



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

RODRIGO NAWAR MARQUES SILVA

**ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS A AÇÃO DE INCÊNDIO:
UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Recife
2022

RODRIGO NAWAR MARQUES SILVA

**ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS A AÇÃO DE INCÊNDIO:
UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial para a obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro.

Recife

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Rodrigo Nawar Marques.

Estruturas de concreto armado submetidas a ação de incêndio: uma revisão
bibliográfica / Rodrigo Nawar Marques Silva. - Recife, 2022.
49 : il., tab.

Orientador(a): Arnaldo Manoel Pereira Carneiro

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil -
Bacharelado, 2022.

1. concreto armado. 2. incêndio. 3. resistência ao fogo. 4. engenharia
civil. I. Carneiro, Arnaldo Manoel Pereira. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

RODRIGO NAWAR MARQUES SILVA

**ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS A AÇÃO DE INCÊNDIO:
UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal de Pernambuco,
Centro de Tecnologia e Geociências,
como requisito parcial para a obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 15 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Adolfo Guido de Araújo (examinador externo)

Prof. Me. Dayvson Carlos de Almeida (examinador externo)

“A gravidade explica os movimentos dos planetas, mas não pode explicar quem colocou os planetas em movimento. Deus governa todas as coisas e sabe tudo que é ou que pode ser feito.”

-Isaac Newton

AGRADECIMENTOS

Sou extremamente grato a Deus, pelas oportunidades colocadas em minha vida, assim como a oportunidade de hoje de concluir essa graduação mesmo com todas as dificuldades impostas.

À minha família, que foi meu ponto de apoio e fizeram de tudo possível pra sempre me direcionar pro caminho correto, e assim conseguir concluir essa etapa da minha vida.

A meu professor orientador Arnaldo Carneiro, por toda paciência e apoio, para que concluísse da melhor maneira possível, apesar das diversas dificuldades, sempre me auxiliando e ajudando em todos aspectos possíveis e no meu desenvolvimento e aprendizado durante esse tempo.

À minha companheira, Paola Ferreira por todo companheirismo e cumplicidade durante essa trajetória, e por estar sempre presente me apoiando em todos momentos de dificuldades e me ajudando a sobrepor todas barreiras da minha vida.

A todos os professores do CTG-UFPE, os quais contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

A todos os meus colegas, que fizeram parte dessa difícil caminhada.

E a todos que mesmo não mencionados contribuíram de forma significativa na minha jornada.

Muito

Obrigado!

RESUMO

O concreto é um material vastamente utilizado na construção civil. Assim, faz-se necessário a investigação dos efeitos causados na sua resistência, quando exposto ao fogo. Desse modo, esse estudo visa fazer uma revisão bibliográfica sobre estruturas de concreto armado submetidas a ações de incêndio. Sendo assim, o presente trabalho utilizou *strings* de busca na base de dados da *web of Science* e do catálogo de normas da ABNT para obter artigos relevantes relativo ao tema e obter também um número quantitativo das normas existentes, respectivamente, utilizou-se também a ferramenta *VOSviewer* para uma análise de autores importantes. Dessa forma, será apresentado panorama atual e alguns resultados sobre o desenvolvimento de estudos recentes acerca de estruturas de concreto armado submetidas a situação de incêndio. Para tanto, foi desenvolvido revisão de literatura com finalidade de apresentar o que está sendo desenvolvido na área.

Palavras-chave: Concreto armado; Situação de incêndio; Resistência ao fogo.

ABSTRACT

Concrete is a material widely used in civil construction. Thus, it is necessary to investigate the effects caused on its resistance when exposed to fire. Thus, this study aims to review the literature on reinforced concrete structures subjected to fire actions. Therefore, the present work used search strings in the database of the Web of Science and the ABNT standards catalog to obtain relevant articles on the subject and also obtain a quantitative number of existing standards, respectively, the tool was also used VOSviewer for an analysis of important authors. In this way, a current overview will be presented and some results on the development of recent studies on reinforced concrete structures subjected to fire situations. Therefore, a literature review was developed in order to present what is being developed in the area.

Keywords: reinforced concrete; fire situation; fire resistance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Página inicial VOSviewer.	21
Figura 2 - Aba VOSviewer – <i>Network Visualization</i>	22
Figura 3 - Aba VOSviewer – <i>Overlay Visualization</i>	23
Figura 4 - Aba VOSviewer – <i>Density Visualization</i> - densidade do item.	24
Figura 5 - Aba VOSviewer – <i>Density Visualization</i> - cluster.	24
Figura 6 - Aba VOSviewer – <i>Network Visualization</i>	25
Figura 7 - Fluxograma das atividades desenvolvidas	26
Figura 8 - Aba VOSviewer – <i>Network Visualization</i> – resultado autor.	31
Figura 9 – Anos de publicação dos artigos	32
Figura 10 - Áreas de pesquisa dos artigos selecionados.	34
Figura 11 - Tendência de artigos que utilizaram fibras por períodos	44
Figura 12 - Tendência de artigos que utilizaram testes de resistências	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Listar as atividades previstas e a que objetivo específico está vinculado	27
Tabela 2 - Conjunto de palavras-chave	29
Tabela 3 – Categorias da Web of Science em relação ao número de artigos	33
Tabela 4 – Número de artigos em relação a área de pesquisa	34
Tabela 5 - Materiais empregados	39
Tabela 6 - Modelagem empregadas	41
Tabela 7 - Método de testes empregados	42

SUMÁRIO	11
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO.....	13
1.2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO.....	15
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 DEFINIÇÕES SOBRE O TEMA.....	17
2.2 FERRAMENTA VOSVIEWER	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1 PLANEJAMENTO METODOLÓGICO.....	26
3.2 WEB OF SCIENCE	28
3.3 NORMALIZAÇÃO EXISTENTE	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1 RESULTADOS COM PROGRAMA VOSVIEWER.....	31
4.2 ANOS DE PUBLICAÇÃO DOS ARTIGOS.....	32
4.3 DISTRIBUIÇÃO DE ARTIGOS POR CATEGORIAS DA WEB OF SCIENCE	32
4.4 DISTRIBUIÇÃO DE ARTIGOS POR ÁREA DE PESQUISA	33
4.5 DISTRIBUIÇÃO DE ARTIGOS POR MATERIAIS EMPREGADOS	34
4.6 DISTRIBUIÇÃO DE ARTIGOS POR MODELAGENS EMPREGADOS	39
4.7 DISTRIBUIÇÃO DE ARTIGOS POR MÉTODOS DE TESTES EMPREGADOS..	42
4.8 TENDÊNCIAS DA PESQUISA	43
5 CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material composto produzido pela mistura de cimento, uma mistura, água, agregados miúdos e agregados graúdos, com a matriz estrutural é solidificada e endurecida por uma reação de hidratação com o material ligante (cimento), sendo vastamente utilizado na construção civil em todo o mundo, independentemente do porte da construção.

Nesse sentido, caracteriza-se por também ser um material histórico que foi amplamente utilizado ao longo do tempo, com evidências de sua utilização desde 2000 a.C., em diferentes localidades, por causa das suas características, como sua facilidade de obtenção e moldagem, sua resistência e sua facilidade de preparo e utilização. Entretanto, ao longo do tempo viu-se a necessidade de melhoria de algumas das suas propriedades, como resistência e durabilidade.

A partir dessas necessidades, os estudos sobre o concreto foi avançando ao longo da história com o uso e adição de diferentes materiais em sua composição, a fim de trazer as propriedades em benefício desse. Dessa maneira, as adições de outros materiais possibilitaram construções antes inimagináveis, que atualmente parecem algo comum e simples com o conhecimento difundido amplamente. Dentre os materiais empregados, teve destaque uma composição heterogênea chamada concreto armado, que consiste na utilização de uma estrutura interna feita de outro material, como esqueleto. Dessa forma, o aço foi unido ao concreto, assim gerando estruturas com imensas e com alta resistência.

Zhang *et al* (2020), acrescenta também, que o concreto é um material de construção tradicional feito pelo homem. Embora sua resistência à tração ou fragilidade seja baixa, é o material mais utilizado na indústria da construção devido à sua ampla disponibilidade de material, boa trabalhabilidade, alta resistência e baixo custo. Atualmente, com o desenvolvimento contínuo das indústrias de construção e infraestrutura, arranha-céus e estruturas subterrâneas estão aumentando a um ritmo alarmante.

Porém, como todo material, o concreto como todo material possui uma vida útil e degrada-se ao longo do tempo, o que pode ser potencializados por problemas na sua instalação/execução ou pela falta de manutenção, como também podem ser gerados por ações humanas ou da natureza.

Nesse sentido, o concreto armado possui suas patologias, que patologias são problemas, falhas ou defeitos que comprometem as suas funções, em todo seu conjunto ou em partes. Assim, faz-se necessário sua proteção a algumas contra patologias e diferentes catástrofes a exemplo: incêndios. No entanto, Zhang *et al* (2020), acrescenta ainda, que essas estruturas são mais suscetíveis a incêndios devido ao uso generalizado de aparelhos a gás e elétricos, bem como à complexidade das funções do edifício.

Sendo, de acordo com Lina Xu *et al* (2021), os materiais de concreto uma parte importante da estrutura global, sua resistência ao fogo afeta diretamente a segurança de edifícios e túneis. Pois o concreto é um dos produtos de cimento usados em muitas partes da construção, como: edifícios, pontes, túneis e estradas. Portanto, faz-se necessário a investigação dos efeitos de fatores influentes na resistência do concreto.

Nesse contexto, a degradação de estruturas de concreto devido aos incêndios é algo que pode afeta a construção civil em todo o mundo, com repercussões em função do volume de casos, podendo levar a perdas humanas, como também prejuízos em função do montante de recursos envolvidos para reparação dos danos causados, principalmente nas estruturas de concreto armado, pois visam em primeiro plano a segurança da edificação. Portanto, faz-se importante frisar os impactos relevantes gerados na estrutura de concreto armado causados por incêndios.

Portanto, avaliar a extensão e a gravidade dos danos causados pelo fogo em concreto armado é uma tarefa crucial para planejar a reabilitação ou a demolição das suas estruturas. Infelizmente, a capacidade de resistência ao fogo do concreto armado é muito difícil de avaliar, uma vez que o próprio concreto é um material compósito com componentes caracterizados por diferentes propriedades térmicas. Além disso, as armaduras de aço, ao contrário do concreto, são muito sensíveis aos efeitos das altas temperaturas causadas pelo fogo (STOCHINO *et al*, 2016).

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

O fato de o fogo não ser controlado já trouxe grandes prejuízos em todos os campos sociais, artísticos, construtivos e naturais. Não é diferente nas estruturas de

concreto, sendo os incêndios responsáveis por danos que causam diversos efeitos prejudiciais em estruturas, as quais precisam ser avaliadas e se necessário reforçadas, ou demolidas em último caso.

Vale ressaltar também, que os incêndios em edificações são comuns e seus efeitos em relação a estruturas de concreto armado já foram responsáveis por inúmeros prejuízos econômicos devido a sua ação, sendo o estudo e compreensão desses efeitos de extrema necessidade para engenharia. Pois, esse conhecimento traz vantagens, sendo possível aumentar a efetividade na mitigação dos danos através do uso no concreto de materiais mais resistentes, ou até mesmo no desenvolvimento de novas tecnologias, favorecendo assim um aumento de segurança para os usuários, visto que, a estrutura consequentemente será mais segura.

Assim, uma vez que a estrutura de concreto armado perde sua resistência quando submetida a tal situação, por causa dos danos ocorridos, há a necessidade de estudo da relação entre sua composição e tais danos para conhecer o comportamento e possíveis medidas a serem adotadas.

Além disso, estruturas de concreto podem ser expostas ao fogo natural durante sua vida útil. Desse modo, é muito importante estudar o comportamento do concreto armado durante e após o incêndio, e também estudar o grau de temperatura e duração que ele pode suportar. O estudo do comportamento real de estruturas de concreto armado durante e após o incêndio é muito importante para alcançar um alto nível de segurança (HAMADALLAH AL-BAIJAT *et al*, 2019).

Portanto, esse trabalho pode ser justificado pela necessidade de cada vez mais estudos sobre o tema em decorrência da importância para engenharia civil, como também pela necessidade do avanço do conhecimento sobre esse tema, aliado a busca de novas alternativas para reforçar as estruturas de concreto e mitigar os danos decorrentes dos incêndios, assim como a incidência de incêndios catastróficos pelo mundo e os prejuízos causados nas estruturas de concreto armado, aliado a necessidade de uma maior preservação da segurança da estrutura.

1.2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma revisão sistemática da literatura apresentando quais os principais danos causados em estruturas de concreto armado ocasionados por situações de incêndios e principais medidas tomadas para prevenção que geram a diminuição dos efeitos causados por tal situação.

Para tanto, o trabalho se concentrará nos seguintes objetivos específicos:

- Obter dados sobre artigos que possuem estudos sobre o tema, além dos principais autores relacionados ao tema;
- Pesquisar e caracterizar quais materiais e composições utilizados sofrem mais danos a altas temperaturas e quais podem melhorar o seu desempenho;
- Identificar quais ensaios e métodos utilizados para o estudo do concreto em situação de incêndio;

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente capítulo apresenta uma introdução ao tema do trabalho, com breve retrospectiva história sobre o uso do concreto armado aliado aos efeitos de sua degradação que pode ser causada pelas ações humanas ou da natureza, assim mostrando os danos que incêndios podem causar na estrutura. Nesse contexto, foi apresentado a justificativa que motivou este trabalho, que tratou com mais ênfase dos possíveis efeitos prejudiciais tanto econômicos quanto sociais causados pelos incêndios. Ademais, também foi descrito o objetivo do trabalho que se classificou como geral e específicos, bem como metodologia utilizada para obtenção dos resultados.

O segundo capítulo se buscou apresentar o referencial teórico do trabalho com suas principais definições sobre o tema. Como também, o funcionamento do software *vosviewer* que será utilizado para obtenção de resultados importantes no presente trabalho, sendo uma ferramenta de fundamental importância.

Além disso, o terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada para a obtenção de dados e artigos, assim como todos os critérios de escolha e seleção.

Ademais, o quarto capítulo apresentará os resultados obtidos a partir dos objetivos preestabelecidos. Dessa forma, foi necessário dividi-lo em três tópicos,

sendo o primeiro com resultados obtidos no vosviewer, o segundo com resultados da análise de normas e o terceiro com resultados obtidos através do estudo do banco de dados selecionado.

Por fim, nos últimos dois capítulos são apresentados, respectivamente, as conclusões finais e as bibliografias/referências necessárias para a realização do presente trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DEFINIÇÕES SOBRE O TEMA

O concreto é um material composto de engenharia no qual os agregados são cimentados em um todo por um material cimentício. Quando o concreto é submetido a altas temperaturas por um longo período de tempo, a superfície do concreto sofrerá lascas explosivas ou mesmo colapso, o que afetará edifícios, estruturas de túneis e pontes, etc., causando enormes perdas econômicas e acidentes. Na vida útil das estruturas de concreto, o incêndio é o desastre mais frequente, e a segurança das estruturas de concreto pós-incêndio tornou-se um dos focos dos estudos (HUAYUN LI *et al*, 2022).

A indústria da construção oferece uma ampla gama de materiais cujo comportamento estrutural pode ser mais afetado ou menos afetado pela temperatura. Enquanto o conhecimento e a experiência com o comportamento do concreto em temperatura ambiente são bem conhecidos, o comportamento em condições elevadas temperatura deve ser profundamente investigada (NOVÁK & KOHOUTKOVÁ, 2017).

Segundo Zhang *et al* (2020), um dos fundamentos importantes para avaliar com precisão a usabilidade da construção após um incêndio é a pesquisa sobre as propriedades mecânicas residuais do concreto. Além disso, a resistência à compressão, resistência à flexão, resistência à tração, módulo de elasticidade, energia de fratura e relação tensão-deformação do concreto são propriedades mecânicas importantes que são frequentemente usadas para avaliar a resistência ao fogo de estruturas de concreto.

Quando uma estrutura de concreto é exposta ao fogo, ela é muito propensa a estourar, causando o desprendimento da superfície do concreto, destruindo a integridade dos componentes e deteriorando as propriedades materiais do concreto. Dado que as altas temperaturas têm efeitos adversos nas propriedades mecânicas e de durabilidade das estruturas de concreto, é importante encontrar algumas soluções para melhorar as propriedades do concreto a altas temperaturas (LINA XU *et al*, 2021).

Sendo assim, o concreto reforçado com tecido (TRC), como um novo tipo de compósito de cimento reforçado com fibras, é agora amplamente utilizado na

indústria da construção, como estruturas de parede cortina, estruturas sanduíche, estruturas de casca reforçadas e reparadas e membros reforçados. Devido às suas características de espessura rasa, peso leve, alta resistência e boa integridade, o TRC é usado principalmente nas superfícies dos membros da estrutura. Este material pode ser severamente danificado pelo fogo; portanto, é de grande importância estudar a degradação, falha de aderência e desempenho mecânico da fibra e do concreto após exposição a altas temperaturas (PING XU *et al*, 2021).

De acordo com Ping Xu *et al* (2021), a resistência à alta temperatura do concreto reforçado com tecido pode ser melhorada pela adição de fibras de aço e fibras de basalto, mas a resistência à compressão do concreto diminui com o aumento da temperatura em uma lei quadrática parabólica, enquanto a resistência à flexão diminui em uma lei linear. A adição de fibra de basalto melhora significativamente a capacidade de resistência à flexão das placas TRC. Em comparação, a adição de fibra de aço melhora significativamente a resistência à flexão de placas finas TRC acima de 600 °C.

A microscopia eletrônica de varredura indica que, quando a temperatura ultrapassa 600 °C, a adição de fibra de basalto e a superfície da fibra de aço são significativamente danificadas pela deterioração em alta temperatura. A deterioração do desempenho mecânico das placas finas de TRC em altas temperaturas é causada principalmente por alterações na composição química da matriz do concreto, deterioração da fibra e danos na superfície de aderência (PING XU *et al*, 2021).

A deterioração da integridade do concreto sob temperatura elevada requer uma alteração em sua composição para ter melhor estabilidade térmica. O concreto reforçado com fibras tem apresentado melhorias significativas na resistência do concreto.

Acrescenta ainda Huayun Li *et al* (2022), em seu estudo, que nos últimos anos, a fibra tornou-se um material comumente usado em aditivos de concreto devido à sua superior resistência à fadiga e durabilidade. Existem muitos materiais fibrosos que podem ser adicionados ao concreto, como fibra de aço, fibra de polipropileno e fibra de basalto. Suas propriedades materiais variam. A adição de fibras de aço ao concreto pode melhorar significativamente a resistência à tração, compressão, flexão, corrosão e alta temperatura do concreto. A adição de fibras de polipropileno pode otimizar a distribuição do tamanho dos poros do concreto e

melhorar a resistência à fissuração do concreto e adicionar fibras de basalto ao concreto pode melhorar a permeabilidade, resistência à carbonatação, resistência à corrosão ácida e alcalina, resistência ao gelo e resistência a altas temperaturas do concreto.

Para as fibras de aço (ST) e polipropileno (PP) no comportamento do concreto de alto desempenho (HPC) exposto a temperaturas elevadas, observou-se que a hibridização de fibras longas e curtas de PP, juntamente com as fibras ST, melhorou notavelmente todas as propriedades mecânicas residuais do HPC e manteve a integridade do concreto após a exposição a temperaturas elevadas. Além disso, as fibras de PP podem prevenir significativamente o lascamento, mas as fibras ST foram ineficazes na mitigação do lascamento explosivo em amostras de vigas (MUBARAK *et al*, 2021).

Um estudo mostra que as fibras de aço podem liberar a pressão de vapor através dos poros durante a exposição a temperaturas elevadas e retardar a ocorrência de lascamento até certo ponto sem eliminar o fenômeno. Em termos de propriedades mecânicas residuais do concreto exposto a temperaturas elevadas, vários estudos indicam uma influência positiva nas resistências à tração residual à compressão, flexão e ruptura após a utilização de uma mistura híbrida de aço e fibras de propileno (MUBARAK *et al*, 2021).

A estrutura de concreto armado resistente ao momento (RC) é uma estrutura de suporte de carga muito comum, especialmente para edifícios com alto risco de ocorrência de distúrbios laterais extremos, como terremotos ou ventos fortes. A resistência ao fogo de tais estruturas depende principalmente da resistência ao fogo dos elementos constituintes, ou seja, vigas, colunas, juntas e da interação entre eles. Assim, a resistência ao fogo de um elemento deve ser maior do que a gravidade do incêndio a que o membro está exposto. Esta verificação é geralmente no domínio do tempo, através do qual é verificado o tempo até a falha em condições de incêndio padrão (RAOUFFARD & NISHIYAMA, 2015).

2.1 FERRAMENTA VOSVIEWER

Inicialmente, é importante definir o funcionamento e o que será obtido através dessa ferramenta. Portanto, segundo o seu manual, o *VOSviewer* é uma ferramenta de software para criar mapas baseados em dados de rede e para visualização e exploração desses mapas. Nesse sentido, a funcionalidade do *VOSviewer* pode ser resumida da seguinte forma: Criação de mapas com base em dados de rede. Sendo assim, um mapa pode ser criado com base em uma rede que já está disponível, mas também é possível primeiro construir uma rede.

Dessa forma, o *VOSviewer* pode ser usado para construir redes de publicações científicas, revistas científicas, pesquisadores, organizações de pesquisa, países, palavras-chave ou termos. Dessa maneira, para construir uma rede, dados da *Web of Science*, *Scopus*, *PubMed*, *RIS* ou *Crossref JSON* arquivos podem ser usados. Como também, a visualização e exploração de mapas. Visto que, o *VOSviewer* fornece três modos de visualizações de um mapa: a visualização da rede, a visualização da sobreposição e a densidade visualização.

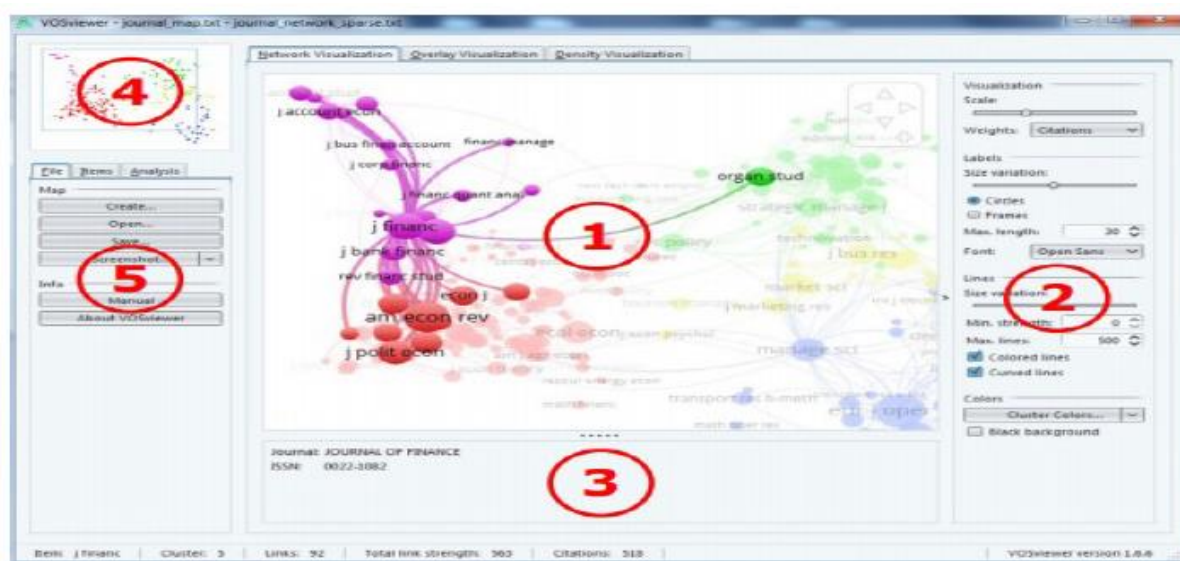
Dessa maneira, a funcionalidade de zoom e rolagem permite que um mapa seja explorado em detalhe completo, o que é essencial ao trabalhar com grandes mapas contendo milhares de itens (*VOSVIEWER MANUAL*, 2020).

Desse modo, tal ferramenta é interessante para diversas aplicações, embora tenha sua função principal voltada à análise de redes bibliométricas. Nesse sentido, ele ser usado para criar, visualizar e explorar mapas com base em qualquer tipo de dados de rede. Ademais, ele foi desenvolvido com base na linguagem Java para que a sua utilização seja independente de plataforma, sendo sua utilização fundamental no desenvolvimento deste trabalho.

Como mencionado anteriormente, o software fornece, após a colocação dos dados, três visualizações na sua página inicial, descritas como: visualização de rede, a visualização de sobreposição e a visualização da densidade, como é possível ser visto na Figura 2. Dessa forma os botões *Network Visualization*, *Overlay Visualization*, e *Density Visualization*, que são abas na janela principal do *VOSviewer*, podem ser utilizados para alternar entre as visualizações. Ademais, é possível visualizar na imagem outras botões e configuração/funcionalidades enumerados da seguinte forma: (1) o painel principal, (2) o painel de opções, (3) o painel de informações, (4) o painel de visão geral e (5) o painel de ação.

Na ferramenta também, aparece uma barra de status que está disponível na parte inferior da janela principal do VOSviewer, sendo fornecida informações sobre o mapa atualmente ativo, além de mostra o número de itens no mapa, o número de clusters (um conjunto de interligações que funcionam como se fosse um só grande sistema) para os quais os itens foram atribuídos, o número de links entre os itens, e a força total do Links.

Figura 1 - Página inicial VOSviewer.

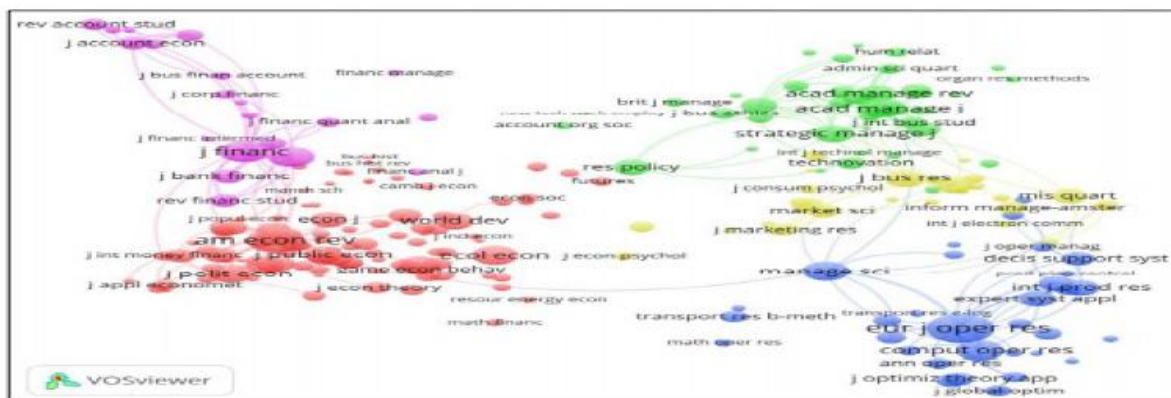


Fonte: Manual VOSviewer (2020)

É importante dar destaque no funcionamento de cada aba, pois cada uma de suas características é importante para obtenção de resultados desejados.

Na visualização da rede, ou seja, *Network Visualization* os itens são representados por seu rótulo por padrão e também por um círculo, assim o tamanho do rótulo e o círculo de um item é determinado pelo peso do item, pois quanto maior o peso de um item, maior o rótulo e o círculo do item. Para alguns itens, o rótulo pode não ser exibido, a fim de evitar rótulos sobrepostos, além de que a cor de um item é determinada pelo cluster ao qual o item pertence, ademais as linhas entre os itens representam links, que por padrão no máximo 500 linhas são exibidas, representando os 500 elos mais fortes entre os itens (VOSVIEWER MANUAL, 2020). A figura 3 mostrar um exemplo de *network visualization*.

Figura 2 - Aba VOSviewer – Network Visualization.



Fonte: Manual VOSviewer (2020)

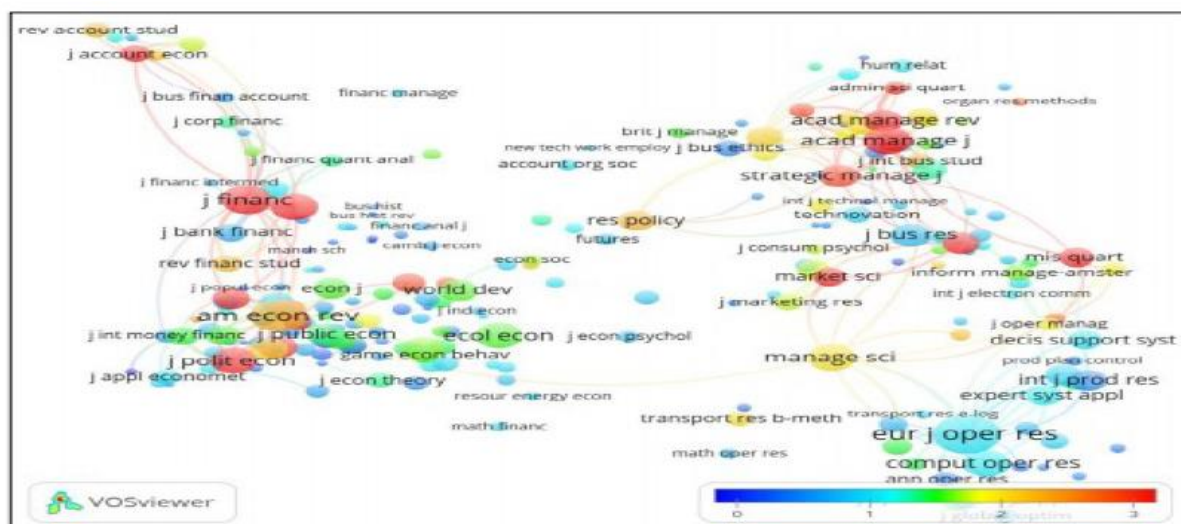
Já na visualização de sobreposição, ou seja, *Overlay Visualization* é idêntica à visualização da rede, exceto que os itens são coloridos de forma diferente. Há duas maneiras sem que os itens podem ser coloridos na visualização de sobreposição. Se os itens tiverem pontuação, a cor de um item é determinada por a pontuação do item, onde por cores padrão variam de azul (pontuação baixa) a verde (pontuação média) para vermelho (pontuação alta).

Por outro lado, os itens podem ser definidos pelo usuário, a cor de um item é determinada pelo usuário, assim um exemplo da visualização de sobreposição é mostrado na Figura 4.

Sendo, uma barra de cores mostrada no canto inferior direito da visualização. Dessa forma, a barra de cores é mostrada apenas se as cores são determinadas por dezenas de itens, além de que a barra de cores indica como as pontuações são mapeadas.

Na visualização de sobreposição mostrada na Figura 4, as cores indicam o impacto dos periódicos. Por exemplo, os periódicos coloridos de azul têm um fator de impacto abaixo 1.0, revistas de cor verde têm um fator de impacto em torno de 1,5, e revistas coloridas vermelho têm um fator de impacto acima de 2,5.

Figura 3 - Aba VOSviewer – Overlay Visualization.



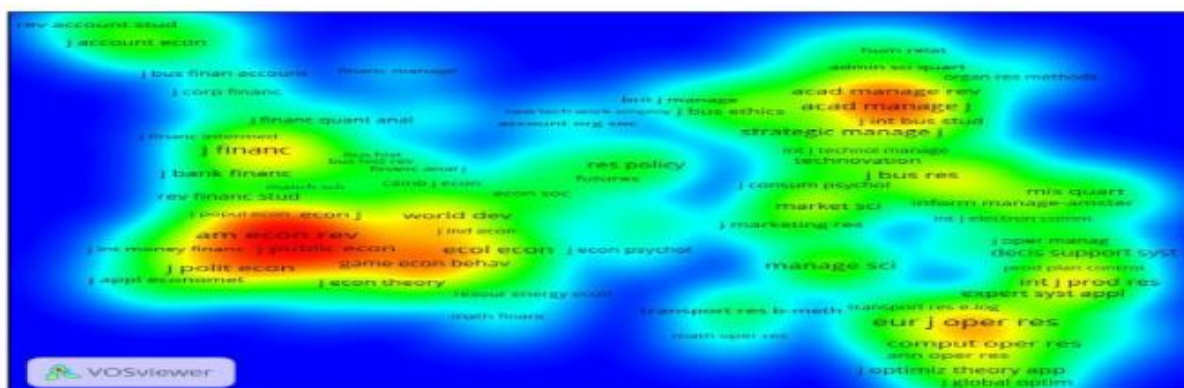
Fonte: Manual VOSviewer (2020)

Existem também a visualização de densidade ou *Density Visualization*, que são divididas em duas variantes.

Primeiramente, discutiremos o item visualização de densidade, em seguida a visualização da densidade do cluster. O item densidade e os botões de rádio de densidade de cluster no painel de opções, podem ser usados para alternar entre as duas variantes da visualização de densidade.

Na visualização da densidade do item, os itens são representados por seu rótulo semelhante a visualização da rede e a visualização de sobreposição. Nesse contexto, cada ponto na visualização de densidade de itens tem uma cor que indica a densidade de itens no ponto. Por padrão, as cores variam de azul a verde para vermelho, sendo quanto maior o número de itens no entorno de um ponto e maior os pesos do vizinho itens, assim mais perto de vermelho é a cor do ponto. Ao contrário, o menor o número de itens no entorno de um ponto, menor os pesos dos itens vizinhos, ou seja, mais perto a cor do ponto é azul. Um exemplo de a visualização da densidade do item é mostrado na Figura 5.

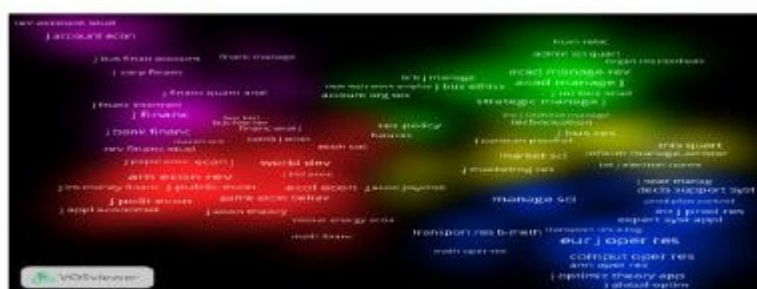
Figura 4 - Aba VOSviewer – *Density Visualization* - densidade do item.



Fonte: Manual VOSviewer (2020)

Já na visualização da densidade do cluster só estará disponível se os itens tiverem sido atribuídos a Clusters, essa visualização da densidade do cluster é semelhante à visualização da densidade do item, exceto pelo motivo que a densidade dos itens é exibida separadamente para cada conjunto de itens, por outro lado a visualização da densidade do cluster, a cor de um ponto na visualização é obtida através da mistura das cores de diferentes clusters. O peso dado à cor de um certo cluster é determinado pelo número de itens pertencentes a esse cluster no entorno do ponto. Assim, como na visualização da densidade do item, o peso de um item é levado em conta também. Um exemplo da visualização da densidade do cluster é mostrado na Figura 6.

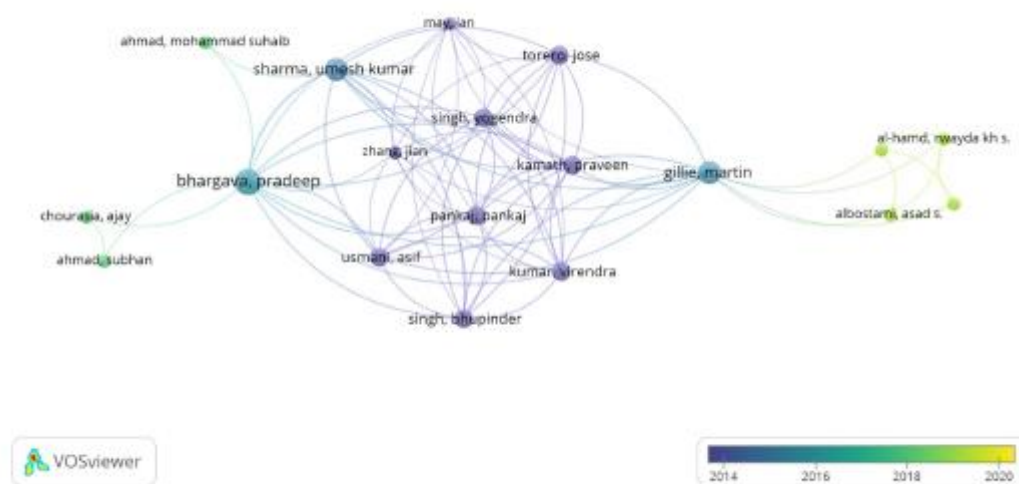
Figura 5 - Aba VOSviewer – *Density Visualization* - cluster.



Fonte: Manual VOSviewer (2020)

Além dessas funcionalidades, o software apresenta também um gráfico de sobreposição relacionada a data de publicação dos artigos e publicações científicas como mostrado na figura 7. Nesse sentido, a imagem mostra a densidade de publicações de acordo como seu o ano relacionando com o autor.

Figura 6 - Aba VOSviewer – Network Visualization.



Fonte: Manual VOSviewer (2020)

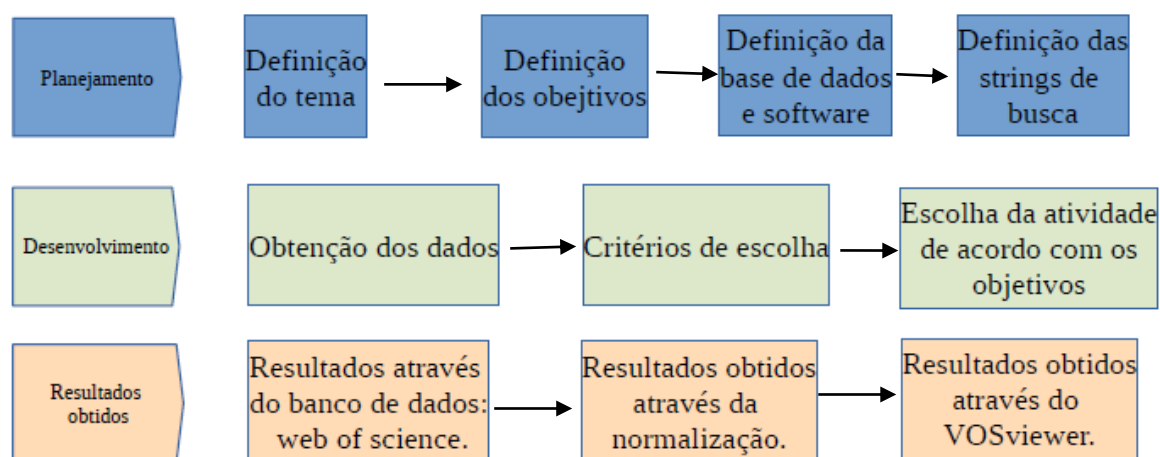
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PLANEJAMENTO METODOLÓGICO

O presente trabalho consiste em primeiramente estabelecer as etapas para o estabelecimento da revisão bibliográfica. Nesse sentido, dividiram-se as etapas em planejamento, desenvolvimento e resultados obtidos, como mostrado na figura abaixo.

Primeiramente, definiu-se o tipo de revisão a ser adotada para o estudo, logo estudo apresenta uma revisão quantitativa e qualitativa sobre o tema.

Figura 7 - Fluxograma das atividades desenvolvidas



Fonte: O autor (2022)

Na etapa de planejamento definiu-se o tema, os objetivos, as plataformas e softwares a serem utilizados, além das palavras-chave utilizadas para as buscas em cada objetivo. Sendo assim, o tema e o objetivos foram definidos com intuito da busca dos principais dados relacionados tanto a resistência quanto aos danos sofridos em estruturas de concreto armado submetidas à incêndio e como poderia ser melhorada.

Dessa forma, foi necessário também definir o base de dados utilizados para obtenção dos artigos e publicações científicas existentes sobre o tema, além de

banco de dados para obtenção de normas relacionadas ao tema, assim ficou definido, respectivamente, o banco de dados da *web of science* por se tratar de bases consolidadas na área da pesquisa e o banco de dados da ABNT por apresentar as normas técnicas do Brasil e as internacionais. Além disso, houve utilização da ferramenta *VOSviewer*, para obtenção de alguns resultados desejados.

Vale ressaltar também, que metodologia da pesquisa foi descrita de acordo com os objetivos do trabalho. Dessa forma, estabeleceu-se uma relação entre o objetivo e a atividade para obtenção dos resultados desejados. Sendo assim, foi listado na tabela abaixo.

Tabela 1 - Listar as atividades previstas e a que objetivo específico está vinculado

ATIVIDADES	OBJETIVO ESPECÍFICO
1- Banco de dados da <i>web of science</i> e uso do programa <i>vosviewer</i> .	Obter dados sobre artigos que possuem estudos sobre o tema, além dos principais autores relacionados ao tema;
2- Uso do ABNT catálogo para filtro e pesquisa.	Pesquisar quantitativa de normas existente que se relacionam com o tema.
3- Revisão de literatura com a utilização do banco de dados da capes periódico com base na <i>Web of Science</i> utilizando filtros sobre o tema.	Pesquisar e caracterizar quais materiais e composições utilizados sofrem mais danos a altas temperaturas e quais podem melhorar o seu desempenho; Identificar quais ensaios e métodos utilizados para o estudo do concreto em situação de incêndio;
4- Revisão de literatura com a utilização do banco de dados da capes periódico com base na <i>Web of Science</i> utilizando filtros sobre o tema.	Identificar quais ensaios e métodos utilizados para o estudo do concreto em situação de incêndio;

Fonte: O autor (2022)

3.2 WEB OF SCIENCE

O *Web of Science* é um serviço de indexação de citações científicas com base em assinaturas on-line mantido pela *Thomson Reuters*. Nessa fase, com a base de dados já definida a pesquisa foi dividida em duas etapas a primeira geral e a segundo mais detalhada, na qual foi utilizada a string “Fire in reinforced concrete”. Sendo assim, dado a busca através da string foram obtidas 2259 publicações sobre o tema, dentre todos os selecionados foi escolhido e colocado um filtro como os temas relacionados a “Engenharia civil” onde foram obtidos 1429. Sendo assim, foi selecionado apenas os abertos à leitura, logo, o número ficou em 210 publicações que são de 1997-2022.

A utilização da ferramenta *VOSviewer* consistiu na sua aplicação atrelada a primeira busca onde foram obtidos os 210 primeiros artigos encontrados na base de dados do *web of science*. Desse modo, foi utilizado tais artigos para obtenção de dados mais gerais sobre o tema.

Porém, ainda era necessário especificar mais os artigos relacionados ao tema, desse modo foi feita a segunda etapa mais detalhada. Onde, consistiu do estabelecimento de dois grupos de palavras-chave principais relacionadas ao tema em estudo para posterior estabelecimento de outras palavras-chaves a partir desses grupos principais. O primeiro grupo principal foi incêndio (*Fire*), que consiste em 9 palavras-chave. O segundo foi concreto (*Concrete*), apresentando 11 palavras-chave.

Sendo assim, foram formuladas outras palavras a partir dos grupos principais com o intuito de englobar os principais tópicos relacionados ao tema e buscar artigos que abordem especificamente assuntos que contribuam para o desenvolvimento deste trabalho. A Tabela 1 apresenta os grupos e suas respectivas palavras-chave. Posteriormente, um novo grupo de palavras-chave foi criado combinando as palavras dos dois grupos apresentados usando lógica booleana com os operadores *AND* e *OR*. As palavras de um mesmo grupo foram separadas por *OR* e em seguida foram combinadas aos outros grupos através do *AND* (por exemplo, “((*fire engineering* OR fire resistancet* OR ...*) *AND (reinforced concrete* OR...)*”).

Tabela 2 - Conjunto de palavras-chave

INCÊNDIO	CONCRETO
<i>Fire engineering*; Fire resistance*; Fire-induced spalling*; High temperature*; Post-fire*; Fire safety assessment*; Fire resistance*; Fire protection*; Post-fire residual strength*.</i>	<i>Reinforced concrete*; Concrete columns*; Structural failure*; Strengthening*; Steel reinforced concrete*; Residual strength*; Reinforced concrete structure*; mechanical properties*; concrete*; Reinforced concrete building*; Structural assessment*</i>

Fonte: O autor (2022)

Dessa maneira, realizou-se uma busca mais detalhada em pesquisa avançada. Os artigos dessa pesquisa foram publicados em periódicos até março de 2022, em inglês, no *Science Citation Index*, compilado pelo Institute for Scientific Information por Web of Science Core Collection.

A pesquisa encontrou 30 artigos de acordo com o conjunto de combinações de palavras-chave usadas com a rótula de campo chamada Título (TI) - TI = ((*Fire engineering OR Fire resistance OR Fire-induced spalling OR High temperature OR Post-fire OR Fire safety assessment OR Fire resistance OR fire protection OR Post-fire residual strength*) AND (*Reinforced concrete*) AND (*Concrete columns OR Structural failure OR Strengthening OR Steel reinforced concrete OR Residual strength OR Reinforced concrete structure OR mechanical properties OR concrete OR Reinforced concrete building OR Structural assessment*)) and Acesso Aberto and Artigo (Tipos de documento) and Coleção principal da Web of Science (Base de dados) and English (Idiomas). A busca foi finalizada em outubro de 2022.

De acordo com a formulação das palavras-chave conseguiu-se obter documentos que atendiam a necessidade deste artigo, sendo necessário aplicar apenas um filtro com a finalidade de alinhar os trabalhos obtidos com o objetivo que se pretende alcançar nessa pesquisa. Com a aplicação da busca bibliográfica na base *Web of Science* foram obtidos 30 trabalhos.

O objetivo do filtro foi desenvolver o estudo baseado em artigos que foram publicados em periódico, dessa forma permitindo que sejam feitas análises dos

principais periódicos que abordam o tema dessa pesquisa. O filtro foi aplicado na categoria de tipos de documentos.

3.3 NORMALIZAÇÃO EXISTENTE

Já para normalização, com banco de dados e as *strings* já definidos, foi também necessário estabelecer o procedimento de busca de normalização existente para obtenção da documentação.

Nesse sentido, a busca pela normalização se inicia no site: abnt.org.br, na parte de ABNT catálogo, site: www.abntcatalogo.com.br/default.aspx. Assim, foi utilizado esse local em conjunto com os filtros de buscar preestabelecidos para encontra as normas existentes sobre o tema em diversos organismos do Brasil e do mundo.

De início, buscava-se o grupo de normas da ABNT que tratam do tema. Desse modo, foi utilizado a primeira palavra-chave incêndio onde encontrou-se 106 normas existentes sobre o tema, entretanto depois do refinamento da busca com a palavra concreto para maior especificação foi encontrado 3 normas NBR em vigor e um NR.

Ademais, o método utilizado para determinação das normas internacionais foi semelhante as brasileiras, onde diferem na seleção dos organismos e nas palavras chaves.

Desse modo, foram marcados os organismos ISO, IEC, BSI, DIN e ASTM no início da busca e utilizados como *strings* as definidas na etapa de planejamento, sendo *fire* e no refinamento *concrete*. Sendo assim, na primeira busca encontrou-se 4166 normas dos diferentes países e depois com o refinamento 83, onde estão listadas separadas por grupos.

Entretanto, é possível verificar que das 83 algumas são atualizações de normas já existentes e outras duplicadas por traduções, com isso reduzindo o número para 73 resultados diferentes, que são entre eles muitas partes de normas e atualizações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, será apresentado todos os resultados obtidos através de todas das metodologias apresentadas e aplicação na revisão literária, como: os resultados da ferramenta utilizadas, os resultados dos estudos experimentais e estudos realizados e os resultados da normalização e seus principais parâmetros.

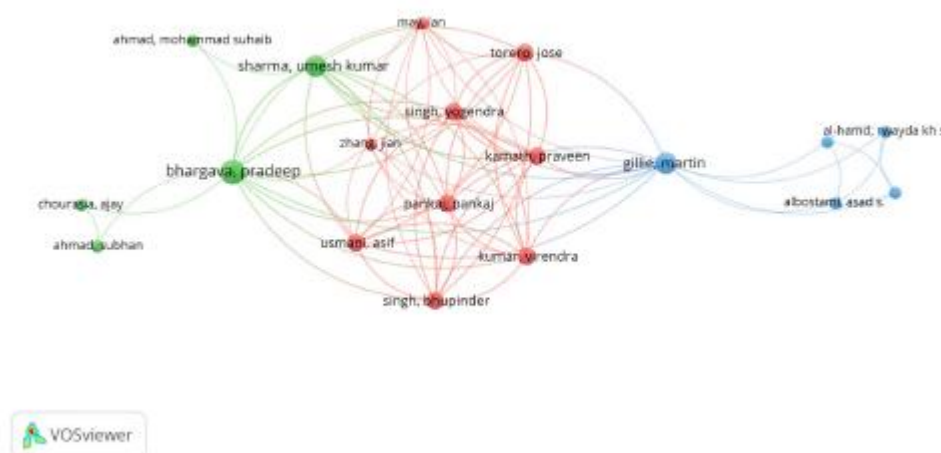
4.1 RESULTADOS COM PROGRAMA VOSVIEWER

Neste item pretendesse apresentar os resultados dos estudos, estudos realizados e sistematizados no gráfico do *vosviewer*, com destaque nos estudos experimentais, relatório de estudos de caso e os avanços mais recentes.

Sendo assim, A partir do banco de dados e da metodologia descrita aliado a descrição dos fundamentos do programa utilizado foi possível alguns resultados, referente às publicações sobre o tema pesquisados através da ferramenta.

Desse modo, foi obtido alguns dos principais autores e universidades de relevância, ou seja, os mais citados diante das palavras pesquisadas. Nesse sentido, dentre todos os relevantes, destacam-se: Gillie, Martin; Bhargava, Pradeep e Sharma, Umesh Kumar. Como mostra a figura abaixo.

Figura 8 - Aba VOSviewer – Network Visualization – resultado autor.



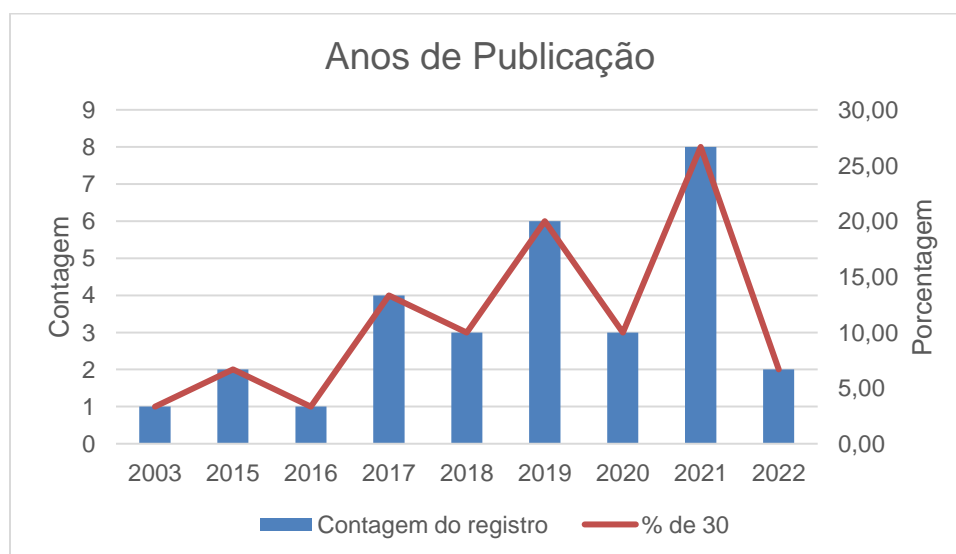
Fonte: resultado VOSviewer (2022)

4.2 ANOS DE PUBLICAÇÃO DOS ARTIGOS

Os artigos selecionados para revisão bibliográfica possuem espaço temporal do ano de 2003 ao ano de 2022, considerando que os artigos publicados no ano de 2022 foram até o mês agosto. Observa-se tendência de aumento no número de artigos para período apresentado, o aumento ocorreu de forma gradual, possuindo anos com o número de artigo decrescente em relação ao ano anterior.

O ano com que contempla o maior número de artigos registrados foi o ano de 2021. De modo geral, observa-se maior interesse pelos pesquisadores acerca do tema abordado neste estudo. A Figura 9 apresenta a evolução do número de artigos ao longo dos anos para o período especificado.

Figura 9 – Anos de publicação dos artigos



Fonte: Autor (2022)

4.3 DISTRIBUIÇÃO DE ARTIGOS POR CATEGORIAS DA WEB OF SCIENCE

O escopo da pesquisa está restrito a 30 periódicos que foram coletados da base eletrônica *Web of Science*. A distribuição do número de artigos por periódicos é apresentada na Tabela 3. A porcentagem de artigos por periódicos levantados durante as etapas de revisão sistemática de literatura mostra que dois periódicos

apresentaram um número de artigos a partir de 10 (*Materials Science Multidisciplinary* e *Engineering Civil*).

Tabela 3 – Categorias da Web of Science em relação ao número de artigos

Categorias da Web of Science	Contagem do registro
Materials Science Multidisciplinary	20
Engineering Civil	11
Physics Applied	8
Metallurgy Metallurgical Engineering	7
Chemistry Physical	6
Construction Building Technology	6
Physics Condensed Matter	6
Engineering Multidisciplinary	4
Chemistry Multidisciplinary	2
Engineering Electrical Electronic	1
Engineering Mechanical	1
Environmental Sciences	1
Environmental Studies	1
Green Sustainable Science Technology	1
Materials Science Ceramics	1
Transportation Science Technology	1

Fonte: Autor (2022)

4.4 DISTRIBUIÇÃO DE ARTIGOS POR ÁREA DE PESQUISA

Com base em dados extraídos do banco de dados da coleção principal Web of Science e que mais de uma área de pesquisa pode ser designada para um artigo, o trabalho está restrito a 9 áreas de pesquisa. A distribuição de artigos por área de pesquisa é apresentada na Tabela 4. A porcentagem de artigos por área de pesquisa definidas nas etapas de revisão sistemática da literatura mostra que algumas áreas fizeram uso mais frequente do que outras em relação ao contexto das estruturas de concreto armado submetidas a situação de incêndio.

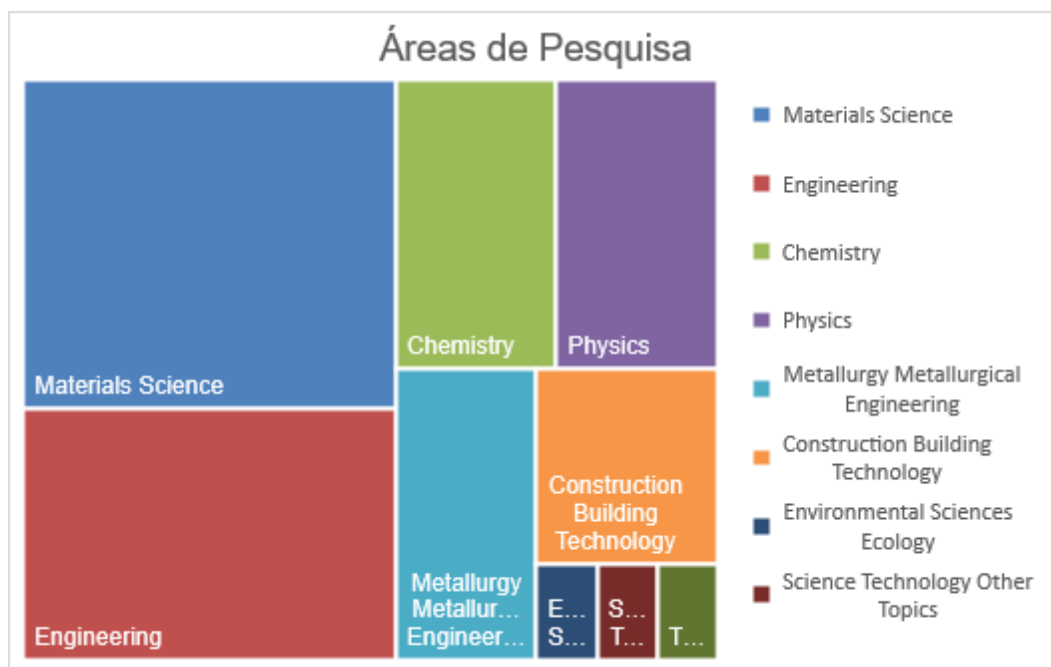
Em uma abordagem ampla com relação a conjuntura da distribuição de artigos em cada área de pesquisa, nota-se que as duas primeiras áreas (*Materials Science* e *Engineering*) têm maior representatividade de artigos, levando em conta que mais de uma área de pesquisa pode ser designada para um artigo.

Tabela 4 – Número de artigos em relação a área de pesquisa

Áreas de pesquisa	Contagem do registro
Materials Science	21
Engineering	16
Chemistry	8
Physics	8
Metallurgy Metallurgical Engineering	7
Construction Building Technology	6
Environmental Sciences Ecology	1
Science Technology Other Topics	1
Transportation	1

Fonte: Autor (2022)

Figura 10 - Áreas de pesquisa dos artigos selecionados



Fonte: WOS (2022)

4.5 DISTRIBUIÇÃO DE ARTIGOS POR MATERIAIS EMPREGADOS

Foi possível observar que tanto as fibras de aço quanto as fibras de basalto melhoraram a alta resistência à temperatura do concreto. Sendo assim, melhoraram notavelmente os resultados mecânicos e propriedades do concreto, além de manter a integridade do concreto após exposição a temperaturas elevadas. Entretanto, o comprimento da fibra também pode afetar nos resultados obtidos.

Segundo Lina Xu *et al* (2021), em estudos realizados com fibra de basalto, a resistência a compressão do concreto com uma temperatura de 600°C, com comprimentos de fibra de 12 mm e teor de 1 kg/m³ foi 20% maior que a dos corpos

de prova sem fibra. Já a resistência à compressão não confinada dos corpos de prova com comprimento de fibra de 6 mm e teor de 3 kg/m³ foi 19% maior que a dos corpos de prova sem fibra. Quando o comprimento de fibra de 18 mm foi adicionado, a resistência à compressão não confinada do corpo de prova diminuiu, o que indica que comprimentos de fibra deste tamanho e acima não melhoram a resistência do concreto.

Segundo o estudo realizado por Huailiang Wang et al (2020), em seu estudo com a utilização de fibra de aço. Em relação a coloração do concreto após aquecido, a inspeção visual de amostras aquecidas mostram que ocorre mudanças de cor de todos os tipos de concreto e foram basicamente as mesmas depois de experimentar diferentes históricos de aquecimento: a cor do concreto era cinza claro à temperatura ambiente, enquanto a cor do concreto da superfície tornou-se cinza escuro a 200 °C, rosa cinza ou amarelo acinzentado a 400 °C, cinza acastanhado a 600 °C e cinza-esbranquiçado a 800 °C, ademais a 200 e 400 °C, não há trincas significativas nas superfícies.

No entanto, a 600 °C e 800 °C, houve muitas fissuras irregulares na superfície de corpos de prova de concreto simples. Isso pode ser explicado pelas diferentes dilatações térmicas da argamassa de cimento e do agregado graúdo. Houve um gradiente de temperatura acentuado e uma alta pressão interna de vapor na amostra em altas temperaturas.

Deve-se notar também que em seu estudo a cor do corpo de prova não muda significativamente, mas o número e a largura da trinca obviamente diminuem quando fibras de aço são adicionadas. Para amostras reforçadas com fibra de aço, pequenas rachaduras puderam ser observadas a olho nu somente após 800 °C. Essas melhorias foram devidas ao fato de que as fibras de aço que formam pontes entre as trincas podem inibir o desenvolvimento de trincas.

Além disso, a condutividade térmica da fibra de aço foi maior do que o concreto simples, tornando a transferência de calor mais uniforme. Isso ajudou a reduzir a pressão do vapor d'água e a propagação de fissuras no concreto. Além disso, conforme mostrado as resistências à compressão axial de concretos reforçados com fibras de aço foram relativamente maiores do que aquelas sem fibras de aço à temperatura ambiente.

Como esperado, a diminuição da resistência residual à compressão axial de todas as misturas de concreto foi relativamente pequena em 200 e 400 °C, enquanto a redução da resistência em temperaturas de 600–800 °C foi muito maior. As perdas percentuais médias na resistência à compressão reforçados com fibra de aço foram menores do que as de que sem fibras de aço após aquecimento em diferentes temperaturas.

Os resultados da pesquisa acima concordaram com Xie *et al* (2018), que sugeriram que a fibra de aço aumenta as resistências à compressão e residual à temperatura ambiente e temperatura elevada, respectivamente. A presença de fibras de aço melhorou a resistência à tração tanto antes quanto depois da exposição ao fogo. O corpo de prova com fibra de aço de ponta em gancho perdeu uma quantidade menor de resistência, o que é atribuído à ação de reforço mais forte para fechar as rachaduras.

O concreto reforçado com fibra de aço apresentou maior resistência residual à compressão e à tração após o aquecimento e maior desempenho dúctil devido às características homogêneas da matriz de concreto. As fibras de aço melhoram a energia de compressão absorvida à temperatura ambiente, bem como a altas temperaturas. A capacidade de absorção de energia da maioria das misturas de concreto aumenta para temperaturas abaixo de 400 °C, mas diminui acima de 400 °C. No entanto, a influência das fibras no módulo de elasticidade residual é mínima.

Outro estudo de grande relevância, mostrou que a incorporação de fibras de aço no concreto ajuda a diminuir o gradiente de temperatura no interior do concreto, reduz a diferença de tensão térmica interna e melhora a resistência à fissuração e resistência ao fogo do concreto; Comparado com cada corpo de prova com fibras, o corpo de prova de concreto simples teve um valor de dano mais alto da resistência à flexão da fissura inicial, o que indica que a adição de fibras de aço ajuda a reduzir o impacto da alta temperatura no grau de dano à resistência à flexão da fissura inicial de concreto; As fibras de aço podem melhorar significativamente a resistência à flexão equivalente do concreto em condições normais e de alta temperatura. Além disso, no escopo deste estudo, a resistência equivalente à flexão aumentou com o aumento das dosagens de fibra de aço (HUAYUN LI *et al*, 2022).

Segundo Augusto *et al* (2019), a adição de fibras de aço, no qual confirma que sua adição contribui para o aumento da resistência à tração na compressão

diametral e contribui também para o aumento da resistência à flexão, além de apresenta um comportamento mecânico residual muito superior após os incêndios quando comparado com o concreto sem fibras. Ademais, o aumento do comprimento da fibra leva a uma maior resistência residual após o fogo. Sendo que, no seu estudo foi mostrado também, após uma investigação do efeito das dimensões das fibras nas propriedades mecânicas dos agregados, após o teste com várias dimensões se chegou a seu resultado ótimo, uma fibra com um comprimento igual a 50 mm. Este resultado estava de acordo com os dados relatados por Sarzalejo *et al* (2009), que sugeriram que o comprimento das fibras selecionadas deve ser o dobro da dimensão máxima dos agregados com tolerância de 20%.

Já na utilização de fibras híbridas (adição de polímero e fibras de aço), ambos a resistência à tração e à compressão, diminui com o aumento da temperatura. O pico de resistência à compressão a 400°C e 600°C representam 60% e 35%, respectivamente, da resistência inicial, o pico resistência à tração de 60% e 30%, respectivamente.

No estudo realizado por Maged Tawfik *et al* (2022), com a utilização de fibras de aço e de polipropileno, sendo o concreto quando exposto a uma temperatura de 200 °C, a resistência à compressão residual da amostra de controle, amostra de concreto reforçado com fibra híbrida, amostra de concreto reforçado com fibra de aço e corpo de prova de concreto reforçado com fibras de polipropileno foram 70%, 87%, 80% e 79%, respectivamente. E em comparação com o espécime de controle, a resistência à compressão residual aumentou em 24% para o espécime de concreto reforçado com fibra híbrida.

Quando exposto a uma temperatura de 400 °C, foi observada falha explosiva frágil para a amostra de controle durante o processo de aquecimento. Por outro lado, a amostra de concreto reforçado com fibra híbrida, a amostra de concreto reforçado com fibra de aço, e a amostra de concreto reforçado com fibra de polipropileno mantiveram 65%, 60% e 55% de sua resistência à compressão original. Em contraste, eles conseguiram manter 42%, 39% e 30% de sua resistência à compressão original quando expostos a uma temperatura de 600 °C, respectivamente.

As amostras de concreto contendo fibras de aço-polipropileno individuais ou híbridas foram capazes de suportar temperaturas de até 600 °C, enquanto as

amostras de controle, que eram desprovidas de fibras, seriam incapazes de tolerar temperaturas acima de 200 °C e ocorreu uma lasca térmica explosiva durante o processo de aquecimento, pois a presença de fibras no interior da mistura de concreto potencializa o processo de hidratação e, posteriormente, retarda o processo de fissuração e melhora a resistência de ligação entre os agregados e a pasta circundante. Quando expostos a temperaturas de 200 °C, 400 °C e 600 °C, os corpos de prova de concreto reforçado com fibras híbridas mantiveram 87%, 65% e 42% de sua resistência à compressão inicial, respectivamente.

Portanto, a adição de fibras de polipropileno, melhorou significativamente as propriedades mecânicas, mais do que adicionar apenas um tipo de fibra. Usando fibras híbridas no concreto a mistura aumentou a resistência à compressão, tração e flexão. Além disso, aumentou a resistência à compressão residual para corpos de prova expostos a temperaturas altas.

Contudo, com a utilização de intumescente à base de epóxi reforçado com fibra em concreto, notou que esses revestimentos podem fornecer confinamento passivo eficaz ao concreto, alcançando aprimoramentos de resistência e tensão axial finais.

Já na utilização de Nano SiO₂ reduziu a porosidade interna e aumentou a compacidade do concreto. Ressalta-se também, que a quantidade apropriada de fibra de carbono e NS pode melhorar as resistências do concreto. O concreto reforçado com fibra de carbono e nano SiO₂ que apresentou melhores resultados comparado com outras porcentagens da mistura foi 0,25% de fibra de carbono, 1% Nano SiO₂. O concreto reforçado com fibra de carbono e Nano SiO₂ (NSCFRC) forneceu propriedades mecânicas relativamente melhores do que o PC. A resistência à compressão, resistência à tração e resistência à flexão do NSCFRC com 0,25% de fibra de carbono e 1% de NS foram 6,8%, 20,3% e 11,7% maiores do que o Concreto simples (PC), respectivamente. Além disso, o concreto reforçado com fibra de carbono Nano SiO₂ (NSCFRC) pode melhorar as propriedades mecânicas do concreto após altas temperaturas. O efeito da alta temperatura nas propriedades mecânicas residuais do NSCFRC foi menor do que no PC.

O estudo de José D. Ríos *et al* (2018), explorou o efeito da temperatura no comportamento à fratura e outras propriedades mecânicas de concreto autoadensável reforçado com fibra de polipropileno de alta resistência em uma faixa

de temperaturas de até 700°C, mostrando que: a adição de fibras gera uma rede de canais na matriz que reduz os danos por pressão interna e os efeitos de fragmentação. No entanto, reduz a resistência do material à temperatura ambiente devido ao aumento dos poros pelo ar aprisionado; As fibras produzem um efeito de ponte na frente da trinca que costura microfissuras enquanto não são degradadas. Isso melhora as propriedades de resistência e ductilidade em condições quentes e frias; Fibras mais longas criam uma grande rede de canais para evaporar a pressão interna e reduzir o efeito de fragmentação, mas aumentam o número de vazios na matriz que reduz as propriedades mecânicas e produz um amolecimento do material; Já o tempo de exposição não afeta quando a temperatura é atingida uniformemente em toda a matriz. A partir desse momento, o comportamento do concreto será o mesmo independentemente se os corpos de prova forem aquecidos por mais tempo.

A Tabela 5 apresenta as referências para cada tipo de material propostos nos artigos.

Tabela 5 - Materiais empregados

Material	Citação
Fibra de aço	Ping et al (2021); Moawiah et al. (2021); Novák & Kohoutková (2017); Alrekabi & Cunha & Barros (2017); Peng et al. (2020); Huailiang et al. (2020); Augusto CS et al. (2019); Maged et al. (2022); Marcos García et al. (2021); Huayun et al. (2022); Visokokakovostnega & Oja (2019); Abdi Moghadam & Izadifard (2021)
Fibra de polipropileno	Moawiah et al. (2021); Novák & Kohoutková (2017); Maged et al. (2022); Taegyu et al. (2020); Marcos García et al. (2021); José D. et al. (2018)
Fibra de basalto	Ping et al. (2021); Lina et al. (2021)
Fibra de carbono nano SiO ₂ (NSCFRC)	Linsong et al. (2019)
Fibra de nylon	Taegyu et al. (2020)
Cinza volantes	Ping et al. (2021)
Intumescente à base de epóxi	Triantafyllidis & Bisby (2020)

Fonte: O Autor (2022)

4.6 DISTRIBUIÇÃO DE ARTIGOS POR MODELAGENS EMPREGADOS

Modelos são aplicados para cada tipo específico de investigação em situação de incêndio. Os artigos encontrados que traziam em seu escopo algum tipo de

modelagem tinham em comum a intenção de realização de um estudo numérico ou propor através de métodos já existentes um novo modelo de investigação para as estruturas que estão expostas ao fogo.

A revisão sistemática foi trabalhada com 30 artigos, porém contabilizou-se 14 artigos apresentando algum tipo de modelagem em seu estudo. Dessa forma, 46,67% dos artigos foram sobre modelagem. Isso justifica o levantamento dos tipos de modelos usados em cada trabalho ser apresentado nesse estudo (ver Tabela 6).

As características de cada modelo resumem-se a Cálculos dinâmicos, estudos analíticos e numéricos, modelagens através de elementos infinitos, modelos de testes normatizados e avaliação através de equipamentos.

O levantamento dessas informações torna-se muito relevante, uma vez que expressa os modelos usados em cada estudo, facilitando a identificação de tipos específicos de aplicações, além de apresentar as referências que utilizaram modelos.

Tabela 6 - Modelagem empregadas

Modelagem	Citação
Cálculo dinâmico da resistência do pilar armado carregado excentricamente sob diferentes temperaturas e sob diferentes características de carregamento.	Tamrazyan & Avetisyan (2016)
Propor um método simples de teste de fogo para resistência ao momento através da ISO 834-1 teste de fogo padrão.	Raouffard & Nishiyama (2015)
O desempenho de vigas mistas de concreto protendido em situação de incêndio.	Harbi & Izzet (2018)
Produção de um fluxograma de uma abordagem integrada para investigação pós-incêndio.	Flavio et al. (2017)
Exposição das lajes a diferentes formas de intensidade do fogo do compartimento.	Yong et al. (2021)
O estudo analítico através do valor do coeficiente reduzido de termodifusão do concreto, intensidade de força tensão na armadura de trabalho e o tamanho do seu diâmetro.	Ilyin & Panfilov & Gorshkalev (2018)
Estudo numérico das estruturas de concreto armado.	Oleg et al. (2017)
Utilização do sistema ARAMIS para realizar medições tridimensionais de deformação e deslocamento.	Smazewski (2019)
Microscopia Eletrônica de Varredura	Linsong et al. (2019)
Avaliação das propriedades iniciais de fusão das fibras com base na termogravimetria (TGA) e análise térmica diferencial (DTA)	Taegyu et al. (2020)
Teste de flexão e cisalhamento dos corpos de prova da viga de acordo com o código ACI 318M-14.	How-ji et al. (2021)
Modelo de elementos finitos através do software ABAQUS para investigar o comportamento à flexão de vigas de concreto armado submetidas a carga de serviço sob temperatura elevada.	Bamonte & monte (2015)
Simular numericamente uma série de testes de escala completa bem documentados nas colunas R/C expostas a Standard Fire	Mohammad et al. (2019)
Metodologia probabilística para determinar a confiabilidade de um elemento estrutural exposto ao fogo quando projetado seguindo Eurocódigo 1-1-2.	Abdi Moghadam & Izadifard (2021)

Fonte: O Autor (2022)

4.7 DISTRIBUIÇÃO DE ARTIGOS POR MÉTODOS DE TESTES EMPREGADOS

Com a aplicação da síntese de dados foram obtidas onze estratégias de métodos para os testes. Essas avaliações foram empregadas em situação de altas temperaturas, e indicam a direção dos esforços para cada avaliação proposta. Em resumo, os principais pontos levantados são sobre teste de flexão, teste de compressão, teste de tração, teste de transporte de calor, teste de tensão dividida, teste de resistência através de carregamentos, testes de resistência ao fogo, testes destrutivos e não destrutivos, teste ultrassônico, teste de cisalhamento e método de deformação.

Com a revisão sistemática elaborada neste trabalho, foi possível encontrar 14 referências que apresentam o teste de flexão e compressão como um método para análise em altas temperaturas (ver Tabela 7).

Foram encontrados 8 (ver Tabela 7) que abordavam Teste de tração e 4 para teste de resistência ao fogo.

Dessa forma os testes de flexão, compressão e tração, são as mais indicadas para obtenção dos resultados, a partir do levantamento.

A Tabela 7 apresenta as referências para cada tipo de método de teste propostos nos artigos.

Tabela 7 - Método de testes empregados

Método de Teste	Citação
Teste de flexão	Ping et al. (2021); Moawiah et al. (2021); Alrekabi & Cunha & Barros (2017); Peng et al. (2021); Yong et al. (2021); Maged et al. (2022); Ilyin & Panfilov & Gorshkalev (2018); Smarzewski (2019); Linsong et al. (2019); Marcos García et al. (2021); How-ji et al. (2021); Huayun et al. (2022); Visokokakovostnega & Lastnosti & Oja (2019); Sebastjan et al. (2003)
Teste de compressão	Ping et al. (2021); Moawiah et al. (2021); Novák & Kohoutková (2017); Tamrazyan & Avetisyan (2016); Lina et al. (2021); Alrekabi & Cunha & Barros (2017); Peng et al. (2021); Huailiang et al. (2020); Augusto cs et al. (2019); Maged et al. (2022); Triantafyllidis & bisby (2020); Linsong et al. (2019); José D. et al. (2018); Visokokakovostnega & Lastnosti & Oja (2019); Bamonte & Monte (2019)

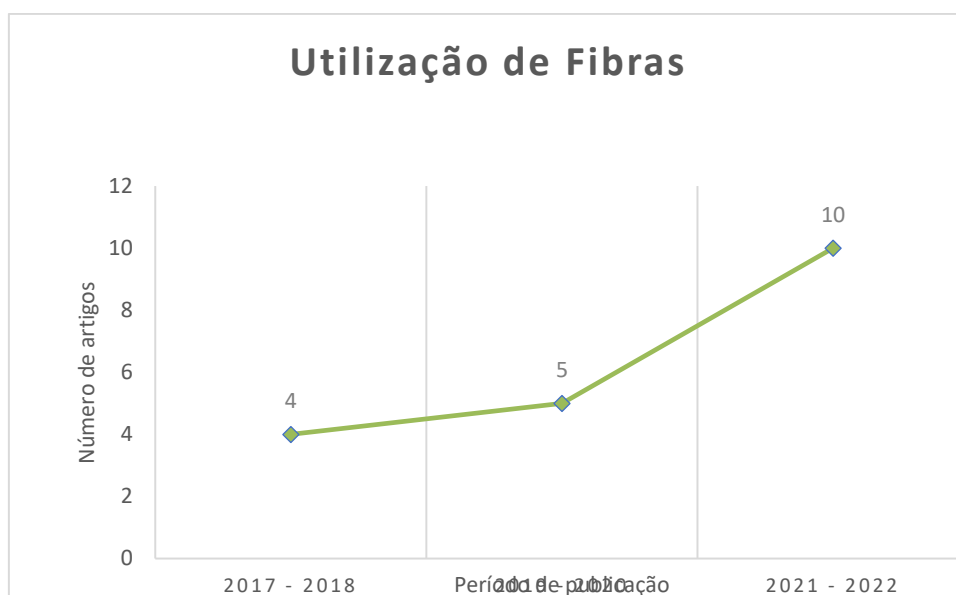
Teste de tração	Moawiah et al. (2021); Peng et al. (2021); Augusto CS et al. (2019); Maged et al. (2022); Linsong et al. (2019); How-Ji et al. (2021); José D. et al. (2018); Visokokakovostnega & Lastnosti & Oja (2019)
Teste de transporte de calor	Novák & Kohoutková (2017)
Teste de tensão dividida	Novák & Kohoutková (2017)
Teste de resistência através de carregamentos	Tamrazyan & Avetisyan (2016)
Testes de resistência ao fogo	Raouffard & Nishiyama (2015); Harbi & Izzet (2018); Taegyu et al. (2020); Abdi Moghadam & Izadifard (2021)
Testes destrutivos e não destrutivos	Flavio et al. (2017); Abdi Moghadam & Izadifard (2021)
Teste ultrassônico	Flavio et al. (2017); Lina et al. (2021); Huailiang et al. (2020)
Teste de cisalhamento	Yong et al. (2021)
Método de deformação	Oleg et al. (2017); Marcos García et al. (2021)

Fonte: O Autor (2022)

4.8 TENDÊNCIAS DA PESQUISA

Foi possível observar uma tendência no aumento de artigos sobre dois tópicos para os estudos das estruturas de concreto armado submetidas a ações de incêndio. Os tópicos foram sobre a utilização de fibras (basalto, aço e polipropileno) no concreto e o uso testes de resistências para ensaios (flexão, tração e compressão). As duas observações foram feitas em períodos de anos pré-definido, sendo no primeiro gráfico publicações dos anos de 2017-2018, 2019-2020 e 2021-2022 e no segundo gráfico publicações dos anos 2003-2016, 2017-2018, 2019-2020 e 2021-2022.

Como visto na seção 4.5 a porcentagem de artigos sobre fibras foi de 63,33% e através da Figura 11 se observa a tendência do aumento do número de artigos ao decorrer dos anos. Desta forma, observar-se um aumento de 150% no número de artigos publicados do período de anos de 2017-2018 para 2021-2022.

Figura 11 - Tendência de artigos que utilizaram fibras por períodos

Fonte: O Autor (2022)

A relevância da aplicação dos testes de resistências (flexão, tração e compressão) está atrelada a 73,33%. De acordo com a Figura 12, podemos observar um aumento de 450% do número de artigos publicados do período de 2003-2016 para 2021-2022.

Figura 12 - Tendência de artigos que utilizaram testes de resistências

Fonte: O Autor (2022)

5 CONCLUSÃO

Nesse estudo foi possível avaliar o desenvolvimento de trabalhos acerca da temática que envolve o efeito das estruturas em concreto armado submetidas a situações de incêndio, por meio da apresentação de referências literárias de diversas linhas de pesquisa envolvendo a temática central desse estudo.

Os resultados encontrados sugerem que de modo geral que as fibras independentemente do material empregado podem auxiliar de maneira importante na distribuição uniforme de calor, diminuição do lascamento e aumento da resistência residual do concreto, como também, deixar o concreto mais leve a depender do material empregado.

Os autores pesquisados entendem ser possível usar outros materiais de modo a ter uma melhoria de diversas propriedades físicas e mecânicas, em concretos submetidos a altas temperaturas. Destaca-se também, que os testes mais empregados nos diversos estudos para obtenção dos resultados desejados foram os de flexão, de compressão e de tração.

Dessa forma, o programa *VOSViewer* é uma ferramenta que pode ser utilizada de maneira a obter diversos resultados de maneira rápida e eficiente, como os principais autores relativos a determinado tema, sendo assim, é possível utiliza-lo de diferentes maneiras para auxiliar numa revisão bibliográfica.

A partir destas informações, é preciso que ainda assim continuem sendo incentivadas e orientadas novas pesquisas que busquem cada vez aprimoração do tema e de melhorias das estruturas de concreto em situações de incêndio, para se obter uma maior resistência ao fogo. Pois com o aumento no uso de diversos componentes elétricos e inflamáveis, as situações de incêndios se tornam mais comuns, sendo necessário estruturas cada vez mais resistentes ao fogo.

Vale também ressaltar, que ainda há poucos estudos sobre a coloração do concreto após incêndio, visto que é uma característica de elevada relevância na construção civil, principalmente, na parte prática, podendo assim evitar diversas catástrofes. Pois, é possível estimar através a resistência residual do concreto ou a que temperatura chegou a atingir a estrutura, o que traz benefícios para equipes de salvamento e para futuros reforços estruturais. Sendo assim, faz-se de extrema necessidade tais estudos.

REFERÊNCIAS

ABDI MOGHADAM, Mehrdad; IZADIFARD, Ramezan Ali. **Prediction of the Tensile Strength of Normal and Steel Fiber Reinforced Concrete Exposed to High Temperatures**. International Journal of Concrete Structures and Materials, v. 15, n. 1, p. 1-16, 2021.

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 14323/2013. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios** Em Situação De Incêndio. Brasília (DF), agosto 2013, 66 páginas.

AHMAD, Mohammad Suhaib; BHARGAVA, Pradeep; SHARMA, Umesh Kumar. **Study on bond behaviour exposed to fire using beam specimen**. IOP Conference Series-Earth and Environmental Science, 2018.

AHMAD, subhan; BHARGAVA, pradeep; CHOURASIA, ajay. **Shear transfer capacity of reinforced concrete exposed to fire**. IOP Conference Series-Earth and Environmental Science, 2018.

ALBERTI, Marcos García et al. **Influence of high temperature on the fracture properties of polyolefin fibre reinforced concrete**. Materials, v. 14, n. 3, p. 601, 2021.

ALREKABI, T. Kh; CUNHA, Vitor MCF; BARROS, Joaquim AO. **Reactive powder concrete reinforced with steel fibres exposed to high temperatures**. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2017. p. 012020.

AL-HAMD, Rwayda Kh S; GILLIE, Martin; CUNNINGHAM, Lee S; WARREN, Holly;; ALBOSTAMI, Asad S. **Novel shearhead reinforcement for slab-column connections subject to eccentric load and fire**. ARCHIVES OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING. The Higher Committee for Education and Development in Iraq (HCED), 2019.

BAMONTE, Patrick; MONTE, F. Lo. **Reinforced concrete columns exposed to standard fire: Comparison among different constitutive models for concrete at high temperature**. Fire safety journal, v. 71, p. 310-323, 2015.

BEZERRA, Augusto CS et al. **Effect of high temperature on the mechanical properties of steel fiber-reinforced concrete**. Fibers, v. 7, n. 12, p. 100, 2019.

BRATINA, Sebastjan et al. **Non-linear fire-resistance analysis of reinforced concrete beams**. Structural engineering and mechanics, v. 16, n. 6, p. 695-712, 2003.

CAETANO, GEOVANE **Modelos preditivos de dano aplicados a estruturas de concreto atacadas por reação álcali-sílica: Uma Revisão Sistemática Da Literatura**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás. Goiania, 2017. 100 p.

CHEN, How-Ji et al. Flexural Behavior of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete Beams after Exposure to High Temperatures. **Materials**, v. 14, n. 18, p. 5400, 2021.

ECK, Nees Jan van; Waltman, Ludo. **Manual for VOSviewer version 1 .6.16 - 25 November 2020** Universiteit Leiden, CWTS Meaningful metrics.

HARBI, Nibras Abbas; IZZET, Amer F. **Performance of post-fire composite prestressed concrete beam topped with reinforced concrete flange**. Civil Engineering Journal, v. 4, n. 7, p. 1595-1609, 2018.

HEIDARI, Mohammad et al. **Probabilistic study of the resistance of a simply-supported reinforced concrete slab according to Eurocode parametric fire**. Fire technology, v. 55, n. 4, p. 1377-1404, 2019.

ILYIN, Nikolay; PANFILOV, Denis; GORSHKALEV, Pavel. **Analytical description of physical and technical parameters of a bending reinforced concrete structure, influencing reinforcement fire resistance**. In: MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2018. p. 04019.

KALMYKOV, Oleg et al. **Study of fire-resistance of reinforced concrete slab of a new type**. In: MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2017. p. 02018.

LEE, Taegyu et al. **Spalling resistance of fiber-reinforced ultra-high-strength concrete subjected to the ISO-834 standard fire curve: Effects of thermal strain and water vapor pressure**. Materials, v. 13, n. 17, p. 3792, 2020.

LI, Huayun et al. **Flexural Toughness Test and Inversion Research on a Thermal Conductivity Formula on Steel Fiber-Reinforced Concrete Components Post-Fire**. Materials, v. 15, n. 15, p. 5103, 2022.

MEIRA, Gibson Rocha. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto - fundamentos, diagnóstico e prevenção**. Editora IFPB – IFPB, João Pessoa, PB, 127 p. 2017.

MUBARAK, Moawiah et al. **Mechanical properties of high-performance hybrid fibre-reinforced concrete at elevated temperatures**. Sustainability, v. 13, n. 23, p. 13392, 2021.

NOVÁK, Josef; KOHOUTKOVÁ, Alena. **Fire response of hybrid fiber reinforced concrete to high temperature**. Procedia Engineering, v. 172, p. 784-790, 2017.

RAOUFFARD, Mohammad Mahdi; NISHIYAMA, Minehiro. **Fire resistance of reinforced concrete frames subjected to service load: Part 1. experimental study**. Journal of Advanced Concrete Technology, v. 13, n. 12, p. 554-563, 2015.

RÍOS, José D. et al. **Behavior of high-strength polypropylene fiber-reinforced self-compacting concrete exposed to high temperatures**. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 30, n. 11, p. 04018271, 2018.

SHARMA, UK; USMANI, A; BHARGAVA, P; TORERO, J; SINGH, B; GILLIE, M; SINGH, Y; PANKAJ, P; KUMAR, V; MAY, I; KAMATH, P; ZHANG, J. **Full-scale testing of a damaged reinforced concrete frame in fire**. UK-India Education and Research Initiative (UKIERI), 2012.

SMARZEWSKI, Piotr. **Study of toughness and macro/micro-crack development of fibre-reinforced ultra-high performance concrete after exposure to elevated temperature**. Materials, v. 12, n. 8, p. 1210, 2019.

SOUSA, Paulo F. S. **Lajes mistas com fôrma de aço incorporada em situação de incêndio - análises experimental e numérica**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2018. 80p.

STOCHINO, Flavio et al. **Integrated approach for post-fire reinforced concrete structures assessment**. 2017.

TAMRAZYAN, Ashot G.; AVETISYAN, Levon A. **Experimental and theoretical study of reinforced concrete elements under different characteristics of loading at high temperatures**. Procedia engineering, v. 153, p. 721-725, 2016.

TAWFIK, Maged et al. **Mechanical Properties of Hybrid Steel-Polypropylene Fiber Reinforced High Strength Concrete Exposed to Various Temperatures**. Fibers, v. 10, n. 6, p. 53, 2022.

TRIANTAFYLLIDIS, Zafiris; BISBY, Luke A. **Fibre-reinforced intumescent fire protection coatings as a confining material for concrete columns**. Construction and Building Materials, v. 231, p. 117085, 2020.

VISOKOKAKOVOSTNEGA, LASTNOSTI; OJA, Z. VLAKNI; **TEMPERATURAH, VISOKIH. Properties of high-performance fiber-reinforced concrete after thermal treatment at high temperatures**. Materiali in tehnologije, v. 53, n. 4, p. 481-487, 2019.

WANG, Huailiang et al. **Mechanical behavior of steel fiber-reinforced lightweight concrete exposed to high temperatures**. Applied Sciences, v. 11, n. 1, p. 116, 2020.

WANG, Yong et al. **Post-fire behaviour of continuous reinforced concrete slabs under different fire conditions**. Engineering structures, v. 226, p. 111342, 2021.

WU, Linsong et al. **Mechanical properties of nano SiO₂ and carbon fiber reinforced concrete after exposure to high temperatures**. Materials, v. 12, n. 22, p. 3773, 2019.

XU, Lina et al. **Study on Mechanical Properties of Basalt Fiber-Reinforced Concrete with High Content of Stone Powder at High Temperatures**. Advances in Materials Science and Engineering, v. 2021, 2021.

XU, Ping et al. **MECHANICAL PERFORMANCE OF TEXTILE REINFORCED CONCRETE CONTAINING STEEL FIBERS AND BASALT FIBERS SUBJECTED TO HIGH TEMPERATURES.** *Ceramics–Silikáty*, v. 65, n. 3, p. 263-272, 2021.

ZHANG, Peng et al. **Mechanical properties and explosive spalling behavior of steel-fiber-reinforced concrete exposed to high temperature—a review.** *Applied Sciences*, v. 10, n. 7, p. 2324, 2020.