

FACULDADE EVANGÉLICA DE JARAGUÁ
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FABIANA MORAIS BRAGA
ISAAC MARTINS RAMOS

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE VIDRO MOÍDO
APÓS EXPOSIÇÃO A ELEVADAS TEMPERATURAS**

Jaraguá- 2019

**FABIANA MORAIS BRAGA
ISAAC MARTINS RAMOS**

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE VIDRO MOÍDO
APÓS EXPOSIÇÃO A ELEVADAS TEMPERATURAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Civil da Faculdade Evangélica de Jaraguá, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador (a):
Prof.^a M.^a Jéssica Nayara Dias

**FABIANA MORAIS BRAGA
ISAAC MARTINS RAMOS**

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE VIDRO MOÍDO
APÓS EXPOSIÇÃO A ELEVADAS TEMPERATURAS**

Trabalho de Conclusão de Curso DEFENDIDO e APROVADO em ____ de _____ de
201__, pela Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil, constituída pelos membros:

Prof.^a. M.^a Jéssica Nayara Dias
- Orientadora -

Prof. Esp. Aurélio Caetano Feliciano
- Membro Interno -

Prof.^a. M.^a Luana de Lima Lopes
- Membro Externo -

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Concreto	6
2.2 Vidro	7
2.3 Compósitos cimentícios	8
2.4 O comportamento do concreto perante o fogo	8
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL	11
3.1 Materiais	11
3.2 Amostras e corpos de prova	11
3.3 Traços das amostras	12
3.4 Moldagem e cura	12
3.5 Simulação de incêndio em corpos de prova de concreto	14
3.6 Resistências à compressão do concreto submetido a altas temperaturas	15
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	16
4.1 Ensaios de resistência à compressão	16
4.2 Redução da resistência à compressão devido o aumento da temperatura e modo de resfriamento	18
4.3 Redução da resistência à compressão devido o teor de vidro na mistura	21
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
REFERÊNCIAS	22

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE VIDRO MOÍDO APÓS EXPOSIÇÃO A ELEVADAS TEMPERATURAS

Isaac Martins Ramos¹
Fabiana Moraes Braga²
Jéssica Nayara Dias³

RESUMO

A utilização de partículas de vidro na composição do concreto, busca no âmbito tecnológico, um aprimoramento das propriedades do mesmo. O presente trabalho objetiva o estudo da utilização do vidro moído, proveniente das garrafas *long-neck*, que são descartadas de forma inadequada no meio ambiente. A areia fina existente na composição do concreto foi substituída pelo vidro moído em diferentes porcentagens em busca de melhoraria das propriedades do concreto. Foram produzidos 108 corpos de prova divididos em quatro traços, com diferentes quantidades de adição de vidro (0%, 20%, 50% e 100%) em substituição a areia fina, visando à sustentabilidade. Após a preparação dos corpos de prova, segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015), os mesmos foram submetidos a elevadas temperaturas, 300°C e 600°C, com tempo de exposição de 30 e 60 minutos e modos de resfriamento lento e brusco. Obtiveram-se resultados satisfatórios em relação à porcentagem de 20% de substituição, pois nesta, a resistência obtida foi maior que a resistência dos corpos de prova utilizados como referência, viabilizando assim, a sua utilização em termos estruturais.

Palavra-chave: concreto; sustentabilidade; vidro; temperatura.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Civil – Faculdade Evangélica de Jaraguá. E-mail: fabianamoraaisbraga@hotmail.com

² Acadêmico do curso de Engenharia Civil – Faculdade Evangélica de Jaraguá. E-mail: isaac_martinsramos@hotmail.com.com

³ Professora, Mestre em integridade de materiais da Engenharia, orientadora do curso de Engenharia Civil – Faculdade Evangélica de Jaraguá. E-mail: jessicadias.engenharia@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A Indústria da construção civil é a atividade humana com maior impacto sobre o meio ambiente. No início de sua evolução, os impactos ecológicos não eram vistos como algo relevante, devido à produção ainda ser pequena. Porém, com o avanço tecnológico, viu-se a necessidade de se preocupar e procurar maneiras para minimizar os impactos ambientais, o que culminou no termo desenvolvimento sustentável (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, Lei nº 12.305/10, propõe práticas para a prevenção e redução na produção de resíduos sólidos, orientando quanto à prática do consumo sustentável e ferramentas para propiciar o crescimento da reciclagem e reutilização dos resíduos, além da destinação ambientalmente correta. A Reciclagem e a reutilização desses recursos na construção civil contribuem positivamente quanto à conservação dos recursos ambientais e a utilização de recursos alternativos (KLAMT et al., 2017).

Visando a sustentabilidade e levando em consideração a grande importância do cimento na construção civil, tornaram-se frequentes a realização de pesquisas com o intuito de encontrar materiais alternativos, com princípio, condições e composição diferente do cimento. Buscando materiais que agregam características ao cimento sem alterar sua resistência obtida pelos ensaios de compressão (GALVÃO et al., 2018).

O concreto é um dos materiais com maior uso nas obras de engenharia e, devido a isso, está em constante estudo. Sua grande aplicabilidade se deve à durabilidade, trabalhabilidade e versatilidade, sendo por isso utilizado de formas diversas, sejam em peças com função estrutural ou não. A possibilidade da incorporação de resíduos em misturas à base de cimento é uma contribuição da construção civil para a reciclagem de resíduos prejudiciais ao meio ambiente, podendo também melhorar o desempenho dos materiais com sua adição (MARQUES; AKASAKI; FIORITI, 2012).

O Concreto é obtido por meio da mistura adequada de cimento, agregado fino, agregado graúdo e água. Em algumas situações, são incorporados produtos químicos ou outros componentes, como microssílica, polímeros etc. As adições têm a finalidade de melhorar algumas propriedades, como aumentar a trabalhabilidade e a resistência e retardar a velocidade das reações químicas que ocorrem no concreto (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2017).

Dentre as inúmeras propriedades do concreto comumente são realizados estudos destacando a resistência à compressão, a resistência à tração e o módulo de elasticidade. No entanto, a condutividade térmica é um importante parâmetro a ser analisado, uma vez que permite analisar o desempenho do material em situação de incêndio. Em relação ao seu comportamento em situações de incêndio, o concreto perde a água presente em sua interface e, posteriormente, ao ser submetido a um brusco resfriamento, pelo lançamento de água na estrutura, passa a apresentar baixa resistência mecânica (MORALES; CAMPOS; FAGANELLO, 2011). Nesse sentido, a adição de um material, como agregado, que apresente propriedades distintas daquelas apresentadas pelo concreto, pode contribuir com o aumento da sua resistência em situações de incêndio. Pesquisas na área mostram que um dos agregados que podem auxiliar o concreto nesse sentido é o vidro moído.

O Vidro, após passar por um processo de moagem, passa a ter uma granulometria menor que da areia fina (natural), permitindo que, ao ser adicionado no concreto no lugar parcial/total da areia, preencha melhor os vazios e possibilite reduzir as patologias nas estruturas. O composto cimentício resultante, ao ser exposto ao resfriamento brusco, não perde drasticamente sua resistência mecânica em função da presença do vidro.

Com o intuito de averiguar o desempenho do concreto quando submetido a elevadas temperaturas, realizou-se, neste artigo, a avaliação das propriedades mecânicas do concreto

convencional em comparação com o concreto com substituição parcial e total do agregado miúdo por vidro moído.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concreto

Ainda hoje as estruturas de concreto armado são as mais utilizadas no Brasil para a execução de pequenas, médias e grandes edificações. Sua ampla utilização, associada à sua complexidade química e física, fazem do material um dos mais visados nas pesquisas da área, de modo a buscar formas de melhorar/aprimorar suas características tanto quando sujeito a situações comuns quanto a situações peculiares (LOREZON, 2014).

O Concreto é formado pela mistura de Cimento Portland (CP), água, agregado graúdo (brita ou cascalho) e agregado miúdo (areia). O principal constituinte do concreto é o cimento, um material obtido pela pulverização de clínker, de natureza granulosa, constituído de silicatos hidráulicos de cálcio, com certa proporção de sulfato de cálcio natural. Existe atualmente vários tipos de cimentos, que são produzidos com adições específicas que tem por função modificar as propriedades do material de modo a melhorá-lo ou facilitar seu emprego (BAUER, 2016).

Dentre os cimentos produzidos no Brasil, Ambrozewicz (2012) destaca a utilização do Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V – ARI) devido ao fato deste alcançar alta resistência inicial já nos primeiros dias, podendo assim realizar a desforma de forma antecipada e sendo seu emprego muito utilizado em obras protendidas.

De uma forma geral, pode-se dizer que todos os estudos realizados acerca do concreto, visam a obtenção de benfeitorias relacionadas a vida útil das edificações. Sua durabilidade está diretamente vinculada à forma pela qual a estrutura foi projetada, executada e utilizada, levando em consideração as condições ambientais e as devidas manutenções previstas em projeto, que conservem a segurança e a estabilidade (HELENE, 2004).

Nesse sentido, o levantamento das propriedades do concreto, físicas e químicas, se constitui como um dos enfoques das pesquisas da área, uma vez que diversos fatores irão interferir de maneira efetiva na resposta que o material terá em serviço. Dentre esses fatores, alguns se sobressaem, como por exemplo: a quantidade de água inserida no concreto durante sua fabricação, a natureza do agregado utilizado e a interação entre os constituintes da mistura.

Cada um dos constituintes do concreto é adicionado à mistura com um determinado intuito, a água, por exemplo, tem por função hidratar o cimento e fazer com que este, que é um aglomerante hidráulico, endureça adquirindo resistência mecânica. A relação água/cimento (a/c) é o principal fator a ser observado para garantia desse pré-requisito mínimo, devendo estar dentro dos valores estipulados pela NBR 6118 (ABNT, 2014). Além disso, a norma cita que o coeficiente de dilatação do concreto, para uma análise estrutural, é de $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Os agregados, por sua vez, segundo Andolfato (2002) representam cerca de 75% do total do concreto e suas características agregam valor em suas proporções. A NBR 7211 (ABNT, 2005) estabelece o agregado miúdo como sendo os grãos que passam pela peneira com abertura da malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μm . Os Agregados graúdos, por sua vez, são os grãos cuja granulometria refere-se aos grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 4,75 mm (ABNT, 2005).

No que se refere às principais propriedades do concreto, segundo Andolfato (2002), em seu estado fresco, o mesmo tem consistência plástica e pode ser moldado, na forma e nas dimensões desejadas. A plasticidade encontrada no concreto fresco facilita o transporte, assim

como o lançamento e adensamento do mesmo. O concreto endurecido, por sua vez, tem elevada resistência à compressão e baixa resistência à tração (ANDOLFATO, 2002). Nesse estado, o concreto apresenta as propriedades que atendam ao especificado em projeto, como às resistências a compressão e à tração, módulo de deformação, etc. Objetivando melhorar ou corrigir algumas propriedades do concreto, aditivos químicos podem ser empregados, ainda no seu preparo, podendo proporcionar ao concreto alterações referentes a sua plasticidade, tempo de pega, permeabilidade e resistência à compressão, por exemplo (YAZIGI, 2014).

2.2 Vidro

Os vidros pertencem ao grupo da família das cerâmicas, sendo uma substância inorgânica composta por óxidos metálicos, geralmente sódio, sílica e cálcio. O material tem como principais características o isolamento elétrico e ao calor, sendo as cerâmicas duras, porém muito frágeis, quando se refere ao seu comportamento mecânico (CALLISTER JUNIOR, 1991).

São misturas estáveis, viscosas e consideradas como líquidos super-resfriados, tendo comportamento de sólido em temperatura ambiente. Os vidros comuns, utilizados em frascos, garrafas e vidros para janela, são considerados inorgânicos/vidros de sílica, e, segundo Callister (1991) possuem a adição de óxidos, como CaO e Na₂O.

As propriedades dos vidros, assim como todos os outros materiais, dependem de suas características estruturais. A estrutura por sua vez, esta condicionada principalmente pela composição química, e em menor escala também pela história térmica. O vidro é um material frágil, porém não fraco. Ele tem grande resistência à ruptura, podendo mesmo ser utilizado em pisos, é duro e rígido, porém não tenaz não sendo apropriado para aplicações sujeitas a impactos. O vidro na região elástica se comporta como o aço, voltando ao estado original quando a tensão cessa, porém, o vidro não se deforma plasticamente à temperatura ambiente e ao passar seu limite de resistência se rompe catastróficamente (AKERMAN, 2000).

Muitas são as características do vidro, entre elas, pode-se destacar que não é um material absorvente e nem poroso, além de ser um ótimo isolante. Suporta pressões de 5.800 a 10.800 kg.cm⁻² e possui um coeficiente de dilatação linear em torno de $9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (PINHEIRO, 2007). O Vidro é um produto muito apreciado pela sociedade moderna, e Coelho (2009), na Tabela 1, apresenta as propriedades físicas do material.

Tabela 1. Principais propriedades físico-químicas e atrativos do vidro (Coelho, 2009).

Propriedades Físicas	Atrativos
Dilatação térmica muito baixa	Transparente
	Inerte
	Prático e versátil
	Reutilizável
	Higiênico
Alta durabilidade	Impermeável
Baixa Condutividade elétrica	Retornável
Ótima resistência à água e a líquidos salgados bem como substâncias orgânicas, álcalis e ácidos, com exceção ao ácido fluorídrico e o fosfórico.	Reciclável

A obtenção da coloração do vidro está relacionada com o emprego de óxidos coloridos ou metais. É um fenômeno complexo, no caso do emprego de óxidos coloridos, a coloração depende da natureza e grau de oxidação dos íons utilizados, que devido às elevadas temperaturas na fabricação, sofrem modificações. No emprego de metais, em forma de partículas coloidais, a variação do comprimento de onda causado pelo tamanho das partículas,

influência na coloração do vidro. A cor verde está relacionada à adição de ferro, azul-esverdeado e verde-azulado com a adição de cobre e partículas de menores dimensões de ouro dão ao vidro tons que oscilam da púrpura ao amarelo (MANO, 2014).

A utilização do vidro na construção civil tem indícios desde a antiguidade, porém no século XX, as pesquisas referentes às propriedades químicas e físicas do vidro possibilitaram novos tipos de vidros e novas indústrias, na produção de vidros temperados, vidros laminados, vidro cerâmico, fibras de vidro e fibras óticas. Com a sua ascensão no século XX, tornou-se cada vez mais comum à utilização do vidro na construção civil (BAUER, 2017).

2.3 Compósitos cimentícios

Por compósito cimentício entende-se o concreto com adição de materiais que não aqueles comumente empregados: cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e aditivos. O estudo e desenvolvimento de técnicas para produzir esses compósitos vêm da necessidade de inserir, no contexto da construção civil, o conceito de desenvolvimento sustentável. Segundo Silva (2016), o desenvolvimento desses novos materiais busca, além de sustentabilidade, uma melhora nas características do concreto, possibilitando o aumento da resistência e aperfeiçoando o desempenho em edificações (SILVA, 2016).

Estudos são realizados constantemente buscando os melhores arranjos de adição para o concreto. Oliveira (2013) relata a ampla utilidade de compósitos cimentícios com adição de fibras vegetais, onde, dentre as possíveis finalidades pode-se destacar o uso em placas planas e corrugadas para elemento de cobertura, revestimentos externos entre outros.

O tamanho reduzido de alguns componentes que são adicionados ao concreto como, por exemplo, a microcelulose cristalina, permite que ocorra a interação entre a celulose e o cimento, auxiliando de forma potencial na formação de microfissuras e aumento da resistência do concreto (SILVA, 2016).

Outro exemplo de compósitos cimentícios são aqueles reforçados com curauá, que, em termos de sustentabilidade, são materiais de construção promissores para a aplicação de revestimento com base em sua leveza, baixa condutividade térmica e tenacidade do material derivada de uma combinação de resistência à tração e ductilidade à tração (SOLTAN et al., 2017).

A adição de partículas de vidro ao concreto pode ser citada como uma forma de reutilizar o mesmo, que muitas vezes é descartado sem um fim regular (RIGHI et al., 2012). A soma de fibras de vidro ao concreto busca o progresso nas propriedades mecânicas do mesmo e segundo Bonifácio e Godinho (2014), esta combinação teve um aumento na resistência à flexão do concreto em 6,1%.

2.4 O comportamento do concreto perante o fogo

O Concreto, comum ou com adição, passa por muitos ensaios em busca de melhorias em seu desempenho e em suas propriedades mecânicas. A relação água cimento (a/c), contida em sua produção, é um fator importante para entender o seu processo de cura e posteriormente em situações extremas, como o incêndio e analisar como o concreto irá se comportar. Essas estruturas, após exposição a elevadas temperaturas estão propícias aos processos de “pop outs” (pipocamentos) e “spalling” (lascamentos), proporcionando a exposição da armadura (COSTA; FIGUEIREDO; SILVA, 2002).

Pode-se dizer que, tecnicamente que o *spalling* resulta de dois processos independentes, que ocorrem ao mesmo tempo no interior da massa de concreto aquecida. O primeiro deles, que pode ser denominado *termomecânico*, está relacionado ao aparecimento de tensões geradas pelas variações de deformação térmica que ocorrem na estrutura. O segundo processo tem natureza *termo-hidráulica*, e está associado à transferência de massa

(ar, vapor e água) através dos poros, resultando no aparecimento da variação de pressão no interior da massa, com subsequente acréscimo de pressão nos poros (KALIFA; MENNEAU; QUENARD, 2001).

De acordo com Lima (2005), o *spalling* pode ser subdividido em categorias baseadas no local e na intensidade do fenômeno, conforme apresentados de forma resumida no Quadro 1.

Quadro 1. Diferentes tipos de *spalling* (LIMA, 2005).

Spalling	Tempo (min)	Natureza	Som	Dano	Influência
Agregado	7 a 30	Intenso	Estalo	Superficial	H A S D W
Cantos e quinas	30 a 90	Não-violento	Nenhum	Pode ser sério	T A Ft R
Superfície	7 a 30	Violento	Estampido	Pode ser sério	H W P Ft
Resfriamento	Durante	Não-violento	Nenhum	Pode ser sério	T X
Todo elemento	7 a 30	Violento	Estrondo	Sério	H A S Fs G L O P Q R S W Z

Legenda	
A	expansão térmica do agregado
D	difusão térmica do agregado
Fs	resistência cisalhamento do concreto
Ft	resistência a tração do concreto
G	idade do concreto
H	taxa de aquecimento
L	carregamento / restrições
O	perfil do aquecimento
P	permeabilidade
Q	seção transversal
R	armadura
S	tamanho do agregado
T	temperatura máxima
W	umidade
X	re-hidratação da cal
Z	tamanho da seção

O colapso das edificações em concreto de resistência convencional, durante incêndios, raramente se deve à perda de resistência sofrida por um elemento estrutural, estando normalmente associado à incapacidade das demais partes da estrutura de absorver as deformações térmicas horizontais impostas pelo aquecimento. Já em elementos estruturais confeccionado com concretos de alta resistência, esta tendência deve ser alterada, pois as estruturas podem sofrer consideráveis perdas de seção devido ao deslocamento (LIMA, 2005).

A NBR 14432 (ABNT, 2000), possui critérios que são baseados na resistência ao fogo dos elementos estruturais, considerando o tempo de exposição ao incêndio e o seu estágio de desenvolvimento. Ademais, cada estrutura possua a sua utilização, e com isso, cada uma apresenta um tempo requerido de resistência ao fogo, variando de 30 min a 120 min, dependendo do tipo de ocupação, profundidade do subsolo e altura da edificação.

O Corpo de Bombeiro Militar o Estado de Goiás (2016) define o fogo como sendo o resultando de um processo químico, denominado combustão, gerando uma reação em cadeia que transforma os materiais combustíveis e inflamáveis, em gases, e quando o mesmo está fora de controle, consumindo tudo aquilo que não deveria consumir, denomina-se incêndio, e devido a esse descontrole, pela ação de suas chamas, fumaça e calor, promove danos à vida humana, ao patrimônio e ao meio ambiente.

O Incêndio possui três fases de desenvolvimento: a fase inicial que se caracteriza pela elevação progressiva da temperatura, ocasionada pela inflamação gradual dos objetos existentes no local e também pela alimentação de ar; a segunda fase refere-se ao aquecimento, onde, se houver um caminho para a propagação do fogo, por meio de radiação ou convecção, acontecerá o aumento da temperatura do local e o desenvolvimento de fumaça e gases inflamáveis, e é nessa fase que pode haver comprometimento da estabilidade da edificação em consequência da elevação da temperatura nos elementos estruturais; e na última fase ocorre o resfriamento e a extinção do incêndio (NT 02, 2014).

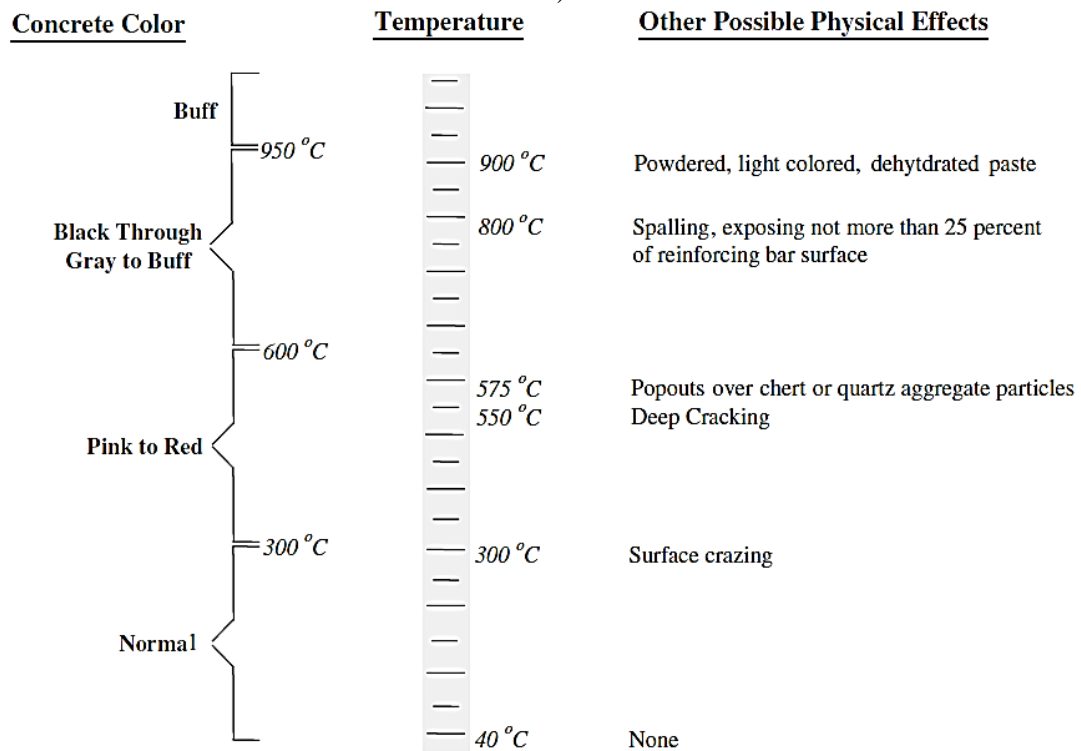
O aumento da temperatura em elementos estruturais, provocado pelo incêndio, causa à perda de resistência e redução no valor do módulo de elasticidade, reversíveis ou não, dependendo da intensidade desse aumento. A transmissão de calor do ambiente para a

estrutura ocorre por dois processos: convecção e radiação. A convecção é o processo em que existe a movimentação dos gases dentro do ambiente. Ao aquecer o gás, sua densidade diminui, fazendo com que o mesmo suba e troque calor com o elemento estrutural. A radiação é o processo no qual a fonte de calor emite ondas eletromagnéticas para o elemento estrutural, elevando a temperatura do mesmo. A transferência de calor também ocorre dentro do elemento estrutural por condução. Neste caso, as moléculas mais expostas ao ambiente se aquecem e transferem calor para as moléculas mais próximas e que estejam com menor temperatura (SOUZA; SILVA, 2015).

De Souza e Moreira Jr. (2010) ressaltam que a exposição de uma estrutura ao fogo/incêndio traz como consequência mudanças na coloração do concreto, devido a fumaça proveniente do incêndio, sendo esta uma simples descoloração ou macha. No entanto, com o aumento do tempo de exposição, pode ocorrer um prejuízo referente a perda da resistência mecânica da estrutura de concreto, resultando em sua completa destruição.

A avaliação do concreto danificado pelo fogo geralmente começa com a observação visual de mudança de cor, rachaduras e fragmentação da superfície. A cor do concreto fornece um amplo guia geral de temperaturas. A Figura 1 representa a mudança de cor no concreto em relação com o aumento da temperatura, observando-se que no aquecimento acima de 300°C, a cor do concreto pode mudar de normal para rosa (300-600°C) cinza esbranquiçada (600-900°C) e amarelada (900-1000°C).

Figura 1. Análise visual do concreto após elevação de temperatura (GEORGALI; TSAKIRIDIS, 2004).



A coloração rosa resulta da presença de ferro composto nos agregados finos ou graúdos. O primeiro efeito de uma lenta elevação da temperatura no concreto ocorrerá entre 100 e 200°C quando ocorre a evaporação da umidade livre contida na massa de concreto. A exposição instantânea pode resultar em lascas geradas devido às altas pressões internas de vapor (GEORGALI; TSAKIRIDIS, 2004).

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste trabalho foi quantificada e avaliada a resistência à compressão do concreto submetido a elevadas temperaturas através de uma abordagem experimental. Para tal, foram ensaiados corpos de prova cilíndricos em forno JUNG, analisando-se a influência de diferentes níveis de temperatura, variação de tempo e exposição e modos de resfriamento das amostras, em parâmetros da resistência do concreto. Nos itens a seguir são descritos os procedimentos adotados na realização do experimento.

3.1 Materiais

Os materiais usados para a produção dos concretos, objeto de estudo desta pesquisa, consistiam em agregados graúdos, agregados miúdos, vidro moído, cimento e água. Os agregados graúdos utilizados são de origem basáltica, denominados brita 0 e brita 1. Os agregados miúdos são divididos em duas composições granulométricas: Areia natural (Média fina) e areia natural (média grossa). O cimento utilizado foi o Cimento Portland Tipo - CP-V, e a água é a da rede de abastecimento da cidade de Anápolis- GO.

O programa experimental iniciou com a coleta de garrafas do tipo *long-neck*, as quais passaram por um processo de separação e eliminação de quaisquer substâncias presentes dentro dos fracos, juntamente com a retirada de rótulos, como ilustrado na Figura 3, em seguida essas garrafas foram moídas artesanalmente, adquirindo diversos tamanhos de grãos. Para obtenção de uma granulométrica padronizada, segundo a NBR ABNT NM 248:2003 (Determinação da composição granulométrica), os cacos de vidros foram peneirados manualmente, sendo aproveitados os resíduos passados na peneira nº 4 da ABNT (#2,5 mm).

Figura 2. Garrafas *Long-Neck*.



3.2 Amostras e corpos de prova

Após a caracterização e pesagem dos materiais, foram moldados 108 corpos de prova cilíndricos de concreto divididos em quatro traços, com dimensões de 10 cm x 20 cm (diâmetro x altura), utilizando as recomendações do método de dosagem. Cada grupo possui 27 corpos de prova, os quais estão relacionados com o teor de adição e substituição da areia fina pelo vidro moído.

Cada grupo, individualmente, foi aquecido em níveis de temperatura indicados na Tabela 2, sendo que os grupos foram submetidos a dois tempos de exposição e para cada tempo de exposição, duas formas de resfriamento.

Tabela 2. Esquemática dos ensaios em altas temperaturas

Nível de temperatura	Tempo de exposição	Resfriamento
300°C	30 min	Lento
		Brusco
	60 min	Lento
		Brusco
600°C	30 min	Lento
		Brusco
	60 min	Lento
		Brusco

3.3 Traços das amostras

O traço adotado neste trabalho foi cedido pela Concreteira REDMIX da Cidade de Anápolis-GO, sendo um traço comercialmente empregado seguindo os parâmetros e recomendações da NBR 6118 (ABNT, 2014) com consistência fixada em 90 ± 20 cm. O traço unitário do concreto, em massa, foi de 1 : 2,83 : 2,68 : 0,6 (cimento: areia: brita: água).

Para cada grupo de corpos de prova foi calculado e pesado o consumo de areia fina, sendo substituídas as porcentagens pré-definidas de 0, 20, 50 e 100 % da mesma por vidro moído.

3.4 Moldagem e cura

A moldagem dos corpos de prova foi realizada entre os dias 26 a 29 de Agosto de 2019, sendo que, em cada dia realizou-se a preparação e moldagem dos corpos de prova como indicado na Tabela 3.

Tabela 3. Cronograma de moldagem dos corpos de prova

Data de moldagem	Adição de Vidro (%)
26/08/2019	0%
27/08/2019	20%
28/08/2019	50%
29/08/2019	100%

Com todos os materiais necessários separados e os moldes preparados com desmoldante vegetal, iniciou-se a mistura dos materiais na betoneira com capacidade de 250 Litros. Após o concreto pronto, realizou-se o ensaio do *Slump Test*, conforme a NBR NM 67:1998 (Determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco do cone) e em seguida foram moldados os corpos de prova através do adensamento manual. Em relação ao processo de fabricação do concreto, a Figura 3.a apresenta a betoneira usada no processo e a Figura 3.b apresenta a realização do *slump test*.

Figura 3. Processo de fabricação do concreto: (a) Betoneira utilizada; (b) *Slump Test* (Abatimento).



Após a realização do *slump test*, os corpos de prova foram moldados (Figura 4. a). Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados (Figura 4. b) e levados para a câmara úmida onde foram armazenados em uma caixa d'água em solução de água e cal hidratada durante 6 dias em temperatura ambiente (Figura 5. a).

Figura 4. (a) Moldagem dos corpos de prova; (b) Corpos de prova desmoldados.



Passado este período, os corpos de prova foram retirados da solução e dispostos em ambiente de laboratório por aproximadamente duas horas para posteriormente serem submetidos aos ensaios conforme a Figura 5 (b). O processo foi repetido para todas as adições propostas neste trabalho.

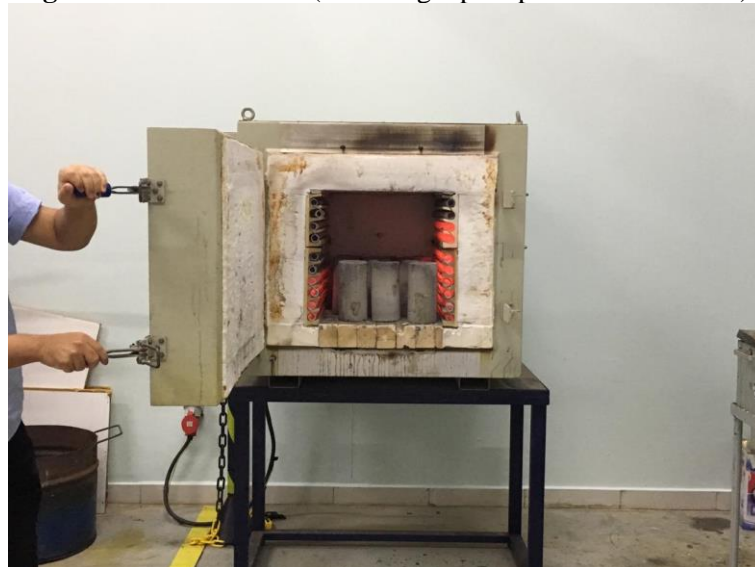
Figura 5. (a) Corpos de prova em cura submersa; (b) Corpos de prova em ambiente de Laboratório.



3.5 Simulação de incêndio em corpos de prova de concreto

Para a simulação da situação de incêndio foi utilizado um forno elétrico com controlador automático de temperatura digital, como mostra a Figura 6. Este equipamento está disponível no Laboratório de térmicas no Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis-GO. No forno, os corpos de prova com idade de 7 dias foram aquecidos a dois níveis de temperaturas: 300°C e 600°C, durante dois períodos de tempo e, posteriormente, passaram por duas formas de resfriamento.

Figura 6. Forno elétrico (Tecnologia para processos térmicos).



O processo de resfriamento Brusco foi realizado após a saída dos corpos de prova do forno, onde os mesmos foram mergulhados em balde metálico com água em temperatura ambiente, conforme a Figura 7 (a), de forma que a água era trocada cada vez que esse processo se repetia. Já no processo de resfriamento lento, Figura 7 (b), os corpos de prova esfriaram sem qualquer intervenção, sendo separados e demarcados com giz após a retirada do forno, e armazenados em ambiente de laboratório por oito horas.

Figura 7. Formas de Resfriamento dos corpos de Prova: a) Brusco e b) Lento.



Conforme citado, os corpos de prova foram separados em grupos em relação às suas respectivas adições. Para cada grupo, foram separados três corpos de prova que não foram submetidos ao processo de aquecimento em forno com elevada temperatura, de modo que estes corpos de prova foram utilizados como parâmetros de comparação da resistência.

As temperaturas foram definidas baseadas em artigos e materiais disponíveis na literatura sobre o assunto. De acordo com o CORPO DE BOMBEIRO MILITAR DO DISTRITO FEDERAL (CBMDF, 2009) as temperaturas presentes em um incêndio podem variar de 284,29°C a 842,67°C. Estudos realizados por Lorenzon (2014) traz como resultados que a uma elevada temperatura, próxima a máxima temperatura prevista no artigo do CBMDF, ocorrem perdas significativas na resistência do concreto.

3.6 Resistências à compressão do concreto submetido a altas temperaturas

Entre os dias 02 a 05 de outubro, após os corpos de prova terem sido expostos a altas temperaturas no forno elétrico com controlador automático de temperatura digital, de modo a simular a situação de incêndio, e de terem passado pelo processo de resfriamento, como pré-estabelecido, foi realizado o ensaio de resistência à compressão. A Tabela 4 apresenta o cronograma seguido para a realização deste ensaio, que foi executado aos 7 dias de vida dos corpos de prova no laboratório de materiais de construção do Centro Universitário de Anápolis, em prensa hidráulica ilustrada na Figura 9.

Tabela 4. Cronograma de Ensaio à compressão axial dos corpos de prova

Data de Ensaio	Idade	Adição de Vidro (%)
02/09/2019	07 dias	0%
03/09/2019	07 dias	20%
04/09/2019	07 dias	50%
05/09/2019	07 dias	100%

Figura 8. Prensa hidráulica monitorada por computador.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados é uma condição indispensável à compreensão da influência das variáveis investigadas no comportamento à compressão do concreto que possui adições, e neste programa experimental em específico, a adição utilizada foi de vidro para substituição do agregado miúdo em determinadas porcentagens.

4.1 Ensaios de resistência à compressão

Os procedimentos de ensaio foram na NBR 5739 (ABNT, 1994), sendo a carga máxima o parâmetro utilizado para o controle de qualidade do concreto. As Tabelas 5, 6, 7 e 8 apresentam os valores obtidos de resistência à compressão, em MPa, baseados para cada corpo de prova exposto a altas temperaturas, nas diversas formas de ensaio. Para cada grupo de corpos de prova é apresentado a média aritmética. Os corpos de prova que não foram levados ao forno elétrico, foram rompidos para obter parâmetros iniciais de análise para cada grupo com e sem adição, os resultados são apresentados nas tabelas mencionadas com os valores de referência.

Tabela 5. Resistência à compressão do concreto com 0% de vidro moído.

		Adição 0%	CP1	CP2	CP3	Média
		Referência	15,6	16,7	16,4	16,2
300°C	30 min	Lento	18,0	17,1	17,9	17,6
		Brusco	11,0	11,2	11,9	11,3
	60 min	Lento	18,2	15,9	13,0	15,7
		Brusco	8,1	8,4	10,2	8,9
600°C	30 min	Lento	17,4	15,6	16,9	16,6
		Brusco	10,2	10,8	10,6	10,5
	60 min	Lento	10,3	12,3	10,8	11,1
		Brusco	8,1	6,8	8,4	7,7

Tabela 6. Resistência à compressão do concreto com 20% de vidro moído.

		Adição 20%	CP1	CP2	CP3	Média
		Referência	19,5	21,5	20,1	20,3
300°C	30 min	Lento	19,8	19,7	20,9	20,8
		Brusco	19,6	19,5	18,0	19,0
	60 min	Lento	19,9	19,2	20,0	19,7
		Brusco	18,1	18,1	17,5	17,9
600°C	30 min	Lento	18,4	19,5	16,9	18,9
		Brusco	16,9	17,0	16,5	16,8
	60 min	Lento	17,9	11,2	8,8	12,6
		Brusco	8,5	9,1	7,2	8,2

Tabela 7. Resistência à compressão do concreto com 50% de vidro moído.

		Adição 50%	CP1	CP2	CP3	Média
		Referência	19,6	17,8	17,6	18,3
300°C	30 min	Lento	17,3	17,5	16,7	17,1
		Brusco	15,3	15,2	14,8	15,1
	60 min	Lento	18,7	17,6	17,0	17,7
		Brusco	14,8	12,8	12,1	13,2
600°C	30 min	Lento	16,7	16,7	19,1	17,5
		Brusco	14,5	14,0	13,3	13,9
	60 min	Lento	14,3	10,2	14,0	12,8
		Brusco	9,8	-	-	-

Tabela 8. Resistência à compressão do concreto com 100% de vidro moído.

		Adição 100%	CP1	CP2	CP3	Média
		Referência	18,9	17,0	19,4	18,4
300°C	30 min	Lento	17,7	16,0	17,9	17,2
		Brusco	14,4	15,5	13,5	14,4
	60 min	Lento	18,5	17,8	19,1	18,4
		Brusco	18,2	14,6	15,5	16,1
600°C	30 min	Lento	16,8	17,5	18,8	17,7
		Brusco	12,11	11,2	-	7,7
	60 min	Lento	-	-	8,6	8,6
		Brusco	7,4	-	-	7,4

Os espaços com valores nulos apresentados nas tabelas correspondem aos corpos de prova que não obtiveram parâmetros para análise da resistência, o que aconteceu devido aos corpos de prova terem sofrido um deslocamento brusco, ainda em forno, inviabilizando a realização do ensaio de resistência à compressão. O processo de lascamento de camadas ou desprendimento de pedaços de concreto quanto submetido a elevadas temperaturas é conhecido como *spalling* e pode ser observado na Figura 9.

A forma de ruptura dos corpos de prova, todos com capeamento elastomérico confinado, apresentaram rupturas do tipo cisalhamento lateral, já prevista pela NBR 5739 (ABNT, 1994). É válido ressaltar que Menezes (2011) observou que as formas de ruptura dos corpos de prova submetidas às tensões de compressão dependem da condição de atrito entre os corpos de prova e os pratos do equipamento, levando em consideração que no neopreme utilizando no capeamento elastomérico não é aderente ao corpo de prova e devido ao seu

baixo módulo de elasticidade acompanha mais facilmente a deformação do concreto comprimido.

Figura 9. Corpo de prova rompido com o uso de prensa hidráulica.



Figura 10. *Spalling* dos corpos de prova



Em estudos realizados por Lima (2005), foi observado que diante de condições extremas, tais como durante um rápido aquecimento dos elementos estruturais em caso de incêndio, pode ocorrer deslocamentos explosivos e imprevisíveis, devido à estrutura densa do material. Este fenômeno, muitas vezes conhecido no meio técnico pelo termo em inglês *spalling*, se caracteriza por um desprendimento, violento ou não de camadas ou pedaços da superfície de elementos sujeitos a um rápido e alto acréscimo de temperatura.

4.2 Redução da resistência à compressão devido o aumento da temperatura e modo de resfriamento

As Tabelas 5, 6, 7 e 8, apresentadas anteriormente, demonstram as resistências à compressão do concreto submetido a altas temperaturas em dois modos de resfriamento.

Nota-se que com o início da exposição dos corpos de prova a altas temperaturas, ocasiona-se, nos casos de 0% e 10% um pequeno aumento de resistência, sendo expostos durante 30 minutos em temperatura de 300°C com modo de resfriamento lento. Porém, com o aumento da temperatura para 600°C teve-se uma redução gradual na resistência, conforme mostram os Gráficos 1 e 2 estas reduções em sua maioria está relacionada diretamente e de maneira proporcional com o incremento do tempo de exposição, temperatura e do tipo de resfriamento, assunto já comentado em Lima (2005).

Gráfico1. Resistência dos corpos de prova com 0% de adição de vidro moído em função do tempo de exposição e modo de resfriamento.

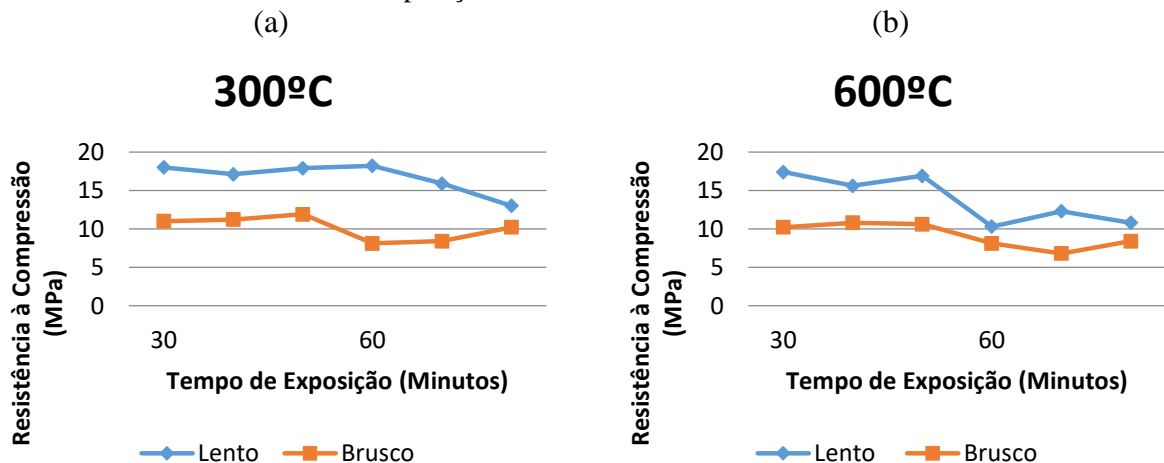
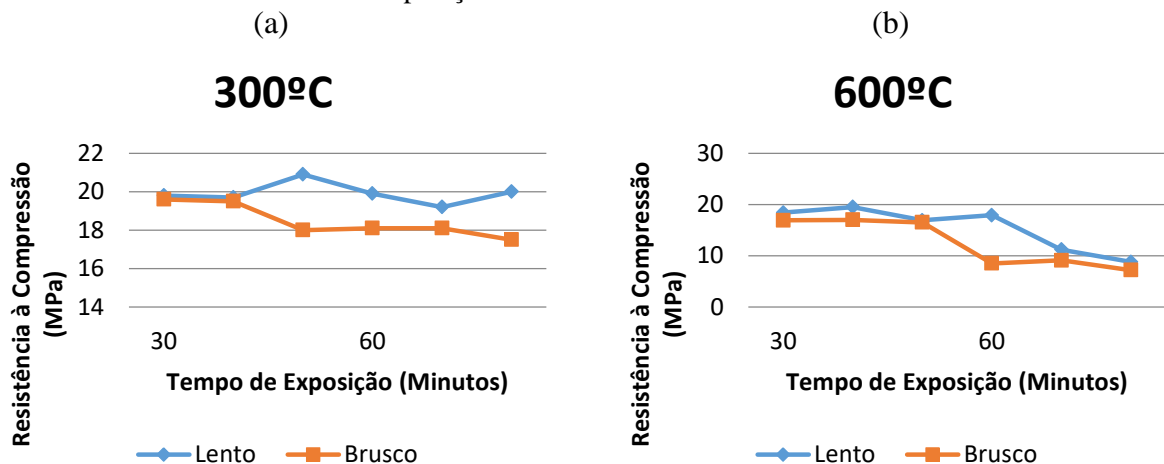


Gráfico2. Resistência dos corpos de prova com 20% de adição de vidro moído em função do tempo de exposição e modo de resfriamento.



As diferenças ocorridas a cada meia hora que os corpos de prova permaneciam na mesma temperatura chegam, em pior caso, a cerca de quase 69% na redução da resistência. Para os corpos de prova com 50% e 100% de adição de vidro moído a temperatura de 600°C com tempo de exposição de 60 minutos, apresentou um comportamento atípico, podendo ser observado nos Gráficos 3 e 4 que alguns corpos de prova sofreram o processo de *spalling*, inviabilizando a sua resistência para este estudo.

Gráfico3. Resistência dos corpos de prova com 50% de adição de vidro moído em função do tempo de exposição e modo de resfriamento.

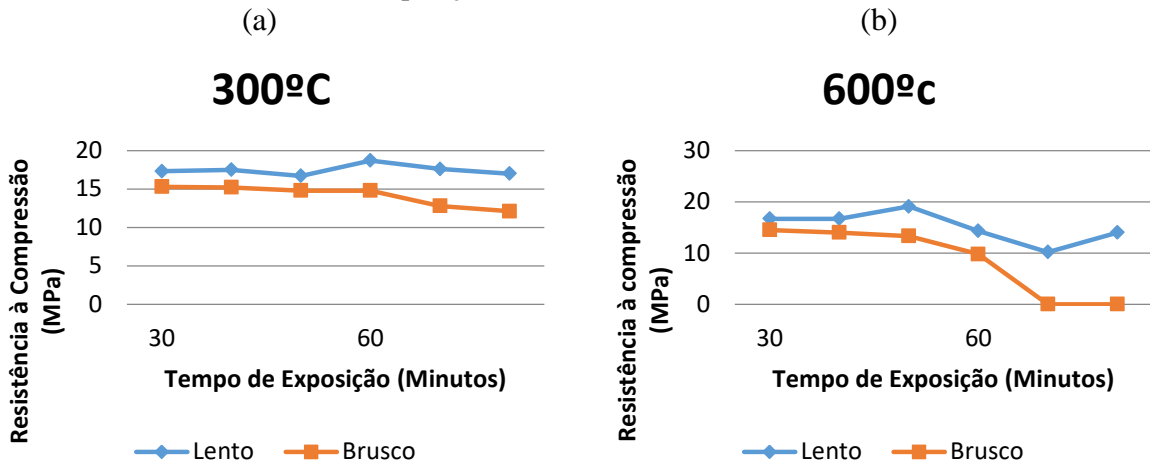
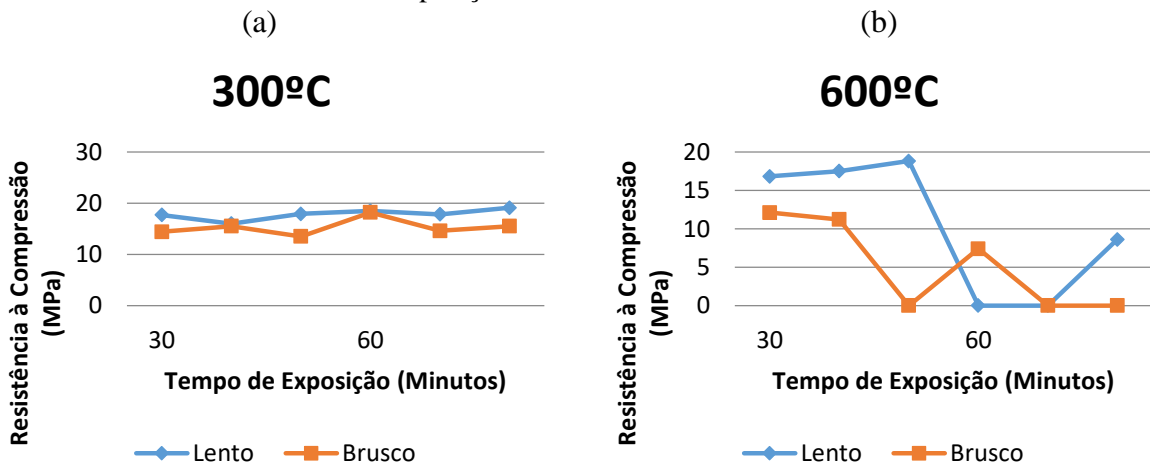


Gráfico4. Resistência dos corpos de prova com 100% de adição de vidro moído em função do tempo de exposição e modo de resfriamento.



Outro fator que deve ser levado em consideração é a coloração dos corpos de prova, que neste trabalho segue de acordo com o que diz Georgali e Tsakiridis (2004) a qual se pode observar anteriormente na Figura 11, que não se teve grandes alterações na coloração do concreto, variando de cinza claro até uma tonalidade mais escura, proporcionalmente com o tempo de exposição e temperatura do forno.

No concreto exposto a altas temperaturas a mudança de cor é permanente, de modo que a temperatura máxima atingida durante um incêndio pode ser estimada pela observação da cor após resfriamento do concreto. A sequência de cores observadas em concretos expostos a altas temperaturas seria aproximadamente a seguinte: rosada ou vermelha entre 300°C e 600°C, cinza até cerca de 600°C a 900°C e amarela acima de 900°C (GEORGALI; TSKAKIRIDIS, 2004).

Deve-se levar em consideração ainda o modo de resfriamento, que neste trabalho utilizaram-se dois modos, e obtiveram-se alguns patamares de resistência à compressão maior para os casos de resfriamento lento do que para o tipo de resfriamento brusco, tal fator pode ser devido uma possível recuperação da resistência. Esses dados afirmam que mesmo se existir interferência imediata no incêndio, há variação da resistência, tempo de exposição e resfriamento das estruturas, levando um determinado tempo para se estabilizarem.

4.3 Redução da resistência à compressão devido o teor de vidro na mistura

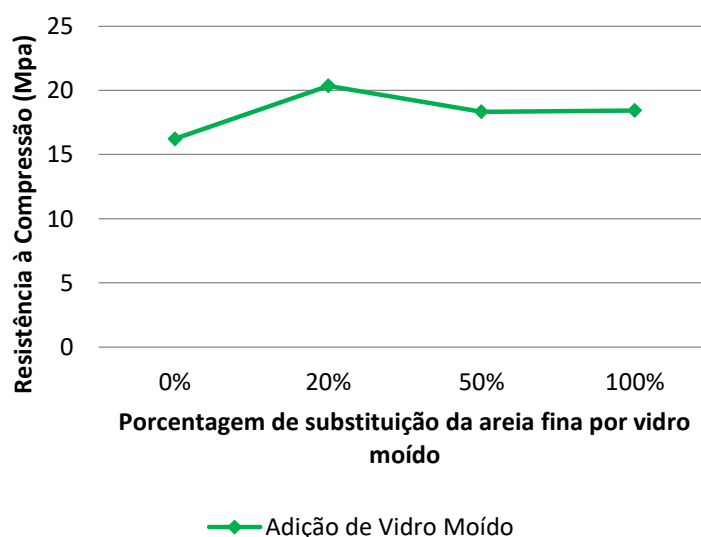
A NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta uma relação da resistência à compressão com a idade dos corpos de prova, a qual neste trabalho esperava-se uma resistência de 17,0 MPa na idade de ensaio. Os corpos de prova com teor de vidro de 0% os quais foram submetidos à elevação de temperatura não apresentaram a resistência esperada, entretanto os que possuíam adição de vidro em 20%, 50% e 100% chegaram, em seu melhor caso, a superar a resistência esperada pela norma.

Analisa-se que em todos os traços, quem na temperatura de 600°C obteve-se um comportamento similar nos primeiros 30 minutos de exposição mantendo uma resistência de aproximadamente 70% da resistência esperada (25 MPa) e decaindo ao tempo de exposição de 60 minutos.

Ao alcançar a temperatura de 600°C dentro do forno, com 60 minutos de exposição, alguns corpos de prova quebraram. Esse rompimento drástico deve-se aos diferentes coeficientes de dilatação dos materiais na mistura para formar o concreto para esta análise, com base neste experimento, adotaram-se apenas as temperaturas de 300 e 600°C com tempos de exposição entre 30 e 60 minutos, visto que em Lorenzon (2014) apresenta em seus estudos que seus os corpos de prova foram inviabilizados para estudo devido todos os mesmos terem se esfarelado e quebrarem em temperaturas superiores as aqui utilizadas.

Ao analisar os corpos de prova referência, as quais não passaram por exposição de elevadas temperaturas, nota-se que com o aumento do teor de vidro no concreto, conforme mostra o Gráfico 5, o teor de 20% de substituição do agregado miúdo por vidro moído, apresenta um melhor comportamento, elevando sua uma capacidade de resistência. No teor de 50% obtiveram-se resultados satisfatórios, considerando usual e aplicável as resistências obtidas, entretanto a resistência dos corpos de prova que foram ensaiados a 600°C apresenta uma resistência inferior a esperada, inviabilizando o uso como concreto estrutural.

Gráfico 5. Comparação entre os teores de adição de vidro moído sem exposição de elevadas temperaturas



De mesmo modo, no teor de 100%, apresentou-se resistência esperada nos corpos de prova referência, porém ao colocado em situação similar à de um incêndio, notou-se uma redução drástica na principal propriedade analisada neste estudo. Não se obteve todos os dados de resistência, pois tais corpos de prova sofreram ruptura e lascamento da sua estrutura dentro do forno.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As resistências dos distintos traços analisados, tanto em temperatura ambiente quanto das resistências de dosagem especificadas na produção de concretos com o traço seguido, foram diferentes, sendo possível afirmar que a substituição de vidro mais satisfatória nesta pesquisa foi de 20%, pois atingiu um patamar de resistência equivalente e até superior ao concreto sem substituição, mesmo se considerar a simulação de incêndio. No caso da substituição de 100% de areia fina por vidro, apesar de atingir uma resistência de cerca de 73%, os corpos de prova de referência e os corpos de prova que passaram pelo processo de aquecimento no forno elétrico, tiveram como resultado uma resistência de apenas 58% da resistência esperada, inviabilizando o uso de concreto com esse tipo de adição.

Por outro lado, analisando o impacto da exposição dos concretos a elevadas temperaturas, observa-se que a exposição a 600°C em diferentes intervalos de tempo provocou uma diminuição gradual na resistência à compressão e esta, na maioria dos casos em estudo, foi diretamente proporcional ao progresso do tempo de exposição. Em particular para o teor de 20% de substituição da areia fina, constata-se um comportamento superior ao concreto sem substituição em todos os tempos de exposição, indicando novamente que este teor seria o mais indicado para os resultados da pesquisa.

No teor de 100%, vários corpos de prova sofreram *spalling*, provavelmente devido ao aumento de pressão nos poros pelo aquecimento, em virtude da evaporação de água e às tensões geradas pelos gradientes de deformações térmicas.

Em virtude dos fatos, este trabalho apresentou os resultados de um estudo experimental do uso do vidro de garrafas *long-neck* como parte do agregado miúdo para fabricação de concretos em uso estruturais, com a finalidade de promover a reutilização de um material, que é descartado no meio ambiente e que muitas das vezes, quando destinado aos aterros sanitários, não recebem um tratamento adequado.

Dessa forma a utilização do vidro moído no concreto tem um apelo sustentável pela conservação de recursos naturais e diminuição da quantidade de lixo. Sugere-se a continuidade deste tema em trabalhos futuros, o qual poderá servir de referência pra pesquisas em estruturas de concreto, pois o material em substituição da areia utilizado nessa pesquisa estará em constante produção, podendo ser trabalhado especificamente a relação entre a investigação dos coeficientes de dilatação dos materiais, a granulometria de vidro a ser empregada e a viabilidade econômica de produzir concretos com vidro de embalagens *long-neck* a preços competitivos no mercado da construção civil.

REFERÊNCIAS

AKERMAN, Mauro. **Natureza, estrutura e propriedades do vidro**. Apostila: Saint-Gobain Vidros Brasil, Centro Técnico de Elaboração do Vidro, 2000.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de Construção**: Normas, Especificações, Aplicação e Ensaio de Laboratório. São Paulo: Pini, 2012. 457 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 12655**. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 67**. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco do cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimentos. Rio de Janeiro: Abnt, 2000. 14 p.

_____. **NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2005. 11 p.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2005. 11 p.

_____. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ANDOLFATO, R. P. **Controle Tecnológico Básico do Concreto**. 2002. 30 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, UNESP, Ilha Solteira, 2002.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5 ed. Rio de Janeiro: 488 p., 2016.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica, v. 61, n. 358, p.178-189, FapUNIFESP, 2015.

BONIFÁCIO, J. S. R.; GODINHO, D. S. S. **Estudo do efeito das fibras de vidro e polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto**. 19 f. Artigo - Curso de Engenharia Civil, UNESC, Santa Catarina, 2014. Cap. 1.

CALLISTER JUNIOR, W. D. **Materials science and engineering: An Introduction**. New York: John Wiley & Sons, 1991. 408 p.

FIGUEIREDO, A. D.; COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **Aspectos tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas**. In: Seminário internacional núcleo de pesquisa em tecnologia da arquitetura e urbanismo. Anais. São Paulo: NUTAU/FAU-USP, 2002.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: Segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2017. 415 p.

COELHO, R. M. P. **Reciclagem e desenvolvimento sustentável no Brasil**. Belo Horizonte: Recóleo Coleta e Reciclagem de Óleos, 2009. 340p.

GALVÃO, J. K. L. et al. **Materiais alternativos para adição ao cimento Portland dosagem utilizando resíduos da palha da soja**. 23 CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, v. 1, n. 1, p.2547-2558, 2018.

GEORGALI, B; TSAKIRIDIS, P. E. **Microstructure of fire-damaged concrete: and case study.** Cement And Concrete Composites, v. 27, n. 2, p.255-259, 2005.

HELENE, P. **A nova abnt nbr 6118 e a vida útil das estruturas de concreto.** In: Seminário de Patologia das Construções. Novos Materiais e Tecnologias Emergentes, Porto Alegre, UFRGS, v. 1. p. 1-30, 2004.

KALIFA, P.; MENNETEAU, F.D.; QUENARD, D. **Spalling and pore pressure in hpc at high temperature.** Cement and concrete research. Elmsford, v. 30, n. 12, p. 1915-1927, 2000.

KLAMT, R. A. et al. **Estudo da utilização da reciclagem de concreto asfáltico como camada de pavimento.** Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, São Paulo, v. 7, n. 3, p.539-553, 2018.

LIMA, R. C. A. **Investigação do comportamento de concretos em elevadas temperaturas.** 257 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LORENZON, A. **Análise da resistência residual do concreto após exposição a altas temperaturas.** 2014. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia.** São Paulo: Editor Edgard Blucher Ltda, 197 p., 2014.

MARQUES, A. C.; AKASAKI, J. L.; FIORITI, C. F. **Análise da resistência mecânica à compressão de concretos incorporados com resíduos de pneus submetidos à elevada temperatura.** Tópos, São Paulo, v. 6, n. 1, p.82-98, 2012.

MENEZES, A. J. R. **Estudo comparativo entre capeamento de corpo-de-prova de concreto com enxofre, uso de neoprene e retificação de topo para ensaio de resistência à compressão axial.** 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2011.

MORALES, G.; CAMPOS, A.; FAGANELLO, A. **A ação do fogo sobre os componentes do concreto.** Seminário: Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 32, n. 1, p.47-55, Universidade Estadual de Londrina, 2011.

OLIVEIRA, I. R. C. **Propriedades mecânicas, físicas e químicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras longas de juta e de malva.** 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

PINHEIRO, F. C. **Evolução do uso do vidro como material de construção civil.** 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Itatiba, 2007.

RIGHI, D. et al. **Análise de concretos produzidos com vidro moído quando submetidos a elevadas temperaturas.** ASAAE – Associação Sul Americana de Engenharia Industrial. Rio de Janeiro, 2012.

SILVA, L. F. **Estudo do efeito da microcelulose sobre o desempenho de materiais compósitos de matriz cimentícia.** 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

SOLTAN, D. G. et al. **Introducing a curuá finer reinforced cement-based composite with strain-hardening behavior.** Ind. Crops Prod .103 p, 1-12, 2017.

SOUSA, D. A.; SILVA, G. P. **Estruturas de concreto em situação de incêndio.** 135 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar.** 14. ed, 848 p. Pini: Sinduscon, São Paulo, 2014.