo</i>	26
2.2 Propriedades dos materiais em situação de incêndio	27
2.2.1 Propriedades mecânicas do concreto	27
2.2.1.1 <i>Resistência à compressão</i>	28
2.2.1.2 <i>Módulo de elasticidade</i>	29
2.2.2 Propriedades mecânicas do aço	29
2.2.2.1 <i>Resistência ao escoamento</i>	30
2.2.2.2 <i>Módulo de elasticidade</i>	30
2.3 Verificação de estruturas de concreto armado em situação de incêndio.....	31
2.3.1 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF).....	31
2.3.2 Ações e solicitações em situações de incêndio.....	32

2.3.3 Revestimentos.....	34
2.3.4 Verificação de vigas	34
2.3.5 Verificação de lajes	36
2.3.6 Verificação de pilares	36
2.3.6.1 Método tabular	37
2.3.6.2 Método analítico para pilares	37
2.3.6.3 Outros métodos internacionais para o dimensionamento de pilares.....	40
2.4 Estudos realizados na área.....	40
2.4.1 Fabienne Robert.....	40
2.4.2 Stéphanie de Souza Lima	42
2.4.3 Lorena Dantas Pinto	44
3 METODOLOGIA.....	45
3.1 Caracterização do objeto de estudo	47
3.1.1 Critérios do projeto estrutural.....	48
3.1.2 Cargas e solicitações do projeto estrutural	49
3.2 Dimensionamento da estrutura de concreto armado	49
3.3 Verificação dos elementos estruturais para situação de incêndio.....	51
3.4 Edição de critérios	53
3.5 Esforços nas fundações.....	53
3.6 Quantitativo de materiais	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1 Dimensionamento da estrutura sem considerações de incêndio	55
4.2 Verificação para o TRRF de 30 minutos.....	58
4.3 Verificação para o TRRF de 120 minutos.....	60
4.4 Dimensionamento da estrutura para o TRRF = 30 minutos	62

4.5 Dimensionamento da estrutura para o TRRF = 120 minutos	63
4.6 Análise comparativa das dimensões.....	65
4.7 Análise comparativa dos esforços transmitidos às fundações	67
4.8 Análise comparativa do quantitativo de materiais.....	76
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	82
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	83
ANEXOS	88
ANEXO A – VERIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS PARA TRRF = 30 MINUTOS	88
ANEXO B – VERIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS PARA TRRF = 120 MINUTOS	97
ANEXO C – COMPARAÇÃO DAS DIMENSÕES DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS PARA TRÊS SITUAÇÕES DIFERENTES.....	106

1 INTRODUÇÃO

Existem vários motivos que podem ocasionar um incêndio em um edifício. Segundo Côrrea (2017), os agentes causadores que induzem tal acontecimento podem fazer parte tanto de componentes residenciais quanto de uma infraestrutura inadequada, como a falta de manutenção em instalações elétricas, vazamento de gás dos botijões, má utilização dos eletrodomésticos ou de objetos inflamáveis, sendo assim, amplo o horizonte de possibilidades que podem suscitar os sinistros de incêndio. O que por sua vez, pode ocasionar verdadeiros desastres sociais, com mortes e destruição de patrimônio não só de particulares, mas também público.

Retratando a capacidade de danificação estrutural do fogo observa-se o incêndio ocorrido no ano de 1998 no terminal de passageiros no Aeroporto Santos Dumont, Rio de Janeiro, relatado por Battista *et al.* (2001), que teve uma duração relativamente prolongada, ocasionando redução na área transversal de alguns pilares através de desagregação e delaminação do concreto, provocando o colapso e ruptura de alguns destes elementos estruturais, além de deformações residuais excessivas em painéis de laje e pilaretes.

Nesse contexto, a grande capacidade de destruição em uma estrutura de concreto armado é notória, e conforme Silva e Moreira (2021), os grandes incêndios que ocorreram no passado influenciaram diretamente na redação e instauração de atos normativos e medidas de proteção que buscam diminuir a incidência desses acidentes e também o tempo de atuação do fogo.

No que se refere aos principais atos normativos referentes à prevenção contra incêndios, algumas normas destacam-se no âmbito do dimensionamento de estruturas em concreto armado, dentre elas a NBR 15200 (ABNT, 2012), que objetiva estabelecer critérios para os projetos de estruturas de concreto em situações de incêndio, além de demonstrar como devem ser desenvolvidas para o seu atendimento e a NBR 14432 (ABNT, 2000) que tem como desígnio determinar as exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos em edificações.

Portanto, vale destacar que, o estudo tem uma finalidade de apresentar-se como uma pesquisa básica estratégica, ampliando o conhecimento científico através de aplicações práticas no âmbito dos projetos de estruturas de concreto armado, tendo também o objetivo de ser uma atividade exploratória. E, ainda como características da metodologia proposta, tem-se uma

abordagem quantitativa através de um método hipotético-dedutivo com procedimentos de pesquisa documental e bibliográfica.

1.1 Problema de pesquisa

Aliado ao conhecimento científico já desenvolvido e às normas estabelecidas, o presente trabalho busca solucionar o questionamento de qual seria a influência da atuação de dois diferentes tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) em uma estrutura de concreto armado que será dimensionada inicialmente para atender as condições normais de temperatura. Ou seja, será analisado três diferentes situações de projeto, buscando entender como cada circunstância se apresenta no dimensionamento estrutural de uma edificação de habitação unifamiliar. Nesse sentido, também é válido a busca pelo conhecimento de como essas condições desiguais afetam nos esforços incidentes nas fundações e como cada caso pode influenciar no quantitativo de materiais fornecidos pelo projeto.

1.2 Hipóteses

Por conseguinte, pressupõe-se a hipótese de que quanto maior o tempo requerido de resistência ao fogo, maior a necessidade de as seções de concreto, seções de aço e cobrimento serem aumentadas, tendo em vista que, o fogo denigre com o passar do tempo a estrutura de concreto não apenas pela atuação do calor, mas também pela quantidade de fumaça inserida no elemento estrutural, além de que as tensões atuantes devido a dilatação das barras de aço aumentam devido a existência do gradiente de calor atuante entre a face externa e a parte interna da peça de concreto armado.

E, supõe-se também que, aumentando as seções dos elementos estruturais e seus respectivos cobrimentos, isso tornará a estrutura mais robusta, possuindo uma carga permanente maior, influenciando diretamente no aumento de esforços que atuam nas fundações, e, em um maior consumo de materiais.

1.3 Justificativa

Conforme Santos (2008), a grande maioria dos edifícios construídos no território brasileiro possuem uma configuração estrutural dimensionada em concreto armado, logo, tendo isso como base, pode-se observar a importância de manter essas estruturas seguras em casos de situações de incêndio, pois é a metodologia construtiva utilizada pela maior parte dos brasileiros.

No ano de 2020, o Instituto Sprinkler Brasil contabilizou um número de 1244 ocorrências de “incêndios estruturais”, que são os sinistros ocorridos em edifícios comerciais, industriais e educacionais, privados ou públicos, tendo um aumento de 44% relacionado ao ano anterior. Ainda segundo o ISB, durante a última década os estabelecimentos comerciais foram os que mais apresentaram ocorrências de incêndio, seguido pelos depósitos e indústrias. Cabe ressaltar que, os dados divulgados pelo instituto não abrangem os acidentes residenciais.

Dessa maneira, observa-se a grande influência dos incêndios no sistema econômico do país, tendo a necessidade da ampliação do conhecimento no dimensionamento estrutural em concreto armado para casos de incêndio nos edifícios construídos não somente em território nacional, mas também internacional. Assim, o trabalho contribuirá com a compreensão da relação entre o tempo e a atuação do fogo nas estruturas, auxiliando na prevenção de desastres.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Determinar qual a influência de dois diferentes tempos requeridos de resistência ao fogo (30 e 120 min.) no dimensionamento de uma estrutura térrea de concreto armado, realizando análises também na estrutura dimensionada sem as condições de incêndio, utilizando as ferramentas do software TQS.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Descrever o dimensionamento estrutural de concreto armado para casos de incêndio;
- Realizar e comparar o dimensionamento de uma estrutura térrea para três situações de projeto: sem considerações de incêndio, e para os tempos requeridos de resistência ao fogo iguais a 30 minutos e 120 minutos;
- Analisar comparativamente os esforços atuantes nas fundações para cada condição de temperatura;
- Comparar o quantitativo de materiais para cada cenário estudado.

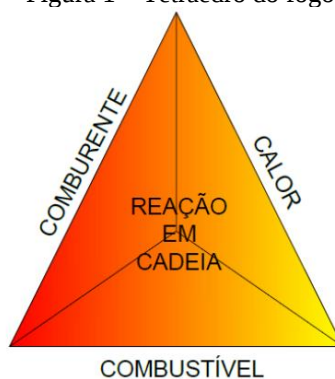
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para que haja uma compreensão dos dados que serão apresentados no seguinte trabalho, inicialmente, aborda-se de forma descritiva, uma conceituação dos principais fatores que contribuem no comportamento de uma estrutura em concreto armado para situações de incêndio, tendo como base a literatura científica e os documentos relacionados ao referido assunto.

2.1 Incêndio

A conceituação de incêndio parte do princípio de que a atuação do fogo não pode ser extinta de forma natural em determinado ambiente. E, para a constituição do fogo é necessário que haja a ação concomitante de quatro elementos: combustível, portador da energia que será liberada através da queima; comburente, produto químico que reagirá com o combustível; calor, responsável pela ativação do processo de queima; reação em cadeia, procedimento em que o fogo se auto sustenta. Sendo assim formado o tetraedro do fogo apresentado na Figura 1 (SANTOS *et al.*, 2019).

Figura 1 – Tetraedro do fogo.

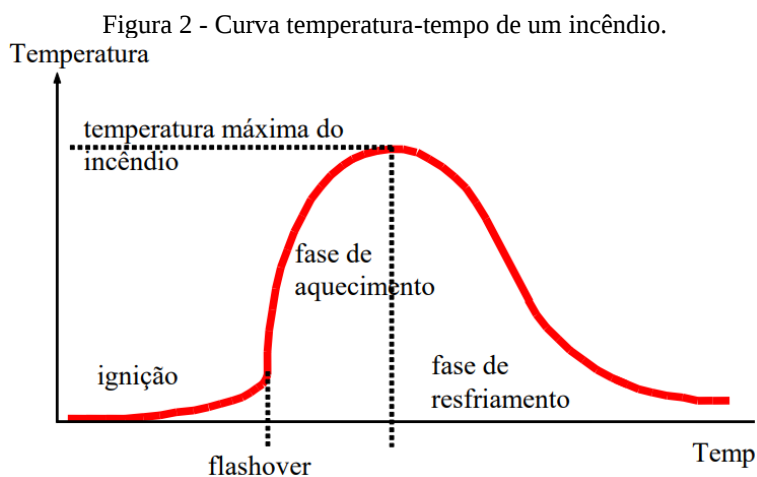


Fonte: Almeida (2018).

Por conseguinte, segundo Costa e Silva (2002), o incêndio possui três estágios em sua composição durante a atuação do fogo:

- Ignição: é o estágio em que acontece o início do incêndio, sendo sucedido por um aumento gradativo da temperatura do ambiente, não possuindo influência direta das características do compartimento e nem no risco de vidas humanas ou ao patrimônio. Esta etapa possui o seu fim quando o “flashover” acontece, ou seja, a partir do momento em que o incêndio toma proporções generalizadas (PURKISS, 1996, apud. COSTA & SILVA, 2002).
- Aquecimento: estágio onde ocorre uma mudança repentina no crescimento da temperatura, em que todos os materiais presentes no ambiente entram em combustão e os gases além de apresentarem temperaturas acima de 300 °C possuem uma variação de crescimento alta em relação ao tempo (WALTON, 1995, apud. COSTA & SILVA, 2002).
- Resfriamento: estágio em que acontece a diminuição da temperatura no ambiente incendiado de forma gradativa, tendo em vista que os materiais combustíveis foram consumidos na fase anterior.

A Figura 2 a seguir representa as fases de um incêndio retratadas pelos autores.



Fonte: Silva e Azevedo (2009).

Em vista disso, Costa (2008) apresenta que as medidas protetivas em uma edificação podem ser divididas em dois tipos: a proteção ativa e a proteção passiva. Inicialmente apresentando os meios de proteção passiva apresenta-se como exemplo os “*sprinklers*”, hidrantes, extintores,

detectores de fumaça e calor, iluminação de emergência, controle e exaustão de fumaça e brigada de incêndio. Sendo assim, são os recursos utilizados para o combate inicial ao incêndio, ou seja, os meios de proteção ativa são essenciais no período anterior ao “*flashover*”.

E, quanto aos mecanismos apresentados por Costa (2008), os meios de proteção passiva referem-se ao desempenho estrutural, compartimentação dos ambientes, rotas de fuga, acessibilidade ao local e materiais de proteção térmica. Consequentemente, estas soluções apresentam-se mais eficientes no sistema de combate ao incêndio nos estágios após o “*flashover*”, nas fases de aquecimento e resfriamento.

Referente ao alastramento do incêndio em edifícios, que ocorre predominantemente na fase de aquecimento, Duarte *et al.* (2021) expõe que a propagação da fumaça, fator preponderante na amplificação de um sinistro, pode ocorrer tanto de forma vertical quanto horizontal. Dessa forma, quando analisado os fatores preponderantes para a expansão vertical da fumaça, pode-se destacar as escadas, poços de elevadores e dutos de ar condicionado, e quanto aos elementos que propiciam a expansão horizontal pode-se salientar as portas, janelas e também as passagens para o sistema de ar condicionado.

2.1.1 Transferência de calor

A partir do que apresenta Lima (2005), para que haja uma compreensão da atuação incendiária nas estruturas de concreto armado é importante possuir conhecimentos básicos sobre os dispositivos de transferência de calor. E, que dependendo da situação o calor pode ser transferido por radiação, convecção e/ou condução. Dessa forma, quando analisado a ação do fogo em um incêndio pode-se perceber que as três formas de transferência atuam conjuntamente, corroborando para o crescimento em proporções de temperatura e tempo das chamas.

Levando isso em consideração, as diferenças entre as etapas do processo de aquecimento e os diferentes compartimentos em um ambiente incendiado podem contribuir para que em determinada situação prevaleça um tipo de transferência de calor sobre outro. E, a análise térmica que define a quantidade de calor transferido para a peça estrutural deve levar em consideração as

condições de contorno presentes no calor dos gases quentes presentes no compartimento (COSTA, 2008).

Abordando um pouco sobre a radiação, de acordo com SFPE (2002), ela possui uma configuração de transferência de calor através de ondas eletromagnéticas que podem percorrer gases ou até mesmo o vácuo. Nos incêndios, este modelo apresenta-se como o principal meios de propagação de energia sendo o mecanismo responsável por transferir calor das chamas e fumaças para a face dos materiais combustíveis, além de ser o motivador dessa transmissão de um edifício para outro (*apud*. BONITESE, 2007).

Por conseguinte, sobre a convecção, ela apresenta-se como um processo de transferência de calor que possui como meio de transmissão os fluídos (gases ou líquidos), ocorrendo devido a própria diferença de densidade existente nas suas condições de contorno. De forma que, ao existir uma fonte de calor, os gases inferiores se aquecem e por se tornarem menos densos movimentam-se em direção a região superior do compartimento, e, os gases superiores por possuírem temperaturas mais baixas, se tornam mais densos e pela gravidade acabam se movimentando para baixo, entrando em contato novamente com a fonte de energia e repetindo o ciclo (ALMEIDA, 2018).

E, por fim, acerca da condução, de acordo com Almeida (2018), ela é um processo que necessita do contato direto das substâncias, pois, a transferência de energia cinética acontece pela vibração e colisão das moléculas vizinhas. Vale ressaltar ainda que, o calor percorre o caminho das moléculas com maior energia cinética (maior temperatura) às moléculas com menor energia cinética (menores temperaturas), buscando o equilíbrio térmico.

2.1.2 Curvas de incêndio padrão

Para a determinação do comportamento térmico durante um sinistro, Costa (2008) expõe que para uma melhor interpretação e elaboração dos ensaios e projetos de estruturas, considerando uma situação de incêndio, foram estabelecidas curvas padronizadas que descrevessem a variação de temperatura em relação ao tempo no local durante a ação do fogo, em contrapartida à curva exposta na Figura 2.

De forma padronizada existem quatro principais curvas que foram padronizadas pela literatura e pelas normas internacionais e nacionais: a curva de incêndio-padrão para edificações (utilizada para combustão de materiais celulósicos em geral), curva de incêndio-padrão externo, curva de incêndio-padrão par indústrias petroquímicas e *offshore* e a curva de incêndio-padrão para túneis (JÚNIOR, 2011; COSTA, 2008).

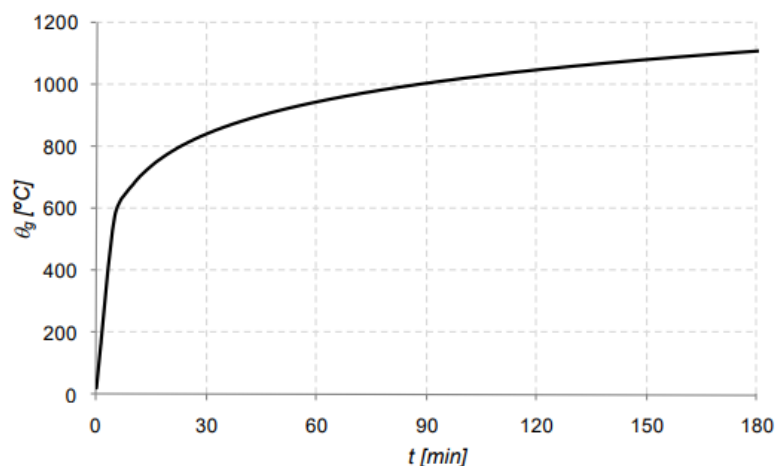
Tendo em vista que o presente trabalho se propõe analisar a influências dos diferentes tempos requeridos de resistência ao fogo em uma estrutura de concreto armado de uma edificação de habitação unifamiliar, será percorrido apenas sobre duas curvas das quatro citadas anteriormente por abrangerem o perfil do presente estudo, a curva de incêndio-padrão para edificações e para ambientes externos de um edifício.

2.1.2.1 Curva de incêndio-padrão para edificações

Quando o cenário de um incêndio a ser analisado é o de uma edificação, foi padronizado que a curva ISO 834 (ISO, 1990) fosse a mais apropriada para tal situação, sendo utilizada de forma ampla para estudos, ensaios e elaboração de projetos na área. Neste sentido, esta curva representa a combustão de materiais celulósicos como a madeira, papel e tecidos. E, partindo de uma análise fundamental, a curva utilizada neste caso não representa o estágio de resfriamento do incêndio, tendo o crescimento da fase de aquecimento de forma indefinida, porém, sabe-se que na realidade após a combustão de todos os materiais pelas chamas a temperatura do ambiente vai diminuindo, por conta de não existir mais um elemento crucial para existência do fogo, o combustível. A curva citada apresenta-se na Figura 3 (FIB, 2007, *apud*. JÚNIOR, 2011).

Dessa forma, a partir de análise feita por Costa (2008) das normas pertinentes, percebe-se que a curva ISO 834 serve de base para as definições prescritas na NBR 14423 (ABNT, 2000) – “*Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento*” e na NBR 15200 (ABNT, 2012) – “*Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio*”, que servirão de base para a presente pesquisa.

Figura 3 - Curva de incêndio-padrão ISO 834.



Fonte: ISO (1990, *apud*. JÚNIOR 2011).

Vale destacar uma informação da NBR 5628 (ABNT, 2001), referente à determinação de resistência ao fogo dos componentes construtivos estruturais, apresentando o tempo que define a resistência mecânica dos elementos estruturais é de 80% do tempo que eles demoram a atingir a sua ruína.

2.1.2.2 Curva de incêndio-padrão externo

Assim como exposto por Buchanan (2004), nas situações de incêndio, existe uma diferença entre os elementos estruturais da edificação que estejam internos para com os externos, tendo em vista que a temperatura dentro do compartimento incendiado é maior do que a apresentada fora, com exceção a aqueles que estiverem imersos em chamas.

Por consequência desta análise, o Eurocode 1 (2000) fornece a expressão, que relaciona o tempo e a temperatura, para que seja feita verificação dos elementos que estejam externos ao ambiente incendiado nos projetos estruturais.

E, pelo que foi abordado por Costa (2008), existem duas premissas básicas para que a curva seja utilizada: que a temperatura ambiente externa à edificação seja menor que a temperatura interna ao compartimento que esteja em situação de incêndio, e, que os materiais que estejam

servindo de combustível para o fogo possuam características celulósicas, ou seja, pertinente para uso em edifícios.

2.2 Propriedades dos materiais em situação de incêndio

Apesar de o concreto armado ser na realidade um material heterogêneo, sendo composto por água, cimento, agregados e aço, no geral ele ainda pode ser considerado como homogêneo e monolítico. Isso ocorre pelo fato de existir uma boa aderência entre o concreto e o aço, resultando em um comportamento conjunto destes dois elementos quando solicitados a esforços mecânicos (CÂNDIDO, 2019).

Dessa forma, segundo Júnior (2011), especificamente quando o concreto armado é submetido a temperaturas elevadas, algumas características físico-químicas sofrem alterações, o que pode ocasionar problemas irreversíveis à estrutura, como a capacidade de resistência, após o resfriamento do incêndio.

Conforme Battagin e Silveira (2018), a partir de temperatura acima de 100 °C, as transformações na microestrutura do concreto ocorrem de maneira mais intensa, e, em concordância com o autor citado anteriormente, afirma que as mudanças originadas pelas altas temperaturas na pasta de cimento e nos agregados são irreversíveis.

A seguir serão apresentadas algumas das propriedades mecânicas tanto do concreto quanto do aço, em concordância com a literatura científica, normas nacionais e internacionais pertinentes ao assunto abordado.

2.2.1 Propriedades mecânicas do concreto

As propriedades físicas do concreto sofrem alterações conforme a elevação de temperatura. Dessa maneira, para a definição do comportamento mecânico do concreto em situações de incêndio serão apresentadas suas características de resistência a compressão e módulo de elasticidade em

função da temperatura. Cabe levantar que somente o primeiro atributo é abordado pela NBR 15200 (ABNT, 2012), sendo o terceiro definido pelo Eurocode 2 parte 1.2.

2.2.1.1 Resistência à compressão

Segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012), a resistência à compressão do concreto é inversamente proporcional à temperatura, ou seja, quanto mais elevada a temperatura menor a resistência a compressão que o concreto pode atingir. E, obtém-se a relação desses dois parâmetros através da Equação 1.

$$f_{c,\theta} = k_{c,\theta} f_{ck} \quad (1)$$

Em que:

f_{ck} é a resistência característica do concreto à temperatura ambiente;

$k_{c,\theta}$ é o fator de redução da resistência do concreto na temperatura θ ;

$f_{c,\theta}$ é a resistência característica do concreto na temperatura θ .

A NBR 15200 (ABNT, 2012), apresenta diversos valores obtidos entre a relação da resistência característica do concreto em diferentes temperaturas, assim como também para temperatura ambiente.

2.2.1.2 Módulo de elasticidade

Pelo fato de esta característica não ser abordada na NBR 15200 (ABNT, 2012), esta informação foi abstraída do Comitê Europeu de Normalização, que estabeleceu no ano de 2004, a Equação 2 que define o módulo de elasticidade do concreto submetido a altas temperaturas, de forma que os valores desta propriedade diminuam com o aumento da temperatura, pela apresentação do fator de redução determinado pelo Eurocode 2 (*apud*. SOUZA E SILVA, 2015).

$$E_{c,\theta} = k_{cE,\theta} \cdot E_c \quad (2)$$

Em que:

$E_{c,\theta}$ é o módulo de elasticidade do concreto em temperaturas elevadas (MPa);

E_c é o módulo de elasticidade do concreto em temperatura ambiente (MPa);

$k_{cE,\theta}$ é o fator de redução do módulo de elasticidade do concreto em função da temperatura θ , sendo $k_{cE,\theta} = k_{c,\theta}^2$ (adimensional).

2.2.2 Propriedades mecânicas do aço

A NBR 15200 (ABNT, 2012) traz as principais informações sobre as propriedades mecânicas do aço em situações de temperaturas elevadas para que sejam consideradas durante o projeto de estruturas em concreto armado. Dessa maneira, serão apresentadas a seguir como a resistência ao escoamento e o módulo de elasticidade do aço podem possuir suas características alteradas devido a situação excepcional de incêndio. Cabe destacar que, serão apresentadas apenas as informações referentes à armadura passiva, tendo em vista que o projeto referente ao presente estudo não utilizará armaduras pré-tracionadas.

2.2.2.1 Resistência ao escoamento

Conforme exposto pela NBR 15200 (ABNT, 2012), a resistência ao escoamento do aço decresce com o aumento de temperatura, tendo em sua estrutura uma relação de vários valores do fator de redução da resistência do aço, podendo esta característica ser determinada pela Equação 3.

$$f_{y,\theta} = k_{s,\theta} \cdot f_{y,k} \quad (3)$$

Em que:

$f_{y,\theta}$ é a resistência ao escoamento do aço em função da temperatura θ ;

$k_{s,\theta}$ é o fator de redução da resistência do aço em relação a temperatura θ ;

$f_{y,k}$ é a resistência característica do aço em temperatura ambiente.

2.2.2.2 Módulo de elasticidade

A NBR 15200 (ABNT, 2012) expõe que o módulo de elasticidade decresce de maneira que a temperatura se eleva, tendo em sua estrutura uma relação de vários valores do fator de redução da elasticidade do aço, e pode ser determinado a partir da Equação 4.

$$E_{s,\theta} = k_{Es,\theta} \cdot E_s \quad (4)$$

Em que:

E_s é o módulo de elasticidade para temperatura ambiente;

$k_{Es,\theta}$ é o fator de redução do módulo de elasticidade do aço na temperatura θ .

2.3 Verificação de estruturas de concreto armado em situação de incêndio

Nesta seção serão apresentadas as principais considerações para a verificação de uma estrutura em situações de incêndio, de forma que serão apresentados os parâmetros da NBR 14432 (ABNT, 2000) que define e orienta os projetos de concreto armado em relação a determinação do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF). E, por conseguinte também serão apontados, segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012), os conceitos gerais e as demarcações acerca das solicitações originárias das elevadas temperaturas, as considerações oriundas das proteções térmicas fornecidas pelos revestimentos e o dimensionamento especificamente de vigas, lajes e pilares a partir do método tabular para os três tipos de elementos estruturais e também o método analítico para pilares. Cabe destacar que as informações contidas na NBR 15200 (ABNT, 2012), abrangem os concretos com $f_{ck} \leq 50$ MPa e elementos submetidos ao incêndio-padrão. Prioritariamente, serão expostas caracterizações abordadas pelas duas normas citadas, porém também será sucedida considerações do Eurocode 2 (1992-1-2/2004), da legislação do estado do Tocantins e da norma técnica dos Corpo de Bombeiros Militar – TO, em relação à segurança estrutural das edificações em casos de incêndio.

2.3.1 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)

Conhecer o comportamento do material que será submetido a elevadas temperaturas é fundamental para que seja determinado a sua resistência nestas situações excepcionais, e segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012), ele é definido a partir das curvas de incêndio-padrão. Dessa maneira, nos projetos são utilizados modelos de incêndios simplificados em relação ao que acontece na realidade. Sendo que, a partir dessas curvas é possível estabelecer a máxima temperatura atuante nos compartimentos incendiados e também a temperatura atuante nos elementos estruturais submetidos a essa situação (SOUZA & SILVA, 2015).

A partir do que é exposto pela NBR 15200 (ABNT, 2012), a ação correspondente ao incêndio nas estruturas de concreto armado pode ser considerada a partir de um tempo de exposição dos elementos estruturais a um incêndio-padrão, sendo esse intervalo definido como o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF). Segundo a NBR 14432 (ABNT, 2000), o TRRF é conceituado como o “tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão”. E conforme exposto por Souza e Silva (2015), o TRRF é um parâmetro de projeto utilizado para determinar a resistência dos elementos estruturais em situação de incêndio e não correspondem ao tempo de duração do incêndio, tempo de desocupação do edifício ou tempo de resposta do corpo de bombeiros.

Os procedimentos para a determinação do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) são discriminados na NBR 14432 (ABNT, 2000), na Lei Estadual do Tocantins nº 1.787/2007 e na Norma Técnica nº 06 do Corpo de Bombeiros Militar do Tocantins (CBMTO). Porém, como o trabalho em questão não visa a determinação do TRRF, e sim a sua edição e posterior análise de influência no dimensionamento em uma estrutura de concreto armado, não serão apresentadas as metodologias citadas anteriormente, sendo apenas determinada a classificação da edificação como “A – 1: Residencial unifamiliar”.

2.3.2 Ações e solicitações em situações de incêndio

A verificação da segurança das estruturas de concreto armado para situações de incêndio acontece de forma semelhante à de temperaturas ambientes, devendo os esforços atuantes serem menores que os esforços resistentes (DOS ANJOS, 2021). A NBR 8681 (ABNT, 2003) estabelece a Equação 5 para esta verificação.

$$S_{d,fi} \leq R_{d,fi} \quad (5)$$

Em que:

$S_{d,fi}$ é o valor de cálculo do esforço atuante, a partir da combinação última excepcional das ações;

$R_{d,fi}$ é o valor de cálculo dos esforços resistentes reduzidos em função do aumento de temperatura.

Conforme especifica a autora Dos Anjos (2021), existem três principais tipos de ações e solicitações atuantes nas edificações, as permanentes (peso próprio), variáveis (vento e sobrecarga) e variáveis excepcionais (incêndio). Por conseguinte, assim como explicita a NBR 8681 (ABNT, 2003) com a existência de cargas excepcionais, considera-se uma única combinação última excepcional, sendo feita apenas a verificação de segurança em relação aos estados limites últimos. E, apresenta ainda que a ação do vento deve ser considerada com valores correspondentes a uma grande probabilidade de atuação simultânea com o incêndio.

A partir do que expõe a NBR 15200 (ABNT, 2012), os esforços originários de deformações térmicas podem ser desconsiderados pelo fato de as deformações plásticas serem muito maiores quando comparadas em situações de incêndio. Dessa forma, a verificação das estruturas de concreto armado para casos de temperaturas elevadas decorre apenas da consideração de diminuição da resistência e da capacidade dos materiais que fazem parte da estrutura.

Ainda no âmbito das solicitações nas estruturas de concreto armado em casos de incêndio, a NBR 15200 (ABNT, 2012), apresenta uma simplificação que pode ser utilizada pelo fato de as ações devido as deformações térmicas serem desconsideradas, de forma que as solicitações de cálculo em situação de incêndio ($S_{d,fi}$) podem ser admitidas iguais a 70% das solicitações geradas na estrutura em temperatura ambiente, não incluindo apenas neste cálculo a ação do vento, assim como descreve a Equação 6.

$$S_{d,fi} = 0,70 S_d \quad (6)$$

2.3.3 Revestimentos

Durante a verificação das estruturas em concreto armado em casos de incêndio utilizando o método tabular, a NBR 15200 (ABNT, 2012), prevê que as considerações feitas para os revestimentos não se aplicam na determinação da seção transversal de pilares, lajes lisas ou de cogumelos, os demais elementos estruturais podem ter suas dimensões apresentando as seguintes ponderações:

- Revestimentos argamassados que possuam em sua constituição cal e areia, sendo aderentes a estrutura - possuindo aderência a tração conforme NBR 13528 (ABNT, 2010), podem ter 67% de eficiência térmica em relação ao concreto;
- Revestimentos argamassados que possuam em sua constituição cimento e areias, sendo aderentes a estrutura - possuindo aderência a tração conforme NBR 13528 (ABNT, 2010), podem ter 100% de eficiência térmica em relação ao concreto;
- Revestimentos que sejam protetores que possuam em sua constituição gesso, vermiculita ou fibras podem ser utilizados com finalidades de proteção térmica, desde que sua eficiência e aderência sejam comprovadas de forma experimental.

2.3.4 Verificação de vigas

Para a verificação das vigas em concreto armado em casos de incêndio, o presente estudo realizará especificamente análises que envolvam o método tabular. Dessa maneira, desenvolvendo um pouco melhor o estudo sobre essa metodologia, a NBR 15200 (ABNT, 2012), traz que para a utilização deste procedimento técnico requer apenas respeitar as dimensões tabeladas na própria norma, que estão relacionadas ao tipo de elemento estrutural e ao TRRF, devendo sempre ser respeitadas as dimensões preconizadas pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

As dimensões mínimas apresentadas nas tabelas da NBR 15200 (ABNT, 2012), são geralmente a largura das vigas, espessura das lajes, seções transversais de pilares e usualmente a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face de concreto (c_1). A norma ainda permite

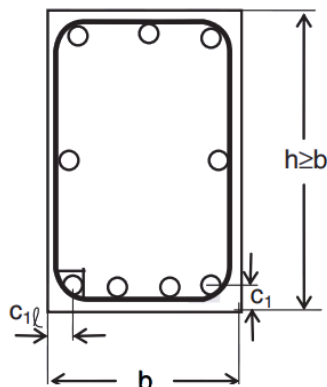
que, para intermediários encontrados nas tabelas de verificação do método tabular é permitido a interpolação dos dados.

A NBR 15200 (ABNT, 2012), estabelece que nesta metodologia são utilizadas apenas os dados que envolvam a armadura longitudinal e passiva, pelo fato de os experimentos apontarem que nos casos de temperaturas elevadas os elementos estruturais de concreto armado não rompem por cisalhamento, mas por flexão ou flexo-compressão.

Por conseguinte, retratando mais especificamente como é feita a verificação de vigas pela NBR 15200 (ABNT, 2012) utilizando o método tabular, é considerado que a viga que esteja sob efeito de elevadas temperaturas provenientes de um incêndio, recebendo calor nas três faces inferiores à laje.

Conforme a NBR 15200 (ABNT, 2012), existe uma concentração de temperatura junto às bordas da face inferior das vigas, e, por esta razão, nas vigas que possuam apenas uma camada de armadura e largura menor que o $b_{\min}$ estabelecido pela normativa, em relação ao TRRF, o c_{1L} deve ser 10mm maior que o c_1 . A Figura 4 demonstra como são consideradas essas dimensões de cobrimento.

Figura 4 – Distâncias de c_1 e c_{1L} .



Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012).

Segundo Souza e Silva (2015), os dados apresentados na tabela referente a verificação de vigas contínuas pelo método tabular, só poderão ser utilizados caso o coeficiente de redistribuição

de momentos à temperatura ambiente não exceder 15%. Caso este quesito não seja atendido, devem ser utilizados os dados fornecidos para vigas biapoiadas ou ser feito um estudo mais rigoroso.

2.3.5 Verificação de lajes

Para a verificação de lajes de concreto armado em situações de incêndio, este estudo se atentará apenas para o método tabular, em que as considerações conceituais de nomenclatura são as mesmas das especificadas na seção 2.3.4 deste trabalho. Por conseguinte, a NBR 15200 (ABNT, 2012), fornece as espessuras mínimas das lajes e capas de lajes, sendo considerado a influência do calor apenas na face inferior e o valor de c_1 das armaduras inferiores em relação ao TRRF, para que este elemento estrutural também desempenhe a função de corta-fogo. Estes dados estão presentes nas tabelas fornecidas pela norma citada.

Segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012), abordando os dados levantados sobre a verificação do método tabular para as lajes simplesmente apoiadas, contínuas e lisas, serão feitas as mesmas considerações das vigas biapoiadas e contínuas apresentadas na seção anterior, em que a redistribuição de momentos é abordado. Caso a exigência apresentada para este quesito não seja atendida, na verificação de lajes contínuas, elas devem ser tratadas como lajes simplesmente apoiadas.

2.3.6 Verificação de pilares

Para a verificação de pilares de concreto armado em situações de incêndio, este estudo se atentará para duas metodologias de dimensionamento: o método tabular, em que as considerações conceituais de nomenclatura são as mesmas das especificadas na seção 2.3.4 deste trabalho, e o método analítico para pilares. De forma que, segundo Dos Anjos (2021), o segundo procedimento técnico é apropriado para a verificação de pilares que possuam mais de uma face exposta ao fogo.

2.3.6.1 Método tabular

Conforme as informações contidas na NBR 15200 (ABNT, 2012), este método é apropriado para pilares que possuam seções retangulares ou circulares, e, é adequado para estruturas que apresentem nós fixos. Porém, pode ser utilizado em situações onde os efeitos de segunda ordem puderem ser desconsiderados em casos de incêndio, devido ao desaprumo. E, em qualquer situação os efeitos globais de 2ª ordem, em temperatura ambiente, não podem ultrapassar 30% dos esforços de 1ª ordem ($\gamma_z \leq 1,3$).

Por conseguinte, nos casos de verificação de pilares de concreto armado em situação de incêndio em que o tempo requerido de resistência ao fogo seja maior ou igual a 90 minutos e $A_s \geq 0,02 A_c$, é necessária uma distribuição uniforme das armaduras ao longo dos lados da seção (DOS ANJOS, 2021). Dessa forma, as tabelas utilizadas para esta verificação constam na norma permanente.

Segundo Dos Anjos (2021), a NBR 15200 (ABNT, 2012) apresenta uma simplificação para a verificação de pilares em situações de incêndio. De forma que a norma citada, uma sintetização para os pilares que tenham uma face exposta ao fogo.

2.3.6.2 Método analítico para pilares

Este método é baseado na obtenção do tempo de resistência ao fogo (TRF) a partir da formulação explicitada na NBR 15200 (ABNT, 2012) e apresentada na Equação 7, de forma que o valor encontrado não poderá ser inferior ao valor do TRRF. Esta metodologia é utilizada para pilares com mais de uma face exposta ao fogo.

$$TRF = 120 \left(\frac{R_\mu + R_a + R_l + R_b + R_n}{120} \right)^{1,8} \quad (7)$$

Em que:

$$R_{\mu} = 83 (1 - \mu_{fi});$$

$$R_a = 1,60 (c_1 - 30), c_1 \text{ em mm};$$

$$R_l = 9,60 (5 - L_{ef,fi});$$

$$R_b = 0,09 b', \text{ para } 190 \text{ mm} \leq b' \leq 450 \text{ mm};$$

$$R_b = 40,5, \text{ para } b' > 450 \text{ mm};$$

$$R_n = 0, \text{ para } n = 4, \text{ sendo } n \text{ o número de barras longitudinais};$$

$$R_n = 12, \text{ para } n > 4.$$

Sendo:

$$b' = 2 \frac{Ac}{b+h}, \text{ para } h \leq 1,5 b;$$

$$b' = 1,2 b, \text{ para } h > 1,5 b;$$

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Sd,fi}}{N_{Rd}};$$

$N_{Sd,fi}$ é o valor de cálculo da força axial em situação do incêndio;

N_{Rd} é o valor de cálculo da força normal resistente do pilar calculado de acordo com a ABNT NBR 6118, com γ_m à temperatura ambiente, incluindo os efeitos da não linearidade geométrica (2ª ordem) e desconsiderados os efeitos das forças decorrentes do vento;

c_1 é a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo. Em seu cálculo, é permitida a consideração do revestimento conforme as prescrições dispostas em 2.3.3;

$L_{ef,fi}$ é o comprimento equivalente do pilar em situação de incêndio, em metros, e pode sempre ser considerado igual ao da temperatura ambiente, L_e , conforme ABNT NBR 6118:2007, 15.6. Para os pilares dos andares intermediários de edifícios de múltiplos pavimentos compartimentados verticalmente e com os efeitos globais de segunda ordem à temperatura ambiente inferiores ou iguais a 10% dos respectivos esforços de primeira ordem (por exemplo, $\gamma_z \leq 1,1$), pode ser

assumido que $L_{ef,fi} = 0,5 \cdot L_e$ e para o pavimento mais alto $L_{ef,fi} = 0,7 \cdot L_e$. Para situações em que os efeitos globais de segunda ordem à temperatura ambiente são superiores a 10% dos respectivos esforços de primeira ordem (por exemplo, $\gamma_z > 1,1$), o $L_{ef,fi}$ pode ser determinado por análise estrutural específica.

Onde:

A_c é a área da seção transversal do pilar, expressa em milímetros quadrados;

b é a menor dimensão da seção transversal do pilar, expressa em milímetros;

h é a maior dimensão da seção transversal do pilar, expressa em milímetros.

Para o uso dessas equações as 5 limitações abaixo devem ser respeitadas.

$$\frac{A_s}{A_c} \leq 0,04;$$

$$25 \text{ mm} \leq c_1 \leq 80 \text{ mm};$$

$$b' \geq 190 \text{ mm};$$

$$e \leq 0,15 b;$$

$$L_{ef,fi} \leq 6 \text{ m};$$

Em que:

A_s é a área total das armaduras;

e é a excentricidade de primeira ordem da força normal atuante em situação de incêndio, que pode ser assumida igual à excentricidade de primeira ordem da força normal atuante à temperatura ambiente, desconsiderado o efeito das forças decorrentes do vento.

Segundo Cândido (2019), essa metodologia é utilizada para estruturas que apresentam excentricidades relativamente pequenas em seus pilares, o que torna a verificação para casos de incêndio mais refinada e econômica. E, o mesmo autor utilizou esse método mesmo não sendo atendidas todas as limitações com a devida ressalva de incompatibilidade.

2.3.6.3 Outros métodos internacionais para o dimensionamento de pilares

De forma semelhante à NBR 15200 (ABNT, 2015), a norma europeia Eurocode 2 (EN 1992-1-2/2004), a canadense NBC (1990) e a australiana AS 3600 (2001) também utilizam formulações empíricas para a determinação da resistência ao fogo de pilares. E, essas equações foram elaboradas a partir de diversas simulações numéricas e extrapolações de resultados experimentais. Cabe ressaltar que, diferentemente da norma brasileira, a norma AS 3600 (2001) não considera a excentricidade como um parâmetro limitador em suas considerações.

2.4 Estudos realizados na área

Esta seção corresponde a exposição de três estudos realizados na área de projetos de estruturas de concreto armado que estejam relacionados à verificação para situações de incêndio.

2.4.1 Fabienne Robert

O estudo a ser apresentado faz parte de um relatório editado pela Comissão Europeia, organização que é responsável pela definição das estratégias globais, proposição de leis e políticas para a União Europeia. De forma que, foi publicado no workshop “*Eurocodes: Structural Fire Design*” que aconteceu no ano de 2012 em Bruxelas, Bélgica.

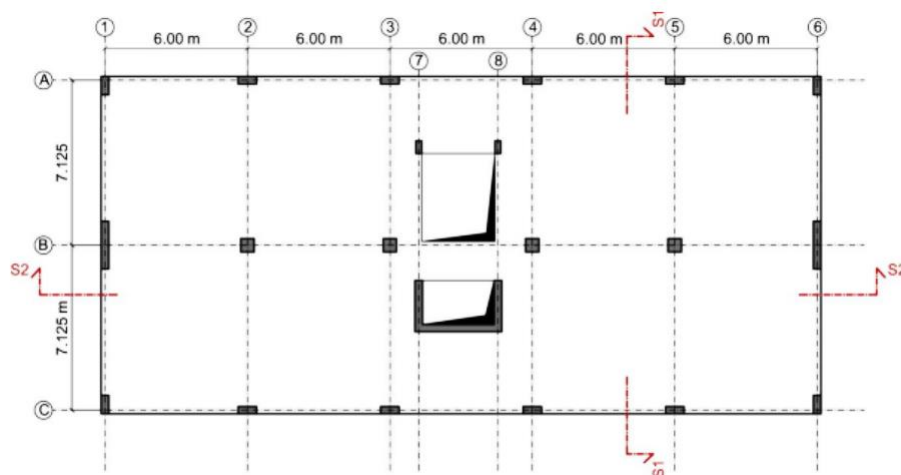
O documento é estruturado por estudos de vários autores, dentre eles, a pesquisadora Fabienne Robert, que na época fazia parte do Centro de Estudos e Pesquisa da Indústria de Concreto (CERIB), com o tema: “Avaliação de resistência ao fogo de estruturas de concreto de acordo com EN 1992-1-2”.

Dessa forma, a autora analisa mais especificamente a capacidade de carga de três elementos estruturais em situação de incêndio, que fazem parte de um projeto estrutural realizado para uma oficina coordenada pelos mesmos organizadores um ano antes. Deste modo, é feita uma análise localizada em um pilar, uma viga e uma laje, que são componentes de um edifício projetado sem levar as considerações incendiárias, para a determinação do tempo requerido de resistência ao fogo destes elementos.

Neste contexto, Robert (2014) utilizou três métodos para a determinação do TRRF dos elementos estudados, o método tabular, métodos de cálculos simplificados e avançados. Porém, serão apresentados apenas os dados referentes ao método tabular, mais usual no território brasileiro. Portanto, a autora expõe que para a utilização desta metodologia foi utilizado a caracterização de um incêndio padrão.

O edifício estudado possui dois pavimentos de estacionamento subterrâneos, um pavimento térreo e cinco pavimentos-tipo que possuem finalidade de abranger escritórios que sejam abertos ao público. A Figura 5 apresenta o pavimento no qual os elementos isolados foram considerados.

Figura 5 – Vista geral das lajes sobre vigas (planta de fôrma).



Fonte: Robert (2014).

Portanto, utilizando o método tabular fornecido pelo Eurocode 2 (1992-1-2/2004), a autora Francinne Robert chegou à conclusão apresentada na Tabela 1 que apresenta os tempos requeridos de resistência ao fogo para os elementos dimensionados anteriormente sem essas considerações.

Tabela 1 – TRRF para os elementos do edifício estudado.

	Pilar	Viga	Laje
TRRF (min)	90	90	120

Fonte: Robert (2014).

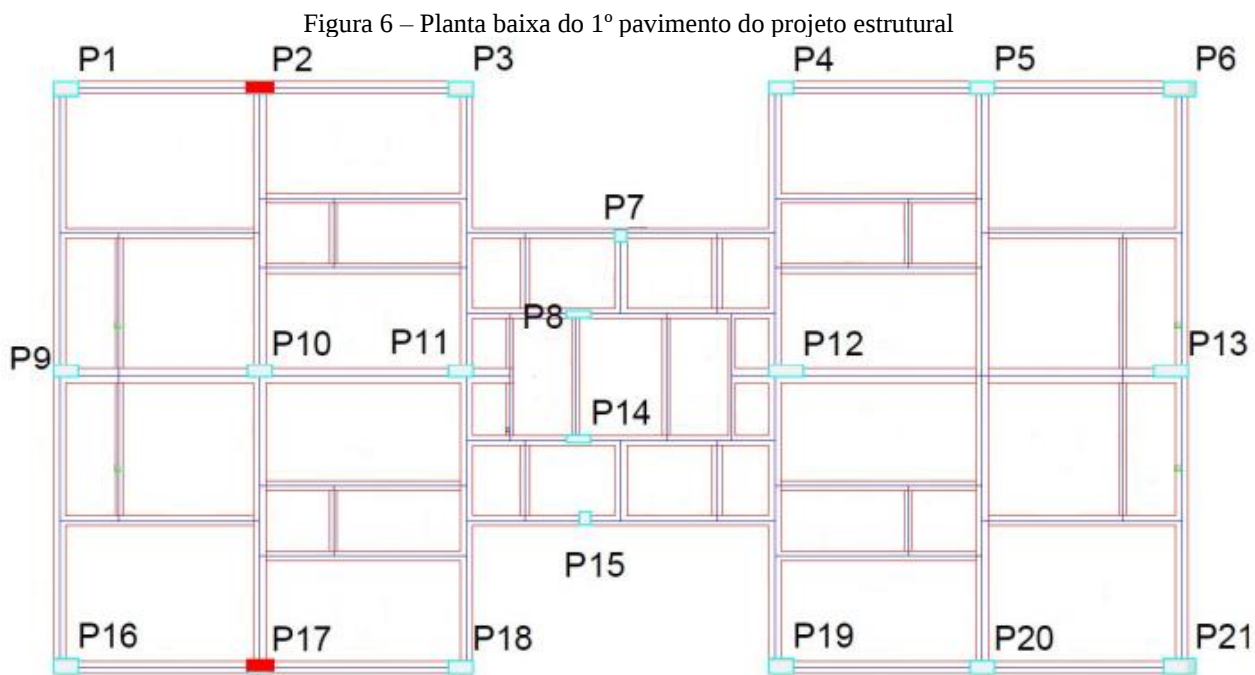
2.4.2 Stéphanie de Souza Lima

O trabalho realizado pela autora Stéphanie Lima no ano de 2021 é uma monografia entregue à Universidade de Caxias do Sul, e o estudo possui como título “Análise da estrutura em concreto armado de uma edificação em situação de incêndio por métodos estabelecidos pela ABNT NBR 15200:2012”. O objetivo principal da autora foi estabelecer se uma estrutura previamente projetada atendendo somente as exigências da NBR 6118 (ABNT, 2014) atenderia ao tempo requerido de resistência ao fogo de 30 minutos, valor mínimo estabelecido pela NBR 15200 (ABNT, 2012), utilizando o software AltoQi Eberick V9.

O edifício estudado pela autora possui uma área total construída de 1076,01 m² e 4 pavimentos. Dessa maneira, a verificação realizada pelo software identificou que todas as lajes e vigas foram aprovadas quanto ao TRRF de 30 minutos, porém dois pilares que faziam parte de três pavimentos não obtiveram êxito na certificação avaliada por Stéphanie. Dessa forma, esses dois elementos foram redimensionados, e, segundo a pesquisadora, a única solução viável no âmbito da análise computacional foi aumentar as seções dos pilares para que eles fossem aceitos na verificação.

Portanto, a conclusão do estudo foi de que o dimensionamento estrutural realizado seguindo apenas as considerações da NBR 6118 (ABNT, 2014), não são suficientes para a garantia das especificações abordadas na NBR 15200 (ABNT, 2012). A figura 6 representa a planta de forma de um dos pavimentos da estrutura estudada e os pilares destacados na cor vermelha, são os

elementos estruturais que não atenderam condições normativas, e a Tabela 2 apresenta o redimensionamento dos pilares.



Fonte: Lima (2021).

Tabela 2 – Pilares redimensionados.

Nome	Pavimento	Seção (cm) Situação normal	Área da Seção (cm²) Situação normal	Seção (cm) Situação de incêndio	Área da Seção (cm²) Situação de incêndio	Porcentagem de aumento da seção (%)
P2	Térreo	25 X 50	1250	50 X 70	3500	180
P17	Térreo	25 X 50	1250	50 X 70	3500	180
P2	1º Pavimento	25 X 50	1250	35 X 55	1925	54
P17	1º Pavimento	25 X 50	1250	35 X 60	2100	68
P2	2º Pavimento	25 X 50	1250	30 X 50	1500	20
P17	2º Pavimento	25 X 50	1250	30 X 50	1500	20

Fonte: Lima (2021).

2.4.3 Lorena Dantas Pinto

O artigo realizado por Lorena Dantas Pinto e por outros três autores foi submetido ao IV Encontro Regional dos Estudantes de Engenharia Civil no ano de 2017, e teve como tema “Análise comparativa do processo de verificação de peças flexo-comprimidas sob situação de incêndio pelas abordagens normativas brasileira, americana e europeia”. Tendo como objetivo principal realizar um estudo comparativo entre as normas brasileira, americana e europeia no que tange o dimensionamento específico de elementos submetidos à flexo-compressão em casos de incêndio.

O trabalho foi realizado a partir da revisão bibliográfica das principais normas de cada região. Sendo analisadas a NBR 15200 (ABNT, 2012) - Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio, ACI 216.1-97/TMS 0216.1-97 – Método padrão para determinar a resistência do concreto e alvenaria em exposição ao fogo e a EN 1992-1-2 (2004: Eurocode 2 – Projetos de concreto estruturais - Parte 1-2: Regras gerais - Projeto estrutural para incêndio).

Portanto, nas conclusões feitas pelos autores, a norma americana apresenta, em relação as outras duas, uma maior variedade de especificações relacionadas ao tipo de agregado utilizado no concreto, tendo em vista que a metodologia construtiva dos Estados Unidos apresenta materiais que não são tão usuais no Brasil e na Europa. E, abordam ainda que, as três normas apresentam, em sua preponderância, o dimensionamento através do uso de tabelas, sendo que as delimitações apontadas pela NBR e Eurocode possuem similaridade em relação a determinação de valores mínimos para a largura de um pilar e do seu cobrimento, características que não são levantadas na ACI.

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem como propósito retratar e classificar o trabalho em relação a sua finalidade, objetivos, abordagem, métodos e procedimentos. Tendo, por conseguinte, um enfoque nos procedimentos que foram utilizados durante a pesquisa para obtenção dos resultados investigados.

A pesquisa realizada possui uma finalidade básica estratégica, assim como afirma Gil (2017), são “pesquisas voltadas à aquisição de novos conhecimentos direcionados a amplas áreas com vistas à solução de reconhecidos problemas práticos”, pois, a área de projetos de estruturas em concreto armado abrange conhecimentos muito difundidos no meio acadêmico, e, a implementação de uma pesquisa que buscou identificar as principais características do campo citado em situações de incêndio tem a finalidade de identificar novos parâmetros que possam ser utilizados na prática.

Em relação ao objetivo do estudo, pode-se classificá-lo como exploratório. Tendo em vista a definição de Pardanov e Freitas (2013), abordando que uma pesquisa exploratória gera mais informações sobre o assunto estudado além do que já existe na comunidade científica, havendo a possibilidade da criação de hipóteses. Além de apresentarem que, as análises que proporcionem uma compreensão dos dados podem ser determinadas de tal maneira. Assim, como existiu a modificação de dados que não se apresentaram qualificados para o dimensionamento da estrutura em caso de incêndio, essa denominação se enquadra na identidade do estudo.

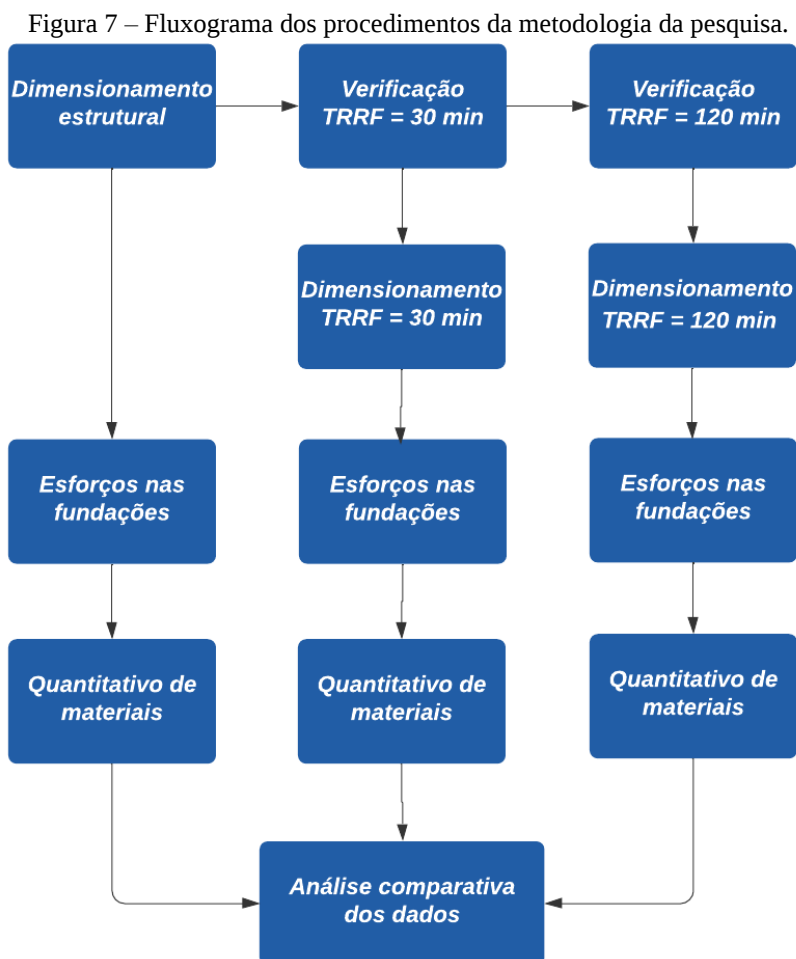
Prosseguindo, a abordagem realizada para a verificação da estrutura de concreto armado em casos de incêndio é quantitativa. De maneira que, foram levantados os elementos estruturais não aprovados no dimensionamento e foram feitas edições dos resultados para que a estrutura suportasse tais considerações, além de que, foi conduzido o levantamento de quantidades de materiais para as diferentes situações de projeto, e, também uma quantificação dos esforços nas fundações em cada análise.

Avaliando sobre o método de pesquisa utilizado neste trabalho, pode-se determiná-lo como hipotético-dedutivo. Pelo fato de que Lakatos e Marconi (1992) afirmarem que, este procedimento utiliza a formulação de hipóteses relacionando os conhecimentos que ainda não foram adquiridos

com o desenvolvimento de uma dedução, a partir da análise dos fenômenos que ocorreram durante o estudo. Deste modo, levando em consideração que foram criadas hipóteses em cima do dimensionamento de estruturas em concreto armado para situações de incêndio, sendo essas deduzidas ao longo do estudo, percebe-se que a classificação se enquadra neste quesito.

Neste contexto, considera-se os procedimentos realizados em duas denominações: bibliográfica e documental. Pelo fato de ter havido buscas tanto em conteúdos científicos já publicados, quanto em documentos normativos e leis para a construção conceitual que embasou este trabalho (GIL, 2017).

E, por fim, caracterizando a metodologia a ser desenvolvida, o Fluxograma apresentado na Figura 7 aborda os principais procedimentos desenvolvidos na pesquisa.



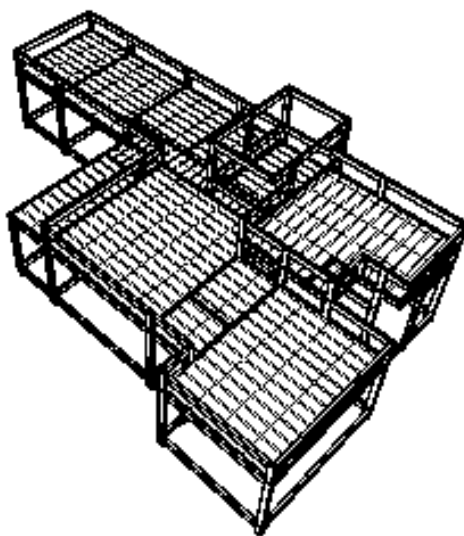
Fonte: Autor.

3.1 Caracterização do objeto de estudo

A edificação utilizada como referência para o objeto de estudo foi projetada pelo Engenheiro Joselito Alves de Macedo. A planta baixa do projeto arquitetônico, que contém apenas um pavimento térreo, apresenta uma área construída de 213,70 m², tendo como finalidade o uso para uma habitação unifamiliar, possuindo três suítes, uma cozinha, área de serviço, escritório, sala de jantar, sala de estar e garagem. Relacionado às alturas dos pés direitos presentes no projeto, toda a construção possui um pé direito de 3,30 metros, com exceção da sala de estar/jantar que possui uma altura de 4,40 metros.

E, para fins de localização o edifício foi projetado para atender as condições de implantação na cidade de Palmas/TO, no bairro ARNO 22, Avenida NS 03, Lote 99. Dessa forma a Figura 8 apresenta o modelo tridimensional da estrutura baseada no projeto arquitetônico mencionado, e a Figura 9 está referenciada à sua localização.

Figura 8 – Modelo tridimensional da estrutura desenvolvida para o estudo.



Fonte: Software TQS Estrutural.

Figura 9 – Localização da construção.



Fonte: Google Earth.

3.1.1 Critérios do projeto estrutural

Os critérios apresentados a seguir foram inseridos no software TQS para a implementação da estrutura, tendo em vista que esses são os parâmetros preconizados pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e atendem às interferências ambientais na implementação da estrutura de concreto armado em questão.

- Aço de classe CA-50 e CA-60;
- Resistência do concreto: 25 MPa;
- Classe de agressividade: II (Moderada);
- Coeficiente de minoração do concreto (γ_c): 1,4;
- Peso específico do concreto: 2500 kgf/m³;
- Cobrimento: 2,5 cm para lajes e 3,0 cm para pilares e vigas;
- Lajes treliçadas com blocos de EPS.

O projeto foi realizado somente para a superestrutura, pelo fato de o estudo em questão se referir a resistência ao fogo e as fundações não se submeterem a essa situação por estarem aterradas, além de que é possível obter todos os dados necessários para o estudo sem o projeto de fundações.

3.1.2 Cargas e solicitações do projeto estrutural

Para a elaboração do projeto estrutural que atendessem os parâmetros da NBR 6120 (ABNT, 2019) e NBR 6123 (ABNT, 1988) em temperatura ambiente foram levantadas as seguintes considerações:

- Peso específico do concreto: 2500 kgf/m^3 ;
- Parede de tijolos com furo de espessura de 15 cm e peso específico de $0,180 \text{ tf/m}^2$;
- Carga de manutenção e placa solar sobre o telhado: $0,150 \text{ tf/m}^2$;
- Carga permanente de telhas e forro: $0,05 \text{ tf/m}^2$;
- Carga de manutenção terraço: $0,1 \text{ tf/m}^2$;
- Carga permanente de impermeabilização terraço e forro: $0,19 \text{ tf/m}^2$;
- A velocidade do vento considerado foi de 30 m/s , nível do solo igual a 100 metros, Classe da edificação B - maior dimensão horizontal ou vertical entre 20 e 50 m, coeficiente de arrasto para os ângulos 90° e 270° igual a 1,534 e para os ângulos de 0° e 180° igual a 0,97, topografia com $S1 = 1,0$, rugosidade do terreno sendo categoria IV e fator estatístico $S3 = 1,0$.

3.2 Dimensionamento da estrutura de concreto armado

Como estabelecido, foi realizado um dimensionamento da estrutura de concreto armado não levando em consideração a atuação do fogo para casos de incêndio, dessa forma, inicialmente foi feito um pré dimensionamento dos elementos estruturais para que em seguida os valores fossem inseridos no software TQS para o real dimensionamento do projeto.

O pré-dimensionamento das lajes treliçadas seguiu a metodologia proposta por Brasil (2017), de forma que, foram associados os vãos e as cargas atuantes com os valores dos manuais fornecidos pelos fabricantes. Assim, a Tabela 3 foi utilizada com essa finalidade.

Tabela 3 – Pré-dimensionamento de lajes treliçadas com blocos de EPS.

Tabelas de Vãos Máximo para Lajes Trelçadas (LT) Unidirecional com EPS (Poliestireno Expandido)																					
TIPO	BI-APOIADA Carga (Ação) Adicional Total (p) - KN/m² (carga acidental(q) + carga permanente adicional (g) ⁽¹⁾)							APOIADA / ENGASTADA Carga (Ação) Adicional Total (p) - KN/m² (carga acidental(q) + carga permanente adicional (g) ⁽¹⁾)							BI-ENGASTADA Carga (Ação) Adicional Total (p) - KN/m² (carga acidental(q) + carga permanente adicional (g) ⁽¹⁾)						
	1,0	2,0	2,5	3,5	5,0	7,5	10,0	1,0	2,0	2,5	3,5	5,0	7,5	10,0	1,0	2,0	2,5	3,5	5,0	7,5	10,0
LT 12 (8+4)	5,00	4,66	4,52	4,27	3,71	3,12	2,80	5,87	5,56	5,35	4,62	3,98	3,33	2,98	6,00	5,67	5,49	4,89	4,20	3,50	3,12
LT 14 (10+4)	5,80	5,53	5,41	4,97	4,32	3,64	3,26	6,19	6,00	5,89	5,40	4,66	3,90	3,49	6,62	6,16	6,00	5,73	4,93	4,12	3,67
LT 16 (12+4)	6,18	6,00	5,92	5,67	4,93	4,15	3,73	6,93	6,61	6,47	6,00	5,34	4,48	4,00	7,39	6,91	6,70	6,27	5,67	4,73	4,23
LT 20 (16+4)	7,48	7,17	7,04	6,71	6,00	5,19	4,67	8,37	8,01	7,85	7,38	6,39	5,62	5,04	8,89	8,35	8,12	7,73	6,80	5,96	5,33
LT 25 (20+5)	8,85	8,54	8,40	8,14	7,31	6,17	5,86	9,89	9,53	9,37	9,07	8,05	6,76	6,06	10,00	9,96	9,74	9,31	8,58	7,19	6,44
LT 30 (25+5)	10,00	9,93	9,78	9,50	8,73	7,38	6,64	10,83	10,47	10,30	10,00	9,66	8,12	7,28	11,52	10,97	10,73	10,30	10,00	8,65	7,75
LT 35 (30+5)	10,89	10,56	10,41	10,13	10,00	8,55	7,70	12,25	11,86	11,69	10,95	10,41	9,44	8,49	13,03	12,45	12,19	11,73	11,15	10,00	9,04

Fonte: Engemolde (2022).

Em seguida, foi realizado o pré-dimensionamento das vigas, que segundo Giongo (2006, *apud*. PEREIRA, 2015), pode ser concretizado a partir das Equações 7 e 8, que estipulam as suas respectivas alturas.

$$h_v = L_v / Z_3, \text{ para vãos externos} \quad (7)$$

$$h_v = L_v / Z_4, \text{ para vãos internos} \quad (8)$$

Em que:

h_v é a altura da viga;

L_v é o comprimento do vão;

Z_3 é uma constante de valor entre 9 e 11;

Z_4 é uma constante de valor entre 11 e 13.

E, para o pré dimensionamento de pilares, a NBR 6118 (ABNT, 2014), apresenta as Equações 9 e 10 para as considerações de pilares de canto ou de extremidade e para os intermediários (*apud*. PEREIRA, 2015).

$$Ac = \frac{Nd}{0,6 f_{ck} + 0,42}, \text{ para pilares intermediários} \quad (9)$$

$$Ac = \frac{1,45 Nd}{0,6 f_{ck} + 0,42}, \text{ para pilares de canto ou de extremidade} \quad (10)$$

Em que:

Ac é a área transversal (m²);

Nd é a força normal de cálculo (KN);

f_{ck} é a resistência característica do concreto (KN/cm²).

Dessa maneira, a partir das dimensões pré estabelecidas, estas serão inseridas no software TQS, sendo apresentadas quais realmente podem ser utilizadas e quais devem ser alteradas para que então a estrutura seja totalmente dimensionada.

3.3 Verificação dos elementos estruturais para situação de incêndio

Em seguida, foram feitas as verificações dos pilares, vigas e lajes de concreto armado, dimensionado para o projeto mencionado no título anterior, em situações de incêndio. De forma que, atendam as especificações apresentadas na NBR 15200 (ABNT, 2012).

Por conseguinte, foram realizadas as devidas verificações variando o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), parâmetro que relaciona a temperatura do incêndio-padrão com o tempo. Sendo feito um levantamento de dados que possibilitem uma análise do dimensionamento da estrutura em concreto armado para 2 diferentes TRRF's, de 30 e 120 min. Dessa forma, neste

momento apenas foram identificados quais os elementos não aprovados pelos métodos de verificação.

Nesse contexto, para condições normais de verificação, inicialmente o método tabular propõe que seja determinado um TRRF único para a estrutura, relacionando a altura da edificação com a tipologia do seu uso. Porém, o software TQS permite que seja modificado esse valor temporal para a verificação de quais elementos atendem ao parâmetro definido, ou seja, o TRRF passa a ser um fator variável juntamente com as dimensões do projeto estrutural. Logo, esta foi a ferramenta utilizada para analisar a sua influência no dimensionamento da estrutura de concreto armado.

Dessa forma, alguns critérios em relação às características do edifício devem ser inseridos no software para que seja realizado a verificação em casos de incêndio. Respeitando as exigências do Corpo de Bombeiros Militar do Tocantins e a Legislação estadual do estado, portanto, as especificações definidas para este trabalho estão apresentadas a seguir:

- Ocupação: A (Residencial);
- Divisão: A-1 (Habitação multifamiliar);
- Altura do edifício: 4,40 m;
- Área construída: 213,70 m²;
- Solicitações iguais a 70% das solicitações em temperatura ambiente, conforme NBR 15200 (ABNT, 2012);
- Para os pilares será utilizado o método analítico para pilares com o auxílio do software TQS.
- Para vigas e lajes a verificação em casos de incêndio será feita a partir do método tabular;
- É considerado um revestimento de cimento e areia com espessura de 1,5 cm;
- O comprimento efetivo dos pilares será utilizado conforme o definido pelo programa.

3.4 Edição de critérios

Os elementos estruturais que não foram aprovados durante a verificação para situações de incêndio tiveram os seus critérios analisados, para que em seguida fossem modificadas as suas dimensões geométricas no Software TQS, até que se atendessem os parâmetros exigidos. Dessa forma, tendo em vista que, a análise envolve dois tempos diferentes, serão analisados e modificados os critérios dos pilares, vigas e lajes para cada um deles, assim como representado nos subtítulos a seguir, atendendo os critérios normativos exigidos pela NBR 15200 (ABNT, 2012).

3.5 Esforços nas fundações

O dimensionamento dos elementos estruturais para casos de incêndio depende diretamente da distância entre a face exposta ao fogo e o centro de gravidade das armaduras longitudinais, porém uma outra característica que possui interferência direta é a capacidade de resistência do concreto e do aço que são reduzidas, o que pode afetar outros parâmetros de projeto como a seção dos componentes da estrutura. Ou seja, as modificações feitas no dimensionamento de uma estrutura de concreto armado para situações de incêndio serão feitas preponderantemente na geometria das peças estruturais, o que pode afetar diretamente no peso próprio da estrutura como um todo.

Dessa maneira, entendendo que a variação de consideração do tempo requerido de resistência ao fogo pode influenciar na modificação das seções dos elementos estruturais e do seu cobrimento, estas podem alterar o peso próprio da estrutura, e, conseqüentemente, os esforços presentes nas fundações.

Portanto, foram analisados e apresentados quais os esforços (momento fletor e carga axial) sofreram remodelação nos valores, de forma comparativa entre as três situações estabelecidas para este estudo – estrutura sem considerações de incêndio, TRRF de 30 e 120 minutos, com os dados fornecidos pelo Software TQS. Vale destacar que para esse fim, serão analisadas as reações de apoio do pórtico global, tendo em vista que serão os esforços transmitidos para as fundações.

3.6 Quantitativo de materiais

De forma análoga ao conceito apresentado anteriormente, as seções de concreto e aço podem sofrer alterações devido à redução de resistência dos elementos estruturais conjuntamente com o aumento de c_1 , e, por consequência a quantidade de materiais podem apresentar valores diferentes conforme o tempo requerido de resistência ao fogo. Sendo analisado assim, para as três situações propostas quais são os quantitativos de concreto, aço e fôrmas através dos dados fornecidos pelo Software TQS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados obtidos durante a pesquisa e em seguida apresentadas as análises e discussões pertinentes ao tema.

4.1 Dimensionamento da estrutura sem considerações de incêndio

Obedecendo todos os critérios apresentados no capítulo anterior, inicialmente, foi realizado um pré-dimensionamento dos elementos estruturais e os resultados obtidos são apresentados a seguir.

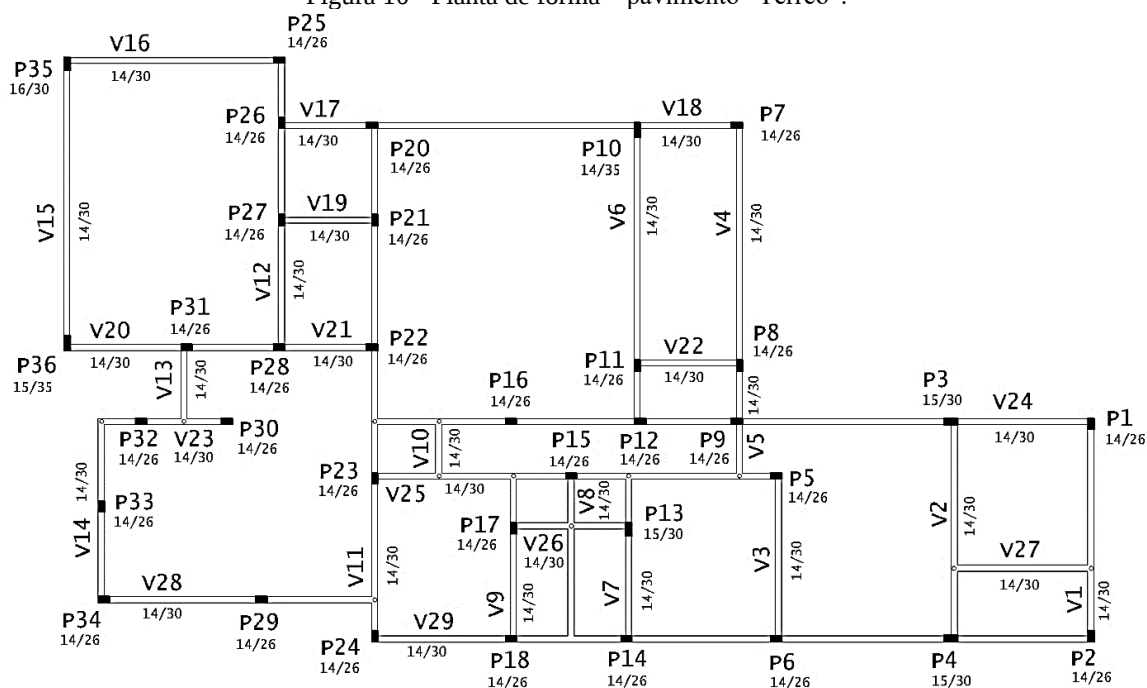
Tabela 4 - Pré-dimensionamento dos elementos estruturais.

	Dimensões (cm)
Pilares	14x26
Vigas	14x30
Lajes	LT 25 (20+5)

Fonte: Autor.

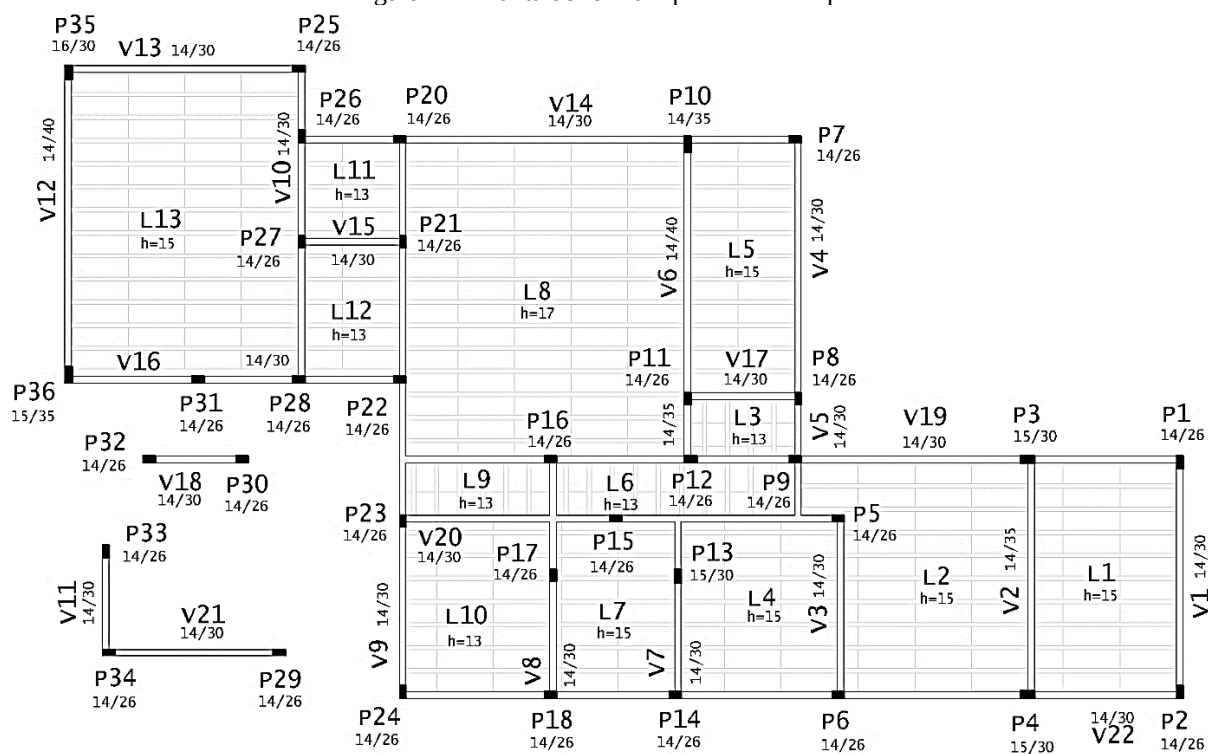
Assim, os elementos que não foram aprovados ou que poderiam ser otimizadas, tiveram suas dimensões alteradas ao ponto que se obteve os valores apresentados nas plantas de fôrma representadas nas Figuras de 10 a 14, para o dimensionamento da estrutura sem as considerações de incêndio.

Figura 10 - Planta de fôrma – pavimento “Térreo”.



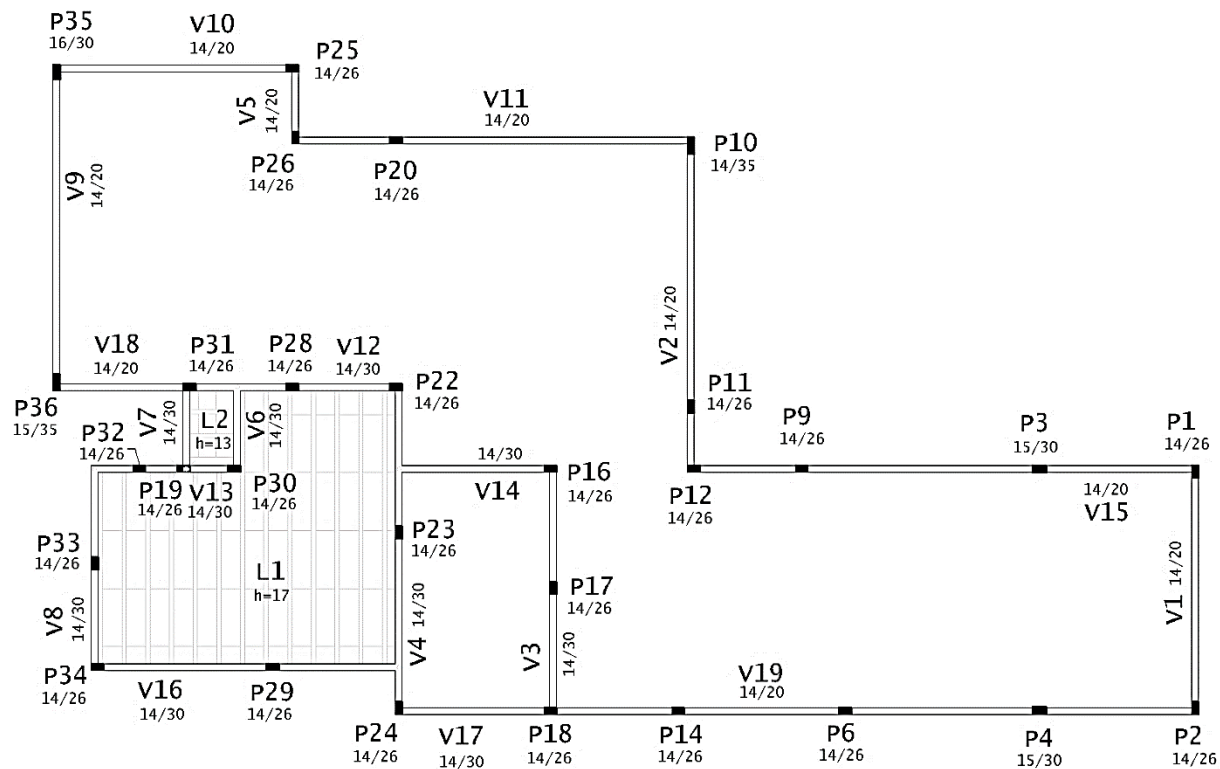
Fonte: Autor.

Figura 11 - Planta de fôrma – pavimento “Tipo”.



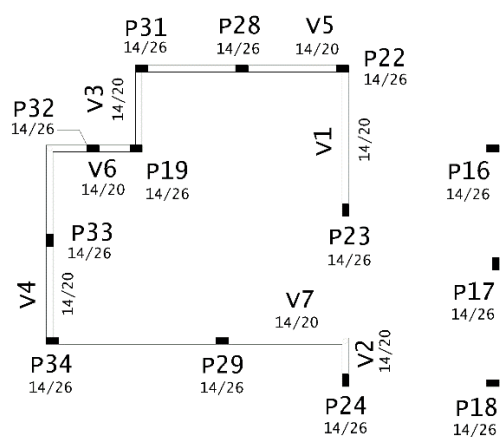
Fonte: Autor.

Figura 12 - Planta de fôrma – pavimento “Pé Direito Duplo”.



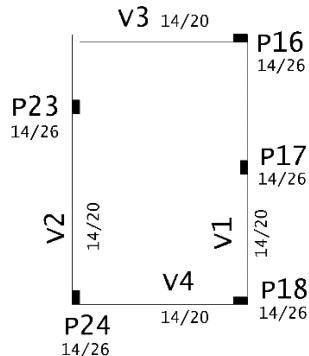
Fonte: Autor.

Figura 13 - Planta de fôrma – pavimento “Platibanda”.



Fonte: Autor.

Figura 14 - Planta de fôrma – pavimento “Caixa d’água”.



Fonte: Autor.

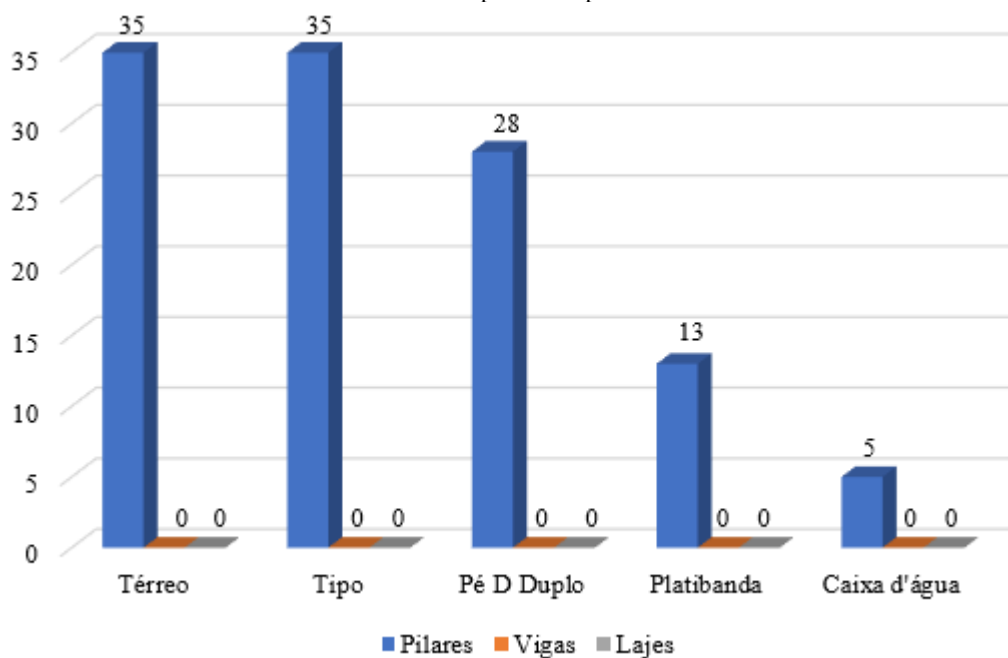
Portanto, essas foram as dimensões obtidas para a estrutura de concreto armado proposta, não levando em consideração a atuação de um incêndio, considerada como estrutura de referência. Por esse fato, somente essa foi analisada para o Estado Limite de Serviço, com verificação das flechas atendendo as prerrogativas da NBR 6118 (ABNT,2014), de serem permitidas deflexões inferiores a $L/250$.

4.2 Verificação para o TRRF de 30 minutos

A estrutura de referência foi submetida a uma verificação para o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo de 30 minutos, para analisar quais as condições apresentadas mesmo sem ter sido dimensionada para tal ocorrência. Assim, o software TQS forneceu os dados referentes a essa investigação presentes no Anexo A.

Por conseguinte, observando os dados presentes no anexo citado referentes a quais elementos não foram aprovados na verificação, pode-se perceber através do Gráfico 1 o quantitativo que representa o número desses elementos não aceitos pela metodologia pertinente.

Gráfico 1 - Elementos não aprovados para TRRF de 30 minutos.



Fonte: Autor.

Dessa maneira, percebe-se que todas as vigas e lajes foram aprovadas segundo as limitações estabelecidas pelo método tabular explicitado na NBR 15200 (ABNT, 2012). Sendo assim, todas as vigas atenderam os critérios de largura da base e de distância entre a face exposta ao fogo e o centro de gravidade das armaduras (c_1), e, todas as lajes satisfizeram os parâmetros de altura da capa de concreto, largura da base das nervuras e de c_1 .

Seguindo essa linha de raciocínio, todos os pilares emitiram um aviso referente à sua verificação, a respeito dos critérios limitadores que método analítico para pilares estabelece, apesar de que o TRF se apresentou superior ao TRRF em todos eles (situação favorável para a verificação dos pilares em casos de incêndio por essa metodologia). Dessa forma, percebe-se que não basta o TRF ser maior ao TRRF para a sua verificação, mas também o atendimento dos 5 critérios limitadores normativos, metodologia descrita no item 2.3.6.2.

O Software TQS não exhibe quais desses cinco critérios limitadores não estão sendo atendidos, dessa forma, analisou-se todos os pilares para ser identificado quais limitações interferiam na sua verificação. Obtendo assim os resultados apresentados na Tabela 5, que mostra a quantidade de pilares que não atenderam a cada restrição normativa.

Tabela 5 - Quantidade de pilares que apresentavam limitações por pavimento.

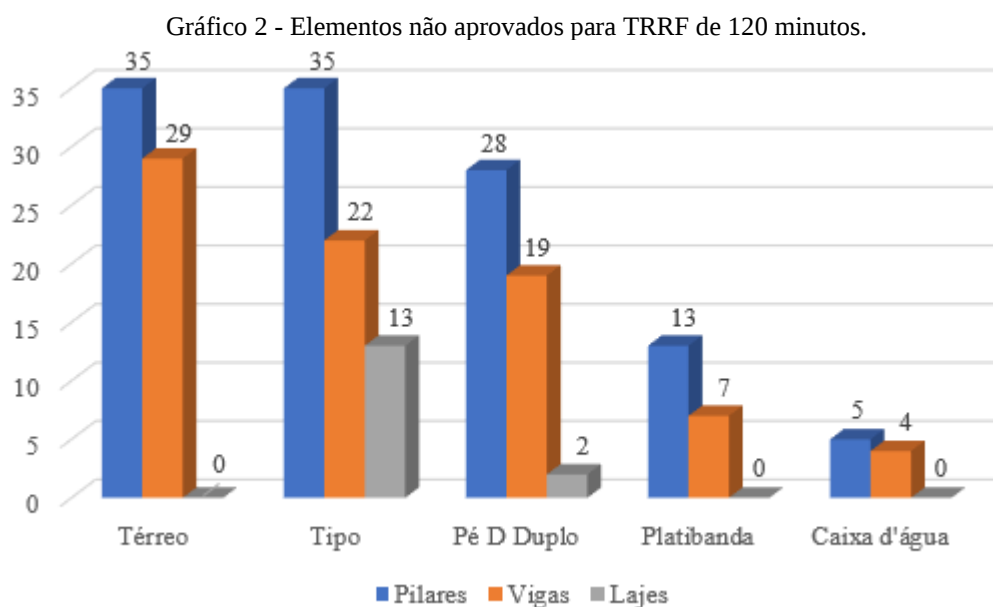
Critérios Limitadores para uso da Metodologia	Quantidade de pilares que não atendem				
	Térreo	Tipo	Pé D. Duplo	Platibanda	Caixa d'água
$As/Ac \leq 0,04$	3	2	3	0	0
$25 \text{ mm} \leq c1 \leq 80 \text{ mm}$	0	0	0	0	0
$b' \geq 190 \text{ mm}$	34	34	27	13	5
$e \leq 0,15*b$	18	17	21	11	4
$le, fi \leq 6 \text{ m}$	0	0	0	0	0

Fonte: Autor.

Vale destacar que um pilar pode ter apresentado mais de um aviso diferente em relação a essas restrições. Sendo assim, as que mais apresentaram problemas foram as relacionadas à base e à excentricidade.

4.3 Verificação para o TRRF de 120 minutos

De forma análoga ao item anterior, a estrutura de referência foi submetida a uma segunda verificação, desta vez para o TRRF de 120 minutos, e os resultados emitidos pelo Software TQS estão presentes no Anexo B. Assim, o Gráfico 2 apresenta o quantitativo de elementos não aprovados, nessa análise, por pavimento.



Fonte: Autor.

Seguindo a análise desta verificação, percebe-se que nenhum elemento da estrutura de referência foi aprovado para o TRRF de 120 minutos. Dessa forma, nenhuma viga atendeu aos parâmetros de largura da base e de distância entre a face exposta ao fogo e o centro de gravidade das armaduras (c_1), e, nenhuma laje atendeu às medidas de altura da capa de concreto, largura da base das nervuras e de c_1 estabelecidas pelas NBR 15200 (ABNT, 2012).

Por conseguinte, de forma semelhante ao item anterior, todos os pilares emitiram o aviso de que, apesar de possuírem TRF superior ao TRRF (situação favorável para a verificação pelo método analítico para pilares), não atendiam pelo menos um dos critérios limitadores estabelecidos pela normativa brasileira.

E, observa-se que, pelo fato do cálculo do TRF se dar através de uma formulação, os mesmos valores obtidos para esse fator na verificação do TRRF de 30 minutos foram os encontrados para a verificação do TRRF de 120 minutos, tendo em vista que a mesma estrutura de referência foi utilizada nas duas situações. Sendo assim, neste caso foram observadas as mesmas quantidades de pilares não atendendo os critérios da Tabela 5.

4.4 Dimensionamento da estrutura para o TRRF = 30 minutos

Relembrando que para este tempo apenas os pilares não foram aprovados, e, pelo fato de somente os critérios limitadores do método analítico para pilares não serem atendidos, o redimensionamento da estrutura de referência para o TRRF de 30 minutos se baseou nessas 5 limitações. A lista abaixo apresenta as cinco restrições, o que foi feito para atendê-las e quais pilares foram modificados.

- $l_e, f_i \leq 6 \text{ m}$: todos os pilares atenderam esse critério;
- $25 \text{ mm} \leq c_1 \leq 80 \text{ mm}$: todos os pilares atenderam esse critério;
- $b' \geq 190 \text{ mm}$: somente o pilar P35 atendeu a esse critério, dessa forma, todos os outros pilares tiveram suas dimensões de base aumentadas para 16 cm.
- $A_s/A_c \leq 0,04$: com o aumento da base feito anteriormente, esse critério foi atendido em alguns casos, porém ainda assim foi necessário aumentar a altura do pilar P4 para 35 cm e do pilar P11 para 30 cm.
- $e \leq 0,15*b$: este foi o único critério em que não se obteve sucesso no seu atendimento.

Por conseguinte, o fator relacionado a excentricidade apresentou valores elevados, e por estar relacionado diretamente a atuação das cargas não foi possível atendê-lo simplesmente modificando as dimensões dos pilares, necessitando de uma intervenção maior, incluindo no modelo estrutural para que haja uma redistribuição de cargas a ponto de que exista uma proporcionalidade ideal entre o momento e a força axial atuante nos pilares (fatores interferentes no valor da excentricidade).

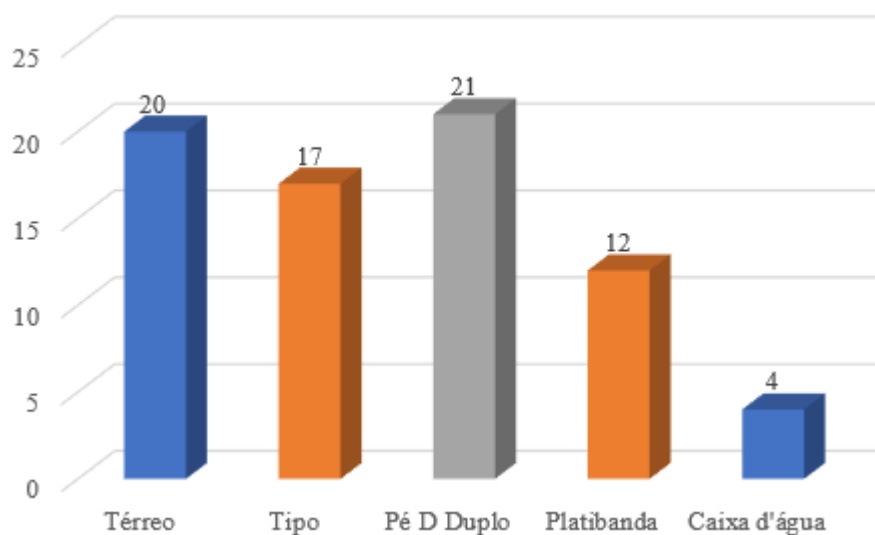
Dessa forma, todos os parâmetros necessários para a verificação dos pilares foram atendidos, a exceção da excentricidade. E, assim como realizado por Cândido (2019), optou-se por prosseguir na análise comparativa mesmo sem este fator ser solucionado, porém ressaltando o desvio de compatibilidade entre o método e a estrutura proposta para análise.

Assim, neste contexto, o estudo revelou que se um projetista deseja verificar uma estrutura de concreto armado para casos de incêndio, a sua observância deve se dar desde a etapa de concepção, visando construir um modelo estrutural com pequenas excentricidades.

E, além desse quesito, outras possíveis soluções para tal problema são as utilizações de outras metodologias que apresentem uma maior permissividade quanto ao valor da excentricidade, assim como o método tabular (ABNT NBR 15200/2012) e o método adotado pelas normas canadense (NBCC/1990) e australiana (AS 3600/2001).

O Gráfico 3 apresenta a quantidade de pilares que não atenderam aos parâmetros de excentricidade estabelecido pelo método analítico para pilares. Vale destacar que é uma quantidade menor do que a exibida na Tabela 5, por se terem acontecido modificações na estrutura.

Gráfico 3 - Quantidade de pilares que não atenderam aos limites de excentricidade por pavimento no TRRF = 30 minutos.



Fonte: Autor.

4.5 Dimensionamento da estrutura para o TRRF = 120 minutos

Relembrando a verificação realizada para esse tempo, levantou-se que nenhum elemento estrutural foi aprovado na referida análise. Assim, todas as vigas e lajes tiveram suas dimensões alteradas para atender as prescrições da NBR 15200 (ABNT, 2012), e para os pilares buscou-se enquadrá-los nos limites estabelecidos pela mesma norma.

Nesse contexto, o redimensionamento das lajes aconteceu de forma que a altura das lajes foi acrescida em 6 cm, o cobrimento aumentado para 5 cm, a altura da capa para 11 cm e a base b das nervuras para 17 cm. Isso foi feito em todas as lajes para que fossem atendidos os critérios dimensionais de cada uma dessas características segundo o método tabular.

Por conseguinte, para o redimensionamento das vigas, foi necessário aumentar o cobrimento para 4,5 cm e a largura da base para 16 cm em todas elas. Sendo atendidos assim, os critérios de largura da base e c_1 estabelecidos pela norma brasileira. Cabe ressaltar que, as vigas V1, V2 e V6 do pavimento Térreo, as vigas V9 e V10 do pavimento Tipo e a viga V16 do pavimento Pé Direito Duplo tiveram suas alturas aumentadas devido aos maiores esforços originários de um maior peso próprio da estrutura.

E, de forma semelhante ao tempo de 30 minutos, em que todos os pilares apresentaram TRF superior ao TRRF, porém pelo menos um dos critérios limitadores não foi atendido, para o de 120 minutos também se sucedeu dessa maneira. Assim, o redimensionamento dos pilares ocorreu de forma análoga ao item 4.4, tendo em vista que para as duas situações o cálculo do TRF foi o mesmo. A lista abaixo demonstra as modificações.

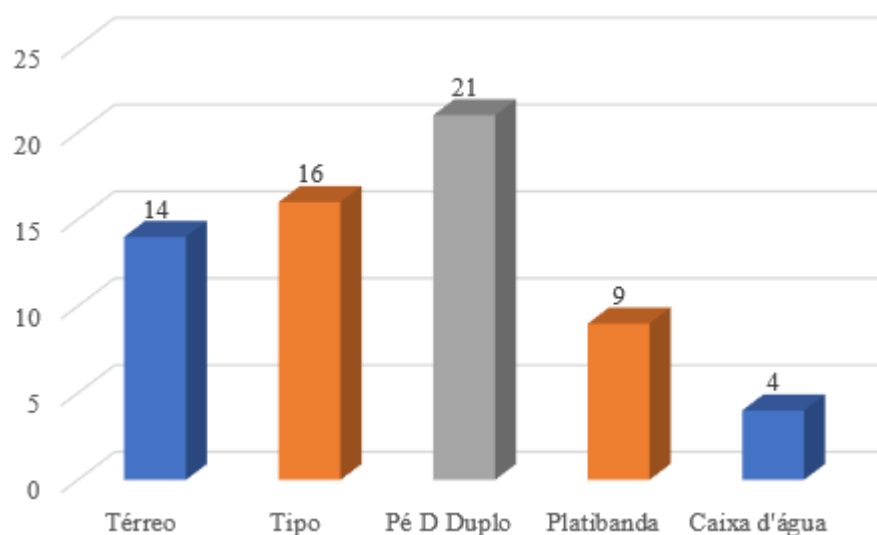
- $l_e, f_i \leq 6 \text{ m}$: todos os pilares atenderam esse critério;
- $25 \text{ mm} \leq c_1 \leq 80 \text{ mm}$: todos os pilares atenderam esse critério;
- $b' \geq 190 \text{ mm}$: somente o pilar P35 atendeu a esse critério, dessa forma, todos os outros pilares tiveram suas dimensões de base aumentadas para 16 cm.
- $A_s/A_c \leq 0,04$: com o aumento da base feito anteriormente, esse critério foi atendido em alguns casos, porém ainda assim foi necessário aumentar a altura dos pilares P3 e P4 para 35 cm.
- $e \leq 0,15*b$: este foi o único critério em que não se obteve sucesso no seu atendimento.

Além dessas modificações para o atendimento dos critérios limitadores propostos pela NBR 15200 (ABNT, 2012), foi necessário aumentar a altura dos pilares P10, P35 e P36 para 40 cm e do pilar P11 para 35 cm, por conta dos esforços originários de um maior peso próprio da estrutura neste caso.

Similarmente ao item 4.4, as excentricidades se mostraram impossibilitadas de atendimento somente com o aumento das dimensões dos pilares, assim, este foi o único critério não atendido na

análise, e, o Gráfico 4 demonstra o quantitativo de pilares que apresentaram valores acima do permitido em norma.

Gráfico 4 - Quantidade de pilares que não atenderam aos limites de excentricidade por pavimento no TRRF = 120 minutos.



Fonte: Autor.

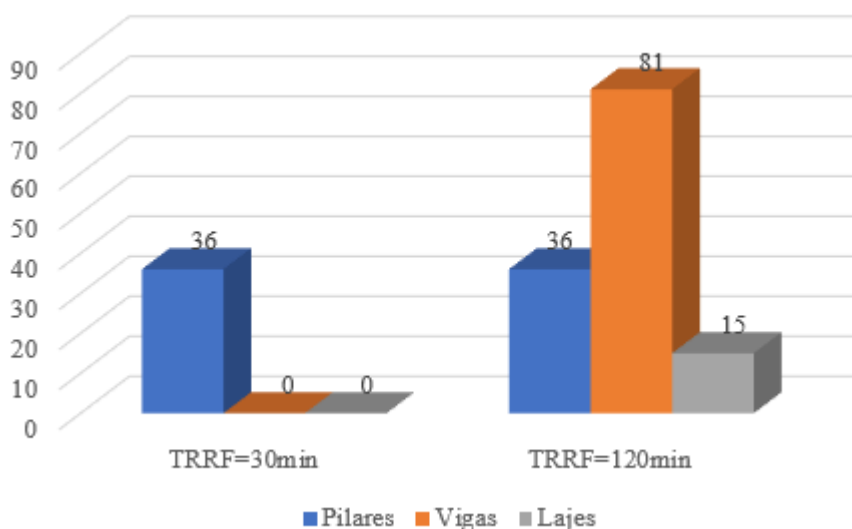
Pode-se perceber que os valores apresentados na Gráfico 4 são menores que os presentes na Gráfico 3, pelo fato de se terem ocorrido modificações na estrutura. E, assim como dito anteriormente, mesmo que os limites de excentricidade não tenham sido atendidos, as análises comparativas serão realizadas com a ressalva do desvio de compatibilidade entre o método utilizado e a estrutura estudada.

4.6 Análise comparativa das dimensões

Foram comparadas todas as dimensões das lajes, vigas e pilares para as três situações propostas (sem considerações de incêndio, TRRF = 30 minutos e TRRF = 120 minutos), e estes dados estão presentes no Anexo C. Dessa maneira, podem-se perceber através do Gráfico 5, a

quantidade de elementos que sofreram alterações para os tempos de 30 e 120 minutos em relação à estrutura de referência.

Gráfico 5 - Quantidade de elementos que sofreram alterações em relação à estrutura de referência.



Fonte: Autor.

Assim como visto anteriormente, todos os pilares sofreram alterações nas duas situações, entretanto, as vigas e lajes somente sofreram alterações na situação mais crítica. Pode-se observar com isso, que para o TRRF de 120 minutos houve uma maior quantidade de modificações na estrutura, tendo em vista que as exigências normativas são mais rigorosas, ou seja, as dimensões mínimas estabelecidas pela NBR 15200 (ABNT, 2012) são maiores para o tempo de 120 minutos do que para o tempo de 30 minutos.

Isso se torna plausível ao ponto que, quanto maior o TRRF maior é a temperatura no compartimento incendiado, segundo a curva de incêndio padrão representada na NBR 14432 (ABNT, 2000). E, com temperaturas elevadas as propriedades tanto do aço quanto do concreto decrescem, necessitando assim de maiores dimensões para TRRF maiores.

4.7 Análise comparativa dos esforços transmitidos às fundações

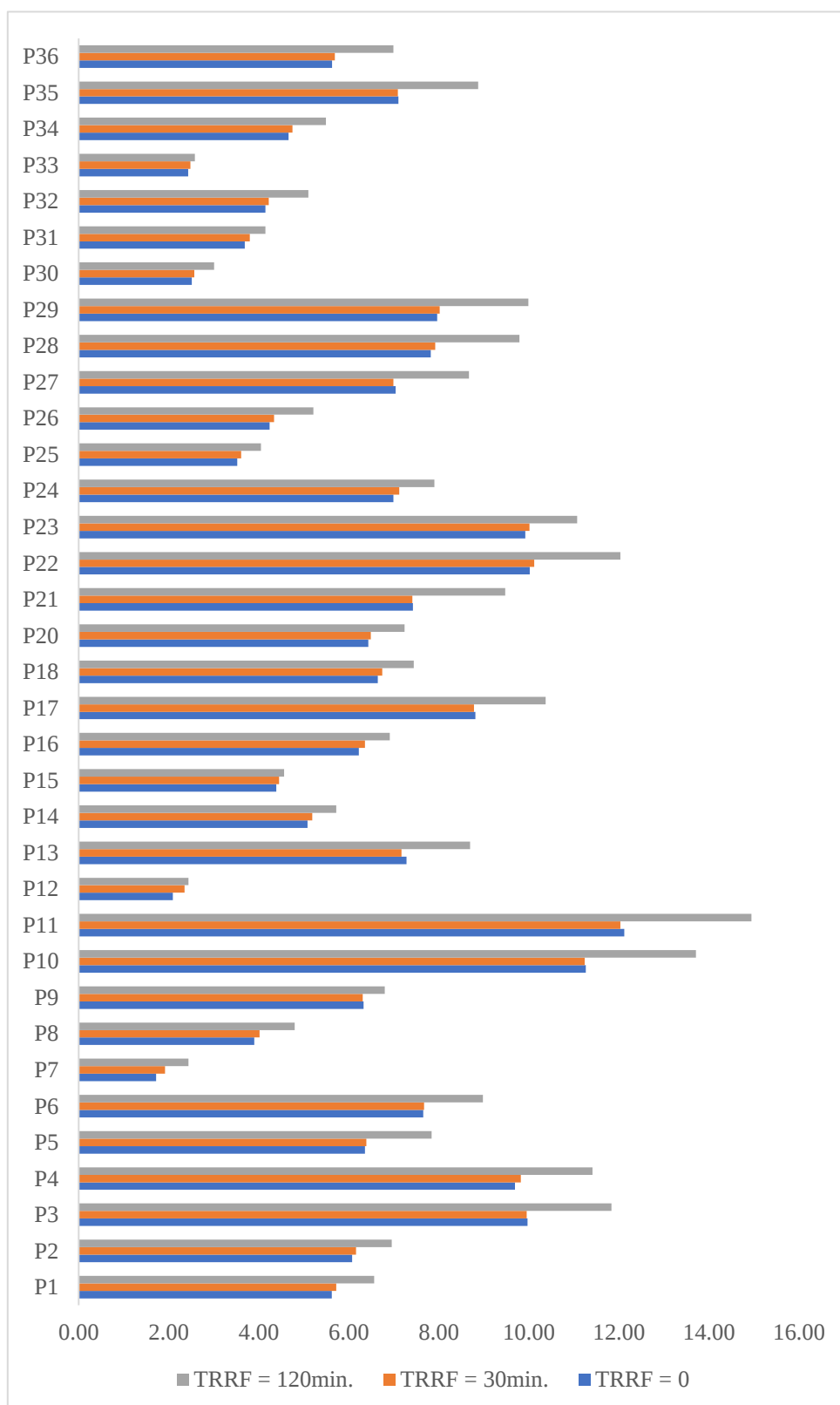
Nas Tabelas 6, 7 e 8 e nos Gráficos 6, 7 e 8 são apresentados os dados referentes aos esforços na base dos pilares, transmitidos às fundações (força axial e momentos fletores nas direções X e Y) para cada uma das três situações propostas no trabalho, de forma que, foram analisados os esforços em todos os pilares. Vale destacar que, o sentido de atuação das forças normais é de cima para baixo, os momentos positivos giram em sentido horário, e os momentos negativos giram em sentido anti-horário em torno do seu eixo.

Tabela 6 – Esforços normais nas bases dos pilares (tf).			
Força Normal			
Pilares	TRRF = 0	TRRF = 30min.	TRRF = 120min.
P1	5.62	5.72	6.56
P2	6.07	6.16	6.95
P3	9.97	9.95	11.83
P4	9.69	9.82	11.41
P5	6.36	6.39	7.84
P6	7.65	7.67	8.98
P7	1.72	1.92	2.44
P8	3.90	4.02	4.80
P9	6.33	6.31	6.80
P10	11.26	11.24	13.71
P11	12.12	12.03	14.94
P12	2.09	2.35	2.44
P13	7.28	7.17	8.69
P14	5.08	5.19	5.72
P15	4.39	4.45	4.56
P16	6.22	6.36	6.91
P17	8.81	8.78	10.37
P18	6.64	6.74	7.44
P20	6.43	6.49	7.24
P21	7.42	7.41	9.47
P22	10.02	10.12	12.03
P23	9.92	10.01	11.07
P24	6.99	7.12	7.90

P25	3.52	3.61	4.05
P26	4.24	4.34	5.21
P27	7.04	6.99	8.67
P28	7.82	7.92	9.79
P29	7.96	8.02	9.99
P30	2.51	2.57	3.01
P31	3.69	3.80	4.15
P32	4.15	4.22	5.10
P33	2.43	2.48	2.58
P34	4.66	4.75	5.49
P35	7.10	7.09	8.87
P36	5.63	5.69	6.99

Fonte: Autor.

Gráfico 6 – Esforços normais nas bases dos pilares (tf).



Fonte: Autor.

A partir dos resultados apresentados referentes às forças normais na Tabela 6 e no Gráfico 6, percebe-se de forma geral, que esses esforços cresceram com o aumento do TRRF. De modo particular, observa-se um leve aumento dessas cargas axiais no tempo de 30 minutos, o que se deve ao aumento das dimensões somente dos pilares, gerando um peso próprio ligeiramente maior. E, para o tempo de 120 minutos, os pilares apresentaram em suas bases valores de forças normais bem maiores em relação a estrutura de referência, tendo em vista que, neste caso o peso próprio da estrutura é bastante superior, por todos os elementos possuírem suas dimensões aumentadas.

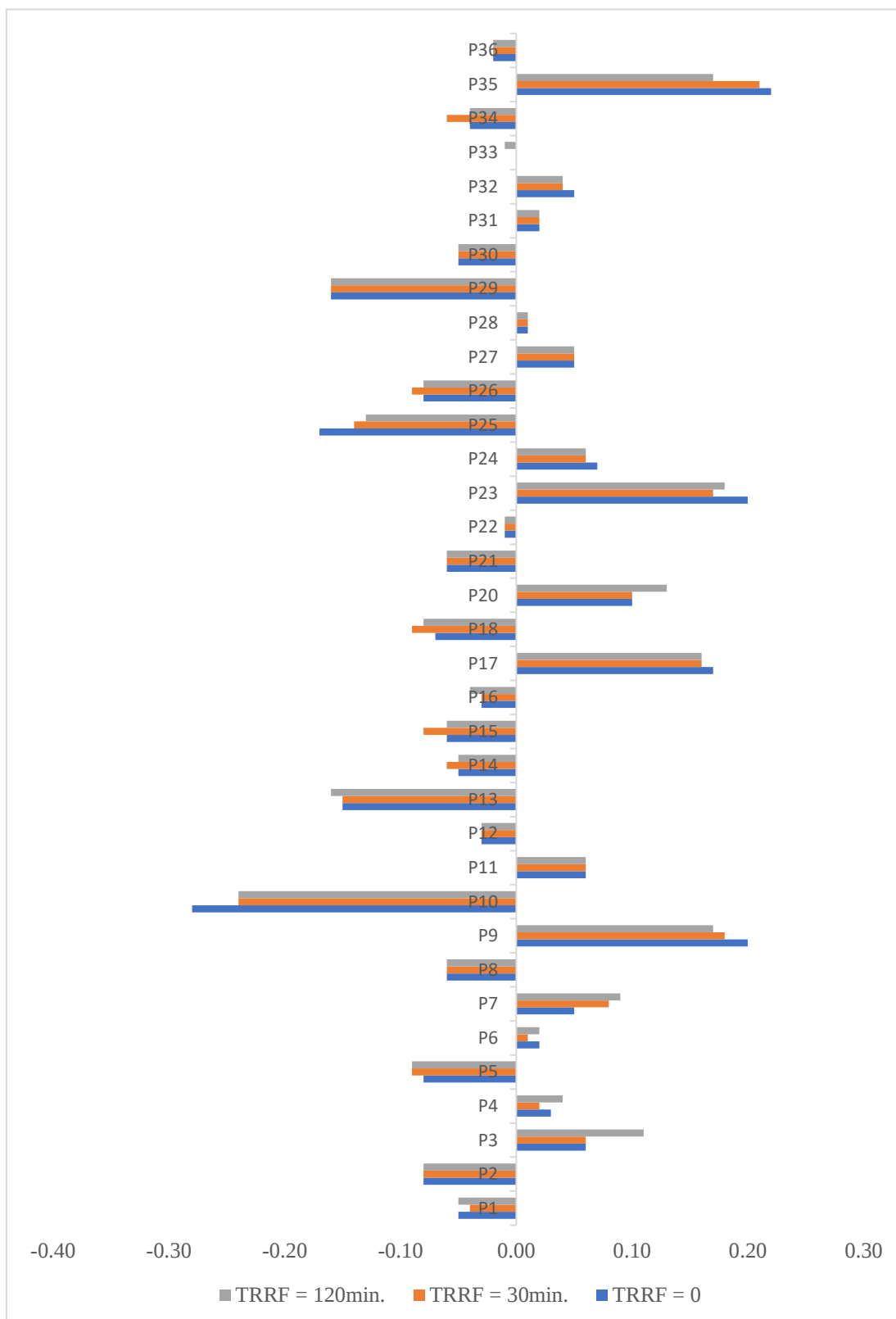
Tabela 7 – Momentos fletores na direção X na base dos pilares (tfm).

Pilares	Momento Dir. X		
	TRRF = 0	TRRF = 30min.	TRRF = 120min.
P1	-0.05	-0.04	-0.05
P2	-0.08	-0.08	-0.08
P3	0.06	0.06	0.11
P4	0.03	0.02	0.04
P5	-0.08	-0.09	-0.09
P6	0.02	0.01	0.02
P7	0.05	0.08	0.09
P8	-0.06	-0.06	-0.06
P9	0.20	0.18	0.17
P10	-0.28	-0.24	-0.24
P11	0.06	0.06	0.06
P12	-0.03	-0.03	-0.03
P13	-0.15	-0.15	-0.16
P14	-0.05	-0.06	-0.05
P15	-0.06	-0.08	-0.06
P16	-0.03	-0.03	-0.04
P17	0.17	0.16	0.16
P18	-0.07	-0.09	-0.08
P20	0.10	0.10	0.13
P21	-0.06	-0.06	-0.06
P22	-0.01	-0.01	-0.01
P23	0.20	0.17	0.18
P24	0.07	0.06	0.06
P25	-0.17	-0.14	-0.13
P26	-0.08	-0.09	-0.08

P27	0.05	0.05	0.05
P28	0.01	0.01	0.01
P29	-0.16	-0.16	-0.16
P30	-0.05	-0.05	-0.05
P31	0.02	0.02	0.02
P32	0.05	0.04	0.04
P33	0.00	0.00	-0.01
P34	-0.04	-0.06	-0.04
P35	0.22	0.21	0.17
P36	-0.02	-0.02	-0.02

Fonte: Autor.

Gráfico 7 – Momentos fletores na direção X na base dos pilares (tfm).



Fonte: Autor.

Dessa maneira, a partir dos dados obtidos em relação aos momentos fletores na direção X na Tabela 7 e no Gráfico 7, percebe-se que houve uma diferença nos dados obtidos para os diferentes TRRF's. De maneira que, 12 pilares mantiveram os mesmos valores de esforços fletores, 8 pilares tiveram suas cargas diminuídas, 7 pilares aumentadas, 5 pilares dispuseram de maiores valores para o tempo de 30 minutos e menores para o tempo de 120 minutos, e, 3 pilares, ao contrário desses, apresentaram menores cargas no tempo de 30 minutos e maiores no de 120 minutos. Constatando-se que, com modificação das dimensões da estrutura, houve uma redistribuição dos esforços que são transmitidos para as fundações, porém, não se identifica um padrão nesta redistribuição.

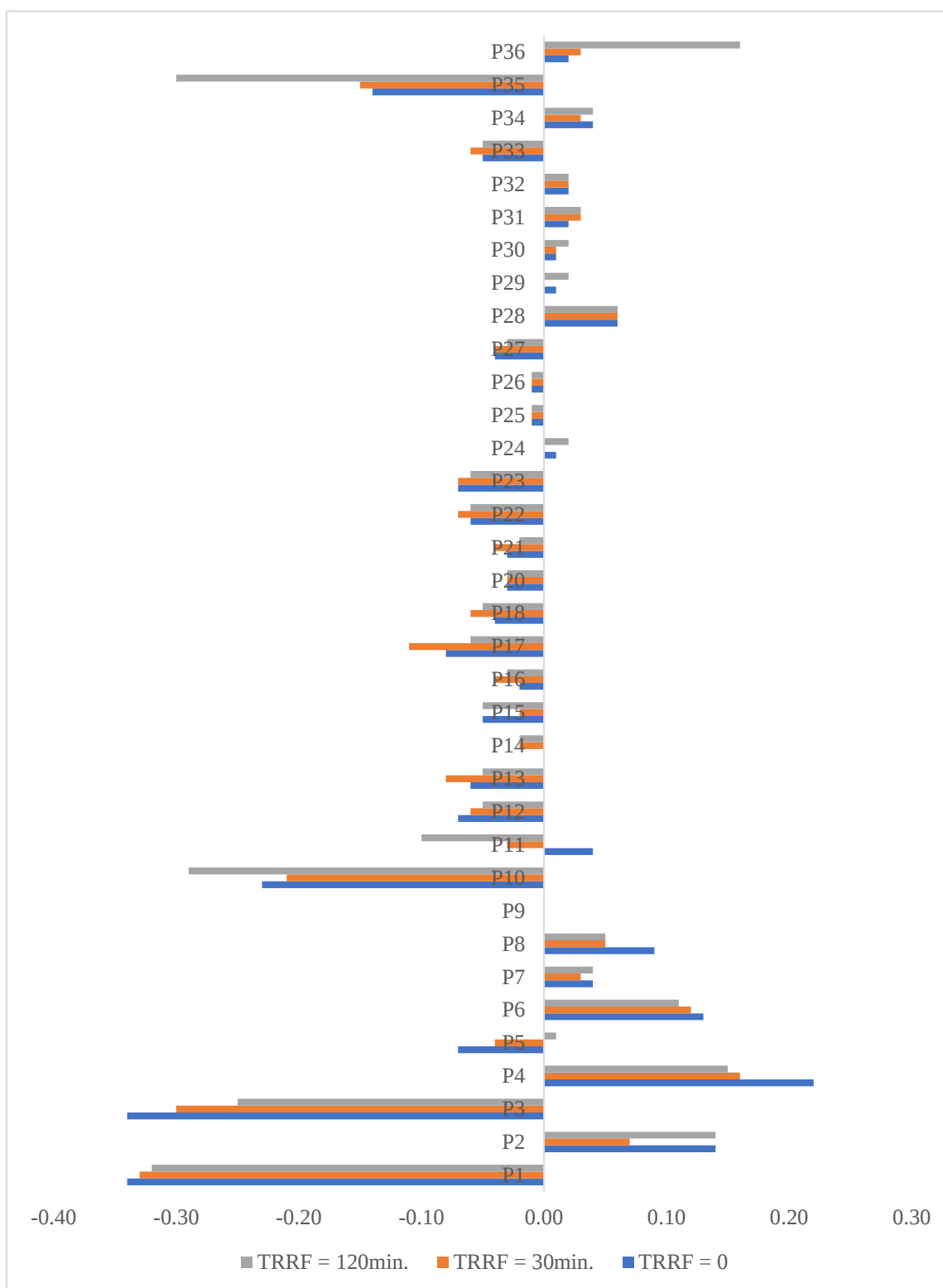
Tabela 8 – Momentos fletores na direção Y na base dos pilares (tfm).

Pilares	Momento Dir. Y		
	TRRF = 0	TRRF = 30min.	TRRF = 120min.
P1	-0.34	-0.33	-0.32
P2	0.14	0.07	0.14
P3	-0.34	-0.30	-0.25
P4	0.22	0.16	0.15
P5	-0.07	-0.04	0.01
P6	0.13	0.12	0.11
P7	0.04	0.03	0.04
P8	0.09	0.05	0.05
P9	0.00	0.00	0.00
P10	-0.23	-0.21	-0.29
P11	0.04	-0.03	-0.10
P12	-0.07	-0.06	-0.05
P13	-0.06	-0.08	-0.05
P14	0.00	-0.02	-0.02
P15	-0.05	-0.02	-0.05
P16	-0.02	-0.04	-0.03
P17	-0.08	-0.11	-0.06
P18	-0.04	-0.06	-0.05
P20	-0.03	-0.03	-0.03
P21	-0.03	-0.04	-0.02
P22	-0.06	-0.07	-0.06
P23	-0.07	-0.07	-0.06

P24	0.01	0.00	0.02
P25	-0.01	-0.01	-0.01
P26	-0.01	-0.01	-0.01
P27	-0.04	-0.04	-0.03
P28	0.06	0.06	0.06
P29	0.01	0.00	0.02
P30	0.01	0.01	0.02
P31	0.02	0.03	0.03
P32	0.02	0.02	0.02
P33	-0.05	-0.06	-0.05
P34	0.04	0.03	0.04
P35	-0.14	-0.15	-0.30
P36	0.02	0.03	0.16

Fonte: Autor.

Gráfico 8 – Momentos fletores na direção Y na base dos pilares (tfm).



Fonte: Autor.

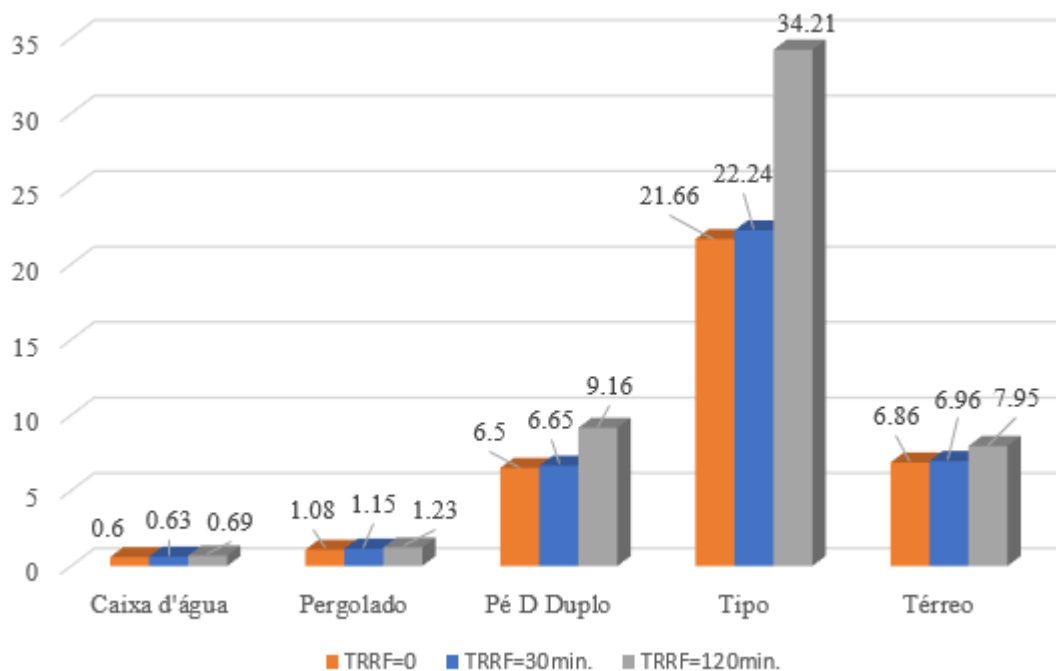
Percebe-se a partir da Tabela 8 e do Gráfico 8 que, para os momentos fletores na direção Y, os valores dos esforços transmitidos para as fundações também apresentaram valores diferentes para os diferentes TRRF's. De forma que, 6 pilares mantiveram os mesmos esforços, dentre eles o pilar P9 não apresentou nenhum esforço fletor nessa direção nos três casos de análise, 9 pilares apresentaram valores menores com o aumento do TRRF, dois desses tiveram seus sentidos de giro invertidos, 6 pilares mostraram valores maiores, 7 pilares obtiveram menores esforços para o tempo de 30 minutos e maiores para o tempo de 120 minutos, e, 7 pilares, de forma contrária, maiores valores para o tempo de 30 minutos e menores para o tempo de 120 minutos. Assim, observa-se uma redistribuição de esforços conforme o aumento das dimensões da estrutura, porém, não se identifica um padrão neste caso.

Vale destacar que, dentre os dados obtidos para o momento fletor na direção Y, os pilares P5 e P11 apresentaram inversão no sentido do giro, isso ocorreu principalmente pela disposição das vigas engastadas nesses pilares, tendo em vista que elas favoreceram a inversão dos esforços.

4.8 Análise comparativa do quantitativo de materiais

Para uma melhor compreensão dos resultados apresentados a seguir, vale lembrar que para o dimensionamento da estrutura atendendo o TRRF de 30 minutos, somente os pilares sofreram alterações, entretanto, para o TRRF de 120 minutos todos os elementos estruturais passaram por modificações. Assim, os Gráficos de 9 a 11 representam os quantitativos de concreto, fôrmas e aço para cada pavimento e a Tabela 9 apresenta de forma geral uma comparação entre as referidas quantidades.

Gráfico 9 - Quantitativo de concreto para cada pavimento em m³.

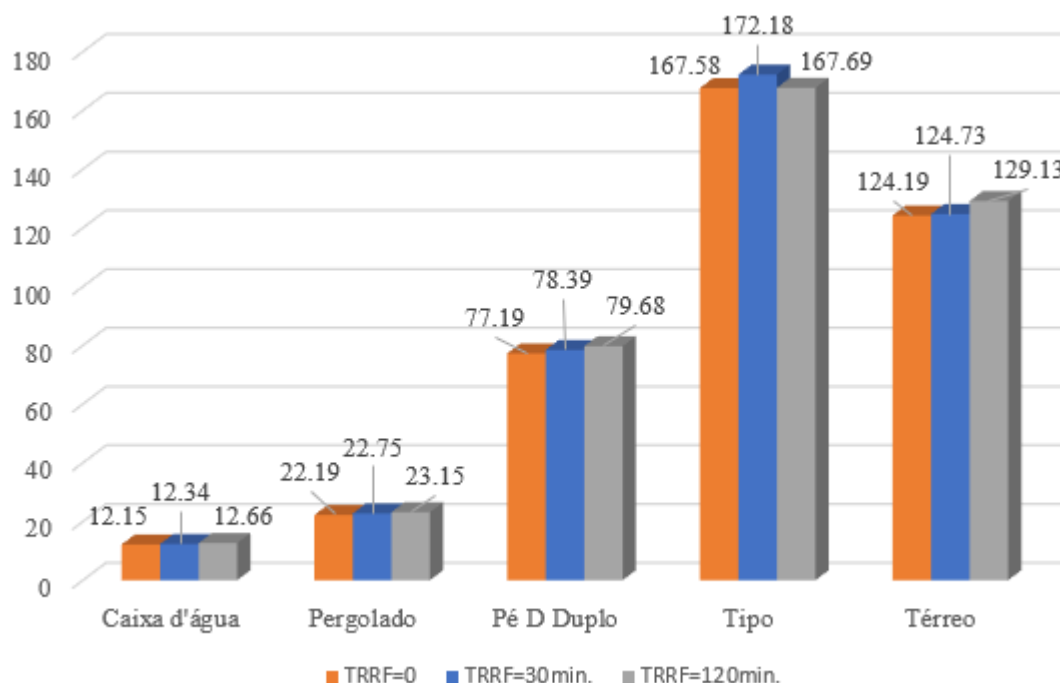


Fonte: Autor.

Analisando o quantitativo de concreto, constata-se que, as duas estruturas dimensionadas considerando a atuação do fogo obtiveram quantidades de concreto superiores à estrutura de referência em todos os pavimentos, o que se apresenta plausível pelas dimensões dos elementos estruturais terem sido aumentadas nos dois casos.

Identifica-se ainda que, em todos os pavimentos para o tempo de 30 minutos, a estrutura exibe um acréscimo não tão elevado, tendo em vista que somente os pilares possuíam suas dimensões aumentadas. Isso ocorre também examinando os pavimentos “Caixa d’água”, “Platibanda” e “Térreo” no tempo de 120 minutos, pois nesses pavimentos existem apenas pilares e vigas, e o aumento da quantidade de concreto não se mostra tão relevante quanto nos pavimentos “Pé D. Duplo” e “Tipo” por esses apresentarem lajes e a elevação neste quesito ser notadamente superior aos demais.

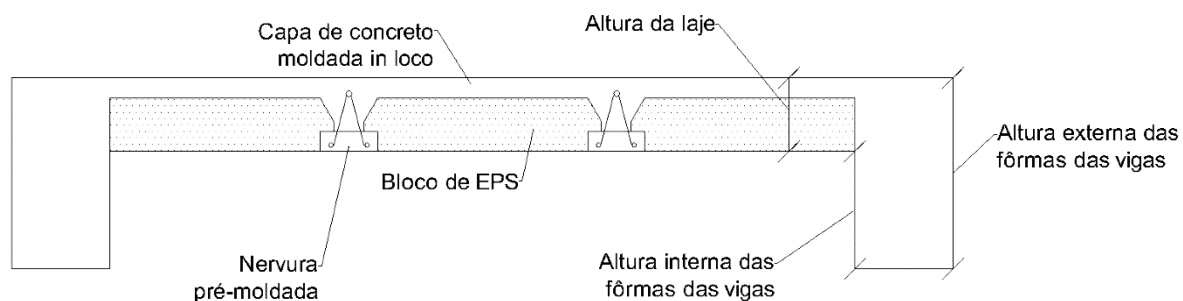
Gráfico 10 - Quantitativo de fôrmas para cada pavimento em m².



Fonte: Autor.

Para uma melhor análise do quantitativo apresentado no Gráfico 10, deve-se entender que, as lajes possuem características de nervuras pré-moldadas com enchimento de EPS, e esses elementos não necessitam de fôrmas para a sua sustentação inferior além de sua delimitação lateral coincidir com as fôrmas das vigas, tal como na Figura 15. Assim, a elevação da quantidade do material em questão se dá somente pelo aumento das dimensões das vigas e dos pilares, caracterizando um acréscimo moderado para os casos de incêndio em relação à estrutura de referência.

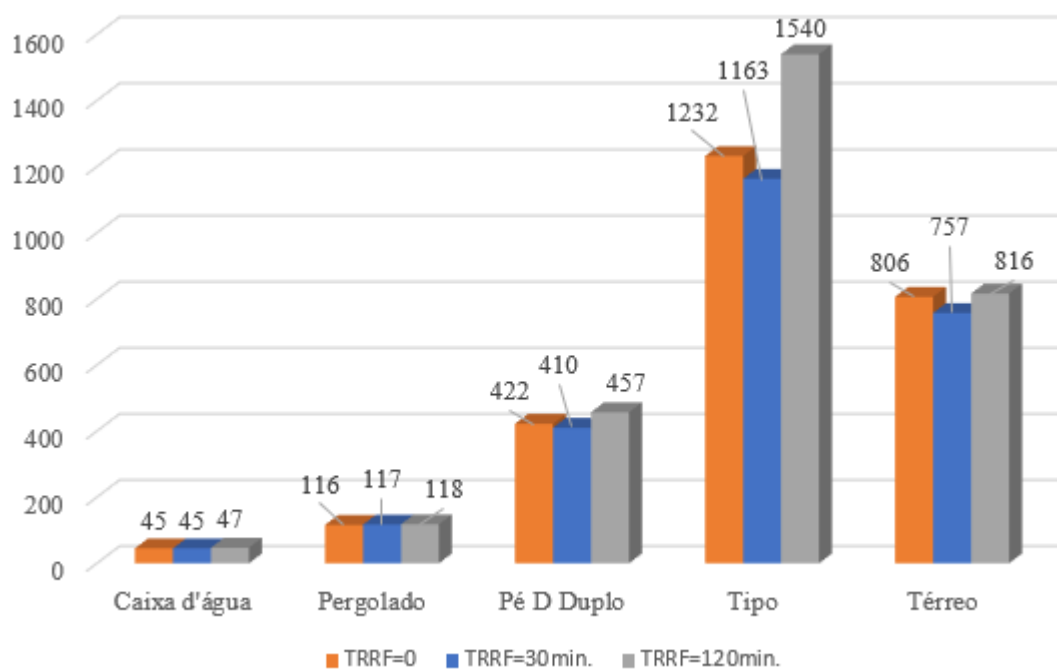
Figura 15 - Representação das fôrmas das vigas.



Fonte: Modificado de Albuquerque (1999).

E, nesse contexto, observa-se que somente no pavimento “Tipo” o quantitativo de fôrmas para o TRRF de 30 minutos é maior que para o TRRF de 120 minutos. Isso ocorre pelo fato de que, no caso de 120 minutos a altura das lajes foi aumentada de forma considerável, diminuindo a altura interna das fôrmas das vigas.

Gráfico 11 - Quantitativo de aço para cada pavimento em kg.



Fonte: Autor.

Em relação ao quantitativo de aço, conclui-se que para os pavimentos “Caixa d’água” e “Platibanda” houve um acréscimo muito pequeno nas estruturas dimensionadas para a atuação do incêndio em relação a estrutura de referência, tendo em vista que, por esses pavimentos terem poucos elementos, o acréscimo de esforços devido a um maior peso próprio foi pequeno, gerando então, pequenas adições de barras de aço para resistirem a essas cargas.

Por conseguinte, nos pavimentos “Pé D. Duplo”, “Tipo” e “Térreo”, houve um decréscimo em relação a quantidade de aço no dimensionamento para o TRRF de 30 minutos, pode-se inferir isso pelo fato de somente as dimensões dos pilares terem sido alteradas, tendo assim maiores áreas de concreto, e parte dos esforços foram absorvidos por esse material, diminuindo a necessidade das armaduras.

Porém, ainda sobre esses três pavimentos, no dimensionamento para o TRRF de 120 minutos, houve um acréscimo da quantidade de aço utilizada, constatando que, as maiores áreas de concreto não foram suficientes para resistir os novos esforços originários de um maior peso próprio, necessitando de mais barras de aço pra resisti-los.

Realizando uma análise geral através do somatório desses materiais para todos os pavimentos, assim como representado na Tabela 9, pode-se perceber que tanto a quantidade de concreto quanto a de fôrmas aumentaram com um maior TRRF. Porém, no quantitativo de aço isso só se torna verdadeiro para o tempo de 120 minutos, pois para o tempo de 30 minutos houve um decréscimo em sua quantidade, identificando que as maiores áreas de concreto nos pilares melhoraram o desempenho no dimensionamento das armaduras.

Tabela 9 – Quantitativo total dos materiais para as três situações de projeto diferentes

	Concreto (m3)	Fôrmas (m2)	Aço (kg)
TRRF=0	36.71	403.31	2621
TRRF=30 min.	37.63	410.4	2493
TRRF=120min.	53.25	412.3	2981

Fonte: autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A princípio, deve-se levantar a importância da difusão de conhecimentos referentes a atuação de incêndios em estruturas de concreto armado, tendo em vista a sua capacidade de destruição nas edificações. Assim, a análise da influência de diferentes tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) no dimensionamento de uma estrutura de concreto armado se mostra relevante no meio acadêmico e profissional envolvido.

Por conseguinte, a análise de qual a influência dos dois diferentes TRRF's em uma estrutura de concreto armado não projetada para atender a essas situações se mostrou atendida. Pois, com os dados obtidos tanto das dimensões, quanto dos esforços nas fundações e dos quantitativos de materiais, pode-se tomar as devidas conclusões em relação aos diferentes resultados apresentados.

Sucessivamente, identifica-se o atendimento das análises comparativas entre as três situações de projeto relacionando suas dimensões, esforços nas fundações e quantitativo de materiais. Porém, a pesquisa demonstrou relativa dificuldade na realização do dimensionamento das estruturas que atendessem os casos de incêndio, por apresentar elevados valores de excentricidade, que é um parâmetro considerado pela NBR 15200 (ABNT, 2012).

Nesse contexto, não se conseguindo atender o critério limitador da excentricidade para o dimensionamento dos pilares em casos de incêndio, se realizou as devidas comparações com a ressalva de incompatibilidade entre o método analítico para pilares e a estrutura projetada para o estudo. Dessa maneira, essa situação se apresenta como uma limitação da pesquisa realizada, pois não se alcançou o atendimento do parâmetro normativo da excentricidade apenas com as modificações geométricas dos elementos estruturais, necessitando assim, de um ajuste no modelo estrutural da edificação. Portanto, obteve-se o entendimento de que para uma melhor verificação de incêndio em estruturas de concreto armado, esse pressuposto deve ser levado em conta desde a concepção estrutural.

De forma contínua, a partir das comparações realizadas para as dimensões das estruturas, esforços nas fundações e de seus quantitativos de materiais, observou-se que, confirmando algumas hipóteses, as dimensões dos elementos estruturais, o quantitativo de concreto e de fôrmas foram aumentadas em relação a um maior TRRF. Porém, as hipóteses relacionadas aos esforços nas

fundações e quantitativo de aço foram refutadas, tendo em vista que para o tempo de 30 minutos houve um decréscimo na quantidade de aço, e em relação aos esforços a redistribuição de momentos fletores transmitidos para as fundações não apresentaram tal padronização.

E, isso foi possível com o atendimento da metodologia proposta inicialmente, que visou utilizar o Software TQS para fazer as devidas verificações e alterações dimensionais. Dessa maneira, o software conseguiu fornecer todos os dados necessários para que fossem tomadas as conclusões pertinentes.

Assim, com todos os dados e análises levantadas foi possível tomar as devidas conclusões quanto a real influência de diferentes tempos requeridos de resistência ao fogo em uma estrutura de concreto armado não projetada para essas considerações. Tendo, portanto, suas dimensões, esforços normais transmitidos às fundações, quantitativos de concreto e fôrmas acrescidas conforme o aumento do TRRF, o seu quantitativo de aço reduzido para o TRRF de 30 minutos, porém acrescidos quando sujeitado ao tempo de 120 minutos, e, a redistribuição dos momentos fletores transmitidos às fundações não apresentaram padronização.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Recomenda-se as seguintes sugestões e considerações para trabalhos futuros:

- Avaliar conforme o quantitativo dos materiais levantados para o dimensionamento de diferentes tempos requeridos de resistência ao fogo a sua precificação conforme os índices pertinentes;
- Investigar as consequências das excentricidades elevadas no dimensionamento de uma estrutura de concreto armado para casos de incêndio e se esses impactos são majorados com o aumento da temperatura;
- Realizar a comparação entre a norma brasileira NBR 15200 (ABNT, 2012) e a norma australiana AS 3600 (2001), verificando a preponderância da exigência da excentricidade nos dois casos.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALMEIDA, Mateus de Carvalho. **Verificação da segurança estrutural de pilares de concreto armado em situação de incêndio**. 2018. p. 100. Monografia (Graduação) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2018.

ANJOS, Luíza Vitória Santos dos; **Análise de pilares de concreto armado em situação de incêndio**. 2021. p. 89. Monografia (Graduação) – CETEC – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528: Revestimentos de parede de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração**. Rio de Janeiro, p. 11. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 14. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. Rio de Janeiro, p. 48. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628: Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo**. Rio de Janeiro, p. 12. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 238. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 18. 2004.

BATTAGIN, Arnaldo Forti; SILVEIRA, Ana Livia Zeitune de P. Estudo da microestrutura do concreto em situação de incêndio: um termômetro da temperatura alcançada. **IBRACON – Concreto e construções: segurança e dimensionamento das estruturas, metodologias experimentais para avaliação de danos e normalização**. p. 44 – 48. 2018.

BATTISTA, Ronaldo C.; BATISTA, Eduardo M.; CARVALHO, Eliane M. L. Reabilitação estrutural do prédio do aeroporto Santos Dumont após danos causados por incêndio. **Revista Internacional de desastres naturales, accidentes e infraestructura civil**. p. 51 – 60. 2001.

BONITESE, Karina Venâncio. **Segurança contra incêndio em edifício habitacional de baixo custo estruturado em aço**. 2007. p. 253. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais. 2007.

BRASIL, Cássio Henrique. **Lajes pré-fabricadas de concreto: tipologias, dimensionamento, detalhamento, métodos executivos e patologias**. 2017. p. 87. Monografia (Graduação) – Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2017.

CÂNDIDO, Carlos Arthur de Oliveira. **Dimensionamento de um edifício para situação normal de temperatura e para situação de incêndio: uma análise comparativa**. 2019. p. 144. Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2019.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO TOCANTINS. **Norma técnica nº 6: Segurança Estrutural das Edificações**. Palmas. p. 17. 2021.

COSTA, Carla Neves. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situações de incêndio**. 2008. p. 354. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. v. 1. 2008.

DUARTE, Rogério; ONO, Rosária; BENTO, Silvio. **Problemática de incêndio em edifícios altos**. 1ª Edição. Editora do autor. São Paulo. 2021.

ESTATÍSTICAS. Instituto Sprinkler Brasil. Disponível em: <<https://sprinklerbrasil.org.br/instituto-sprinkler-brasil/estatisticas/>>. Acesso em: 07/02/2022.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1992-1-2 - Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design**. Bruxelas, Bélgica. p. 97. 2004.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6ª edição. Editora Atlas Ltda. São Paulo. 2017.

GIONGO, José Samuel. **Concreto armado: projeto estrutural de edifícios**. 2007. p. 176. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007.

JÚNIOR, Odinir Klein. **Verificação da segurança estrutural de pilares de concreto armado em situação de incêndio**. 2011. p. 208. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.

LAJE TRELIÇADA COM EPS. **Engemolde - Engenharia, indústria e comércio LTDA**. Disponível em: <http://www.engemolde.com.br/uploads/produtos/laje_trelicada_eps.pdf>. Acesso em: 07/02/2022.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia de trabalho científico**. 4ª Edição. Editora Atlas S.A. São Paulo. 1992.

LIMA, Rogério Cattelan Antochaves de. **Dimensionamento de elementos de concreto à flexão simples em situação de incêndio**. 2005. p. 241. Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2005.

LIMA, Stéphanie de Souza. **Análise da estrutura em concreto armado de uma edificação em situação de incêndio por métodos estabelecidos pela ABNT NBR 15200:2012**. 2021. p. 107. Monografia (Graduação) – Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul. 2021.

PEREIRA, Rafael Righi Bento. **Lajes pré-fabricadas de concreto: tipologias, dimensionamento, detalhamento, métodos executivos e patologias**. 2015. p. 126. Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2015.

PINTO, Lorena Dantas; ASSIS, Dandara Pereira Moura de; NASCIMENTO, Raquel Ferreira do; SOUZA, Leovegildo Douglas Pereira de. Análise comparativa do processo de verificação de peças flexo-comprimidas sob situação de incêndio pelas abordagens normativas brasileira, americana e europeia. **IV Encontro Nacional dos Estudantes de Engenharia Civil**. João Pessoa/PB. p. 70-77. 2017.

ROBERT, Fabienne. Fire resistance assessment of concrete structures according to EN 1992-1-2. **Eurocodes: Background & Applications Structural Fire Design**. JRC Science and Policy Reports, Eurocode Commission. p. 169 – 204. 2014.

SANTOS, Amanda Diniz; SANTOS, Isadora Diniz; CORREA, Willian. Prevenção e combate a incêndio nas edificações. **Anais do 1º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma**. p. 567 – 581. 2019.

SILVA, Diogo Raniere Ramos e; MOREIRA, Maria de Lourdes Teixeira. Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio conforme método tabular e princípio de cálculo das zonas. **Coleção: Desafios das Engenharias: Engenharia Civil**. Editora Atena. p. 16 – 27. 2021.

SILVA, Valdir Pignatta. Estruturas em situação de incêndio; diferenças entre normas brasileira e europeia. **Escola Politécnica da Universidade**. p. 15. São Paulo. 2015.

SILVA, Valdir Pignatta; AZEVEDO, Macksuel Soares de. Análise térmica de estruturas de aço externas a edificações, sem revestimento contra fogo. **Congresso de Metálica e Mista**. p. 1 – 10. 2009.

SOUZA, Douglas Alves de; SILVA, Guilherme Pereira. **Estruturas de concreto em situação de incêndio**. 2015. p. 135. Monografia (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2015.

TOCANTINS. **Lei nº 1.787, de 15 de maio de 2007.** Dispõe sobre a Segurança contra Incêndio e Pânico em edificações e áreas de risco no Estado do Tocantins. Diário Oficial do Estado nº 2.407. 2007.

TOCANTINS. **Lei nº 1.828, de 21 de setembro de 2007.** Altera a Lei 1.787, de 15 de maio de 2007, que dispõe sobre a Segurança contra Incêndio e Pânico em Edificações e Áreas de Risco no Estado do Tocantins. Diário Oficial do Estado nº 2.498. 2007.

TOCANTINS. **Lei nº 2.866, de 15 de maio de 2014.** Altera a Lei 1.787, de 15 de maio de 2007, que dispõe sobre a Segurança contra Incêndio e Pânico em edificações e áreas de risco no Estado do Tocantins, e adota outras providências. Diário Oficial do Estado nº 4.132. 2014.

ANEXOS

ANEXO A – VERIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS PARA TRRF = 30 MINUTOS



Edifício TCC_v2

11/06/2022 11:40:57

Legenda

(Tabela de vigas)

- Tipo: biapoiada ou contínua
- b: largura da seção transversal (mm)
- c1: Distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm)

(Tabela de lajes)

- Tipo: apoiada em vigas, lisa ou cogumelo, nervurada biapoiada ou nervurada contínua
- Dir. As: armada em uma direção ou em duas
- Ly/Lx: relação entre as dimensões em planta
- h: altura total da laje (mm)
- c1: distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm)
- b: largura da nervura (mm)
- hc: altura da capa (mm)

(Tabela de pilares)

- Tipo: comum, pilar-parede ou tirante
- NSdi/NRd: relação entre a força solicitante de cálculo em situação de incêndio (tf) e a força resistente de cálculo em situação normal (tf)
- NFE: número de faces expostas ao fogo
- e: excentricidade (mm)
- As/Ac: taxa geométrica de armadura
- w: taxa mecânica de armadura
- ni: força normal adimensional
- le: pé-direito (m)
- le,fi: comprimento efetivo em incêndio (m)
- NB: número total de barras de armaduras
- b x h: menor e maior dimensão do pilar (mm)
- c1: distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm)
- 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

Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF)

TRRF = 30 min

Pavimentos analisados

[Fundacao](#)

[Térreo](#)

[Tipo](#)

[Pé D Duplo](#)

[Platibanda](#)

[Caixa d'água](#)

Fundacao

Vigas

Não há vigas

Lajes

Não há lajes

Pilares

Não há pilares

Térreo

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	170	56	OK
V2	Biapoiada	1	170	56	OK
V3	Biapoiada	1	170	55	OK
V4	Biapoiada	1	170	54	OK
V5	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	55	OK
V6	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	54	OK
V7	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	55	OK
V8	Biapoiada	1	170	54	OK
V9	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	55	OK
V10	Biapoiada	1	170	54	OK

V11	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
		3	170	54	OK
		4	170	54	OK
V12	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
		3	170	54	OK
V13	Biapoiada	1	170	54	OK
V14	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
V15	Biapoiada	1	170	54	OK
V16	Biapoiada	1	170	54	OK
V17	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
V18	Biapoiada	1	170	55	OK
V19	Biapoiada	1	170	54	OK
V20	Biapoiada	1	170	54	OK
V21	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
V22	Biapoiada	1	170	54	OK
V23	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	55	OK
V24	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
		3	170	54	OK
		4	170	54	OK
		5	170	55	OK
V25	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
V26	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
V27	Biapoiada	1	170	54	OK
V28	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
V29	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	55	OK
		3	170	55	OK
		4	170	55	OK
		5	170	54	OK

Lajes

Não há lajes

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	5.13/64.54 = 0.08	2	38	0.017	0.420	0.08	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=233
P2	Pilar	5.56/75.23 = 0.07	2	41	0.027	0.657	0.07	0.6	0.3	8	140x260	57	TRF>TRRF*, TRF=244
P3	Pilar	8.86/132.90 = 0.07	2	92	0.057	1.381	0.07	0.6	0.3	13	150x300	57	TRF>TRRF*, TRF=245
P4	Pilar	8.62/146.03 = 0.06	2	109	0.061	1.477	0.06	0.6	0.3	19	150x300	55	TRF>TRRF*, TRF=237
P5	Pilar	5.35/79.50 = 0.07	2	57	0.024	0.584	0.07	0.6	0.3	10	140x260	51	TRF>TRRF*, TRF=221
P6	Pilar	6.82/92.54 = 0.07	2	42	0.034	0.824	0.08	0.6	0.3	11	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=234
P7	Pilar	1.50/84.86 = 0.02	2	19	0.024	0.584	0.02	0.6	0.3	10	140x260	51	TRF>TRRF*, TRF=231
P8	Pilar	3.59/75.76 = 0.05	2	42	0.017	0.420	0.06	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=240
P9	Pilar	5.92/71.56 = 0.08	2	12	0.017	0.420	0.09	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=232
P10	Pilar	10.02/86.82 = 0.12	2	74	0.020	0.488	0.11	0.6	0.3	8	140x350	58	TRF>TRRF*, TRF=236
P11	Pilar	10.25/72.36 = 0.14	2	14	0.017	0.420	0.16	0.6	0.3	8	140x260	55	

													TRF>TRRF*, TRF=221
P12	Pilar	2.04/77.59 = 0.03	2	38	0.017	0.420	0.03	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=244
P13	Pilar	6.25/81.02 = 0.08	2	68	0.014	0.340	0.08	0.6	0.3	8	150x300	55	TRF>TRRF*, TRF=234
P14	Pilar	4.75/79.12 = 0.06	2	12	0.017	0.420	0.07	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=237
P15	Pilar	4.10/72.95 = 0.06	2	57	0.017	0.420	0.06	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=238
P16	Pilar	5.85/77.84 = 0.08	2	4	0.017	0.420	0.09	1.2	0.6	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=227
P17	Pilar	7.85/67.90 = 0.12	2	48	0.017	0.420	0.12	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=226
P18	Pilar	6.26/79.12 = 0.08	2	6	0.017	0.420	0.10	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=233
P20	Pilar	6.05/67.21 = 0.09	2	12	0.017	0.420	0.09	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=231
P21	Pilar	6.05/76.45 = 0.08	2	21	0.017	0.420	0.09	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=233
P22	Pilar	8.47/77.29 = 0.11	2	12	0.017	0.420	0.13	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=227
P23	Pilar	9.14/62.27 = 0.15	2	61	0.017	0.420	0.14	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=220
P24	Pilar	6.39/70.95 = 0.09	2	33	0.017	0.420	0.10	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=231
P25	Pilar	3.40/67.29 = 0.05	2	9	0.017	0.420	0.05	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=239
P26	Pilar	3.58/78.16 = 0.05	2	23	0.017	0.420	0.06	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=240
P27	Pilar	5.81/76.33 = 0.08	2	21	0.017	0.420	0.09	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=234
P28	Pilar	6.65/75.23 = 0.09	2	24	0.017	0.420	0.10	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=231
P29	Pilar	6.82/119.71 = 0.06	2	1	0.044	1.076	0.07	1.2	0.6	8	140x260	59	TRF>TRRF*, TRF=247
P30	Pilar	2.25/78.58 = 0.03	2	5	0.017	0.420	0.03	1.2	0.6	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=236
P31	Pilar	3.51/78.20 = 0.04	2	21	0.017	0.420	0.05	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=240
P32	Pilar	3.70/78.89 = 0.05	2	5	0.017	0.420	0.06	1.2	0.6	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=233
P33	Pilar	2.41/79.69 = 0.03	2	1	0.017	0.420	0.04	1.2	0.6	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=236
P34	Pilar	4.29/74.92 = 0.06	2	23	0.017	0.420	0.07	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=238
P35	Pilar	6.17/90.33 = 0.07	2	127	0.020	0.498	0.07	0.6	0.3	8	160x300	57	TRF>TRRF*, TRF=289
P36	Pilar	4.71/117.57 = 0.04	2	3	0.018	0.437	0.05	0.6	0.3	12	150x350	55	TRF>TRRF*, TRF=241

Tipo

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	170	54	OK
V2	Biapoiada	1	170	54	OK
V3	Biapoiada	1	170	54	OK
V4	Biapoiada	1	170	54	OK
V5	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
V6	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	56	OK
V7	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
V8	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
		3	170	55	OK
V9	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
		3	170	55	OK

		4	170	55	OK
V10	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
		3	170	55	OK
V11	Biapoiada	1	170	54	OK
V12	Biapoiada	1	170	56	OK
V13	Biapoiada	1	170	54	OK
V14	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	54	OK
		3	170	55	OK
V15	Biapoiada	1	170	55	OK
V16	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
		3	170	55	OK
V17	Biapoiada	1	170	55	OK
V18	Biapoiada	1	170	54	OK
V19	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	54	OK
		3	170	55	OK
		4	170	55	OK
		5	170	54	OK
V20	Contínua	1	170	56	OK
		2	170	56	OK
V21	Biapoiada	1	170	54	OK
V22	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
		3	170	55	OK
		4	170	55	OK
		5	170	55	OK

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Nervurada contínua	---	---	---	43	120	65	OK
L2	Nervurada contínua	---	---	---	43	120	65	OK
L3	Nervurada contínua	---	---	---	40	120	65	OK
L4	Nervurada contínua	---	---	---	40	120	65	OK
L5	Nervurada contínua	---	---	---	40	120	65	OK
L6	Nervurada contínua	---	---	---	43	120	65	OK
L7	Nervurada contínua	---	---	---	40	120	65	OK
L8	Nervurada contínua	---	---	---	40	120	65	OK
L9	Nervurada contínua	---	---	---	40	120	65	OK
L10	Nervurada contínua	---	---	---	40	120	65	OK
L11	Nervurada contínua	---	---	---	43	120	65	OK
L12	Nervurada contínua	---	---	---	43	120	65	OK
L13	Nervurada contínua	---	---	---	43	120	65	OK

Pilares

Titulo	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	2.54/60.58 = 0.04	2	25	0.009	0.210	0.05	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=183
P2	Pilar	2.53/60.50 = 0.04	2	27	0.009	0.210	0.05	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=183
P3	Pilar	4.42/108.41 = 0.04	2	260	0.042	1.020	0.04	3.3	1.65	6	150x300	61	TRF>TRRF*, TRF=234

P4	Pilar	4.13/109.58 = 0.04	2	278	0.044	1.062	0.04	3.3	1.65	4	150x300	65	TRF>TRRF*, TRF=222
P5	Pilar	2.96/61.11 = 0.05	2	158	0.013	0.328	0.05	3.3	2.31	4	140x260	57	TRF>TRRF*, TRF=177
P6	Pilar	3.38/68.21 = 0.05	2	186	0.022	0.538	0.05	3.3	1.65	4	140x260	59	TRF>TRRF*, TRF=197
P7	Pilar	1.53/59.97 = 0.03	2	380	0.013	0.328	0.03	3.3	2.31	4	140x260	57	TRF>TRRF*, TRF=181
P8	Pilar	2.52/56.23 = 0.04	2	18	0.009	0.210	0.05	3.3	2.31	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=169
P9	Pilar	2.19/64.77 = 0.03	2	50	0.009	0.210	0.04	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=184
P10	Pilar	5.88/70.82 = 0.08	2	35	0.006	0.156	0.08	3.3	1.65	4	140x350	55	TRF>TRRF*, TRF=176
P11	Pilar	7.01/61.19 = 0.11	2	6	0.009	0.210	0.13	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=170
P12	Pilar	0.88/66.38 = 0.01	2	105	0.009	0.210	0.02	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=188
P13	Pilar	2.99/78.28 = 0.04	2	24	0.007	0.170	0.05	3.3	2.31	4	150x300	55	TRF>TRRF*, TRF=170
P14	Pilar	1.95/64.47 = 0.03	2	69	0.009	0.210	0.04	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=185
P15	Pilar	1.23/66.68 = 0.02	2	38	0.009	0.210	0.02	3.3	2.31	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=174
P16	Pilar	3.47/65.65 = 0.05	2	6	0.009	0.210	0.06	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=181
P17	Pilar	4.53/65.65 = 0.07	2	12	0.009	0.210	0.08	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=178
P18	Pilar	3.51/65.99 = 0.05	2	20	0.009	0.210	0.06	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=181
P20	Pilar	2.56/63.32 = 0.04	2	28	0.009	0.210	0.05	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=183
P21	Pilar	3.81/66.99 = 0.06	2	8	0.009	0.210	0.07	3.3	2.31	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=167
P22	Pilar	5.75/67.21 = 0.09	2	4	0.009	0.210	0.10	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=175
P23	Pilar	5.13/63.32 = 0.08	2	29	0.009	0.210	0.09	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=176
P24	Pilar	4.10/64.24 = 0.06	2	13	0.009	0.210	0.07	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=179
P25	Pilar	1.49/63.21 = 0.02	2	13	0.009	0.210	0.03	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=186
P26	Pilar	2.28/67.60 = 0.03	2	3	0.009	0.210	0.04	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=184
P27	Pilar	3.48/66.30 = 0.05	2	7	0.009	0.210	0.06	3.3	2.31	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=168
P28	Pilar	4.52/63.55 = 0.07	2	34	0.009	0.210	0.08	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=178
P29	Pilar	4.62/87.32 = 0.05	2	5	0.022	0.538	0.07	6.6	3.3	4	140x260	59	TRF>TRRF*, TRF=162
P30	Pilar	1.47/67.29 = 0.02	2	6	0.009	0.210	0.03	6.6	3.3	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=153
P31	Pilar	2.17/66.91 = 0.03	2	18	0.009	0.210	0.04	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=185
P32	Pilar	2.75/67.60 = 0.04	2	4	0.009	0.210	0.05	6.6	3.3	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=150
P33	Pilar	1.54/67.29 = 0.02	2	2	0.009	0.210	0.03	6.6	3.3	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=153
P34	Pilar	2.66/65.69 = 0.04	2	7	0.009	0.210	0.05	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=183
P35	Pilar	4.33/74.01 = 0.06	2	52	0.007	0.159	0.06	3.3	1.65	4	160x300	55	TRF>TRRF*, TRF=219
P36	Pilar	4.19/87.43 = 0.05	2	9	0.009	0.219	0.05	3.3	1.65	6	150x350	55	TRF>TRRF*, TRF=209

Pé D Duplo

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	170	54	OK
V2	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
V3	Contínua	1	170	54	OK

		2	170	54	OK
V4	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
V5	Biapoiada	1	170	54	OK
V6	Biapoiada	1	170	55	OK
V7	Biapoiada	1	170	55	OK
V8	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
V9	Biapoiada	1	170	54	OK
V10	Biapoiada	1	170	54	OK
V11	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
V12	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
V13	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
V14	Biapoiada	1	170	54	OK
V15	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
		3	170	54	OK
V16	Contínua	1	170	55	OK
		2	170	55	OK
V17	Biapoiada	1	170	54	OK
V18	Biapoiada	1	170	54	OK
V19	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
		3	170	54	OK
		4	170	54	OK

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Nervurada contínua	---	---	---	43	120	65	OK
L2	Nervurada contínua	---	---	---	43	120	65	OK

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	0.36/64.40 = 0.01	2	216	0.013	0.328	0.01	1.1	0.77	4	140x260	57	TRF>TRRF*, TRF=218
P2	Pilar	0.36/64.13 = 0.01	2	215	0.013	0.328	0.01	1.1	0.77	4	140x260	57	TRF>TRRF*, TRF=218
P3	Pilar	0.40/128.86 = 0.00	2	312	0.035	0.850	0.00	2.2	1.54	8	150x300	55	TRF>TRRF*, TRF=220
P4	Pilar	0.37/158.23 = 0.00	2	236	0.051	1.232	0.00	2.2	1.54	8	150x300	55	TRF>TRRF*, TRF=220
P6	Pilar	0.35/100.17 = 0.00	2	4	0.031	0.748	0.00	2.2	1.54	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=220
P9	Pilar	0.35/65.31 = 0.01	2	251	0.009	0.210	0.01	2.2	1.54	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=192
P10	Pilar	0.50/129.17 = 0.00	2	510	0.035	0.855	0.00	1.1	0.77	11	140x350	55	TRF>TRRF*, TRF=237
P11	Pilar	0.12/112.46 = 0.00	2	271	0.047	1.152	0.00	2.2	1.54	11	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=220
P12	Pilar	0.42/64.54 = 0.01	2	336	0.009	0.210	0.01	1.1	0.77	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=208
P14	Pilar	0.29/66.38 = 0.00	2	163	0.009	0.210	0.01	2.2	1.54	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=192
P16	Pilar	1.67/63.63 = 0.03	2	54	0.009	0.210	0.03	1.1	0.55	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=210
P17	Pilar	1.55/66.54 = 0.02	2	6	0.009	0.210	0.03	2.2	1.1	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=198
P18	Pilar	1.65/63.18 = 0.03	2	93	0.009	0.210	0.03	1.1	0.55	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=210
P20	Pilar	0.41/64.24 = 0.01	2	58	0.009	0.210	0.01	2.2	1.54	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=192
P22	Pilar	1.89/63.93 = 0.03	2	66	0.009	0.210	0.03	1.1	0.55	4	140x260	55	

													TRF>TRRF*, TRF=209
P23	Pilar	2.33/63.32 = 0.04	2	42	0.009	0.210	0.04	1.1	0.55	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=207
P24	Pilar	2.48/60.88 = 0.04	2	50	0.009	0.210	0.04	1.1	0.55	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=207
P25	Pilar	0.30/65.08 = 0.00	2	30	0.009	0.210	0.01	1.1	0.77	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=209
P26	Pilar	0.20/67.48 = 0.00	2	118	0.009	0.210	0.00	1.1	0.77	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=209
P28	Pilar	2.61/64.16 = 0.04	2	47	0.009	0.210	0.05	1.1	0.55	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=207
P29	Pilar	3.89/117.87 = 0.03	2	8	0.044	1.076	0.04	1.1	0.55	8	140x260	59	TRF>TRRF*, TRF=254
P30	Pilar	0.95/66.07 = 0.01	2	10	0.009	0.210	0.02	1.1	0.77	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=207
P31	Pilar	1.27/66.07 = 0.02	2	50	0.009	0.210	0.02	1.1	0.55	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=211
P32	Pilar	2.24/67.18 = 0.03	2	4	0.009	0.210	0.04	1.1	0.55	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=208
P33	Pilar	0.97/67.48 = 0.01	2	4	0.009	0.210	0.02	1.1	0.55	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=212
P34	Pilar	1.74/62.64 = 0.03	2	14	0.009	0.210	0.03	1.1	0.55	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=209
P35	Pilar	0.51/82.55 = 0.01	2	390	0.020	0.498	0.01	1.1	0.77	8	160x300	58	TRF>TRRF*, TRF=291
P36	Pilar	0.43/86.21 = 0.01	2	157	0.014	0.341	0.00	1.1	0.77	6	150x350	58	TRF>TRRF*, TRF=247

Platibanda

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	170	54	OK
V2	Contínua	1	170	54	OK
V3	Biapoiada	1	170	54	OK
V4	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
V5	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
V6	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
V7	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK

Lajes

Não há lajes

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P16	Pilar	0.40/66.30 = 0.01	2	120	0.009	0.210	0.01	2.2	1.1	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=201
P17	Pilar	0.37/67.60 = 0.01	2	23	0.009	0.210	0.01	2.2	1.1	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=201
P18	Pilar	0.36/67.29 = 0.01	2	27	0.009	0.210	0.01	2.2	1.1	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=201
P19	Pilar	0.11/67.21 = 0.00	2	772	0.009	0.210	0.00	1.1	0.77	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=209
P22	Pilar	0.28/64.11 = 0.00	2	385	0.009	0.210	0.01	1.1	0.77	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=209
P23	Pilar	0.59/66.55 = 0.01	2	44	0.009	0.210	0.01	2.2	1.1	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=201
P24	Pilar	0.51/64.77 = 0.01	2	144	0.009	0.210	0.01	2.2	1.1	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=201
P28	Pilar	0.23/67.52 = 0.00	2	63	0.009	0.210	0.00	2.2	1.54	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=192
P29	Pilar	0.35/99.95 = 0.00	2	14	0.031	0.748	0.00	2.2	1.54	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=220
P31	Pilar	0.24/66.57 = 0.00	2	150	0.009	0.210	0.00	1.1	0.77	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=209
P32	Pilar	0.37/67.29 = 0.01	2	22	0.009	0.210	0.01	2.2	1.54	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=192

P33	Pilar	0.27/67.83 = 0.00	2	12	0.009	0.210	0.00	2.2	1.54	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=192
P34	Pilar	0.24/65.02 = 0.00	2	40	0.009	0.210	0.00	1.1	0.77	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=209

Caixa d'água

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
V2	Contínua	1	170	54	OK
		2	170	54	OK
V3	Biapoiada	1	170	54	OK
V4	Biapoiada	1	170	54	OK

Lajes

Não há lajes

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P16	Pilar	0.30/66.60 = 0.00	2	171	0.009	0.210	0.01	1.0	0.7	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=210
P17	Pilar	0.27/67.83 = 0.00	2	15	0.009	0.210	0.00	2.0	1.4	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=195
P18	Pilar	0.26/67.29 = 0.00	2	69	0.009	0.210	0.00	1.0	0.7	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=210
P23	Pilar	0.41/66.68 = 0.01	2	36	0.009	0.210	0.01	2.0	1.4	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=195
P24	Pilar	0.29/66.30 = 0.00	2	287	0.009	0.210	0.01	1.0	0.7	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=210



**ANEXO B – VERIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS PARA TRRF = 120
MINUTOS**



Edifício TCC_v3

11/06/2022 11:52:15

Legenda

(Tabela de vigas)

- Tipo: biapoiada ou contínua
- b: largura da seção transversal (mm)
- c1: Distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm)

(Tabela de lajes)

- Tipo: apoiada em vigas, lisa ou cogumelo, nervurada biapoiada ou nervurada contínua
- Dir. As: armada em uma direção ou em duas
- Ly/Lx: relação entre as dimensões em planta
- h: altura total da laje (mm)
- c1: distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm)
- b: largura da nervura (mm)
- hc: altura da capa (mm)

(Tabela de pilares)

- Tipo: comum, pilar-parede ou tirante
- NSdi/NRd: relação entre a força solicitante de cálculo em situação de incêndio (tf) e a força resistente de cálculo em situação normal (tf)
- NFE: número de faces expostas ao fogo
- e: excentricidade (mm)
- As/Ac: taxa geométrica de armadura
- w: taxa mecânica de armadura
- ni: força normal adimensional
- le: pé-direito (m)
- le,fi: comprimento efetivo em incêndio (m)
- NB: número total de barras de armaduras
- b x h: menor e maior dimensão do pilar (mm)
- c1: distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm)
- 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

Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF)

TRRF = 120 min

Pavimentos analisados

- [Fundacao](#)
- [Térreo](#)
- [Tipo](#)
- [Pé D Duplo](#)
- [Platibanda](#)
- [Caixa d'água](#)

Fundacao

Vigas

Não há vigas

Lajes

Não há lajes

Pilares

Não há pilares

Térreo

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	170	56	Não passou
V2	Biapoiada	1	170	56	Não passou
V3	Biapoiada	1	170	55	Não passou
V4	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V5	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	55	Não passou
V6	Contínua	1	170	55	Não passou
		2	170	54	Não passou
V7	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	55	Não passou
V8	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V9	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	55	Não passou
V10	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V11	Contínua	1	170	55	Não passou
		2	170	55	Não passou

		3	170	54	Não passou
		4	170	54	Não passou
V12	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	54	Não passou
		3	170	54	Não passou
V13	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V14	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	54	Não passou
V15	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V16	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V17	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	54	Não passou
V18	Biapoiada	1	170	55	Não passou
V19	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V20	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V21	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	54	Não passou
V22	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V23	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	55	Não passou
V24	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	54	Não passou
		3	170	54	Não passou
		4	170	54	Não passou
		5	170	55	Não passou
V25	Contínua	1	170	55	Não passou
		2	170	55	Não passou
V26	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	54	Não passou
V27	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V28	Contínua	1	170	55	Não passou
		2	170	55	Não passou
V29	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	55	Não passou
		3	170	55	Não passou
		4	170	55	Não passou
		5	170	54	Não passou

Lajes
 Não há lajes

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	5.13/64.54 = 0.08	2	38	0.017	0.420	0.08	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=233
P2	Pilar	5.56/75.23 = 0.07	2	41	0.027	0.657	0.07	0.6	0.3	8	140x260	57	TRF>TRRF*, TRF=244
P3	Pilar	8.86/132.90 = 0.07	2	92	0.057	1.381	0.07	0.6	0.3	13	150x300	57	TRF>TRRF*, TRF=245
P4	Pilar	8.62/146.03 = 0.06	2	109	0.061	1.477	0.06	0.6	0.3	19	150x300	55	TRF>TRRF*, TRF=237
P5	Pilar	5.35/79.50 = 0.07	2	57	0.024	0.584	0.07	0.6	0.3	10	140x260	51	TRF>TRRF*, TRF=221
P6	Pilar	6.82/92.54 = 0.07	2	42	0.034	0.824	0.08	0.6	0.3	11	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=234
P7	Pilar	1.50/84.86 = 0.02	2	19	0.024	0.584	0.02	0.6	0.3	10	140x260	51	TRF>TRRF*, TRF=231
P8	Pilar	3.59/75.76 = 0.05	2	42	0.017	0.420	0.06	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=240
P9	Pilar	5.92/71.56 = 0.08	2	12	0.017	0.420	0.09	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=232
P10	Pilar	10.02/86.82 = 0.12	2	74	0.020	0.488	0.11	0.6	0.3	8	140x350	58	TRF>TRRF*, TRF=236
P11	Pilar	10.25/72.36 = 0.14	2	14	0.017	0.420	0.16	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=221
P12	Pilar	2.04/77.59 = 0.03	2	38	0.017	0.420	0.03	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=244
P13	Pilar	6.25/81.02 = 0.08	2	68	0.014	0.340	0.08	0.6	0.3	8	150x300	55	

													TRF>TRRF*, TRF=234
P14	Pilar	4.75/79.12 = 0.06	2	12	0.017	0.420	0.07	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=237
P15	Pilar	4.10/72.95 = 0.06	2	57	0.017	0.420	0.06	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=238
P16	Pilar	5.85/77.84 = 0.08	2	4	0.017	0.420	0.09	1.2	0.6	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=227
P17	Pilar	7.85/67.90 = 0.12	2	48	0.017	0.420	0.12	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=226
P18	Pilar	6.26/79.12 = 0.08	2	6	0.017	0.420	0.10	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=233
P20	Pilar	6.05/67.21 = 0.09	2	12	0.017	0.420	0.09	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=231
P21	Pilar	6.05/76.45 = 0.08	2	21	0.017	0.420	0.09	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=233
P22	Pilar	8.47/77.29 = 0.11	2	12	0.017	0.420	0.13	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=227
P23	Pilar	9.14/62.27 = 0.15	2	61	0.017	0.420	0.14	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=220
P24	Pilar	6.39/70.95 = 0.09	2	33	0.017	0.420	0.10	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=231
P25	Pilar	3.40/67.29 = 0.05	2	9	0.017	0.420	0.05	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=239
P26	Pilar	3.58/78.16 = 0.05	2	23	0.017	0.420	0.06	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=240
P27	Pilar	5.81/76.33 = 0.08	2	21	0.017	0.420	0.09	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=234
P28	Pilar	6.65/75.23 = 0.09	2	24	0.017	0.420	0.10	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=231
P29	Pilar	6.82/119.71 = 0.06	2	1	0.044	1.076	0.07	1.2	0.6	8	140x260	59	TRF>TRRF*, TRF=247
P30	Pilar	2.25/78.58 = 0.03	2	5	0.017	0.420	0.03	1.2	0.6	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=236
P31	Pilar	3.51/78.20 = 0.04	2	21	0.017	0.420	0.05	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=240
P32	Pilar	3.70/78.89 = 0.05	2	5	0.017	0.420	0.06	1.2	0.6	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=233
P33	Pilar	2.41/79.69 = 0.03	2	1	0.017	0.420	0.04	1.2	0.6	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=236
P34	Pilar	4.29/74.92 = 0.06	2	23	0.017	0.420	0.07	0.6	0.3	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=238
P35	Pilar	6.17/90.33 = 0.07	2	127	0.020	0.498	0.07	0.6	0.3	8	160x300	57	TRF>TRRF*, TRF=289
P36	Pilar	4.71/117.57 = 0.04	2	3	0.018	0.437	0.05	0.6	0.3	12	150x350	55	TRF>TRRF*, TRF=241

Tipo Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V2	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V3	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V4	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V5	Contínua	1	170	55	Não passou
		2	170	55	Não passou
V6	Contínua	1	170	55	Não passou
		2	170	56	Não passou
V7	Contínua	1	170	55	Não passou
		2	170	55	Não passou
V8	Contínua	1	170	55	Não passou
		2	170	55	Não passou
		3	170	55	Não passou
		1	170	55	Não passou
V9	Contínua	2	170	55	Não passou
		3	170	55	Não passou
		4	170	55	Não passou
V10	Contínua	1	170	55	Não passou
		2	170	55	Não passou
		3	170	55	Não passou

V11	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V12	Biapoiada	1	170	56	Não passou
V13	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V14	Continua	1	170	55	Não passou
		2	170	54	Não passou
		3	170	55	Não passou
V15	Biapoiada	1	170	55	Não passou
V16	Continua	1	170	55	Não passou
		2	170	55	Não passou
		3	170	55	Não passou
V17	Biapoiada	1	170	55	Não passou
V18	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V19	Continua	1	170	55	Não passou
		2	170	54	Não passou
		3	170	55	Não passou
		4	170	55	Não passou
		5	170	54	Não passou
V20	Continua	1	170	56	Não passou
		2	170	56	Não passou
V21	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V22	Continua	1	170	55	Não passou
		2	170	55	Não passou
		3	170	55	Não passou
		4	170	55	Não passou
		5	170	55	Não passou

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Nervurada continua	---	---	---	43	120	65	Não passou
L2	Nervurada continua	---	---	---	43	120	65	Não passou
L3	Nervurada continua	---	---	---	40	120	65	Não passou
L4	Nervurada continua	---	---	---	40	120	65	Não passou
L5	Nervurada continua	---	---	---	40	120	65	Não passou
L6	Nervurada continua	---	---	---	43	120	65	Não passou
L7	Nervurada continua	---	---	---	40	120	65	Não passou
L8	Nervurada continua	---	---	---	40	120	65	Não passou
L9	Nervurada continua	---	---	---	40	120	65	Não passou
L10	Nervurada continua	---	---	---	40	120	65	Não passou
L11	Nervurada continua	---	---	---	43	120	65	Não passou
L12	Nervurada continua	---	---	---	43	120	65	Não passou
L13	Nervurada continua	---	---	---	43	120	65	Não passou

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	2.54/60.58 = 0.04	2	25	0.009	0.210	0.05	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=183
P2	Pilar	2.53/60.50 = 0.04	2	27	0.009	0.210	0.05	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=183
P3	Pilar	4.42/108.41 = 0.04	2	260	0.042	1.020	0.04	3.3	1.65	6	150x300	61	TRF>TRRF*, TRF=234
P4	Pilar	4.13/109.58 = 0.04	2	278	0.044	1.062	0.04	3.3	1.65	4	150x300	65	TRF>TRRF*, TRF=222
P5	Pilar	2.96/61.11 = 0.05	2	158	0.013	0.328	0.05	3.3	2.31	4	140x260	57	TRF>TRRF*, TRF=177
P6	Pilar	3.38/68.21 = 0.05	2	186	0.022	0.538	0.05	3.3	1.65	4	140x260	59	TRF>TRRF*, TRF=197
P7	Pilar	1.53/59.97 = 0.03	2	380	0.013	0.328	0.03	3.3	2.31	4	140x260	57	

													TRF>TRRF*, TRF=181
P8	Pilar	2.52/56.23 = 0.04	2	18	0.009	0.210	0.05	3.3	2.31	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=169
P9	Pilar	2.19/64.77 = 0.03	2	50	0.009	0.210	0.04	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=184
P10	Pilar	5.88/70.82 = 0.08	2	35	0.006	0.156	0.08	3.3	1.65	4	140x350	55	TRF>TRRF*, TRF=176
P11	Pilar	7.01/61.19 = 0.11	2	6	0.009	0.210	0.13	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=170
P12	Pilar	0.88/66.38 = 0.01	2	105	0.009	0.210	0.02	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=188
P13	Pilar	2.99/78.28 = 0.04	2	24	0.007	0.170	0.05	3.3	2.31	4	150x300	55	TRF>TRRF*, TRF=170
P14	Pilar	1.95/64.47 = 0.03	2	69	0.009	0.210	0.04	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=185
P15	Pilar	1.23/66.68 = 0.02	2	38	0.009	0.210	0.02	3.3	2.31	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=174
P16	Pilar	3.47/65.65 = 0.05	2	6	0.009	0.210	0.06	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=181
P17	Pilar	4.53/65.65 = 0.07	2	12	0.009	0.210	0.08	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=178
P18	Pilar	3.51/65.99 = 0.05	2	20	0.009	0.210	0.06	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=181
P20	Pilar	2.56/63.32 = 0.04	2	28	0.009	0.210	0.05	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=183
P21	Pilar	3.81/66.99 = 0.06	2	8	0.009	0.210	0.07	3.3	2.31	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=167
P22	Pilar	5.75/67.21 = 0.09	2	4	0.009	0.210	0.10	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=175
P23	Pilar	5.13/63.32 = 0.08	2	29	0.009	0.210	0.09	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=176
P24	Pilar	4.10/64.24 = 0.06	2	13	0.009	0.210	0.07	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=179
P25	Pilar	1.49/63.21 = 0.02	2	13	0.009	0.210	0.03	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=186
P26	Pilar	2.28/67.60 = 0.03	2	3	0.009	0.210	0.04	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=184
P27	Pilar	3.48/66.30 = 0.05	2	7	0.009	0.210	0.06	3.3	2.31	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=168
P28	Pilar	4.52/63.55 = 0.07	2	34	0.009	0.210	0.08	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=178
P29	Pilar	4.62/87.32 = 0.05	2	5	0.022	0.538	0.07	6.6	3.3	4	140x260	59	TRF>TRRF*, TRF=162
P30	Pilar	1.47/67.29 = 0.02	2	6	0.009	0.210	0.03	6.6	3.3	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=153
P31	Pilar	2.17/66.91 = 0.03	2	18	0.009	0.210	0.04	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=185
P32	Pilar	2.75/67.60 = 0.04	2	4	0.009	0.210	0.05	6.6	3.3	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=150
P33	Pilar	1.54/67.29 = 0.02	2	2	0.009	0.210	0.03	6.6	3.3	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=153
P34	Pilar	2.66/65.69 = 0.04	2	7	0.009	0.210	0.05	3.3	1.65	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=183
P35	Pilar	4.33/74.01 = 0.06	2	52	0.007	0.159	0.06	3.3	1.65	4	160x300	55	TRF>TRRF*, TRF=219
P36	Pilar	4.19/87.43 = 0.05	2	9	0.009	0.219	0.05	3.3	1.65	6	150x350	55	TRF>TRRF*, TRF=209

Pé D Duplo

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V2	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	54	Não passou
V3	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	54	Não passou
V4	Contínua	1	170	55	Não passou
		2	170	55	Não passou
V5	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V6	Biapoiada	1	170	55	Não passou
V7	Biapoiada	1	170	55	Não passou

P28	Pilar	2.61/64.16 = 0.04	2	47	0.009	0.210	0.05	1.1	0.55	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=207
P29	Pilar	3.89/117.87 = 0.03	2	8	0.044	1.076	0.04	1.1	0.55	8	140x260	59	TRF>TRRF*, TRF=254
P30	Pilar	0.95/66.07 = 0.01	2	10	0.009	0.210	0.02	1.1	0.77	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=207
P31	Pilar	1.27/66.07 = 0.02	2	50	0.009	0.210	0.02	1.1	0.55	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=211
P32	Pilar	2.24/67.18 = 0.03	2	4	0.009	0.210	0.04	1.1	0.55	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=208
P33	Pilar	0.97/67.48 = 0.01	2	4	0.009	0.210	0.02	1.1	0.55	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=212
P34	Pilar	1.74/62.64 = 0.03	2	14	0.009	0.210	0.03	1.1	0.55	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=209
P35	Pilar	0.51/82.55 = 0.01	2	390	0.020	0.498	0.01	1.1	0.77	8	160x300	58	TRF>TRRF*, TRF=291
P36	Pilar	0.43/86.21 = 0.01	2	157	0.014	0.341	0.00	1.1	0.77	6	150x350	58	TRF>TRRF*, TRF=247

Platibanda

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V2	Contínua	1	170	54	Não passou
V3	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V4	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	54	Não passou
V5	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	54	Não passou
V6	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	54	Não passou
V7	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	54	Não passou

Lajes

Não há lajes

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P16	Pilar	0.40/66.30 = 0.01	2	120	0.009	0.210	0.01	2.2	1.1	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=201
P17	Pilar	0.37/67.60 = 0.01	2	23	0.009	0.210	0.01	2.2	1.1	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=201
P18	Pilar	0.36/67.29 = 0.01	2	27	0.009	0.210	0.01	2.2	1.1	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=201
P19	Pilar	0.11/67.21 = 0.00	2	772	0.009	0.210	0.00	1.1	0.77	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=209
P22	Pilar	0.28/64.11 = 0.00	2	385	0.009	0.210	0.01	1.1	0.77	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=209
P23	Pilar	0.59/66.55 = 0.01	2	44	0.009	0.210	0.01	2.2	1.1	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=201
P24	Pilar	0.51/64.77 = 0.01	2	144	0.009	0.210	0.01	2.2	1.1	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=201
P28	Pilar	0.23/67.52 = 0.00	2	63	0.009	0.210	0.00	2.2	1.54	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=192
P29	Pilar	0.35/99.95 = 0.00	2	14	0.031	0.748	0.00	2.2	1.54	8	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=220
P31	Pilar	0.24/66.57 = 0.00	2	150	0.009	0.210	0.00	1.1	0.77	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=209
P32	Pilar	0.37/67.29 = 0.01	2	22	0.009	0.210	0.01	2.2	1.54	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=192
P33	Pilar	0.27/67.83 = 0.00	2	12	0.009	0.210	0.00	2.2	1.54	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=192
P34	Pilar	0.24/65.02 = 0.00	2	40	0.009	0.210	0.00	1.1	0.77	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=209

Caixa d'água

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Contínua	1	170	54	Não passou
		2	170	54	Não passou

V2	Continua	1	170	54	Não passou
		2	170	54	Não passou
V3	Biapoiada	1	170	54	Não passou
V4	Biapoiada	1	170	54	Não passou

Lajes
Não há lajes

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P16	Pilar	0.30/66.60 = 0.00	2	171	0.009	0.210	0.01	1.0	0.7	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=210
P17	Pilar	0.27/67.83 = 0.00	2	15	0.009	0.210	0.00	2.0	1.4	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=195
P18	Pilar	0.26/67.29 = 0.00	2	69	0.009	0.210	0.00	1.0	0.7	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=210
P23	Pilar	0.41/66.68 = 0.01	2	36	0.009	0.210	0.01	2.0	1.4	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=195
P24	Pilar	0.29/66.30 = 0.00	2	287	0.009	0.210	0.01	1.0	0.7	4	140x260	55	TRF>TRRF*, TRF=210



ANEXO C – COMPARAÇÃO DAS DIMENSÕES DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS PARA TRÊS SITUAÇÕES DIFERENTES

Lajes:

h = altura total da laje; h_c = altura da capa de concreto; b = base da nervura pré-moldada; c_1 = distância entre a face de concreto e o centro de gravidade das armaduras.

Vigas:

base x altura; c_1 = distância entre a face de concreto e o centro de gravidade das armaduras.

Pilares:

base x altura; c_1 = distância entre a face de concreto e o centro de gravidade das armaduras.

** Elementos que estejam com os dados em vermelho sofreram alteração em relação à estrutura de referência.

Lajes				
Tipo		TRRF = 0	TRRF = 30 min.	TRRF = 120 min.
Tipo	L1	$h=15; h_c=5; b=13; c_1=4,3$	$h=15; h_c=5; b=13; c_1=4,3$	$h=21; h_c=11; b=17; c_1=6,8$
	L2	$h=15; h_c=5; b=13; c_1=4,3$	$h=15; h_c=5; b=13; c_1=4,3$	$h=21; h_c=11; b=17; c_1=6,8$
	L3	$h=13; h_c=5; b=13; c_1=4,0$	$h=13; h_c=5; b=13; c_1=4,0$	$h=19; h_c=11; b=17; c_1=6,8$
	L4	$h=15; h_c=5; b=13; c_1=4,0$	$h=15; h_c=5; b=13; c_1=4,0$	$h=21; h_c=11; b=17; c_1=6,5$
	L5	$h=15; h_c=5; b=13; c_1=4,0$	$h=15; h_c=5; b=13; c_1=4,0$	$h=21; h_c=11; b=17; c_1=6,8$
	L6	$h=13; h_c=5; b=13; c_1=4,3$	$h=13; h_c=5; b=13; c_1=4,3$	$h=19; h_c=11; b=17; c_1=6,8$
	L7	$h=15; h_c=5; b=13; c_1=4,0$	$h=15; h_c=5; b=13; c_1=4,0$	$h=21; h_c=11; b=17; c_1=6,8$
	L8	$h=17; h_c=5; b=13; c_1=4,0$	$h=17; h_c=5; b=13; c_1=4,0$	$h=23; h_c=11; b=17; c_1=6,8$
	L9	$h=13; h_c=5; b=13; c_1=4,0$	$h=13; h_c=5; b=13; c_1=4,0$	$h=19; h_c=11; b=17; c_1=6,8$
	L10	$h=13; h_c=5; b=13; c_1=4,0$	$h=13; h_c=5; b=13; c_1=4,0$	$h=19; h_c=11; b=17; c_1=6,8$
	L11	$h=13; h_c=5; b=13; c_1=4,3$	$h=13; h_c=5; b=13; c_1=4,3$	$h=19; h_c=11; b=17; c_1=6,8$
	L12	$h=13; h_c=5; b=13; c_1=4,3$	$h=13; h_c=5; b=13; c_1=4,3$	$h=19; h_c=11; b=17; c_1=6,8$
	L13	$h=15; h_c=5; b=13; c_1=4,3$	$h=15; h_c=5; b=13; c_1=4,3$	$h=21; h_c=11; b=17; c_1=6,5$
	L1	$h=17; h_c=5; b=13; c_1=4,3$	$h=17; h_c=5; b=13; c_1=4,3$	$h=23; h_c=11; b=17; c_1=6,8$

Pé D. Duplo	L2	h=13; hc=5; b=13; c1=4,3	h=13; hc=5; b=13; c1=4,3	h=19; hc=11; b=17; c1=6,8
------------------------	-----------	--------------------------	--------------------------	---------------------------

Vigas

		Trecho	TRRF = 0	TRRF = 30 min.	TRRF = 120 min.
Térreo	V1	1	14 x 30; c1=5,6	14 x 30; c1=5,6	16 x 35; c1=7,1
	V2	1	14 x 30; c1=5,6	14 x 30; c1=5,6	16 x 35; c1=7,1
	V3	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V4	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
	V5	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V6	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 35; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 35; c1=6,9
	V7	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V8	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V9	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V10	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
	V11	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		3	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
		4	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V12	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
		3	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V13	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V14	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V15	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
	V16	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
	V17	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
		2	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
	V18	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
	V19	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V20	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V21	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V22	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V23	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0

		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V24	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
		3	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
		4	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
		5	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V25	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V26	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V27	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
	V28	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V29	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		3	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		4	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		5	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
Tipo	V1	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,1
	V2	1	14 x 35; c1=5,4	14 x 35; c1=5,4	16 x 35; c1=6,9
	V3	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
	V4	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
	V5	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V6	1	14 x 35; c1=5,5	14 x 35; c1=5,5	16 x 35; c1=7,1
		2	14 x 40; c1=5,4	14 x 40; c1=5,4	16 x 40; c1=7,3
	V7	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V8	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,1
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		3	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V9	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 35; c1=7,1
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 35; c1=7,1
		3	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 35; c1=7,1
		4	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 35; c1=7,0
	V10	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 35; c1=7,1
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 35; c1=7,1
		3	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 35; c1=7,0
	V11	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V12	1	14 x 40; c1=5,6	14 x 40; c1=5,6	16 x 40; c1=7,1
	V13	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9

	V14	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
		3	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V15	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,1
	V16	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		3	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V17	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,1
	V18	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V19	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,1
		2	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
		3	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,1
		4	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,1
		5	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
	V20	1	14 x 30; c1=5,6	14 x 30; c1=5,6	16 x 30; c1=7,1
		2	14 x 30; c1=5,6	14 x 30; c1=5,6	16 x 30; c1=7,1
	V21	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V22	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,1
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,1
		3	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,1
		4	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		5	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,1
Pé Direito Duplo	V1	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V2	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
		2	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V3	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V4	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,1
	V5	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V6	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V7	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V8	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V9	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V10	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V11	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
		2	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V12	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V13	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0

		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=7,0
	V14	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=6,9
	V15	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
		2	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
		3	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V16	1	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 35; c1=7,1
		2	14 x 30; c1=5,5	14 x 30; c1=5,5	16 x 35; c1=7,1
	V17	1	14 x 30; c1=5,4	14 x 30; c1=5,4	16 x 30; c1=7,0
	V18	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V19	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
		2	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
		3	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
		4	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
Platibanda	V1	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V2	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V3	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V4	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
		2	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V5	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
		2	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V6	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
		2	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V7	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
		2	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
Caixa d'água	V1	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
		2	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V2	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
		2	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V3	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9
	V4	1	14 x 20; c1=5,4	14 x 20; c1=5,4	16 x 20; c1=6,9

Pilares

	TRRF = 0	TRRF = 30 min.	TRRF = 120 min.
P1	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P2	14 x 26; c1=4,2	16 x 26; c1=5,7	16 x 26; c1=5,5
P3	15 x 30; c1=4,2	16 x 30; c1=5,5	16 x 35; c1=5,5
P4	15 x 30; c1=4,0	16 x 35; c1=5,7	16 x 35; c1=5,5
P5	14 x 26; c1=3,6	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P6	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5

P7	14 x 26; c1=3,6	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P8	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P9	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P10	14 x 35; c1=4,3	16 x 35; c1=5,5	16 x 40; c1=5,5
P11	14 x 26; c1=4,0	16 x 30; c1=5,5	16 x 35; c1=5,5
P12	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P13	15 x 30; c1=4,0	16 x 30; c1=5,5	16 x 30; c1=5,5
P14	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P15	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P16	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P17	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P18	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P19	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P20	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P21	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P22	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P23	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P24	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P25	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P26	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P27	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P28	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P29	14 x 26; c1=4,4	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P30	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P31	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P32	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P33	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P34	14 x 26; c1=4,0	16 x 26; c1=5,5	16 x 26; c1=5,5
P35	16 x 30; c1=4,2	16 x 30; c1=5,5	16 x 40; c1=5,5
P36	15 x 35; c1=4,0	16 x 35; c1=5,5	16 x 40; c1=5,5