

ANÁLISE MECÂNICA DO AÇO CA-50 REVESTIDO COM DIFERENTES TIPOS DE CONCRETO EM AMBIENTES SIMULADOS DE INCÊNDIO

Daniela Nascimento Araújo¹

Edson Roberto Silva²

RESUMO

Desde a antiguidade, quando um incêndio se origina causa transtornos quase irreversíveis em estruturas de concreto armado. Além dos danos materiais, podem também causar ferimentos em pessoas levando à morte se estiverem no incêndio. O estudo que foi executado teve como propósito avaliar o comportamento mecânico do aço CA-50, coberto por dois tipos distintos de cimento (Cp II F e Cp V ARI), exposto com duas temperaturas diferentes e por tempo determinado. Após todos os experimentos, foi iniciada a fase de ensaios de flexão de 3 pontos, que possui o objetivo de mostrar qual foi a tensão obtida e força resistida que cada vergalhão suportou. Com todos os dados obtidos, pode-se fazer a análise de variância e levantar hipóteses das divergências de resultados. Para esta pesquisa, determinou-se que o tipo de cimento e o tempo de duração que o corpo de prova fica exposto a altas temperatura influenciam na resistência mecânica do aço.

Palavras-chave: Aço estrutural. Ensaios mecânicos. Alteração estrutural

¹ Graduanda em Engenharia de Produção, Universidade de Rio Verde, 2017.

² Orientador, Professor Mestre da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde, 2017.

1 INTRODUÇÃO

A segurança de estrutura em concretos e metálicos em situações de incêndio tem sido discutida atualmente, principalmente porque o fogo em edifícios pode ocasionar prejuízos materiais e perda de vidas. Quando são elevados a altas temperaturas, os materiais que constituem elementos estruturais começam a ter suas propriedades mecânicas reduzidas, isso pode acarretar um colapso prematuro da construção (LIMA et al., 2004).

De acordo com a Anvisa, o Brasil é o segundo país do mundo em vítimas de incêndios e ainda assim não possui muitas pesquisas nesta área (SILVA; PANONI, 2010). Com destaque na ação dos incêndios, tem-se discutido muito quanto à ação de altas temperaturas sobre as estruturas de concretos, principalmente porque essa ação pode afetar suas propriedades estruturais.

O aumento progressivo de temperatura ocasiona efeitos distintos nas argamassas e no concreto, que altera coloração, perda de resistência, esfarelamento superficial, mecânica, fissura na estrutura e a desintegração. Um dos materiais mais utilizados em construções é o concreto, que é considerado um bloqueio térmico. O concreto quando exposto ao fogo tem diferentes maneiras de reagir, em função de seus constituintes (MORALES; CAMPOS; FANGELLO, 2011).

Em uma construção civil, não se emprega somente o concreto como material. Para obter melhor aptidão na estrutura usa-se geralmente o aço CA-50, que é uma liga que contém ferro e participa de 0,03 a 2,00% de carbono.

O referido aço possui uma boa qualidade e é econômico. A junção deste material com a adição de mais compósitos possibilita edificar uma construção com garantia de qualidade e segurança.

Por mais cuidado que se tenha com a segurança, ainda há risco de incêndio, pois basta existir combustíveis, oxigênio e uma fonte de calor para começar uma ignição, que ao se propagar se espalha pelo caminho, causando destruição e perdas. Ao longo dos tempos, vêm sendo desenvolvidas várias pesquisas que visam minimizar os riscos de incêndio. Apesar de toda tecnologia existente, ainda existe dificuldade em saber todos os danos que um incêndio pode causar em uma construção civil.

A consciência de que os danos causados a uma edificação durante incêndios podem ser irremediáveis motivou o desenvolvimento de pesquisas relacionadas aos efeitos do calor em elementos estruturais que determinam a integridade de uma estrutura, e podem gerir a descoberta e validação de materiais e técnicas que retardem ou mesmo reduzam a deterioração de uma estrutura.

Por isso, é importante que haja segurança contra incêndios, o que tornou objeto desta pesquisa, principalmente em obter informações quanto à redução do risco de vida e às perdas patrimoniais. Este estudo tem como objetivo analisar o comportamento mecânico do aço Ca-50, revestido com diferentes tipos de concreto, com a inclusão de diferentes materiais e submetido a ensaios de dobramentos nos vergalhões. Para analisar qual material pode se tornar o melhor isolante térmico, com simulações em corpos de provas em ambientes simulados de incêndio, foi realizada uma análise estatística de todos os procedimentos e resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Mesmo sendo pequena a probabilidade de ocasionar uma ruína estrutural de edifícios de concreto armado em incêndio, é possível em algumas ocasiões. A perda de vidas humanas e de bens em situações de incêndio é uma preocupação crescente, o que fez com o tempo promover o conceito de segurança contra incêndio e de outros mecanismos associados à prevenção ou contenção dos danos causados (COELHO, 2010).

O incêndio é o fogo que se espalha com intensidade e pode ocasionar estragos irreversíveis. Sua origem, em situações diversas, pode ser física (eletricidade, raios, centelhas devido à eletricidade estática, calor devido ao atrito de peças em movimento e curtos-circuitos), biológica (bactérias termogênicas), físico-química (gorduras animais e vegetais, hidrocarbonetos insaturados), acidental (criado pelo homem em casuais acidentes) e intencional (propositadamente criado pelo homem) (CALDAS, 2008).

Entender os riscos de um incêndio para Cuogui (2006) é importante para compreender o fenômeno, porque resulta em diversas reações químicas entre vários tipos de combustível e oxigênio.

O oxigênio é um componente essencial no ambiente para a reação de combustão e, junto com o pré-aquecimento ou uma temperatura mínima, a reação pode iniciar. Porém, para

que uma reação seja auto estável, no ambiente deve conter energia térmica e combustível suficiente (ZABEU, 2011).

Em vista disso, existe uma atenção especial dos incêndios, principalmente quando inclui premissas de resistência ao fogo em elementos estruturais de aço em incêndio, pois a maioria dos códigos regulamentados tem como parâmetro ensaios de elementos isolados em fornos (FERREIRA, 2011).

Quando um edifício é incendiado, os usuários correm risco de vida, assim como a construção, que sofre danos relevantes. Estudos referentes à amostragem dos componentes do edifício a altas temperaturas conduzem a resultados variáveis, ficando difícil generalizar sobre os acontecimentos (LIMA *et al.*, 2004).

Conforme Morales, Campos e Faganello (2011), dentre as causas para uma estrutura exposta a altas temperaturas acontecer o colapso, estão o tempo de exposição, a temperatura atingida, a estrutura, os componentes de concreto, o elemento estrutural e o tempo de resfriamento.

Levando em consideração a composição do concreto, o agregado e a pasta de cimento são formados de componentes que podem se alterar e se decompor em diferentes escalas na exposição ao calor. O porte da peça, a umidade e o crescimento da temperatura também influem, já que regem o desenvolvimento das pressões internas das substâncias gasosas da decomposição (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O concreto é um material heterogêneo, com uma estrutura única não pode ser repetida em misturas distintas. Examinar o comportamento quando submetido a exigências através de modelos para conseguir respostas exatas é complicado, sendo variados os resultados possíveis. É exato que toda a perda de umidade do concreto pode resultar em queda do módulo de deformação e da resistência. Por isso, é importante conhecer o comportamento que estará submetido à ação do fogo, pois é dele que a estabilidade estrutural dependerá durante um período de tempo estabelecido (MORALES; CAMPOS; FAGANELLO, 2011).

A metodologia construtiva mais utilizada no Brasil e no mundo são as estruturas de concreto armado. Essa metodologia toma formas diversas, da grande durabilidade que apresenta, além de baixo custo unitário de produção, não depende de revestimentos complementares (ZABEU, 2011).

Mehta e Monteiro (2008) relatam que o material exposto a altas temperaturas não emite gases tóxicos, além de ser um material incombustível. Diferente do aço, que precisa de

proteção para resistir ao fogo e assim permitir a atuação de equipes de resgate, o concreto resiste a estas condições por períodos mais longos, sem a necessidade de proteção.

Costa e Silva (2002) afirmam que as características do concreto sofrem alterações quando expostos a altas temperaturas. Estas ocorrem nas propriedades mecânicas e físico-químicas, como a tração, redução da resistência à compressão e módulo de elasticidade, que estão relacionadas de modo direto com o retraimento da pasta justamente pela perda de água, enquanto a armadura e o agregado se expandem.

Com o objetivo de verificar um sistema de proteção contra incêndios em que promove a temperatura do componente (instalação elétrica e aço estrutural) abaixo da temperatura crítica para ocorrer o incêndio, Mróz, Hager e Korniejenko (2016) verificaram que as fibras de polipropileno (PP) misturadas com o concreto funcionam como um sistema de proteção passiva. Outros materiais de proteção passiva são os materiais ablativos e intumescentes (materiais que expostos a temperaturas acima de 200° C passam por um processo de expansão volumétrica formando uma espuma isolante) para o aço.

Como o aço possui condutividade térmica maior que a do concreto, quando sujeito a altas temperaturas tende a se uniformizar de maneira mais rápida, diferente do concreto, em que a condutividade térmica não aumenta significativamente a temperatura. Outra característica do aço quando aquecido, é sua maior dilatação, que o faz ficar confinado, fazendo a zona de aderência ficar comprometida (COSTA; SILVA, 2002).

O aço não possui a heterogeneidade do concreto, deixando mais simplificada a análise de seu desempenho no incêndio. Contudo, não significa que mereça menos atenção, pelo contrário, características como maior condutividade térmica e seções mais delgadas observadas em estruturas de aço fazem com que o desempenho das estruturas em situação de incêndio seja pior que as de concreto (OLIVEIRA, 2006).

A perda de aderência varia com o aumento da temperatura, inicia-se aos 100° C, e aos 600° C há perda total com a exposição contínua ao aumento de temperatura. Há a perda da resistência caso exista um resfriamento súbito da estrutura, quando se compara com o resfriamento gradual causado pelo ar, devido à redução súbita do volume do aço (COSTA; SILVA, 2002).

Os concretos submetidos às temperaturas superiores a 300° C perdem notavelmente sua resistência mecânica à compressão, entretanto, até 300° C, a perda de resistência é ínfima, em torno de 5%, o que aumenta conforme a temperatura que vai aumentando. Os corpos de

prova de areia e argamassas de cimento sob 300° C e diminuição da temperatura lenta, com perda de 5% de sua resistência, já com a diminuição rápida de temperatura, o que há uma perda entre 28 a 30% de sua resistência. As amostras sujeitas a 750° C perderam totalmente a resistência mecânica (MORALES; CAMPOS; FAGANELLO, 2011).

Xiã e König (2004) destacaram que esta redução após o incêndio é mais significativa que durante o incêndio, mais significativa se o resfriamento for brusco. Souza (2005), certifica-se que aos 500° C acontece a decomposição do hidróxido de cálcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$, em Óxido de Cálcio (CaO) e água (H_2O). Essa reação é responsável pela fissuração do concreto, já que ocorre uma expansão no momento da hidratação, ou seja, do combate ao fogo. Isso implica em perda de resistência da ordem de 60% a 70% ao se comparar com a resistência inicial, resultando em microfissuras no concreto e, quando submetido a altas temperaturas, acontece a incompatibilidade térmica entre a pasta cimentícia e os agregados, o que causa a perda da resistência do concreto. E acima de 800° C, não há mais resistência residual do concreto, justo pela decomposição das estruturas internas do material.

A temperatura crítica ocorre quando a temperatura ocasiona um colapso em um elemento estrutural em situação de incêndio, ou seja, temperatura máxima da estrutura até que sua ruína seja imediata. Essa temperatura crítica é diferente para cada tipo de material (vinculações, geometria, carregamento aplicado, etc.) e sistema estrutural. E para garantir a segurança em incêndios, deve-se evitar que a temperatura crítica seja atingida (FAKURY; SILVA; MARTINS, 2000).

Distribuir uniformemente a temperatura em elementos isolados de estruturas metálicas faz com que seja uma prática que apresenta coerência com a realidade. O aço é extremamente esbelto e se esquentam rapidamente, resultando na uniformização nas peças de pequena espessura. Na falta de análises térmicas mais precisas e para garantir maior segurança, adotam-se a mesma simplificação para o aço em contato com alvenaria ou concreto (FAKURY; SILVA; MARTINS, 2000).

Ao envolver materiais isolantes térmicos, o aço acaba por aumentar sua resistência a incêndio. A princípio, utilizavam-se técnicas e materiais já existentes, como a aplicação de alvenarias contornando pilares ou vigas em concreto ou embutimento de pilares (MARTINS, 2000).

Para analisar a resistência de uma estrutura de aço, deve ser realizada uma combinação de ações em que a estrutura esteja submetida no ambiente, juntamente com o efeito

simultâneo de elevadas temperaturas de incêndio, para assim fazer com que as estruturas resistam. Isso durante a ocorrência do fenômeno em um compartimento (RIGOBELLO, 2011).

Quando o resultado do cálculo referente à resistência de cada elemento da estrutura é maior ou igual ao cálculo dos esforços, tem-se a segurança estrutural, em que é verificada a temperatura crítica do elemento da estrutura, que tende a ser maior ou igual à temperatura operante. De acordo com as normas brasileiras NBR 14323:1999 – “Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio – Procedimento” e NBR 14432:2000 – “Exigência de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento”, ambas oferecem informações quanto à segurança estrutural nessa condição incomum de ações. Pelas características geométricas (largura, altura, profundidade, valor de cálculo da carga de incêndio, dimensões das janelas, posição e dimensões básicas das estruturas externas) do recipiente em chama pode-se determinar a temperatura (AZEVEDO; MURAKAMI; SILVA, 2007).

O aço quando submetido a temperaturas elevadas decorrentes de um incêndio sofre, gradualmente, diminuição de rigidez e resistência, além de causar alterações nas condições do estado de equilíbrio, causando tensões e deformações estruturais (SILVA, 1997).

Com o aumento da temperatura, as propriedades das colunas de aço diminuem rapidamente. Por isso, são utilizados materiais de baixa condutividade térmica para proteção contra altas temperaturas. Assim, foi feito o uso de colunas parcialmente revestidas, uma espécie de coluna compósita de aço-concreto. Com foco no custo econômico de uma coluna e o desempenho do incêndio, Piquer e Hernández-Figueiredo (2016), ao compararem colunas parcialmente revestidas e colunas de aço em forma de I com e sem proteção, verificaram uma série de seções transversais geométricas e propriedades de materiais que foram testadas. Com isso, verificaram que as colunas protegidas resistem cerca de 120 minutos a mais antes de desmoronar em incêndio. Assim, colunas parcialmente compostas (PEC) sob incêndios simulados mostra economia significativa com um bom projeto de coluna PEC, economizando em torno de 50%.

Para melhor desempenho das estruturas em concreto armado, a aderência na interface aço-concreto é de suma importância. O que faz a ligação aço-concreto realmente efetiva são o atrito e a aglutinação. Como as propriedades químicas do aço e o concreto são diferentes no incêndio, o aço dilata-se mais que o concreto e isso acarreta uma maior força de atrito entre o aço e o concreto. E como consequência em relação à aglutinação, sua força é reduzida pela

falta de resistência à tração do concreto quando estão expostas a altas temperaturas (OLIVEIRA, 2006).

Para Mesquita (2013), as estruturas devem ser projetadas para resistir o máximo tempo possível, para que assim proporcione às pessoas e às equipes de combate a incêndio maior segurança antes que a estrutura entre em ruína. Nas normas brasileiras são relacionadas o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo. Para que o aço não sofra perda em suas propriedades durante o incêndio, é de grande importância que sua temperatura seja inferior a temperatura crítica.

Na NBR 14323/99 apresenta o “Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio”, no qual recomenda que a temperatura crítica do aço quando atingir um valor máximo de 550 °C para os aços convencionais usados em perfis cujo estado limite último à temperatura ambiente não seja o de instabilidade local elástica, ou calculada para cada elemento estrutural de acordo com a norma supracitada. O dimensionamento por meio de ensaios de resistência ao fogo também é aceito conforme a NBR 5628 (NORMA TÉCNICA, 08/2014).

Silva (2001) também expõe que a segurança das estruturas é possível quando a temperatura atuante nas estruturas de aço é menor que a temperatura que pode causar o colapso da estrutura, ou seja, a temperatura crítica.

Para melhor compreender o comportamento da peça de aço quando exposta a elevadas trocas de calor provocado pelo fogo, deve-se entender como é a distribuição da temperatura ao longo de sua seção transversal por meio da análise da transferência de calor (CAMPÊLO, 2008).

Para melhorar a performance da viga de aço contra corrosão e incêndios e garantir revestimento contrafogo ao aço, incorporam o perfil de aço na laje de concreto para melhorar o perfil do aço na laje do concreto assim como em pisos mistos de baixa altura (*slim floor*). Com o objetivo de avaliar o desempenho térmico e estrutural desse sistema, Rocha e Munaiar Neto (2014) desenvolveram modelos numéricos de vigas mistas de aço e concreto sem revesti-las completamente com o uso do pacote computacional DIANA. Verificaram que a condição de interação completa pode ser alcançada no elemento real, fazendo ranhuras ou usando conectores de cisalhamento nas superfícies de perfil de aço, resultando em uma maior resistência ao fogo das vigas do piso fino no fogo.

Todo material usado em construção civil (concreto armado, aço, madeira e alumínio) ao ser aquecido, pode sofrer degradação de suas propriedades mecânicas. Pierin, Silva e La Rovere (2015) apresentam um programa de computador denominado de ATERM, que possibilita a análise térmica de estruturas bidimensionais em regime transiente. Observaram que a análise pode ser feita tanto com o software ATERM quanto STC. E o software ATERM mostrou um desempenho melhor se comparado ao Super Tempcalc (STC), haja vista que seu tempo de processamento é muito mais curto.

Em situações de incêndio a ABNT NBR 15200:2004 apresenta o “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio” em que proporciona um método tabular de dimensionamento de pilares. Este método faz uma associação entre o nível de carregamento, dimensões mínimas de seção transversal e a posição da armadura na seção, para assim ter o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) (SILVA, 2008).

Ao verificarem a influência da condição de vinculação de um sistema composto por viga mista de aço e concreto, em situação de incêndio, em que foi considerado um perfil de aço formado a frio, com seção transversal tipo caixão, sobre alvenaria, observaram a influência significativa da laje na obtenção do carregamento de colapso do modelo biapoiado. Um menor ganho ocorre para o modelo biengastado, já que nas regiões de momento máximo o concreto se encontra tracionado e, por isso, contribui menos para a resistência da viga mista (RIGOBELLO et al., 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

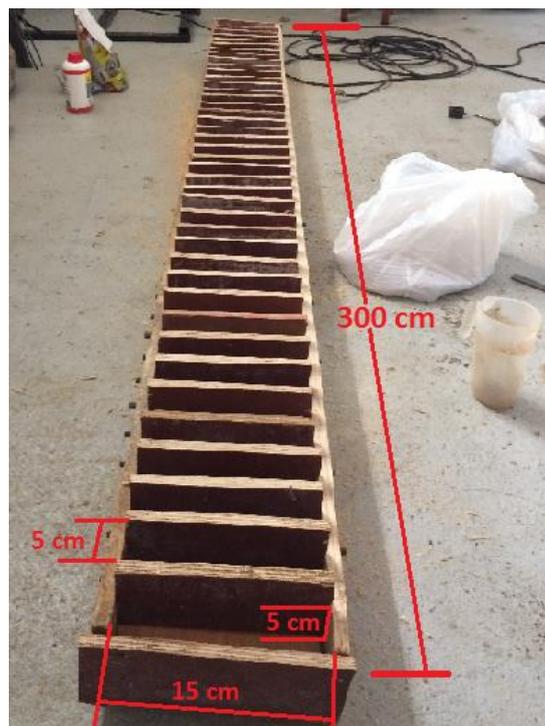
3.1 MATERIAIS

O presente trabalho que se iniciou, analisou a resistência mecânica do aço CA- 50, após ser revestido com diferentes tipos de concretos, visando avaliar qual foi o melhor inibidor de calor, que ajudará o aço a resistir a altas temperaturas sem ter uma perda significativa de resistência mecânica.

Para esta pesquisa de caráter experimental, utilizaram-se os seguintes materiais: cimento CpII F, cimento CpV ARI, aço CA-50 de diâmetro 8 mm, areia fina, areia grossa e brita do tipo 1.

Para a simulação das temperaturas de incêndio foi usado um forno elétrico com capacidade máxima de temperatura de até 1200 °C do laboratório de Processos de Fabricação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde. Foi fabricada uma caixa de madeira de 5 cm de altura, 5 cm de largura e 300 cm de comprimento, com várias divisórias de 15 cm de largura para poder comportar todos os cp's (corpos de provas), como mostra a FIGURA 1.

FIGURA 1 – Caixa para a fabricação dos corpos de prova



Fonte: Daniela Nascimento Araújo, 2017.

Com relação ao traço utilizado, a areia e a brita operadas na fabricação do concreto foram as mesmas em todos os corpos de prova, o que variou foi o tipo de cimento aplicado. O traço utilizado para o concreto armado foi de 500 ml de areia fina, 2 L (dois litros) de areia grossa, 2 L (dois litros) de brita tipo 1, 1 L (um litro) de cimento e 1225 ml de água, todavia na confecção do CpV ARI foi essencial utilizar 1600 ml de água.

3.2 MÉTODOS

A partir do momento em que finalizou a confecção da caixa de madeira, começou-se a fabricar os cp's de concreto com o cimento CpII F, assim que o concreto foi finalizado o mesmo foi colocado na caixa de madeira para ser moldado. Logo após o mesmo procedimento

foi repetido com o cimento CpV ARI. Na FIGURA 2 estão apresentado os corpos de prova moldados na caixa de madeira para a cura.

FIGURA 2 – Cimento CpII F e CpV ARI moldados na caixa de madeira prontos para curar



Fonte: Daniela Nascimento Araújo, 2017.

Os corpos de prova foram desenformados após sete dias e deixados para curar durante um período de 35 dias e então os testes de dobramento foram realizados. Na FIGURA 3, são apresentados os corpos de prova com o tempo de cura finalizado, cujo todos os cp's possuem o mesmo tamanho e espessura. Contudo seus sólidos ficaram heterogêneos, nas quais o CpII F pesa 1,700 kg, enquanto o CpV ARI 1,400 kg.

FIGURA 3 – Corpos de prova após o tempo de cura



Fonte: Daniela Nascimento Araújo, 2017.

Para obter um melhor resultado no experimento, optou-se por tampar as extremidades para que a transferência de calor fosse feita apenas por meio do concreto e não por meio do aço dos cp's (corpos de prova), como está mostrado na FIGURA 4.

FIGURA 4 – Cp's revestido nas extremidades



Fonte: Daniela Nascimento Araújo, 2017.

Com o período do tempo de cura finalizado, a próxima etapa que se iniciou foi simular um incêndio nos corpos de prova, colocando-os no forno elétrico e os submetendo as temperaturas de 600 °C e 900 °C, por um período de 1 e 2 horas cada corpo de prova. Quando o forno atingiu a temperatura de 600 °C, os primeiros 4 cp's do cimento CpII F foram adicionados (FIGURA 5). Após 1 hora dentro do forno, retiraram-se os dois primeiros, permanecendo os outros dois do cimento CpII F e em seguida foram colocados os cp's do cimento CpV ARI por 1 hora.

No término de mais 1 hora, foi retirado o CpII F, completando 2 horas a 600° C, tirando o CpV ARI que ficou exposto por 1 hora e posteriormente colocando os outros dois cimentos CpV ARI por duas horas, finalizando a temperatura de 600 °C. No momento em que se encerrou a primeira tomada de tempo e temperatura, deu início à próxima tomada de tempo e temperatura, porém agora a 900 °C, que foi da mesma forma da primeira, porém somente os dois últimos corpos de prova, que ficaram expostos a 900 °C por duas horas.

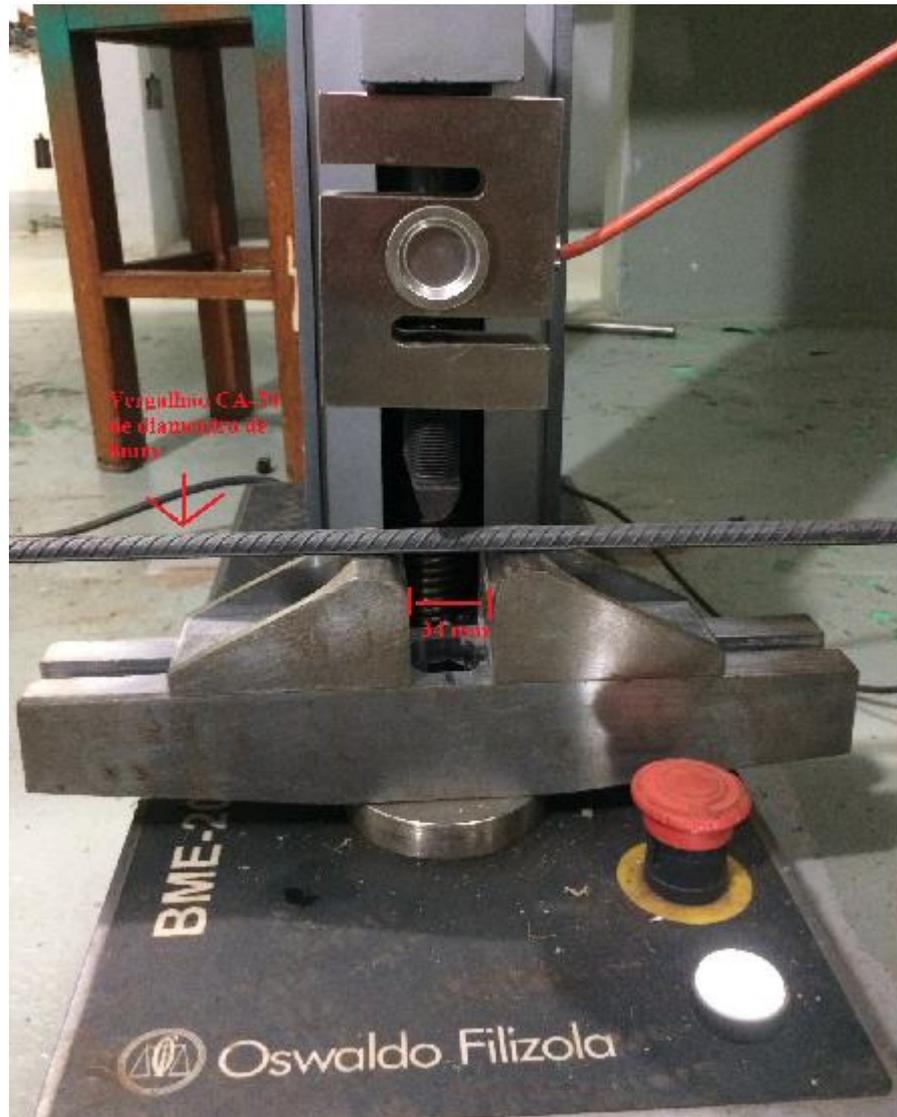
FIGURA 5 – Primeiros corpos de provas ao forno



Fonte: Daniela Nascimento Araújo, 2017.

Após o momento em que todos os corpos de prova foram expostos às temperaturas e tempos estabelecidos, eles ficaram ao ambiente para serem resfriados, para poder começar os ensaios. Antes de se realizar os devidos ensaios, o cimento que envolvia todos os corpos de prova foi quebrado com martelo, pois o estudo em questão visa avaliar o comportamento mecânico dos vergalhões. Em seguida, iniciou-se a etapa de ensaios de dobramento nos vergalhões de aço CA- 50 de 8 mm de diâmetro, que fundamenta em uma aplicação de carga de maneira crescente em alguns pontos do corpo de prova, causando no mesmo uma ruptura ou deformação plástica, segundo Bortoli (2007).

Para este experimento, empregou-se o método de dobramento, cuja barra é apoiada com aplicações de carga no centro da distância entre os apoios. Essa distância foi de 34 mm de acordo com a normas brasileiras NBR 6153 – “Produtos Metálicos – Ensaio de Dobramento semi guiado”, como demonstra a FIGURA 6. Na máquina de ensaios BME-20, Oswaldo Filizola do laboratório de Ensaios Mecânicos da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde, verificou-se quais dos cimentos foi o melhor isolante térmico para o aço mantendo suas propriedades mecânicas consideráveis.

FIGURA 6 – Ensaio de dobramento, 3 pontos

Fonte: Daniela Nascimento Araújo, 2017.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Depois de todos os dados terem sido obtidos, os efeitos variantes nos cp's foram analisados. Antes de analisar os vergalhões que foram revestido com concreto, pegou-se duas barras do aço Ca-50 que não foram revestidas para saber qual é a sua tensão suportada. Cada cp teve duas amostras do mesmo cimento, mesma temperatura e mesma quantidade de horas expostas. Em que foi apresentada uma tensão de 157,29 Mpa e outra barra apresentou 177,75 Mpa.

Observou-se durante a fase após o tempo de cura que havia, a diferença de cor entre os corpos de prova, sendo o CpII F mais escuro que o CpV ARI. Na medida em que iam

retirando os cp's do forno, percebeu-se que o tempo de resfriamento entre os dois tipos de cimento também variou, o CpII F resfriou-se mais lentamente que o CpV ARI. Foi notável também que os cp's que ficaram durante 1 hora dentro do forno não apresentaram fissuras, deformações ou spalling explosivo em sua estrutura de cimento. Contudo, os corpos de prova que permaneceram entre 1 e 2 horas a 900 °C, exibiram uma alteração em sua forma, expondo uma deformação no cimento, apresentaram esfarelamento e desagregação como apresenta a FIGURA 7.

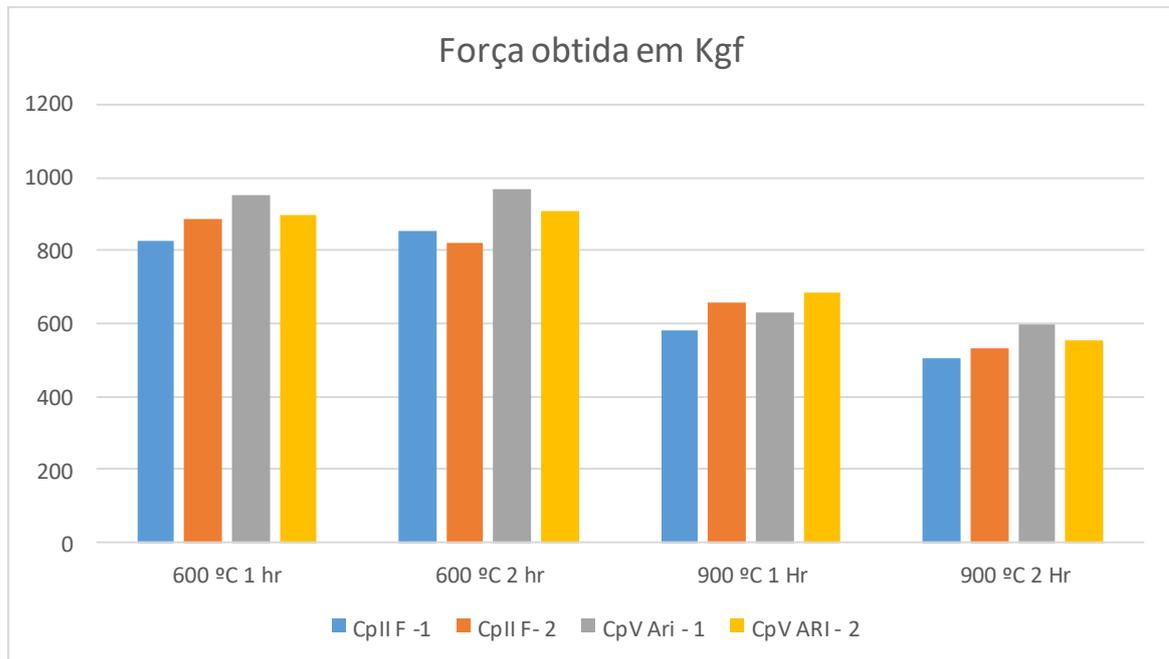
FIGURA 7 – Cp's que permaneceram expostos a 2 horas na temperatura de 900 °C



Fonte: Daniela Nascimento Araújo, 2017.

As diferenças entre os dois tipos de corpos de provas foram significativas e determinantes para diversificar os resultados obtidos no experimento, em que, na maioria dos casos, verificou-se que o cimento CpV ARI foi um melhor inibidor de calor ao aço, pois manteve ou melhorou a estrutura mecânica do aço CA-50.

A FIGURA 8 demonstra os valores das diferenças das tensões obtidas. Esses valores foram retirados com base na TABELA 1, nos quais exibem as variações de forças em que cada corpo de prova resistiu. Devido os testes terem sido feitos com 2 réplicas de corpo de provas, nota-se na FIGURA 8 duas versões de força do mesmo cimento, com a mesma temperatura e mesma quantidade de tempo que foi exposto.

FIGURA 8 – Diferença entre as forças obtidas

Fonte: Daniela Nascimento Araújo, 2017.

Desde o início dessa pesquisa, esperava-se de alguma forma que houvesse divergência entre os resultados dos cimentos, sendo um melhor isolante térmico para o aço que o outro. De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a composição e o modo de fabricação do cimento CpV ARI é distinta dos demais cimentos existentes, onde não há adição de material aditivo assim como o cimento tradicional, porém a quantidade de material carbonático é de até 5%, a dosagem de calcário e argila é diferenciada e ele possui moagem fina.

No momento de pós-testes de ensaios de dobramento, foi feita uma análise estatística dos resultados para checar a influência dos cimentos sobre o comportamento mecânico dos aços. Decorrente a conclusão dos ensaios, nota-se a deformação plástica dos cp's, conforme mostra a FIGURA 9.

A TABELA 1 apresenta os valores de força obtida em Kgf que cada vergalhão resistiu, isso implica que quanto maior foi a força, melhor o cimento conseguiu inibir o calor ao aço, e seguidamente a TABELA 2, que mostra a análise de variância (ANOVA).

FIGURA 9 – Corpo de prova após ensaio de dobramento

Fonte: Daniela Nascimento Araújo. 2017.

TABELA 1 – Ensaio de dobramento, mostrando a tensão obtida em Mpa.

Tipo de Cimento	Temperatura (°C)							
	600				900			
	1 hora		2 horas		1 hora		2 horas	
Cp II F	159,92	172,12	166,69	160,57	113,09	128,01	97,96	113,11
Cp V Ari	185,77	175,04	189,15	175,45	123,00	133,57	114,90	106,92

Fonte: Daniela Nascimento Araújo, 2017.

Ao comparar os valores obtidos com as barras que não foram revestidas com os cimentos e nem expostas às temperaturas elevadas, pode-se notar que houve diferença de valores. Nota-se que o cimento CpII F há 1 hora exposto a 600 °C perdeu resistência, enquanto o cimento CpV ARI melhorou e aumentou a resistência do vergalhão. Os resultados com a temperatura a 900 °C também foram divergentes, porém com uma menor diferença de valores, percebe-se que o cimento CpV ARI possui valores superiores de resistência.

Para a análise de variância, foram estabelecidas as hipóteses a seguir, onde A representa o cimento utilizado, B temperatura e C tempo:

- H_{0A} : o cimento não influencia na resistência mecânica do vergalhão;
- H_{1A} : o cimento influencia na resistência mecânica do vergalhão;
- H_{0B} : a temperatura não influencia na resistência mecânica do vergalhão;
- H_{1B} : a temperatura influencia na resistência mecânica do vergalhão;
- H_{0C} : o tempo não influencia na resistência mecânica do vergalhão;

- H_{1C} : o tempo influencia na resistência mecânica do vergalhão;
- H_{0AB} : a interação entre cimento e temperatura não influencia na resistência mecânica do vergalhão;
- H_{1AB} : a interação entre cimento e temperatura influencia na resistência mecânica do vergalhão;
- H_{0AC} : a interação entre o cimento e o tempo não influencia na resistência mecânica do vergalhão;
- H_{1Ac} : a interação entre o cimento e o tempo influencia na resistência mecânica do vergalhão;
- H_{0BC} : a interação entre temperatura e tempo não influencia na resistência mecânica do vergalhão;
- H_{1BC} : a interação entre temperatura e tempo influencia na resistência mecânica do vergalhão;
- H_{0ABC} : a interação entre cimento, temperatura e tempo não influencia na resistência mecânica do vergalhão;
- H_{1ABC} : a interação entre cimento, temperatura e tempo influencia na resistência mecânica do vergalhão;

Para uma melhor análise e visão dos resultados, foi feita a TABELA 2, que tem como objetivo apresentar quais são os fatores que influenciam ou não na resistência mecânica dos vergalhões. Se o F_0 calculado apresentar valores maiores que o F_0 tabelado significa que o fator em estudo influencia.

TABELA 2 – Análise de variância dos valores obtidos, a partir das 3 variáveis, onde A é o tipo de cimento, B temperatura e C tempo

Variável	SQ	Fi	MQ	F0cal	F0tab	Resultado
A	17885,0502	1	17885,0502	12,9183	5,32	Influencia
B	351791,3344	1	351791,3344	254,0971	5,32	Influencia
C	9061,1361	1	9061,1361	6,5448	5,32	Influencia
AB	1277,7050	1	1277,7050	0,9229	5,32	Não influencia
AC	505,5752	1	505,5752	0,3652	5,32	Não influencia
BC	8042,5024	1	8042,5024	5,8091	5,32	Influencia
ABC	28,6760	1	28,6760	0,0207	5,32	Não influencia
ERRO	11075,8097	8	1384,4762			
TOTAL	399667,7891	15				

Fonte: Daniela Nascimento Araújo, 2017.

Para todos os fatores (A, B e C) foi empregado um nível de significância de $\alpha = 5 \%$. Para o presente trabalho houve sinais de evidências significativas ao nível de 5% de probabilidade que o fator A (tipo de cimento), influenciou no resultado, esse valor deu-se por verdadeiro, pois o cimento CpV ARI obteve melhores resultados nos aços que foram revestidos por eles.

Em relação ao fator B (temperatura), o F_0 calculado $> F_0$ tabelado, admitindo-se que a temperatura influencia na estrutura do concreto e do vergalhão, o que era esperado, pois a partir de 300 °C nos componentes de concreto, há uma perda significativa em sua resistência mecânica (MORALES; CAMPOS; FANGELLO, 2011).

O fator C (tempo) também apresentou influência na sua resistência mecânica dos componentes estudados, no qual houve mais perda de resistência em corpos de prova expostos por 2 horas. As combinações AB (tipo de cimento + temperatura), AC (tipo de cimento + tempo) e ABC (tipo e cimento + temperatura + tempo), não apresentaram influência significativa no material, enquanto as combinações BC (temperatura + tempo), o F_0 calculado foi maior que o F_0 tabelado, mostrando uma influência significativa.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi avaliada a influência de cimentos distintos, com mesmo traço, temperatura e tempo que ficaram expostos, analisando-se o comportamento mecânico do aço CA-50 de 8 mm de diâmetro, onde réplicas de corpo de prova foram examinadas e coletadas, e conclui-se:

- O tipo de cimento influencia tanto no comportamento mecânico do concreto quanto na do aço, pois em relação ao aço, neste estudo o cimento do tipo CpV ARI foi o melhor isolante térmico, pois manteve tanto as propriedades mecânicas do aço como o tornou mais resistente.
- A temperatura em que os corpos de prova ficaram expostos também foi outro fator decisivo para ser avaliado neste trabalho, pois quanto mais alta a temperatura, maior foi o desgaste da estrutura do cimento e perda de resistência do aço.

- Em relação ao tempo empregado, nota-se que nos dois tipos de cimento quanto menor o tempo em que os corpos de prova ficaram expostos, menor foi a perda de resistência mecânica do aço.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/cimento-portland-cp-ii-nbr-11578/>>. Acesso em 24 jun. 2017.
- AZEVEDO, M. S.; MURAKAMI, A.; SILVA, V. P. Segurança das estruturas de aço externas a edificações em situação de incêndio. *Revista Escola de Minas*, v. 60, n. 2, abr./jun. 2007.
- CALDAS, R. B. *Análise numérica de estruturas de aço, concreto e mistas em situação de incêndio*. 2008. 249f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- CAMPÊLO, L. S. *Estudo Numérico e Analítico para Determinação em Situação de Incêndio da Carga Crítica de Vigas de Aço com Carga Concentrada*. 2008. 165f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- COELHO, A. L. *Incêndios em edifícios*. Editora Orion, 2010.
- COSTA, C. N.; SILVA, V. P. Dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio. Métodos tabulares apresentados em normas internacionais. In: SIMPÓSIO EPUSP – ESTRUTURAS DE CONCRETO, EPUSP, 5, 2005, São Paulo. *Anais...* São Paulo: EPUSP, 2005.
- COSTA, C. N.; SILVA, V. P. Estruturas de concreto em situação de incêndio. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 30, 2002, Brasília. *Anais...* Brasília: PECC-UnB/ASAEE, 2002.
- CUOGHI, R. S. *Aspectos de análise de risco das estruturas de concreto em situação de incêndio*. 2006. 247f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- DALCIN, G. B. *Ensaio dos materiais*. 2007. 41 f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Mecânica) – URI – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo, 2007.
- FAKURY, R. H.; SILVA, V. P.; MARTINS, M. M. *Temperatura crítica de elementos estruturais de aço em situação de incêndio*. Punta Del Este: Facultad de Ingeniería - Universidad de La Republica, 2000.
- FERREIRA, P. M. C. *Evolução da temperatura em elementos de aço sujeitos ao fogo*. 2011. 124f. Tese (Dissertação em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.
- LIMA, R. C. A. et al. Efeito de altas temperaturas no concreto. In: SEMINÁRIO DE PATOLOGIAS DAS EDIFICAÇÕES, 2, 2004, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: UFRGS. 2004.

- MARTINS, M. M. *Dimensionamento de estruturas de aço em situação de incêndio*. 2000. 232f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. M. *Concreto: estrutura, propriedade e materiais*. São Paulo: Pini, 2008.
- MESQUITA, A. *Verificação da resistência de estruturas de aço ao fogo*. 2013. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.
- MORALES, G.; CAMPOS, A.; FAGANELLO, A. P. A Ação do fogo sobre os componentes do concreto. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 32, n. 1, p. 47-55, 2011.
- MRÓZ, K.; HAGER, I.; KORNIEJENKO, K. Material solutions for passive fire protection of buildings and structures and their performances testing. *Procedia Engineering*, v.151, p. 284-291, 2016.
- NORMA TÉCNICA, 08/2014. *Resistência ao fogo dos elementos de construção*. Goiânia: Secretaria da Segurança Pública/Corpo de Bombeiros Militar. Disponível em: <http://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2014/03/nt-08_2014-resistencia-ao-fogo-dos-elementos-de-construcao.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2017.
- OLIVEIRA, T. A. C. P. *Gerenciamento de riscos de incêndio: avaliação do impacto em estruturas de concreto armado através de uma análise experimental de vigas isostáticas*. 2006. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.
- PIERIN, I.; SILVA, V. P.; ROVERE, H. L. LA. Análise térmica de estruturas bidimensionais em situação de incêndio. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, v.8, n. 1, p. 25-48, fev. 2015.
- PIQUER, A.; HERNÁNDEZ-FIGUEIRIDO, D. Protected steel columns vs partially encased columns: Fire resistance and economic considerations. *Journal of Constructional Steel Research*, v. 124, p. 47-56, 2016.
- RIGOBELLO, R. *Desenvolvimento e aplicação de código computacional para análise de estruturas de aço apostiçadas em situação de incêndio*. 2011. 102f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- RIGOBELLO, R.; ALMEIDA, S. J. C.; MUNAIAR NETO, J.; MALITE, M.; SILVA, V. P. Influência da vinculação em modelos numéricos de vigas mistas de aço e concreto em situação de incêndio. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, v. 3, n. 3, p. 357-373, set. 2010.
- ROCHA, F. M.; MUNAIAR NETO, J. Análise de vigas mistas de aço e concreto pertencentes a pisos de baixa altura em situação de incêndio: ênfase à influência dos modelos constitutivos do concreto. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, v. 7, n. 1, fev. p. 158-177, 2014.
- SILVA, V. P. Dimensionamento de pilares de concreto armado em situação de incêndio. Uma alternativa ao método tabular da NBR 15 200:2004. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, v.1, n.4, p. 331-392, dez. 2008.

SILVA, V. P. *Estruturas de aço em situação de incêndio*. 1997. 170f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

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

SILVA; V. P.; PANNONI; F. D. *Estrutura de aço para edifícios*. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

SOUZA, A. A. A. *Influência do Tipo de Agregado nas propriedades mecânicas do concreto submetido ao fogo*. 2005. 169f. Dissertação (Mestrado em Concentração em Edificações) - Faculdade de Engenharia Civil - Unicamp, São Paulo, 2005.

XIÃO, J.; KONIG, G. Study on concrete at high temperature in China – na overview. *Fire Safety Journal*, v. 39, p. 84-103, 2004.

ZABEU, L. J. L. *Comportamento de estruturas de concreto de edifícios industriais compartimentados submetidos à situação de incêndio*. 2011. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, 2011.