

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GLEIDSON SENA PULQUERIO QUEIROZ

JOSÉ RAIMUNDO OLIVEIRA RAMOS

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE ARGAMASSA A BASE DE
VERMICULITA COMO ISOLANTE TÉRMICO EM
ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO**

ANÁPOLIS / GO

2017

GLEIDSON SENA PULQUERIO QUEIROZ

JOSÉ RAIMUNDO OLIVEIRA RAMOS

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE ARGAMASSA A BASE DE
VERMICULITA COMO ISOLANTE TÉRMICO EM
ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: ANA LÚCIA CARRIJO ADORNO
CO ORIENTADOR: JEORGE FRANCES RODRIGUES**

ANÁPOLIS / GO: 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

QUEIROZ, GLEIDSON SENA PULQUERIO/ RAMOS, JOSÉ RAIMUNDO OLIVEIRA

Estrutura de concreto em situação de incêndio
93P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|----------------------------|-------------------------------------|
| 1. Incêndio em edificações | 2. Resistência ao incêndio |
| 3. Concreto e aço | 4. Revestimento de proteção térmica |
| I. ENC/UNI | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

QUEIROZ, Gleidson Sena Pulquerio Queiroz; RAMOS, José Raimundo Oliveira. Estrutura de concreto em situação de incêndio. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 94p. 2017.

CESSÃO DE DIREITOS

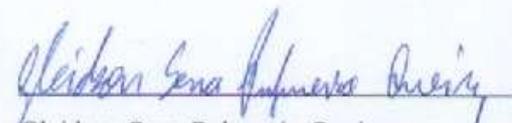
NOME DO AUTOR: Gleidson Sena Pulquerio Queiroz

José Raimundo Oliveira Ramos

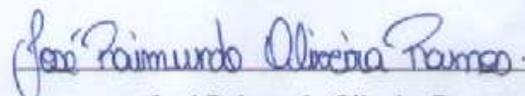
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Estrutura de concreto submetidas em altas temperatura como incêndio, GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2017

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


Gleidson Sena Pulquerio Queiroz

E-mail: pulquerio2000@yahoo.com.br



José Raimundo Oliveira Ramos

E-mail: joseraimundo16@yahoo.com.br

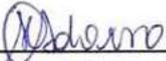
GLEIDSON SENA PULQUERIO QUEIROZ

JOSÉ RAIMUNDO OLIVERIA RAMOS

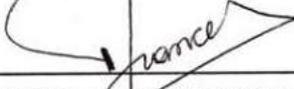
**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE ARGAMASSA A BASE DE
VERMICULITA COMO ISOLANTE TÉRMICO EM
ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

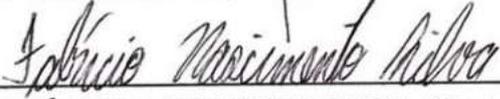
APROVADO POR:



ANA LÚCIA CARRIJO ADORNO, Doutora (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)



GEORGE FRANCES RODRIGUES, Bacharel (Brasil Minério)
(CO ORIENTADOR)



FABRÍCIO NASCIMENTO SILVA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)



ISA LORENA SILVA BARBOSA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 01 de DEZEMBRO de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, aos meus filhos, à minha esposa, ao meu companheiro de Trabalho de Conclusão de Curso José Raimundo, ao Jorge da Empresa Brasil Minério, à nossa orientadora Professora Ana Lúcia, e por fim agradeço a todos os colegas de sala.

GLEIDSON SENA PULQUERIO QUEIROZ

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades. A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração. Aos meus pais e minha namorada pelo incentivo e apoio incondicional. À orientadora professora Ana Lúcia, ao Jorge da empresa Brasil Minério e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

JOSÉ RAIMUNDO OLIVEIRA RAMOS

RESUMO

As propriedades do concreto e do aço sofrem transformações mecânicas e físicas quando submetidas, a elevadas temperaturas. Ocorrendo incêndio, nas edificações, e tendo influência nas estruturas, a edificação podem vir ao colapso. No dias atuais vários estudos sobre o concreto e o aço, em situação de calor ainda precisam ser desenvolvidos, com a obtenção de novos desempenhos destes materiais como elementos estruturais. A proteção passiva e ativa dentro das edificações, tem como objetivo evitar a propagação dos incêndios, facilitar o combate, planejar rotas de fugas, ter controle nos materiais de acabamento e revestimentos, planejar o uso dos materiais resistentes ao fogo, e outros itens. Diante disso neste trabalho vai ser estudado o comportamento dos incêndios e suas influências no concreto das edificações. É certo dizer que nas estruturas atuais muito se tem cobrado com novas normas técnicas de materiais resistentes ao fogo. Para evitar a propagação de grandes incêndios que levam aos colapsos estruturais. E na fase experimental deste, vai ser avaliado a situação real de alguns corpos de prova de concreto revestidos de argamassa que serão testados em altas temperatura como incêndio, buscando sua eficiência como isolantes térmico. E esta argamassa é oriunda de uma vermiculita, que tem baixa condutividade térmica. Enfim vamos aos resultados.

PALAVRAS - CHAVE:

Incêndio. Concreto. Aço. Temperatura. Argamassa isolante termo – acústica.

ABSTRACT

The properties of concrete and steel undergo mechanical and physical transformations when subjected to high temperatures. In the event of fire, in buildings, and having influence on the structures, the building may collapse. At present, several studies on concrete and steel in a heat situation still need to be developed, with the achievement of new performances of these materials as structural elements.

Passive and active protection within buildings, aims to prevent the spread of fires, to facilitate combat, to plan escape routes, to have control over finishing materials and coatings, to plan the use of fire resistant materials, and other items. In this work, the behavior of the fires and their influence on the concrete of the buildings will be studied. It is true to say that in current structures much has been charged with new technical standards for fire-resistant materials. To prevent the spread of large fires that lead to structural collapses.

And in the experimental phase of this, it will be evaluated the actual situation of some mortar-coated concrete test specimens that will be tested at high temperature as a fire, seeking its efficiency as thermal insulation. And this mortar comes from a vermiculite, which has low thermal conductivity. Anyway, let's go to the results.

KEY WORDS:

Fire. Concrete. Steel. Temperature. Thermo - acoustic insulation mortar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Foto do incêndio do Edifício Andraus.....	20
Figura 2 - Incêndio no edifício Joelma, em 1º de Fevereiro de 1974.....	20
Figura 3 - Curva de evolução do incêndio celulósico	23
Figura 4 - Triângulo e quadrado do fogo.....	24
Figura 5 - Tipo de transferências de calor	25
Figura 6 - Convecção.....	26
Figura 7 - Propagação de incêndio entre edificações por radiação	26
Figura 8 - Tipos de extintores.....	28
Figura 9 - Equipamentos de proteção.....	29
Figura 10 - Curvas temperatura-tempo de incêndios.....	30
Figura 11 - Fator de redução da resistência do concreto silicoso e calcário em função da temperatura.....	35
Figura 12 - Fator de redução do modulo de elasticidade do concreto em função	37
Figura 13 - Fator de redução da resistência do aço de armadura passiva em função.....	38
Figura 14 - Fator de redução do módulo de elasticidade do aço da armadura passiva em função da temperatura	39
Figura 15 - Fator de redução do modulo de elasticidade do aço da armadura passiva em	40
Figura 16 - Fator de redução do modulo de elasticidade do aço da armadura ativa em	41
Figura 17 - Argamassa projetada.....	42
Figura 18 - Placas rígidas	44
Figura 19 - Manta aplicada em estrutura metálica	44
Figura 20 - Aplicação tinta intumescente	45
Figura 21 - Extintores	46
Figura 22 - Sprinkler	47
Figura 23 - Hidrante	48
Figura 24 - Vermiculita na sua forma natural.....	49
Figura 25 - Vermiculita expandida.....	49
Figura 26 - Vermiculita Expandida - imagem ampliada 3600 vezes	50
Figura 27 - Argamassa de proteção passiva – Produzida no Brasil.....	50
Figura 28 - Sistema <i>Loose Fill Insulation</i>	51
Figura 29 - Argamassas leves bombeáveis.....	51
Figura 30 - Relação água/cimento	60

Figura 31 - Agitador de peneiras	64
Figura 32 - Balança digital	64
Figura 33 – Betoneira	65
Figura 34 – Prensa Hidráulica	65
Figura 35 - Forno.....	65
Figura 36 - Forma das peças de concreto armado	66
Figura 37 - Corpos de prova para ensaio à compressão axial	66
Figura 38 - Armação com espaçadores.....	67
Figura 39 - Termopar tipo K.....	68
Figura 40 - Argamassa industrializada	68
Figura 41 - Argamassa aplicada em uma face do corpo de prova.....	69
Figura 42 - Corpos de prova da argamassa.....	70
Figura 43 – Painel medidor de temperatura.....	70
Figura 44 – CP0.....	72
Figura 45 - Posicionamento dos termopares na ferragem	73
Figura 46 – Gráfico Temperatura x Tempo do CP0.....	75
Figura 47 – Valores da temperatura, a cada 30 minutos, obtidos no ensaio do CP0	76
Figura 48 – Gráfico Temperatura x Tempo do CP15.....	78
Figura 49 – Valores da temperatura, a cada 30 minutos, obtidos no ensaio do CP15	79
Figura 50 – Gráfico Temperatura x Tempo do CP25.....	82
Figura 51 – Valores da temperatura, a cada 30 minutos, obtidos no ensaio do CP25	83
Figura 52 – Gráfico Temperatura x Tempo do CP35.....	86
Figura 53 – Valores da temperatura, a cada 30 minutos, obtidos no ensaio do CP35	87

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Valores de γ_2	33
--	----

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Fatores de ponderação das medidas de segurança contra incêndio.....	32
Tabela 2 - Valores das reações $k_c, \theta: f_c, \theta/ f_{ck}$ para concretos preparados com agregados silicosos	35
Tabela 2 - Valores das reações $k_c, \theta: f_c, \theta/ f_{ck}$ para concretos preparados com agregados silicosos	36
Tabela 3 - Valores das reações $k_c, \theta: f_c, \theta/ f_{ck}$ para concretos preparados com agregados calcários.....	36
Tabela 4 - Características físicas da areia.....	58
Tabela 5 - Características físicas da brita	58
Tabela 6 - Desvio Padrão da Dosagem (MPa)	59
Tabela 7 - Estimativa do consumo de água/m ³ de concreto	60
Tabela 8 - Volume compactado seco (V_b) de agregado graúdo por m ³ de concreto.....	61
Tabela 9 - Peso dos materiais	62
Tabela 10 - Intervalos de Temperaturas mais comuns para Termopares	67
Tabela 11 - Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos de concreto simples ..	71
Tabela 12 - Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos de argamassa.....	72
Tabela 13 – Resultado do ensaio do corpo de prova CP0	73
Tabela 14 - Variação de Temperatura obtida do ensaio do CP0	75
Tabela 15 - Resultado do ensaio do corpo de prova CP15.....	77
Tabela 16 - Variação de Temperatura obtida do ensaio do CP15	79
Tabela 17 - Resultado do ensaio do corpo de prova CP25.....	80
Tabela 18 - Variação de Temperatura obtida do ensaio do CP25	83
Tabela 19 - Resultado do ensaio do corpo de prova CP35.....	84
Tabela 20 - Variação de Temperatura obtida do ensaio do CP35	86
Tabela 21 - Diferenças de temperatura dos CP's	88

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBM	Corpo de Bombeiros
CCV	Concreto convencional
CP	Corpo-de-prova
IT	Instruções técnicas do Corpo de Bombeiros de São Paulo
NFPA	Associação Nacional de Proteção contra Incêndio - USA
NBR	Norma Brasileira
TRRF	Tempo requerido de Resistencia ao Fogo
MTE	Método de tempo equivalente
ME	Massa específica
MU	Massa unitária
MF	Módulo de finura
CP0	Corpo de prova sem revestimento
CP15	Corpo de prova revestido com argamassa de 15mm
CP25	Corpo de prova revestido com argamassa de 25mm
CP35	Corpo de prova revestido com argamassa de 35mm
T1	Termopar Superior
T2	Termopar inferior
T3	Termopar da temperatura do forno
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.2	Objetivos específicos	16
1.3	METODOLOGIA	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	HISTÓRICO BRASILEIRO DE INCÊNDIO	19
2.2	CONCEITOS BÁSICOS	21
2.3	COMPONENTES DO FOGO	23
2.4	FORMAS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	24
2.5	CLASSIFICAÇÃO DOS INCÊNDIOS	27
2.6	SISTEMA PREVENTIVO DE INCENDIO EM EDIFICAÇÃO	28
2.7	TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO - TRRF	30
2.7.1	Método tabular	31
2.7.2	Método do tempo equivalente – redutor de TRRF	31
2.8	PROPRIEDADES DOS MATERIAIS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	34
2.8.1	Concreto - resistência à compressão do concreto a altas temperaturas	34
2.8.1.1	Módulo de elasticidade	36
2.8.2	Aço - resistência ao escoamento do aço e módulo de elasticidade de armadura passiva a altas temperaturas	37
2.8.3	Resistência ao escoamento do aço e módulo de elasticidade de armadura ativa a altas temperaturas	39
2.9	PROTEÇÃO ATIVA E PASSIVA EM RELAÇÃO AO INCÊNDIO	41
2.9.1	Proteção passiva	41
2.9.1.1	As argamassas projetadas	42
2.9.1.2	Placas rígidas	43
2.9.1.3	Mantas	44
2.9.1.4	Tintas intumescentes	45
2.9.2	Proteção ativa	45
2.9.2.1	Extintores	46

2.9.2.2	Os sprinklers	46
2.9.2.3	Os hidrantes	47
2.9.2.4	Os alarmes de incêndio	48
2.10	VEMICULITA.....	48
2.10.1	Propriedades da vermiculita expandida	52
2.10.2	Utilização	53
2.10.2.1	Isolante térmico.....	53
2.10.2.2	Concreto leve	53
2.10.2.3	Piscinas de vinil	54
2.10.2.4	Empacotamento	54
2.10.2.5	Retenção de líquidos.....	54
2.10.2.6	Como componente	54
2.10.2.7	Filtração	55
2.10.3	Características técnicas da vermiculita	55
2.10.4	Aplicações da vermiculita.....	55
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL	57
3.1	METODOLOGIA	57
3.2	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	57
3.2.1	Cimento.....	57
3.2.2	Areia.....	57
3.2.3	Brita.....	58
3.3	DOSAGEM.....	58
3.3.1	Relação água/cimento	59
3.3.2	Cálculo do consumo de cimento em cada m³ de concreto	61
3.3.3	Volume de agregado graúdo	61
3.3.4	Volume da areia (v_a)	62
3.3.5	Conversão do traço	62
3.3.6	Consumo de materiais para confecção das peças do programa experimental.....	62
3.4	EQUIPAMENTOS.....	64
3.5	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	65
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	71
4.1	MATERIAIS	71
4.1.1	Concreto.....	71
4.1.2	Argamassa	71

4.2	CORPOS DE PROVA DE CONCRETO ARMADO.....	72
4.2.1	Corpo de prova sem revestimento (CP0).....	72
4.2.2	Corpo de prova com camada de revestimento igual a 15 mm (CP15).....	76
4.2.3	Corpo de prova com camada de revestimento igual a 25 mm (CP25).....	80
4.2.4	Corpo de prova com camada de revestimento igual a 35 mm (CP35).....	84
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89

1 INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndio é de fundamental importância para evitar grandes colapsos em estruturas. A cada dia novos estudos são difundidos, como normas de segurança contra incêndio e pânico. No Brasil, o estudo relacionado ao incêndio ganhou força com a NBR 14432 (ABNT, 2000).

A supervalorização da construção exigiu normas avançadas de prevenção, para evitar perdas grandes na área financeira. Em 2004 foi publicada a *NBR 15200 (ABNT, 2004) – “Projeto de concreto em situação de incêndio – procedimento”*, que serviu, segundo COSTA (2005), como o início da normatização dos incêndios dentro do concreto. Após a publicação da mesma, novas considerações foram introduzidas no projeto de estrutura, exigindo conhecimento e entendimento para aplicação de novas diretrizes da norma dentro da construção.

A cada dia novos conceitos e estudos estão surgindo na área de incêndio nas edificações. Prova disso que, em 2014, a NBR 15200 foi revisada, a partir da edição de 2004, e ao passar dos dias novos estudos estão sendo referenciados na área, surgindo novas descobertas e novos conhecimentos sobre os casos de incêndio em estruturas de concreto.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com a modernização das construções, novas exigências foram criadas na área de proteção passiva e ativa das edificações. Logo as normativas que rege os materiais de revestimento de proteção e prevenção de incêndio para edificações foram instituídas e aperfeiçoadas.

Devido as exigências, novos materiais surgiram no mercado como isolantes e resistentes ao fogo. E a partir do assunto, resolvemos aprofundar os conhecimentos sobre o tema e fazer algumas experiências de corpos de prova com Argamassa a base de vermiculita que serve como isolante térmico em estruturas de concreto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 **Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é estudar a eficiência de argamassa a base de vermiculita na proteção térmica em estruturas de concreto armado submetidas a altas temperaturas.

1.2.2 **Objetivos específicos**

Neste trabalho, tem-se como objetivos específicos, fazer uma revisão bibliográfica, apresentando um histórico sobre o surgimento do fogo, tipos de transferência de calor, condução, irradiação e convecção. Além disso, conhecer um pouco do sistema preventivo de incêndio e das classes de incêndio. Estudar os impactos do fogo nas estruturas de concreto e ensaiar corpos de prova de concreto armado revestidos com argamassa confeccionada com vermiculita submetidas a altas temperaturas, simulando uma situação de incêndio.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para alcançar os objetivos foi a compilação de bibliografias brasileiras que abordam informações sobre o fogo, definições de incêndio, classes do fogo, sistema preventivo de incêndio, TRRF (tempo requerido de Resistência ao fogo) nas edificações bem como a influência do incêndio no concreto e no aço. Também foi estudado as exigências

das normas brasileiras referentes ao projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio e das exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações.

Para verificação da eficiência como isolante térmico da argamassa a base de vermiculita, foi desenvolvido um programa experimental, onde quatro corpos de prova foram submetidos a altas temperaturas, com temperatura máxima de 900 °C, sendo um corpo de prova ensaiado sem revestimento e os demais, revestidos com camada de argamassa de 1,5; 2,5 e 3,5 cm.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho de conclusão de curso foi organizado em cinco capítulos. O capítulo 01, na introdução, foi descrito o pensamento sobre o tema específico, na justificativa a proposta do trabalho, ou seja, porque foi decidido sobre o tema. E ao final do capítulo é apresentado os objetivos gerais e específicos, e a metodologia.

Capítulo 02, foi descrito todo um referencial teórico desde o histórico do fogo, os principais incêndios ocorridos no Brasil, os conceitos básicos do fogo, os seus componentes, formas de transferência de calor, classificações dos incêndios, sistemas preventivos em edificações, TRRF como um dos principais fatores de segurança na propagação dos incêndios. Além disso foi falado do concreto e do aço e suas resistências a altas temperaturas, abordando a elasticidade e o escoamento. E Ao final do capítulo estudou – se os tipos de revestimentos de proteção como retardantes. E as características da vermiculita, que é a matéria – prima para fabricação da argamassa industrializada que foi usada na parte experimental.

Capítulo 03, é descrito todo o programa experimental, onde inicialmente foi apresentado a metodologia do experimento, a descrição dos materiais, a dosagem, a relação de água e cimento, os volumes, os equipamentos; e a montagem dos corpos de prova, onde foi feito quatro corpos de prova de concreto armado para serem submetidos a altas temperaturas, sendo um corpo de prova sem revestimento, para servir de referência, e outros três, revestidos com argamassa industrializada a base de vermiculita, com diferentes espessuras da camada do revestimento, iguais a 1,5cm; 2,5cm e 3,5cm.

Capítulo 04, é apresentado a análise dos resultados do experimento, que teve como objetivo simular situações de incêndios, com temperaturas externas e internas nos corpos de provas, com uso de termopares nas peças que foram levadas a um forno, com temperatura, chegando ao valor máximo de 900°C, na tentativa de simular a temperatura atingida em um incêndio.

Por fim, no capítulo 05 é apresentado as considerações finais do trabalho, com os resultados desta simulação, onde consta a conclusão de que a argamassa, é um ótimo produto isolante térmico, pois os resultados e a eficiência comparada ao corpo de prova sem revestimento, foram consideráveis. Ou seja, como isolante térmico a argamassa é eficiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO.

2.1 HISTÓRICO BRASILEIRO DE INCÊNDIO.

Segundo SEITO (2008), no Brasil, o progresso das leis, normas e técnicas de combate e prevenção a incêndios ocorreu devido a reação da sociedade brasileira em relação aos maiores incêndios ocorridos no País, que provocaram perdas materiais e humanas. Para que a legislação brasileira fosse criada, aprimorada e exercida, infelizmente essas perdas foram necessárias.

Até o início dos anos 70, o “problema incêndio” ficou restrito apenas a atuação do corpo de bombeiros, pela inexistência de grandes incêndios e perdas humanas. Os Códigos de Obras dos municípios possuíam uma regulamentação escassa, sem absorver o aprendizado em relação aos incêndios ocorridos no exterior. A regulamentação apontava, em geral, a necessidade de medidas de combate a incêndio, com a existência de hidrantes, extintores e as suas sinalizações.

Como a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) se restringia apenas a regulamentação de assuntos ligados a hidrantes e a produção de extintores de incêndio, não absorvendo aprendizados com os grandes incêndios ocorridos em outros países, inicia-se uma série de catástrofes no País.

O incêndio que obteve uma grande perda de vidas, no Brasil, ocorreu na cidade de Niterói (RJ), no Gran Circo Norte-Americano, em 17 de dezembro de 1961, quando pouco tempo antes de encerrar o espetáculo, um incêndio intencional tomou conta da lona do circo, que caiu sobre dois mil e quinhentos espectadores. Como não havia pessoas treinadas para conter o desespero e com ausência de requisitos de escape e sinalização de saída, resultou-se em um saldo de 250 pessoas mortas e 400 feridas.

Após o incêndio ocorrido na ala 13 da montadora de automóvel Volkswagen, em São Bernardo do Campo, no final do ano 1970, que resultou em perda total da edificação e uma vítima fatal, começaram-se os estudos para a colocação de sistemas de controle de fumaça, que somente em 2001 passou a ser exigido pela regulamentação do corpo de bombeiro de São Paulo. Porém, o começo da reforma da normatização sobre incêndio na construção civil ocorreu após outros dois acontecimentos.

Em 24 de fevereiro de 1972, na cidade de São Paulo, aconteceu o primeiro grande incêndio em prédio alto, no edifício Andraus, (figura 1) com estrutura de concreto armado e acabamento de Pele de vidro, resultando em 16 mortos e 336 feridos. Os números só não foram maiores porque algumas pessoas se deslocaram para um heliporto, situado na cobertura do

prédio, sendo, assim, protegidas pela laje e beirais. Com esse acontecimento foram criados grupos de trabalhos, em São Paulo, para estudar as necessidades de reformulação do seu Código de Obras, no entanto estes estudos acabaram sendo engavetados (SEITO *et. al.* 2008).

Figura 1 - Foto do incêndio do Edifício Andraus



Fonte: SEITO *et. al.* 2008

Em 1974, ocorreu o grande incêndio no edifício Joelma, de 23 andares (Figura 2). O prédio não possuía escada de segurança, dificultando a evacuação das pessoas. 179 pessoas morreram e 320 ficaram feridas. Este incêndio gerou muita comoção, pois pessoas desesperadas se projetavam do telhado do edifício, gerando imagens fortes (SEITO *et. al.* 2008).

Figura 2 - Incêndio no edifício Joelma, em 1º de Fevereiro de 1974



Fonte: SEITO *et. al.* 2008

Em consequência da semelhança da proximidade espacial e temporal dos incêndios dos edifícios Andraus e Joelma, deram início a reformulação das medidas de segurança contra incêndio. Houve, finalmente, o reconhecimento de que grandes incêndios com vítimas, até então distantes, passam a ser entendidos como fatos reais. Criam-se comissões, decretos, normas e aperfeiçoamento da regulamentação existente, padronizando toda a linguagem de incêndio para todo o País. (SEITO *et. al.* 2008).

2.2 CONCEITOS BÁSICOS

Segundo BRETANO (2007) existem vários estudos sobre a definição de fogo e até hoje não se tem um consenso quanto a definição correta.

a) Brasil - NBR 13860 (ABNT, 1997): Fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz;

b) Estados Unidos da América - (NFPA - Associação Nacional de Proteção contra Incêndio - USA): Fogo é a oxidação rápida auto-sustentada, acompanhada de evolução variada da intensidade de calor e de luz;

c) Internacional - ISO 8421-1 (Corpo de Bombeiros de São Paulo - 1987): Fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado de fumaça, chama ou ambos;

d) Inglaterra - BS 4422:Part 1 (1969): Fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado por fumaça, chama ou ambos.

Já no Manual de incêndio do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal (2009) é apresentado as diferenciações entre incêndio, fogo e carga de incêndio:

- a) **Fogo** - Seria uma reação química de combustão (oxidação) rápida, autossustentável, acompanhada de produção de luz e calor em intensidades variadas;
- b) **Incêndio** - A propagação rápida do fogo de forma violenta, que foge ao controle humano provocando perdas materiais ou humanas;
- c) **Carga de incêndio** – A quantidade de material combustível existente em um ambiente sujeito a incendiar em caso de sinistro.

Para BRENTANO (2007), o fogo pode ser definido como uma reação química, denominada combustão, que é uma oxidação rápida entre o material combustível, sólido, líquido ou gasoso, e o oxigênio do ar, provocada por uma fonte de calor, que gera luz e calor.

No entanto, o fogo é uma reação química em transformação, que surge com a produção de chamas que geram emissão de gases, fumaças e transmitem o calor. Ele pode causar grandes danos materiais e perdas de vidas humanas (BRENTANO, 2007).

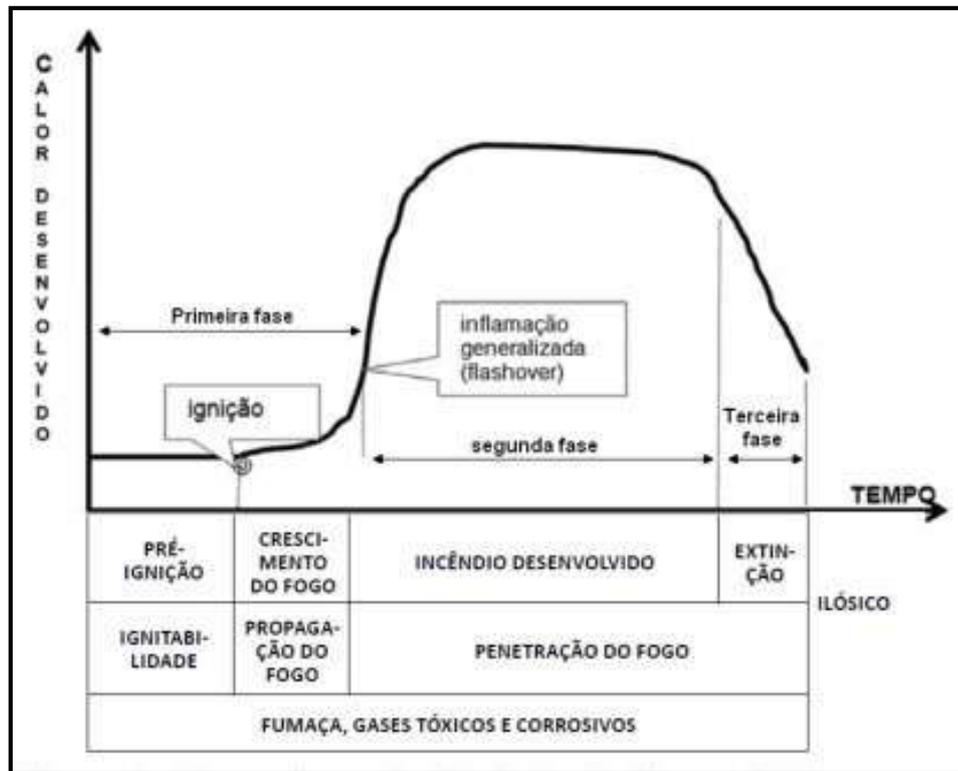
SEITO (2008) aponta algumas definições sobre o incêndio: “O incêndio é o fogo fora de controle (NBR 13860, (ABNT, 1997)),” Incêndio é a combustão rápida disseminando-se de forma descontrolada no tempo e no espaço (ISO 8421-1, (CBMSP, 2010))”. Portanto, o incêndio é uma destruição causada pelo fogo, que se processa fora do controle humano, causando prejuízos não previstos e consideráveis.

Com a combustão descontrolada são produzidos: calor, fumaça e chama. Substâncias que unidas prejudicam a saúde humana, provocando queimaduras de vários tipos, injúria do trato respiratório, pelo calor do ar respirado, asfixia, por falta de oxigênio e irritação direta da árvore pulmonar pelas substâncias químicas inaladas (monóxido de carbono, cianeto, etc.). (SEITO *et. al.* 2008).

Segundo SEITO *et. al.* (2008), a evolução de um incêndio em uma edificação ocorre em três fases (Figura 3):

- a) Na primeira fase o incêndio inicia-se tendo um crescimento lento, que dura entre cinco a vinte minutos até a ignição.
- b) Na segunda fase, de inflamação generalizada, as temperaturas crescem rapidamente, alcançando extremos bastantes elevados e uma vez desenvolvido e sem intervenções, o incêndio continuará até que todo o material combustível existente no ambiente seja consumido.
- c) Na terceira fase caracteriza-se pelo resfriamento, com diminuição gradual da temperatura do ambiente com o tempo. O sistema de detecção deve operar na primeira fase, para obter um maior êxito contra o incêndio.

Figura 3 - Curva de evolução do incêndio celulósico



Fonte: SEITO *et. al.* 2008

2.3 COMPONENTES DO FOGO

Antes de se falar do triângulo do fogo, é necessário conhecer algumas definições básicas aplicadas, segundo o manual de incêndio do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal (2009):

- Combustível:** Elemento que alimenta o fogo, que queima, é o campo de propagação (Sólidos, líquidos, gasosos ou metais);
- Agente ígneo:** É o causador do incêndio, serve para dar início ao incêndio (Calor, brasa, chama etc);
- Comburente:** Elemento que possibilita vida às chamas, intensifica a combustão (Oxigênio);
- Reação em cadeia:** Processo de liberação de energia que gera uma nova reação, gerando uma nova liberação de energia, mantendo um ciclo fechado de combustão.

Segundo BRENTANO (2007), para que aconteça o fogo, deve haver a ocorrência simultânea de três elementos essenciais: material combustível, comburente (oxigênio), e uma fonte de calor, formando o triângulo do fogo (Figura 4).

Para que haja propagação do fogo, logo após acontecer o mesmo, deve ter a transferência de calor de molécula para molécula do material combustível, que entrando em combustão irão gerar uma reação química em cadeia, acontecendo com isso o início do incêndio.

Figura 4 - Triângulo e quadrado do fogo



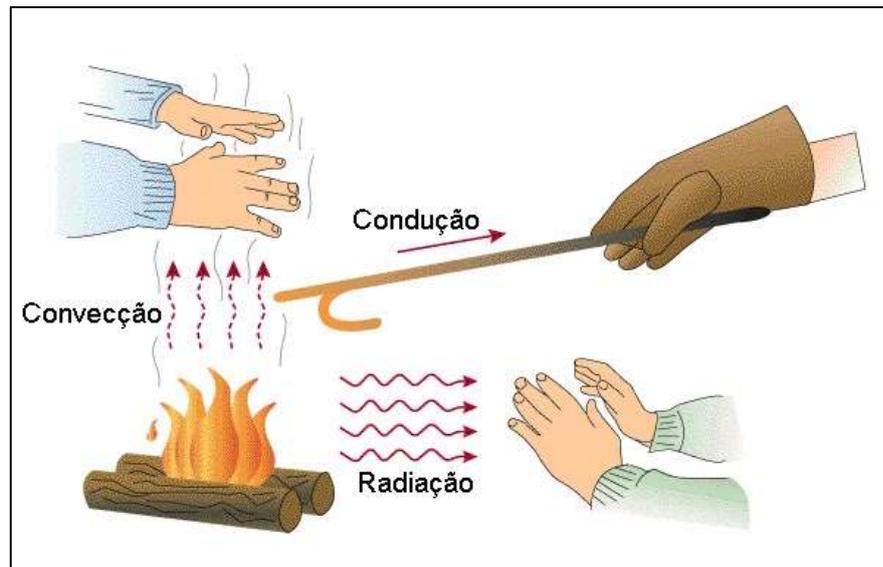
Fonte: <http://www.marquecomx.com.br/2017/04/classificacao-de-incendios-e-os-tipos-de-extintores-de-incendio.html>

2.4 FORMAS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor acontece quando dois ou mais corpos, que estão com temperaturas diferenciadas, são colocados em contato, ou estão juntos em um mesmo local.

Com isso a energia térmica é transferida de um corpo para outro. Com a transferência de calor e iniciado o fogo, deve - se observar os mecanismos de transmissão da energia, que são a condução, convecção e radiação do calor, sendo que cada um destes três mecanismos irão influenciar no crescimento do fogo (Figura 5).

Figura 5 - Tipo de transferências de calor



Fonte: <http://bombeiroswaldo.blogspot.com.br/2012/09/transferencia-de-calor-e-termodinamica.html>

Segundo FREIRE (2005), essa transferência de energia pode processar-se de três maneiras distintas:

- 1) **A condução:** como observado na figura 5, quando é colocado uma das extremidades de uma barra metálica em contato com uma fonte térmica e segura - se na ponta da barra, nota-se que a temperatura da extremidade, com o passar do tempo, em contato com a mão torna-se cada vez mais elevada. O que ocorre neste caso é que o calor cedido pela fonte se propagou através da barra até atingir a mão. Esta modalidade pela qual o calor se propaga é denominada condução;
- 2) **A convecção:** como pode - se observar na figura 6, a propagação de calor no qual a energia térmica muda de local, acompanha o deslocamento da própria substância aquecida, pois, quando coloca a mão acima do fogo, percebe a convecção do calor. Ao contrário da condução, em que apenas a energia térmica se propaga e as partículas permanecem em suas posições de equilíbrio, com movimento de vibração, na convecção a energia térmica propaga-se acompanhando as partículas aquecidas da substância. Trata-se do fluxo de calor devido ao movimento microscópico, carregando partes da substância de uma região quente para uma região fria;

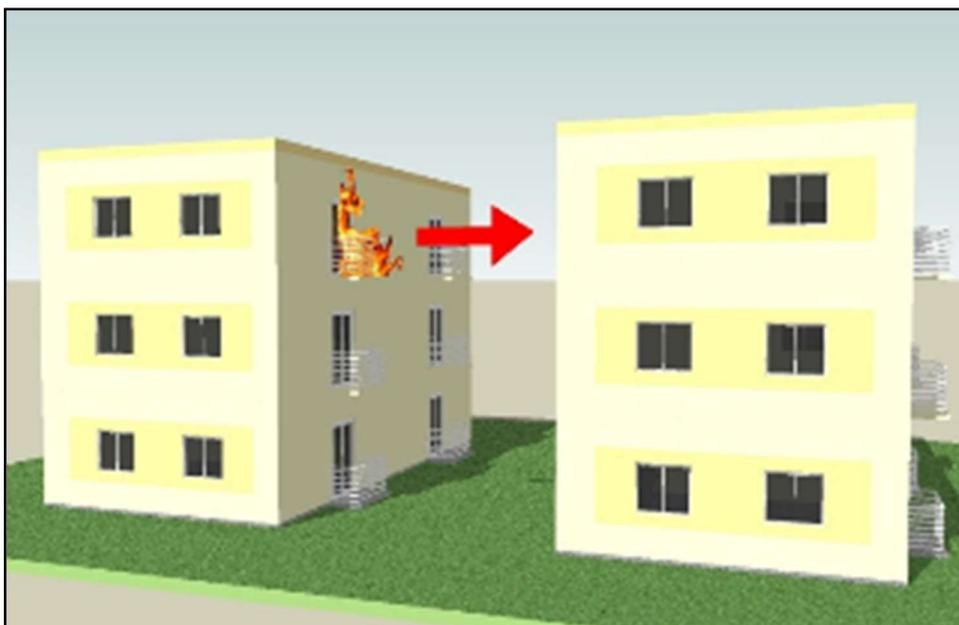
Figura 6 - Convecção



Fonte: <https://pt.slideshare.net/aloharj/preveno-e-combate-a-incndiopptx>

3) **A radiação:** esse processo não necessita de um meio para propagar o calor. A propagação é dada através de ondas eletromagnéticas, que ao atingir um meio são absorvidas e transformadas, em grande parte, em energia térmica. Na figura 7 tem - se o exemplo de radiação, que é transmitido, mas também tem - se o exemplo do Sol, que transfere energia para o sistema terra-atmosfera, através do espaço vazio.

Figura 7 - Propagação de incêndio entre edificações por radiação



Fonte: <http://www.bombeiros.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=124>

2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS INCÊNDIOS

De acordo com BRENTANO (2007), existe a classificação dos incêndios de acordo com os materiais combustíveis, dividido em cinco classes: A, B, C, D e K.

Classe A: nesta classe os materiais combustíveis queimam com profundidade e extensão, deixando resíduos. Os materiais que pertencem a esta classe são: madeira, papel, tecidos, algodão, borracha etc. Como agente extintor desta classe, o mais indicado no combate dos incêndios é a água, que tem facilidade de penetração e resfriamento.

Classe B: nesta classe os materiais tem como característica de queimar e não deixar resíduos na sua extensão. Os materiais que pertencem a esta classe são: gasolina, óleos, gases, graxas, tintas, álcoois, tinner etc. Na extinção deste tipo de incêndio, são usados pós químicos e agentes espumantes misturados com água, formando uma camada isolante para retirar o oxigênio do ambiente para conter a combustão.

Classe C: a classe C de incêndio é composta pelos equipamentos elétricos energizados, como: motores, fios, transformadores, computadores, eletrodomésticos e qualquer outro material metálico usado na aplicação de energia elétrica. A principal característica desta classe de incêndio é a eletricidade no equipamento ou material. Para extinguir este tipo de incêndio são usados pós químicos secos, líquidos vaporizantes e o gás carbônico (CO₂).

Classe D: já esta classe de incêndio são os metais que queimam facilmente quando fundidos, finamente divididos ou em forma de lâminas, como exemplo o magnésio, o titânio, o sódio, o potássio, dentre outros. Nesta classe a extinção é mais delicada, pois durante a combustão é formado uma reação em cadeia, que é de difícil extinção por meios convencionais. Na extinção exige-se equipamentos, técnicas e agentes extintores especiais, para formarem uma capa protetora para isolar o material combustível do ar atmosférico.

Classe K: são os fogos em óleos e gorduras em cozinhas.

A figura 8 apresenta os tipos de extintores para cada classe de incêndio.

Figura 8 - Tipos de extintores

CLASSES DE INCÊNDIO	TIPO DE EXTINTOR						
	ÁGUA	ESPUMA	CO ₂	PÓ BC	PÓ ABC	CLASSE D	CLASSE K
 A APARAS DE PAPEL MADEIRAS	 SIM	 SIM	NÃO	NÃO	 SIM	NÃO	NÃO
 B LÍQUIDOS INFLAMÁVEIS	NÃO	 SIM	 SIM	 SIM	 SIM	NÃO	NÃO
 C EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	NÃO CONDUZ CORRENTE ELÉTRICA	NÃO CONDUZ CORRENTE ELÉTRICA	 SIM	 SIM	 SIM	NÃO	NÃO
 D Metais Combustíveis	NÃO PODE PROVOCAR EXPLOSÃO	NÃO PODE PROVOCAR EXPLOSÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM DEVE SER VERIFICADA A COMPATIBILIDADE ENTRE O METAL COMBUSTÍVEL E O AGENTE EXTINTOR	NÃO
 K Óleos e Gorduras	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM PÓ ESPECIAL USADO PARA ÓLEOS VEGETAIS

Fonte: <https://pt.linkedin.com/pulse/extintores-e-classes-de-inc%C3%AAndio-ant%C3%B4nio-pacheco>

2.6 SISTEMA PREVENTIVO DE INCENDIO EM EDIFICAÇÃO

Em uma edificação, o sistema preventivo contra incêndio é indispensável, pois este visa a proteção de toda coletividade. Nesta prevenção de incêndio deve-se colocar em prática a educação pública e as medidas de segurança contra incêndios. A prevenção é de fundamental importância para possibilitar a extinção de sinistros ou reduzir os efeitos até a chegada dos bombeiros (NT 02 CBM-GO, 2014).

O sistema preventivo em edificações é executado para evitar sinistros. Este sistema preventivo seria a junção entre a proteção passiva e ativa. Na proteção ativa contra incêndio e pânico são instalados equipamentos dentro de ambientes (Figura 9), que são acionados manualmente ou de forma automática, para funcionarem quando os incêndios ocorrerem. Os equipamentos manuais seriam os alarmes de incêndios tipo botoeiras acionados manualmente em situação de pânico. Já os alarmes automáticos seriam os detectores de fumaça, temperatura, raios infravermelhos, e outros, ligados aos alarmes automáticos. Além disso, extintores, hidrantes, chuveiros automáticos tipo sprinklers, iluminação de emergência, exautores de

fumaça e outros, são exemplos de proteção ativa. Já proteção passiva contra incêndio seriam alguns itens que vem incorporado na construção civil, que não requerem nenhum tipo de acionamento quando em situação de incêndio. Seriam iluminação de emergência, sinalização, escadas, rotas de fuga, elementos estruturais para situação de incêndio, compartimentação, matérias de acabamentos e revestimentos adequados que possuem um TRRF (NT 02 CBM – GO, 2014).

Figura 9 - Equipamentos de proteção.



Fonte: <http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/seguranca/tecnohold/produtos/seguranca-e-protecao/equipamentos-de-combate-a-incendio>

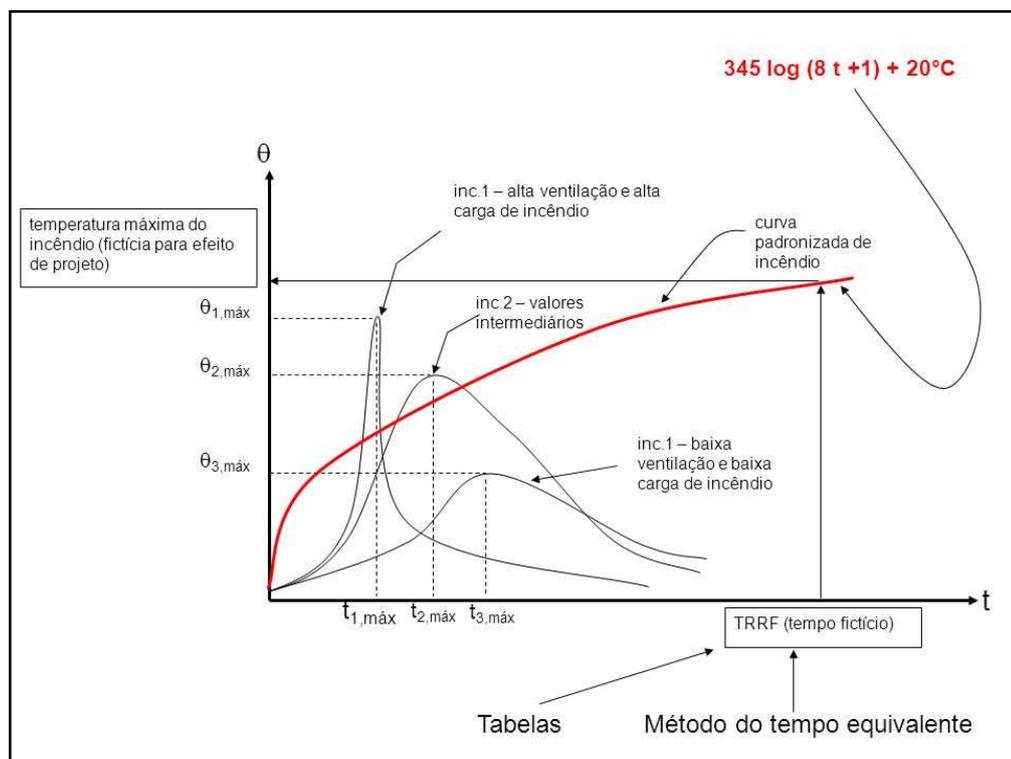
Dentre os meios da proteção passiva, COSTA (2012) descreve que a compartimentalização tem papel em diversas óticas. Sendo como medidas urbanísticas (distâncias de separações entre edificações), medidas arquitetônicas (formas de espaços fechados, terraços e sacadas), funções dos espaços compartimentados (áreas permanentes ou transitórias) e projetos estruturais em situação de incêndio.

Já BRENTANO (2007) diz que proteção passiva seria todas as formas de proteção, colocadas no projeto arquitetônico, para evitar incêndios e redução da probabilidade de propagação e dos efeitos do incêndio já instalado. Estas medidas são inseridas nos projetos das edificações, localizando, de forma adequada, os equipamentos capazes de provocar incêndios.

2.7 TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO - TRRF

Em um elemento estrutural, faz-se necessário conhecer sua resistência durante o fogo. Segundo SILVA (2014), costuma-se empregar o modelo fictício de incêndio padrão, pois para determinar o campo de temperatura no elemento de concreto é preciso conhecer o tempo de duração do incêndio. Como é uma curva fictícia e não uma curva verdadeira do incêndio, as normas e códigos também arbitram tempos fictícios altos, para que seja levado em conta o fator segurança (Figura 10).

Figura 10 - Curvas temperatura-tempo de incêndios



Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/1223076/>

Segundo a NBR 14432(NBR,2001), o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo é o tempo mínimo de resistência ao fogo de elemento construtivo quando sujeito a incêndio padrão, e a resistência ao fogo é a propriedade de um elemento construtivo, quando sujeito ao incêndio padrão, deve resistir com respeito à integridade, estanqueidade e isolamento, onde aplicável.

SILVA (2014) escreve sobre TRRF, ressaltando que apesar de ser fornecido sob a forma de tempo, constitui apenas parâmetro para projeto. Nada tem a ver com tempo de duração do incêndio, tempo de duração ou tempo resposta do Corpo de Bombeiros. O autor reafirma que tem visto muitas conclusões erradas tomadas por base que o TRRF é tempo real, mas o que

importa é o par TRRF + Curva – padrão que, se supõe, minimizam de forma adequada a probabilidade de colapso estrutural durante a vida útil da edificação.

Segundo SILVA (2014) o TRRF é obtido por duas formas: método tabular e método equivalente.

2.7.1 Método tabular

Neste método o TRRF é determinado de forma empírica, oriundo de consenso da sociedade e de normas padronizadas e regulamentos, em função da dimensão e do uso dos edifícios. Pode-se ver a padronização do TRRF na Tabela 1 abaixo da IT 08 do Corpo de Bombeiros de São Paulo (2011).

O TRRF nas vigas secundárias não necessita ser maior que 60 min, para edificações com altura inferior ou igual a 30 metros, e 90 minutos, para edificações com altura igual ou inferior a 80 metros (IT 8 CBM-SP, 2011). Já no subsolo das edificações, o TRRF é determinado em função do TRRF da ocupação pertencente, como é descrito na Tabela 1. Em situação de incêndio, o subsolo é uma área que pode causar colapso progressivo em toda estrutura dos pavimentos acima, para isso, o TRRF deste não pode ser inferior ao TRRF dos pavimentos acima do solo.

2.7.2 Método do tempo equivalente – redutor de TRRF

Os valores de TRRF podem ser reduzidos em até 30 minutos, devido algumas edificações terem características favoráveis à segurança contra incêndio (PIGNATTA, 2014).

Na IT 8 CBM-SP, (2011), NBR 15200(ABNT,2014) e NBR 14323(ABNT,2013), o procedimento para reduzir o TRRF é conhecido como “método do tempo equivalente”. Este método consiste em um redutor de até 30 minutos do TRRF da Tabela 1 (anexo). Este método é chamado de MTE (método de tempo equivalente) devido alguns valores ou equações terem por base o MTE original de acordo com PIGNATTA,2014. Em 2004, a Instrução Técnica 08 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, foi instituída pelo Decreto-Lei nº 46.076 de 2001 (SÃO PAULO, 2001) incorporou o método do tempo equivalente para o cálculo do tempo requerido de resistência ao fogo das edificações civis.

O valor do TRRF é substituído pelo valor de “ t_e ” determinado pela Equação 1, se $TRRF - 30\text{minutos} < t_e \leq TRRF$. Se $t_e \leq TRRF - 30\text{ minutos}$, então o valor de TRRF poderá ser substituído por $TRRF - 30\text{ minutos}$, limitado inferiormente a 15 minutos.

$$t_c = 0,07 q_{fi} \gamma_n \gamma_s W \quad (1)$$

Na Equação 1, $q_{fi} \gamma_n \gamma_s$ deve ser tomado sempre maior ou igual a 300MJ/m² sendo:

- q_{fi} , o valor característico da carga de incêndio específica do compartimento em megajoule por metro quadrado. Esses valores estão na NBR 14432(ABNT,2001) e na IT 14 (2011) do Corpo de Bombeiros de São Paulo.
- W é o fator que considera a altura e a ventilação do compartimento. Conforme a Equação 2, onde H é a altura do compartimento (distância entre piso e teto) em metros, A_v é a área de ventilação vertical para o ambiente externo do edifício, admitindo-se que os vidros das janelas se quebrarão em incêndio, e A_f é a área do piso do compartimento, que é medida em metros quadrados da área compreendida pelo perímetro interno das paredes de compartimentação. A_v / A_f deve ser menor ou igual a 0,30. Para A_v / A_f maior do que 0,30, deve-se tomar A_v / A_f igual a 0,30. Em qualquer caso, A_v / A_f deve ser superior ou igual a 0,025.

$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \left\{0,62 + 90 \left(0,4 - \frac{A_v}{A_f}\right)^4\right\} \geq 0,5 \quad (2)$$

- γ_n é o fator de ponderação determinado pela Equação 3, conforme Tabela 1.

$$\gamma_n = \prod_{i=1}^{i=3} \gamma_{ni} = \gamma_{n1} \times \gamma_{n2} \times \gamma_{n3} \quad (3)$$

Na ausência de algum meio de proteção, adota-se $\gamma_{ni} = 1$.

Tabela 1: Fatores de ponderação das medidas de segurança contra incêndio

Valores de γ_{n1} γ_{n2} γ_{n3}		
Existência de Chuveiros Automáticos (γ_{n1})	Brigada Contra incêndio (γ_{n2})	Existência de detecção automática (γ_{n3})
0,6	0,9	0,9

Fonte: SILVA,2014

- γ_s é o fator de ponderação determinado por $\gamma_s = \gamma_{s1} * \gamma_{s2}$
- γ_{s1} é um fator de segurança determinado pela Equação 4, que depende da área do piso do compartimento (A_f), em metro ao quadrado, e h , que é a altura habitável mais elevado da edificação, em metro.

Para $\gamma_{s1} < 1$, deve-se adotar $\gamma_{s1} = 1$ e para $\gamma_{s1} > 3$, pode-se adotar $\gamma_{s1} = 3$.

$$\gamma_{s1} = 1 + \frac{A_f(h + 3)}{10^5} \quad (4)$$

γ_{s2} é um fator que depende do risco de ativação de incêndio e determinado conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Valores de γ_{s2}

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

Fonte: SILVA, 2014.

Segundo SILVA (2014) o procedimento MTE não se aplica a mezanino ou duplex, no entanto o autor sugere empregar a seguinte situação como estratégia: determinar a carga de incêndio característica específica, multiplicando o valor tabelado de q_{fi} pela relação entre a soma das áreas do mezanino (A_{mez}) e do piso (A_f) e a área de piso, ou seja:

$$\frac{Af + Amez}{Af} \quad (5)$$

Sendo que a altura do compartimento (H) é a altura total, desconsiderando – se o mezanino.

De acordo com a NBR 14432(ABNT,2001) e as normas dos Bombeiros, alguns edifícios com fácil desocupação, tais como construções de pequeno porte, edifícios industriais ou depósitos, podem dispensar a verificação da segurança estrutural, exceto quando tem a necessidade de proteção patrimonial.

2.8 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

2.8.1 Concreto - resistência à compressão do concreto a altas temperaturas

COSTA (2002) descreve que a maioria dos materiais de construção civil tem suas propriedades mecânicas reduzidas, quando submetidos a elevadas temperaturas.

Logo, a capacidade de resistência das estruturas de concreto armado pode ser reduzida devido a ação térmica dos incêndios. Sabe-se que com a elevação da temperatura pode haver a ruptura da rigidez, levando ao colapso da estrutura.

Segundo a NBR 15200(ABNT,2014), com o aumento da temperatura, a resistência à compressão do concreto decresce. Esta resistência é obtida pela Equação 6:

$$f_{c, \theta} = k_{c, \theta} \times f_{ck} \quad (6)$$

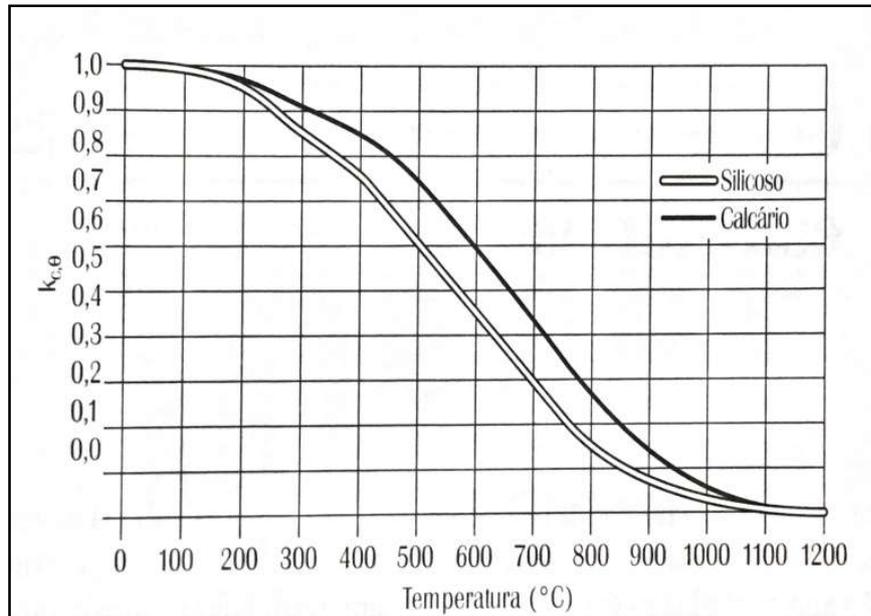
Onde:

f_{ck} : resistência à compressão do concreto à temperatura ambiente;

$k_{c, \theta}$: fator de redução da resistência do concreto na temperatura θ , conforme Figura

11;

Figura 11 - Fator de redução da resistência do concreto silicoso e calcário em função da temperatura



Fonte: SILVA, 2014

A relação entre a resistência à compressão do concreto submetido a diferentes temperaturas (f_c, θ) e a resistência característica à compressão do concreto em situação normal (f_{ck}), para concretos preparados com agregados silicosos, é fornecida pela na Tabela 3. Para concretos que contenham agregados a base de calcário, pode ser consultada a Tabela 4. (SILVA, 2014).

Tabela 2 - Valores das reações $k_c, \theta: f_c, \theta / f_{ck}$ para concretos preparados com agregados silicosos
(continua)

Temperatura do Concreto (°C)	$K_{c\theta} = F_{c,\theta}/F_{ck}$
20	1,00
100	1,00
200	0,95
300	0,85
400	0,75
500	0,60
600	0,45
700	0,30
800	0,15
900	0,08

Tabela 2 - Valores das reações $k_c, \theta: f_c, \theta/f_{ck}$ para concretos preparados com agregados silicosos
(conclusão)

Temperatura do Concreto (°C)	$K_{c\theta} = F_{c,\theta}/F_{ck}$
1100	0,01
1200	0,00

Fonte: (SILVA, 2014)

Tabela 3: Valores das reações $k_c, \theta: f_c, \theta/ f_{ck}$ para concretos preparados com agregados calcários.

Temperatura do Concreto (°C)	$K_{c\theta} = F_{c,\theta}/F_{ck}$
20	1,00
100	1,00
200	0,97
300	0,91
400	0,85
500	0,74
600	0,60
700	0,43
800	0,27
900	0,15
1000	0,06
1100	0,02
1200	0,00

Fonte: (SILVA, 2014)

a) Módulo de elasticidade

Por meio do coeficiente redutor ($k_{cE, \theta}$), apresentado na Figura 12, encontra-se a redução do módulo de elasticidade do concreto em função da temperatura elevada. O módulo de elasticidade é determinado pela Equação 7 (COSTA,2002).

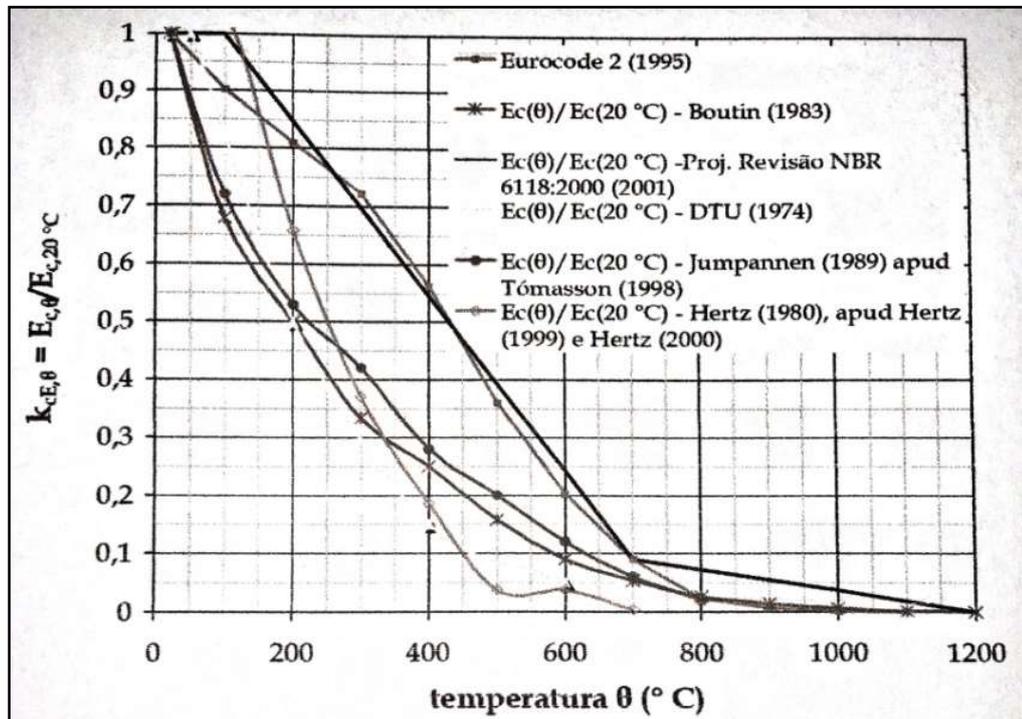
$$E_{c, \theta} = k_{cE, \theta} \times E_{c, 20^\circ\text{C}} \quad (7)$$

Onde:

$E_{c, \theta}$: módulo de elasticidade do concreto em temperatura elevada θ (°C);

$k_{cE, \theta}$: fator de redução do módulo de elasticidade em função da temperatura θ (°C);
 $E_c, 20^\circ\text{C}$: módulo de elasticidade do concreto em temperatura ambiente.

Figura 12 - Fator de redução do módulo de elasticidade do concreto em função da temperatura

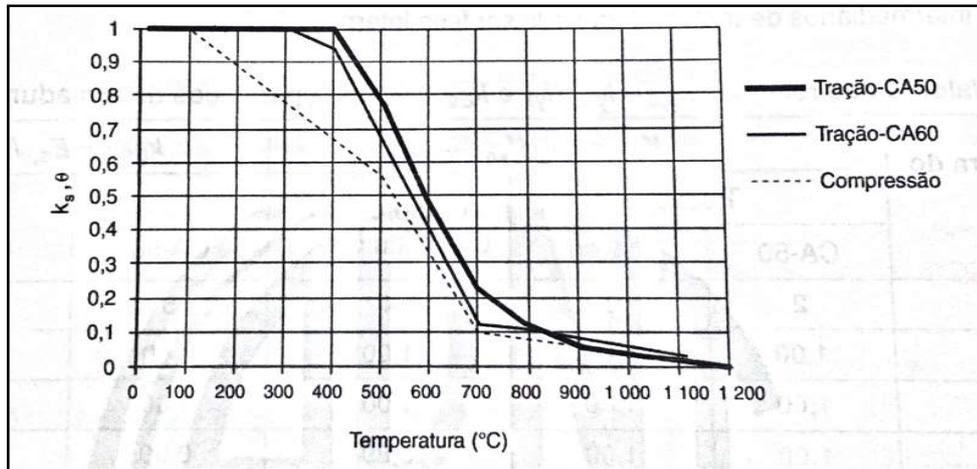


Fonte: NBR 15200(ABNT,2012)

2.8.2 Aço - resistência ao escoamento do aço e módulo de elasticidade de armadura passiva a altas temperaturas

Conforme a NBR 15200(ABNT,2012), com o aumento da temperatura, a resistência ao escoamento do aço da armadura passiva decresce (Figura 13).

Figura 13 - Fator de redução da resistência do aço de armadura passiva em função da temperatura



Fonte: NBR 15200(ABNT,2012)

A resistência é obtida pela Equação 8:

$$f_{yk, \theta} = k_{s, \theta} \times f_{yk} \quad (8)$$

Onde:

f_{yk} : resistência característica do aço de armadura passiva a temperatura ambiente;

$k_{s, \theta}$: fator de redução da resistência do aço em função da temperatura, conforme

Figura 13, onde:

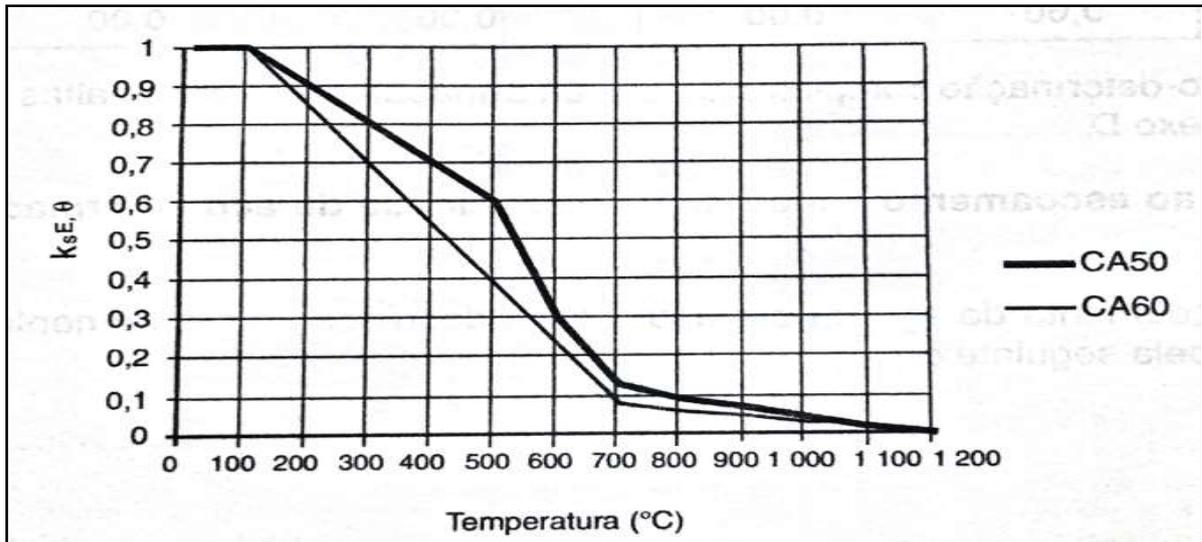
- Curva cheia: aplicável quando $\varepsilon_{yi} \geq 2\%$. usualmente armaduras tracionadas de vigas, lajes ou tirantes.

- Curva tracejada: aplicável quando $\varepsilon_{yi} \leq 2\%$. usualmente armaduras comprimidas de pilares, vigas ou lajes.

ε_{yi} = deformação específica do aço no escoamento.

Com o aumento da temperatura, o módulo de elasticidade do aço da armadura passiva decresce, conforme mostrado na figura 14.

Figura 14 - Fator de redução do módulo de elasticidade do aço da armadura passiva em função da temperatura



Fonte: NBR 15200(ABNT,2012)

O módulo de elasticidade pode ser obtido pela equação:

$$E_{s, \theta} = K_{sE, \theta} \times E_s \quad (9)$$

Onde:

E_s : módulo de elasticidade do aço de armadura passiva a temperatura ambiente;

$K_{sE, \theta}$: fator de redução do módulo de elasticidade do aço em função da temperatura.

2.8.3 Resistência ao escoamento do aço e módulo de elasticidade de armadura ativa a altas temperaturas.

Conforme a NBR 15200(ABNT,2012), com o aumento da temperatura, a resistência ao escoamento do aço da armadura ativa decresce, conforme Figura 15. A resistência ao escoamento é obtida pela Equação 10:

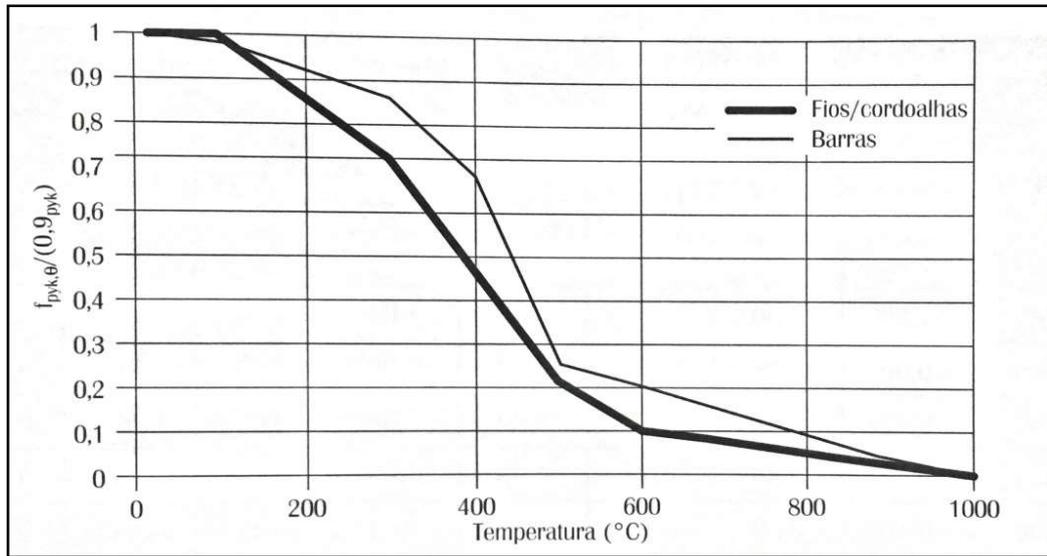
$$f_{pyk, \theta} = k_{p, \theta} \times f_{pyk} \quad (10)$$

Onde:

f_{pyk} : resistência característica do aço de armadura ativa em situação normal;

$k_{p, \theta}$: fator de redução da resistência do aço de armadura ativa na temperatura θ .

Figura 15 - Fator de redução do módulo de elasticidade do aço da armadura passiva em Função da temperatura



Fonte: SILVA, 2014.

O aço de armadura ativa tem o seu módulo de elasticidade diminuído com o aumento de temperatura, conforme Figura 16, podendo ser obtido pela Fórmula 11:

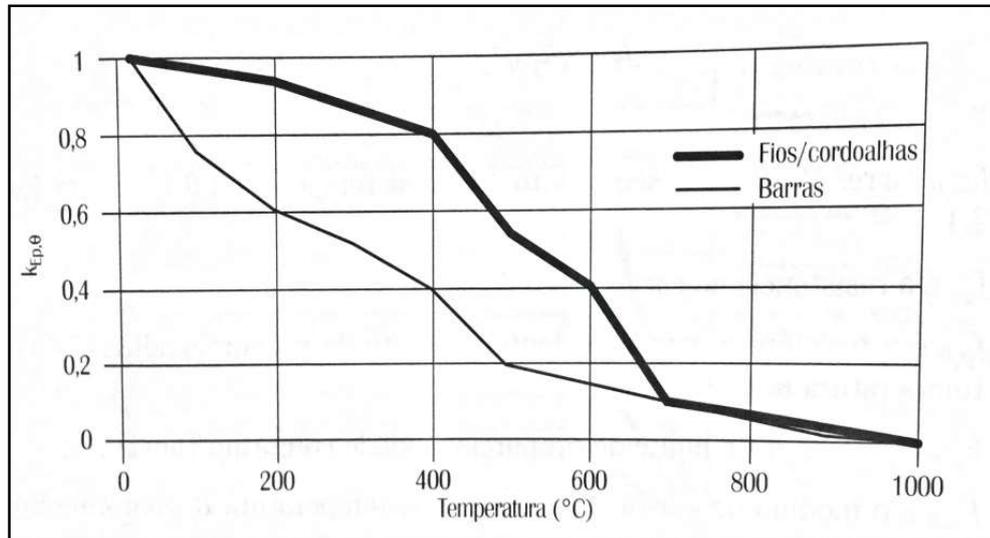
$$E_{p,\theta} = k_{E_{p,\theta}} \times E_p \quad (11)$$

Onde:

E_p : módulo de elasticidade do aço de armadura ativa em situação normal;

$k_{E_{p,\theta}}$: fator de redução do módulo de elasticidade do aço de armadura ativa na temperatura θ ;

Figura 16 - Fator de redução do módulo de elasticidade do aço da armadura ativa em função da temperatura



Fonte: SILVA, 2014.

2.9 PROTEÇÃO ATIVA E PASSIVA EM RELAÇÃO AO INCÊNDIO

Os materiais para revestimento térmico devem apresentar capacidade de proteção térmica para altas temperaturas, mantendo sua integridade durante o incêndio, sem causar aumento considerável no peso próprio da estrutura. Para isso, é necessário que eles apresentem, em geral, baixa massa específica aparente, baixa condutividade térmica e calor específico elevado. Esses materiais não devem ser agressivos à saúde e devem trabalhar acompanhando os deslocamentos da estrutura, mantendo a sua durabilidade de acordo com a vida útil da estrutura. A combustão e conseqüente propagação de chamas não podem ocorrer nesses materiais (MENDES;NETO,2006).

Segundo Brentano (2007) a segurança de uma edificação, em relação ao incêndio, necessita ser analisada sob dois aspectos, para evitar, minimizar e garantir a preservação da vida: a proteção passiva e a proteção ativa.

2.9.1 Proteção passiva

Segundo a NBR 14432 (ABNT, 2000) a proteção passiva é um conjunto de medidas incorporado ao sistema construtivo do edifício, sendo funcional, durante o uso normal da edificação, e que reage passivamente ao desenvolvimento do incêndio, não estabelecendo condições propícias ao seu crescimento e propagação, garantindo a resistência ao fogo,

facilitando a fuga dos usuários e a aproximação e o ingresso no edifício para o desenvolvimento das ações de combate. Ou seja, ela envolve todas as formas de proteção que devem ser consideradas no projeto arquitetônico, para que não haja o surgimento do fogo ou a sua redução da probabilidade de propagação.

Algumas medidas devem ser tomadas em uma edificação para que retarde ou evite o incêndio. São elas: localização adequada dos equipamentos capazes de provocar incêndios, compartimentações horizontal e vertical, proteção das aberturas entre ambientes, materiais adequados utilizados nos elementos estruturais e nos revestimentos, escadas protegidas dentre outras (NT 02 CBM–GO, 2014).

Segundo a CKC FIRE PROTECTION, a UNIFRAX BRASIL, e a RISOTHERM, empresas responsáveis por fabricarem produtos de proteção contra a propagação do fogo, existem vários materiais que são bastante eficazes em relação ao fogo, os quais serão apresentados nos itens a seguir.

2.9.1.1 As argamassas projetadas

As argamassas projetadas têm este nome porque são aplicadas por jateamento, como ilustra a Figura 17, e foram desenvolvidas especificamente para proteção passiva das estruturas. São materiais econômicos, constituídos por aglomerantes, como o gesso, resinas acrílicas, cimento portland e elementos inertes, como preservantes e poliestireno expandido.

Figura 17 - Argamassa projetada



Fonte: <https://www.ufrgs.br/eso/content/?tag=reboco-projetado>.

Tem como vantagem o seu baixo custo, a sua grande resistência térmica e acústica, o TRRF até 240 minutos e a sua excelente formação de película em todas as superfícies, inclusive vigas, deques e colunas.

Suas desvantagens são a sua fragilidade ao contato físico, a sujeira gerada pela sua aplicação, a dificuldade em manter as mesmas espessuras, aparência não agradável e requer um espaço maior para a sua aplicação.

No Brasil, as argamassas projetadas são encontradas apenas de três formas diferentes:

- **Argamassas cimentícias:** compostas por materiais aglomerantes, como gesso e cimento, em grande quantidade, e resinas acrílicas. As composições dos aglomerantes variam de acordo com a sua utilização, variando-se, assim, o peso específico do material;
- **Fibras projetadas:** compostas por lã de rocha e materiais aglomerantes, sendo o último em menor quantidade. São de baixa densidade, 240 kg/m³, e indicada para usos interiores e exteriores;
- **À base de vermiculita:** composto de agregados leves à base de vermiculita, cimento hidráulico e aglomerantes minerais.

2.9.1.2 Placas rígidas

O revestimento resume-se em placas rígidas que envolve a superfície da estrutura, isolando-a de altas temperaturas (Figura 18).

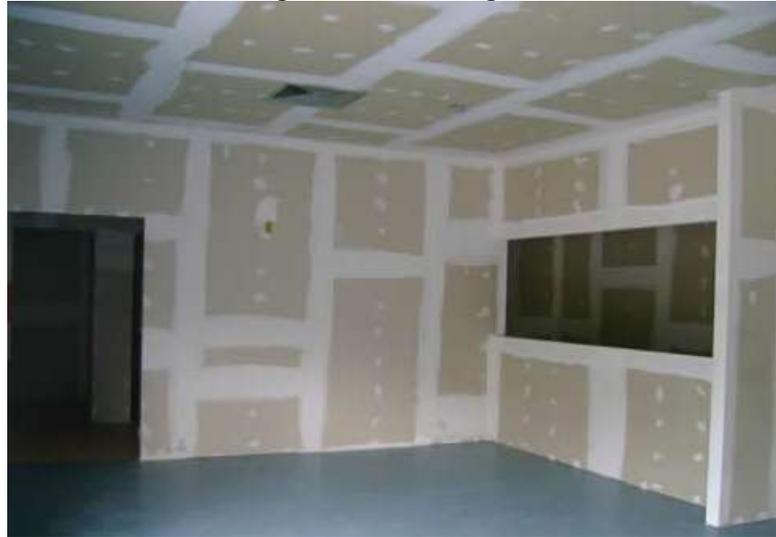
Tem como vantagem a instalação limpa e TRRF até 120 minutos. Já as suas desvantagens são: demora para a instalação das placas, falta de flexibilidade para acompanhar as estruturas e uma elevada espessura, necessitando em poucos casos, redimensionamento das cargas estruturais.

As placas podem ser encontradas de três formas diferentes:

- **Placas de gesso acartonado:** São placas similares as de gesso convencional, no entanto possuem fibras de vidro e vermiculita em sua composição, assegurando características específicas para a proteção contra incêndio;
- **Placas de lã de rocha:** São placas constituídas de materiais fibrosos, ou seja, a lã de rocha, que é obtida pela junção de rochas basáltica e aglomerados pela adição de resinas termoendurecíveis. A proteção térmica é garantida por meio das propriedades da lã de rocha;

- **Placas de silicato autoclavados:** São formadas por placas rígidas que fornecem uma grande resistência mecânica e a abrasão.

Figura 18 - Placas rígidas



Fonte: <http://www.bevilacqua.com.br/blog/materias/gesso-acartonado-usos-e-vantagens-522>

2.9.1.3 Mantas

São materiais flexíveis, que podem ser compostos por um conjunto de fibras cerâmicas, lã de rocha ou outro material fibroso. A aplicação das mantas é feita no contorno, envolvendo a estrutura, sendo fixadas por meio de pinos metálicos soldados previamente à estrutura (Figura 19).

Suas vantagens, segundo a empresa RISOTHERM são: resistente ao calor, leve, baixa condutividade, baixo armazenamento de calor, alta flexibilidade, que facilita cortes, resistência elevada a choques térmicos, alta resistência à tração e corrosão, fácil instalação e é livre de amianto.

Figura 19 - Manta aplicada em estrutura metálica



Fonte: http://www.tecniq.com.br/produtos/protecao_passiva.htm

2.9.1.4 Tintas intumescentes

As tintas intumescentes são oriundas de produtos celulósicos que, com a junção de ligantes orgânicos especiais e agentes dilatadores, tendem a elevar o seu volume quando são elevadas a altas temperaturas, aumentando a sua espessura dezenas de vezes. A tinta permanece inativa na estrutura, conforme uma tinta comum, até que seja exposta a temperaturas superiores a 200° C. Inicia-se um processo de expansão volumétrica, a partir dessa temperatura, tornando-se uma espuma rígida (devido às resinas que compõem a tinta) com poros preenchidos por gases atóxicos. Durante a ação de incêndio, esse processo retarda o aumento rápido da temperatura nas estruturas (Figura 20).

Suas vantagens são: Facilidade na manutenção / limpeza, arquitetura permanece aparente, leve e fino, otimiza o espaço da construção, permite acabamento da cor desejada, não retém sujeiras e tem TRRF até 120 minutos.

Suas desvantagens: requer aplicadores qualificados, verificação de qualidade da aplicação, tempo de secagem maior e deve haver compatibilidade com primer utilizado.

Figura 20 - Aplicação tinta intumescente



Fonte: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/pintura-intumescente-em-estrutura-metalica-pede-mao-de-obra-qualificada_16142_10_0

2.9.2 Proteção ativa

Segundo a NBR 14432 (ABNT, 2000), a proteção ativa é um tipo proteção contra incêndio que é ativada manual ou automaticamente em resposta aos estímulos provocados pelo fogo, composta basicamente das instalações prediais de proteção contra incêndio.

A proteção ativa envolve todas as formas de proteção que são necessárias para que não haja o surgimento do fogo, ou então, a diminuição da probabilidade de sua propagação. Ou seja,

são medidas ativas de proteção que abrangem a detecção, alarme e extinção do fogo automática ou manual (BRENTANO, 2007).

Esse tipo de proteção é mais comum no cotidiano, pois é composta por elementos já conhecidos no dia-a-dia, em edifícios comerciais (lojas, shoppings, boates, bares), edifícios residenciais multifamiliares e indústria, além de espaços públicos, como estações de ônibus e eventos. São os extintores, os hidrantes, os sprinklers e os alarmes de incêndio.

2.9.2.1 Extintores

Segundo a NBR 12693 (ABNT, 1993), extintores (Figura 21) são aparelhos de acionamento manual, constituído de recipiente e acessórios contendo o agente extintor (substância utilizada para a extinção de fogo), destinado a combater princípios de incêndio.

Figura 21 - Extintores



Fonte: <http://fireprotection.com.br/category/protecao-ativa/>

2.9.2.2 Os sprinklers

Segundo a NBR 10897 (ABNT, 2004), os sprinklers (Figura 22) são dispositivos para extinção ou controle de incêndios, que funcionam automaticamente quando seu elemento termo-sensível é aquecido à sua temperatura de operação ou acima dela, permitindo que a água seja descarregada sobre uma área específica, ou seja, é um sistema utilizado a princípio para suprimir e as vezes combater o início de um foco de incêndio.

Figura 22 - Sprinkler

Fonte:<http://www.tubulacaoindustrial.com.br/index.php?link=servicos&id=4&pg=rede-sprinklers>

Ele é fixo, utilizado para combater incêndios, constituído por um ou mais subsistemas, de acordo com a área da edificação, comandados por válvulas de controle exclusivas que também acionam um alarme quando entram em atividades, com chuveiros automáticos conectados a sub-ramais e regularmente distribuídos por toda a edificação, ativados pela variação da temperatura do local, que possivelmente poderá ser originado pelo calor de um foco de fogo, que descarregam água sobre a área de incêndio.

2.9.2.3 Os hidrantes

Os hidrantes (Figura 23) são tomadas de água, pertencentes a um sistema fixo sob comando, com a finalidade de servir como suplemento para alimentar linhas de mangueiras, que serão utilizadas para combater um princípio de incêndio ou controlá-lo, até a chegada de uma equipe especializada (bombeiros), ou seja, é a junção de uma parte da canalização de incêndio com a válvula angular, mais o engate rápido tipo storz e um adaptador.

Figura 23 - Hidrante



Fonte: <http://travainextintores.com.br/hidrante-de-incendio-ou-boca-de-incendio/>

2.9.2.4 Os alarmes de incêndio

Constitui um conjunto de elementos planejadamente dispostos e adequadamente interligados para detectar precocemente princípios de incêndio, fornecer sinalizações audiovisuais e comandar dispositivos de segurança e/ou extinção.

Existem dois tipos de detectores de incêndio:

- a) Detector de Fumaça por Ionização:** neste detector tem-se uma câmara ionizada, onde os eletrodos mantêm uma corrente que inibe o alarme, onde uma vez que a fumaça entre, faz com que essa corrente seja cortada e assim acontece o disparo do alarme;
- b) Detector de Calor:** o melhor sensor costuma trabalhar com Termistores (NTC ou PTC), que são componentes que atendem muito bem as normas de proteção contra de incêndio, que dizem que o sistema tem que ser acionado quando atingir 57 graus centígrados. Os NTC são resistores cuja resistência diminui com o aumento da temperatura, já o PTC são resistores cuja a resistência aumenta, quando elevada a temperatura.

2.10 VEMICULITA.

Segundo o Dossiê Técnico da Empresa Brasil Minérios (2014), a vermiculita (Figura 24) é o nome geológico atribuído a um grupo de minerais micáceos hidratados, de composição básica de silício, magnésio e alumínio. Apresenta uma estrutura cristalina, lamelar. Ela tem a

propriedade de expandir (esfoliar), quando submetida a um aquecimento elevado (cerca de 900°C), produzido pelo escape da água inter lamelar que ela contém. A expansão ocorre no sentido perpendicular ao plano de clivagem das lamelas, o que causa a formação de uma pequena sanfona. A vermiculita expandida (Figuras 25 e 26) é usada no Brasil cerca de 40 anos, no mercado da construção civil, agricultura, siderúrgica, refratários, freios e outros.

Figura 24 - Vermiculita na sua forma natural



Fonte: BRASIL MINÉRIO, 2014

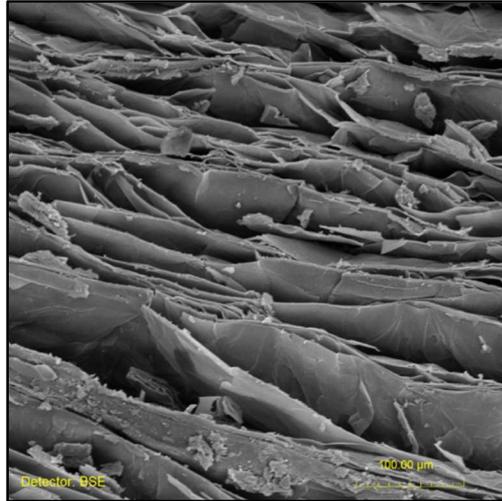
A vermiculita foi descoberta nos Estados Unidos a mais de 57 anos. A mesma ficou conhecida como principal insumo na produção de argamassas de proteção passiva (Figura 27) e isolamento térmico de sistemas “*drywall*” (painel constituído por sulfato de cálcio hidratado, com ou sem aditivos, e geralmente pressionado contra um revestimento de cartão), e pelo método “*loose fill insulation*” (isolamento de enchimento solto), Figura 28.

Figura 25 - Vermiculita expandida



Fonte: BRASIL MINÉRIO, 2014

**Figura 26 - Vermiculita Expandida -
imagem ampliada 3600 vezes**



Fonte: BRASIL MINÉRIO, 2014

Diante de estudos, descobriram que a mesma é ótima para produção de argamassas leves bombeáveis (Figura 29).

Figura 27 - Argamassa de proteção passiva – Produzida no Brasil



Fonte: BRASIL MINÉRIO, 2014

Figura 28 - Sistema *Loose Fill Insulation*



Fonte: BRASIL MINÉRIO, 2014

Figura 29 - Argamassas leves bombeáveis



Fonte: BRASIL MINÉRIO, 2014

A vermiculita permite a redução do carregamento estrutural (economia na estrutura); proteção da estrutura em situação de incêndio; aumento do TRRF dos materiais incorporados; permite o conforto térmico (frio e calor) e isolamento de ruídos.

No Brasil, várias pesquisas acadêmicas têm sido desenvolvidas, buscando entender melhor o comportamento da vermiculita na sua forma expandida, quando incorporada a argamassa cimentícia. A técnica de produzir argamassas secas tipo farofa, para enchimentos de contra pisos, foi evoluindo para argamassas plásticas de rebocos convencionais, contrapisos bombeáveis e até autonivelantes.

FRANCÊS (2017), engenheiro civil, representante da Empresa Brasil Minério, descreve que, de acordo com os experimentos feitos com vermiculita, a capacidade de absorção acústica da Vermiculita Expandida é certificada por inúmeros laboratórios internacionais. Já as pesquisas com a Vermiculita como isolante térmico, têm existido de forma sistêmica no meio acadêmico e técnico. Diante dos estudos até então, sabe-se que o desempenho se deve aos fenômenos básicos conhecidos na física, como ondulatória, reflexão, refração e difração,

deduzindo, assim, que a mesma tem desempenho igual nas ondas sonoras, e conseqüentemente chega-se na afirmação de que a Vermiculita Expandida funciona como ótimo isolante térmico.

Frances (2017) descreve ainda que uma ampla discussão com vários especialistas resultou na teoria de que a Vermiculita expandida, impregnada com elastômeros de alto fator de alongamento, pode contribuir com o desempenho acústico de sistemas construtivos, pelo princípio massa/mola/massa.

A pesquisa baseou-se nas seguintes características da Vermiculita:

- Uma estrutura lamelar, repleta de vazios;
- Uma alta densidade do minério (cada placa tem a densidade de uma rocha, separadamente, da ordem de 2600 kg/m^3). A composição química da Vermiculita apresenta uma estrutura formada por metais e semimetais;
- Uma baixa massa unitária do composto granular, na sua forma expandida, da ordem de 140 kg/m^3 ;
- A Vermiculita tem sempre uma face, com área de superfície planar, que promove grande reflexão;
- A disposição aleatória das placas de Vermiculita, dentro do composto, potencializa um efeito de “câmara de reflexão”, com intensa perda de energia da onda.

O mesmo autor ainda faz uma comparação entre a lã de rocha e a vermiculita, onde a lã tem uma direção preferencial da disposição de seus filamentos, de origem de fabricação, tendo cada filamento (rocha ou sintética) seção circular, onde dificulta o efeito da reflexão. Comparada a vermiculita, a área de superfície exposta de filamento de lã é 20 vezes menor que a placa da vermiculita e a densidade da substância que compõe os filamentos da lã é baixa. Estas pequenas comparações consolidam uma das ideias de que a Vermiculita atingiu níveis de redução sonora de ordem de 12 vezes maior que a lã de rocha.

2.10.1 Propriedades da vermiculita expandida

Segundo o Dossiê Técnico da Empresa Brasil Minérios (2014), a vermiculita pode ser aplicada e manuseada sem restrições, sendo inerte, inodora, não apodrece e não oferece riscos para a saúde. Ela se caracteriza pelo seu baixo peso, expandindo o seu volume original em até 10 vezes, dependendo de sua granulometria, proporcionando, assim, excelentes propriedades de isolamento térmico.

Em temperaturas entre 25°C e 1100°C , a vermiculita tem baixa capacidade de conduzir calor, por ser um produto de origem mineral, que contém várias cavidades deixadas pela

expulsão da água. Seu ponto de fusão é de 1350°C, sendo qualificada, por meio de ensaios, como um produto incombustível que não pega fogo nem propaga chama.

Devido a sua grande quantidade de porosidade, ela absorve líquidos, permitindo armazenar uma massa de líquidos superior a sua própria massa.

Outras propriedades da vermiculita:

- a) Tem propriedade lubrificante, não abrasiva;
- b) Não conduz eletricidade;
- c) Ela é insolúvel em água e em ácidos orgânicos;
- d) Ela combina perfeitamente com outros produtos de origem mineral, tais como cimento, cal, gesso, argilas de diferente composições e consegue perfeita aderência e homogeneidade;
- e) Pode ser impregnada com emulsões asfálticas e outros produtos afins.

2.10.2 Utilização

De acordo com o Dossiê Técnico da Empresa Brasil Minérios (2014), a vermiculita pode se utilizada em várias ambientes como:

2.10.2.1 Isolante térmico

A vermiculita tem um excelente rendimento em temperaturas de até 1100°C. É utilizada na fabricação de isolante moldado para revestimento em equipamentos, na fabricação de paredes divisórias fogo-retardante, na fabricação de portas corta fogo e na fabricação de argamassas projetáveis para proteção contra fogo de estruturas metálicas.

Com a mistura da vermiculita com o cimento aluminoso, obtém-se uma argamassa isolante para altas temperaturas. Uma combinação de baixa capacidade calórica, boa resistência mecânica e alta refratariedade na face quente. Dependendo da proporção do traço da mistura e do grau de compactação na sua aplicação, estabelece a sua condutividade térmica.

2.10.2.2 Concreto leve

Atualmente existe uma grande preocupação com a redução de custos na construção civil. O concreto leve a base de vermiculita proporciona esta economia, devido a sua baixa densidade e boa resistência mecânica, resultando, por exemplo, lajes menos espessas e

econômicas. Gera-se um alívio na estrutura por ser mais leve, utilizando uma quantidade menor de concreto devido esta diferença.

2.10.2.3 Piscinas de vinil

O revestimento de piscinas com uma argamassa composta de vermiculita e cimento Portland oferece uma base de apoio lisa, suave, sem grânulos, firme e de durabilidade permanente, eliminando, assim, o atrito entre o concreto e o vinil, causado pela utilização de argamassa normal, que geralmente causa o aparecimento de trincas, arestas e grânulos que geram furos ou rasgos no filme de vinil.

Outra vantagem é a função de isolante térmico da argamassa a base de vermiculita, mantendo a água em temperaturas confortáveis por maior tempo.

2.10.2.4 Empacotamento

A vermiculita pode ser utilizada como material auxiliar na embalagem de produtos frágeis, tais como louças finas, peças de arte, eletrônica e de produtos perigosos, produtos químicos, farmacêuticos e medicinais, que não podem derramar durante um transporte, seja aéreo, terrestre ou marítimo.

2.10.2.5 Retenção de líquidos

Utilizado como absorventes, especialmente de petróleo nos rios e no mar. Quando utilizado em empacotamento, ela retém os líquidos que por ventura venham a aparecer, devido a vazamento nos fechamentos das embalagens ou na ruptura das mesmas. A absorção se produz devido à grande superfície apresentada pelas partículas nos seus espaços inter-lamelares (forma de sanfona) e também nos espaços existentes entre as partículas.

2.10.2.6 Como componente

- Na fabricação de pastilhas e lonas de freios em substituição ao amianto;
- Na fabricação de tintas e vernizes resistentes à temperatura;
- Como carga na fabricação de plásticos e borrachas especiais.

2.10.2.7 Filtração

- Como produto auxiliar de filtração;
- Como agente de tratamento de águas poluídas.

2.10.3 Características técnicas da vermiculita

- Peso Específico: 2,6 g/cm³;
- Temperatura máxima recomendada: 1200°C;
- Temperatura de Amolecimento: 1260°C;
- Temperatura de Fusão: 1315°C;
- Calor Específico: 0,84 kcal/kg;
- Condutividade Térmica à temperatura ambiente (25°C): 0,43 – 0,45 Btu/ sqft h oF in;
- PH: 7;
- CTC: 90 – 100 meq/100g;
- Umidade máxima: 7,0%.

2.10.4 Aplicações da vermiculita

O Dossiê Técnico da Empresa Brasil Minérios (2014), descreve as características físicas químicas da Vermiculita expandida. Tendo sua aplicação das mais diversas nos campos da isolação térmica, solta ou na forma de argamassa de cimento.

A Vermiculita em flocos utiliza-se em espaços deixados pela construção em alvenaria ou mesmo entre esta e as chapas de aço na periferia de um forno. Uma mistura de granulometrias média, fina e superfina são recomendáveis para uso nestes casos. A mistura de cimento e vermiculita é recomendada em proporções volumétricas do tipo 1: 8 ou 1: 10 e pode ser feita com água e socada nos espaços disponíveis. Para temperaturas de trabalho acima de 400°C recomenda-se o uso de cimento aluminoso. Na construção civil, utiliza-se como:

- Agregado leve para enchimento de lajes;
- Acabamento de alvenaria, seja em forma de argamassa ou moldado;
- Diminuição de carga nas estruturas de concreto;
- Elemento de enchimento de junta de dilatação;

- Fechamento de vãos no propósito de garantir a compartimentação de incêndio;
- Blocos de vedação leves para isolamento termo acústico;
- Proteção de impermeabilização em coberturas de prédios;
- Concretos leves: substitui agregados do concreto, em lajes e pisos;
- Plaster (argamassa): misturas com gesso e cimento;
- *Loose-fill*: preenchimento de espaço entre vigas com Vermiculita. Isolação térmica e acústica;
- Proteção ao fogo;
- Refratários e isolamento de alta temperatura;
- Recobrimentos especiais, gaxetas e vedação;
- Forro de piscina: isolamento térmica, adicionada ao cimento e aditivos na base e parede da piscina;
- *Fire-proof plasters*: argamassa leve e resistente ao fogo. Gesso + cimento + Vermiculita (perlita também). Revestimento de vigas metálicas e colunas.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 METODOLOGIA

No estudo atual vai ser verificado o comportamento da argamassa industrializada a base de vermiculita quando utilizada, como revestimento em estruturas de concreto armado, para isolamento térmico.

A pesquisa avalia e apresenta os resultados de quatro corpos de prova de concreto armado submetidos a altas temperaturas: um corpo de prova sem revestimento, para servir de referência, e outros três, revestidos com argamassa industrializada a base de vermiculita, com diferentes espessuras da camada do revestimento, iguais a 1,5cm; 2,5cm e 3,5cm.

Para obtenção da temperatura externa e interna dos corpos de prova, foram utilizados termopares e as peças foram levadas a um forno, onde foi feita a elevação da temperatura, chegando ao valor máximo de 900⁰C, na tentativa de simular a temperatura atingida em um incêndio.

3.2 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS

Para a confecção das peças, foram utilizados os materiais já existentes no Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis, que foram caracterizados seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

3.2.1 Cimento

O cimento utilizado foi o CP II Z – 32, Cimento Portland Composto por Pozolana. O ensaio de massa específica do cimento foi feito de acordo com a NBR NM 23 (ABNT, 2001), chegando ao valor médio da massa específica igual a 3100 kg/m³.

3.2.2 Areia

A massa específica da areia natural foi calculada pelo método de Chapman (NBR NM 52, ABNT, 2009). A massa unitária foi determinada de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006). Para a determinação da composição granulométrica e obtenção do módulo de finura,

seguiram-se as prescrições da NBR NM 248 (ABNT, 2003). A Tabela 4 apresenta as características físicas da areia.

Tabela 4 - Características físicas da areia

AREIA	
Módulo de Finura	2,40
Inchamento	30%
Massa Específica	2.580 kg/m ³
Massa Unitária	1.520 kg/m ³
Fonte:	CENTRO TECNOLÓGICO - UniEVANGÉLICA, 2017

3.2.3 Brita

O Agregado Graúdo utilizado na pesquisa foi a Brita 0, com diâmetro máximo de 9,5mm.

Para obtenção da massa específica da brita seguiu-se as prescrições da NBR NM 53, (ABNT, 2009) e a para a determinação da massa unitária, NBR NM 45 (ABNT, 2006). Os resultados dos ensaios estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Características físicas da brita

BRITA	
Massa Específica	2.700 kg/m ³
Massa Unitária	1.480 kg/m ³
Fonte:	CENTRO TECNOLÓGICO - UniEVANGÉLICA, 2017

3.3 DOSAGEM

Para o cálculo do traço do concreto, adotou-se o método de dosagem da ABCP, que de acordo com as características físicas dos materiais tem - se a determinação do traço para a resistência desejada.

O traço referência foi calculado para a resistência característica do concreto à compressão simples igual à 25 MPa, $f_{ck} = 25MPa$, com abatimento de 90 +/-10, na condição B (5,5 MPa).

$$f_{c28} = f_{ck} + 1,65S_d \quad (12)$$

$$f_{c28} = 25 + 1,65.5,5$$

$$f_{c28} = 34MPa$$

Onde:

f_{c28} : resistência do concreto à compressão na idade de j dias (MPa);

f_{ck} : resistência característica à compressão do concreto (MPa);

S_d : desvio-padrão de dosagem (MPa) – Tabela 6;

1,65: quantidade correspondente a 5% na curva de densidade da distribuição normal de Gauss.

Tabela 6 – Desvio Padrão da Dosagem (MPa)

Condição	Classe de Aplicação	Crítérios de Medidas	S_d (Qdo desconhecido)
A	C10 até C80	Cimento + agregado → massa Água → massa ou volume Água corrigida em função umidade	4,0 MPa
B	C10 até C25	Cimento → massa Água → volume Agregado → massa combinada com volume	5,5 MPa
	C10 até C20	Cimento → massa Água + agregado → volume Água corrigida através curva de inchamento	
C	C10 e C15	Cimento → massa Água + agregado → volume Água corrigida através da umidade estimada	7,0 MPa

S_d conhecido → Condições: 20 resultados em 30 dias = mínimo 2,0 MPa.

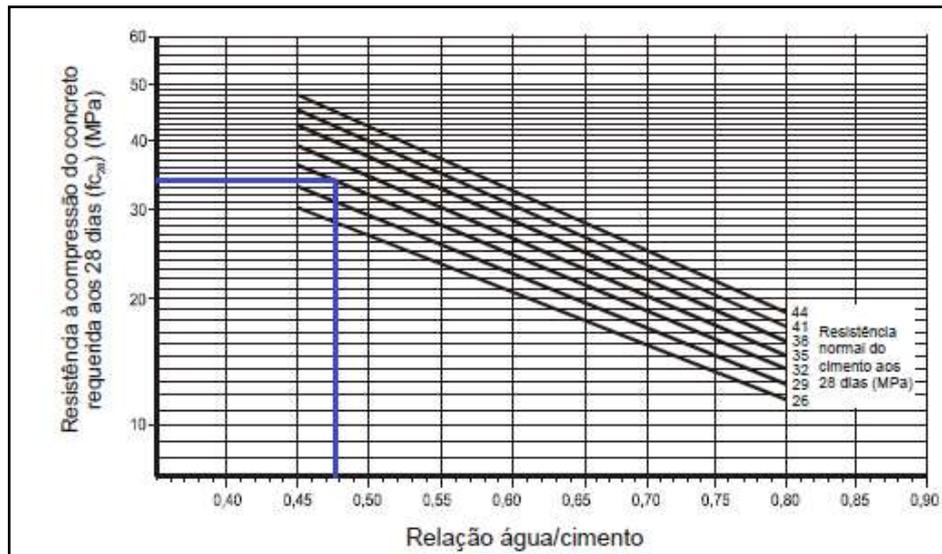
Fonte: NBR 12655 (ABNT,2015) – adaptado.

3.3.1 Relação água/cimento

Um dos primeiros passos da dosagem do concreto é a definição da relação de água e cimento, que foi obtida por meio da curva apresentada na Figura 30.

O valor da relação de água e cimento encontrada foi igual a 0,475.

Figura 30 –Relação água/cimento



Fonte: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/10/metodo-de-dosagem-da-abcp.html>

A quantidade de água para que a mistura fresca adquira determinada consistência é feita medindo o abatimento do tronco de cone. Segundo Rodrigues (1998) este abatimento depende da forma básica da granulometria, da forma e da textura dos grãos, da forma específica do agregado total da mistura. Então, como é difícil expressar o consumo de água na mistura por um método matemático, este autor apresenta uma estimativa do consumo de água (Tabela 7), em metros cúbicos, que foi utilizado nos cálculos do traço de concreto deste trabalho.

Tabela 7 - Estimativa do consumo de água/m³ de concreto

ABATIMENTO DO TRONCO DO CONE	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (Φ_{max})				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
40 a 60mm	220 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³	180 l/m ³
60 a 80mm	225 l/m ³	200 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³
80 a 100mm	230 l/m ³	205 l/m ³	200 l/m ³	200 l/m ³	190 l/m ³

OBSERVAÇÕES:

- 1 – Os valores acima são recomendados para concretos confeccionados com agregado graúdo britado (basalto), agregado miúdo (areia de rio), consumo de cimento por metro cúbico de concreto da ordem de 300kg/m³ e abatimento, medido pelo tronco de cone, entre 4mm a 100mm;
- 2 – Quando usado seixo rolado como agregado graúdo, os valores do consumo de água podem ser reduzidos de 5% a 10%;
- 3 – As areias pertencentes à zona 1 da NBR 7211 (muito fina), podem gerar aumentos de até 10% no consumo de água por metro cúbico de concreto.

Fonte: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/10/metodo-de-dosagem-da-abcp.html>

Diante dos dados apresentados na Tabela 7, para um abatimento entre 80 e 100 mm, utilizou-se o consumo de água igual a 230 l/m³.

3.3.2 Cálculo do consumo de cimento em cada m³ de concreto

$$a/c = 0,475 \rightarrow 230/c = 0,475 \rightarrow c = 484,2 \text{ kg}$$

$$ME = M_g/V_c \rightarrow 3100 \text{ kg/m}^3 = 484,2 \text{ kg} / V_c \rightarrow V_c = 0,156 \text{ m}^3$$

Onde:

V_c = Volume de cimento;

ME = Massa específica do cimento;

M_g = Massa do cimento em 1 m³ de concreto;

c = Cimento (kg).

3.3.3 Volume de agregado graúdo

O volume de agregado graúdo, brita, foi estimado por meio da Tabela 8, chegando-se no resultado igual a $V_b = 0,585 \text{ m}^3$

Tabela 8 - Volume compactado seco (V_b) de agregado graúdo por m³ de concreto

MÓDULO DE FINURA DA AREIA	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (Φ_{\max})				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

OBSERVAÇÃO:

1 – Os valores acima foram obtidos experimentalmente na Associação Brasileira de Cimento Portland.

Fonte: <https://engcivil20142.wordpress.com/2017/06/01/materiais-de-construcao-civil-2-metodo-de-dosagem-de-concreto-da-abcp/>

$$MU = M_b / V_b \rightarrow 1480 \text{ kg/m}^3 = M_b / 0,585 \rightarrow M_b = 865,8 \text{ kg}$$

$$ME = M_b / V_b \rightarrow 2700 \text{ kg/m}^3 = 865,8 \text{ kg} / V_b \rightarrow V_b = 0,320 \text{ m}^3$$

3.3.4 Volume da areia (v_a)

$$V_a = 1 - (V_c + V_{\text{água}} + V_b)$$

$$V_a = 1 - (0,156 + 0,230 + 0,320)$$

$$V_a = 0,294 \text{ m}^3$$

$$ME = M_a / V_a \quad 2580 \text{ kg/m}^3 = M_a / 0,294\text{m}^3 \quad M_a = 758,52 \text{ Kg}$$

3.3.5 Conversão do traço

De acordo com os cálculos, tem-se o volume do traço em kg, conforme a Tabela 9.

Tabela 09 - Peso dos materiais

MATERIAL	kg/m ³	PESO MATERIAIS / PESO CIMENTO	3% UMID. 30% INCH.
CIMENTO	484,20	1	1
AREIA	758,52	1,57	2,04
BRITA	865,80	1,79	1,79
ÁGUA	230,00	0,475	0,475

Da Tabela 9, tem-se a relação de materiais de 1: 2,04: 1,79: 0,475, que representa: 1 kg de cimento, 2,04 kg de areia, 1,79 kg de brita e 0,475 kg de água, correspondente ao traço de referência.

3.3.6 Consumo de materiais para confecção das peças do programa experimental

Fez-se necessário saber o consumo de material para moldagem dos corpos de prova do programa experimental, sabendo-se que $1\text{dm}^3 = 10^{-3}\text{m}^3 = 1$ litro.

Essa determinação foi feita por meio do cálculo do consumo de cimento por metro cúbico de concreto:

$$C = \frac{1}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b}{\gamma_b} + x} \quad (13)$$

Onde γ_c , γ_a e γ_b são, respectivamente, as massas específicas do cimento, da areia e da brita, 1:a:b:x é o traço do concreto, expresso em massa, igual a 1: 2,04: 1,79: 0,475 e C é o consumo de cimento por metro cúbico de concreto.

Além das quatro peças de concreto armado, de seção quadrada de 15 x 15 cm² e comprimento igual a 50 cm, também foram moldados 16 corpos de prova cilíndricos de concreto, de dimensões 10 x 20 cm², para obtenção da resistência à compressão axial do concreto.

Logo:

Volume dos 16 corpos de prova cilíndricos, com acréscimo de 20% no volume calculado:

$$\left[\left(\pi \frac{0,10^2}{4} 0,20 \right) 16 \right] 1,2 = 0,030m^3$$

Volume das peças de seção retangular, com acréscimo de 20% no volume calculado:

$$[(0,15.0,15.0,50)4]1,2 = 0,054m^3$$

Volume total = 0,084m³ = 84 dm³

$$C = \frac{1}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b}{\gamma_b} + x}$$

Sendo:

$$\gamma_c = 3,10 \text{ kg/dm}^3$$

$$\gamma_a = 2,58 \text{ kg/dm}^3$$

$$\gamma_b = 2,70 \text{ kg/dm}^3$$

$$a = 2,04$$

$$b = 1,79$$

$$x = 0,475$$

$$C = \frac{84}{\frac{1}{3,10} + \frac{2,04}{2,58} + \frac{1,79}{2,70} + 0,475} = 37,31 \text{ kg de cimento}$$

Então:

Areia: $37,31 \cdot 2,04 = 76,11 \text{ kg}$

Brita: $37,31 \cdot 1,79 = 66,30 \text{ kg}$

Água: $37,31 \cdot 0,475 = 17,72 \text{ kg}$

3.4 EQUIPAMENTOS

Para a realização dos ensaios foram utilizados diversos equipamentos, entre estes: um agitador, para peneirar a brita 0 (Figura 31); uma balança digital, para pesagem dos agregados (Figura 32); uma betoneira para mistura do concreto (Figura 33) e uma prensa hidráulica, marca CONTENCO, de capacidade de 100tf, para ensaio à ruptura à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos (Figura 34). Para a aplicação da variação da temperatura, utilizou-se um forno com capacidade de 96 litros, que pode chegar à temperatura de até 1300°C (Figura 35).

Figura 31 - Agitador de peneiras



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Figura 32 - Balança digital



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Figura 33 – Betoneira

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Figura 34 – Prensa Hidráulica

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES,
2017.

Figura 35: Forno

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

3.5 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

O concreto foi confeccionado no Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA. Os materiais foram pesados separadamente, de modo a garantir que todos os componentes estivessem com o peso correto. Para a execução do concreto, primeiro foi umedecida a betoneira para que não se alterasse a relação água cimento do traço. Após este passo, foi adicionada metade da água junto ao agregado graúdo e ligada a betoneira. Posteriormente foi adicionado o cimento, areia e o restante da água.

Foram utilizados dois tipos de corpos de provas. Para as peças de concreto armado, submetidas à variação de temperatura, foram utilizadas peças prismáticas, com dimensões de 150mm x 150mm x 500mm (Figura 36). Para a obtenção da resistência à compressão do concreto, foram empregados corpos de prova cilíndricos, com altura de 200mm e diâmetro de 100mm (Figura 37).

Figura 36 - Forma das peças de concreto armado



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Figura 37 – Corpos de prova para ensaio à compressão axial

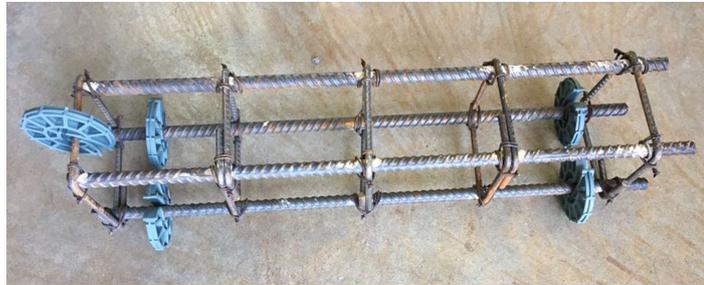


Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Nos corpos de prova prismáticos de concreto armado foi usada uma armação confeccionada com vergalhão CA-50 de diâmetro de 10 mm, com 440mm de comprimento e

estribos de 5mm, espaçados a cada 8,5 cm. Para garantir o cobrimento de concreto de 30 mm, empregaram-se espaçadores plásticos (Figura 38).

Figura 38 - Armação com espaçadores



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Para leitura da temperatura interna das peças durante o ensaio de aplicação de temperatura, utilizaram-se termopares, que foram fixados nas barras longitudinais da armadura, num total de duas unidades por peça.

O termopar é um sensor utilizado na medição da temperatura. Ele é constituído com dois metais distintos, unidos por sua extremidade e ligados a um termômetro, podendo fornecer medições em uma ampla faixa de temperatura.

Existem vários tipos de termopares, com diferentes combinações de metais ou calibrações. As mais comuns são J, K, T e E. O intervalo máximo de temperatura é limitado pelo diâmetro do fio do termopar, ou seja, quanto mais fino for um termopar, menor será a sua capacidade de medir altas temperaturas. A Tabela 10 mostra um referencial completo para cada tipo de termopar, incluindo o intervalo de temperatura e os limites de erro para quase todo o tipo de termopar.

Tabela 10 - Intervalos de Temperaturas mais comuns para Termopares

Calibração	Temperatura Intervalo	Limites Padrão de Erros	Limites Especiais de Erros
J	0° a 750°C (32° a 1382°F)	Superior a 2.2°C ou 0.75%	Superior a 1.1°C ou 0.4%
K	-200° a 1250°C (-328° a 2282°F)	Superior a 2.2°C ou 0.75%	Superior a 1.1°C ou 0.4%
E	-200° a 900°C (-328° a 1652°F)	Superior a 1.7°C ou 0.5%	Superior a 1.0°C ou 0.4%
T	-250° a 350°C (-328° a 662°F)	Superior a 1.0°C ou 0.75%	Superior a 0.5°C ou 0.4%

Fonte: <https://br.omega.com/prodinfo/termopares.html>

Para a realização do experimento, utilizaram-se termopares tipo K (Figura 39), com isolamento mineral que mede até 1000°C, com haste de 6mmx50mm, com pote e mola. O seu cabo é revestido por uma malha trançada de 2 metros, resistente a altas temperaturas.

Figura 39: termopar tipo K



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Após o período de cura do concreto das peças prismáticas, que foi de 14 dias, três unidades foram revestidas com argamassa industrializada de proteção térmica - Termosist (Figura 40), com espessuras de revestimento iguais a 1,5cm; 2,5cm e 3,5cm, com uma peça de referência, sem revestimento.

Figura 40 - Argamassa industrializada



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

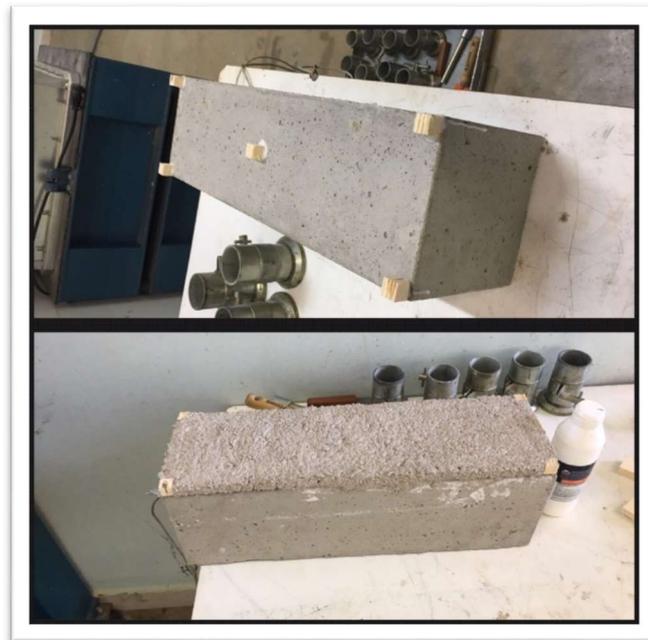
Segundo o fabricante araras vermiculita, a composição química da argamassa é a mistura a seco de vermiculita expandida, gesso, aglomerantes, resinas, fibras e poliestireno. Sua aplicação é recomenda somente por equipes especializadas em atividades de proteção passiva

contra incêndios. Esta argamassa (TERMOSIST) pode ser aplicada através de máquinas de projeção de argamassa ou manualmente. Além disso, a mesma dispensa o uso de telas ou pinos de ancoragem.

A argamassa foi misturada com água na proporção de 1:2,6 (argamassa:água), seguindo as prescrições da NBR 13276 (ABNT, 2002).

Após a preparação da argamassa, foi feita sua aplicação com espessuras de 1,5 cm; 2,5 cm e 3,5 cm nos três corpos de prova prismáticos. Estas espessuras foram garantidas por meio de utilização de taliscas de madeira (Figura 41).

Figura 41: Argamassa aplicada em uma face do corpo de prova



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Para avaliar a resistência à compressão da argamassa, foram moldados 16 corpos de prova cilíndricos, com altura de 100mm e diâmetro de 50mm (Figura 42).

Figura 42 - Corpos de prova da argamassa

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Após o revestimento dos corpos de prova prismáticos com argamassa de proteção térmica, esperado o período de secagem, de 4 dias, os mesmos foram colocados, individualmente, no forno (Figura 35), e submetidos a variação de temperatura, visando verificar a eficiência da argamassa como isolante térmico.

Ao serem levados ao forno, os cabos dos termopares das peças foram ligados a um painel medidor de temperatura, que mede a temperatura em graus Celsius (Figura 43).

Figura 43 – Painel medidor de temperatura

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Concreto

A Tabela 11 apresenta os resultados dos ensaios dos corpos de prova cilíndricos de concreto simples submetidos à compressão simples.

Tabela 11 – Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos de concreto simples

Idade (dias)	Corpo de prova	Carga de ruptura (kgf)	Tensão de ruptura (MPa)	Média (MPa)
03	01	9680	12,1	11,9
	02	8070	10,1	
	03	10720	13,4	
09	04	12720	15,9	15,6
	05	12160	15,2	
	06	12560	15,7	
14	07	13140	16,4	15,3
	08	12510	14,4	
	09	12070	15,1	
21	10	13270	16,6	16,1
	11	12470	15,6	
	12	12940	16,2	

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

4.1.2 Argamassa

A Tabela 12 apresenta os resultados dos ensaios dos corpos de prova cilíndricos de argamassa submetidos à compressão simples.

Tabela 12 - Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos de argamassa

Idade (dias)	Corpo de prova	Carga de ruptura (kgf)	Tensão de ruptura (MPa)	Média (MPa)
	01	140	0,7	
03	02	130	0,6	0,63
	03	130	0,6	
07	04	130	0,6	0,77
	05	130	0,6	
	06	230	1,1	

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

4.2 CORPOS DE PROVA DE CONCRETO ARMADO

4.2.1 Corpo de prova sem revestimento (CP0)

No corpo de prova prismático CP0 não foi feito revestimento de argamassa em nenhuma de suas faces (Figura 44). Após 14 dias da concretagem, o mesmo foi levado ao forno para simular a situação de calor. Dentro do forno, o corpo de prova foi colocado deitado e apoiado sobre duas peças de concreto.

Figura 44 – CP0



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Em todos os testes, foram colocados dois Termopares junto às ferragens, um na face superior e o outro, na parte inferior da ferragem, conforme apresentado na Figura 45.

Figura 45 - Posicionamento dos termopares na ferragem



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

A Tabela 13 apresenta os valores de temperatura registrados pelos termopares e o do painel do forno. O termopar T1 é o que foi posicionado na armadura longitudinal superior; o T2, o localizado na armadura longitudinal inferior. Para verificação da temperatura interna do forno e conferência da temperatura especificada pelo painel do mesmo, também foi posicionado um termopar dentro do forno, mas na parte externa da peça, denominado de T3. O forno foi ligado e regulado para atingir uma temperatura de 1000°C. Foram feitas leituras das temperaturas a cada 5 minutos.

Passados 135 minutos (02h e 15min) chegou-se à temperatura de 607°C, registrado pelo termopar T3, enquanto que os termopares dentro do CP0 registraram: T1 = 433°C, posicionado na armadura longitudinal superior, e T2 = 368°C.

Tabela 13 – Resultado do ensaio do corpo de prova CP0

(continua)

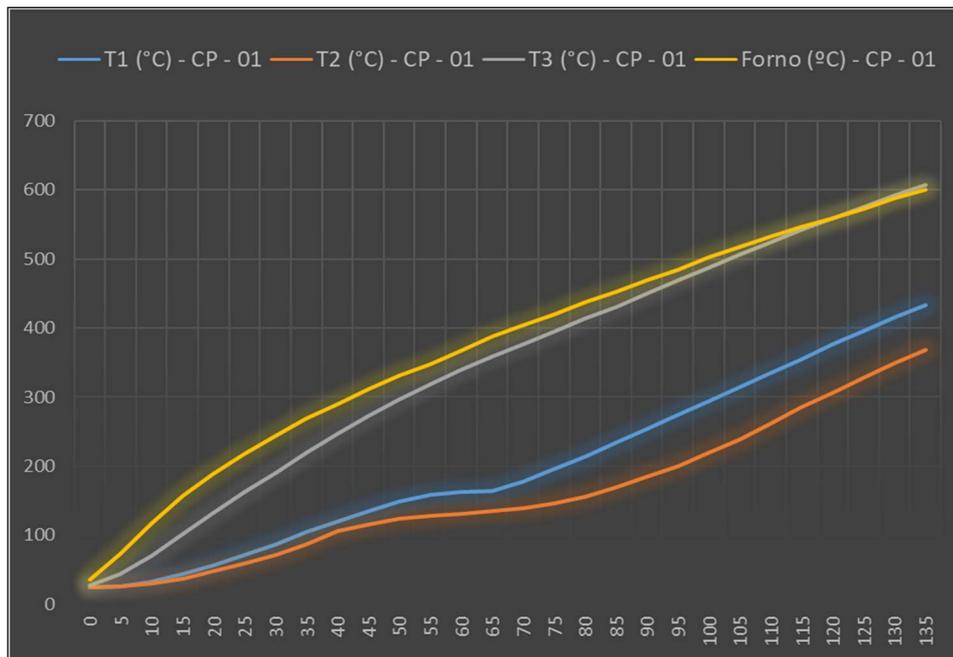
Tempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Forno (°C)
0	24	24	27	35
5	26	25	43	73
10	32	30	70	117
15	43	37	102	157
20	56	47	132	188
25	71	58	162	217

Tabela 13 – Resultado do ensaio do corpo de prova CP0				
(Conclusão)				
Tempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Forno (°C)
30	87	71	190	244
35	104	86	219	269
40	119	105	247	290
45	135	115	273	312
50	148	123	297	331
55	158	128	319	348
60	162	131	339	367
65	164	135	359	388
70	177	139	376	404
75	195	146	395	419
80	214	156	414	437
85	234	169	431	452
90	253	184	450	469
95	274	200	469	485
100	294	219	487	502
105	314	239	506	518
110	335	262	525	533
115	355	285	542	546
120	376	306	559	559
125	396	328	576	573
130	415	349	592	588
135	433	368	607	601

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

A Figura 46 apresenta o gráfico Temperatura x Tempo dos resultados do ensaio do CPSR.

Figura 46 – Gráfico Temperatura x Tempo do CP0



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Para análise da variação de temperatura, foram considerado os valores obtidos no intervalo a cada 30 minutos (Tabela 14 e Figura 47).

Tabela 14 - Variação de Temperatura obtida do ensaio do CP0

Tempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Δt_1	Δt_2	Δt_3
0	24	24	27	3	3	0
30	87	71	190	103	119	16
60	162	131	339	177	208	31
90	253	184	450	197	266	69
120	376	306	559	183	253	70
135	433	368	607	174	239	65

T1: Termopar Superior

T2: Termopar inferior

T3: Termopar externo à peça (temperatura interna do forno)

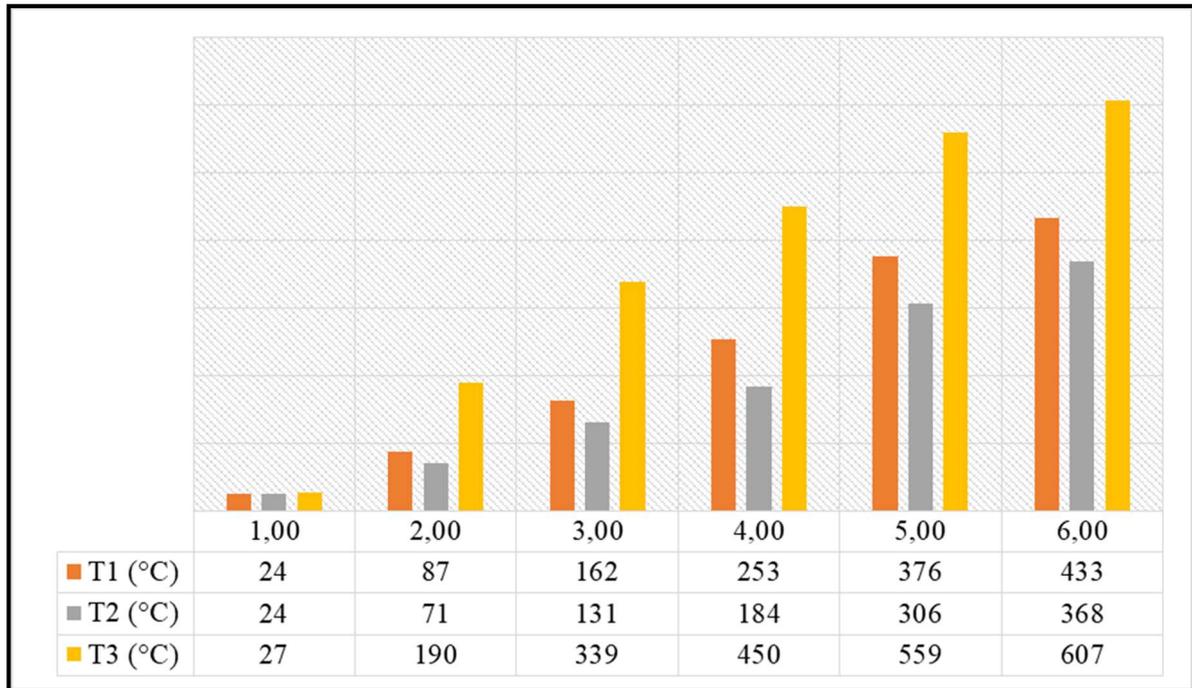
Δt_1 : Variação de temperatura entre o forno e termopar superior

Δt_2 : Variação de temperatura entre o forno e termopar inferior

Δt_3 : Variação de temperatura entre termopar superior e inferior = Δt_3

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Figura 47 – ~Valores da temperatura, a cada 30 minutos, obtidos no ensaio do CP0



1: 0 min.; 2: 30min.; 3: 60min.; 4: 90min.; 5: 120min; 6: 135min.

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Diante dos resultados apresentados na Figura 47, verifica-se que a camada de concreto (cobrimento) diminuiu a temperatura interna, na face superior, em 174°C e na face inferior, em 239°C, ou seja, 40% e 65%, respectivamente.

4.2.2 Corpo de prova com camada de revestimento igual a 15 mm (CP15)

No corpo de prova prismático CP15 foi feito um revestimento de argamassa com a espessura de 1,5 cm, em todas as suas faces. Após 72 horas de aplicação da argamassa, a peça foi levada ao forno em situação de calor.

A Tabela 15 apresenta os valores de temperatura registrados pelos termopares e o do painel do forno. O termopar T1 é o que foi posicionado na armadura longitudinal superior; o T2, o localizado na armadura longitudinal inferior. Para verificação da temperatura interna do forno e conferência da temperatura especificada pelo painel do mesmo, também foi posicionado um termopar dentro do forno, mas na parte externa da peça, denominado de T3. O forno foi ligado e regulado para atingir uma temperatura de 1000°C. Foram feitas leituras das temperaturas a cada 5 minutos. Ao final de 245 minutos, o termopar T3 registrou uma temperatura igual a 903°C.

Tabela 15 - Resultado do ensaio do corpo de prova CP15
(continua)

Tempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Forno (°C)
0	22	22	24	34
5	24	24	52	68
10	24	24	88	106
15	27	25	126	146
20	30	28	162	178
25	36	32	200	211
30	42	37	238	243
35	49	42	274	276
40	56	48	305	305
45	60	54	334	333
50	70	60	361	362
55	75	66	387	388
60	79	71	413	408
65	83	76	436	430
70	86	80	458	453
75	88	84	480	471
80	91	87	500	491
85	93	90	519	509
90	97	92	537	525
95	101	94	554	540
100	107	96	570	556
105	112	99	587	571
110	117	100	602	585
115	122	101	617	599
120	126	102	631	611
125	131	104	645	624
130	135	106	658	634
135	139	108	671	647
140	143	111	684	656
145	146	114	697	667
150	148	117	712	678
155	150	120	724	686
160	155	123	735	695
165	161	127	748	706
170	169	131	760	715
175	178	137	772	725
180	187	145	784	736
185	196	153	794	744
190	206	163	803	753
195	217	176	813	763
200	229	191	823	773
205	244	211	833	781
210	262	233	842	790

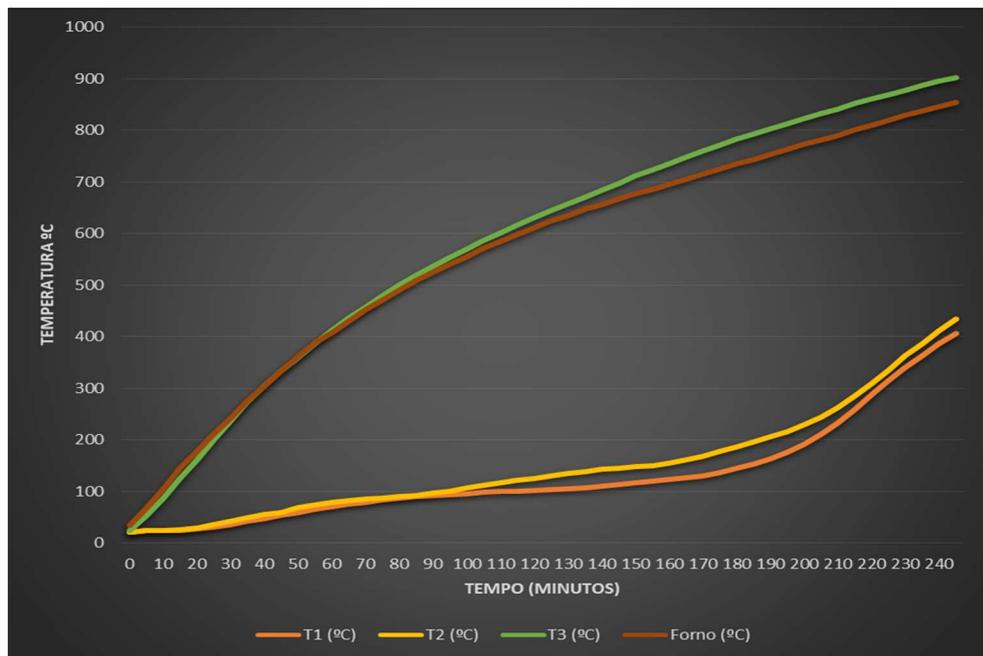
Tabela 15 - Resultado do ensaio do corpo de prova CP15				
(Conclusão)				
Tempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Forno (°C)
215	285	259	852	801
220	309	287	861	809
225	336	316	869	819
230	363	340	878	829
235	387	363	887	838
240	411	386	895	846
245	434	406	903	855

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

A Figura 48 apresenta o gráfico Temperatura x Tempo dos resultados do ensaio do CP15.

Para análise da variação de temperatura, foram considerado os valores obtidos no intervalo a cada 30 minutos (Tabela 16 e Figura 49).

Figura 48 – Gráfico Temperatura x Tempo do CP15



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Tabela 16 - Variação de Temperatura obtida do ensaio do CP15

Tempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Δt_1	Δt_2	Δt_3
0	22	22	24	2	2	0
30	42	37	238	196	201	5
60	79	71	413	334	342	8
90	97	92	537	440	445	5
120	126	102	631	505	529	24
150	148	117	712	564	595	31
180	187	145	784	597	639	42
210	262	233	842	580	609	29
240	411	386	895	484	509	25
245	434	406	903	469	497	28

T1: Termopar Superior

T2: Termopar inferior

T3: Termopar externo à peça (temperatura interna do forno)

Δt_1 : Variação de temperatura entre o forno e termopar superior

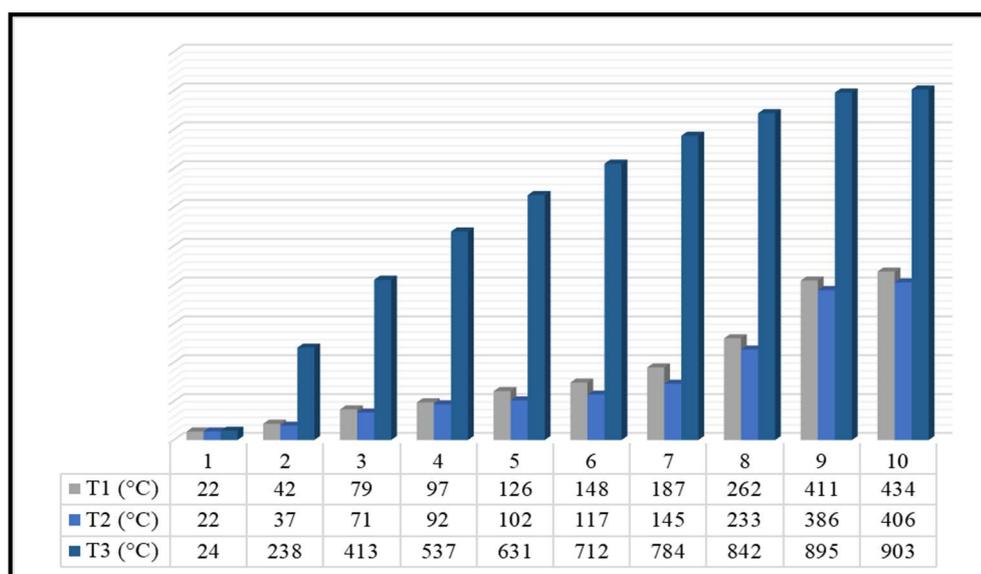
Δt_2 : Variação de temperatura entre o forno e termopar inferior

Δt_3 : Variação de temperatura entre termopar superior e inferior = Δt_3

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Com os dados da Tabela 13, percebe-se que a variação entre a temperatura do forno e os valores obtidos pelos termopares internos foi diminuindo, ao atingir a temperatura do forno por volta de 780°C, que foi alcançada aos 180 minutos de ensaio. Após esta temperatura, a diferença foi decrescendo, ou seja, a eficiência da proteção térmica da argamassa foi diminuindo.

Figura 49 – Valores da temperatura, a cada 30 minutos, obtidos no ensaio do CP15



1: 0 min.; 2: 30min.; 3: 60min.; 4: 90min.; 5: 120min.; 6: 150min.; 7: 180min.; 8: 210min.; 9: 240 min.; 10: 245min.

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Por meio das tabelas e gráficos apresentados, nota-se que a argamassa foi eficiente como isolante térmico, com uma diferença muito grande de temperatura do forno, T3, em relação aos termopares dentro do CP15. Comparando os valores do CP15 e CP0, para uma mesma temperatura, tomando como exemplo a temperatura de 600⁰C, enquanto o T1 do CPSR registrou uma temperatura de 433⁰C, o T1 do CP15 apresentou uma temperatura de 117⁰C. Diante dos resultados verifica-se que a camada de concreto (cobrimento) mais a camada de 1,5cm de revestimento diminuiu a temperatura interna em 413%.

4.2.3 Corpo de prova com camada de revestimento igual a 25 mm (CP25)

No corpo de prova prismático CP25 foi feito um revestimento de argamassa com a espessura de 2,5cm, em todas as suas faces. Após 72 horas de aplicação da argamassa, a peça foi levada ao forno em situação de calor.

A Tabela 17 apresenta os valores de temperatura registrados pelos termopares e o do painel do forno. O termopar T1 é o que foi posicionado na armadura longitudinal superior; o T2, o localizado na armadura longitudinal inferior. Para verificação da temperatura interna do forno e conferência da temperatura especificada pelo painel do mesmo, também foi posicionado um termopar dentro do forno, mas na parte externa da peça, denominado de T3. O forno foi ligado e regulado para atingir uma temperatura de 1000⁰C. Foram feitas leituras das temperaturas a cada 5 minutos. Ao final de 225 minutos, o termopar T3 registrou uma temperatura igual a 905⁰C.

Tabela 17 - Resultado do ensaio do corpo de prova CP25
(continua)

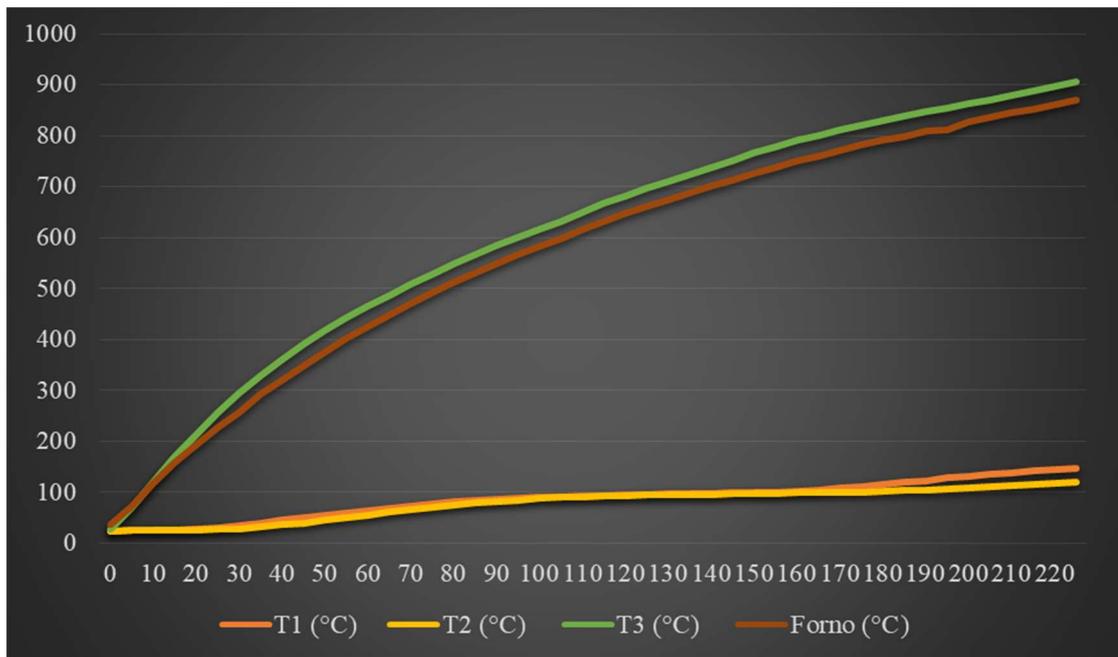
Tempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Forno (°C)
0	24	24	29	37
5	25	25	70	72
10	25	25	121	117
15	26	25	169	159
20	28	26	214	194
25	31	27	258	229
30	35	29	296	258
35	40	32	330	292
40	45	36	361	319
45	50	40	391	349
50	55	45	418	377
55	60	50	443	402

Tabela 17 - Resultado do ensaio do corpo de prova CP25				
(Conclusão)				
Tempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Forno (°C)
60	65	56	465	426
65	69	61	485	449
70	74	66	508	471
75	77	71	529	492
80	81	75	549	514
85	84	79	567	532
90	87	82	584	550
95	89	85	600	568
100	91	88	617	583
105	92	90	633	599
110	94	91	651	616
115	94	93	667	632
120	95	94	682	647
125	96	95	697	661
130	97	95	710	675
135	97	96	724	689
140	98	96	738	701
145	99	97	752	712
150	100	97	766	726
155	101	98	779	738
160	103	99	792	750
165	105	99	801	761
170	108	100	811	771
175	111	101	821	782
180	115	102	830	791
185	119	104	838	799
190	123	105	847	810
195	128	107	854	812
200	132	109	863	827
205	136	111	871	836
210	139	113	880	845
215	142	115	888	853
220	144	118	897	862
225	147	120	905	870

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

A Figura 50 apresenta o gráfico Temperatura x Tempo dos resultados do ensaio do CP25.

Figura 50 – Gráfico Temperatura x Tempo do CP25



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Analisando a Figura 50, observa-se que os valores entre T1 e T2 apresentaram pequena diferença. A temperatura do termopar T1 elevou-se, em média, $3,26^{\circ}\text{C}$, a cada 5 minutos, e a temperatura do termopar T2, foi elevada em $2,6^{\circ}\text{C}$, a cada 5 minutos. A temperatura do T1 e T2 elevou-se de forma constante e lenta em relação à temperatura do forno e do termopar T3. Pelo gráfico da Figura 50, percebe-se que a argamassa serviu como isolante térmico, pois a temperatura interna, medida por T1 e T2, teve um grande decréscimo em relação ao CP0.

Para análise da variação de temperatura, foram considerados os valores obtidos no intervalo a cada 30 minutos (Tabela 18 e Figura 51).

Tabela 18 - Variação de Temperatura obtida do ensaio do CP25

Tempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Δt_1	Δt_2	Δt_3
0	24	24	29	5	5	0
30	35	29	296	261	267	6
60	65	56	465	400	409	9
90	87	82	584	497	502	5
120	95	94	682	587	588	1
150	100	97	766	666	669	3
180	115	102	830	715	728	13
210	139	113	880	741	767	26
225	147	120	905	758	785	27

T1: Termopar Superior

T2: Termopar inferior

T3: Termopar externo à peça (temperatura interna do forno)

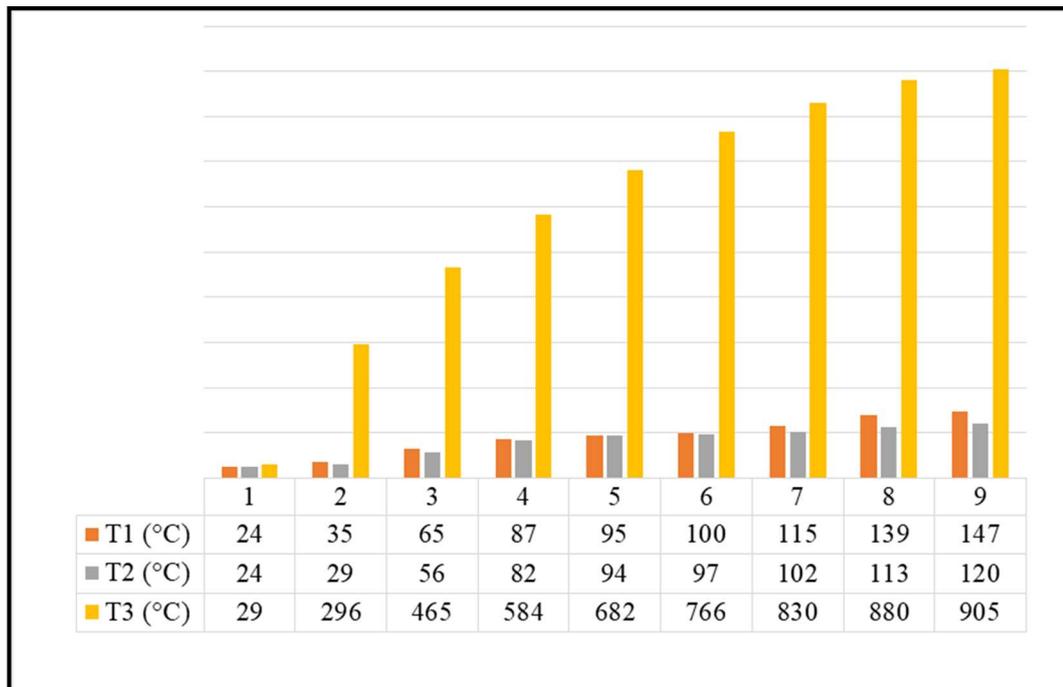
Δt_1 : Variação de temperatura entre o forno e termopar superior

Δt_2 : Variação de temperatura entre o forno e termopar inferior

Δt_3 : Variação de temperatura entre termopar superior e inferior = Δt_3

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Figura 51 – Valores da temperatura, a cada 30 minutos, obtidos no ensaio do CP25



1: 0 min.; 2: 30min.; 3: 60min.; 4: 90min.; 5: 120min.; 6: 150min.; 7: 180min.; 8: 210min.; 9: 225min.

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Por meio das tabelas e gráficos apresentados, nota-se que a argamassa foi eficiente como isolante térmico, com uma diferença muito grande de temperatura do forno, T3, em

relação aos termopares dentro do CP25. Comparando os valores do CP25 e CP0, para uma mesma temperatura, tomando como exemplo a temperatura de 600°C, enquanto o T1 do CP0 registrou uma temperatura de 433°C, o T1 do CP25 apresentou uma temperatura de 89°C. Diante dos resultados, verifica-se que a camada de concreto (cobrimento) mais a camada de 2,5cm de revestimento diminuiu a temperatura interna em 574%.

Comparando CP15 e CP25, também para a temperatura de 600°C, a camada de 2,5cm de cobrimento foi mais eficiente que a de 1,5cm, com redução de temperatura, para CP25, de 31%, considerando como parâmetro os valores de T1.

4.2.4 Corpo de prova com camada de revestimento igual a 35 mm (CP35)

No corpo de prova prismático CP35 foi feito um revestimento de argamassa com a espessura de 3,5cm, em todas as suas faces. Após 72 horas de aplicação da argamassa, a peça foi levada ao forno em situação de calor.

A Tabela 19 apresenta os valores de temperatura registrados pelos termopares e o do painel do forno. O termopar T1 é o que foi posicionado na armadura longitudinal superior; o T2, o localizado na armadura longitudinal inferior. Para verificação da temperatura interna do forno e conferência da temperatura especificada pelo painel do mesmo, também foi posicionado um termopar dentro do forno, mas na parte externa da peça, denominado de T3. O forno foi ligado e regulado para atingir uma temperatura de 1000°C. Foram feitas leituras das temperaturas a cada 5 minutos. Ao final de 240 minutos, o termopar T3 registrou uma temperatura igual a 904°C.

Tabela 193 - Resultado do ensaio do corpo de prova CP35

(continua)

Tempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Forno (°C)
0	25	25	31	40
5	25	25	49	69
10	25	25	94	106
15	25	26	134	141
20	26	27	172	179
25	27	29	202	206
30	28	32	230	236
35	31	35	253	269
40	34	39	285	298
45	37	43	317	326
50	41	47	343	355

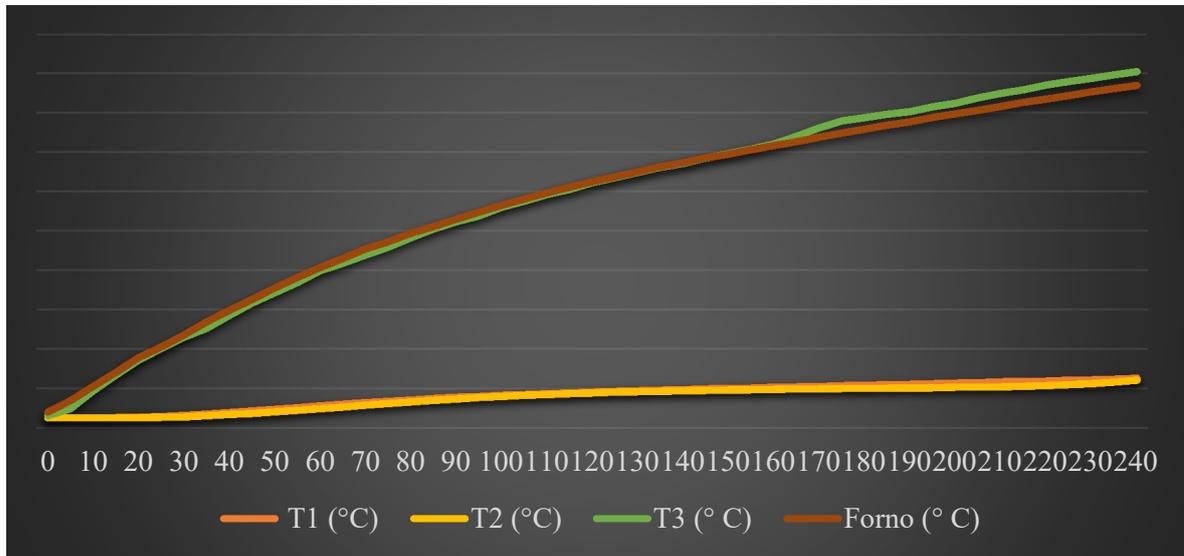
Tabela 19 - Resultado do ensaio do corpo de prova CP35
(Conclusão)

Tempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Forno (°C)
55	45	51	369	382
60	49	56	399	407
65	53	60	418	430
70	58	64	439	454
75	62	68	458	472
80	66	71	483	494
85	70	75	505	511
90	73	78	523	530
95	77	80	538	548
100	80	83	560	565
105	83	85	575	581
110	85	87	592	596
115	87	89	605	611
120	89	91	622	625
125	91	93	635	637
130	92	94	648	650
135	93	96	661	663
140	94	97	671	673
145	95	99	685	686
150	96	100	696	695
155	97	101	708	706
160	98	103	721	717
165	99	104	740	726
170	99	105	761	738
175	100	107	779	748
180	100	108	787	758
185	101	110	796	769
190	101	111	803	777
195	102	112	815	788
200	103	114	824	797
205	103	115	838	806
210	104	117	849	816
215	106	118	858	826
220	107	119	870	834
225	110	121	879	843
230	112	122	887	853
235	116	124	896	861
240	121	126	904	869

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

A Figura 52 apresenta o gráfico Temperatura x Tempo dos resultados do ensaio do CP35.

Figura 52 – Gráfico Temperatura x Tempo do CP35



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Pela Figura 23, observa-se que a temperatura no interior do CP35 teve um decréscimo em relação ao CP25. O T1 registrou um crescimento médio de temperatura em torno de 2,5°C, a cada 5 minutos, enquanto que T2, foi de 2,6°C.

Para análise da variação de temperatura, foram considerados os valores obtidos no intervalo a cada 30 minutos (Tabela 20 e Figura 53).

Tabela 20 - Variação de Temperatura obtida do ensaio do CP35

Tempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Δt_1	Δt_2	Δt_3
0	25	25	31	6	6	0
30	32	28	230	198	202	4
60	56	49	399	343	350	7
90	78	73	523	445	450	5
120	91	89	622	531	533	2
150	100	96	696	596	600	4
180	108	100	787	679	687	8
210	117	104	849	732	745	13
240	126	121	904	778	783	5

T1: Termopar Superior

T2: Termopar inferior

T3: Termopar externo à peça (temperatura interna do forno)

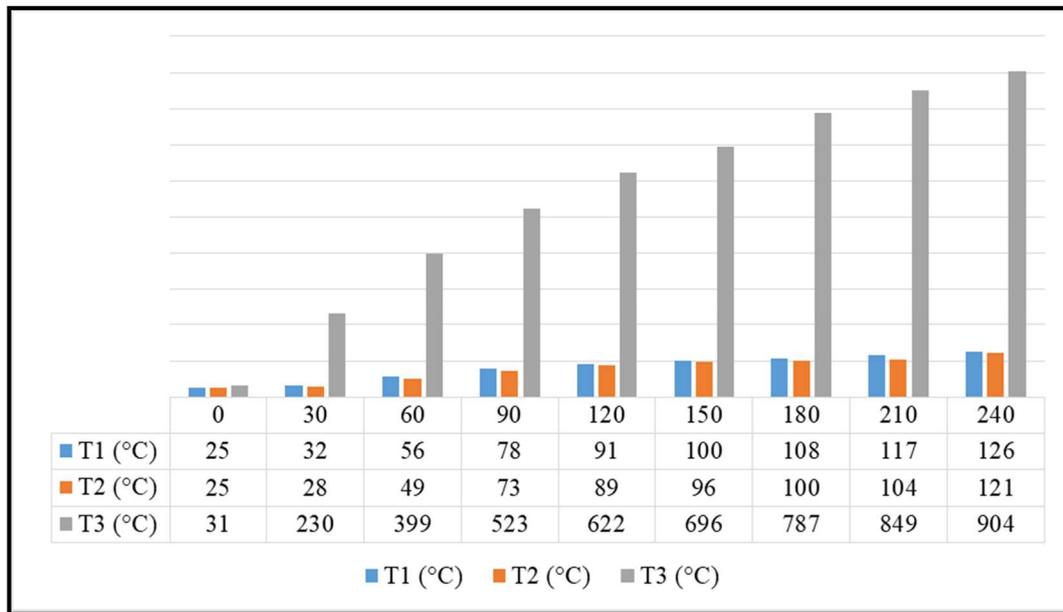
Δt_1 : Variação de temperatura entre o forno e termopar superior

Δt_2 : Variação de temperatura entre o forno e termopar inferior

Δt_3 : Variação de temperatura entre termopar superior e inferior = Δt_3

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Figura 53 – Valores da temperatura, a cada 30 minutos, obtidos no ensaio do CP35



1: 0 min.; 2: 30min.; 3: 60min.; 4: 90min.; 5: 120min.; 6: 150min.; 7: 180min.; 8: 210min.; 9: 240min.

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Pela Tabela 20, observou-se que o CP35 obteve uma maior eficiência entre os quatro corpos de prova, devido a espessura da camada de revestimento ser a maior entre as peças.

Por meio das tabelas e gráficos apresentados, nota-se que a argamassa foi eficiente como isolante térmico, com uma diferença muito grande de temperatura do forno, T3, em relação aos termopares dentro do CP35. Comparando os valores do CP35 e CP0, para uma mesma temperatura, tomando como exemplo a temperatura de 600°C, enquanto o T1 do CP0 registrou uma temperatura de 433°C, o T1 do CP35 apresentou uma temperatura de 87°C. Diante dos resultados, verifica-se que a camada de concreto (cobrimento) mais a camada de 3,5cm de revestimento diminuiu a temperatura interna em 590%.

Comparando CP25 e CP35, também para a temperatura de 600°C, o acréscimo de 1,0cm na camada de revestimento pouco diminuiu a temperatura, comparada com o valor obtido com a espessura de 2,5cm, com redução de temperatura, para CP35, de apenas 2%, considerando como parâmetro os valores de T1.

Observando os valores obtidos nos quatro corpos de prova prismáticos de concreto armado, pode-se perceber a eficiência da argamassa industrializada a base de vermiculita como isolante térmico, quando submetida a elevadas temperaturas. A Tabela 21 apresenta as diferenças de temperatura entre os corpos de prova ensaiados.

Tabela 21 - Diferenças de temperatura dos CP's

Tempo (min)	Temperatura (°C) CP0			Temperatura (°C) CP15			Temperatura (°C) CP25			Temperatura (°C) CP35		
	Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_1	Δt_2	Δt_3
0	3	3	0	2	2	0	5	5	0	6	6	0
30	103	119	16	196	201	5	261	267	6	198	202	4
60	177	208	31	334	342	8	400	409	9	343	350	7
90	197	266	69	440	445	5	497	502	5	445	450	5
120	183	253	70	505	529	24	587	588	1	531	533	2
150				564	595	31	666	669	3	596	600	4
180				597	639	42	715	728	13	679	687	8
210				580	609	29	741	767	26	732	745	13
240				484	509	25				778	783	5

Δt_1 : Variação de temperatura entre o forno e termopar superior

Δt_2 : Variação de temperatura entre o forno e termopar inferior

Δt_3 : Variação de temperatura entre termopar superior e inferior = Δt_3

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2017.

Como é destacado na Tabela 21, o CP25, com revestimento de 2,5 cm de argamassa, foi mais eficiente como isolante térmico, na simulação do experimento dentro do forno, em relação aos outros CP's, pois a diferença de temperatura no CP25 foi maior entre o forno e os termopares que estavam juntos à ferragem, dentro da peça de concreto.

Essa conclusão foi observada nas condições que foram executados os experimentos, em outras situações de experimentos, os resultados podem ser diferentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se iniciou com uma referencial teórico sobre todo o histórico do fogo, e os principais incêndios ocorridos no Brasil. Logo foi abordado os conceitos básicos do fogo, seus componentes, formas de transferência de calor, classificações de incêndios e os sistemas preventivos em edificações. Foi estudado o TRRF como um dos principais fatores de segurança na propagação dos incêndios. Pois o retardamento na propagação de chamas, é indispensável nas estruturas atuais.

No concreto e no aço foi analisado suas resistências em relação a altas temperaturas, abordando a elasticidade e o escoamento. Ao final foi falado sobre os tipos de revestimentos de proteção que servem como retardantes apresentando todas as características da vermiculita, que é a matéria prima para fabricação da argamassa industrializada.

Na parte experimental, avaliou-se os resultados de quatro corpos de prova de concreto armado submetidos a altas temperaturas. Um corpo de prova sem revestimento, para servir de referência, e outros três revestidos com argamassa industrializada a base de vermiculita, com diferentes espessuras da camada de revestimento iguais a 1,5cm; 2,5cm e 3,5cm. Como o objetivo era verificar a eficiência de argamassa a base de vermiculita como isolante térmico em estrutura de concreto armado, foram colocado termopares na parte superior e inferior da armadura do corpo de prova para medir a sua temperatura interna e levado ao forno, onde foi feita a elevação da temperatura chegando ao valor máximo de 900⁰C na tentativa de simular a temperatura atingida em um incêndio. Os corpos de prova revestido com argmassa de proteção passiva obteve um isolamento térmico superior em relação ao sem argmassa, concluindo-se que ela é um ótimo produto de proteção térmica, pois os resultados e a eficiência comparada ao corpo de prova sem revestimento, foram positivos..

Finalmente o estudo sobre concreto e aço em situação de altas temperaturas, obteve – se resultados satisfatórios, porém este estudo com a argmassa precisa ser aprofundado ainda mais, com novos resultados, e novas pesquisas e experiências. Para trabalhos futuros sugerimos que seja estudado e analisado as propriedades da argmassa em seu estado seco e endurecido, a realização de ensaios utilizando peças metálicas, a verificação da trabalhabilidade da argmassa e a análise da estrutura de concreto e aço após serem submetidas a situações de calor, quando estas forem revestidas de argmassa Termosist.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações: NBR14432. 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio: NBR13860. 1997.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – procedimento: NBR15200. 2012

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Sistemas de proteção por extintores de incêndio – procedimento: NBR12693. 1993

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Proteção contra incêndio por chuveiro automático – procedimento: NBR10897. 2004

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo: NBR5628. 2001

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio: NBR14323. 2013

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio: NBR14323. 2013

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ações e seguranças nas estruturas: NBR8681. 2004

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento: NBR 12655(ABNT,2015).

ALBUQUERQUE, Gabriela Bandeira de Melo Lins. TCC. Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2012

Autor desconhecido, ARTIGO de produtos. Feito para o site: < https://www.aecweb.com.br/emp/a/unifrax_2987>. Acesso em: 03 de Novembro. 2017.

ARQUITETURA clique, ARTIGO: Gesso Acartonado: Usos e Vantagens. Feito em 2014 para o site:< <http://www.bevilacqua.com.br/blog/materias/gesso-acartonado-usos-e-vantagens-522>>. Acesso em: 03 de Novembro. 2017.

BS – GLOSSARY OF TERMS ASSOCIATED WITH FIRE – Glossário de termos associados ao fogo. British Standards Institution. BS4422. **1969**.

BRASIL MINÉRIOS – Dossiê Técnico da Vermiculita. 1ª Ed. 2014.

BRENTANO, Telmo. Instalações hidráulicas de combate a incêndios nas edificações. 3. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

COSTA, C. N; Artigo: Estruturas de concreto armado em situação de incêndio. XXX Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural; Brasília; UNB; 2002.

CORPO DE BOMBEIROS DO DISTRITO FEDERAL. Manual Básico de Combate a incêndio. 2ª Edição. 2009.

CKC FIRE PROTECTION, < <http://www.ckc.com.br/produtos-principal.html> > Acessado em maio 2017

FRANCÊS, Jeorge. ARTIGO: Análise de desempenho mecânico das argamassas bombeáveis, à base de Vermiculita para aplicação em Contra pisos de Edificações. Expandida. Goiânia: 2015.

FREIRE, Morgana Lúcia de Farias. ARTIGO. A Transferência de Calor com o Uso de Experimentos Alternativos. Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba - Campina Grande, PB, Brasil. 2005.

GUERRA, Ruy Serafim de Teixeira. ARTIGO: Método de dosagem ABCP. Feito 2015 para o site: < <http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/10/metodo-de-dosagem-da-abcp.html>>. Acesso dia 21 de Outubro. 2017.

IT – INSTRUÇÃO TÉCNICA. ISO 8421-1. CORPO DE BOMBEIROS DE SÃO PAULO. Terminologia de Segurança contra Incêndio. IT08. SP - 2011.

IT – INSTRUÇÃO TÉCNICA. CORPO DE BOMBEIROS DE SÃO PAULO. Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco. IT14. SP - 2011.

MENDES, Cristiane Lopes; NETO, Jorge Munaiar; MALITE, Maximiliano. Revestimentos térmicos em perfis de aço formados a frio no contexto do projeto estrutural em situação de incêndio. Revista MINERVA, Departamento de Engenharia de Estruturas–EESC/USP, vol.3, n.1, jan/jun. 2006. Disponível em: [http://www.fipai.org.br/Minerva%2003\(01\)%2007.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2003(01)%2007.pdf). Acesso em: Out. 2017.

NFPA - NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. Norma da NFPA: Definição de fogo: <http://www.nfpa.org/standard_items/search_results?searchStr=fire>. Acesso em 04 Novembro. 2017.

NT – NORMA TÉCNICA. Conceitos básicos de segurança contra incêndio. CORPO DE BOMBEIROS DE GOIÁS. NT02. 2014.

NT – NORMA TÉCNICA. Resistência ao fogo dos elementos de construção. CORPO DE BOMBEIROS DE GOIÁS. NT08. 2014.

RISOTHERM < <http://www.risotherm.com.br/produtos/produtos-para-protecao-passiva-contraincendio/> > Acessado em outubro 2017.

SEITO, Alexandre Itiu. Et. al. A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

SERRAGLIO, Louise. ARTIGO: Reboco projetado. Feito em 2013 para o site:<
<https://www.ufrgs.br/eso/content/?tag=reboco-projetado> >. Acesso em: 03 de Novembro.2017.

SILVA, Pignatta Valdir. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. São Paulo: Ed. Blucher, 2014.

SILVA, Pignatta Valdir, e Vários Autores. A segurança Contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

UNIFRAX BRASIL, < <http://www.unifrax.com.br/index.php?pag=produtos> > Acessado em maio 2017.