**Comportamento termomecânico de diferentes tipos de concretos com vermiculita**

***Thermomechanical Behavior of Different Types of Concrete with Vermiculite***

**Aldo Ribeiro de Carvalho, Mestre, Universidade Federal de Ouro Preto**

aldorcarvalho@outlook.com

**Arthur Henrique Gasparete Casali, Mestre, Universidade Federal de Juiz de Fora**

arthur.casali@engenharia.ufjf.br

**Gilbert da Silva Júnior, Mestre, Universidade Federal de Juiz de Fora**

gilber.junior@engenharia.ufjf.br

**Thaís Mayra de Oliveira, Doutora, Universidade Federal de Juiz de Fora**

thais.mayra@ufjf.edu.br

Número da sessão temática da submissão – [1E]

**Resumo**

Em elevadas temperaturas, o comportamento mecânico do concreto pode se tornar desfavorável, comprometendo a integridade das estruturas. Diante disso, torna-se imperativo investigar e desenvolver formulações de concreto que possam oferecer um desempenho superior em condições de exposição a temperaturas elevadas. Nesse contexto, o presente estudo explora a substituição de 25% da areia por vermiculita expandida no concreto convencional e de alto desempenho, com resistências de projeto avaliadas em 35, 50 e 70 MPa. Para isso, foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas dos concretos em temperatura ambiente, a 200°C, 400°C e 800°C. Dentre os resultados obtidos, destaca-se que a vermiculita reduz a trabalhabilidade da mistura de concreto. A partir de 400°C de exposição, todos os concretos apresentaram fissuras. Em termos gerais, concretos com resistência projetada de 50 MPa beneficiam-se da substituição do agregado miúdo pela vermiculita.

**Palavras-chave:** Concreto. Vermiculita. Comportamento Termomecânico. Resistência ao Fogo

***Abstract***

*At elevated temperatures, the mechanical behavior of concrete can become unfavorable, compromising the integrity of structures. In light of this, it becomes imperative to investigate and develop concrete formulations that can deliver superior performance under high-temperature exposure conditions. In this context, the present study explores the substitution of 25% of sand with expanded vermiculite in both conventional and high-performance concrete, with project strengths evaluated at 35, 50, and 70 MPa. To achieve this, the physical and mechanical properties of the concretes were assessed at room temperature and at 200°C, 400°C, and 800°C. Among the results obtained, it is noteworthy that vermiculite reduces the workability of the concrete mix. From an exposure temperature of 400°C onward, all concretes exhibited cracking. In general, concretes with a project strength of 50 MPa benefit from the substitution of fine aggregate with vermiculite.*

***Keywords:*** *Concrete. Vermiculite. Thermomechanical Behavior. Fire Resistance*

1. **Introdução**

A construção civil é responsável por diversos danos ambientais em decorrência da larga extração agregados naturais para produção de concreto. No Brasil, a exploração de jazidas para essa finalidade corresponde a aproximadamente 700 milhões de toneladas/ano (ANEPAC, 2013). Diversos estudos existem com o objetivo tornar este material mais sustentável, desde a substituição do cimento Portland por ligantes alternativos, como geopoliméricos (Carvalho *et al.*, 2023a), até a substituição dos agregados naturais por materiais residuais, como pó de mármore (Carvalho *et al.*, 2023b), vidro e escória (Lin e Wu, 2022; El-Hassan *et al.*, 2023). Posto que o concreto é o segundo material mais utilizado no mundo (Carvalho *et al.*, 2023b), é imperativo que sejam desenvolvidos mais estudos com finalidade de torna-lo mais sustentável e durável.

O concreto quando exposto a elevadas temperaturas sofre processos químicos que resultam na desintegração de compostos hidratados (Motta *et al.*, 2024). Com isso, ocorre a ruptura das ligações na microestrutura entre a pasta de cimento e os agregados, gerando poros e microfissuras que são os principais responsáveis pela perda de resistência do material (Dwaikat e Kodur, 2010; Ergün *et al.*, 2013). Nesse contexto, é fundamental o estudo e desenvolvimento de concretos que sejam mais resistentes a elevados temperaturas posto que situações adversas como incêndios são factíveis de ocorrer nas edificações.

Foram registrados no ano de 2022, 572 ocorrências de incêndios em edificações. Só na primeira quinzena de 2023, no estado de Sergipe foram 45 ocorrências (G1, 2023). Em 2024, um incêndio de grandes proporções atingiu um prédio em construção em Recife-PE, a perícia acredita que a causa se deu por um curto-circuito (G1, 2024). Também neste ano, um raio atingiu um imóvel em Porto Alegre-RS iniciando um incêndio que deteriorou toda a estrutura (G1, 2024). Eventos deste porte causam danos materiais ao patrimônio privado, público e, em casos mais agravantes, também à vida e à comunidade. Na cidade de Juiz de Fora-MG, em 2023, uma explosão oriunda de gás de cozinha derrubou duas edificações e iniciou um incêndio que atingiu outras quatro casas e resultou em um óbtio (G1, 2024).

Devido à sua estrutura porosa e à baixa condutividade térmica, o concreto leve é uma opção tecnológica que pode proporcionar respostas mais efetivas para as estruturas suscetíveis à exposição em elevadas temperaturas. Nesse contexto, usar vermiculita expandida como um agregado leve para compor este material pode ser uma alternativa viável, pois a vermiculita possui características como baixa condutividade térmica (0,04-0,14 W/m.K), baixa densidade (80-120 kg/m³), além de ser quimicamente inerte e não tóxica (Rashad, 2016). Liu et al. (2022) estudaram a substituição de areia por vermiculita expandida nas proporções de 10%, 15% e 20% para produção de concretos leves, que foram avaliados a 300°, 600°C e 900°C. Os autores observaram que a substituição de 15% e 20% de vermiculita proporcionou uma resistência residual superior aos concretos de referência quando expostos a 600°C e 900°C (Liu *et al.*, 2022).

Este estudo busca avançar no desenvolvimento de concretos mais resistentes ao fogo, propondo a substituição de 25% da areia natural por vermiculita expandida em três classes diferentes de concreto: 35 MPa, 50 MPa e 70 MPa. Para isso, foram analisadas as propriedades mecânicas de resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade em temperatura ambiente e a 200°C, 400°C e 800°C. Dessa forma, o estudo se destaca ao avaliar três classes distintas de concreto em três temperaturas não previamente estudadas e com uma taxa de substituição até então inédita.

1. **Materiais e Métodos**
   1. Materiais

Foram adotados como agregado miúdo a areia natural do Rio Preto, em Minas Gerais, areia artificial da Pedra Sul Mineração e a vermiculita expandida, tipo Padrão Izo-Flok, da Vermiculita do Brasil. Como agregado graúdo, foram adotados a brita 0 e brita 1 comercializada pela Pedra Sul Mineração. O cimento utilizado foi tipo Portland CPV ARI Plus, da Holcim do Brasil S.A. Para que os traços ganhassem maior trabalhabilidade foram adotados os aditivos de pega normal plastificante SikaMentRM-300 e o super plastificante Sika Viscocrete 3535 CB. Nos concretos de alto desempenho foi utilizado sílica ativa comercializada pela Tecnosil. Em todos os concretos foi utilizado água potável proveniente da rede de abastecimento local.

Todos os materiais utilizados na produção do concreto, foram caracterizados de acordo com as Normas Brasileiras ou por dados disponibilizados pelos fornecedores. Assim, a Tabela 1 apresenta a caracterização dos agregados naturais e a Tabela 2 a caracterização do cimento Portland.

Tabela 1: Caracterização dos agregados naturais.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Propriedades Físicas** | **Areia Natural** | **Areia Artificial** | **Brita 0** | **Brita 1** |
| Módulo de Finura (mm) | 2,64 | 2,26 | 6,04 | 6,89 |
| Dimensão Máxima Característica (g/cm³) | 4,80 | 4,80 | 9,50 | 19,00 |
| Massa Específica Real (g/cm³) | 2,597 | 2,725 | 2,789 | 2,797 |
| Massa Unitária (g/cm³) | 1,526 | 1,777 | 1,428 | 1,522 |
| Teor de Material Pulverulento (%) | 1,92 | 20,02 | 0,25 | 0,30 |
| Absorção (%) | Não se aplica | Não se aplica | 0,6 | 0,5 |

Fonte: Autores (2025)

Tabela 2: Caracterização do cimento Portland ARI Plus da Holcim do Brasil S.A.

| **Análises Físicas** | | | **Análises Químicas** | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Análise** | **Resultado** | **Norma Referência** | **Análise** | **Resultado** |
| Finura  (superfície específica) | 5155 cm²/g | NBR 16372 (ABNT, 2015) | Resíduo insolúvel | 0,73% |
| Finura  (Resíduo na peneira #400) | 1,2% | - | Perda ao fogo (1000ºC) | 2,45% |
| Perda ao fogo (500ºC) | 0,87% |
| Tempo de Início de Pega | 158 minutos | NBR NM 65 (ABNT, 2002) | Óxido de alumínio (Al2O3) | 4,95% |
| Expansibilidade a quente | 0 mm | NBR 11582 (ABNT, 2016) | Óxido de ferro (Fe2O3) | 2,86% |
| Resistência à compressão  (1 Dia) | 28,9 MPa | NBR 7215 (ABNT, 2019) | Óxido de cálcio (CaO) | 63,37% |
| Resistência à compressão  (3 Dias) | 38,8 MPa | NBR 7215 (ABNT, 2019) | Óxido de magnésio (MgO) | 3,43% |
| Resistência à compressão  (7 Dias) | 44,6 MPa | NBR 7215 (ABNT, 2019) | Óxido sulfúrico (SO3) | 1,5% |
| Óxido de potássio (K2O) | 0,89% |
| Resistência à compressão (28 Dias) | 51,4 MPa | NBR 7215 (ABNT, 2019) | Dióxido de silício (SiO2) | 21,07% |
| Dióxido de carbono (CO2) | 0% |

Fonte: Holcim do Brasil S.A (2023).

A Vermiculita do Brasil informa que a vermiculita padrão Izo-Flok possui estado sólido granulado, com pH neutro e ponto de 1350°C, sua densidade é de 80 a 130 kg/m³, é um material não combustível e de composição química contendo silicato hidratado de alumínio, magnésio, ferro, cálcio e potássio. Por sua vez, Tecnosil informa que a sílica ativa possui formato esférico e massa específica de 2220 Kg/m³, com teor de SiO2 superior a 90% e superfície específica de 19.000 m²/Kg.

Foram confeccionadas 3 dosagens de concretos distintos, com classe de resistência de projeto em temperatura ambiente (TA) sendo 35 (C35), 50 (C50) e 70 MPa (C70). O concreto de referência possui a sigla CR seguido do valor de resistência de projeto em MPa. De forma análoga, os concretos com vermiculitas são identificados como CV, onde 25% da areia é substituída por vermiculita em relação ao concreto de referência. As Tabelas 3 e 4 apresentam os traços adotados, em massa.

Tabela 3: Traço de classes 35 e 50 MPa

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Traço** | **Cimento** | **Areia Artificial** | **Areia Natural** | **Vermiculita** | | **Brita 0** | **Brita 1** | **Fator Água / Cimento** | **Aditivo plastificante/super (%)** |
| CR35 | 1 | 0,644 | 1,933 | 0,000 | 0,914 | | 2,133 | 0,52 | 0,50 / 0,15 |
| CV35 | 1 | 0,644 | 1,450 | 0,083 | 0,914 | | 2,133 | 0,52 | 0,50 / 0,15 |
| CR50 | 1 | 0,436 | 1,307 | 0,000 | 0,701 | | 1,635 | 0,38 | 0,50 / 0,25 |
| CV50 | 1 | 0,436 | 0,980 | 0,056 | 0,701 | | 1,635 | 0,38 | 0,50 / 0,25 |

Fonte: Autores (2025)

Tabela 4: Traço de classe 70 MPa

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Traço** | **Cimento** | **Areia Natural** | **Vermiculita** | **Brita 0** | **Fator Água / Cimento** | **Aditivo plastificante/super (%)** | **Sílica Ativa (%)** |
| CR70 | 1 | 1,175 | 0,000 | 1,819 | 0,40 | 0,50/0,25 | 12 |
| CV70 | 1 | 0,881 | 0,050 | 1,819 | 0,40 | 0,50/0,25 | 12 |

Fonte: Autores (2025)

* 1. Métodos

O plano de amostragem adotado prevê a confecção de 52 corpos de prova (CP) para cada tipo de concreto, totalizando 312 CPs. O plano de amostragem em relação aos ensaios mecânicos realizados e a temperatura de análise é apresentado na Tabela 5 junto com suas respectivas normas de referência.

Tabela 5: Plano de amostragem dos ensaios mecânicos

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ensaios** | **Temperaturas (ºC)** | | | |
| **TA** | **200** | **400** | **800** |
| Resistência à Compressão (ABNT, 2018) | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Resistência à Tração (ABNT, 2011) | 6 | 4 | 4 | 2 |
| Módulo de elasticidade (ABNT, 2021) | 5 | 5 | 5 | 5 |

Fonte: Autores (2025)

Para a mistura dos materiais foi utilizado uma betoneira estacionária. Após a pesagem e identificação dos materiais, foi realizado o umedecimento do interior da betoneira, bem como a saturação dos agregados graúdos. Assim, o processo de adição dos insumos ocorreu na ordem: parte da água do traço com o aditivo diluído, agregado graúdo, cimento Portland, agregados miúdos, vermiculita (se prevista), micro sílica (se prevista) e então, o restante da água. A moldagem dos corpos de prova foi realizada conforme a ABNT 5738 (ABNT, 2015) e o processo de cura ocorreu durante 28 dias em câmara úmida.

Após os 28 dias, os CPs previstos para TA foram submetidos aos ensaios de velocidade de onda de pulso ultrassônico, em conformidade com as diretrizes da NBR 8802 (ABNT, 2019), resistência à compressão, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018), à tração, conforme a NBR 7222 (ABNT, 2011) e módulo de elasticidade, segundo a NBR 8522 (ABNT, 2021) na prensa CONTENCO Pavistes. Os demais CPs foram queimados em mufla, com taxa de aquecimento de 2°C por minuto e mantida a temperatura de interesse por 4 horas para então serem resfriados gradualmente. Em seguida os CPs queimados foram submetidos aos ensaios mecânicos supracitados.

1. **Resultados e Discussões** 
   1. Velocidade de Onda de Pulso Ultrassônico

A velocidade do pulso ultrassônico pode ser observada na Figura 1. Percebe-se que essa velocidade tende a diminuir à medida que a temperatura de exposição aumenta. O concreto com vermiculita apresentou uma velocidade de propagação ultrassônica maior em temperatura ambiente (RT) e a 200°C. Acima dessa temperatura, a diferença entre a velocidade do ultrassom no concreto de referência e no concreto com vermiculita torna-se pouco significativa, considerando a escala de propagação dessas ondas.

Além disso, o concreto com maior resistência de projeto (RM70 e VM70) teve uma velocidade do pulso ultrassônico menor que os demais em temperatura ambiente. No entanto, com o aumento da temperatura, passou a apresentar os maiores valores residuais de velocidade ultrassônica. A pequena redução na velocidade residual do ultrassom nos concretos RM70 e VM70 pode ser explicada pelo menor número de poros no material e pela maior resistência à abrasão, características resultantes do uso de agregado basáltico na composição do concreto.

**Figura 1: Velocidade de Onda de Pulso Ultrassônico**

* 1. Resistência à compressão axial

A Figura 2 apresenta os resultados de resistência à compressão dos concretos desenvolvidos. Nota-se que, com exceção do concreto de classe C35, nenhum dos outros concretos de referência alcançaram a resistência de projeto esperado para TA. Além disso, os concretos de referência e o com vermiculita possuem um decréscimo na resistência à compressão conforme ocorre o aumento da temperatura. Esse comportamento é decorrente da desidroxilação da fase hidratada de Ca(OH)2 e a perda de CO2, sobretudo, a partir dos 600°C (Bolina, Tutikian e Helene, 2019; Ferreira, 2011). Esse comportamento é menos acentuado entre os concretos com vermiculita, possivelmente, em função da maior conexão entre os poros do concreto com agregado leve, o que permite a saída de substâncias gasosas de sua estrutura, conforme foi preconizado por Morales, Campos e Faganello (Morales, Campos e Faganello, 2011)

**Figura 2: Resistência à compressão axial**

Para os concretos de classe C35 e C50, não ocorreu expressiva variação na resistência à compressão quando expostos à 200°C. Nessa temperatura, porém, os concretos CR70 apresentou uma redução de 22,42% em sua resistência à compressão, enquanto o CV70 reduziu em 18,63%.

Em relação à adoção de vermiculita, nota-se que os concretos tipo CV50 foram os que obtiveram os melhores resultados em relação aos concretos de referência, o CR50. Para todas as temperaturas, os concretos CV50 apresentaram acréscimo de resistência em relação ao CR50.

* 1. Resistência à tração por compressão diametral

Os concretos tipo C70 expostos à 800°C se desfizeram completamente ao serem posicionados na prensa pra realização do ensaio, não sendo possível avaliar sua resistência à tração posto a fragilidade do material.

Posto isto, a Figura 3 informa os resultados de resistência à tração por compressão diametral dos concretos desenvolvidos. Tal qual observado na resistência à tração, os concretos apresentam perda significativa de resistência à tração conforme aumenta a temperatura de exposição. Em TA e 200°C, os concretos CV50 obtiveram um acréscimo na resistência à compressão em relação a sua referência, CR50. Novamente, o traço desenvolvido para a classe de 50 MPa apresenta ganhos mecânicos ao substituir a areia natural por vermiculita expandida. Esse comportamento, entretanto, não pode ser observado nos demais concretos desenvolvidos.

**Figura 3: Resistência à tração por compressão diametral**

* 1. Módulo de Elasticidade Estático e Dinâmico

A Figura 4 apresenta os resultados de módulo de elasticidade estático e dinâmico. Torna-se evidente que, como nos ensaios prévios, os valores do módulo de elasticidade diminuem à medida que a temperatura de exposição aumenta. Esse fenômeno pode ser atribuído ao aumento do volume de poros capilares, os quais são os principais contribuintes para a porosidade da pasta de cimento endurecida. Sob a influência de altas temperaturas, esse volume tende a aumentar, resultando em pressões internas adicionais, conforme investigado por Vydra (2001).

A maior deterioração foi aferida nos concretos de C70 à 800°C, em que não foi possível a realização do ensaio devido ao rompimento dos CPs durante o procedimento, em carga próxima de 0 GPa. Esse comportamento do C70 é coerente com estudos de Lima (2005) e Kakae (2017).

**Figura 4: Módulo de elasticidade estático e dinâmico**

A maior deterioração foi aferida nos concretos de C70 à 800°C, em que não foi possível a realização do ensaio devido ao rompimento dos CPs durante o procedimento, em carga próxima de 0 GPa. Esse comportamento do C70 é coerente com estudos de Lima (2005) e Kakae (2017).

1. **Considerações Finais**

Este estudo alcançou seus objetivos ao analisar as propriedades mecânicas de concretos nos quais 25% do agregado miúdo natural foi substituído por vermiculita expandida. Essa proporção não havia sido previamente estudada na literatura, o que caracteriza o ineditismo deste estudo. Os ensaios foram realizados em concretos das classes C35, C50 e C70, em temperaturas que não foram investigadas na literatura anteriormente, ou seja, 200°C, 400°C e 800°C.

Entre os principais resultados alcançados estão:

* A exposição prolongada a altas temperaturas possibilita a evaporação da água contida no interior do material, assim como a desidroxilação da pasta de cimento, culminando na formação de um concreto poroso. Essa condição impacta negativamente tanto na resistência à compressão quanto à tração, assim como no módulo de elasticidade do concreto, independentemente da presença de vermiculita como substituto do agregado miúdo.
* Temperaturas próximas a 400°C representam um ponto crítico para concretos com uma resistência projetada de 70 MPa, resultando em uma redução substancial de suas propriedades mecânicas. Esses concretos tornam-se frágeis quando expostos a 800°C e são suscetíveis a colapsos, tornando difícil sua manipulação.
* Ao analisar exclusivamente a resistência à compressão, nota-se que a adição de vermiculita não é aconselhável para o concreto de alto desempenho (C70), uma vez que pode ocasionar uma diminuição substancial dessa característica.
* Entre os diversos traços estudados, o concreto com uma resistência projetada de 50 MPa, e que inclui vermiculita, demonstrou o melhor desempenho global. Este concreto se destacou especialmente nos testes de resistência à compressão e à tração, principalmente quando realizados em condições de temperatura ambiente e a 200°C.

A substituição de areia por vermiculita apresenta potenciais benefícios ambientais e pode promover o uso sustentável dos recursos naturais, uma vez que reduz a dependência da utilização de areia natural. Recomenda-se que futuras pesquisas abordem as propriedades microscópicas e mineralógicas dos concretos contendo vermiculita, por meio de ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura e Difração de Raios-X. A expectativa é que este estudo estimule o desenvolvimento de tecnologias mais resilientes à exposição a altas temperaturas, contribuindo assim para o conforto e segurança dos usuários.

**Referências**

ABNT. NBR NM 65: Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. ABNT. Rio de Janeiro. 2002.

ABNT. NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2011.

ABNT. NBR 16372: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine). Rio de Janeiro. 2015.

ABNT. NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro. 2015.

ABNT. NBR 11582: Cimento Portland - Determinação da expansibilidade Le Chatelier. ABNT. Rio de Janeiro. 2016.

ABNT. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2018.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8802: Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. ABNT. Rio de Janeiro. 2019.

ABNT. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. 2019.

ABNT. NBR 8522: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro. 2021.

ANEPAC. Anuário 2013. [S.l.]. 2013.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. Patologia de Estruturas. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

CARVALHO, A. R. D. et al. Proposition of geopolymers obtained through the acid activation of iron ore tailings with phosphoric acid. Construction and Building Materials, 403, 3 November 2023a. Disponivel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823027952>.

CARVALHO, A. R. D. et al. Influência do efeito fíler do pó de mármore na produção de concretos para pavimentos intertravados. Ambiente Construído, Porto Alegre, 23, out./dez. 2023b. 217-239. Disponivel em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/TqPt9XkJxZkZt8ZWcRghhLh/abstract/?lang=pt#:~:text=Notou%2Dse%20que%20o%20p%C3%B3,mais%20resistente%2C%20denso%20e%20homog%C3%AAneo.>.

DWAIKAT, M. B.; KODUR, V. K. R. Fire Induced Spalling in High Strength Concrete Beams. Fire Technology, 2010. 251-274.

EL-HASSAN, H. et al. Synergic effect of recycled aggregates, waste glass, and slag on the Properties of pervious concrete. Developments in the Built Environment, 2023.

ERGÜN, A. et al. The effect of cement fosage on mechanical properties of concrete exposed to high temperatures. Fire Safety Journal, 55, January 2013. 160-167.

FERREIRA, A. P. G. Modelagem dos fenômenos de transporte termo-hídricos em meios porosos submetidos a temperaturas elevadas: Aplicação a uma bicamada rocha-concreto. Juiz de Fora. 2011.

G1. Incêndios em edificações aumentaram 13% em 2022, diz Corpo de Bombeiros de Sergipe, 17 Janeiro 2023. Acesso em: 07 Maio 2024.

G1. Casa pega fogo após ser atingida por raio no RS: 'quando eu vi o desespero da minha esposa, vi que era grave', diz morador, 30 Abril 2024. Disponivel em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2024/04/30/casa-pega-fogo-apos-ser-atingida-por-raio-no-rs-quando-eu-vi-o-desespero-da-minha-esposa-vi-que-era-grave-diz-morador.ghtml>. Acesso em: 07 Maio 2024.

G1. Curto-circuito pode ter causado incêndio em prédio em construção no Recife, 29 Março 2024. Disponivel em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2024/03/29/curto-circuito-pode-ter-causado-incendio-em-predio-em-construcao-no-recife-diz-secretario.ghtml>. Acesso em: 07 Maio 2024.

G1. Explosão que destruiu casas no Bairro Santa Terezinha, em Juiz de Fora, há um ano, foi causada pelo próprio morador, concluiu investigação, 05 Janeiro 2024. Disponivel em: <https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2024/01/05/explosao-que-destruiu-casas-no-bairro-santa-terezinha-em-jf-ha-um-ano-foi-causada-pelo-proprio-morador-concluiu-investigacao.ghtml>. Acesso em: 07 Maio 2024.

KAKAE, N. et al. Physical and Thermal Properties of Concrete Subjected to High Temperature. Journal of Advanced Concrete Tecnology, 15, 2017. 190-212.

LIMA, R. C. A. Investigação do Comportamento de Concretos em Temperaturas Elevadas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2005.

LIN, L.; WU, B. Water permeability behaviour of recycled lump agreggate concrete. Construction and Building Materials, 2022.

LIU, J. et al. Physical and mechanical properties of expanded vermiculite (EV) embedded foam concrete subjected to elevated temperatures. Case Studies in Construction Materials, June 2022.

MORALES, G.; CAMPOS, A.; FAGANELLO, A. P. A. Ação do fogo sobre os componentes do concreto. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, 2011. 47-55.

MOTTA, E. F. B. et al. Thermomechanical behavior of concretes with addition of non-functionalized and functionalized carbon nanotubes. Journal of Building Engineering, 1 November 2024. 110642. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110642.

RASHAD, A. M. Vermiculite as a construction material - A short guide for Civil Engineer. Construction and Building Materials, 2016. 53-62.

VYDRA, V. et al. Effect of temperature on porosity of concrete for nuclear-safety structures. Cement and Concrete Research, 2001. 1023-1026.