

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG**  
**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**BRENER GUIMARÃES ALVES**

**RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DA FIBRA DE POLIETILENO  
TEREFTALATO (PET) EXPOSTO AS ALTAS TEMPERATURAS**

**FORMIGA – MG**

**2018**

BRENER GUIMARÃES ALVES

RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DA FIBRA DE POLIETILENO  
TEREFTALATO (PET) EXPOSTO AS ALTAS TEMPERATURAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG,  
como requisito parcial para a obtenção do título  
de bacharel em Engenharia Civil.  
Orientador (a): Prof.<sup>a</sup> Rosiene Gonzaga de  
Jesus Pimenta.

FORMIGA – MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca UNIFOR-MG

A474 Alves, Brener Guimarães.  
Resistência do concreto com adição da fibra de polietileno tereftalato (PET) exposto as altas temperaturas / Brener Guimarães Alves. – 2018.  
53 f.

Orientadora: Rosiene Gonzaga de Jesus Pimenta.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil)-  
Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Uso de resíduos na construção civil. 2. Incêndio. 3. Propriedades mecânicas do concreto. I. Título.

CDD 624.1834

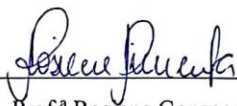
Catalogação elaborada na fonte pela bibliotecária  
Rosana Guimarães Silva – CRB 6-3064

Brener Guimarães Alves

RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DA FIBRA DE POLIETILENO  
TEREFTALATO (PET) EXPOSTO AS ALTAS TEMPERATURAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG,  
como requisito parcial para a obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Civil.  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Rosiene Gonzaga de Jesus  
Pimenta.

BANCA EXAMINADORA




Prof.<sup>a</sup> Rosiene Gonzaga de Jesus Pimenta

UNIFOR-MG



Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

UFPA-MG



Bruno César Comitante Leão

ENGENHEIRO CIVIL

Formiga, 07 de novembro de 2018.

## RESUMO

O incêndio possui três fases: a pré-inflamação, inflamação e a extinção. Pode ocorrer nos diferentes tipos de materiais e suas causas podem ser natural, acidental e/ou proposital. Para se entender melhor deste evento, é preciso compreender a formação do fogo, que só é possível devido à presença simultânea de material combustível, oxigênio e calor. Há também a ocorrência de incêndio por meio da transferência de calor aos mecanismos de energia, por condução, convecção e radiação. As cargas que os incêndios podem provocar estão diretamente relacionadas à energia liberada pela combustão de todos os materiais contidos naquela edificação. Em relação ao concreto, a sua formação se dá pela reação do produto de uma mistura homogênea que tem como materiais constituintes o cimento, água, os agregados miúdos e graúdos. Possui propriedades mecânicas que são determinados por ensaios, para que atendam as especificações necessárias para a determinada obra. Seus efeitos em função de altas temperaturas são distintos, desde a modificação de sua coloração até o colapso da estrutura. Ultimamente o concreto vem ganhando alguns aditivos, que tem como finalidade melhorar sua resistência em relação ao concreto convencional. Devido a isto, esse trabalho propõe avaliar a adição da fibra da garrafa PET ao concreto e o comportamento deste sob as altas temperaturas. Foi constatado que a fibra de PET utilizada com dimensões de 3 mm de largura por 20 mm por comprimento não gerou benefícios ao concreto em relação ao concreto convencional expostos as altas temperaturas, mantendo apenas sua resistência a 700 °C foi feito o teste de Scott - Knott para se comprovar os dados obtidos.

Palavra-Chave: Uso de resíduos na Construção Civil. Incêndio. Propriedades mecânicas do concreto.

## **ABSTRACT**

The fire has three phases: pre-inflammation, inflammation and extinction. It can occur in different types of materials and their causes can be natural, accidental and / or purposeful. To better understand this event, it is necessary to understand the formation of fire, which is only possible due to the simultaneous presence of combustible material, oxygen and heat. There is also the occurrence of fire by means of the transfer of heat to the mechanisms of energy, by conduction, convection and radiation. The loads that the fires can cause are directly related to the energy released by the combustion of all the materials contained in that building. In relation to concrete, its formation takes place by the reaction of the product of a homogeneous mixture that has like constituent materials the cement, water, the small and big aggregates. It possesses mechanical properties that are determined by tests, so that they meet the necessary specifications for the particular work. Its effects in function of high temperatures are different, from the modification of its coloration until the collapse of the structure. Lately the concrete has been gaining some additives, which aims to improve its resistance compared to conventional concrete. Due to this, this work proposes to evaluate the addition of PET bottle fiber to concrete and its behavior under high temperatures. It was found that the PET fiber used with dimensions of 3 mm of width per 20 mm per length did not generate benefits to the concrete in relation to the conventional concrete exposed the high temperatures, maintaining only its resistance to 700 °C being made the test of Scott - Knott to verify the data obtained.

Keyword: Use of waste in construction. Fire. Mechanical properties of concrete.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva de desenvolvimento de um incêndio real .....	11
Figura 2 - Triângulo do Fogo .....	14
Figura 3 - Tetraedro do fogo.....	15
Figura 4 - Métodos de transferência de calor. ....	16
Figura 5 - Transmissão de calor por condução.....	16
Figura 6 - Transmissão de calor por convecção. ....	17
Figura 7 - Transmissão de calor por irradiação. ....	18
Figura 8 - Desfiadora artesanal utilizada para produção .....	36
Figura 9 - Detalhe das mini tiras: a) largura; b) comprimento .....	36
Figura 10 - Teste abatimento tronco de cone (Slump test).....	38
Figura 11 - Moldagem dos corpos de prova.....	39
Figura 12 - Imersão dos corpos de prova na água .....	39
Figura 13 - Equipamento utilizado para aquecer os corpos de prova.....	40
Figura 14 - Máquina Universal de ensaios .....	41
Figura 15- Corpos de prova com adição de PET e suas temperaturas em que foram expostos .....	44
Figura 16 - Corpo de prova com adição de PET exposto a 700 °C.....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - As cargas de incêndio específicas por ocupação, contidas no Anexo A da IT-09..	18
Tabela 2 - Classificação das areias quanto ao módulo de finura.....	27
Tabela 3 - Classificação das britas quanto a dimensão dos grãos .....	28
Tabela 4 - Densidades Aparentes médias .....	28
Tabela 5 - Principais compostos do cimento Portland .....	30
Tabela 6 - Efeito da Elevação da Temperatura na Resistência.....	32
Tabela 7 - Distribuição dos corpos de provas em relação a temperaturas.....	40
Tabela 8 - Resultado do ensaio de abatimento .....	43
Tabela 9 - Médias de resistência à compressão para diferentes temperaturas de exposição de concreto .....	45
Tabela 10 - Médias de resistência à compressão para concreto convencional e com a adição de fibras de PET .....	46
Tabela 11 - Médias de resistência à compressão para concreto convencional e com a adição de fibras de PET para diferentes temperaturas .....	47



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>Considerações gerais acerca dos incêndios</b> .....	<b>11</b>
<b>3.2</b>	<b>O Fogo</b> .....	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Transferência de calor</b> .....	<b>15</b>
<b>3.4</b>	<b>O incêndio e suas cargas</b> .....	<b>18</b>
<b>3.5</b>	<b>Concreto</b> .....	<b>25</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Materiais constituintes</b> .....	<b>26</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Reações da formação do concreto</b> .....	<b>29</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Propriedades mecânicas do concreto</b> .....	<b>30</b>
<b>3.5.4</b>	<b>Efeito de altas temperaturas e modos de resfriamento sobre o concreto</b> .....	<b>31</b>
<b>3.6</b>	<b>Materiais usados para aumentar a resistência do concreto a altas temperaturas</b> ..	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1</b>	<b>Fibra de PET</b> .....	<b>35</b>
<b>4.2</b>	<b>Escolha do traço e cálculo do material</b> .....	<b>36</b>
<b>4.3</b>	<b>Ensaio de abatimento de tronco de cone</b> .....	<b>38</b>
<b>4.4</b>	<b>Produção, moldagem e cura do concreto</b> .....	<b>38</b>
<b>4.5</b>	<b>Aquecimento dos corpos de prova</b> .....	<b>40</b>
<b>4.6</b>	<b>Ensaio de compressão</b> .....	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>43</b>
<b>5.1</b>	<b>Ensaio do concreto em estado fresco</b> .....	<b>43</b>
<b>5.2</b>	<b>Análise Visual das amostras</b> .....	<b>43</b>
<b>5.3</b>	<b>Resistência à compressão axial simples</b> .....	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os incêndios são eventos que geralmente são de grande preocupação para os seres humanos e as estruturas, devido ao desenvolvimento urbano e sua evolução na construção civil se tornam cada vez mais agravantes, tendo seus efeitos de formas catastróficas, podendo ter perdas humanas e patrimoniais. Com isso, estudos de materiais e técnicas, são as formas de se descobrirem novos meios que se possam amenizar, ou até mesmo resolver problemas do nosso dia a dia.

Na construção civil, muitas são as tragédias que foram provocadas devido aos incêndios, devido a isso, projetos de prevenção e combate a incêndio são criados para combaterem tal evento, mas mesmo assim muitas das vezes não são suficientes. Se tratando então, dos elementos construtivos de edificação, a NBR 14432 (ABNT, 2001), cita as exigências que cada elemento construtivo deve atender em relação ao tempo requerido mínimo de resistência ao fogo (TRRF), que se faz de acordo com as especificações da edificação analisada.

Nesse aspecto, o concreto se faz presente na maioria das edificações e com isso este trabalho terá como propósito analisar o comportamento do concreto em situação de incêndio, tendo em sua composição a fibra da garrafa PET (Tereftalato de Etileno), por este ser um resíduo que se pode obter com facilidade, devido a ser um plástico resistente, para as embalagens que se é destinado. De acordo com a Associação Brasileira de indústria do PET (ABIPET, 2012), esse material tem grande resistência mecânica (impacto) e química, sendo capaz de resistir a agentes agressivos, fazendo interessante avaliar sua influência sobre a resistência do concreto submetido a altas temperaturas.

## **2 OBJETIVOS**

Esse tópico tem por finalidade descrever os objetivos do presente trabalho, sendo eles objetivo geral e objetivos específicos, conforme descritos a seguir.

### **2.1 Objetivo Geral**

Estudar o comportamento do concreto exposto às altas temperaturas, tendo em sua composição, a adição das fibras de garrafas PET.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Fabricar corpos de prova em concreto com e sem a adição de fibras de garrafa PET em seu traço;
- Avaliar a trabalhabilidade dos concretos fabricados, por meio do Slump Test;
- Analisar a resistência à compressão do concreto com a adição das fibras de garrafas PET, submetido às altas temperaturas, comparando os resultados com a resistência a compressão do concreto convencional.

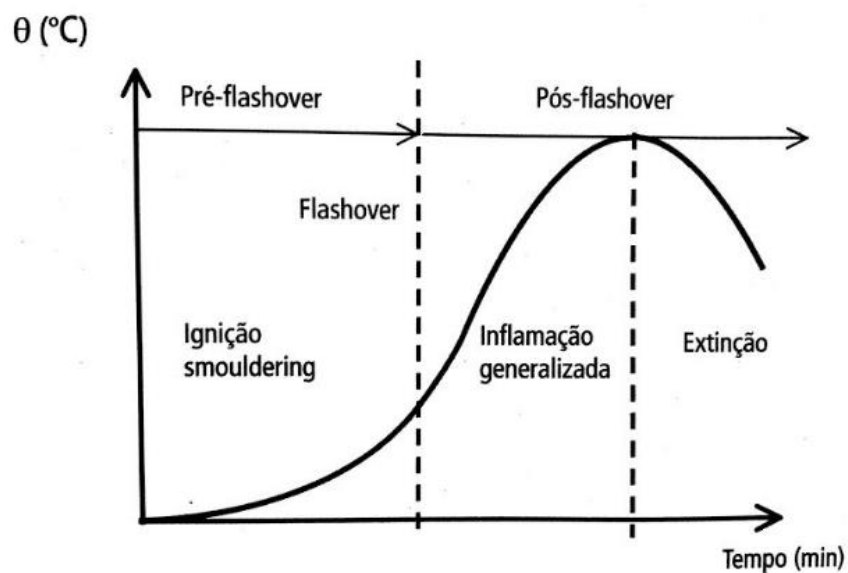
### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico serão abordados os temas fundamentais e relevantes para a elaboração do trabalho através do embasamento teórico obtido mediante pesquisas em literaturas existentes, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado, teses de doutorado, artigos acadêmicos e experimentos já realizados.

#### 3.1 Considerações gerais acerca dos incêndios

Segundo Gouveia (2006), os incêndios podem ser descritos de maneiras distintas em termos gerais pela sua severidade, que leva em consideração os danos que causou às edificações, ao meio ambiente e aos seus usuários. Outra forma é descrita pela curva que proporciona a temperatura dos gases do ambiente sobre chamas, em relação ao tempo de duração do incêndio (FIG. 1), que vai do início da fase de ignição até a sua extinção.

Figura 1 - Curva de desenvolvimento de um incêndio real  
(tempo-temperatura)



Fonte: GOUVEIA, 2006.

De acordo com Silva (2001), na fase inicial, em que o incêndio já abrangeu alguns objetos e não todo o espaço, ele tem baixas temperatura e é considerado de pequenas proporções, sem risco a vida humana e a estrutura. Essa fase é denominada, fase *pré-flashover*.

Na fase seguinte, conhecida como *flashover*, ocorrerá a inflamação generalizada, quando se atinge sua temperatura máxima, podendo ter duração referente à quantidade de material combustível e na fase final, ocorrerá a extinção, tendo, como consequência, o resfriamento do ambiente de forma gradual, denominada fase *pós-flashover*.

A propagação do calor se dá pelo equilíbrio térmico do ambiente, ocorrendo a transferência de calor entre os objetos de maior para os de menor temperatura. Esta transferência de energia irá decorrer pela condução, convecção e/ou irradiação (FLORES; ORNELAS; DIAS, 2016).

O aumento da temperatura nos elementos que compõem uma estrutura em decorrência da ação térmica terá como consequência a redução da rigidez, redução da resistência e ocorrendo assim o aparecimento de esforços solicitantes adicionais as estruturas (SILVA, 2001).

Segundo Rosa (2015), os incêndios podem ser provocados por três formas sendo elas: natural (quando são provocados pelos fenômenos da natureza), acidental (quando provém de um descuido do homem) e proposital (do qual houve a intenção de alguém em provocá-lo).

Os incêndios podem ser provocados por diversos fatores, porém, a probabilidade de que ocorram dois incêndios iguais é praticamente zero, podendo ser diferentes pelas suas características de um para o outro como:

forma geométrica e dimensões da sala ou local, superfície específica dos materiais combustíveis envolvidos, distribuição dos materiais combustíveis no local, quantidade de material combustível incorporado ou temporário, características de queima dos materiais envolvidos, local do início do incêndio no ambiente, condições climáticas (temperatura e umidade relativa), aberturas de ventilação do ambiente, aberturas entre ambientes para a propagação do incêndio, projeto arquitetônico do ambiente e ou edifício, medidas de prevenção de incêndio existentes, medidas de proteção contra incêndio instaladas (SEITO et al., 2008, p. 43-44).

Segundo Flores, Ornelas e Dias (2016), os incêndios podem ocorrer nos diferentes tipos de materiais, por isso esses materiais combustíveis são classificados em classes distintas, para que facilite na escolha das melhores táticas e técnicas de combate, e dos melhores agentes extintores para a extinção do incêndio. Os materiais combustíveis podem ser sólidos, líquidos e gasosos.

Segundo Rosa (2015), para facilitar a extinção de acordo com as propriedades dos materiais combustíveis, a *National Fire Protection Association* (NFPA), uma associação norte-

americana, elaborou uma classificação de incêndios que se divide em quatro classes que é adotada pela maioria dos Corpos de Bombeiros Militares do Brasil, sendo elas:

- Classe “A”: Combustíveis sólidos;
- Classe “B”: Combustíveis líquidos;
- Classe “C”: Equipamentos energizados;
- Classe “D”: Metais pirofóricos.

De acordo com Rosa (2015), a extinção do incêndio se dá pela neutralização ou eliminação de um dos elementos do tetraedro do fogo, ou seja, a quebra da reação química, como será detalhado no próximo tópico, sendo eles por:

- Resfriamento: consiste em diminuir a temperatura do material combustível, resfriando assim o material abaixo do seu ponto de fulgor;
- Abafamento: consiste em impedir o contato do oxigênio com o material combustível, logo, não havendo comburente para reagir com o combustível, não haverá fogo;
- Isolamento: consiste na separação entre o combustível e a fonte de energia(calor) ou entre o ambiente incendiado;
- Extinção química: consiste na aplicação dos agentes extintores que interferem com certos radicais livres que alimentam a combustão, afim de tornar a mistura não inflamável; e
- Diluição: consiste na diluição do combustível, aplicável em líquidos inflamáveis solúveis em água e incêndios de pequenas proporções do tipo “poça”.

### **3.2 O Fogo**

Define-se por um “processo de reação química que libera luz e calor. Essa reação química decorre de uma mistura de gases a altas temperaturas, que emite radiação geralmente visível” (SIMIANO; BAUMEL, 2013).

A formação do fogo é descrita de várias formas, mas uma das formas mais clássicas de se explicar tal formação é por meio do triângulo do fogo (FIG. 2), na qual demonstra que só haverá fogo se houver a presença simultânea de material combustível, oxigênio e calor, sendo de extrema importância tais elementos (GOUVEIA, 2006).

Figura 2 - Triângulo do Fogo

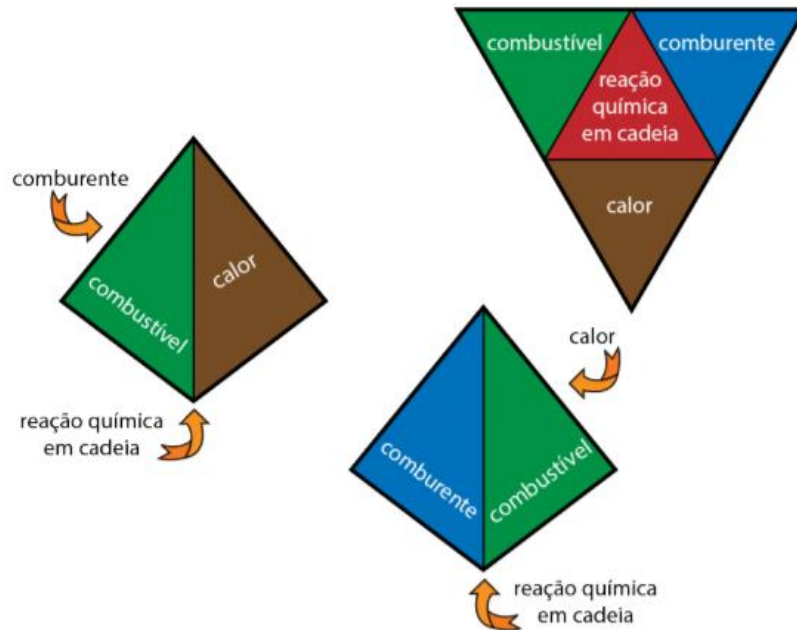


Fonte: Manual de prevenção e combate a princípios de incêndio (2013).

Com o decorrer dos anos, foram feitos estudos sobre esse processo de formação do fogo, e foi descoberto um novo agente extintor, conhecido como “halon”, com isso foi necessário mudar o conceito desta formação, que atualmente é conhecida por Tetraedro do fogo (FIG 3), com a representação desta figura geometria espacial, sendo cada face da figura um elemento do fogo (SEITO, 2008).

O Halon nada mais é do que “hidrocarbonetos halogenados e agentes extintores de compostos químicos formados por elementos halogenados – flúor, cloro, bromo e iodo” (SILVA, 2010).

Figura 3 - Tetraedro do fogo.



Fonte: Manual de prevenção e combate a princípios de incêndio (2013).

### 3.3 Transferência de calor

O calor é um meio de energia que pode ser transmitido de um sistema para o outro como consequência da diferença de temperatura, ocorrendo assim um equilíbrio destes sistemas, a partir da análise termodinâmica que indica a quantidade de calor transferido. O estudo que estabelece o percentual da transferência de energia é denominado transferência de calor (ÇENGEL; YUNUS, 2012).

As prováveis fases de uma substância simples (sólida, líquida e gasosa) estão ligadas diretamente aos devidos mecanismos de energia (FIG. 4), sendo eles por condução, convecção e radiação (DIAS, 2009).



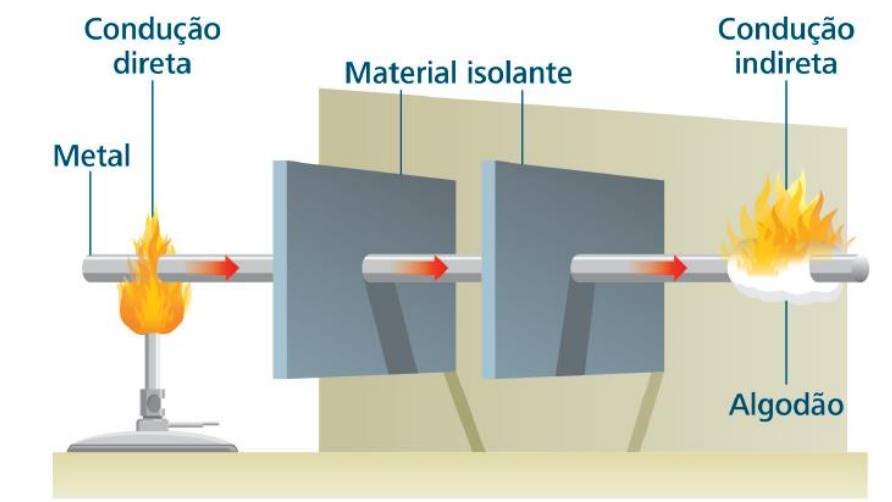
Figura 4 - Métodos de transferência de calor.



Fonte: Brasil Escola, 2018.

Segundo Flores; Ornelas; Dias (2016)“A transferência de energia por condução ocorre nos sólidos e é feita molécula a molécula de um corpo contínuo” (FIG. 5). Como exemplo, pode-se citar uma barra de aço aquecida em uma de suas pontas. Com isso o calor irá se transcorrer até a outra extremidade, ocorrendo assim uma transferência de calor por condução.

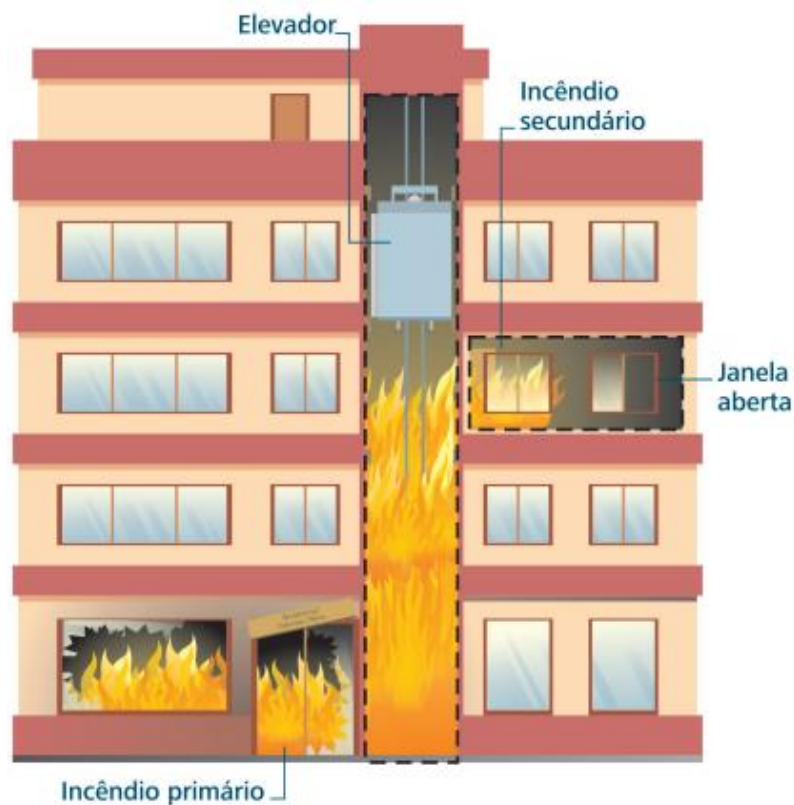
Figura 5 - Transmissão de calor por condução.



Fonte: Prevenção e Combate a Sinistros, 2012.

A transferência calor por convecção “é o modo de transferência de energia entre a superfície sólida e a líquida ou gás adjacente, que está em movimento e que envolve os efeitos combinados de condução e de movimento de um fluido (FIG. 6)”

Figura 6 - Transmissão de calor por convecção.



Fonte: Prevenção e Combate a Sinistros, 2012.

Segundo Flores; Ornelas; Dias (2016) “a irradiação é a propagação do calor por ondas de energia que se deslocam através do espaço. Estas ondas se deslocam em todas as direções e a intensidade com que afeta os corpos diminui ao passo que se aumenta a distância entre eles”, conforme exemplificado na (FIG. 7).

Figura 7 - Transmissão de calor por irradiação.



Fonte: Prevenção e Combate a Sinistros, 2012.

### 3.4 O incêndio e suas cargas

Considerando que o risco do incêndio em uma edificação qualquer tem uma pequena relação com a quantidade de energia que pode ser liberada do incêndio. Essa energia está no conjunto de materiais combustíveis existentes na edificação, sendo liberada através da combustão dos mesmos (GOUVEIA, 2006).

Segundo a Instrução Técnica-02 (CBMMG – CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS, 2017), a definição de carga de incêndio se dá pela “soma das energias caloríficas possíveis de serem liberadas pela combustão completa de todos os materiais combustíveis contidos em um espaço, inclusive o revestimento das paredes, divisórias, pisos e tetos”.

As densidades das cargas de incêndios constantes encontram-se em uma tabela do Anexo A da Instrução Técnica-09, sendo aplicadas às edificações e áreas de riscos, para a determinação das exigências das medidas de segurança contra incêndio. Para as cargas não uniformes sobre as edificações, poderá ser determinada pelo método descrito no Anexo B desta Instrução Técnica (CBMG, 2017).

Tabela 1 - As cargas de incêndio específicas por ocupação, contidas no Anexo A da IT-09

Ocupação /Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio ( $q_{fi}$ ) em MJ/m <sup>2</sup>
Residencial	Alojamentos estudantis	A-3	300
	Apartamentos	A-2	300
	Casas térreas ou sobrados	A-1	300

Continua

Continuação da Tabela 1 – As cargas de incêndio específicas por ocupação, contidas no Anexo A da IT-09.

	Pensionatos	A-3	300
Serviço de Hospedagem	Hotéis	B-1	500
	Motéis	B-1	500
	Apart-hotéis	B-2	300
Comercial varejista, Loja	Açougue	C-1	40
	Antigüidades	C-2	700
	Aparelhos domésticos	C-1	300
	Armarinhos	C-1	300
	Armas	C-1	300
	Artigos de bijuteria, metal ou vidro.	C-1	300
	Artigos de cera	C-2	2100
	Artigos de couro, borracha, esportivos.	C-2	800
	Automóveis	C-1	200
	Bebidas destiladas	C-2	700
	Brinquedos	C-2	500
	Calçados	C-2	500
	Drogarias (incluindo depósitos)	C-2	1000
	Ferragem	C-1	300
	Floricultura	C-1	80
	Galeria de quadros	C-1	200
	Livrarias	C-2	1000
	Lojas de departamento ou centro de compras (Shopping)	C-2/ C-3	800
	Máquinas de costura ou de escritório	C-1	300
	Materiais fotográficos	C-1	300
	Móveis	C-2	400
	Papelarias	C-2	700
	Perfumarias	C-2	400
	Produtos têxteis	C-2	600
	Relojoarias	C-2	600
	Supermercados	C-2	400
	Tapetes	C-2	800
	Tintas e vernizes	C-2	1000
	Verduras frescas	C-1	200
	Vinhos	C-1	200

Continua

Continuação da Tabela 1 – As cargas de incêndio específicas por ocupação, contidas no Anexo A da IT-09

	Vulcanização	C – 2	1000
Serviços profissionais, pessoais e técnicos	Agências bancárias	D – 2	300
	Agências de correios	D – 1	400
	Centrais telefônicas	D – 1	100
	Cabelereiros	D – 1	200
	Copiadora	D – 1	400
	Encadernadoras	D – 1	1000
	Escritórios	D – 1	700
	Estúdios de radio ou de televisão ou de fotografia	D – 1	300
	Laboratórios químicos	D – 4	500
	Laboratórios (outros)	D – 4	300
	Lavanderias	D – 3	300
	Oficinas elétricas	D – 3	600
	Oficinas hidráulicas ou Mecânicas	D – 3	200
	Pinturas	D – 3	500
	Processamentos de dados	D – 1	400
	Educativa e cultura física	Academias de ginástica e similares	E – 5
Pré-escolas e similares		E – 5	300
Creches e similares		E – 5	300
Escolas em geral		E1/E2/E4/E6	300
Locais de reunião de público	Bibliotecas	F – 1	2000
	Cinemas, teatros e similares	F – 5	600
	Circos e assemelhados	F -7	500
	Centros esportivos e de exibição	F-3	150
	Clubes sociais, boates e similares.	F-6	600
	Estações e terminais de passageiros	F-4	200
	Exposições	F -10	Adotar Anexo B
	Igrejas e templos	F-2	200
	Museus	F-1	300
	Restaurantes	F-8	300
Serviços automotivos e assemelhados	Estacionamentos	G-1/G-2	200

Continua

Continuação da Tabela 1 – As cargas de incêndio específicas por ocupação, contidas no Anexo A da IT-09

	Oficinas de conserto de veículos e manutenção	G-4	300
	Postos de abastecimentos (tanque enterrado)	G-3	300
	Hangares	G -5	200
Serviços de saúde e Institucionais	Asilos	H -2	350
	Clínicas e consultórios médicos ou odontológicos.	H -6	200
	Hospitais em geral	H-1/H-3	300
	Presídios e similares	H-5	100
	Quartéis e similares	H – 4	450
Industrial	Aparelhos eletroeletrônicos, fotográficos, ópticos.	I - 2	400
	Acessórios para automóveis	I – 1	300
	Acetileno	I - 2	700
	Alimentação	I - 2	800
	Artigos de borracha, cortiça, couro, feltro, espuma.	I – 2	600
	Artigos de argila, cerâmica ou porcelanas.	I – 1	200
	Artigos de bijuteria	I – 1	200
	Artigos de cera	I – 2	1000
	Artigos de gesso	I – 1	80
	Artigos de mármore	I – 1	40
	Artigos de peles	I – 2	500
	Artigos de plásticos em geral	I – 2	1000
	Artigos de tabaco	I – 1	200
	Artigos de vidro	I – 1	80
	Automotiva e autopeças (exceto pintura)	I – 1	300
	Automotiva e autopeças	I – 2	500
	Aviões	I – 2	600
	Balanças	I – 1	300
	Baterias	I – 2	800
	Bebidas destilada	I – 2	500
	Bebidas não alcoólicas	I – 1	80

Continua

Continuação da Tabela 1 – As cargas de incêndio específicas por ocupação, contidas no Anexo A da IT 09

Bicicletas	I – 1	200
Brinquedos	I – 2	500
Café (inclusive torrefação)	I – 2	400
Caixotes barris ou pallets de madeira	I – 2	1000
Calçados	I – 2	600
Carpintarias e marcenarias	I – 2	800
Cera de polimento	I – 3	2000
Cerâmica	I – 1	200
Cereais	I – 3	1700
Cervejarias	I – 1	80
Chapas de aglomerado ou compensado	I – 1	300
Chocolate	I – 2	400
Cimento	I – 1	40
Cobertores, tapetes.	I – 2	600
Colas	I – 2	800
Colchões (exceto espuma)	I – 2	500
Condimentos, conservas.	I – 1	40
Confeitarias	I – 2	400
Congelados	I – 2	800
Couro sintético	I – 2	1000
Defumados	I – 1	200
Discos de música	I – 2	600
Doces	I – 2	800
Espumas	I – 3	3000
Farinhas	I – 3	2000
Feltros	I – 2	600
Fermentos	I – 2	800
Fiações	I – 2	600
Fibras sintéticas	I – 1	300
Fios elétricos	I – 1	300
Flores artificiais	I – 1	300
Fornos de secagem com grade	I – 2	1000
Forragem	I - 3	2000
Fundações de metal	I – 1	40

Continua

Continuação da Tabela 1 – As cargas de incêndio específicas por ocupação, contidas no Anexo A da IT 09

Industrial	Galpões de secagem com grade de madeira	I – 2	400
	Geladeiras	I – 2	1000
	Gelatinas	I – 2	800
	Gesso	I – 1	80
	Gorduras comestíveis	I – 2	1000
	Gráficas (empacotamento)	I – 3	2000
	Gráficas (produção)	I – 2	400
	Guarda-chuvas	I – 1	300
	Instrumentos musicais	I – 2	600
	Janelas e portas de madeira	I – 2	800
	Jóias	I – 1	200
	Laboratórios farmacêuticos	I – 1	300
	Laboratórios químicos	I – 2	500
	Lápis	I – 2	600
	Lâmpadas	I – 1	40
	Laticínios	I – 1	200
	Malharias	I – 1	300
	Máquinas de lavar de costura ou de escritório	I – 1	300
	Massas alimentícias	I – 2	1000
	Mastiques	I – 2	1000
	Materiais sintéticos ou plásticos	I – 3	2000
	Metalúrgica	I – 1	200
	Montagens de automóveis	I – 1	300
	Motocicletas	I – 1	300
	Motores elétricos	I – 1	300
	Móveis	I – 2	600
	Óleos comestíveis	I – 2	1000
	Padarias	I – 2	1000
	Papéis (acabamento)	I – 2	500
	Papéis (preparo de celulose)	I – 1	80
	Papéis (procedimento)	I – 2	800
	Papelões betuminados	I – 3	2000
	Papelões ondulados	I – 2	800
	Pedras	I – 1	40

Continua



Continuação da Tabela 1 – As cargas de incêndio específicas por ocupação, contidas no Anexo A da IT 09

Industrial	Perfumes	I – 1	300
	Pneus	I – 2	700
	Produtos adesivos	I – 2	1000
	Produtos de adubo químico	I – 1	200
	Produtos alimentícios	I – 2	1000
	Produtos com ácido acético	I – 1	200
	Produtos com ácido carbônico	I – 1	40
	Produtos com ácido inorgânico	I – 1	80
	Produtos com albumina	I – 3	2000
	Produtos com alcatrão	I – 2	800
	Produtos com amido	I – 3	2000
	Produtos com soda	I – 1	40
	Produtos de limpeza	I – 3	2000
	Produtos graxos	I – 1	1000
	Produtos refratários	I – 1	200
	Rações	I – 3	2000
	Relógios	I – 1	300
	Resinas	I – 3	3000
	Roupas	I – 2	500
	Sabões	I – 1	300
	Sacos de papel	I – 2	800
	Sacos de juta	I – 2	500
	Sorvetes	I – 1	80
	Sucos de fruta	I – 1	200
	Tapetes	I – 2	600
	Tapetes	I – 2	600
	Têxteis em geral	I – 2	700
	Tintas e solventes	I – 3	4000
	Tintas látex	I – 2	800
	Tintas não-inflâmáveis	I – 1	200
	Transformadores	I – 1	200
	Tratamento de madeira	I – 3	3000
	Tratores	I – 1	300
	Vagões	I – 1	200
	Vassouras ou escovas	I – 2	700
	Velas de cera	I – 3	1300
	Vidros ou espelhos	I – 1	200

Continua

Continuação da Tabela 1 – As cargas de incêndio específicas por ocupação, contidas no Anexo A da IT 09

	Vinagres	I – 1	80
Demais usos	Demais atividades não enquadradas acima	levantamento da carga de incêndio conforme Anexo B	

Fonte: Instrução Técnica 09 (2017).

### 3.5 Concreto

O concreto, em geral, é um produto ou massa gerada por meio da utilização de um meio cimentante, sendo obtido através do produto da reação de cimento, agregados (miúdos e graúdos) e água. Pode ser produzido com diversos tipos de cimentos e ter em sua composição outros aditivos como: escória de alto forno, agregados de concreto reciclado, adições minerais e outros (NEVILLE, 2013). Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), a definição de concreto de cimento Portland é o:

material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, metacaulim ou sílica ativa), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água) NBR 12655 (ABNT, 2015, p. 3).

Na construção civil é de enorme emprego o seu uso, sabendo que a quantidade de seus componentes (dosagem ou traço) deve ser atendida de acordo com as exigências que forem colocadas. Dentre as propriedades fundamentais colocadas estão a resistência, trabalhabilidade e durabilidade (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

Estando entre os materiais mais utilizados no mundo, o concreto ganhou destaque devido ao seu baixo custo e por ser acessível no mercado, já que seus componentes são encontrados em abundância na natureza e na maior parte do mundo. Sendo utilizado nas diferentes construções, desde as obras mais simples até as mais complexas (GALVÃO, 2003).

Toda a preparação do concreto pode ser feita manualmente ou por betoneira em um devido local do canteiro de obras, sendo chamada assim de concreto (*in loco*). A produção de concreto em usinas, ou centrais dosadoras, é outra forma de produção, sendo nomeado de concreto usinado ou pré-misturado, possuindo cada maneira suas vantagens e desvantagens (COUTO, 2013).

A propriedade mais importante do concreto é a resistência, embora a durabilidade e a permeabilidade possam ser consideradas mais relevante dependendo da situação prática que será aplicada. No entanto, a resistência sempre será vista como uma imagem geral da qualidade do concreto, visto que está diretamente ligada a estrutura (NEVILLE, 2016).

### **3.5.1 Materiais constituintes**

Com o objetivo de certificar a qualidade do concreto e se obter economia em sua produção, necessita-se compreender melhor os seus materiais constituintes e suas propriedades (BAUER, 2011).

Neste sentido, segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2011), o cimento é o aglomerante mais utilizado na construção civil. Conhecido como cimento Portland, é um pó acinzentado, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, com numerosas propriedades e características, que com a adição de água é formada uma pasta que ao longo do tempo é capaz de desenvolver uma elevada resistência mecânica.

Ainda segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2011), a fabricação do cimento é decorrente da pulverização de um produto denominado clínquer, obtido pela calcinação de uma mistura de calcário e argila, dosados e homogeneizados corretamente. Após a queima é acrescentado o gesso, em função de impossibilitar as reações se procedam no mesmo instante, quando ocorrer a adição de água no cimento. O clínquer é o material granuloso que sai do forno, resultante da calcinação do material cru, que depois de resfriado e moído recebe a adição do gesso.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2013), o mercado nacional possui 8 opções. Tendo como base o cimento Portland comum (CP I), existem disponíveis para a venda no Brasil 11 tipos básicos de cimento Portland:

1. Cimento Portland Comum (CP I)
  - a. CP I – Cimento Portland Comum
  - b. CP I-S – Cimento Portland Comum com Adição
2. Cimento Portland Composto (CP II)
  - a. CP II-E – Cimento Portland Composto com Escória
  - b. CP II-Z – Cimento Portland Composto com Pozolana
  - c. CP II-F – Cimento Portland Composto com Fíler

3. Cimento Portland de Alto-Forno (CP III)
4. Cimento Portland Pozolânico (CP IV)
5. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)
6. Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS)
7. Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC)
8. Cimento Portland Branco (CPB).

Os agregados são materiais particulados e incoesivos, que possuem modificações químicas quase que nulas. A sua classificação se dá pela origem, dimensões das partículas e pelo peso específico aparente. A sua origem é empregada por duas formas: a natural que é obtida diretamente da natureza, em rios ou barrancos, e a forma por processos industrializados, que ocorre pelo fracionamento de materiais vindo da extração, como britas e areias artificiais (BAUER, 2011).

Segundo a dimensão das partículas, são divididos em agregados miúdos, que são as areias e por grãos que são os cascalhos e as britas. Os agregados miúdos são aqueles que cuja suas partículas passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidas na peneira ABNT 0,15 mm. Já os agregados graúdos, são os grãos que passam pela peneira ABNT 76 mm e ficam retidas na peneira ABNT 4,8 mm. Para se classificar as areias é utilizado o módulo de finura (TAB. 2), que é “a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado nas peneiras da série normal dividida por 100”. Sendo assim as areias podem ser classificadas em areias finas, médias e grossas (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

Tabela 2 - Classificação das areias quanto ao módulo de finura

Tipos	Módulo de Finura – MF	Utilização
Areia grossa	$MF > 3,3$	Concreto e chapisco
Areia média	$2,4 < MF < 3,3$	Emboço e concreto
Areia fina	$MF < 2,4$	Reboco

Fonte: Ribeiro; Pinto; Starling, 2011.

Assim como os agregados miúdos, o agregado graúdo em especial as britas, são determinados de acordo com as peneiras normalizadas da ABNT, sendo classificadas como brita 0, 1,2,3,4 e pedra de mão, como mostra a TAB. 3.

Tabela 3 - Classificação das britas quanto a dimensão dos grãos

Classificação	Peneiras Normalizadas	Utilização
Brita 0	4,8 – 9,5 mm	Concreto convencional
Brita 1	9,5 – 19,0 mm	
Brita 2	19,0 – 25 mm	
Brita 3	25,0 – 38,0 mm	Concreto massa
Brita 4	38,0 – 64,0 mm	
Pedra de mão	> 76 mm	Fundação

Fonte: Bauer, 2011.

De acordo com Bauer (2011), o peso específico aparente decorre pela densidade das partículas do agregado, que são classificados em leves, médios e pesados. Na TAB. 4 são mostrados os valores aproximados das médias das densidades.

Tabela 4 - Densidades Aparentes médias

Leves		Médios		Pesados	
Vermiculita	0,3	Calcário	1,4	Barita	2,9
Argila expandida	0,8	Arenito	1,45	Hematita	3,2
Escória granulada	1,0	Cascalho	1,6	Magnetita	3,3
		Granito	1,5		
		Areia “seca ao ar”	1,5		
		Basalto	1,5		
		Escória	1,7		

Fonte: Bauer, 2011.

A água destinada ao amassamento do concreto não poderá ter substâncias estranhas que possa ser prejudicial. A NBR 6118 indica que deve ser utilizado de preferência águas potáveis. Em casos das águas não potáveis deve-se ter o controle dos resíduos sólidos existentes, das quantidades dos teores de sulfatos e de cloretos. Notasse que as substâncias agressivas existentes na água de amassamento, quando em baixas quantidades tende a ser menos prejudicial que a mesma água agindo sobre o concreto já endurecido. Pois esses agentes agressivos na fase de amassamento, são neutralizado pelas reações existentes em contato com o cimento, mas quando essas substâncias estão acima dos limites não ocorre a neutralização com os íons  $Cl^-$  (FUSCO, 2008).

Um dos componentes do concreto que podem vir a ser utilizado ou não são os aditivos, que tenham como função a obtenção de melhores resultados, tais como os aceleradores de endurecimento, aceleradores de pega, os de incorporação do ar, e etc. Sendo de grande importância ter-se um controle rigoroso sobre sua composição química, um dos compostos perigosos que tendem a corroer a armadura são os cloretos. Desta forma não é permitido a aplicação de concreto de aditivos que contenham cloretos em sua composição (FUSCO, 2008).

### **3.5.2 Reações da formação do concreto**

A formação do concreto se dá pela produção de uma mistura homogênea, em que a pasta de cimento é necessariamente misturada aos agregados miúdos e graúdos. A inexistência de homogeneidade acarretará uma diminuição da resistência mecânica e da durabilidade. A produção do concreto pode ser realizada de forma manual, contudo somente indicada para obras de pequeno porte, não sendo possível a realização de um volume de concreto com uma quantidade de cimento maior que 50 kg, o que se refere a 1 saco de cimento por traço. Pode também ser de forma mecânica, na qual utilizam-se betoneiras, com capacidades distintas e produção em tempos variáveis, dependendo da homogeneização do concreto (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

Na preparação do concreto, tem-se a mistura dos agregados miúdos e graúdos com cimento e água, com isso se inicia a reação química entre o cimento e a água, resultando em um gel de cimento, que forma a massa coesiva do cimento hidratado. Verifica-se uma diminuição no volume devido à reação química de hidratação do cimento, o qual possui volume na ordem de 28% de seu volume total do gel de cimento. No decorrer do amassamento do concreto, ocorre o envolvimento do gel com os agregados, que endurece depois de certo tempo, formando cristais. Ao endurecer, o gel liga os agregados, resultando em um material resistente e homogêneo, surgindo assim o concreto (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2013), quando se adiciona água ao cimento, o mesmo comporta-se como uma cola, devido às substâncias minerais contidas no cimento, que são formadas no decorrer do cozimento do calcário com a argila. As substâncias (silicatos e aluminatos de cálcio) possuem propriedades que reagem quimicamente com a água, em consequência da reação química do cimento com a água. Com isso, o cimento desenvolve suas propriedades, em razão do seu endurecimento, que em poucos dias fica tão duro quanto uma rocha.

As reações em que o cimento Portland na presença de água e dos silicatos e dos aluminatos listados na TAB. 5, acontecem na pasta (água + cimento), formam produtos hidratados, que depois de certo tempo tendem a endurecer, resultando em uma massa firme e resistente. Sendo assim ocorre uma segunda reação que é a hidrólise, porém aplica-se a palavra “hidratação” a todas as reações que ocorrem entre o cimento e a água (Neville, 2016).

Tabela 5 - Principais compostos do cimento Portland

Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviatura
Silicato tricálcio	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C <sub>3</sub> S
Silicato dicálcio	$2\text{CaO}.\text{SiO}$	C <sub>2</sub> S
Aluminato tricálcio	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C <sub>3</sub> A
Ferroaluminato tetracálcio	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C <sub>4</sub> AF

Fonte: Neville, 2016.

### 3.5.3 Propriedades mecânicas do concreto

O concreto possui propriedades mecânicas que são estabelecidas por ensaios, sendo eles realizados em condições específicas, para que se tenha um controle maior da qualidade e a fim de ser atender a todas às especificações estabelecidas. Principalmente, têm-se as seguintes propriedades: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidades (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

Em relação ao módulo de deformação longitudinal e as resistências à tração e à compressão, o concreto tende a suportar uma constante variação na fase das reações químicas resultante da hidratação do cimento. Ocorre assim, um fenômeno chamado de envelhecimento, que tem duração em toda vida útil da estrutura, sendo mais evidente nos primeiros dias após a concretagem (ARAÚJO, 2001).

A resistência à compressão é a característica mais relevante do concreto, a qual é obtida através de ensaios de corpos de provas, que são submetidos à compressão centrada. Para que seja possível ter uma avaliação mais precisa, é necessário a realização de diversos ensaios, pois os valores podem variar de uma obra para a outra, assim sendo adotados os valores médios obtidos. Para medir a resistência à compressão do concreto, além do tipo de ensaios e solicitações, existem fatores que podem influenciar na resistência a compressão, como a idade e o traço que será empregue, ou seja, a quantidade de materiais utilizados para a formação do

concreto. Pode-se utilizar também para se obter o módulo de deformação longitudinal, ou seja, o módulo de elasticidade (CARVALHO, 2016).

A resistência à tração do concreto depende de vários fatores, sendo impactada principalmente em função da aderência dos grãos dos agregados com a argamassa de cimento. Os valores obtidos através de ensaios dispersos, não consegue ser totalmente estáveis, devido às tensões que são provocadas pela temperatura e à retração do concreto. Com o método do ensaio pode-se distinguir a resistência à tração axial, resistência à tração por fendilhamento e resistência à tração na flexão (LEONHARDT, MÖNNIG, 2008).

### **3.5.4 Efeito de altas temperaturas e modos de resfriamento sobre o concreto**

As altas temperaturas geram efeitos distintos no concreto e nas argamassas, provocando modificações na sua coloração, perda da resistência mecânica, esfarelamento superficial, aparecimento de fissuras e até a própria separação da estrutura. Estando entre as causas que podem levar uma estrutura ao colapso está, a máxima temperatura em que foi atingido, o tempo de exposição da estrutura, o tipo de traço de concreto, o elemento estrutural atingido, o tipo de estrutura e a velocidade de resfriamento (MORALES; CAMPOS; FAGANELLO, 2011).

De acordo com o estudo dos comportamentos do concreto submetido a altas temperaturas, é necessário que seja observado dois aspectos relevantes. O concreto pode ser submetido a temperaturas moderadamente elevadas, quando a elevação desta temperatura é de forma gradual, casos como das chaminé, cubas de uso industrial, que são destinadas para suportar essas temperaturas, ou seja, a estrutura comporta-se normalmente, de forma aceitável; ou pode ser submetida as altas temperaturas de modo que seja alcançada de forma acelerada, capaz de sofrer choques térmicos e oscilações devido ao resfriamento, onde a estrutura é submetida acidentalmente a condições severas, podendo resistir ou não a essas condições, sendo consequência dos incêndios (BAUER, 2011).

No decorrer do incêndio, a elevação da temperatura ocorre de forma diferente nos componentes do concreto, tendo como consequência:



o esfarelamento da superfície calcinada, separação parcial de pequenas camadas superficiais do material ao longo do incêndio, delaminação ou descamação profunda e lascamentos explosivos. Delaminação, ou descamação profunda, é o destacamento de placas de concreto ao longo de grandes extensões da superfície. Este fenômeno é conhecido como “sloughing”. Lascamento explosivo, conhecido como “explosive spalling”, é destacamento de pequenas placas de forma abrupta e violenta que costumam ocorrer nos primeiros 30 minutos da ação do fogo, a temperaturas entre 250 °C e 400 °C (MORALES; CAMPOS; FAGANELLO, 2011, p. 49-50).

Com o efeito das altas temperaturas sobre o concreto, quando se é alcançado aproximadamente 100 °C, ocorre a evaporação da água livre e de uma parte de sua água ligada fisicamente, podendo ter o surgimento de microfissuras devido a retração por parte do concreto e com isso também é possível se verificar uma pequena alteração em suas resistências mecânicas. Quando a temperatura não ultrapassa 300 °C, não se verifica nenhum tipo de alteração por parte da constituição química dos constituintes do concreto. Podendo ser observado que soluções com hidróxido de cálcio em sua composição só é evaporado em temperaturas superiores a 400 °C. Com isso, há uma queda considerável em sua resistência a compressão e ainda mais notável em sua resistência a tração (BAUER, 2011), como pode ser verificado na TAB. 6.

Tabela 6 - Efeito da Elevação da Temperatura na Resistência

Temperatura (°C)	Tração (%)	Compressão (%)
	100	100
200	70	85
300	40	75
500	20	50
800	5	50

Fonte: Bauer, 2011.

Segundo a norma NBR 15200 (ABNT, 2012), como plastificações, ruínas e até colapsos locais são aceitos, a estrutura só pode ser reutilizada após um incêndio se for vistoriada, tiver sua capacidade remanescente verificada e sua recuperação for projetada e executada. Com isso, a recuperação à que a estrutura será submetida deve atender a todas as características que apresentava antes do incêndio, tendo as mesmas capacidades e de serviço exigidas. Podendo eventualmente concluir que não existe necessidade de recuperação da estrutura, se o incêndio foi de pequena severidade ou se a estrutura tinha proteção superabundante.

### 3.6 Materiais usados para aumentar a resistência do concreto a altas temperaturas

Nos últimos anos, o concreto vem ganhando aditivos, que tem como objetivo melhorar a resistência e ter um desenvolvimento em suas propriedades em comparação ao concreto convencional. Com isso, as fibras que são adicionadas ao concreto vêm ganhando destaque, sendo utilizada para minimizar as fissuras devido à retração plástica e ter o aumento da resistência à tração do concreto. Diante disso, utilizam a fibra de POLIETILENO TEREFALATO (PET) como um reforço da matriz do concreto, além do mais é muito vantajoso para o meio ambiente, pois é um material 100% reciclável (MENESES, 2011).

De acordo com a Associação Brasileira de indústria do PET (ABIPET, 2012), o PET é um poliéster, polímero termoplástico, sendo um plástico de grande resistência. Adicionalmente, o PET proporciona grande resistência mecânica e química, podendo até resistir em contato com agentes agressivos.

Com a exposição do concreto as altas temperaturas, o mesmo tende a apresentar uma perda considerável em suas propriedades mecânicas e ocorrer então o seu lascamento, porém, com a adição das fibras de polipropileno pode-se dificultar a ocorrência deste, pois as fibras tendem a reduzir a pressão nos poros do material, criando canais que possibilitam o deslocamento dos gases para o exterior (CASTRO; TIBA; PANDOLFELLI, 2011).

O PET pode ser distribuído de forma adequada por todo concreto, em torno dos agregados e nas camadas de contorno dos elementos, visto que possuem baixo módulo de elasticidade, não evitando a formação de trincas sob altas tensões. No entanto, pode-se diminuir consideravelmente o lascamento no momento em que estiver diretamente exposto ao fogo, sendo esse efeito diretamente ligado aos fatores: relação água/cimento, umidade das amostras, quantidade de agregados, tamanho das fibras e a temperatura exposta. As fibras de polipropileno tendem a se fundirem perto de 170 °C, tendo um efeito considerável sobre a reação hidráulica do concreto exposto as altas temperaturas, ou seja, neste momento ocorre a formação de uma rede permeável que propicia o deslocamento dos gases para o exterior, reduzindo assim a pressão nos poros e dificultando a ocorrência de lascamento (CASTRO; TIBA; PANDOLFELLI, 2011).

Segundo Giacobre (2008), além do PET, entre os resíduos que estão em grande destaque para reaproveitamento no Brasil pela grande quantidade produzida, são os pneus. Fonte de grandes impactos ambientais e sanitários, pelo seu processo de decomposição lento e sua queima produzindo grande quantidade de fumaça que é altamente poluidora, podendo até causar

danos à saúde. Devido a isso, muitas são as alternativas de reutilização como um meio de destinação deste material.

Giacobre (2008) avaliou a adição ao concreto de alta resistência de fibras de borracha de pneus em ensaios físicos, mecânicos e de desempenho em face ao fogo. Os corpos de provas que foram expostos ao fogo atingiram em suas superfícies 1000 °C, e não apresentaram lascamento em relação ao que ocorre em um concreto de alta resistência convencional no momento em que é submetido a estas condições (GIACOBRE, 2008).

Com o objetivo de um planeta mais sustentável e a preservação do meio ambiente, muito se é questionado a grande quantidade de materiais que podem ser recicláveis em aterros. Devido a isso, Righi, et al. (2012) realizou um estudo sobre a substituição da areia pela sucata de vidro moído, oriundo da moagem de garrafas de vidro. A pesquisa pode observar o comportamento do concreto com a adição deste material exposto as altas temperaturas, simulando um incêndio. Conclui-se que é viável a substituição de até 20% da areia por vidro moído, pois o desempenho foi similar ao concreto sem nenhuma substituição. Sendo um material que tem um valor insignificante, e seria descartado na natureza sem nenhum tipo de tratamento.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada inicialmente uma pesquisa bibliográfica, sobre os incêndios, mostrando toda sua formação, cargas e seus danos. Posteriormente foi feito um estudo do concreto o qual é o elemento central de pesquisa do trabalho e sobre a adição da fibra de polietileno tereftalato (PET) em sua composição. Para que se possa observar todo seu comportamento quando exposto as altas temperaturas, podendo assim ter um resultado distinto em relação ao convencional.

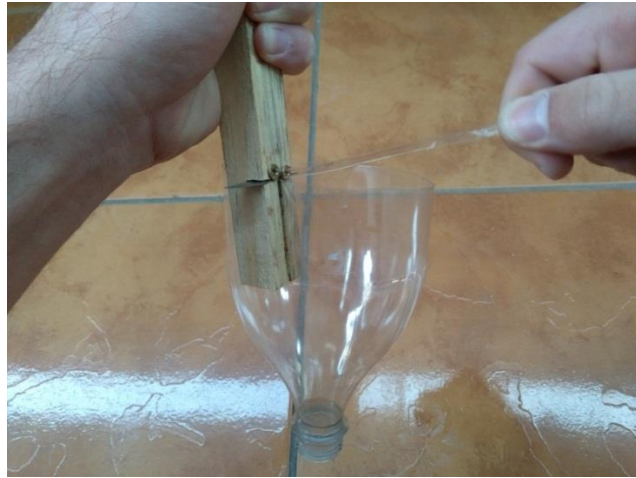
Todo experimento do trabalho foi realizado no laboratório de Ciências da Terra, localizado no Centro Universitário de Formiga (UNIFOR-MG), tendo como finalidade avaliar a resistência a compressão do concreto com a adição das fibras de garrafas PET em relação ao concreto convencional exposto as altas temperaturas.

### **4.1 Fibra de PET**

Tendo como base a bibliografia vigente e suas várias porcentagens de adição da fibra de PET, foi utilizada a quantidade de 3 kg/m<sup>3</sup> ou 0,6% do peso do cimento, sendo baseado nos trabalhos de Menezes (2011) e Lima (2005).

O material utilizado para a confecção das fibras é proveniente da reciclagem da garrafa PET transparentes de volume de 2 litros, as mesmas foram selecionadas, sendo verificada a possibilidade de imperfeições na garrafa, em seguida foi retirado o rótulo e feita à lavagem para se retirar os resíduos presentes. Para a produção das fibras foi utilizado um aparato artesanal, concebida especialmente para filetar tiras das garrafas (FIG. 8).

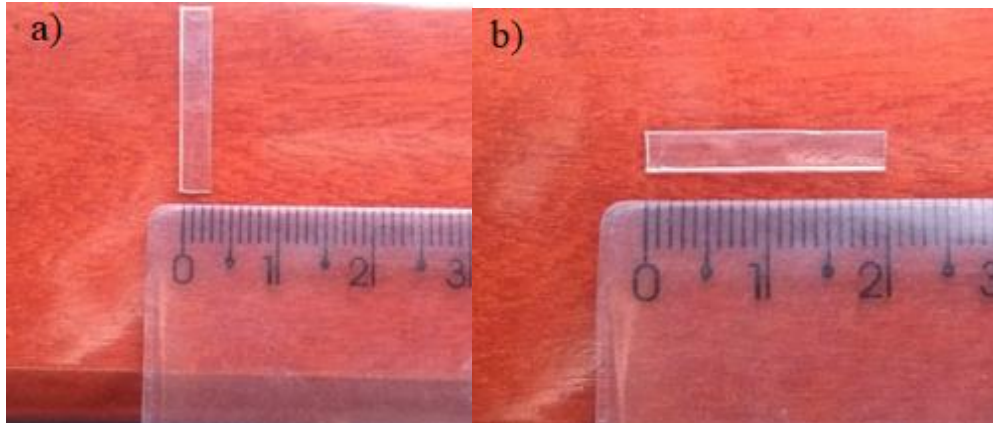
Figura 8 - Desfiadora artesanal utilizada para produção das fibras de garrafa PET



Fonte: O autor, 2018.

Com o uso do aparato, cortou-se mini tiras com aproximadamente 3 mm de largura, seccionadas de forma manual a cada 20 mm de comprimento, como mostra a (FIG. 9).

Figura 9 - Detalhe das mini tiras: a) largura; b) comprimento



Fonte: O autor, 2018.

#### 4.2 Escolha do traço e cálculo do material

Para a confecção dos corpos de provas o traço de concreto escolhido como referência foi 1: 2: 3: 0,6 de cimento, areia, agregado graúdo e o fator água/cimento, respectivamente. Para a base dos calculados foram utilizadas todas as unidades em massa.

Todos os insumos do concreto foram mantidos iguais em todos os traços, tendo apenas o acréscimo da fibra de pet no traço já destinado a adição deste material.

Como especificações dos materiais foi utilizado como aglomerante, o cimento CP II E – 32, como agregado miúdo, a areia média e para o agregado graúdo, a brita número dois, já as fibras de Pet foram usadas com tamanhos citados acima.

Para se calcular a massa de cada insumo, foi necessário inicialmente calcular o volume de cada molde do corpo de prova, como é especificado na Equação 1:

$$V = h \times \pi \times r^2 \quad (1)$$

Onde:

V = volume do corpo de prova em (dm<sup>3</sup>);

r = raio do corpo de prova em (dm) e

h = altura do corpo de prova em (dm).

Com o volume de um corpo de prova calculado, pôde se saber o volume total de concreto utilizado, multiplicando-se o volume do corpo de prova pela sua quantidade. Assim, foi encontrada toda fração de material que foi utilizada no traço, sendo empregada para tal pela Equação 2:

$$C = \frac{V}{\frac{1}{\rho_c} + \frac{2}{\rho_a} + \frac{3}{\rho_b} + 0,6} \quad (2)$$

Onde:

C = consumo de cimento em (kg);

V = volume de concreto em (dm<sup>3</sup>);

$\rho_c$ ,  $\rho_a$  e  $\rho_b$  = massas específicas reais do cimento, areia e brita dados em (kg/dm<sup>3</sup>).

Com a quantidade de cimento calculado, foi posteriormente multiplicado o valor do consumo pelo traço, obtendo assim a quantidade exata de todos os insumos do concreto necessário para confecção dos corpos de prova.

### 4.3 Ensaio de abatimento de tronco de cone

Para determinar a consistência do concreto em seu estado plástico foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, conhecido como Slump test. Foi utilizado um molde de metal na forma de um tronco-cônica, colocada sobre uma chapa metálica com base maior para baixo.

Para realização do teste foi utilizado como referência a NBR NM 67 (ABNT, 1998), que tem como instruções o preenchimento de três camadas de concreto e cada camada adensada com 25 golpes. Após o preenchimento da forma, a mesma foi suspensa lentamente sendo totalmente retirada. O molde foi colocado ao lado do concreto ensaiado para servir como referência. Em seguida foi colocada uma haste no centro de ambos e foi feita à medição da diferença de altura, como pode se observar na (FIG. 10).

Figura 10 - Teste abatimento tronco de cone (Slump test)



Fonte: O autor, 2018.

### 4.4 Produção, moldagem e cura do concreto

Toda a produção do concreto e moldagem dos corpos de provas foi feita de forma manual, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015), que menciona o preenchimento em duas camadas e adensadas com 12 golpes cada, como mostra a FIG. 11. Para a moldagem dos corpos de prova foram utilizados moldes em tubos de PVC de 100 mm de diâmetro, com altura de 20 cm.

Figura 11 - Moldagem dos corpos de prova



Fonte: O autor, 2018.

Para o experimento foram confeccionados ao todo 32 corpos de provas, sendo 16 corpos de prova em concreto convencional e 16 com a adição das fibras. Ainda de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015), após todo processo de moldagem dos corpos de provas, são esperados 24 horas para que se retirem os moldes. Depois de todo processo de cura inicial, os corpos de provas são submetidos ao próximo processo de cura, que consiste na imersão em solução saturada de hidróxido de cálcio por um período de 28 dias. Como pode se observar na (FIG. 12).

Figura 12 - Imersão dos corpos de prova na água



Fonte: O autor, 2018.



#### 4.5 Aquecimento dos corpos de prova

Depois de todo processo de produção e cura dos corpos de provas, foram feitos os ensaios com o concreto já endurecido. Após os 28 dias, os corpos de prova foram aquecidos a temperaturas distintas. O equipamento utilizado para aquecê-los foi o Forno Mufla Microprocessado (FIG. 13) da marca Quimis, modelo: 0318M24 do Laboratório de Iniciação Científica II do Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG.

Figura 13 - Equipamento utilizado para aquecer os corpos de prova



Fonte: O autor, 2018.

Dos 32 corpos de provas confeccionados, foram feitas as seguintes distribuições em relação a cada temperatura, com mostra a (TAB. 7).

Tabela 7 - Distribuição dos corpos de provas em relação a temperaturas

Concreto	Temperatura (°C)				Total
	30	100	400	700	
Convencional	4	4	4	4	16
Com adição de PET	4	4	4	4	16

Fonte: O autor, 2018.

As temperaturas a que os corpos de prova foram expostos foram, de 30° C, 100°C, 400°C e 700° C. Logo após alcançarem as temperaturas, os corpos de provas foram mantidos por 30 minutos sendo então desligada a mufla. Depois de retirados, os corpos de provas foram

colocados em um local adequado para que ocorresse o processo de resfriamento natural, que consiste no resfriamento em temperatura ambiente por um período de no mínimo 24 horas, para que só assim seja feito o ensaio de resistência à compressão.

#### 4.6 Ensaio de compressão

O ensaio de resistência à compressão foi feita de acordo com as orientações da NBR 5739 (ABNT, 2007). O equipamento utilizado no teste foi a máquina universal de ensaios com capacidade 100Tf da marca SOLOCAP modelo WAW- 1000 como mostra a FIG. 14, instalado no Laboratório de Ciências da Terra do Centro Universitário de Formiga - UNIFOR-MG. Para a obtenção dos resultados da resistência a compressão do concreto foram feitos ensaios em corpos de provas, onde os mesmos são centralizados na máquina e são submetidos a uma força uniforme.

Figura 14 - Máquina Universal de ensaios



Fonte: O autor, 2018.

Com a realização dos ensaios de rompimento dos corpos de prova, obtiveram-se os resultados em forma de uma planilha mostrando a força máxima alcançada de cada amostra ensaiada, com os dados gerados foi possível calcular a resistência à compressão utilizando a Equação 3.

$$f_c = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2} \quad (3)$$

Onde:

$f_c$  = resistência a compressão em (MPa);

F = força máxima alcançada em (N);

D = diâmetro do corpo de prova em (mm).

Com os dados de resistência a compressão, os mesmos foram submetidos à análise de variância pelo teste f. Para comparação das médias obtidas, foi utilizado o teste de Scott-Knott. As análises estatísticas foram feitas com o auxílio do software S.svar (FERREIRA, 2014).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos com a realização dos ensaios de abatimento de tronco de cone e de compressão axial, sendo feita também análise visual das amostras expostas as altas temperaturas, com foco no concreto com adição da fibra de PET.

### 5.1 Ensaio do concreto em estado fresco

Feita a mistura do concreto em estudo, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, que tem como intuito analisar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico. Foram obtidos os seguintes resultados dos traços de concreto convencional e com adição de PET, como mostra a (TAB. 8).

Tabela 8 - Resultado do ensaio de abatimento

Concreto	Abatimento (mm)	Relação água/cimento
Convencional	50	0,6
Com adição de PET	60	0,6

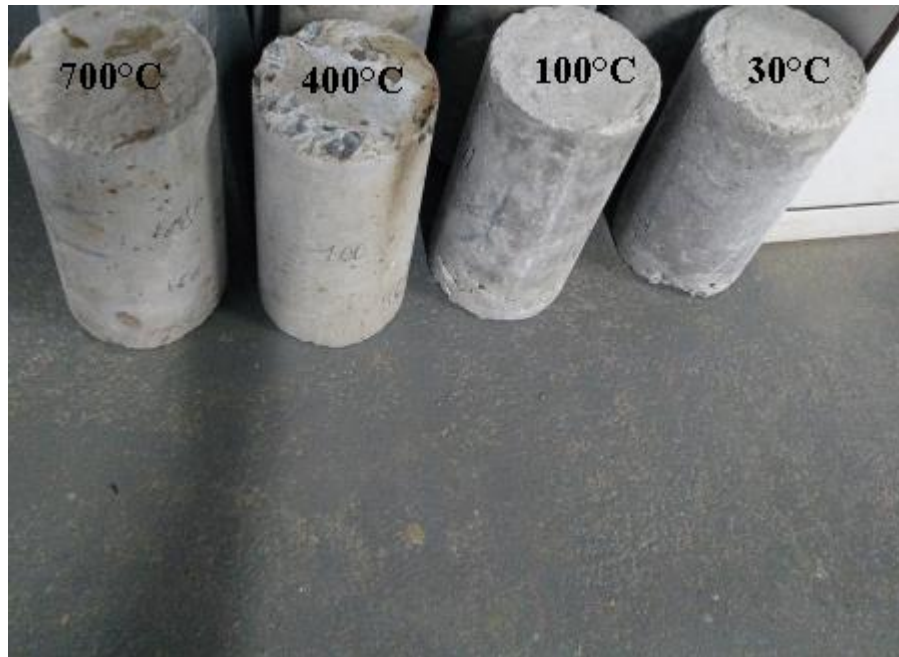
Fonte: O autor, 2018.

De acordo com os resultados obtidos, foi apresentado um maior abatimento no concreto com adição da fibra de PET do que o concreto convencional. De acordo com Metha e Monteiro (2008), isso ocorre em consequência da forma como as fibras se apresentam, pois seu tamanho é menor que a do agregado que tem boa dispersão. Além disto, as fibras não absorvem água como o agregado, melhorando assim a trabalhabilidade do concreto.

### 5.2 Análise Visual das amostras

Após ser feito todo processo de aquecimento dos corpos de provas e posterior resfriamento, foi analisada visualmente a alteração na cor dos corpos de prova em relação as temperaturas expostas. Como pode ser observado na FIG. 15, constataram-se as diferentes colorações nos corpos de provas com adição de PET, nas temperaturas referenciadas.

Figura 15- Corpos de prova com adição de PET e suas temperaturas em que foram expostos



Fonte: O autor, 2018.

Foi observado que os corpos de provas expostos a 100 °C mantiveram-se a coloração cinza semelhante aos corpos de prova em temperatura ambiente, considerado 30 °C.

Já os corpos de prova que foram submetidos às temperaturas mais altas, sendo elas 400 °C e 700 °C, apresentaram coloração marrom principalmente nas regiões onde se apresentava maior presença da fibra de PET. Como pode se observar melhor na (FIG. 16).

Figura 16 - Corpo de prova com adição de PET exposto a 700 °C



Fonte: O autor, 2018.

Nas temperaturas de 400 °C e 700 °C foram observados que grande parte das fibras de polietileno já estavam derretidas. Segundo Kitchen (2011), quando as fibras atingem a temperatura de 160° C tendem a começar a derreter, e à medida que a temperatura aumenta as fibras vão se degradando. Quando atingem a temperatura em torno de 360 °C elas começam a entrar em ignição.

Observou-se também que os corpos de prova submetidos a 400 °C apresentaram pequenas fissuras em algumas partes da amostra. Já nas amostras submetidas a 700 °C grandes quantidades de fissuras por toda superfície puderam ser visualizadas. De acordo com Lima et al. (2004), com o aquecimento do concreto, o mesmo tende a ter alterações aparentes em suas estruturas, como o aparecimento de microfissuras e o deslocamento das camadas superficiais.

### 5.3 Resistência à compressão axial simples

A resistência à compressão axial é a característica mais relevante do concreto, a qual foi utilizada para analisar o quanto o concreto com adição das fibras de PET pode influenciar diretamente uma estrutura exposta às altas temperaturas. Para que se pudesse chegar a estes resultados foram feitos ensaios em corpos de provas, posterior à realização dos ensaios, foram apresentados os resultados e feita à análise dos valores obtidos. O teste de Scott - Knott foi utilizado e apresentado os seguintes resultados.

Foi constatado que diante das amostras ensaiadas, a média da resistência em relação a diferentes temperaturas de exposição do concreto obteve os seguintes resultados, como mostra a (TAB. 9).

Tabela 9 - Médias de resistência à compressão para diferentes temperaturas de exposição de concreto

Temperatura (°C)	fc (MPa)
30	18,27 a
100	16,05 b
400	13,55 c
700	7,31 d

Fonte: O autor, 2018. Médias seguidas de diferentes letras diferem significativamente a 5% de probabilidade estatística pelo teste de Scott – Knott

Foi observado que os resultados da resistência à compressão do concreto nas diferentes temperaturas em que foram expostas, independentemente do tipo de concreto em que foi utilizado teve sua maior resistência na temperatura ambiente considerada 30 °C e pior resistência na temperatura de 700 °C. Isso é descrito por Kanéma et al. (2011) que posterior aos seus ensaios foi possível constatar que o concreto em até 100 °C mantém sua característica estrutural, em temperaturas entre 300 e 400 °C o concreto apresentará uma redução de 15 a 40% de sua resistência inicial e nas temperaturas acima de 600 °C o concreto perderá sua função estrutural perdendo de 55 a 70% de sua resistência inicial.

Essa grande perda de resistência é evidenciada por Lima et al. (2004), que menciona a relação da temperatura com os esforços aos quais o concreto é submetido, devido as propriedades térmicas serem modificadas em função da exposição as altas temperaturas.

Os resultados da resistência à compressão em relação ao tipo de concreto utilizado no experimento, independentemente das temperaturas em que foram expostas, são apresentados na (TAB. 10).

Tabela 10 - Médias de resistência à compressão para concreto convencional e com a adição de fibras de PET

Concreto	fc (MPa)
Convencional	15,26 a
Com fibras de PET	12,33 b

Fonte: O autor, 2018. Médias seguidas de mesmas letras não diferem significativamente a 5% de probabilidade estatística pelo teste de Scott – Knott

Foi constatado que o concreto convencional obteve maior resistência que o concreto com adição da fibra de PET, não condizentes com algumas bibliografias. Contudo, existem fatores que podem influenciar diretamente nestes resultados. O tamanho das fibras assim como sua quantidade tem grande influência. Menezes (2011) e Pelisser (2002) demonstram em seus estudos a utilização de fibras menores e quantidade diferentes desta pesquisa, onde obtiveram resultados melhores que o presente trabalho.

A TAB. 11 apresenta as médias da resistência à compressão em interação entre o tipo do concreto e a temperatura, sendo mostrada abaixo.

Tabela 11 - Médias de resistência à compressão para concreto convencional e com a adição de fibras de PET para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Tipo	
	Convencional	Com fibras de PET
30	20,41 aA	16,13 aB
100	17,71 bA	14,39 bB
400	14,94 cA	12,15 cB
700	7,98 dA	6,64 dA

Fonte: O autor, 2018. Médias seguidas por mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem entre si a 5% de probabilidade estatística pelo teste de Scott - Knott

Foi analisado que em interação entre o tipo de concreto e as diferentes temperaturas, o concreto convencional teve maior resistência nas temperaturas de 30 °C, 100 °C e 400 °C. Já na temperatura de 700 °C, o concreto convencional apresentou resultado similar ao concreto com adição de PET, sendo comprovado estatisticamente pelo teste de Scott – Knott.

A redução significativa da resistência do concreto exposto à temperatura de 700 °C é comparada ao estudo feito por Morales, Campos, Faganello (2011), que estudam a ação do fogo aos componentes do concreto que traz a perda total das propriedades mecânicas do concreto entre as temperaturas de 600 a 700 °C.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este estudo, foi possível analisar alguns parâmetros do comportamento do concreto exposto às altas temperaturas com adição da fibra de PET, tendo em vista os incêndios como forma da causa da exposição as altas temperaturas.

Foi verificado nessa pesquisa que o concreto com adição da fibra com dimensões de 3 mm de largura por 20 mm por comprimento teve um aumento de 16,67% na trabalhabilidade em relação ao concreto convencional. Podendo está associado ao material utilizado, devido as fibras não absorverem água como os agregados.

Foi analisado a resistência à compressão do concreto com adição da fibra de PET nas diferentes temperaturas em que foi exposta, sendo verificada que concreto convencional obteve maior resistência que o concreto com fibra, contudo na temperatura de 700 °C ambos obtiveram o mesmo resultado estatisticamente.

Podendo ter variações de acordo com a geometria e a quantidade de fibra em que será empregada no concreto, pode-se concluir que a adição de PET ao concreto para auxiliar na exposição as altas temperaturas poderão ser mais viáveis com novos estudos com diferentes teores e também diferentes formas como a fibra poderá ser empregada no concreto.

As garrafas PET descartadas, podem contribuir para a construção civil em seu desenvolvimento sustentável e contribuir para a preservação do meio ambiente, mas para que isso aconteça é necessário estudos mais avanços para possibilitar a introdução deste tipo de material nesse setor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. L. DE CASTRO, A. L. DE; TIBA, P.R.T.; PANDOLFELLI V. C. **Fibras de polipropileno e sua influência no comportamento de concretos expostos a altas temperaturas**. Revisão. 2011. pag. 22-31.

ABIPET: **Associação Brasileira da Indústria do PET**. 2012. Disponível em: <http://abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=81>. Acesso em 08/05/2018.

AITA, J. C. L.; PEIXOTO, N. H. **Prevenção e combate a sinistros**. Universidade Federal de Santa Maria – Colégio Técnico Industrial de Santa Maria. 130 p. Santa Maria – RS, 2012. Disponível em: [http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos\\_seguranca/segunda\\_etapa/prevencao\\_combate\\_sinistros.pdf](http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos_seguranca/segunda_etapa/prevencao_combate_sinistros.pdf). Acesso em: 18/03/2018.

ARAÚJO, J. M. de. **Estruturas de concreto: a resistência à compressão e critérios de ruptura para o concreto**, Rio Grande: Dunas, 2001, Número 1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, **Tipos de cimento Portland**. 2013. Disponível: <http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/tipos/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro/>. Acesso em 17/04/2018.

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

\_\_\_\_\_. NBR 15200: **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. NBR 5738: **Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR NM 67: **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 2011. 488 p.

BRASIL ESCOLA. **Processos de propagação de calor**. Canal do educador. 2018. Disponível em: <http://brasilescola.uol.com.br/fisica/processo-propagacao-calor.htm>. Acesso em: 31/03/2018.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. DE F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2004**. 4ª ed. São Carlos: EdUFSCar, 2016. 415 p.

- ÇENGEL, YUNUS A. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática** / Yunus A. Çengel, Afshin J. Ghajar; adaptado por Mehmet Kanoğlu; tradução Fátima A. M. Lino; revisão técnica: Kamal A. R. Ismail. – 4. Ed. – Porto Alegre : AMGH, 2012.
- COUTO, J. A. S. et al., Cadernos de Graduação - **Ciências Exatas e Tecnológicas**, Sergipe, v. 1, n.17, p. 49-58, out. 2013, SSN 2179-5568 – Revista Especialize On-line IPOG – Goiânia - Edição nº 10 Vol. 01/ 2015 dezembro/2015.
- DIAS, LUIZA ROSARIA SOUSA. **Operações que envolvem transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons**. Ciência e Agrotecnologia, v.38, n.2, 2014.
- FLORES, B. C.; ORNELAS, E. A.; DIAS, L. E. **Fundamentos de combate à incêndio**. Manual dos bombeiros. 1ª edição. Goiás, 2016. 150 p. Disponível em: <http://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2015/12/cbmgo-1aedicao-20160921.pdf>. Acesso em: 18/03/2018.
- FUSCO, P. B. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. 1ª ed. São Paulo: PINI Ltda, 2008. 179 p.
- GALVÃO, J. C. A. **Estudo das propriedades dos concretos confeccionados com cimento CP V - ARI e CP II - F32, sob diferentes temperaturas de mistura e métodos de cura**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e Processos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003. 95p.
- GIACOBBE, S. **Concreto de cimento portland com borracha de pneus**. São Paulo: EPUSP, 2008. 17 p. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/513).
- GIONGO, J. S. **Concreto armado: introdução e propriedade dos materiais**. 2007. Disponível em: [http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd\\_Prop\\_Materiais.pdf](http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd_Prop_Materiais.pdf). Acesso em: 08/04/2018.
- GOUVEIA, A. M. C. **Análise de Risco de Incêndio em Sítios Históricos**. Brasília, DF: Ipham/Monumenta, 2006.
- INSTRUÇÃO TÉCNICA 02. **Terminologia de proteção contra incêndio e pânico**. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. 2ª ed. 2017. 41 p. Disponível em: [http://www.bombeiros.mg.gov.br/images/stories/dat/it/it\\_02\\_terminologia\\_de\\_protecao\\_contr\\_a\\_incendio\\_e\\_panico.pdf](http://www.bombeiros.mg.gov.br/images/stories/dat/it/it_02_terminologia_de_protecao_contr_a_incendio_e_panico.pdf). Acesso em: 31/03/2018.
- INSTRUÇÃO TÉCNICA 09. **Carga de incêndio nas edificações e área de risco**. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. 2009. 9 p. Disponível em: <http://www.bombeiros.mg.gov.br/images/stories/dat/it/it%2009.pdf>. Acesso em: 31/03/2018.
- LEONHARDT, F; MÖNNIG, E. **Construções de concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado** vol.1; tradução: David Fridman, Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 336 p.

LIMA, R. C. A. et al. **Efeito de altas temperaturas no Concreto**, 2004. In: II Seminário de Patologia das Edificações, Porto Alegre, RS. Disponível em: [http://www.deecc.ufc.br/Download/TB819\\_Patologia\\_e\\_Recuperacao\\_de\\_Estruturas\\_de\\_Concreto/Efeito\\_do\\_fogo\\_no\\_concreto.pdf](http://www.deecc.ufc.br/Download/TB819_Patologia_e_Recuperacao_de_Estruturas_de_Concreto/Efeito_do_fogo_no_concreto.pdf). Acesso em 20/09/2018.

Menezes, I. A. de. **Avaliação de concreto com a dição de fibras de pet submetido a altas temperaturas**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Natal, RN, 2011. 89f.

METHA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais**. Ed. PINI. São Paulo, 2008.

Morales, G.; Campos, A.; Fagarello, A. M. P. Semina: **Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 47-55, jan./mar. 2011

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**; tradução: Ruy Alberto Cremonini. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

\_\_\_\_\_. **Tecnologia do concreto**; tradução: Ruy Alberto Cremonini., 2. ed., Porto Alegre: Bookman, 2013.

PELISSER, Fernando. **Avaliação do desempenho de concreto reforçado com fibras de polietileno tereftalato (PET)**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, Santa Catarina, 2002.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, P. S. **Estrutura de Concreto**, Capítulo 2. 2004. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>. Acesso em 08/04/2018.

RIBEIRO, C. C.; PINTO J. D. da S.; STARLING, T. **Materiais de Construção**. 3ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2011. 112 p.

RIGHI, D. et al. **Análise de concretos produzidos com vidro moído quando submetidos à elevadas temperaturas**. XXXV Jornadas Sul Americanas de Engenharia estrutural. Rio de Janeiro, 2012.

ROSA, R. C. **Apostila prevenção e combate a incêndio e primeiros socorros**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Porto Alegre – RS, 2015. 54 p. Disponível em: <https://www.poa.ifrs.edu.br/wp-content/uploads/2016/03/seguranca-ifrs-poa-apostilatreinamento-brigada-de-incendio.pdf>. Acesso em: 18/03/2018.

SEITO, A.I. et al.; **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora 2008. 496 p. Disponível em: [http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp-content/uploads/2017/02/aseguranca\\_contra\\_incendio\\_no\\_brasil.pdf](http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp-content/uploads/2017/02/aseguranca_contra_incendio_no_brasil.pdf). Acesso em: 17/03/2018.

SILVA, D. A. R. da. **Sistemas fixos de extinção de incêndio por agentes gasosos.** Dissertação de mestrado em engenharia civil. Faculdade de engenharia da Universidade do Porto - Departamento de engenharia civil, 2010.

SILVA, V. P. E. **Estruturas de aço em situação de incêndio.** São Paulo: Zigurate Editora, 2001.

SIMIANO, L. F.; BAUMEL, L. F. S. **Manual de prevenção e combate a princípios de incêndio.** Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Paraná. 2013. 20 p. Disponível em: [http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/marco2015/cursobrigada/modulo6\\_cobateincendios.pdf](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/marco2015/cursobrigada/modulo6_cobateincendios.pdf). Acesso em: 31/03/2018.