

JÉSSICA CRISTINA DE ABREU ROMÃO
ASSÍRIA EDLAINE DE FRANÇA LEMOS

PRÉ PROJETO:

**O ESTUDO DE MATERIAIS PARA
SUPERCAPACITORES À BASE DE
CIMENTO**

**PRÉ PROJETO:
O ESTUDO DE MATERIAIS PARA
SUPERCAPACITORES À BASE DE CIMENTO**



JÉSSICA CRISTINA DE ABREU ROMÃO
ASSÍRIA EDLAINE DE FRANÇA LEMOS

**PRÉ PROJETO:
O ESTUDO DE MATERIAIS PARA
SUPERCAPACITORES À BASE DE CIMENTO**

1ª Edição

Quipá Editora
2024

Copyright © dos autores e autoras. Todos os direitos reservados.

Esta obra é publicada em acesso aberto. O conteúdo dos capítulos, os dados apresentados, bem como a revisão ortográfica e gramatical são de responsabilidade de seus autores, detentores de todos os Direitos Autorais, que permitem o download e o compartilhamento, com a devida atribuição de crédito, mas sem que seja possível alterar a obra, de nenhuma forma, ou utilizá-la para fins comerciais.

Revisão e normalização: a autora.

Preparação e diagramação: Quipá Editora

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

R756p Romão, Jéssica Cristina de Abreu
Pré projeto : o estudo de materiais para supercapacitores à base de cimento / Jéssica Cristina de Abreu Romão e Assíria Edlaine de França Lemos. — Iguatu, CE : Quipá Editora, 2024.

44 p. : il.

ISBN 978-65-5376-306-7

1. Engenharia de materiais. 2. Supercapacitor. 3. Cimento. I. Lemos, Assíria Edlaine de França. II. Título.

CDD 620.1

Elaborada por Rosana de Vasconcelos Sousa — CRB-3/1409

Obra publicada pela Quipá Editora em março de 2024

Quipá Editora
www.quipaeditora.com.br
@quipaeditora

PREFÁCIO

Bem-vindos ao mundo digital deste e-book. Nestas páginas virtuais, vocês encontrarão uma jornada que transcende os limites do papel, mergulhando em um conhecimento inspirador.

Este e-book é mais do que uma simples coleção de bits e bytes; é uma porta de entrada para infinitas possibilidades. Aqui, os leitores podem explorar universos paralelos e descobrir novos horizontes sem sair do conforto de seus dispositivos eletrônicos.

Este trabalho não apenas amplia nossos horizontes sobre os supercapacitores, mas também destaca o potencial transformador de materiais aparentemente convencionais quando combinados com a dedicação dos cientistas e engenheiros.

Que este livro inspire novas pesquisas, colaborações e soluções que impulsionem o desenvolvimento sustentável e a inovação tecnológica em todo o mundo. Que seja mais do que apenas uma leitura passageira; que seja uma fonte de inspiração, aprendizado e entretenimento duradouros.

Boa leitura!

Jéssica Cristina de Abreu Romão
Assíria Edlaine de França Lemos

PRÉ PROJETO: O ESTUDO DE MATERIAIS PARA SUPERCAPACITORES À BASE DE CIMENTO

Jéssica Cristina de Abreu Romão
Assíria Edlaine de França Lemos

RESUMO

Este trabalho é inspirado em pesquisas que estudam materiais para supercapacitores com base no cimento. Ele trata de analisar as propriedades dos materiais citados no texto com o objetivo de sugerir uma pesquisa prática que venha a ser desenvolvida na busca por resultados para determinar qual desses materiais é mais relevante para o estudo. Os materiais estudados são negro de fumo, nanotubos de carbono, polipirrol e cinza volante sendo usados como adição na mistura de cimento e água. Esse trabalho se apresenta como pré projeto, mostrando possíveis dificuldades de execução e hipótese assim bem como alguns ensaios de caracterização que são necessários para determinar algumas características desses materiais. Os supercapacitores são dispositivos de armazenamento de energia que têm uma capacidade intermediária entre capacitores tradicionais e baterias. Eles armazenam energia por meio da separação de cargas em uma interface sólida-líquida e são conhecidos por sua alta densidade de energia, recarga rápida e longa vida útil. São usados em uma variedade de aplicações, como veículos elétricos, eletrônicos portáteis e sistemas de armazenamento de energia renovável. Concentramos nossa atenção em dois dos materiais mais abundantemente disponíveis no planeta: água e cimento, esse material cimentício que pode ter adição também de agregados formando assim o concreto. Esse material também sugere o estudo da nocividade associada à exposição prolongada a baixas frequências de radiação eletromagnética. Nesse sentido, esse estudo também vai avaliar a proteção eficaz dos materiais estudados contra radiação eletromagnética. Palavras-chaves: Cimento. Supercapacitor. Sustentabilidade. Concreto.

SUMÁRIO

PREFÁCIO

RESUMO

CAPÍTULO 1

07

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 2

11

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

CAPÍTULO 3

31

MATERIAIS E MÉTODOS

CAPÍTULO 4

33

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CAPÍTULO 5

35

CONSIDERAÇÕES FINAIS

REFERÊNCIAS

37

SOBRE AS AUTORAS

44

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A expansão em larga escala dos sistemas de energias renováveis requer a criação de estratégias de armazenamento de energia que permitam a eficiente gestão das flutuações entre a produção e a demanda energética. A transição bem-sucedida, em nível significativo, de uma economia tradicionalmente dependente de combustíveis fósseis para uma economia centrada em fontes de energia sustentáveis, está intrinsecamente ligada à disponibilidade generalizada de tecnologias de armazenamento de energia (CHANUT et al., 2023a).

De fato, em contraste com a produção de energia a partir de combustíveis fósseis, em que a fonte de energia e o portador são diretamente relacionados, a geração de eletricidade a partir de fontes renováveis, como a energia solar, eólica e das ondas, requer o armazenamento de energia para mitigar os desequilíbrios entre a demanda e a produção de energia em momentos distintos. No entanto, a atual falta de minerais essenciais nas tecnologias de baterias convencionais apresenta um desafio significativo à expansão em grande escala do armazenamento de energia, incentivando-nos a buscar alternativas que utilizem materiais acessíveis e amplamente disponíveis, disponíveis localmente em escala global (BENEDEK; SEBESTYÉN; BARTÓK, 2018; RISSMAN et al., 2020).

Para abordar esse desafio, concentramos nossa atenção em dois dos materiais mais abundantemente disponíveis no planeta: água e cimento. Estes materiais foram enriquecidos com uma concentração relativamente baixa de substâncias como negro de fumo, nanotubos de carbono, polipirrol e cinza volante, resultando na fabricação de supercapacitores de alta capacidade (CHANUT et al., 2023a).

A disponibilidade, versatilidade e escalabilidade desses supercapacitores à base de cimento e carbono abrem novas perspectivas para o desenvolvimento de estruturas multifuncionais. Estas estruturas podem tirar proveito da alta capacidade de armazenamento de energia, das capacidades de carga e descarga de alta velocidade e da

resistência estrutural. Elas podem ser aplicadas em cenários que vão desde residências e instalações industriais sustentáveis, incluindo habitações autossuficientes e rodovias com sistemas de carregamento automático para veículos elétricos, até o armazenamento intermitente de energia para usinas eólicas e usinas de energia das marés. Neste estudo, exploramos uma abordagem de material viável para supercapacitores, construídos a partir de precursores prontamente disponíveis que podem ser adquiridos em quase qualquer lugar do mundo. Utilizamos várias técnicas de caracterização, incluindo difração de raios X, espectroscopia Raman, medições de capacitância derivadas de voltametria cíclica e experimentos de carga e descarga galvanostática. Adicionalmente, aplicamos derivadas inteiras e fracionárias para corrigir os efeitos da taxa e intensidade de corrente (LUND et al., 2015).

Neste contexto, sustento a ideia de que os compósitos de cimento, enriquecidos com os outros materiais mencionados, naturalmente exploram a interação positiva que ocorre durante o processo de hidratação do cimento hidrofílico na presença desses materiais. Essa colaboração sinérgica torna nossos materiais candidatos promissores para o armazenamento de energia em larga escala, com aplicabilidade tanto em cenários residenciais quanto industriais.

Além disso, esperamos que os benefícios desses componentes estruturais em sistemas de armazenamento de energia elétrica possam contribuir para mitigar o impacto ambiental substancial associado à produção de cimento, a qual atualmente representa cerca de 8% das emissões globais de CO₂ (VAN VLIET et al., 2012).

Diversos países implementaram regulamentos e legislações com o propósito de estabelecer limites e diretrizes relacionadas à exposição máxima à radiação eletromagnética, em resposta ao impacto ainda não completamente compreendido dessa exposição prolongada na saúde humana. Para atender a tais limites e diretrizes, têm sido desenvolvidos uma série de materiais, como tecidos, revestimentos e substratos, que oferecem potencial proteção contra a radiação eletromagnética. Recentemente, pesquisas vêm explorando a viabilidade da impressão 3D de compósitos cimentícios altamente eficazes na proteção contra a radiação eletromagnética (WANASINGHE; ASLANI; MA, 2022a). Os materiais concebidos para proteção contra a radiação eletromagnética podem

ser categorizados em duas principais formas de defesa: a proteção magnética e a proteção dielétrica (SAINI et al., 2012).

A questão da nocividade associada à exposição prolongada a baixas frequências de radiação eletromagnética tem sido objeto de investigação ao longo de muitos anos, contudo, persistem consideráveis divergências nas opiniões sobre o assunto (BAAN et al., 2011). Uma vez que a radiação até 10 GHz é classificada como não ionizante, isto significa que não possui energia suficiente para remover um nêutron de sua órbita. Apesar disso, algumas pesquisas sugerem que a exposição prolongada a essa forma de radiação poderia ter potencial carcinogênico (CALVENTE et al., 2010; KHURANA et al., 2010). A eficácia da blindagem eletromagnética em compósitos geralmente depende da condutividade dos materiais envolvidos. Compósitos que exibem níveis mais elevados de condutividade tendem a oferecer maior proteção. Nesse sentido, esse estudo também vai avaliar a proteção eficaz dos materiais estudados contra radiação eletromagnética (WANASINGHE; ASLANI; MA, 2022b).

OBJETIVOS

Objetivo geral

A presente pesquisa tem como objetivo geral buscar informações sobre o desempenho de matrizes do concreto com as misturas físicas de nanotubos de carbono, cinza volante, negro de fumo e polipirrol. Estudar os benefícios desses componentes estruturais em sistemas de armazenamento de energia elétrica e proteção contra a radiação eletromagnética, que possam contribuir para mitigar o impacto ambiental substancial associado à produção de cimento. Apesar desse estudo ser apenas teórico, existem objetivos específicos para serem atendidos como sugestão para estudo prático.

Objetivos específicos

- Desenvolver misturas cimentícias com adição de nanotubos de carbono, cinza volante, negro de fumo e polipirrol;

- Fazer a verificação do comportamento das misturas, levando em conta a resistência à compressão, tração e o módulo de deformação;
- Comparação das propriedades mecânicas das misturas cimentícias fabricadas com diferentes aditivos, avaliando-se qual dos aditivos promove maior dispersão e por conseguinte, um melhor desempenho;
- Caracterização estrutural das amostras sintetizadas pelas técnicas de difração de raio x, espectroscopia Raman, espectroscopia de fotoelétrons, espectroscopia de absorção no infravermelho, microscopia eletrônica de varredura;
- Caracterização magnética das amostras através da técnica de medidas magnéticas realizadas pelo VSM;
- Caracterização eletroquímica das amostras através de medições de capacitância derivadas de voltametria cíclica e experimentos de carga e descarga galvanostática.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ondas eletromagnéticas

Atualmente, a interferência eletromagnética tornou-se um problema significativo que afeta as pessoas. A radiação das ondas eletromagnéticas não só representa riscos para a saúde, mas também perturba a funcionalidade dos dispositivos eletrônicos (WU et al., 2024).

Com o avanço acelerado das comunicações via rádio e da indústria eletrônica, a utilização de múltiplos dispositivos eletrônicos tem proporcionado conveniência à produção industrial e à vida cotidiana. No entanto, esse progresso também acarreta um aumento correspondente na poluição por ondas eletromagnéticas (EMW), colocando em risco não apenas a segurança militar, mas também a saúde humana (LIU et al., 2023). Para resolver o problema da poluição por radiação eletromagnética, é necessário desenvolver uma forma econômica e ambientalmente correta de produzir materiais eficientes que absorvam ondas eletromagnéticas (WANG et al., 2023).

Assim, é crucial investir no desenvolvimento de materiais capazes de absorver EMW, possuindo propriedades robustas de absorção e aplicabilidade eficaz na engenharia. Isso é fundamental para aprimorar o ambiente de convivência humana e fortalecer a segurança nacional (CHICA; ALZATE, 2019). O cimento figura entre os materiais de construção mais prevalentes. Os absorvedores de EMW à base de cimento são reconhecidos como uma tática eficaz para aprimorar o ambiente eletromagnético em estruturas arquitetônicas, despertando considerável interesse entre os pesquisadores (WU et al., 2023).

Os materiais à base de cimento espumoso apresentam baixa resistência e tenacidade, sendo suscetíveis a danos frágeis sob cargas de flexão e tração. Isso resulta em colapsos estruturais imediatos após a fissuração, o que restringe severamente suas aplicações na engenharia, especialmente como materiais de proteção eletromagnética. Em

síntese, é crucial encontrar uma abordagem que melhore simultaneamente a absorção de ondas e as propriedades de flexão desses materiais (BIAN et al., 2024).

Com o intuito de aprimorar a capacidade de absorção de EMW, são incluídos diversos componentes, tais como materiais carbonáceos, ferritas e outras substâncias (DENG et al., 2022). Esses materiais são empregados para aprimorar as perdas dielétricas e magnéticas, transformando a energia EMW em calor e outras formas de energia. A fibra de carbono (CF) se destaca pela sua excelente condutividade e perda dielétrica, sendo frequentemente integrada como componente de absorção de EMW. Quando adicionada a materiais à base de cimento, o CF cria uma rede condutora eficaz, ampliando a perda dielétrica (XIE et al., 2018).

Por outro lado, para aprimorar a resistência à fissuração e à tração do concreto espumado, fibras são adicionadas à sua mistura, resultando no que é frequentemente chamado de concreto reforçado com fibras. Esse método visa melhorar as propriedades mecânicas do concreto, especialmente sua tenacidade e comportamento pós-fissuração (WANG et al., 2020).

Dentre esses materiais de fibra, as fibras de carbono (CF) são amplamente reconhecidas, pois têm a capacidade de melhorar a transferência de cargas de tensão e restringir a expansão de microfissuras no concreto espumado. Assim, as fibras de carbono podem contribuir significativamente para aumentar tanto a absorção de ondas quanto as propriedades de flexão, tornando-se eficazes agentes de reforço para materiais à base de cimento espumado. Entretanto, a investigação simultânea sobre o aprimoramento do desempenho de absorção de EMW e das propriedades de flexão por meio das fibras de carbono é rara, e o mecanismo de absorção de EMW em compósitos à base de cimento espumado reforçados com fibras de carbono ainda carece de clareza (BIAN et al., 2024).

Concreto

O material principal usado em construções é o concreto, uma mistura heterogênea de cimento, água e agregados como pedra e areia, podendo incluir outros aditivos. Esses componentes, quando combinados em proporções específicas, formam uma mistura

chamada dosagem, que pode ser moldada em várias formas e usada para diversas aplicações. A norma NBR 12655 da ABNT, em sua edição de 2015, caracteriza o concreto de cimento Portland como uma substância composta por uma combinação uniforme de agregados de diferentes granulometrias, cimento e água. Esta mistura pode ser complementada por aditivos, pigmentos e outros componentes que auxiliam no processo de endurecimento da pasta de cimento, resultante da mistura entre água e cimento.

Materiais para composição do concreto



Fonte: Educa Civil, 2021.

O concreto pode ser preparado manualmente no local da obra ou em betoneiras, sendo chamado de concreto "in loco". Também pode ser produzido em centrais dosadoras, conhecidas como usinas de concreto, resultando no concreto usinado ou pré-misturado, cada um com suas próprias vantagens e desvantagens. Quando o concreto é utilizado

como material estrutural, é denominado de concreto estrutural, que pode ser classificado em três tipos distintos: concreto simples, sem armadura; concreto armado, quando há a adição de armadura não pré-tracionada; e concreto protendido, quando a armadura é pré-tracionada. Ao adicionar ferragens passivas em uma fôrma, o concreto comum recebe uma armadura de aço, passando a ser chamado de concreto armado. Este tipo de concreto é amplamente utilizado em construções prediais, especialmente para a confecção de lajes, vigas, fundações e pilares, proporcionando uma sustentação eficiente, já que o concreto e a armadura trabalham em conjunto, cada um desempenhando uma função específica no dimensionamento estrutural.

Ele é o material estrutural mais utilizado hoje em dia, embora não seja tão resistente nem tão flexível quanto o aço, tem uma excelente capacidade de resistência à água. Diferentemente da madeira e do aço convencional, a habilidade do concreto de suportar a ação da água sem sofrer danos sérios o torna ideal para estruturas destinadas ao controle, armazenamento e transporte de água. Na verdade, uma das primeiras aplicações conhecidas do concreto foi na construção de aquedutos e muros de contenção de água pelos romanos. O concreto desempenha um papel fundamental na construção, constituindo-se como uma substância heterogênea composta por cimento, água e materiais agregados, como pedra e areia, entre outros. Também é possível adicionar diversos aditivos a essa mistura. Quando todos esses elementos se combinam, formam o que chamamos de "dosagem", criando uma substância moldável, capaz de assumir diversas formas e ser aplicada de várias maneiras (Khan et al., 2020).

A preparação do concreto pode ser realizada manualmente, no próprio local da obra, o que é chamado de "concreto in loco". Além disso, o concreto pode ser produzido em centrais de dosagem, conhecidas como usinas de concreto, resultando no "concreto usinado" ou "pré-misturado". Cada um desses métodos possui suas próprias vantagens e desvantagens (GRANDCLERC et al., 2017a).

Quando o concreto é usado como material estrutural, ele pode ser classificado em três tipos diferentes: "concreto simples", que não possui armaduras; "concreto armado", que possui uma armadura não pré-tracionada; e "concreto protendido", que incorpora uma armadura ativa pré-tracionada. A adição de armaduras em uma fôrma transforma o concreto comum em "concreto armado". Esse tipo de concreto é amplamente empregado

na construção de edifícios para criar lajes, vigas, fundações e pilares, proporcionando uma estrutura mais resistente, uma vez que o concreto e a armadura trabalham em conjunto, desempenhando funções específicas no dimensionamento estrutural (KHAN; CASTEL; KHAN, 2020).

A durabilidade de uma estrutura de concreto depende de vários fatores e requer ações coordenadas em todas as etapas do processo de construção para garantir que ela cumpra sua função pelo tempo projetado. Apesar de ser um material sólido, o concreto pode apresentar problemas como corrosão, fissuras e defeitos, que são comuns em construções e podem até levar ao colapso em determinadas situações. Portanto, a manutenção e o cuidado com a estrutura são essenciais para prolongar sua vida útil. A vida útil de uma estrutura se refere ao período durante o qual ela é capaz de desempenhar suas funções sem a necessidade de intervenções não planejadas. A questão da durabilidade das estruturas de concreto deve ser encarada como o resultado de ações coordenadas realizadas em todas as etapas do processo de construção (MADRASZEWSKI; STEPHAN, 2023).

Um princípio geral encontrado na literatura técnica enfatiza que a durabilidade de estruturas de concreto é determinada por quatro fatores, conhecidos como a "regra dos 4C": a composição ou traço do concreto, a compactação ou adensamento eficaz do concreto na estrutura, a cura eficaz do concreto na estrutura e o cobrimento das armaduras. Seguindo essa mesma linha de pensamento, a resistência do concreto à exposição a agentes agressivos depende da natureza e tipo de seus componentes, bem como da composição ou dosagem do concreto, ou seja, do tipo e quantidade de cimento, da presença de adições, da relação água-cimento e da qualidade do agregado (GRANDCLERC et al., 2017b).

Portanto, para evitar o envelhecimento prematuro e atender às exigências de durabilidade, é necessário observar os seguintes critérios de projeto: planejar um sistema de drenagem eficiente, evitar formas arquitetônicas e estruturais inadequadas, garantir a qualidade do concreto, especialmente na superfície dos elementos estruturais, assegurar uma cobertura adequada para proteger as armaduras, detalhar corretamente o dimensionamento das armaduras, controlar a formação de fissuras nas peças, prever camadas de sacrifício ou revestimentos protetores em áreas expostas a condições

ambientais adversas e definir um plano de inspeção e manutenção preventiva (MORI et al., 1992).

A fluidez, também referida como trabalhabilidade, é um dos fatores essenciais a serem considerados no projeto da mistura de concreto. Diversos elementos desempenham um papel significativo na influência da trabalhabilidade do concreto convencional, como a fineza do cimento, o tipo de cimento, a proporção entre partículas grossas e finas, a relação entre água e cimento (a/c) e a finalidade dos aditivos (AHMAD; ZHOU, 2023).

Ao longo das décadas, foram desenvolvidos diversos sistemas de pavimento aquecido para combater a acumulação de neve em superfícies, eliminando os inconvenientes dos métodos passivos de remoção de neve. Estes sistemas incluem o uso de concreto com materiais de mudança de fase, concreto aquecido por meio de fluidos circulantes, tiras de fibra de carbono aquecidas integradas no concreto e o concreto eletricamente condutivo (ECON). Entre todas as opções disponíveis, o ECON tem atraído grande atenção devido à sua notável estabilidade e eficiência de aquecimento superiores (MUSTAFA; ALQAED; SHARIFPUR, 2022).

O ECON é geralmente composto por agregados, materiais cimentícios, materiais condutores, água, redutores de água, entre outros elementos. Dentre esses componentes, os agregados e os materiais condutores exercem um papel fundamental no desempenho do ECON. Os agregados no concreto têm a função principal de atuar como uma estrutura de suporte e de preenchimento para resistir às tensões externas. Já os materiais condutores estabelecem uma rede condutora dentro do concreto, transformando-o de um isolante em um condutor de calor, aquecendo o concreto por meio da conversão de energia quando uma tensão externa é aplicada (MUSTAFA; ALQAED; SHARIFPUR, 2022).

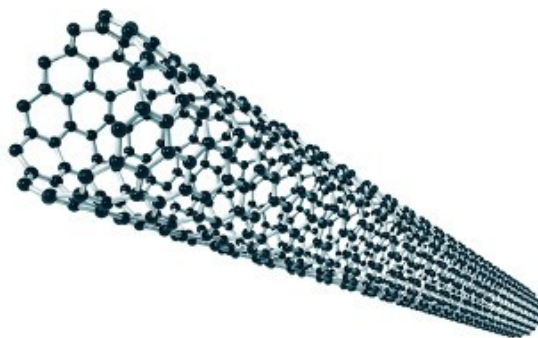
O desempenho da condutividade elétrica do ECON é notavelmente influenciado pelo tipo de material condutor utilizado. Com o avanço contínuo da tecnologia de fabricação de materiais, a variedade de materiais condutores disponíveis para seleção tem se expandido significativamente, incluindo opções como fibras de carbono, fibras de aço, escória de aço, grafite, grafeno, óxido de grafeno, óxido de grafeno reduzido (RGO), negro de fumo, nanotubos de carbono, entre outros (SASSANI et al., 2018; WANG et al., 2016).

Nanotubos de carbono

Os nanotubos de carbono representam estruturas de carbono que exibem notáveis características em termos de condução elétrica, resistência mecânica e leveza. Essas estruturas têm sido alvo de estudos abrangentes em diversos contextos de aplicação, notadamente na área de reforço de concreto condutor. Ao serem integrados ao concreto, os nanotubos de carbono têm o potencial de substancialmente aprimorar suas propriedades de condução elétrica, viabilizando sua utilização em situações que demandam a dissipação eficiente de cargas elétricas. A inclusão de nanotubos de carbono no âmbito do concreto condutor constitui um campo de pesquisa em crescimento, com contínuas descobertas e avanços sendo regularmente divulgados (LOPES et al., 2022).

Nanotubos de carbono, abreviados como CNTs, consistem em estruturas compostas por folhas cilíndricas concêntricas de grafeno, caracterizadas por seus diâmetros nanométricos e comprimentos micrométricos. Esses nanotubos de carbono são categorizados em duas principais classes: nanotubos de carbono de parede única (SWCNTs) e nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs), com base no número de camadas atômicas presentes. Um aspecto notável dos CNTs é a sua proporção de aspecto extremamente alta, frequentemente superior a 1.000, o que resulta em uma estrutura oca e baixa densidade. Essas características favorecem a criação de redes condutoras dentro de uma matriz. Adicionalmente, os nanotubos de carbono exibem três diferentes propriedades quirais, determinadas pelo ângulo de enrolamento das folhas de grafeno: formato "poltrona," formato "zigue-zague," e formato "quiral." (HAN; DING; YU, 2015a; MA et al., 2010).

Nanotubos de carbono



Fonte: Brasilescola

Em cada nanotubo de carbono de paredes múltiplas (MWCNT), são encontradas múltiplas camadas de grafeno, sendo que cada uma dessas camadas pode possuir diferentes propriedades quirais. Isso resulta em propriedades físicas mais complexas em comparação com os nanotubos de carbono de parede única (SWCNT), nos quais a estrutura é mais uniforme (MA et al., 2010). Conforme o número de camadas de grafeno aumenta, é observado um aumento nos defeitos, tornando a estrutura química da superfície mais complexa e conferindo propriedades mais dinâmicas. Os nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs) se destacam por oferecer uma gama mais ampla de aplicações, em virtude de sua área superficial específica (SSA) mais reduzida, que varia entre 40 e 300 m²/g. Essa característica resulta em menor probabilidade de aglomeração, além de proporcionar propriedades mecânicas superiores, melhor condutividade elétrica e dispersão, enquanto mantém um custo aproximadamente 4 a 6 vezes menor em comparação com os nanotubos de carbono de parede única (SWCNTs) (LI; WANG; ZHAO, 2005).

Os nanotubos de carbono exibem notáveis propriedades mecânicas e elétricas, juntamente com efeitos piezoresistivos, sensibilidade e relação sinal-ruído, o que os torna de considerável interesse na detecção de deformações substanciais (AL-DAHAWI et al., 2016a; TOMBLER et al., 2000). Quando incorporados ao concreto durante o processo de cimentação e subsequentemente distribuídos de maneira uniforme na matriz, uma extensa rede condutora se desenvolve dentro do material. Essa rede permite a passagem de corrente elétrica, de modo semelhante a um processo de percolação, juntamente com o efeito de tunelamento de elétrons quânticos, onde o espaçamento é inferior a 10 nanômetros (HAN; DING; YU, 2015b).

Quando a quantidade de nanotubos de carbono atinge um nível crítico conhecido como limiar de percolação, uma rede condutora bem interligada se forma na matriz. Isso resulta em uma notável diminuição da resistividade elétrica e em uma resposta mais consistente à carga externa (AL-DAHAWI et al., 2016b; HAN; DING; YU, 2015b). Dessa forma, as propriedades elétricas, magnéticas, térmicas e de acoplamento de forças do concreto são aprimoradas, culminando na criação de um compósito cimentício que apresenta sensibilidade interna aos estímulos (CHEN; CHUNG, 1993; HAN; YU; KWON, 2009).

A resistividade elétrica do compósito cimentício autosensível se modifica quando submetido a uma carga externa, fenômeno conhecido como efeito piezoresistivo. Essencialmente, esse efeito decorre de alterações na forma dos nanotubos de carbono (CNT), tais como comprimento e diâmetro, quando submetidos a carga. Isso resulta em mudanças tanto na resistência intrínseca dos CNTs quanto na resistência de contato entre esses nanotubos e o material da matriz (WEN; CHUNG, 2006). Vale destacar que o efeito piezoresistivo dos CNTs é reversível até deformações da ordem de 3,4%, com uma deformação de fratura de aproximadamente 6% (THOSTENSON; LI; SHOU, 2005).

Concomitantemente, a espessura da matriz dielétrica entre CNTs adjacentes passa por mudanças significativas, resultando na redução da lacuna na região onde ocorre o fenômeno de tunelamento quântico, o que, por sua vez, leva a uma diminuição na resistência de contato. Além disso, a resistividade elétrica do compósito cimentício autosensível também está relacionada ao efeito de emissão de campo dos CNTs. Devido ao notável efeito de tunelamento quântico dos CNTs, quando eles se encontram próximos no compósito cimentício autosensível e este é submetido a cargas externas, os portadores de carga nos CNTs podem migrar de um nanotubo de carbono para outro, gerando um campo elétrico e uma corrente de emissão (SIAHKOUHI et al., 2021).

Além disso, quanto mais próximos estiverem os CNTs e mais extensos forem os caminhos condutores, maior será a corrente de emissão de campo, resultando em um aumento nas medições da resistência. Quando o material é submetido a tensão ou deformação, a rede condutora interna sofre modificações, o que por sua vez afeta as propriedades elétricas do material. Ao monitorar as mudanças nos sinais elétricos e magnéticos, torna-se possível acompanhar em tempo real a estrutura e as condições do tráfego (LI et al., 2023).

Atualmente, tem havido muitos estudos sobre as propriedades de autodetecção de compósitos de cimento CNT. Danoglidis et al. estudaram os nanocompósitos incorporando 0,1% em peso de nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs), que produziram a maior fração de mudança de resistividade elétrica de 10,6%, indicando que a sensibilidade piezoresistiva foi melhorada em comparação com as amostras sem MWCNT. Han et al. desenvolveram um compósito de cimento reforçado MWCNT para detecção de tráfego e descobriram que havia uma boa resposta entre a mudança de resistividade elétrica e a carga do veículo (L. Li et al., 2023).

havia uma expectativa de que o compósito de concreto com CNTs fosse capaz de medir deformações com a mesma precisão dos extensômetros convencionais e possuísse uma vida útil comparável à da infraestrutura (MATERAZZI; UBERTINI; D'ALESSANDRO, 2013).

A dispersão de CNTs e o alto custo de produção são os principais obstáculos que afetam a aplicação de compósitos de cimento com nanotubos de carbono (REDDY; KAVYATEJA; JINDAL, 2021). A tecnologia de dispersão de nanotubos de carbono inclui principalmente métodos de dispersão mecânica e funcionalização, que devem ser utilizados em conjunto para alcançar o efeito de dispersão desejado (SIAHKOUHI et al., 2021). Embora o custo de produção do compósito cimentício autosensível CNT seja alto, ele tem as vantagens de excelente desempenho de detecção, longa vida útil, boa compatibilidade com estruturas rodoviárias e fácil instalação e manutenção. Além disso, possui excelente robustez e estabilidade térmica contra polarização interna e alterações no ambiente externo (Dong et al., 2020).

Negro de fumo

O negro de fumo, também conhecido como carbono de fumo, é um material carbonáceo na forma de partículas finamente divididas, produzido pela queima incompleta de hidrocarbonetos, como o gás natural ou o petróleo. Ele é amplamente utilizado em uma variedade de aplicações industriais, incluindo a fabricação de compostos de borracha, tintas, tintas de impressão, plásticos, e, no contexto da sua pergunta, em concreto condutor (MARTINS et al., 2002). É um pó de carbono obtido a partir da queima de hidrocarbonetos em condições inadequadas de ar, o que confere a ele boas características de pigmento e preenchimento. Além disso, o negro de fumo apresenta notável resistência ao calor, com um ponto de fusão superior a 3500 °C e um ponto de ebulição superior a 500 °C. Sua densidade é geralmente situada na faixa de 1,5 a 1,7 g/ml (DINESH et al., 2023).

Nanopartículas de negro de fumo são produzidas por meio da decomposição térmica de hidrocarbonetos e têm um tamanho de partícula inferior a 300 nm. A "estrutura" do negro de fumo é definida com base no grau de ramificação das partículas agregadas. Em comparação com outros condutores, o negro de fumo se destaca por sua economia. A incorporação de negro de fumo em compósitos de cimento autosensível melhora as

propriedades elétricas e físicas do material. Além disso, o negro de fumo é facilmente obtido, uma vez que pode ser recuperado de pneus de automóveis usados (NALON et al., 2020).

Negro de fumo



Fonte: DelQuímica

Os principais usos do negro de fumo incluem sua utilização como reforçador em compostos de borracha e como pigmento preto em tintas de impressão, revestimentos de pisos, papel e plásticos. Atualmente, existem duas abordagens fundamentais para a produção de negro de fumo: o método do forno a óleo e o processo térmico. O método do forno a óleo domina a produção, representando aproximadamente 90%, enquanto o processo térmico constitui cerca de 10%. Além desses métodos, também são empregados o método da lâmpada na produção de negro de acetileno e o craqueamento do acetileno para a fabricação de negro de acetileno (DINESH et al., 2023).

O negro de fumo residual (WCB) é uma substância frequentemente gerada como um subproduto indesejado e de difícil disposição por muitas empresas. Trata-se de um pó extremamente fino, com alto teor de carbono. Tradicionalmente, o descarte desse resíduo em aterros sanitários tem sido associado à poluição do solo e da água. Nas fábricas de alumínio, o WCB é gerado como subproduto e, com frequência, é destinado a aterros. No entanto, incorporar o WCB em argamassas de cimento, substituindo até 13% do cimento, tem demonstrado aumentar a resistência à compressão desses materiais (IRSHIDAT; AL-NUAIMI; RABIE, 2021). Vale destacar que os negros de fumo com teor de voláteis acima de 8% podem representar um risco de explosão, pois a poeira resultante pode criar uma mistura explosiva no ar. Portanto, é necessário tomar precauções para evitar a presença de oxidantes fortes, como cloratos, bromatos e nitratos, em sua proximidade (DINESH et

al., 2023).

Incorporar negro de fumo em um material pode reduzir sua ductilidade, porém, ao mesmo tempo, pode aumentar sua capacidade de autorreconhecimento em compósitos de cimento (DENG; LI, 2018).

Em concreto condutor, o negro de fumo é frequentemente adicionado ao concreto como um aditivo para melhorar a sua condutividade elétrica. Isso é importante em aplicações onde a dissipação de cargas elétricas ou a proteção contra descargas elétricas é necessária, como em estruturas que precisam ser protegidas contra descargas atmosféricas, ou em pisos condutores utilizados em ambientes onde a eletricidade estática pode ser um problema (CHANUT et al., 2023b).

A adição de negro de fumo ao concreto aumenta a sua condutividade elétrica, permitindo que o concreto conduza eletricidade de maneira eficaz. Além disso, o negro de fumo melhora a resistência ao desgaste e a durabilidade do concreto condutor (CHUNG, 2004).

A aglomeração de partículas de negro de fumo não polar a curtas distâncias ocorre devido a interações atrativas de Van der Waals (PARANT et al., 2017), à medida que a força iônica dos íons de cálcio livres diminui devido a reações de hidratação no ambiente de cimento com pH elevado. Essa desagregação das partículas de negro de fumo é sugerida como um processo que resulta na formação de uma malha condutora de elétrons composta por negro de fumo de alta área superficial específica, que pode ser diretamente utilizada para carregar o eletrodo (DHANGAR et al., 2023).

É relevante observar que a condutividade eletrônica, embora crucial, não é o único aspecto a ser considerado no desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia. Os supercapacitores também necessitam de um reservatório ou porosidade interpartículas para permitir a difusão de íons (LIO et al., 2017; TAO et al., 2013).

Assim, as reações de hidratação desempenham um papel fundamental na criação dessa porosidade no reservatório. Essas conclusões se baseiam na estequiometria característica das reações de hidratação (POWERS, 1958; QOMI et al., 2014), que

estabelecem um limite máximo para a quantidade de água que pode estar quimicamente ligada ao hidróxido de cálcio (CH) e aos hidratos de cálcio-sílica (CSH) (QOMI et al., 2014), bem como adsorvida na superfície das nanopartículas de CSH (AALEN; THOMAS; JENNINGS, 2007).

Portanto, o excesso de água em relação a esse limite estequiométrico de água (geralmente correspondente a 42% em massa de cimento) pode levar à formação de porosidade de hidratação em uma escala micrométrica ou submicrométrica (POWERS, 1958). Isso, por sua vez, pode funcionar como um modelo para a porosidade no reservatório do eletrólito, possibilitando a criação de supercapacitores de alta capacidade e taxa de resposta.

O negro de fumo, um material condutor à base de carbono de baixo custo, desempenha um papel fundamental no aprimoramento de compósitos de cimento auto-monitorados, que têm diversas aplicações no campo do Monitoramento da Saúde Estrutural (SHM) (DHANGAR et al., 2023). Além disso, este resumo aborda a utilização do negro de fumo para melhorar as propriedades dos compósitos de cimento auto-monitorados, a fim de avaliar a integridade de componentes estruturais. Os compósitos de cimento que contêm negro de fumo se destacam por sua durabilidade, custo acessível e alta sensibilidade. As características, como teor de carbono, tamanho de partícula e condutividade do negro de fumo, exercem influência significativa na piezorresistividade dos compósitos de cimento. No entanto, é importante destacar que o aumento do teor de negro de fumo e o uso de cura convencional podem levar a uma considerável redução na resistência à compressão e flexão dos compósitos de cimento (DINESH et al., 2023).

A condutividade do compósito de cimento está diretamente relacionada à quantidade de negro de fumo presente, mas a resistividade piezoelétrica do material não atinge valores significativos até que o limiar de percolação seja atingido. É crucial identificar danos estruturais com base nas variações ambientais, tornando o monitoramento preciso essencial, especialmente em ambientes sujeitos a mudanças significativas. O compósito de cimento incorporado com negro de fumo se mostra um material eficaz para monitorar a saúde estrutural de diversas infraestruturas de concreto, independentemente das condições ambientais a que estão expostas (DINESH et al., 2023).

Cinza volante

A cinza volante é uma pequena partícula produzida durante o processo de combustão de usinas termelétricas a carvão. É composto principalmente de vidro, minerais e carbono.

Cinza volante



Fonte: Alpa

Devido ao seu custo acessível e ampla disponibilidade, materiais como as cinzas volantes se tornam altamente atrativos para a incorporação em concreto, visando potencialmente à proteção contra radiações eletromagnéticas (ESTOKOVA; SMOLAKOVA, 20018). As cinzas volantes, uma vez que representam um resíduo gerado em grande escala, oferecem uma solução benéfica para a problemática do descarte de resíduos em larga quantidade. Em termos de blindagem eletromagnética em compósitos, a condutividade dos materiais desempenha um papel crucial (JIA et al., 2015). Compostos que exibem níveis mais elevados de condutividade tendem a ser mais eficazes em termos de proteção. Devido à composição das cinzas volantes, que inclui Fe_2O_3 , e que contribui para o aumento da condutividade elétrica, pode-se cogitar que a combinação de concreto com cinzas volantes possui um potencial considerável para a proteção contra radiações eletromagnéticas (CAO; CHUNG, 2004).

Além disso, levando em consideração a propriedade pozolânica das cinzas volantes, sua adição ao concreto pode resultar em um aumento da resistência, melhores propriedades de durabilidade e uma maior facilidade de manuseio (M. MALEŠEV, 2017).

É bem conhecido que as cinzas volantes têm o potencial de proteger contra a radiação eletromagnética (CAO; CHUNG, 2004). Além disso, é muito importante investigar o seu impacto em outras propriedades para determinar como os compósitos à base de concreto se comportarão com diferentes proporções de cinzas volantes.

As cinzas volantes desempenham um papel importante na redução da necessidade de superplastificantes para obter uma mistura de concreto mais manejável. Vários pesquisadores observaram um aumento na fluidez do concreto devido à adição de cinzas volantes (MOHAMED, 2011). No entanto, em alguns casos, o uso crescente de cinzas volantes resultou em uma diminuição do abatimento. Por exemplo, ao aumentar a proporção de cinzas volantes de 20% para 35%, houve uma redução de 30 mm no abatimento. A redução no abatimento com a adição adicional de cinzas volantes pode ser atribuída a uma maior quantidade de ligante, cerca de 10%, e uma menor quantidade de água, 11%, no concreto contendo cinzas volantes em comparação com o concreto sem cinzas volantes (LIMBACHIYA; MEDDAH; OUCHAGOUR, 2011). Além disso, o abatimento do concreto fresco com 15% de cinzas volantes é semelhante ao do concreto fresco sem cinzas volantes. Isso pode ser explicado pela diferença na relação água-cimento, em que o concreto sem cinzas volantes apresenta uma relação água-cimento aproximadamente 0,1 maior do que o concreto com cinzas volantes (HAQUE; KAYALI, 1998).

Uma composição contendo 30% de cinzas volantes exibe um aumento no abatimento. No entanto, com um aumento adicional na proporção de cinzas volantes para 50%, observa-se uma leve redução na fluidez. A maior parte dos estudos se concentrou na substituição do cimento por cinzas volantes, embora tenha havido também situações em que as cinzas volantes foram usadas como substitutos de agregados (ASSIÉ; ESCADEILLAS; WALLER, 2007). Siddique conduziu testes nos quais as cinzas volantes foram adicionadas como substituto da areia em quantidades de 20% e 30%, mantendo uma relação água-cimento constante de cerca de 0,50. Os resultados indicaram que a adição de cinzas volantes levou a uma diminuição na trabalhabilidade, com a queda reduzindo de 100 mm para apenas 20 mm (SIDDIQUE, 2003a).

As análises mencionadas acima destacam a capacidade das cinzas volantes de contribuir para o aprimoramento das características relacionadas à trabalhabilidade. A maioria dos pesquisadores observou um aumento na dispersão ao adicionar cinzas volantes. De acordo com alguns estudiosos, uma determinada porcentagem de cinzas volantes resulta em um aumento na dispersão, mas um acréscimo adicional na proporção de cinzas volantes pode ocasionar uma redução na dispersão. Em um estudo conduzido por Dhiyaneshwaran et al. (VRDOLJAK et al., 2022), a propagação de uma mistura de concreto contendo 30% de cinzas volantes aumentou, porém, um aumento adicional no teor de cinzas volantes resultou em uma diminuição na propagação. Registrou um aumento na dispersão ao incorporar até 20% de cinzas volantes, seguido por uma redução no abatimento com 25% de cinzas volantes antes de observar valores mais elevados de abatimento em concreto contendo 30% de cinzas volantes (SIDDIQUE, 2011).

Verificou-se que o aumento da proporção de cinzas volantes de 10% para 40% e de 10% para 50% resulta em uma diminuição significativa da porosidade (SIDDIQUE, 2011). A inclusão de uma quantidade maior de superplastificante no concreto contendo cinzas volantes melhora a sua trabalhabilidade, o que, por sua vez, mantém a porosidade em níveis constantes (BOUZOUBAÁ; LACHEMI, 2001). Uma conclusão comum obtida a partir dessas observações é que o aumento da proporção de partículas de cinzas volantes no concreto leva a uma redução na porosidade. Isso se deve à suposição de que, devido ao tamanho pequeno e à forma arredondada das partículas de cinza volante, elas têm a capacidade de preencher os poros do concreto de maneira mais eficiente, resultando em uma redução da porosidade global.

A resistência à compressão do concreto depende de diversos fatores, tais como a proporção de substituição do cimento por cinzas volantes, o tipo de cinzas volantes e a idade do concreto. A inclusão de cinzas volantes de grau C no concreto favorece o desenvolvimento de uma resistência inicial mais elevada em comparação com o uso de cinzas volantes de classe B (VRDOLJAK et al., 2022). Além disso, os aditivos químicos também desempenham um papel significativo. Os estudos examinados identificaram três padrões distintos de comportamento da resistência à compressão com a adição de cinzas volantes: 1) Aumentar a quantidade de cinzas volantes resulta em um aumento consistente na resistência à compressão do concreto. 2) Ao incorporar uma quantidade maior de cinzas volantes, há uma redução constante na resistência à compressão do concreto. 3)

Aumentar a proporção de cinzas volantes resulta em um aumento da resistência à compressão até um ponto limite. No entanto, um acréscimo adicional de cinzas volantes é seguido por uma diminuição na resistência à compressão (SIDDIQUE, 2003b).

Os resultados indicam que submeter o concreto com cinzas volantes a temperaturas mais elevadas, chegando a até 300 °C, resultou em um leve aumento na resistência à compressão do concreto. Essa elevação foi atribuída pelos autores ao aumento das forças superficiais entre as partículas de gel devido à eliminação do teor de umidade. Em síntese, as conclusões dos estudos examinados sugerem que as cinzas volantes apresentam propriedades benéficas para a qualidade do concreto. A proporção ideal recomendada de cinzas volantes é de cerca de 30%. Com a inclusão de cinzas volantes, é inevitável que haja uma diminuição na resistência do concreto, porém, essa redução geralmente não é substancial o bastante para comprometer a capacidade de suporte do material. No entanto, o uso de quantidades elevadas de cinzas volantes não é aconselhável, uma vez que resulta em uma diminuição mais notável na resistência (VRDOLJAK et al., 2022).

Embora o concreto convencional não ofereça uma proteção eficaz contra a radiação eletromagnética, é possível melhorar essa capacidade ao incorporar uma mistura adequada. A inclusão de cinzas volantes no concreto ou argamassa resulta em modificações nas propriedades elétricas e dielétricas do material (LINGVAY et al., 2019; OZTURK et al., 2020).

Polipirrol

Os polímeros condutores despertam considerável interesse no âmbito da ciência e tecnologia devido às suas propriedades elétricas, mecânicas e estabilidade química. Compostos por cadeias longas alternadas com ligações simples e duplas, facilitam o deslocamento de elétrons em sua estrutura. A capacidade de dopagem é um dos aspectos fundamentais desses materiais, visto que viabiliza uma ampla gama de aplicações em várias áreas.

O polipirrol é um polímero condutor orgânico que pertence à classe dos polímeros conjugados. Ele é formado a partir da polimerização do pirrol, uma molécula orgânica de cinco membros contendo um anel aromático e um átomo de nitrogênio na estrutura.

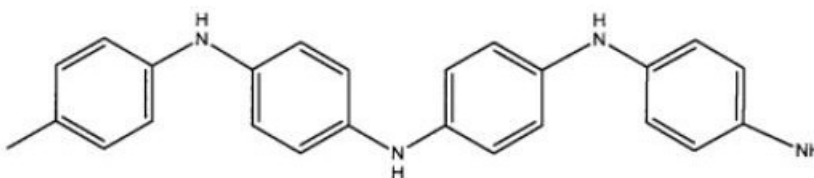
Quando várias unidades de pirrol se ligam umas às outras, formam cadeias longas, criando o polímero conhecido como polipirrol. O polipirrol é conhecido por suas propriedades elétricas únicas, tornando-o um condutor elétrico intrinsecamente. Essas propriedades condutoras surgem devido à presença de elétrons "pi" em sua estrutura conjugada, que podem mover-se livremente ao longo da cadeia do polímero. Isso o torna útil em uma variedade de aplicações, incluindo eletrônica orgânica, sensores, dispositivos eletrônicos flexíveis e muito mais (ISLAM et al., 2022).

Estrutura de polímeros condutores intrínsecos nas suas formas neutras

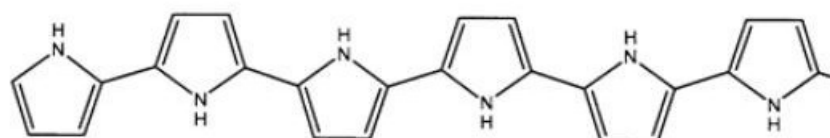
Poliacetileno



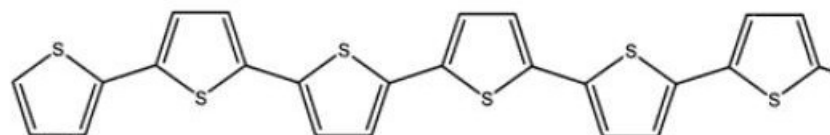
Polianilina



Polipirrol

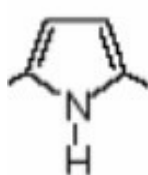


Politiofeno



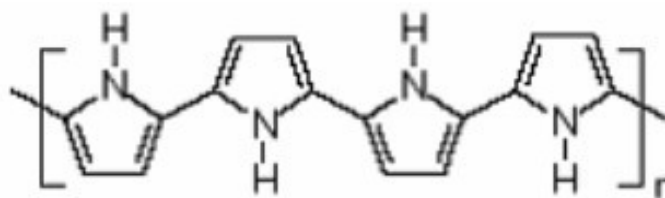
Fonte: (E. S. MEDEIROS, 2012)

Representação da estrutural (a) pirrol; (b) polipirrol



pirrol

(a)



polipirrol

(b)

Fonte: (DE GIGLIO et al., 2001)

Os polímeros condutores frequentemente são caracterizados pela presença de ligações duplas e simples ao longo de sua cadeia principal, graças aos elétrons π que podem mover-se dentro dela. Esses elétrons têm a capacidade de serem acrescentados ou removidos sem comprometer as ligações essenciais da macromolécula.

Tabela 1 apresenta a distribuição de valores e condutividade para algumas classes de materiais.

	Condutividade (S.cm ⁻¹)	Materiais	Polímeros conjugados	Áreas de aplicação
Condutores	10 ⁵	Cobre	10 ⁵ (S.cm ⁻¹)	Cabo de energia Aquecimento Sensor
	10 ³	Ferro		
	10 ²	Grafite		
Semicondutores	10 ⁰	Índio/Antimônio	10 ⁻⁸ (S.cm ⁻¹)	Blindagem
	10 ⁻²	Gálio/Arsênio		
	10 ⁻⁴	Germânio		
	10 ⁻⁸	Silício		Antiestático
Isolantes	10 ⁻¹⁰			
	10 ⁻¹²			
	10 ⁻¹⁴			
	10 ⁻¹⁸			
	10 ⁻²⁰			Isolantes

Fonte: (BOUZEK, 2001)

Além de suas propriedades condutoras, o polipirrol é conhecido por ser relativamente estável quimicamente, o que o torna adequado para várias aplicações industriais. No entanto, ele pode ser modificado e funcionalizado para atender a requisitos específicos de aplicação. O polipirrol é um exemplo de polímero condutor, que faz parte de uma família mais ampla de polímeros orgânicos com propriedades elétricas. Outros polímeros condutores incluem polianilina e PEDOT (poli(3,4-etilenodioxitiofeno)), cada um com suas próprias características e aplicações únicas (CAMPOS; FAEZ; REZENDE, 2014a).

Em suma, a incorporação de polipirrol em concreto condutor oferece uma série de benefícios, incluindo melhor condutividade elétrica, resistência à corrosão aprimorada, manutenção das propriedades mecânicas, capacidade de aquecimento controlado e aplicações avançadas em sensores estruturais.

O polipirrol, juntamente com outros polímeros condutores, pode ser produzido através de diferentes métodos, incluindo rotas químicas e eletroquímicas. Na rota química, uma solução de pirrol é combinada com um agente oxidante, como o FeCl_3 , resultando na formação de um pó preto (BOCCHI; GARDINI, 1986). Durante a síntese do polipirrol, o uso de surfactantes desempenha um papel importante, afetando o processo de várias maneiras principais: (1) surfactantes aniônicos podem estabelecer ligações iônicas com o polímero catiônico de polipirrol; (2) a porção hidrofóbica dos surfactantes pode adsorver o polímero condutor gerado; e (3) micelas surfactantes, se presentes, podem impactar a distribuição dos reagentes entre as fases micelar e aquosa, alterando o curso da reação de polimerização do pirrol (OMASTOVÁ et al., 2003).

Devido à sua condutividade elétrica, os polímeros condutores têm sido alvo de pesquisa no desenvolvimento de materiais capazes de absorver radiação eletromagnética (MARE). Esses materiais são eficazes na conversão de energia de micro-ondas em energia térmica, reduzindo assim a radiação eletromagnética incidente. Nesse contexto, foram patenteadas várias formulações que envolvem o uso de polipirrol, obtido por síntese química, para fins antiestáticos e de blindagem eletromagnética (CAMPOS; FAEZ; REZENDE, 2014b).

CAPÍTULO 3

HIPÓTESE

A hipótese em uma pesquisa de mestrado ou doutorado é uma pedra angular, uma proposição fundamentada que orienta todo o processo investigativo. Ela é a conjectura inicial que o pesquisador formula com base em sua revisão bibliográfica, observações prévias ou intuições sobre o tema em estudo. A hipótese representa uma resposta provisória à pergunta de pesquisa e serve como ponto de partida para a coleta e análise de dados.

Uma hipótese pode assumir diferentes formas, dependendo da natureza da pesquisa. Pode ser uma afirmação sobre uma relação entre variáveis, uma previsão sobre os resultados esperados de um experimento ou uma proposição sobre a direção do efeito de determinadas variáveis sobre outras. Por exemplo, em uma pesquisa sobre os efeitos do exercício físico na saúde mental, uma hipótese poderia ser: "Pessoas que praticam exercícios físicos regularmente apresentarão níveis mais baixos de ansiedade em comparação com aquelas que são sedentárias."

É importante ressaltar que uma hipótese deve ser testável e passível de verificação através da coleta e análise de dados empíricos. Ela não é uma mera especulação ou opinião pessoal, mas sim uma proposição que pode ser confirmada ou refutada com base em evidências. Além disso, uma hipótese deve ser específica e clara o suficiente para orientar o desenho da pesquisa e a seleção de métodos adequados para testá-la.

Ao longo do processo de pesquisa, a hipótese pode ser ajustada ou refinada com base nos novos dados e insights obtidos. Isso faz parte do caráter dinâmico e iterativo da investigação científica, onde as ideias iniciais são constantemente revisadas e aprimoradas à medida que o estudo avança. No entanto, é essencial que qualquer modificação na hipótese seja justificada e fundamentada em evidências sólidas.

Em suma, a hipótese em uma pesquisa de mestrado ou doutorado desempenha um

papel crucial ao fornecer uma estrutura conceitual para a investigação, orientar o processo de coleta e análise de dados, e servir como ponto de partida para a geração de novos conhecimentos e descobertas científicas. É a partir dela que a pesquisa ganha direção e propósito, rumo à construção de um entendimento mais profundo e abrangente sobre o fenômeno em estudo.

A hipótese dessa pesquisa é baseada na possibilidade de poder utilizar o concreto como um supercapacitor para o armazenamento de energia e poder investigar se esse concreto também pode ser uma proteção contra a radiação electromagnética.

Os materiais aqui estudados são produtos de uma pesquisa onde vi a necessidade de desenvolver mais estudos para tornar possível a realidade do concreto como principal fonte de armazenamento de energia, essas por sua vez podem ser obtidas através de fontes renováveis, como por exemplo a energia solar e eólica.

Buscando algo inovador, encontrei um artigo (Chanut et al., 2023b), de junho desse ano (2023) que fala que com o cimento, negro de fumo e água, é possível produzir um supercapacitor capaz de armazenar energia em grande quantidade. A partir dessa pesquisa de Chanut et al, pensei na possibilidade de desenvolver um estudo onde serem analisados os aditivos no concreto, sendo eles o negro de fumo, o nanotubos de carbono, cinza volante e polipirrol, e com isso observar as propriedades dessas misturas para comparar os resultados e sugerir qual melhor material a ser utilizado para além de desenvolver um concreto que armazene energia, possa também ser usado contra proteção a radiação eletromagnética. De acordo com o desenvolver da pesquisa, esses materiais podem ser estudados de forma separada ou juntas na mistura.

Com ajuda das técnicas de caracterização, podemos esperar bons resultados e uma vasta área de aplicações e possibilidades de desenvolver novas pesquisas com o tema sugerido, buscando sempre a inovação tecnológica e sustentabilidade.

CAPÍTULO 4

RISCOS E DIFICULDADES

Realizar uma pesquisa acadêmica para um mestrado ou doutorado é uma jornada desafiadora que está repleta de riscos e dificuldades. Desde a concepção da ideia até a conclusão do estudo, os pesquisadores enfrentam uma série de obstáculos que testam sua resiliência e determinação.

Um dos principais desafios enfrentados pelos estudantes de pós-graduação é a definição de um tema de pesquisa relevante e original. Muitas vezes, encontrar uma lacuna na literatura existente pode ser uma tarefa árdua e demandar um extenso trabalho de revisão bibliográfica. Além disso, a seleção de uma metodologia adequada e a formulação de hipóteses claras são passos cruciais que exigem cuidado e atenção.

Outro risco significativo é a falta de recursos financeiros e materiais. A pesquisa acadêmica muitas vezes demanda investimentos em equipamentos, materiais de laboratório, acesso a bases de dados e viagens para coleta de dados. A obtenção de bolsas de estudo ou financiamento nem sempre é garantida, deixando os estudantes em uma posição vulnerável.

Além disso, o tempo é um recurso escasso para os pesquisadores em formação. Conciliar as demandas da pesquisa com outras obrigações, como aulas, seminários e atividades administrativas, pode ser extremamente desafiador. A pressão para cumprir prazos e alcançar resultados pode levar a altos níveis de estresse e ansiedade.

A complexidade dos procedimentos éticos e burocráticos também pode representar um obstáculo significativo. A obtenção de aprovação institucional para realizar a pesquisa, especialmente em áreas sensíveis ou que envolvem seres humanos, pode consumir tempo e energia consideráveis. Além disso, questões como a obtenção de consentimento informado e a proteção da privacidade dos participantes exigem um cuidadoso planejamento e execução.

Por fim, a incerteza em relação aos resultados da pesquisa também é um fator de risco a ser considerado. Nem sempre os resultados obtidos correspondem às expectativas iniciais, e lidar com resultados negativos ou contraditórios pode ser desanimador para os pesquisadores.

Apesar de todos esses desafios e riscos, a jornada da pesquisa acadêmica também é recompensadora. A superação das dificuldades ao longo do caminho e a contribuição para o avanço do conhecimento em sua área de estudo proporcionam uma sensação de realização e orgulho. É através da persistência e da dedicação que os pesquisadores conseguem transformar os obstáculos em oportunidades de crescimento e aprendizado.

Existem algumas dificuldades e riscos que podem se apresentar no decorrer da pesquisa:

- Obtenção dos materiais de estudo
- Técnicas de síntese e caracterização
- Definição da ordem de estudo misturas
- Riscos no uso de laboratório

Os materiais de estudo não são matérias difíceis de encontrar e possuem valor acessível, alguns podem até já está disponível em laboratório. Caso o programa não disponibilize de algumas técnicas de síntese e caracterização que sejam necessárias para a pesquisa, podemos fazer parcerias com outros programas ou outros professores de pós que possuem a metodologia dessas essas técnicas. E sempre trabalhando em laboratório de forma preventiva a acidentes, sempre atendendo as normas estabelecidas.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS ESPERADOS

Os resultados esperados de uma pesquisa acadêmica de mestrado ou doutorado são o cerne da jornada intelectual e profissional de um estudante de pós-graduação. São eles que validam o esforço investido, justificam a relevância do estudo e contribuem para o avanço do conhecimento em uma determinada área.

Em primeiro lugar, espera-se que os resultados demonstrem uma contribuição significativa para a literatura existente. Isso pode se dar através da confirmação, refutação ou expansão de teorias e conceitos pré-existentes. Os novos insights gerados pela pesquisa têm o potencial de preencher lacunas no conhecimento e abrir novos caminhos para investigações futuras.

Além disso, os resultados esperados devem ser consistentes com os objetivos e hipóteses estabelecidos no início do estudo. A análise dos dados coletados deve fornecer evidências sólidas que sustentem as conclusões alcançadas. A qualidade e a confiabilidade dos resultados são fundamentais para a credibilidade da pesquisa e sua aceitação pela comunidade acadêmica.

Os resultados também podem ter implicações práticas e aplicadas em diferentes contextos. Eles podem fornecer insights úteis para profissionais e tomadores de decisão em áreas como política pública, gestão empresarial, saúde, educação, entre outras. A capacidade de traduzir os resultados da pesquisa em recomendações acionáveis é um aspecto valorizado e desejado em projetos acadêmicos.

Além disso, espera-se que os resultados contribuam para o desenvolvimento de habilidades e competências do pesquisador. A condução de uma pesquisa de mestrado ou doutorado envolve a aplicação de métodos e técnicas específicas, bem como o aprimoramento da capacidade de análise crítica, resolução de problemas e comunicação acadêmica. Essas habilidades são transferíveis e podem beneficiar o pesquisador em sua

carreira futura, tanto dentro quanto fora do meio acadêmico.

Por fim, os resultados esperados de uma pesquisa acadêmica de mestrado ou doutorado devem ser apresentados de forma clara e persuasiva. Isso geralmente inclui a redação de uma dissertação ou tese que descreva detalhadamente o processo de pesquisa, os métodos utilizados, os resultados obtidos e as conclusões alcançadas. A disseminação dos resultados através de apresentações em conferências, publicações em revistas acadêmicas e outros meios de comunicação também é fundamental para maximizar o impacto da pesquisa e promover o seu reconhecimento pela comunidade científica.

É esperado que essa pesquisa através das técnicas de caracterização apresente as propriedades estruturais, magnéticas e eletroquímicas dos materiais estudados para que seja possível identificar qual deles se encaixa melhor para ser usado no concreto a fim de fazer do concreto um supercapacitor e também atue como proteção contra a radiação eletromagnética. Os materiais analisados podem ser estudados juntos e/ou separados e isso pode nos trazer resultados inéditos que podem sugerir novas pesquisas.

Que essa pesquisa possa contribuir para solução de problemas, trazendo inovações tecnológicas acessível economicamente e transformando ideias em ações para que todos possam ter acesso as suas aplicações.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, J.; ZHOU, Z. Properties of concrete with addition carbon nanotubes: A review. *Construction and Building Materials*, v. 393, p. 132066, ago. 2023.
- AL-DAHAWI, A. et al. Effect of mixing methods on the electrical properties of cementitious composites incorporating different carbon-based materials. *Construction and Building Materials*, v. 104, p. 160–168, fev. 2016a.
- AL-DAHAWI, A. et al. Electrical percolation threshold of cementitious composites possessing self-sensing functionality incorporating different carbon-based materials. *Smart Materials and Structures*, v. 25, n. 10, p. 105005, 1 out. 2016b.
- ALLEN, A. J.; THOMAS, J. J.; JENNINGS, H. M. Composition and density of nanoscale calcium–silicate–hydrate in cement. *Nature Materials*, v. 6, n. 4, p. 311–316, 25 abr. 2007.
- ASSIÉ, S.; ESCADEILLAS, G.; WALLER, V. Estimates of self-compacting concrete ‘potential’ durability. *Construction and Building Materials*, v. 21, n. 10, p. 1909–1917, out. 2007.
- BAAN, R. et al. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *The Lancet Oncology*, v. 12, n. 7, p. 624–626, jul. 2011.
- BENEDEK, J.; SEBESTYÉN, T.-T.; BARTÓK, B. Evaluation of renewable energy sources in peripheral areas and renewable energy-based rural development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 90, p. 516–535, jul. 2018.
- BIAN, P. et al. Enhancing electromagnetic wave absorption and flexural properties in carbon fiber-reinforced foamed cement-based composites. *Construction and Building Materials*, v. 415, p. 134989, fev. 2024.
- BOCCHI, V.; GARDINI, G. P. Chemical synthesis of conducting polypyrrole and some composites. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, n. 2, p. 148a, 1986.
- BOUZEK, K. Platinum distribution and electrocatalytic properties of modified polypyrrole films. *Electrochimica Acta*, v. 46, n. 5, p. 661–670, 1 jan. 2001.
- BOUZOUBAË, N.; LACHEMI, M. Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash. *Cement and Concrete Research*, v. 31, n. 3, p. 413–420, mar. 2001.
- CALVENTE, I. et al. Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: A systematic review. *Science of The Total Environment*, v. 408, n. 16, p. 3062–3069, 15 jul. 2010.
- CAMPOS, R.; FAEZ, R.; REZENDE, M. C. Síntese do polipirrol com surfactantes aniônicos visando aplicações como absorvedores de micro-ondas. *Polímeros Ciência e Tecnologia*, v. 24, n. 3, p. 351–359, 2014a.

CAMPOS, R.; FAEZ, R.; REZENDE, M. C. Síntese do polipirrol com surfactantes aniônicos visando aplicações como absorvedores de micro-ondas. *Polímeros Ciência e Tecnologia*, v. 24, n. 3, p. 351–359, 2014b.

CAO, J.; CHUNG, D. D. L. Use of fly ash as an admixture for electromagnetic interference shielding. *Cement and Concrete Research*, v. 34, n. 10, p. 1889–1892, out. 2004.

CHANUT, N. et al. Carbon–cement supercapacitors as a scalable bulk energy storage solution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 120, n. 32, 8 ago. 2023a.

CHANUT, N. et al. Carbon–cement supercapacitors as a scalable bulk energy storage solution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 120, n. 32, 8 ago. 2023b.

CHANUT, N. et al. Carbon–cement supercapacitors as a scalable bulk energy storage solution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 120, n. 32, 8 ago. 2023c.

CHEN, P.-W.; CHUNG, D. D. L. Carbon fiber reinforced concrete for smart structures capable of non-destructive flaw detection. *Smart Materials and Structures*, v. 2, n. 1, p. 22–30, 1 mar. 1993.

CHICA, L.; ALZATE, A. Cellular concrete review: New trends for application in construction. *Construction and Building Materials*, v. 200, p. 637–647, mar. 2019.

CHUNG, D. D. L. Electrically conductive cement-based materials. *Advances in Cement Research*, v. 16, n. 4, p. 167–176, out. 2004.

DE GIGLIO, E. et al. Electropolymerization of pyrrole on titanium substrates for the future development of new biocompatible surfaces. *Biomaterials*, v. 22, n. 19, p. 2609–2616, out. 2001.

DENG, G. et al. Lightweight and broadband electromagnetic wave absorbing foamed cement-based composites incorporated with hybrid dielectric fibers. *Construction and Building Materials*, v. 327, p. 126931, abr. 2022.

DENG, H.; LI, H. Assessment of self-sensing capability of Carbon Black Engineered Cementitious Composites. *Construction and Building Materials*, v. 173, p. 1–9, jun. 2018.

DHANGAR, K. et al. Aggregation behaviour of black carbon in aquatic solution: Effect of ionic strength and coexisting metals. *Chemosphere*, v. 311, p. 137088, jan. 2023.

DINESH, A. et al. Carbon black based self-sensing cement composite for structural health monitoring – A review on strength and conductive characteristics. *Materials Today: Proceedings*, abr. 2023.

DONG, W. et al. Investigation on physicochemical and piezoresistive properties of smart MWCNT/cementitious composite exposed to elevated temperatures. *Cement and Concrete Composites*, v. 112, p. 103675, set. 2020.

E. S. MEDEIROS^{1*}, J. E. O. N. C.-F. L. G. P. L. H. C. M. Uso de Polímeros Condutores em Sensores. Parte 1: Introdução aos Polímeros Condutores. *Revista Eletrônica de Materiais e*

Processos, v. 7.2, n. 1809-8797, p. 62–67, 2012.

ESTOKOVA, A.; SMOLAKOVA, M. INFLUENCE OF SULFURIC ACID ATTACK ON CONCRETE WITH INDUSTRIAL WASTE. *Elektronički časopis građevinskog fakulteta Osijek*, p. 24–30, 23 dez. 2018.

GRANDCLERC, A. et al. Impact of cement composition on the adsorption of hydrogen sulphide and its subsequent oxidation onto cementitious material surfaces. *Construction and Building Materials*, v. 152, p. 576–586, out. 2017a.

GRANDCLERC, A. et al. Impact of cement composition on the adsorption of hydrogen sulphide and its subsequent oxidation onto cementitious material surfaces. *Construction and Building Materials*, v. 152, p. 576–586, out. 2017b.

HAN, B.; DING, S.; YU, X. Intrinsic self-sensing concrete and structures: A review. *Measurement*, v. 59, p. 110–128, jan. 2015a.

HAN, B.; DING, S.; YU, X. Intrinsic self-sensing concrete and structures: A review. *Measurement*, v. 59, p. 110–128, jan. 2015b.

HAN, B.; YU, X.; KWON, E. A self-sensing carbon nanotube/cement composite for traffic monitoring. *Nanotechnology*, v. 20, n. 44, p. 445501, 4 nov. 2009.

HAQUE, M. N.; KAYALI, O. Properties of high-strength concrete using a fine fly ash. *Cement and Concrete Research*, v. 28, n. 10, p. 1445–1452, out. 1998.

IRSHIDAT, M. R.; AL-NUAIMI, N.; RABIE, M. Sustainable utilization of waste carbon black in alkali-activated mortar production. *Case Studies in Construction Materials*, v. 15, p. e00743, dez. 2021.

ISLAM, MD. M. et al. Conjugated Polymers as the Materials for Supercapacitor Electrodes. *Em: [s.l: s.n.]*. p. 265–287.

JIA, L.-C. et al. Electrically conductive and electromagnetic interference shielding of polyethylene composites with devisable carbon nanotube networks. *Journal of Materials Chemistry C*, v. 3, n. 36, p. 9369–9378, 2015.

KHAN, H. A.; CASTEL, A.; KHAN, M. S. H. Corrosion investigation of fly ash based geopolymer mortar in natural sewer environment and sulphuric acid solution. *Corrosion Science*, v. 168, p. 108586, maio 2020.

KHURANA, V. G. et al. Epidemiological Evidence for a Health Risk from Mobile Phone Base Stations. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, v. 16, n. 3, p. 263–267, jul. 2010.

LI, G. Y.; WANG, P. M.; ZHAO, X. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi-walled carbon nanotubes. *Carbon*, v. 43, n. 6, p. 1239–1245, maio 2005.

LI, L. et al. Carbon nanotube (CNT) reinforced cementitious composites for structural self-

sensing purpose: A review. *Construction and Building Materials*, v. 392, p. 131384, ago. 2023.

LIMBACHIYA, M.; MEDDAH, M. S.; OUCHAGOUR, Y. Use of recycled concrete aggregate in fly-ash concrete. *Construction and Building Materials*, set. 2011.

LINGVAY, I. et al. Increasing Shielding Capabilities of Cement Mortars by Fly Ash Addition. *Revista de Chimie*, v. 70, n. 8, p. 2742–2746, 15 set. 2019.

LIU, C. et al. Noncovalent self-assembly of a minuscule amount of nickel porphyrin on carbon nanotube for high-performance electromagnetic wave absorbing. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 164, p. 107281, jan. 2023.

LIU, T. et al. Revitalizing carbon supercapacitor electrodes with hierarchical porous structures. *Journal of Materials Chemistry A*, v. 5, n. 34, p. 17705–17733, 2017.

LOPES, J. P. et al. Influência de nanotubos de carbono sobre o desempenho de concreto e de concreto reforçado com fibras (CRF). *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 27, n. 2, 2022.

LUND, P. D. et al. Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 45, p. 785–807, maio 2015.

M. MALEŠEV, V. R. S. D. S. Š. M. L. Influence of fly ash and decreasing water-powder ratio on performance of recycled aggregate concrete. *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers*, v. 69, n. 9, p. 811–820, out. 2017.

MA, P.-C. et al. Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 41, n. 10, p. 1345–1367, out. 2010.

MADRASZEWSKI, S.; STEPHAN, D. The decisive role of the abrasion stress in concrete corrosion during acid attack – Comparison of resistance of different concrete types. *Construction and Building Materials*, v. 408, p. 133736, dez. 2023.

MARTINS, A. F. et al. Propriedades Mecânicas e Dinâmico-mecânicas de Composições de Policloropreno com Negro de Fumo. *Polímeros*, v. 12, n. 3, p. 147–152, 2002.

MATERAZZI, A. L.; UBERTINI, F.; D’ALESSANDRO, A. Carbon nanotube cement-based transducers for dynamic sensing of strain. *Cement and Concrete Composites*, v. 37, p. 2–11, mar. 2013.

MOHAMED, H. A. Effect of fly ash and silica fume on compressive strength of self-compacting concrete under different curing conditions. *Ain Shams Engineering Journal*, v. 2, n. 2, p. 79–86, jun. 2011.

MORI, T. et al. Interactions of nutrients, moisture and pH on microbial corrosion of concrete sewer pipes. *Water Research*, v. 26, n. 1, p. 29–37, jan. 1992.

MUSTAFA, J.; ALQAED, S.; SHARIFPUR, M. Loading phase change material in a concrete

based wall to enhance concrete thermal properties. *Journal of Building Engineering*, v. 56, p. 104765, set. 2022.

NALON, G. H. et al. Effects of different kinds of carbon black nanoparticles on the piezoresistive and mechanical properties of cement-based composites. *Journal of Building Engineering*, v. 32, p. 101724, nov. 2020.

OMASTOVÁ, M. et al. Synthesis and structural study of polypyrroles prepared in the presence of surfactants. *Synthetic Metals*, v. 138, n. 3, p. 447–455, jul. 2003.

OZTURK, M. et al. Mechanical and electromagnetic performance of cement based composites containing different replacement levels of ground granulated blast furnace slag, fly ash, silica fume and rice husk ash. *Cement and Concrete Research*, v. 136, p. 106177, out. 2020.

PARANT, H. et al. Flowing suspensions of carbon black with high electronic conductivity for flow applications: Comparison between carbons black and exhibition of specific aggregation of carbon particles. *Carbon*, v. 119, p. 10–20, ago. 2017.

POWERS, T. C. Structure and Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 41, n. 1, p. 1–6, jan. 1958.

QOMI, M. J. A. et al. Anomalous composition-dependent dynamics of nanoconfined water in the interlayer of disordered calcium-silicates. *The Journal of Chemical Physics*, v. 140, n. 5, 7 fev. 2014.

REDDY, P. N.; KAVYATEJA, B. V.; JINDAL, B. B. Structural health monitoring methods, dispersion of fibers, micro and macro structural properties, sensing, and mechanical properties of self-sensing concrete—A review. *Structural Concrete*, v. 22, n. 2, p. 793–805, 28 abr. 2021.

RISSMAN, J. et al. Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070. *Applied Energy*, v. 266, p. 114848, maio 2020.

SAINI, P. et al. Improved Electromagnetic Interference Shielding Response of Poly(aniline)-Coated Fabrics Containing Dielectric and Magnetic Nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry C*, v. 116, n. 24, p. 13403–13412, 21 jun. 2012.

SASSANI, A. et al. Carbon fiber-based electrically conductive concrete for salt-free deicing of pavements. *Journal of Cleaner Production*, v. 203, p. 799–809, dez. 2018.

SIAHKOUHI, M. et al. Utilization of carbon nanotubes (CNTs) in concrete for structural health monitoring (SHM) purposes: A review. *Construction and Building Materials*, v. 309, p. 125137, nov. 2021.

SIDDIQUE, R. Effect of fine aggregate replacement with Class F fly ash on the mechanical properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 33, n. 4, p. 539–547, abr. 2003a.

SIDDIQUE, R. Effect of fine aggregate replacement with Class F fly ash on the mechanical properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 33, n. 4, p. 539–547, abr. 2003b.

SIDDIQUE, R. Properties of self-compacting concrete containing class F fly ash. *Materials & Design*, v. 32, n. 3, p. 1501–1507, mar. 2011.

TAO, Y. et al. Towards ultrahigh volumetric capacitance: graphene derived highly dense but porous carbons for supercapacitors. *Scientific Reports*, v. 3, n. 1, p. 2975, 17 out. 2013.

THOSTENSON, E.; LI, C.; CHOU, T. Nanocomposites in context. *Composites Science and Technology*, v. 65, n. 3–4, p. 491–516, mar. 2005.

TOMBLER, T. W. et al. Reversible electromechanical characteristics of carbon nanotubes under local-probe manipulation. *Nature*, v. 405, n. 6788, p. 769–772, jun. 2000.

VAN VLIET, K. et al. Set in stone? A perspective on the concrete sustainability challenge. *MRS Bulletin*, v. 37, n. 4, p. 395–402, 9 abr. 2012.

VRDOLJAK, I. et al. Concrete-based composites with the potential for effective protection against electromagnetic radiation: A literature review. *Construction and Building Materials*, v. 326, p. 126919, abr. 2022.

WANASINGHE, D.; ASLANI, F.; MA, G. Development of 3D printable cementitious composite for electromagnetic interference shielding. *Construction and Building Materials*, v. 317, p. 125960, jan. 2022a.

WANASINGHE, D.; ASLANI, F.; MA, G. Development of 3D printable cementitious composite for electromagnetic interference shielding. *Construction and Building Materials*, v. 317, p. 125960, jan. 2022b.

WANG, H. et al. Electrical and mechanical properties of asphalt concrete containing conductive fibers and fillers. *Construction and Building Materials*, v. 122, p. 184–190, set. 2016.

WANG, J.-L. et al. The synthesis of porous carbon material derived from coal liquefied residue and its electromagnetic wave absorption. *New Carbon Materials*, v. 38, n. 5, p. 875–886, out. 2023.

WANG, Z. et al. Myeloid atg5 deletion impairs n-3 PUFA-mediated atheroprotection. *Atherosclerosis*, v. 295, p. 8–17, fev. 2020.

WEN, S.; CHUNG, D. D. L. Model of piezoresistivity in carbon fiber cement. *Cement and Concrete Research*, v. 36, n. 10, p. 1879–1885, out. 2006.

WU, W. et al. Preparation and performance of a bamboo-based electromagnetic wave absorber by interfacial polymerization of graphene oxide/polyaniline. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 17, n. 3, p. 105651, mar. 2024.

WU, Y. et al. Effective broadband electromagnetic wave absorption performance of nano-

Fe₃O₄ magnetic fluid-modified resin geopolymer by metamaterial with a novel patterned structure. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, v. 580, p. 170939, ago. 2023.

XIE, S. et al. Electromagnetic wave absorption properties of helical carbon fibers and expanded glass beads filled cement-based composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 114, p. 360–367, nov. 2018.

SOBRE AS AUTORAS

JÉSSICA CRISTINA DE ABREU ROMÃO

Graduação em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de João Pessoa UNIPÊ (2020), mestra em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal da Paraíba UFPB (2023), atuando como perita judicial.

ASSÍRIA EDLAINE DE FRANÇA LEMOS

Possui graduação em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de João Pessoa (2019). Pós graduanda em Avaliações, Perícias, Engenharia Diagnóstica e Patologias das Construções na Faculdade BSSP. Mestranda em Ciência e Engenharia de Materiais na Universidade Federal da Paraíba. Desempenhou o cargo de diretora de planejamento e responsável pelo setor técnico da Defesa Civil no município de Areia e como Perita Judicial no município de Campina Grande. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em obras e projetos.



ISBN 978-655376306-7

9 786553 763067