

NANOTECNOLOGIA APLICADA ÀS ESTRUTURAS METÁLICAS ESTUDANDO O NANOGRAFENO COMO MAJORADOR DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAL

Afrânio Pereira Junior¹
Amanda Ferreira Prado²
Eduarda Cunha Nunes³
Murilo Guilherme Miranda⁴
Thais Bussmeyer⁵
Leonardo Moraes Armesto⁶

RESUMO: Ao longo dos anos, as estruturas metálicas conquistaram o seu lugar na construção civil, embora no Brasil, as estruturas de concreto armado ainda sejam o sistema tradicional mais utilizado, o país é um dos maiores produtores mundiais de aço. Diante do panorama atual de desenvolvimento das pesquisas nanotecnológicas e a busca por aprimoramento no uso das estruturas metálicas no mercado da construção civil, o presente trabalho aponta que a mistura do óxido de grafeno em tintas anticorrosivas aplicadas no aço pode garantir um alto desempenho na manutenção de grandes estruturas metálicas, possibilitando encontrar maneiras mais ecológicas de evitar a corrosão relacionando a incorporação do grafeno na construção civil. O grafeno é um material que os especialistas acreditam ser muito adequado para unir os departamentos de pesquisa e indústrias, visto que o mercado e a lucratividade potencial são enormes. Portanto, obtido através do processo de esfoliação, o grafeno utilizado como fruto de estudos com a função de revestimento anticorrosivo através da sua ativação no sistema epóxi composto por dois componentes, sendo o componente A baseado em Bisfenol A e o componente B um catalizador endurecedor da tinta epóxi (componente A). O principal objetivo desta pesquisa é a análise da aplicabilidade do nanografeno como aditivo complementar nas tintas e resinas epóxi utilizadas atualmente de maneira a evitar a corrosão das estruturas metálicas, como alternativa de maximizar a proteção anticorrosiva. Para avaliar

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Paulista. E-mail: afranio.090@gmail.com.

² Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Paulista. E-mail: amandafrado@gmail.com

³ Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Paulista. E-mail: eduardacnquaresma@hotmail.com.

⁴ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Paulista. E-mail: eduardacnquaresma@hotmail.com

⁵ Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Paulista. E-mail: thaisbussmeyer@gmail.com

⁶ Doutorando Acadêmico em Engenharia de Materiais e Nanotecnologia, Mestrado em Bioengenharia pela UNIESP-Universidade Brasil, pós-Graduação em Gestão Estratégica de Negócios na instituição de ensino Centro Universitário Monte Serrat (Unimonte), Pós-Graduação "Extensão" em Energias Renováveis, pela Politécnica Universidad de Madrid e em Astrofísica pela Universidade de Santa Catarina. Especialista em Arquitetura, Construção e Gestão de Edificações Sustentáveis. Especialização em Filosofia e História da Ciência, Ensino: Astronomia. Graduado em Engenharia Civil na instituição Centro Universitário Monte Serrat, Engenharia Eletricidade e Engenharia Industrial Mecânica pelo Instituto Brasileiro de Tecnologia Avançada, Licenciatura em Física, Matemática e Filosofia, Licenciado em Química (Nível R2) e Licenciando em História pela Universidade de Franca e Cruzeiro do Sul, respectivamente; além de Medicina pela autarquia pública na Faculdade Municipal de São Caetano do Sul. Empresário, Palestrante, Assessor e Consultor em assuntos de planejamento estratégico. E-mail: leonardo.armesto@docente.unip.br

a eficácia do revestimento estudado, foram realizadas pesquisas de autores que realizaram ensaios de corrosão: ensaio de Salt Spray, o qual faz uso da câmara de névoa salina por meio da pressurização de ar e o ensaio de imersão total, onde basicamente, consiste em submergir por completo os corpos de prova em câmaras com água e temperatura controlada.

Palavras-chave: Aço. Grafeno. Construção. Nanotecnologia. Epóxi.

ABSTRACT: Through the years, steel structures have grown popular within the construction industry. In Brazil, reinforced concrete is still the standard building technique despite the country being one of the largest steel producers in the world. Considering the current development of nanotechnological research and the pursuit for improving the use of steel structures by the construction industry, this study demonstrates how mixing graphene oxide into anticorrosive paint applied on steel can guarantee high performance when maintaining large steel structures. Thus, incorporating the use of the graphene in construction could prevent corrosion and serve as a building alternative that is more environmentally friendly. Further, specialists view graphene as a highly suitable material to bring businesses and the research industry together due to its great market potential and profitability. Graphene is obtained by the exfoliation process, and is utilized on anticorrosive coating studies through its activation in the epoxy system consisting of two components. The A component is based on Bisphenol A, while component B is a hardening catalyst of the epoxy paint (component A). The main goal of this research is to evaluate the nanographene's applicability as a maximizing agent of anticorrosive protection, when used as a complementary additive in paint and epoxy resins that are currently applied on steel to prevent corrosion. To evaluate the effectiveness of the studied coating, researches were carried out by authors who performed corrosion tests: Salt Spray test, which makes use of the saline mist chamber by means of air pressurization and the total immersion test, which basically consists of in fully submerging the specimens in chambers with water and controlled temperature.

Keywords: Steel. Graphene. Construction. Nanotechnology. Epoxy.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Fakury *et. al.* (não datado), o uso de estruturas metálicas revolucionou a engenharia civil no século 18 e deu um passo importante no desenvolvimento dos métodos construtivos em aço. A primeira obra em estrutura metálica foi a ponte Severn em Coalbrookdale, Inglaterra, em 1779. Desde então, foram construídos edifícios industriais e estações ferroviárias, mas o metal ainda se limita às pontes. Somente na revolução industrial o uso do aço começou a se espalhar.

Cardoso (2014) apontou que, não só o sistema estrutural deve ser selecionado em termos de custos de execução, mas também os benefícios de cada sistema, como: o peso da própria estrutura, sustentabilidade, tempo de execução e benefícios para o cliente devem ser considerados para comparar qual sistema estrutural é mais eficiente. Com a compreensão das

peças sobre as vantagens das estruturas de aço, como maior resistência, menor peso da estrutura, capacidade de suportar maiores vãos, perfis estruturais mais esbeltos e, conseqüentemente, maior área útil, esse método construtivo tornou-se gradualmente comum.

Segundo Fernandes (2018), o termo corrosão é trivialmente conhecido por ocasionar a destruição gradativa do metal, entretanto, pode ser mais amplo quando levado em consideração a existência de três tipos de corrosão, a química, a eletroquímica e a eletrolítica.

No espaço industrial, a redução dos prejuízos monetários causados pela corrosão metálica e degradação dos materiais se torna um desafio. Contudo, existem algumas formas de atrasar esse processo, por exemplo: modificação da composição do metal, utilização de inibidores de corrosão, aplicação de barreiras como tinta ou revestimento anticorrosivo. (FERNANDES, 2018)

Neste âmbito, este trabalho visa maximizar a ação anticorrosiva da tinta epóxi, esta que é a mais utilizada quando se trata de anticorrosão, com a adição de nano grafeno, que possui propriedades tais como, elevada condutividade elétrica e térmica, alta razão área/massa e uma excelente resistência mecânica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Nanomateriais e suas propriedades

No final do século XX, com o avanço da tecnologia de maneira exponencial, estudos surgiam em volta de novos tipos de materiais cujo os tamanhos das partículas está entre moléculas e partículas sub-micrométricas. Logo foi necessário a denominação de uma área de conhecimento para abordar essas novas partículas, área essa que ficou conhecida como Nanociência e Nanotecnologia (MARTINS e TRINDADE, 2012).

Segundo Zarbin (2007) diante dessas considerações, foram observados, portanto, novos materiais, com novas propriedades e possibilidades de utilização. Os nanomateriais possuem pelo menos uma de suas dimensões na ordem de dezenas de nanômetros ($10^{-9}m$) e portam propriedades distintas das propriedades das moléculas e dos sólidos cristalinos típicos. Nanopartículas podem ser classificadas como termodinamicamente instáveis, desta forma há a necessidade de um rigoroso controle para a preparação, caracterização e aplicação dos nanomateriais em diferentes tamanhos e composições. (ZARBIN,2007; SEGUNDO *et. al.*, 2016)

Como Zarbin (2007) relata, diversos tipos de nanomateriais, tais como nanopartículas

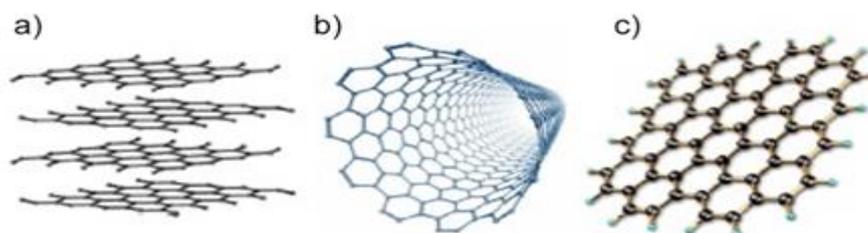
metálicas, nanotubos de carbono e outros tipos de nanocompósitos já deixaram os laboratórios acadêmicos e podem ser encontrados em diversos componentes ativos no mercado atual.

Segundo Ratner (2003), os nanomateriais podem ser classificados em dimensões, classificadas através da nanoescala (1-100nm), essas que são denominadas como 0-D, 1-D, 2-D e 3-D. O autor ainda salienta que é possível atribuir as nanopartículas como elementos 0-D pois todas as suas dimensões encontram-se em nanoescala; nanotubos são classificados como 1-D já que uma de suas dimensões se encontram fora da nanoescala; já o grafeno é classificado como 2-D, uma vez que duas de suas dimensões encontram-se fora da nanoescala, restando apenas uma dimensão dentro da mesma; e por fim, a 3-D é possível classificar qualquer sólido massivo, conhecido como *bulk*.

Conforme Segundo *et. al.* (2016), o nanomaterial que mais ganhou destaque nas últimas décadas, desde sua descoberta em 2004 é o grafeno, que consiste em uma folha plana de átomos de carbono organizados em estruturas hexagonais, resultando em um elétron livre por átomo de carbono, possibilitando o material ser usado em diversas aplicações. Os autores refletem ainda que as propriedades do grafeno resultam em uma maior resistência mecânica quando comparada ao aço, além de maior condutividade que o cobre e maior mobilidade mecânica quando comparada ao silício. Tais propriedades atreladas a um material cuja sua espessura equivale a de um átomo, algo próximo aos 0,34 nm.

Conforme Zarbin (2017) relata, a corrida para o emprego do grafeno em produtos reais vem crescendo nos últimos anos e tem se mostrado bastante promissora, com a possibilidade de inserção dos compósitos na área de polímeros, procurando aumentar a resistência mecânica e química do componente.

Figura 1 - Estruturas derivadas do carbono a) grafite b) nanotubos c) grafeno



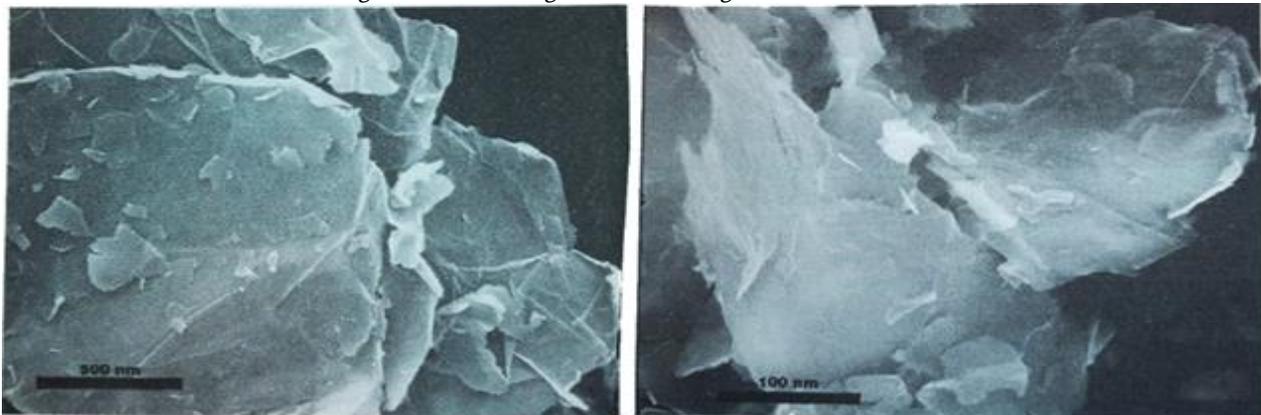
Fonte: Aldo J. G. Zarbin Marcela M. Oliveira, 2013.

Segundo Oliveira *et. al.* (2018) relatam, novos derivados do grafeno foram pesquisados e então foi descoberto o óxido de grafeno, que contém estrutura molecular próxima a do grafite, entretanto contendo carbonilas, oxigênio, hidroxilas e grupos epóxi. Com isso, esse material possui característica hidrofílica, sendo possível sua dissolução em água.

Conforme Zarbin (2007) menciona, em busca da possibilidade de associação do nanomaterial com metais óxidos semicondutores, foi então pesquisada a obtenção do óxido de grafeno reduzido (OGR), que é passível de obtenção através de redução térmica ou química.

De acordo com Segundo et al (2016) de maneira esquemática, a obtenção do grafeno ocorre através do processo químico de oxidação do grafite, gerando o óxido de grafeno, para após este processo, o óxido de grafeno sofrer uma redução térmica ou química gerando o óxido de grafeno reduzido (OGR) que contém propriedades muito semelhantes à do grafeno puro.

Figura 2 – Morfologia do óxido de grafeno reduzido



Fonte: Carbon Explore, 2021.

2.2 A aplicação de nanomateriais na construção civil

Segundo Graeff (2012), a nanociência é uma realidade estável, principalmente porque não concebe novos materiais, mas baseia-se na sua composição fundamental. A essência da nanotecnologia é extrair adequadamente os materiais básicos com o objetivo de obter suas características especiais e inseri-los nos materiais que se constituíram no cotidiano. Os campos de aplicação desta nova visão científica ainda estão em amplo crescimento. Entre os programas promissores em engenharia civil, os materiais que ganham destaque, visto que os nanomateriais

são os precursores no desenvolvimento. A adição desses materiais a produtos metálicos, por exemplo, pode fornecer novas características além de melhorar àquelas mais abrangentes.

A nanotecnologia tornou-se recentemente um dos campos de pesquisa com maior crescimento e despertou grande interesse na comunidade científica. Entre muitas áreas de pesquisa sobre o assunto, incluem-se a nanotecnologia de polímeros. Esses polímeros modificados no nível nanométrico são comumente referidos como nanocompósitos, e suas aplicações abrangem vários campos, incluindo a indústria da construção civil (BASTOS, 2006).

Os nanocompósitos são a consequência notória da transição da escala das micropartículas para as nanopartículas que corresponde a alterações evidentes nas propriedades dos materiais. De acordo com Braga (2013), a causa para desse avanço consiste na elevada extensão explícita das partículas à nano-escala, aperfeiçoando as interligações nas superfícies entre os materiais de reforço e a raiz polimérica. Os tipos de interações físico-químicas que podem ocorrer nas áreas de contato trazem grandes consequências nas propriedades dos materiais. Ainda segundo Graeff (2012), quanto aos nanomateriais aplicados em matrizes poliméricas – nanopartículas, nanotubos e nanofibras – essas, classificam-se em função da sua geometria, difundidas em três grupos: materiais particulados, fibrosos ou em camadas.

O modo como os nanocompósitos são dispersos na matriz polimérica tem uma obrigação relevante nas propriedades resultantes dos materiais. Entretanto, essa morfologia retratada é raramente obtida, gerando a dissipação em diversos níveis. Em virtude da variedade de nanocompósitos obtidos através dos compósitos tradicionais, há diversas aplicações em nível elevado de comercialização, sendo considerável analisar os principais materiais que influenciam na composição desses nanocompósitos. Atualmente, a lista de polímeros e suas combinações é bastante extensa. As melhorias nas propriedades dos materiais resultantes são essencialmente devidas aos elementos de reforço, destacando-se o grafeno, os nanotubos de carbono, os óxidos de grafeno e os óxidos de carbono. (SOUZA, 2016)

2.3 Estudo no nanografeno como material antideteriorante

A corrosão é um dos maiores desafios enfrentados pela indústria siderúrgica. É desencadeada por fatores ambientais, como água, oxigênio e eletrólitos. (BELLUCCI, 2021, p.58)

Segundo Silva (2018), o grafeno assim como outros materiais, estão sendo utilizados como aditivos em matrizes poliméricas, adicionar o grafeno nessas matrizes, tem como objetivo gerar compósitos com algumas propriedades, entre elas, propriedades físico-químicas superiores ao polímero puro.

As tintas de fundo utilizam pigmentos anticorrosivos, que são assim chamados por possuírem propriedades de inibir ou atenuar a corrosão. (ASSIS, 2000)

A utilização de grafeno como aditivo, utilizando de suas propriedades anticorrosivas ainda é bastante baixa em relação a outros materiais que são utilizados como aditivos com a finalidade anticorrosiva. Segundo Silva (2018) a adição de nanopartículas de grafeno potencializa as propriedades anticorrosivas do nanocompósito polimérico, o grafeno nesse caso, atua como uma barreira de alta energia, que tem como finalidade impedir a difusão entre o oxigênio e a água, assim dificultando que o processo corrosivo ocorra no corpo no qual está sendo aplicado a mistura. Ainda segundo o mesmo autor, é essencial para a análise desses compósitos nanoaditivados com grafeno, o estudo das propriedades do material, ou seja, o estudo das propriedades térmicas e mecânicas, e assim realizar o estudo do comportamento anticorrosivo desses compósitos nanoaditivados com a adição do grafeno.

Segundo Bellucci (2021), estão sendo desenvolvidos diversos projetos com o tema de “Empreendedorismo e soluções de base tecnológicas na área de grafeno”, alguns desses projetos, no geral têm como objetivo o estudo do grafeno e o desenvolvimento de revestimentos à base de grafeno para minimizar a corrosão.

Além disso, como o grafeno é um material novo a ser trabalhado no Brasil, estão sendo desenvolvidos os estudos das suas propriedades anticorrosivas, quando adicionado nanopartículas de grafeno em revestimentos, visando tal finalidade de dificultar o processo corrosivo no corpo de onde se está sendo aplicado o material com a adição do nanografeno.

2.4 Tintas com adição de nanografeno

Segundo Anghinetti (2012) é possível analisar a tinta como sendo uma mistura de diversas substâncias, pigmentos, aditivos e água ou solventes, mistura essa que após ser aplicada sobre um substrato apropriado, por meio de uma reação química presente no componente volátil, torna-se uma película sólida.

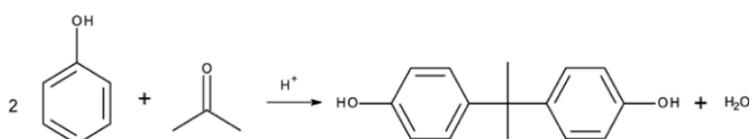
É importante ressaltar que um componente essencial para a tinta é a resina, que nas primeiras tintas produzidas eram a base natural, mas hoje em dia, utilizam-se de resinas obtidas por indústria química e petroquímica. As resinas mais utilizadas nos dias atuais são as vinílicas, acrílicas, alquídicas e epóxis (DORNBUSCH *et.al.* 2016).

Pode-se então falar sobre a tinta, por exemplo a MAZAPOXI M298 II. O epóxi é uma resina que mais possui importância na classe dos polímeros termorrígidos já utilizados. Ele apresenta multifuncionalidades e pode ser usado com adesivo, reforço mecânico, recobrimento e material de encapsulamento e é muito utilizado como material reparador em estrutura metálica e de concreto.

989

Conforme Dornbusch *et.al.* (2016) relata, as tintas epóxi podem ser produzidas através de reações entre o bisfenol A ou F, conhecidos popularmente como BPA e BPF e a epícloridrina, gerando um pré-polímero com baixa massa molecular. O produto entre os dois materiais apresenta um alto desempenho anticorrosivo como uma de suas características principais. A estrutura química do bisfenol A é representada na Figura 3.

Figura 3 – Estrutura química do bisfenol A



Fonte: Epoxy Resins – DORNBUSCH, CHRIST, RASING, 2016.

Os componentes das tintas epóxi são fornecidas de maneira separada, sendo o pré-polímero epóxi e o agente de cura e para a obtenção do produto final, é necessário realizar o processo de mistura entre os dois componentes, seguindo as instruções do fabricante. Anghinetti (2012) ressalta que o pré-polímero não possui qualquer tipo de valor comercial quando separado.

A mistura entre os dois componentes precisa ser realizada de maneira controlada procurando não haver interferência no resultado final, visto que esse segmento se dá de maneira prática pelo consumidor.

2.5 Recobrimento dos elementos metálicos com aplicação de tintas com adição de nanografeno

Segundo Silva (2018), o revestimento polimérico depositado no substrato metálico foi uma tinta epóxi, utilizada como primer epóxi bi-componente com alta espessura (400 a 500 μm) e alto teor de sólidos (96%). A composição do componente A desta tinta é baseada no bisfenol F e aproximadamente 45% de cargas inorgânicas, já o componente B é constituído pelo polímero com formaldeído 1,3 - benzenodimentanamina e fenol. Essa tinta é conhecida por possuir excelente resistência química, boa resistência à abrasão e impacto, proteção anticorrosiva, excelente dureza superficial e impermeabilidade. A aditivção do componente A da tinta foi realizada pelo CTNano, utilizando a técnica que consiste na produção de um *masterbatch* (concentrado) de grafeno em resina epóxi (DGEBA), diluindo-se 1,71g da mistura DGEBA mais o grafeno (3% m/m) com 50g da tinta, a fim de alcançar 0,1% de grafeno no componente A da tinta. Para dispersar o grafeno na tinta, foi executada a dispersão mecânica através de moinho de rolos. A resina foi escolhida por ter uma composição similar a epóxi e por se misturar completamente ao componente da tinta trabalhada. Notou-se que a coloração da tinta variou, gradativamente, em tons de cinza, comprovando a incorporação de grafeno em pequenas concentrações. A tinta foi aditivada em três concentrações de grafeno, 0,1% m/m, 0,25% m/m e 0,5% m/m.

3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Os autores trazem opiniões semelhantes em relação a utilização de nanopartículas de grafeno em uma tinta base, citando assim as suas vantagens. Silva (2018) abordou o tema, trazendo as vantagens da junção desses dois materiais, onde afirmava que a adição de nanopartículas de grafeno potencializaria as propriedades anticorrosivas do nanocompósito polimérico, que nesse caso o grafeno atuaria como uma barreira, impedindo assim a difusão

entre água e o oxigênio, e assim dificultando o processo corrosivo no corpo em que se está sendo aplicado a mistura. Já Anghinetti (2012) citou sobre os componentes da tinta, onde um componente essencial seria a resina, sendo assim as tintas contendo esse componente seria ideal para ser utilizada com a adição de nanopartículas de grafeno. Outro autor que complementou essa pesquisa foi Melo (2017), onde o mesmo abordou sobre o tipo de aço ideal para ser utilizado nos ensaios laboratoriais, o autor citou o tipo de aço ASTM A - 36, para os ensaios de névoa salina, onde o mesmo utilizou esse tipo de aço nos ensaios sem nenhum tipo de recobrimento, gerando resultados satisfatórios quanto a proteção anticorrosiva apenas do aço ASTM A-36.

Porém conforme Silva (2018) relatou em suas análises posteriormente, a adição do óxido de grafeno em uma tinta base, seguindo a taxa de 0,25% m/m de nanocompósito adicionado já surgiram as primeira reações, gerando bolhas na terceira semana de ensaio, e que com 0,5% m/m de óxido de grafeno reduzido, surgiram bolhas já na primeira semana de ensaio, gerando a exposição do substrato metálico, avançando a corrosão do corpo de prova. Tal reação conforme Silva (2018) relatou, pode ter sido comprometida pela alta dispersão das nanopartículas de grafeno, ou talvez pela natureza cerâmica da tinta epóxi escolhida, configurações que podem ter influenciado diretamente no resultado final dos testes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os autores trazem opiniões semelhantes em relação a utilização de nanopartículas de grafeno em uma tinta base, citando assim as suas vantagens. Silva (2018) abordou o tema, trazendo as vantagens da junção desses dois materiais, onde afirmava que a adição de nanopartículas de grafeno potencializaria as propriedades anticorrosivas do nanocompósito polimérico, que nesse caso o grafeno atuaria como uma barreira, impedindo assim a difusão entre água e o oxigênio, e assim dificultando o processo corrosivo no corpo em que se está sendo aplicado a mistura. Já Anghinetti (2012) citou sobre os componentes da tinta, onde um componente essencial seria a resina, sendo assim as tintas contendo esse componente seria ideal para ser utilizada com a adição de nanopartículas de grafeno. Outro autor que complementou essa pesquisa foi Melo (2017), onde o mesmo abordou sobre o tipo de aço ideal para ser utilizado

nos ensaios laboratoriais, o autor citou o tipo de aço ASTM A – 36, para os ensaios de névoa salina, onde o mesmo utilizou esse tipo de aço nos ensaios sem nenhum tipo de recobrimento, gerando resultados satisfatórios quanto a proteção anticorrosiva apenas do aço ASTM A-36.

Porém conforme Silva (2018) relatou em suas análises posteriormente, a adição do óxido de grafeno em uma tinta base, seguindo a taxa de 0,25% m/m de nanocompósito adicionado já surgiram as primeira reações, gerando bolhas na terceira semana de ensaio, e que com 0,5% m/m de óxido de grafeno reduzido, surgiram bolhas já na primeira semana de ensaio, gerando a exposição do substrato metálico, avançando a corrosão do corpo de prova. Tal reação conforme Silva (2018) relatou, pode ter sido comprometida pela alta dispersão das nanopartículas de grafeno, ou talvez pela natureza cerâmica da tinta epóxi escolhida, configurações que podem ter influenciado diretamente no resultado final dos testes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGHINETTI, Izabel Cristina Barbosa. **Tintas, suas propriedades e aplicações imobiliárias.** Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 2012.

ASSIS, S. L. **Estudo Comparativo De Ensaio Acelerado Para Simulação Da Corrosão Atmosférica.** 2000, 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

BASTOS, Ricardo Martins de Paiva. **Nanotecnologia: Uma revolução no desenvolvimento de novos produtos.** 2006, 28p. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2006.

BELLUCCI, F; VASQUEZ, H; CONTI, J. **Panorama Tecnológico Grafeno: Contexto Brasileiro e sua Demanda por Financiamento,** Rio de Janeiro, 2021.

BRAGA, M. A. C. **Subdesenvolvimento, tecnologia e direito econômico: o programa nacional de nanotecnologia e o desafio furtadiano.** 2013. Dissertação (Mestrado em Direito Econômico, Financeiro e Tributário) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

CARDOSO, S.O. **Estudo comparativo entre estrutura metálica e estrutura pré-moldada.** Disponível em :< <https://revista.uniplac.net/ojs/index.php/engcivil/article/view/1409>>. Acesso em 13 de abril de 2021

DORNBUSCH, Michael; CHRIST, Ulrich; RASING, Rob. **Epoxy resins**. Vincentz Network, 2016.

FAKURY, R.H.; CALDAS, R.B.; SILVA, A.L.R.C. **Introdução ao Aço: histórico**. Minas Gerais. Disponível em: <<https://www.sites.google.com/site/acoufmg/home/historico>>. Acesso em: 10 de outubro de 2021.

FERNANDES, L. L. **Aplicação didática da corrosão em metais, utilizando ensaio de atmosfera poluída com óxidos de nitrogênio e enxofre**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

GRAEFF, C. (org.) **Nanotecnologia, ciência e engenharia**. Cultura Acadêmica, São Paulo, 2012.

MARTINS, M. A.; TRINDADE, T. **Os nanomateriais e a descoberta de novos mundos na bancada do químico**. Química nova, v. 35, p. 1434-1446, 2012.

MELO, Gustavo. **Análise De Corrosão Superficial Por Análise De Imagem Digital Por Textura Utilizando Câmara De Névoa Salina** – Universidade Federal de Fluminense – 2017

OLIVEIRA, M; POLETO, M; SEVERO, T. C. **Rota química para produção de óxido de grafeno a partir de oxidação do grafite comercial**. Revista Interdisciplinar de Ciência Aplicada, v. 3, n. 6, p. 16-20, 2018.

993

RATNER, M. A.; RATNER, D. **Nanotechnology: A gentle introduction to the next big idea**. Prentice Hall Professional, 2003.

SEGUNDO, J. E. D.; VILAR, E. O. **Grafeno: Uma revisão sobre propriedades, mecanismos de produção e potenciais aplicações em sistemas energéticos**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 11, n. 2, p. 54-57, 2016.

SILVA, M. N. **Grafeno como Nanoaditivo em Compósitos para Proteção Anticorrosiva**. 2018, 127 f. Dissertação (Mestrado Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

SOUZA, Antônia Regina Clavijo de. **Nanocompósitos biopoliméricos com nanopartículas de óxidos de ferro obtidos por automontagem**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

ZARBIN, Aldo JG. Química de (nano) materiais. **Química nova**, v. 30, p. 1469-1479, 2007.