

UNICESUMAR – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ
PROGRAMA DE MESTRADO EM TECNOLOGIAS LIMPAS

**INCORPORAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO EM ARGAMASSA DE
REVESTIMENTO: UMA VISÃO SUSTENTÁVEL**

MARLA CORSO

MARINGÁ
2018

**UNICESUMAR – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ
PROGRAMA DE MESTRADO EM TECNOLOGIAS LIMPAS**

**INCORPORAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO EM ARGAMASSA DE
REVESTIMENTO: UMA VISÃO SUSTENTÁVEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas do Centro Universitário de Maringá (UniCesumar), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Limpas.

Linha de pesquisa: Ecoeficiência Urbana.

Orientadora: Prof. Dra. Luciana C. S. H. Rezende

Coorientadora: Prof. Dra. Natália U. Yamaguchi

MARINGÁ
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C826i Corso, Marla.
 Incorporação de óxido de grafeno em argamassas de revestimento:
 uma visão sustentável / Marla Corso. – Maringá-PR, 2018.
 63 f.: il. color. ; 30 cm.

 Orientadora: Luciana Cristina Soto Herek Rezende.
 Coorientadora: Natália Ueda Yamaguchi.
 Dissertação (mestrado) – UNICESUMAR - Centro Universitário de
 Maringá, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas, 2018.

 1. Construção civil. 2. Nanomateriais. 3. Propriedades mecânicas. I.
 Título.

MARLA CORSO

Incorporação de óxido de grafeno em argamassa de revestimento: uma visão sustentável

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas do Centro Universitário de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Limpas pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Thiago Melanda Mendes
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Londrina (1º membro)

Prof^a. Dr. José Eduardo Gonçalves
Centro Universitário de Maringá (2º membro)

Prof. Dr. Luciana Cristina Soto Herek Rezende
Centro Universitário de Maringá (Presidente)

Aprovado em: 18 de dezembro de 2018.

Aos meu pais, Gilberto e Marli, por todo apoio nessa caminhada.

Ao meu noivo Matheus por estar sempre ao meu lado me ajudando e me incentivando.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, pela oportunidade e por sempre me guiar e me iluminar em toda minha caminhada.

Agradecer a minha mãe, Marli, por todo apoio, orações, palavras de sabedoria e incentivo em todos os momentos da minha vida.

Agradecer ao meu pai, Gilberto, pelas mensagens diárias de motivação. Essas, foram essenciais. Além disso, agradecer por sempre tentar me mostrar o “outro lado” da arquitetura, quando eu achava que nada daria certo.

Ao meu noivo Matheus, por me ajudar com os cálculos, normas, busca por materiais e em especial por estar ao meu lado sempre me incentivando.

A prof^a Dra. Luciana Rezende, pela oportunidade e orientação ao longo desta caminhada.

Ao prof^o. Dr. José Eduardo por toda contribuição ao longo do trabalho.

Aos meus amigos do mestrado, uma turma maravilhosa, com certeza foram maravilhosos ao longo destes dois anos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas do Centro Universitário de Maringá e a todos os professores pelos ensinamentos.

Aos funcionários do laboratório SENAI e ao LMSEN, Laboratório de Materiais e sensores da UEM, pela contribuição nas análises de espectroscopia Raman, Difração de Raios X – DRX e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Agradeço imensamente a UniCesumar pela bolsa institucional.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 NANOMATERIAIS	15
3.2 NANOMATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	16
3.2.1 Grafite	18
3.2.2 Nanotubos de carbono	18
3.2.3 Óxido de Grafeno (OG)	19
3.2.4 Grafeno	21
3.2.5 Uso de aditivos em nanomateriais	23
3.4 NANOMATERIAIS NA ARGAMASSA	24
3.5 INFLUÊNCIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO MEIO AMBIENTE	25
4 REFERÊNCIAS	28
5 ARTIGO 1	36
6 NORMAS DO ARTIGO 1	56
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Representação esquemática da estrutura de nanotubos de carbono (a) nanotubo de parede simples, (b) nanotubo de parede múltipla.	18
Figura 02 - Processo de formação do óxido de grafeno.	20
Figura 03 – Estrutura química do policarboxilato	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Propriedades mecânicas de compósitos cimentícios com nanomateriais à base de carbono.....	21
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

UE	– Ultra-sonografía
NTCs	– Nanotubos de Carbono
SWCNTs	– Single Walls Carbon Nanotubes
MWCNTS	– Multiple Walls Carbon Nanotubes
mL	– Mililitro
g	– Gramas
kPa	– Kilopascal
Kn	– KiloNewton
MPa	– Mega pascal

RESUMO

A nanotecnologia tem se desenvolvido muito nos últimos anos, promovendo o surgimento de diversos materiais e produtos nas mais diversas áreas. O grafite e suas composições como óxido de grafeno e grafeno são nanomateriais de destaque, pois permitem proporcionar melhores propriedades químicas, físicas e mecânicas dos materiais. Dentre as áreas que fazem uso de nanotecnologia vem se destacando a construção civil, na qual o desenvolvimento de materiais resistentes é de grande relevância, pois necessitam de menos intervenções mecânicas e conseqüentemente minimizam a geração de resíduos no ambiente. Diante disso, este estudo avalia física, química e mecanicamente uma argamassa de revestimento com incorporação de óxido de grafeno nas proporções de 0,04% e 0,1%. A adição de óxido de grafeno provocou mínimas interferências nas propriedades físicas das argamassas contendo óxido de grafeno quando comparada à argamassa de referência, não comprometendo a argamassa final. Porém, com relação às propriedades mecânicas houve um aumento na resistência à compressão nas argamassas modificadas, quando comparadas à argamassa de referência. De acordo com as análises de superfície, a adição de óxido de grafeno em argamassas de revestimento promoveu uma interação fibra-matriz, contribuindo com a redução de patologias em matrizes cimentícias. Assim, é viável a utilização de óxido de grafeno em argamassa de revestimento.

Palavras-chaves: Construção civil; Nanomateriais; Propriedades Mecânicas.

ABSTRACT

Nanotechnology has developed a lot in the last years, promoting the emergence of diverse materials and products in the most diverse areas. Graphite and its compositions such as graphene oxide and graphene are prominent nanomaterials, since they allow to provide better chemical, physical and mechanical properties of the materials. Among the areas that make use of nanotechnology has been highlighting the civil construction, in which the development of resistant materials is of great relevance, since they require less mechanical interventions and consequently minimize the generation of waste in the environment. Therefore, this study evaluates physically, chemically and mechanically a coating mortar incorporating graphene oxide in proportions of 0.04% and 0.1%. The addition of graphene oxide caused minimal interference in the physical properties of mortars containing graphene oxide when compared to the reference mortar, without compromising the final mortar. However, with respect to the mechanical properties there was an increase in the compressive strength in the modified mortar, when compared to the reference mortar. According to the surface analysis, the addition of graphene oxide in coating mortar promoted a fiber-matrix interaction, contributing to the reduction of cracks in cementitious matrixes. Thus, the use of graphene oxide in coating mortar is feasible.

Keywords: Construction; Nanomaterials; Mechanical properties.

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento significativo da população mundial o número de construções e reformas tem aumentado com o decorrer dos anos, sendo o cimento um dos materiais mais utilizados no mundo atualmente, devido ao fato de ser considerado o principal aglutinante dos agregados (HU et al., 2014; BABAK et al., 2014; PARVEEN et al., 2015).

Em decorrência deste fato, há uma grande produção e utilização desse material, cerca de 71.000.000 toneladas por ano (CONSTRUÇÃO, 2019). desse material. Acredita-se que cerca de 7% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) provém da produção do cimento Portland. Cada tonelada de cimento gera aproximadamente entre 650-920 kg de CO₂ (ABDEL-GAWWAD; ABO-EL-ENEIN, 2016).

Mesmo que o cimento Portland seja muito utilizado e tenha alta resistência à compressão, os valores de resistência a tração e a flexão são baixos (LV et al., 2013; FERRO et al., 2014; SAAFI et al., 2015; WANG; HAN; LIU, 2013); sendo considerado frágil, apresentando durabilidade reduzida e conseqüentemente provocando fissuras nas estruturas e permitindo deformações (CHUAH et al., 2014; LE; DU; PANG, 2014; LI et al., 2016).

Essas deformações podem gerar patologias na construção, pois interferem nos agentes presentes no concreto como a água, CO₂ e cloreto (DU; PANG, 2015). Para a melhoria das propriedades mecânicas é necessário o desenvolvimento de técnicas e uso de materiais que permitam a fabricação de produtos mais duráveis, redução da quantidade de cimento e a conseqüente redução de emissão de CO₂ no ambiente (PATEL; RATHOD; NEERAJ, 2013; BABAK et al., 2014; SUMESH et al., 2017).

Uma das formas encontradas para diminuir o uso do cimento na construção civil é a incorporação em substituição parcial por resíduos de origem natural, como o trabalho de Cantor e Manea (2015) e Sathiparan, Rupasinghe e Pavithra (2017) entre outros. Porém, a utilização desses resíduos demonstram algumas limitações, pois quando há substituição acima de 50% ocorre a redução das propriedades mecânicas (SUMESH et al., 2017).

Com o intuito da melhoria das propriedades mecânicas, têm sido adicionados aos compósitos cimentícios o aço, vidro e carbono. Esses materiais agem como material de reforço na matriz cimentícia (HU et al., 2014; SAAFI et al., 2015; GONG et al., 2015).

Diferentes áreas da ciência vêm analisando o emprego de materiais com o intuito de obter potenciais inovadores. Na área da construção civil, a nanotecnologia merece destaque, pois proporciona a fabricação de novos materiais com melhores propriedades mecânicas (JAYAPALAN; LEE; KURTIS, 2013).

Os nanomateriais como nanotubos e nanofibras ao serem adicionados aos compósitos cimentícios, permitem melhorias nas propriedades mecânicas, como resistência a compressão, a flexão e a tração em um curto prazo, pois melhoram a interação fibra-matriz (CHUAH et al., 2014; LI et al., 2016; LI et al., 2017).

Os nanomateriais possuem um custo elevado, o que limita sua utilização em larga escala. Mas, mesmo que sejam aplicados em baixa dosagem, contribuem com aumento da durabilidade dos materiais a base de cimento (LE; DU; PANG, 2014), reduzindo a manutenção ao longo da vida útil e conseqüentemente minimizando o custo do ciclo de vida da infraestrutura.

Dentro da perspectiva da sustentabilidade, na área da construção civil, torna-se necessário substituir a construção convencional por métodos inovadores com materiais mais eficientes e menor produção de resíduos (MARHANI; JAAPAR; BARI, 2012).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Incorporar óxido de grafeno, em diferentes dosagens em argamassas de revestimento, comparando as propriedades físicas e mecânicas em relação a argamassa de referência.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sintetizar e caracterizar o óxido de grafite por meio de análises físicas, químicas e de superfície;
- Fabricar os corpos de prova das argamassas de revestimento com e sem adição de óxido de grafeno;
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas das argamassas de revestimento de referência e as modificadas;
- Realizar análises morfológicas da fratura;
- Avaliar os efeitos do óxido de grafeno na microestrutura.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A infraestrutura da construção civil, em grande parte, utiliza materiais que são constituídos por cimento, que por sua vez, acabam sofrendo degradação como abrasão, erosão, lixiviação, eflorescência, encolhimento por secagem, consequências químicas, produção de fissuras em idades iniciais e o desenvolvimento delas (PARVEEN; RANA; FANGUEIRO, 2013; AL-RUB; ASHOUR; TYSON, 2012). Desta forma, os materiais que são constituídos por cimento, são considerados quebradiços e de baixa resistência a tração e a flexão (HU et al., 2014; HAN et al., 2012).

Na busca de melhoria nas propriedades mecânicas de materiais que são constituídos por cimento, a adição de nanomateriais tem-se destacado. Os nanomateriais nos compósitos cimentícios, diminuem o problema de fissuração, tornando-o menos quebradiço e aumenta a resistência a tração e a flexão. Logo, diminui a necessidade de intervenções nas edificações, diminuindo a produção de resíduos no ambiente, colaborando com a redução do impacto ambiental, promovendo assim a sustentabilidade (JAYAPALAN; LEE; KURTIS, 2013; RHEE et al., 2015).

3.1 NANOMATERIAIS

De acordo com PATEL; RATHOD; NEERAJ, (2013), o termo “nanotecnologia” é o estudo de estruturas entre 1 nanômetro (nm) e 100 (nm) nanômetros de tamanho. Os nanomateriais são denominados de materiais com tamanho em nanoescala ou que apresentam partículas nanométricas. Estes apresentam excelente força e ótimas propriedades físicas e químicas (SUMESH et al., 2017).

A nanomodificação é considerada como a alteração da estrutura para nanoescala (menor que 100 nm). Essa nanomodificação nos compósitos cimentícios, permite o desenvolvimento de propriedades e funções aperfeiçoadas (KAWASHIMA et al., 2013).

Por apresentarem propriedades excelentes, os nanomateriais tem ganhado muita atenção em diversas áreas, em especial, na área da ciência, tecnologia dos materiais e na construção civil (HAN et al., 2017).

3.2 NANOMATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O cimento é um dos materiais mais utilizados no mundo e é essencial na infraestrutura (PEYVANDI et al., 2013; LI et al., 2015; TRAGAZIKIS et al., 2016). Para ser utilizado, ele é adicionado juntamente com a água e outros agregados, dando início ao processo de hidratação (PARVEEN; RANA; FANGUEIRO, 2013; SHARMA; KOTHIYAL, 2016).

Os produtos resultantes dessa hidratação podem gerar diferentes morfologias na microestrutura quando endurecidos. A morfologia interfere e determina as propriedades finas da matriz cimentícia. Qualquer desequilíbrio na microestrutura torna a matriz frágil, o que provoca a deterioração do cimento endurecido quando exposto as condições climáticas (SHARMA; KOTHIYAL, 2016).

Recentes estudos vêm empregando nanopartículas nos materiais tradicionais da construção civil com o intuito de aperfeiçoar os desempenhos mecânicos, desenvolver capacidades multifuncionais e desenvolver materiais de caráter ambiental (PATEL; RATHOD; NEERAJ, 2013).

Algumas das nanopartículas já incorporadas no cimento são: nano-SiO₂, nano-TiO₂, nano-Ca₂CO₃, nano-C, Nanotubos de Carbono (NTCs) e nanofibras de carbono (grafite, óxido de grafite e grafeno) (DU; PANG, 2015). Mesmo que sejam incorporadas em baixas concentrações, os resultados são desejáveis e favoráveis nos materiais da engenharia (PEYVANDI et al., 2013).

Os agregados de partículas ultrafinas quando dispersos em matriz cimentícia, promovem várias nucleações que resulta em uma pasta homogênea e com a porosidade distribuída. Além de tudo, promove a redução dos efeitos na área de transição entre a pasta e o agregado, desenvolvendo um forte vínculo na qual melhora as propriedades mecânicas em relação as matrizes sem adição de nanomateriais (JEEVANAGOUDAR et al., 2017).

A melhoria na obtenção de materiais cimentícios com a adição de nanomateriais ocorre pelo fato de os nanomateriais promoverem a produção de pontes, na qual transferem carga em tensão, colaborando com a redução de rachaduras e de vazios. Para que os resultados sejam alcançados, é necessária uma boa dispersão dos nanotubos de carbono na matriz, pelo fato de apresentarem propensão a aglomeração, podendo gerar uma dispersão não homogênea (CHUAH et al., 2014).

Segundo Parveen, Rana e Fangueiro (2013) e Parveen et al. (2015) e não é recomendado a dispersão dos CNTs direto na pasta, o ideal é a dispersão em água e depois a mistura da água com os CNTs no cimento. Quando aplicados diretamente na pasta de cimento, pode ocasionar a aglomeração dos nanomateriais. Há diversas técnicas de dispersão dos nanotubos na matriz cimentícia: ultra-sonografia; sonificação com surfactantes; polímeros; funcionalização CNT entre outras (PARVEEN et al., 2015).

Dentre as técnicas citadas, a ultra-sonografia (UE) é umas das técnicas mais utilizadas, porém dependendo da energia aplicada pode gerar a esfoliação dos aglomerados e o encurtamento dos tubos dos nanomateriais. Pode também modificar a área de contato entre os nanomateriais com a matriz cimentícia, provocando alteração na viabilidade da pasta cimentícia (ZOU et al., 2015). Ainda assim é considerado um método viável, pois a dispersão de nanotubos de carbono pode gerar resultados positivos quanto às propriedades mecânicas dos compostos de cimento (KAWASHIMA et al., 2013).

A sonificação com surfactantes solúveis em água pode gerar poros na matriz cimentícia, fazendo com que as propriedades mecânicas dos compósitos cimentícios se degradem. Recentes estudos utilizam o vapor da sílica como forma de dispersão dos CNTs, pois este pode promover melhor interação interfacial dos nanotubos com a matriz (KIM; NAM; LEE, 2014).

A adição de nanomateriais em compósitos cimentícios promove o aumento da taxa de hidratação do cimento, reduzindo o tempo de ajuste no cimento e no concreto. Desta forma, promove melhor rendimento nas usinas de materiais pré-fabricados pelo fato de reduzir o tempo de cura e tempo de desmolde e conseqüentemente reduzir o tempo final da obra. O que resulta em melhor custo econômico, durabilidade e custos ambientais, permitindo que a sustentabilidade seja alcançada (JAYAPALAN; LEE; KURTIS, 2013; SEDAGHAT et al., 2014; HAN et al., 2017).

Diferentes nanomateriais têm sido estudados como alternativas na construção civil, entre eles destacam-se formas cristalinas de carbono como o grafite (MEDINA; BARBERO-BARRERA; JOVÉ-SANDOVAL, 2018) nanotubos de carbono (HAWREEN; BOGAS; DIAS, 2018), óxido de grafeno (FARIA et al., 2017) e grafeno (TRAGAZIKIS et al., 2018).

3.2.1 Grafite

O grafite permite o ganho na parte mecânica de materiais cimentícios e contribui com a durabilidade desses materiais com um custo relativamente baixo (PEYVANDI et al., 2013). Além de contribuir com os materiais mecânicos, suas propriedades contribuem com o uso tecnológico (RANTITSCH et al., 2016).

Pelo fato de apresentar boa condutividade elétrica, o grafite tem sido muito utilizado no deslizamento de contatos elétricos (POLJANEC; KALIN; KUMAR, 2018).

3.2.2 Nanotubos de carbono

Desde a descoberta dos nanotubos de carbono em 1991, diversos estudos foram realizados para fortalecer outros. Inicialmente os nanotubos foram empregados em materiais poliméricos e atualmente o empregam em materiais à base de cimento (SIDDIQUE; MEHTA, 2014).

Os nanotubos de carbono (CNTs) são denominados como tubo unidimensional, podendo ser de paredes únicas, Single Walls Carbon Nanotubes (SWCNTs) ou de paredes múltiplas, Multiple Walls Carbon Nanotubes (MWCNTs), conforme Figura 01. Apresentam entre 1 e 3 nm (SWCNTs) e 5 a 50nm (MWCNTs) de diâmetro e 1000cm de comprimento (PAN et al., 2015). São semelhantes à folhas de grafeno únicas ou múltiplas em um tubo ou vários tubos (KIM; NAM; LEE, 2014). Possuem melhores propriedades em relação aos materiais de carbono e diversas vantagens (WANG; HAN; LIU, 2013).

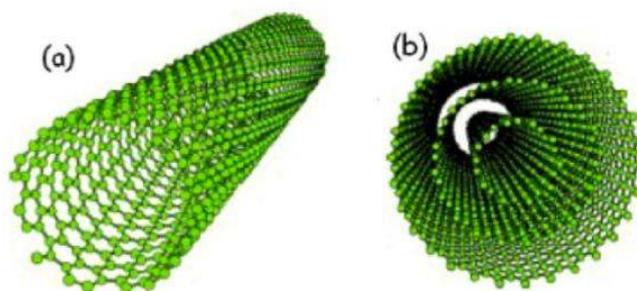


Figura 01- Representação esquemática da estrutura de nanotubos de carbono (a) nanotubo de parede simples, (b) nanotubo de parede múltipla.

Fonte: Zarbin (2007).

Possuem bom desempenho em relação a resistência a tração, cerca de 50 vezes maior que a do aço (HAN et al., 2012). Além disso, apresentam propriedades admiráveis quanto ao módulo de elasticidade, ordem de 1 TPa e proporções de aspecto de até 10.000,

propriedades químicas e eletrônicas que são consideradas próprias (SIDDIQUE; MEHTA, 2014; STYNOSKI; MONDAL; MARSH, 2015;).

Há diversas técnicas para se obter os nanotubos de carbono, entre elas: descarga, ablação a laser, térmica, plasma melhorada, deposição química de vapor (CVD) e diversos métodos atuais (PARVEEN; RANA; FANGUEIRO, 2013).

Em relação a produção, é mais fácil conseguir quantidades elevadas de MWCNTs do que SWCNTs, porém a estrutura dos nanotubos de paredes múltiplas são de menor percepção, pelo fato de ter maior complexidade e variedade. Desta forma, os MWCNTs apresentam mais defeitos, o que diminui suas propriedades até então cobçadas. Mesmo com essa perda de propriedade, os nanotubos de parede múltiplas são muito utilizados, pois são mais fáceis de serem produzidos e economicamente são mais viáveis (SIDDIQUE; MEHTA, 2014).

Os CNTs são aplicados em diversas áreas, entre elas, a área da construção civil. Diversos estudos na área concluíram que os nanotubos de carbono podem preencher os vazios que o concreto apresenta, proporcionando melhoria na microestrutura do materiais cimentícios (XU; LIU; LI, 2015). A água que penetra no concreto através desses vazios, promove rachaduras, mas com a adição dos nanotubos esse problema diminui (SIDDIQUE; MEHTA, 2014).

Alguns estudos mostraram que a adição de CNTs não promove grandes alterações nos resultados quanto a força. Isso pode ser resultado da fraca dispersão dos CNTs e fraca ligação com a matriz cimentícia, pois normalmente formam aglomerados (PAN et al., 2015). Os CNTs são dispersos em água apenas com o uso de surfactantes, pelo fato de existirem como sólidos aglomerados (PAN et al., 2015).

3.2.3 Óxido de Grafeno (OG)

O óxido de grafeno (OG) é considerado um nanomaterial em camadas, sendo diversas folhas de 1 nm de espessura de grafeno oxigenadas hidrófilas (LI et al., 2016). É obtido através da exfoliação química do grafite, ou seja, é uma forma oxidada de grafite, sendo o pioneiro na produção de materiais à base de grafite em baixa escala e com custo baixo (PAN et al., 2015; SAAFI et al., 2015; SHARMA; KOTHIYAL, 2016). Pode-se verificar o processo de oxidação e exfoliação para a formação do óxido de grafeno na Figura 02.

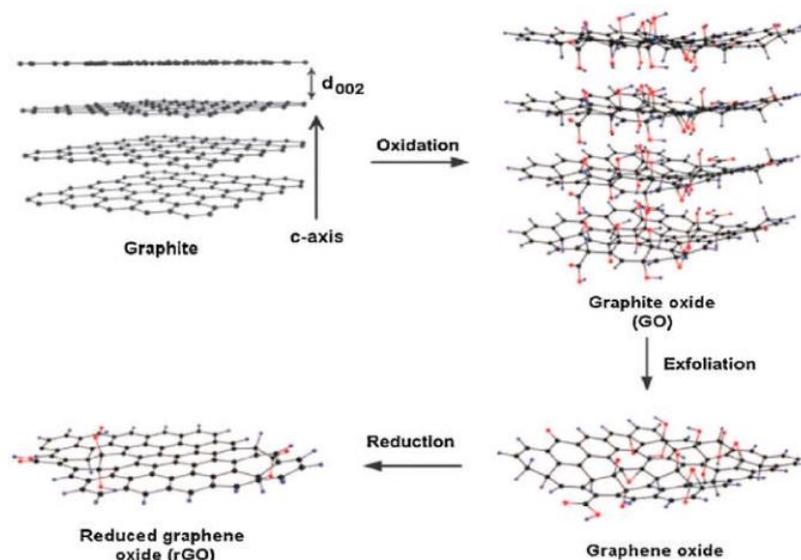


Fig. 1. Illustration on the preparation of reduced graphene oxide.

Figura 02 - Processo de formação do óxido de grafeno.

Fonte: Fakhri et al. (2014).

Apresenta boa dispersão em água pelo fato de apresentar grande concentração de grupos funcionais que contém oxigênio, como hidroxil, epóxi, carbóxil e carbonil. Além disso, apresenta um alto módulo de Young (210 a 470 GPa) e alta superfície específica (1500 - 1700m² / g), por isso é considerada um excelente reforço, e é até mesmo considerado um aditivo, de compósitos cimentícios (CHUAH et al., 2014; SAAFI et al., 2015; PAN et al., 2015; ZHOU et al., 2017; GHAZIZADEH et al., 2018).

Alguns estudos mostram que a adição de OG em compósitos cimentícios promovem uma melhoria na resistência a compressão, à flexão e à tração (GHAZIZADEH et al., 2018). A utilização de baixas quantidades de OG, como 0,05% em peso do cimento, chega a aumentar a resistência a compressão entre 15 e 33% e a resistência à flexão cerca de 41 a 59% em relação a materiais sem a adição de óxido de grafeno (CHUAH et al., 2014). Porém, gera uma redução na trabalhabilidade dos compósitos, pelo fato de ter grande área de superfície, na qual diminui a água na mistura fresca (PAN et al., 2015).

Saafi et al. (2014) realizaram estudos quanto a condutividade elétrica de compósitos com adição de OG. Os autores verificaram que a condutividade aumentou conforme se aumentava o teor de OG. Os resultados obtidos foram um aumento de 96% e 209% na condutividade ao adicionar 0,1% e 0,35% na devida ordem. Notou-se que isso ocorre pelo fato da formação de redes condutoras de OG no interior dos compósitos.

Além disso, Lv et al. (2013) verificou que o óxido de grafeno implica no endurecimento dos compósitos cimentícios.

Segundo Faria et al. (2017) recentes trabalhos verificaram que pequenas quantidades de nanomateriais a base de carbono em compósitos cimentícios resultam em melhoria nas propriedades mecânicas, conforme Tabela 01.

Os melhores resultados de argamassa com adição de óxido de grafeno são com baixas dosagens de OG, entre 0,03% a 0,05% (FARIA et al., 2017). Ghazizadeh et al. (2018) verificou que o melhor desempenho da argamassa modificada com adição de OG foi em baixo teor, como por exemplo 0,04%.

Tabela 01 - Propriedades mecânicas de compósitos cimentícios com nanomateriais à base de carbono.

Matriz	Nanomaterial (ac%)	Método de dispersão	Resultados (comparados com um compósito de referência)
Pasta cimentícia	MWCNT (0,15/0,045)	Sonificação com ácido poliacrílico	Resistência a Flexão: 16% (com 0,15%) Resistência a Compressão: 50% (com 0,045%)
Pasta cimentícia	MWCNT (0,2/0,1)	Ultrasonificação, centrifugação e sonificação com TNW/DIS	Resistência a Flexão: 40% (com 0,2%) Resistência a Compressão: 15% (com 0,1%)
Argamassa	MWCNT (0,5)	Sonificação com carboxilato e ácido nítrico e sulfúrico	Resistência a Flexão: 25% Resistência a Compressão: 19%
Argamassa	CNF (0,2)	Sonificação	Resistência a Flexão: 11% Resistência a Compressão: 10%
Pasta cimentícia	OG (0,04/0,06)	Sonificação	Resistência a Flexão: 67% (com 0,04%) Resistência a Compressão: 59% (com 0,06%)
Pasta cimentícia	OG (0,08)	Sonificação com sílica e centrifugação	Resistência a Flexão: 30% Resistência a Compressão: 12%
Pasta cimentícia	OG (0,05)	Ultrasonificação	Resistência a Compressão: 19%
Argamassa	OG (0,05)	Já disperso	Resistência a Flexão: 71% Resistência a Compressão: 24%
Argamassa	OG (0,4)	Sonificação e deposição eletroforética	Resistência a Flexão: 6% Resistência a Compressão: 5%
Argamassa	OG (0,03)	Ultrasonificação	Resistência a Flexão: 78,6%
Argamassa	OG (2,0)	Ultrasonificação	Resistência a Flexão: 24%

Fonte: Faria et al. (2017). Adaptada pela autora.

Desta forma, nota-se que o óxido de grafeno é largamente investigado e tem um futuro promissor quando incorporado no cimento Portland (HORSZCZARUK et al., 2015; FAVARA; GAMLIN, 2017).

3.2.4 Grafeno

Em 1947 o físico Philip R. Wallace iniciou um estudo teórico sobre o grafeno, sendo considerado o início da compreensão da estrutura do grafite. Os químicos Hanns-Peter Boehm, Ralph Setton, e Eberhard Stumpp em 1986 introduziram o termo grafeno,

sendo esse a combinação da palavra grafite, aludindo ao carbono cristalino ordenado, e o sufixo -eno, aludindo ao policíclicos aromáticos dos átomos de carbono ordenados em forma hexagonal (KATSNELSON, 2016).

As propriedades do grafeno foram descobertas em 2004 na Inglaterra na Universidade de Manchester. Mais tarde, em 2010, dois pesquisadores Andre Geim e Konstantin Novoselov ganharam o prêmio Nobel de Física por terem realizado experimentos considerados inovadores com o grafeno e terem alcançado um material mais forte que o diamante, sendo um excelente condutor e ao misturá-lo com o plástico, esse pode se tornar superflexível (GEIM; NOVOSELOV, 2017).

O grafeno é o resultado do carbono com ligação sp^2 , ou seja, é um átomo bidimensional que apresenta um padrão hexagonal regular (PAN et al., 2015; GONG et al., 2015). As nanoplacas de grafeno esfoliadas (xGnPs) apresentam espessura menor que 5 nm e com a sintetização podem ser obtidas com dimensões laterais <1 a 100 μm (RHEE et al., 2015).

Em relação aos nanotubos de carbono, o grafeno apresenta alguns benefícios, como maior área de superfície e íntegra relação mecânica com a matriz. No entanto, o grafeno não apresenta uma boa dispersão em líquidos, pelo fato de ter alta energia superficial, o que resulta na aglomeração e conseqüentemente na diminuição dos seus efeitos (SAAFI et al., 2015).

O grafeno apresenta complexidade no processo de disposição química na fase vapor (CVD), pois necessita de altas temperaturas para ser obtido, cerca de 1500°C , e ao ser obtido por esfoliação ou redução química de OGs, exige o uso de químicos tóxicos e agentes complexos para o processamento (RHEE et al., 2015).

Segundo Rhee et al. (2015) e Rhee et al. (2016), por ser um material com custo elevado, há estudos que buscam a utilização de recursos considerados abundantes para se obter o grafeno. Pode-se citar a utilização de açúcar, quitosana e entre outros produtos que são considerados “precursores verdes” (BRITO et al., 2011).

O uso de nanomateriais em compostos cimentícios esbarram na dificuldade de dispersão, no entanto o acréscimo de aditivos tem sido utilizado com sucesso a fim de reverter o problema.

3.2.5 Uso de aditivos em nanomateriais

A adição de nanomateriais em compósitos cimentícios provoca a redução da fluidez, pois como apresenta grande área superficial, exige mais água, provocando a redução de água livre (HAN et al., 2017).

Desta forma, para alcançar resultados significativos com a incorporação dos nanomateriais em compósitos cimentícios, há a necessidade da obtenção de uma dispersão homogênea dos mesmos na matriz cerâmica, sendo esta obtida com o uso de aditivos.

Os aditivos são muito utilizados na dispersão dos nanomateriais em matriz cimentícia. Há diversos aditivos que podem ser utilizados. COLLINS, et al. (2012) constatou que aditivos como incorporadores de ar, a base de policarboxilato e lignosulfato apresentam melhores resultados na dispersão dos nanomateriais. A matriz cimentícia com o aditivo superplastificante a base de policarboxilato apresentou melhor desempenho em relação à fluidez e resistência à compressão. Desta forma, torna-se ideal a adição de aditivos superplastificantes nas pastas de cimento (CHUAH et al., 2014).

Com o desenvolvimento científico e tecnológico da química, a produção de superplastificantes com maior potencial vem ganhando destaque. Os superplastificantes, também denominados redutores de água, permitem o aumento da plasticidade da pasta cimentícia mesmo que a quantidade de água seja reduzida (FERREIRA; JALALI, 2002).

O policarboxilato $(\text{COOH})_n$ é um aditivo superplastificante que tem como objetivo reduzir o consumo de água na pasta de cimento, fazendo com que não haja perda da fluidez (LV et al., 2013). As unidades de carboxilato, conforme Figura 03, presente nesse aditivo colaboram com repulsões eletrostáticas entre o cimento, areia e outros materiais adicionados, melhorando a funcionalidade da pasta (SHARMA; KOTHIYAL, 2016).

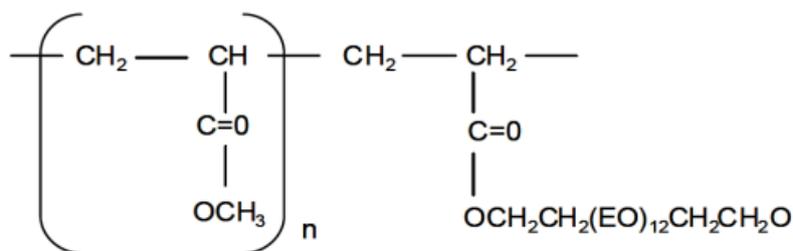


Figura 03 – Estrutura química do policarboxilato.

Fonte: Ramachandram (1998).

Os aditivos a base de policarboxilato $(\text{COOH})_n$ são considerados um dos melhores surfactantes para a dispersão de nanomateriais na matriz cimentícia (PARVEEN; RANA; FANGUEIRO, 2013; BABAK et al., 2014; ZHOU et al., 2017).

Para que se tenha um bom resultado na dispersão de nanotubos de carbono e trabalhabilidade, a quantidade ideal de adição de aditivo superplastificante com base em policarboxilato é de aproximadamente 0,40% em relação ao peso do cimento em pó, porém há a utilização em quantidades superiores. O policarboxilato é um dos melhores aditivos para que a trabalhabilidade da pasta cimentícia seja preservada (CHUAH et al., 2014).

Diversos autores utilizaram o superplastificante com base em naftaleno como Le, Du e Pang (2014), Du e Pang (2015), porém outros utilizaram o superplastificante com base em policarboxilato, como Al-rub, Ashour e Tyson (2012), Saafi et al. (2013), Lv et al. (2013), Kawashima et al. (2013), Peyvandi et al. (2013), Chuah et al. (2014), Babak et al. (2014), Li et al. (2015), Cui et al. (2015), Sharma e Kothiyal (2016), Tragazikis et al. (2016), Han et al. (2017) e Zhou et al. (2017), obtendo resultados superiores aos demais aditivos utilizados.

3.4 NANOMATERIAIS NA ARGAMASSA

A alvenaria apresenta como materiais principais o tijolo e a argamassa, na qual os tijolos são considerados blocos rígidos e a argamassa atua como interface, possuindo grande influência sobre a rigidez da alvenaria (HAACH; CARRAZEDO; OLIVEIRA, 2017).

Usualmente, a argamassa é constituída por cimento, agregado fino, água e podem ser adicionados aditivos inorgânicos (RHEE et al., 2015). Dentre os aditivos inorgânicos, a cal influencia diretamente nas propriedades mecânicas. Isso ocorre pelo fato de que o cimento e a cal apresentam diferentes formas de hidratação e carbonatação (HAACH; CARRAZEDO; OLIVEIRA, 2017).

Segundo o experimento de Haach, Carrazedo e Oliveira (2017) quanto maior a quantidade de cal, menor será a resistência obtida; e quando este teor é diminuído, diminui-se também a deformabilidade. Em relação a condutividade elétrica da argamassa, a variação ocorre de acordo com o teor de umidade, este colabora com a mobilidade da solução dissolvida de íons (LE; DU; PANG, 2014).

A inserção dos nanomateriais na matriz cimentícia é de grande relevância, pois permitem o desenvolvimento de materiais com alto desempenho, sendo considerados materiais “inteligentes” e multifuncionais (SCHMIDT et al., 2013).

A adição de nanomateriais em argamassas e concretos provoca o preenchimento dos vazios existentes entre os grãos de cimento através das nanopartículas, denominado de efeito de enchimento. Além disso, a aceleração do processo de hidratação dos compósitos cimentícios promove maior resistência. Desta forma, há melhoria na rigidez, tração, resistência a compressão e cisalhamento nos materiais que apresentam como base o cimento (DU; PANG, 2015; SAAFI et al., 2015; SUMESH et al., 2017).

As forças de Van der Waals provocam a aglomeração dos nanomateriais, o que pode gerar efeitos negativos nos materiais compósitos (SAAFI et al., 2014; HU et al., 2014). Sendo assim é importante e desafiador a dispersão homogênea dos nanomateriais na matriz cimentícia (PARVEEN et al., 2015).

Quando bem distribuídos, os nanomateriais podem coibir o crescimento de fissuras nos materiais a base de cimento. Ou seja, os compósitos passam a ser fortalecidos com a adição de nanomateriais (HAN et al., 2017).

Pastas de cimento com a adição de nanopartículas sofrem uma diminuição no seu volume. Isto, pode estar relacionado diretamente com a energia liberada no processo de hidratação (JAYAPALAN; LEE; KURTIS, 2013).

Desta forma, pode-se dizer que o uso de nanomateriais pode auxiliar em exceder as desvantagens que ocorrem na matriz cimentícia (SHARMA; KOTHIYAL, 2016), contribuindo também para a sustentabilidade na construção civil.

3.5 INFLUÊNCIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO MEIO AMBIENTE

A sustentabilidade pode ser definida como um desenvolvimento econômico que atende as necessidades da geração atual sem comprometer a oportunidade e a capacidade das futuras gerações. A sustentabilidade está voltada para que haja continuidade da vida no planeta por meio da harmonia das questões ambientais, sociais e econômicas (MARHANI; JAAPAR; BARI, 2012; ORTEGA, 2014).

A construção civil é um considerado um setor que apresenta alto consumo dos recursos naturais e um grande gerador de resíduos sólidos, chega a ser responsável por cerca de 60% dos resíduos sólidos presentes nos centros urbanos segundo Côrtes et. al., 2011. Quando não há um plano de gestão dos resíduos sólidos, os mesmos voltam para o

meio ambiente de forma inadequada e promovendo transtornos sociais, econômicos e ambientais (ORTEGA, 2014).

Na sustentabilidade há algumas etapas, como: conservação, otimização e avaliação, tudo isso em busca de minimizar os impactos da tecnologia. Com o decorrer dos anos, a tecnologia passou a ser integrada a sustentabilidade. A utilização da tecnologia a favor do meio ambiente na construção civil, busca manter os recursos desde o projeto, criação, operação, manutenção/ restauração (FAVARA; GAMLIN, 2017).

A utilização de materiais residuais, não refinados e energia renováveis, são indicados a serem utilizados e até mesmo em substituírem materiais tradicionais, pelo fato de apresentarem menor pegada ecológica. Além disso, incluir materiais de caráter inovadores, como por exemplo os nanomateriais, pode resultar em materiais transformadores e menor produção de resíduos (FAVARA; GAMLIN, 2017).

A preocupação com o impacto ambiental gerado pelas edificações vem desde a sua fase de planejamento até a construção. Há vários selos que verificam a quantidade de recursos consumidos, emissão de carbono e resíduos gerados na obra. Para o selo não há um limite de quantidade, e sim, há alternativas aplicadas para redução de utilização de água, CO₂ e matérias primas. O crescimento da certificação de gestão ambiental e responsabilidade social, tanto de caráter nacional quanto internacional, além de promover benefícios a população, promove grande competitividade às organizações (CÔRTEZ et al., 2011).

A norma ISO 14000 está relacionada com o Sistema de Gestão Ambiental, busca proteger o meio ambiente por meio da redução da poluição do ambiente, desta forma, analisa o processo produtivo, faz o controle de insumos e matérias-primas, evitando ao máximo o desperdício dos recursos naturais. A maioria das empresas empregam a ISO 14000 pelo fato de relacionar ou atender simplesmente a legislação ambiental e proporcionar melhor visibilidade da empresa (CÔRTEZ et al., 2011).

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), é um conjunto de 17 objetivos mundiais a serem alcançados por todos os países e em todos os níveis, apresenta metas e indicadores para monitorá-los. O ODS convocou países desenvolvidos e em desenvolvimento, instituições, organizações, empresas privadas e a sociedade para agir em busca de um futuro promissor (OKADO; QUINELLI, 2016).

A questão da sustentabilidade na construção civil contribui com o ODS, pelo fato de incentivar e proporcionar cidades e consumos mais sustentáveis, diminuindo o impacto ambiental no ambiente.

A produção de materiais inovadores e mais resistentes colabora com alguns itens do ODS, como por exemplo com o 9º item “Indústria, inovação e infraestrutura”, com o 10º item “Cidades, comunidades sustentáveis”, 11º item “Tornar as cidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis”, 12º item “Assegurar padrões de produção e de consumos sustentáveis” e com o 13º item “Medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos”.

Nota-se que com a gestão ambiental nas obras, emprego de novos materiais e correta destinação dos resíduos da construção civil há melhor qualidade de vida no planeta e a conservação do meio ambiente. Além disso, a diminuição de geração de resíduos na construção civil por meio da adoção de novas tecnologias é algo inovador e de grande perspectiva no mercado e colabora com o equilíbrio do ambiente.

4 REFERÊNCIAS

ABDEL-GAWWAD, H.A.; ABO-EL-ENEIN, S.A. A novel method to produce dry geopolymer cement powder. **Hbrc Journal**, v. 12, n. 1, p.13-24, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.06.008>

AL-RUB, R. K. A.; ASHOUR, A. I.; TYSON, B. M. On the aspect ratio effect of multi-walled carbon nanotube reinforcements on the mechanical properties of cementitious nanocomposites. **Construction And Building Materials**, v. 35, n.1, p.647-655, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.086>

BABAK, F.; ABOLFAZL, H.; ALIMORAD, R.; PARVIZ, G. Preparation and Mechanical Properties of Graphene Oxide: Cement Nanocomposites. **The Scientific World Journal**, v. 2014, n.1, p.1-10, 2014. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/276323>

BRITO, G. F. et al. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6, n. 2, p.127-139, 2011.

CANTOR, D. M.; MANEA, D. L. Innovative building materials using agricultural waste. **Procedia Technology**, v. 19, n. 1, p.456-462, 2015.

CHUAH, S.; PAN, Z.; SANJAYAN, J. G.; WANG, C. M.; DUAN, W. H. Nano reinforced cement and concrete composites and new perspective from graphene oxide. **Construction And Building Materials**, v. 73, n.1, p.113-124, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.040>

COLLINS, F.; LAMBERT, J.; DUAN, W.H. The Influences of Admixtures on the Dispersion, Workability, and Strength of Carbon Nanotube–OPC Paste Mixtures. **Cement & Concrete Composites**, v. 34, p.201–207, 2012

CONSTRUÇÃO, Câmara Brasileira da Indústria da. **Consumo, Produção e Valores de Materiais de Construção**. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/materiais-de-construcao/cimento>>. Acesso em: 04 jan. 2019.

CÔRTEZ, R. G.; FRANÇA, S. L. B.; QUELHAS, O. L. G.; MOREIRA, M. M.; MEIRINO, M. J. Contribuições para a Sustentabilidade na Construção Civil. **Sistemas & Gestão**, v. 6, n. 3, p.384-397, 2011. LATEC. <http://dx.doi.org/10.7177/sg.2011.v6.n3.a10>.

CUI, H.; LIAO, W.; MI, X.; LO, T. Y.; CHEN, D. Study on functional and mechanical properties of cement mortar with graphite-modified microencapsulated phase-change materials. **Energy And Buildings**, v. 105, n.1, p.273-284, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.043>

DU, H.; PANG, S. D. Enhancement of barrier properties of cement mortar with graphene nanoplatelet. **Cement And Concrete Research**, v. 76, n.1, p.10-19, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.05.007>

FAKHRI, P.; JALEH, B.; NASROLLAHZADEH, M. Synthesis and characterization of copper nanoparticles supported on reduced graphene oxide as a highly active and recyclable catalyst for the synthesis of formamides and primary amines. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, v. 383–384, n.1, p. 17–22, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2013.10.027>

FARIA, P.; DUARTE, P.; BARBOSA, D.; FERREIRA, I. New composite of natural hydraulic lime mortar with graphene oxide. **Construction And Building Materials**, v. 156, n.1, p.1150-1157, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.072>

FAVARA, P.; GAMLIN, J. Utilization of waste materials, non-refined materials, and renewable energy in in situ remediation and their sustainability benefits. **Journal Of Environmental Management**, v. 204, n.1, p.730-737, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.097>.

FERREIRA, R. M, S.; JALALI, S. Betão autocompactável - Influência dos superplastificantes (carboxilatos modificados) na fluidez e deformabilidade das pastas ligantes. **UM**, v. 1, n.1, p. 29-44, 2002.

FERRO, G.; TULLIANI, J. M.; JAGDALE, P.; RESTUCCIA, L. New Concepts for Next Generation of High Performance Concretes. **Procedia Materials Science**, v. 3, n.1, p.1760-1766, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mspro.2014.06.284>

GEIM, A.; NOVOSELOV, K. The Nobel Prize in Physics. 2010. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2010/>. Acesso em: 10 dez. 2017.

GHAZIZADEH, S. et al. Understanding the behaviour of graphene oxide in Portland cement paste. **Cement And Concrete Research**, v.1, n.1, p.1-14, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.016>.

GONG, S. M. A. K.; PAN, Z.; KORAYEM, A. H.; QIU, L.; LI, D.; COLLINS, F.; WANG, C. M.; DUAN, W. H. Reinforcing Effects of Graphene Oxide on Portland Cement Paste. **Journal Of Materials In Civil Engineering**, v. 27, n. 2, p.40140101-40140106, 2015. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0001125](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001125)

HAACH, V. G.; CARRAZEDO, R.; OLIVEIRA, L. M. F. Resonant acoustic evaluation of mechanical properties of masonry mortars. **Construction And Building Materials**, v. 152, n.1, p.494-505, 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.032>

HAN, B.; YANG, Z.; SHI, X.; YU, X. Transport Properties of Carbon-Nanotube/Cement Composites. **Journal Of Materials Engineering And Performance**, v. 22, n. 1, p.184-189, 2012. Springer Nature.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11665-012-0228-x>

HAN, B.; ZHENG, Q.; SUN, S.; DONG, S.; ZHANG, L.; YU, X.; OU, J. Enhancing mechanisms of multi-layer graphenes to cementitious composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 101, n.1, p.143-150, 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.06.016>

HAWREEN, A.; BOGAS, J.A.; DIAS, A.P.S. On the mechanical and shrinkage behavior of cement mortars reinforced with carbon nanotubes. **Construction And Building Materials**, v. 168, n.1, p.459-470, 2018. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.146>.

HORSZCZARUK, E. et al. Nanocomposite of cement/graphene oxide – Impact on hydration kinetics and Young’s modulus. **Construction And Building Materials**, v. 78, n.1, p.234-242, 2015. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.009>.

HU, Y.; LUO, D.; LI, P.; LI, Q.; SUN, G. Fracture toughness enhancement of cement paste with multi-walled carbon nanotubes. **Construction And Building Materials**, v. 70, n.1, p.332-338, 2014. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.077>

JAYAPALAN, A. R.; LEE, B. Y.; KURTIS, K. E. Can nanotechnology be ‘green’? Comparing efficacy of nano and microparticles in cementitious materials. **Cement And Concrete Composites**, v. 36, n.1, p.16-24, 2013. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.11.002>

JEEVANAGOUDAR, Y. V.; KRISHNA, R. H.; GOWDA, R.; PREETHAM, R. P.; PRABHAKARA, R. Improved mechanical properties and piezoresistive sensitivity evaluation of MWCNTs reinforced cement mortars. **Construction And Building Materials**, v. 144, n.1, p.188-194, 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.139>

KATSNELSON, M. I. Graphene. 2017. Disponível em:
<<https://global.britannica.com/science/graphene>>. Acesso em: 08 jan. 2016.

KAWASHIMA, S.; HOU, P.; CORR, D. J.; SHAH, S. P. Modification of cement-based materials with nanoparticles. **Cement And Concrete Composites**, v. 36, n.1, p.8-15, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.06.012>

KIM, H.K.; NAM, I.W.; LEE, H.K. Enhanced effect of carbon nanotube on mechanical and electrical properties of cement composites by incorporation of silica fume. **Composite Structures**, v. 107, n.1, p.60-69, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2013.07.042>

LE, J.; DU, H.; PANG, S. D. Use of 2D Graphene Nanoplatelets (GNP) in cement composites for structural health evaluation. **Composites Part B: Engineering**, v. 67, n.1, p.555-563, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.08.005>

LI, X.; KORAYEM, A. H.; LI, C.; LIU, Y.; HE, H.; SANJAYAN, J. G.; DUAN, W. H. Incorporation of graphene oxide and silica fume into cement paste: A study of dispersion and compressive strength. **Construction And Building Materials**, v. 123, n.1, p.327-335, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.022>

LI, X.; KORAYEM, A. H.; LI, C.; LIU, Y.; HE, H.; SANJAYAN, J. G.; DUAN, W. H. Incorporation of graphene oxide and silica fume into cement paste: A study of dispersion and compressive strength. **Construction And Building Materials**, v. 123, n.1, p.327-335, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.022>

LI, X.; LIU, Y. M.; LI, W. G.; LI, C. Y.; SANJAYAN, J. G.; DUAN, W. H.; LI, Z. Effects of graphene oxide agglomerates on workability, hydration, microstructure and compressive strength of cement paste. **Construction And Building Materials**, v. 145, n.1, p.402-410, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.058>

LI, X.; WEI, W.; QIN, H.; HU, Y. H. Co-effects of graphene oxide sheets and single wall carbon nanotubes on mechanical properties of cement. **Journal Of Physics And Chemistry Of Solids**, v. 85, n.1, p.39-43, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpics.2015.04.018>

LV, S.; MA, Y.; QIU, C.; SUN, T.; LIU, J.; ZHOU, Q. Effect of graphene oxide nanosheets of microstructure and mechanical properties of cement composites. **Construction And Building Materials**, v. 49, n.1, p.121-127, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.022>

MARHANI, M. A.; JAAPAR, A.; BARI, N. A. A. Lean Construction: Towards Enhancing Sustainable Construction in Malaysia. **Procedia - Social And Behavioral Sciences**, v. 68, n.1, p.87-98, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.209>

MEDINA, N. F.; BARBERO-BARRERA, M. D. M.; JOVÉ-SANDOVAL, F.
Improvement of the mechanical and physical properties of cement pastes and mortars through the addition isostatic graphite. **Construction And Building Materials**, v. 189, n1, p.898-905, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.055>

OKADO, G. H. C.; QUINELLI, L. Megatendências mundais 2030 e os objetivos de desenvolvimento sustentável (ods): uma reflexão preliminar sobre a “nova agenda” das nações unidas. **Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v. 2, n. 2, p.109-129, 2016.

ORTEGA, S. G. Sustentabilidade na construção civil: significados, práticas e ideologia. **Organizações e Sustentabilidade**, v. 2, n. 1, p.1-26, 2014.

PAN, Z.; HE, L.; QIU, L.; KORAYEM, A. H.; LI, G.; ZHU, J. W.; COLLINS, F.; LI, D.; DUAN, W. H.; WANG, M. C. Mechanical properties and microstructure of a graphene oxide–cement composite. **Cement And Concrete Composites**, v. 58, n.1, p.140-147, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.02.001>

PARVEEN, S.; RANA, S.; FANGUEIRO, R. A Review on Nanomaterial Dispersion, Microstructure, and Mechanical Properties of Carbon Nanotube and Nanofiber Reinforced Cementitious Composites. **Journal Of Nanomaterials**, v. 2013, n.1, p.1-19, 2013. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/710175>

PARVEEN, S.; RANA, S.; FANGUEIRO, R.; PAIVA, M. C. Microstructure and mechanical properties of carbon nanotube reinforced cementitious composites developed using a novel dispersion technique. **Cement And Concrete Research**, v. 73, n.1, p.215-227, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.03.006>

PEYVANDI, A.; SOROUSHIAN, P.; ABDOL, N.; BALACHANDRA, A.M. Surface-modified graphite nanomaterials for improved reinforcement efficiency in cementitious paste. **Carbon**, v. 63, N.1, p.175-186, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2013.06.069>

POLJANEC, D.; KALIN, M.; KUMAR, L. Influence of contact parameters on the tribological behaviour of various graphite/graphite sliding electrical contacts. **Wear**, v. 406-407, n.1, p.75-83, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2018.03.022>.

RAMACHANDRAM, V.S. **Concrete admixture handbook: properties science and technology**. Noyes Publication, 1998, p. 410-517.

RANTITSCH, G.; LAMMERER, W.; FISSLTHALER, E.; MITSCHKE, S.; KALTENBOCK, H. On the discrimination of semi-graphite and graphite by Raman spectroscopy. **International Journal Of Coal Geology**, v. 159, n.1, p.48-56, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2016.04.001>

RHEE, I.; KIM, Y. A.; SHIN, G.O.; KIM, J. H.; MURAMATSU, H. Compressive strength sensitivity of cement mortar using rice husk-derived graphene with a high specific surface area. **Construction And Building Materials**, v. 96, n.1, p.189-197, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.016>

RHEE, I.; LEE, J. S.; KIM, Y. A.; KIM, J. H.; KIM, J. H. Electrically conductive cement mortar: Incorporating rice husk-derived high-surface-area graphene. **Construction And Building Materials**, v. 125, n.1, p.632-642, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.089>

S., P. A.; A., R. H.; D., N. S.. An Overview on Application of Nanotechnology in Construction Industry. **International Journal Of Innovative Research In Science, Engineering And Technology**, v. 2, n. 11, p.6094-6098, 2013.

SAAFI, M.; ANDREW, K.; TANG, P. L.; GHON, D. M.; TAYLOR, S.; RAHMAN, M.; YANG, S.; ZHOU, X. Multifunctional properties of carbon nanotube/fly ash geopolymeric nanocomposites. **Construction And Building Materials**, v. 49, n.1, p.46-55, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.007>

SAAFI, M.; TANG, L.; FUNG, J.; RAHMAN, M.; LIGGAT, J. Enhanced properties of graphene/fly ash geopolymeric composite cement. **Cement And Concrete Research**, v. 67, n.1, p.292-299, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.08.011>

SAAFI, M.; TANG, L.; FUNG, J.; RAHMAN, M.; SILLARS, F.; LIGGAT, J.; ZHOUS, X. Graphene/fly ash geopolymeric composites as self-sensing structural materials. **Smart Materials And Structures**, v. 23, n. 6, p.1-10, 2014. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/0964-1726/23/6/065006>

SATHIPARAN, N.; RUPASINGHE, M. N.; PAVITHRA, B. H.M. Performance of coconut coir reinforced hydraulic cement mortar for surface plastering application. **Construction And Building Materials**, v. 142, n.1, p.23-30, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.058>.

SCHMIDT, M.; BRAUN, K. Amrhein, T.; KAMARUDDIN, C. Glotzbach, S.; TANZER, R. Nanotechnological improvement of structural materials – Impact on material performance and structural design. **Cement And Concrete Composites**, v. 36, n.1, p.3-7, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.11.003>

SEDAGHAT, A.; RAM, M. K.; ZAYED, A.; KAMAL, R.; SHANAHAN, N. Investigation of Physical Properties of Graphene-Cement Composite for Structural Applications. **Open Journal Of Composite Materials**, v. 04, n. 1, p.12-21, 2014. Scientific Research Publishing, Inc. <http://dx.doi.org/10.4236/ojcm.2014.41002>

SHARMA, S.; KOTHIYAL, N.C. Comparative effects of pristine and ball-milled graphene oxide on physico-chemical characteristics of cement mortar nanocomposites. **Construction And Building Materials**, v. 115, n.1, p.256-268, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.019>

SIDDIQUE, R.; MEHTA, A. Effect of carbon nanotubes on properties of cement mortars. **Construction And Building Materials**, v. 50, n.1, p.116-129, 2014. Elsevier BV.

STYNOSKI, P.; MONDAL, P.; MARSH, C. Effects of silica additives on fracture properties of carbon nanotube and carbon fiber reinforced Portland cement mortar. **Cement And Concrete Composites**, v. 55, n.1, p.232-240, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.08.005>

SUMESH, M.; ALENGARAM, U. J.; JUMAAT, M. Z.; MO, K. H.; ALNAHHAL, M. F. Incorporation of nano-materials in cement composite and geopolymer based paste and mortar – A review. **Construction And Building Materials**, v. 148, n.1, p.62-84, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.206>

TRAGAZIKIS, I. K.; DASSIOS, K. G.; EXARCHOS, D. A.; DALLA, P. T.; MATIKAS, T. E. Acoustic emission investigation of the mechanical performance of carbon nanotube-modified cement-based mortars. **Construction And Building Materials**, v. 122, n.1, p.518-524, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.095>

TRAGAZIKIS, I. K.; DASSIOS, K. G.; DALLA, P. T.; EXARCHOS, D. A.; MATIKAS, T. E. Acoustic emission investigation of the effect of graphene on the fracture behavior of cement mortars. **Engineering Fracture Mechanics**, v.1, n.1, p.1-8, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfracmech.2018.01.004>

WANG, B.; HAN, Y.; LIU, S. Effect of highly dispersed carbon nanotubes on the flexural toughness of cement-based composites. **Construction And Building Materials**, v. 46, n.1, p.8-12, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.014>

XU, S.; LIU, J.; LI, Q. Mechanical properties and microstructure of multi-walled carbon nanotube-reinforced cement paste. **Construction And Building Materials**, v. 76, n.1, p.16-23, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.049>

ZARBIN, A. J. G. Química de (nano)materiais. **Química Nova**, vol. 30, n. 6, p. 1473, 2007.

ZHOU, C.; LI, F.; HU, J.; REN, M.; WEI, J. YU, Q. Y. Enhanced mechanical properties of cement paste by hybrid graphene oxide/carbon nanotubes. **Construction And Building Materials**, v. 134, n.1, p.336-345, 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.147>

ZOU, B.; CHEN, S. J.; KORAYEM, A. H.; COLLINS, F.; WANG, C.M.; DUAN, W. H. Effect of ultrasonication energy on engineering properties of carbon nanotube reinforced cement pastes. **Carbon**, v. 85, n.1, p.212-220, 2015. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2014.12.094>

5 ARTIGO 1

Incorporação de óxido de grafeno em argamassa de revestimento: uma visão sustentável

Incorporation of graphene oxide in coating mortar: a sustainable view

RESUMO

A nanotecnologia tem se desenvolvido muito nos últimos anos, promovendo o surgimento de diversos materiais em diversas áreas. O grafite e suas composições como óxido de grafeno e grafeno são nanomateriais de destaque, pois proporcionam melhores propriedades químicas, físicas e mecânicas dos materiais. Dentre as áreas que fazem uso de nanotecnologia destaca-se a construção civil, na qual o desenvolvimento de materiais resistentes é de grande relevância, pois necessitam de menos intervenções mecânicas e conseqüentemente minimizam a geração de resíduos no ambiente. Diante disso, este estudo avalia física, química e mecanicamente uma argamassa de revestimento com incorporação de óxido de grafeno nas proporções de 0,04% e 0,1%. A adição de óxido de grafeno provocou mínimas interferências nas propriedades físicas das argamassas contendo óxido de grafeno quando comparada à argamassa de referência, não comprometendo a argamassa final. Porém, com relação às propriedades mecânicas houve um aumento na resistência à compressão nas argamassas modificadas, quando comparadas à argamassa de referência. De acordo com as análises de superfície, a adição de óxido de grafeno em argamassas de revestimento promoveu uma interação fibra-matriz, contribuindo com a redução de patologias em matrizes cimentícias. Assim, é viável a utilização de óxido de grafeno em argamassa de revestimento.

Palavras-chaves: Construção civil; Nanomateriais; Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

Nanotechnology has developed a lot in the last years, promoting the emergence of diverse materials in the most diverse areas. Graphite and its compositions such as graphene oxide and graphene are prominent nanomaterials, since they provide better chemical, physical and mechanical properties of the materials. Among the areas that make use of

nanotechnology stands out the civil construction, in which the development of resistant materials is of great relevance, since they require less mechanical interventions and consequently minimize the generation of waste in the environment. Therefore, this study evaluates physically, chemically and mechanically a coating mortar incorporating graphene oxide in proportions of 0.04% and 0.1%. The addition of graphene oxide caused minimal interference in the physical properties of mortars containing graphene oxide when compared to the reference mortar, without compromising the final mortar. However, with respect to the mechanical properties there was an increase in the compressive strength in the modified mortar, when compared to the reference mortar. According to the surface analysis, the addition of graphene oxide in coating mortar promoted a fiber-matrix interaction, contributing to the reduction of cracks in cementitious matrixes. Thus, the use of graphene oxide in coating mortar is feasible.

Keywords: Construction; Nanomaterials; Mechanical Properties.

INTRODUÇÃO

Com o aumento significativo da população mundial, o número de construções e reformas tem aumentado com o decorrer dos anos, com isso o cimento destaca-se pela utilização de grande escala, pois é considerado o principal aglutinante dos agregados. É considerado o material de construção mais utilizado no mundo (BABAK et al., 2014; PARVEEN et al., 2015, TRAGAZIKIS et al., 2018).

Em decorrência deste fato, há uma grande produção e utilização desse material, cerca de 71.000.000 toneladas por ano (CONSTRUÇÃO, 2019). Acredita-se que cerca de 7% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) provém da produção do cimento Portland. Cada tonelada de cimento gera aproximadamente entre 650-920 kg de CO₂ (ABDEL-GAWWAD; ABO-EL-ENEIN, 2016).

Mesmo que o cimento Portland seja muito utilizado e tenha alta resistência à compressão, os valores de resistência a tração e a flexão são baixos (FERRO et al., 2014; RHEE et al., 2015; SAAFI et al., 2015) sendo considerado frágil, apresentando durabilidade reduzida e conseqüentemente provocando fissuras nas estruturas e permitindo deformações (LE; DU; PANG, 2014; CHUAH et al., 2014; LI et al., 2016).

Essas deformações podem gerar patologias na construção, pois interferem nos agentes presentes no concreto como a água, CO₂ e cloreto (DU; PANG, 2015). Para a melhoria das propriedades mecânicas é necessário o desenvolvimento de técnicas e uso

de materiais que permitem a fabricação de produtos mais duráveis, redução da quantidade de cimento e a consequente redução de emissão de CO₂ no ambiente (BABAK et al., 2014; RHEE et al., 2015; SUMESH et al., 2017).

Uma das formas encontradas para diminuir o uso do cimento na construção civil é a incorporação em substituição parcial por resíduos de origem natural, como o trabalho de Cantor e Manea (2015) e Sathiparan, Rupasinghe e Pavithra (2017) entre outros. Porém, a utilização desses resíduos demonstram algumas limitações, pois quando há substituição acima de 50% ocorre a redução das propriedades mecânicas (SUMESH et al., 2017).

Com o intuito da melhoria das propriedades mecânicas, têm sido adicionados aos compósitos cimentícios o aço, o vidro e o carbono. Esses materiais agem como material de reforço na matriz cimentícia (HU et al., 2014; SAAFI et al., 2015; GONG et al., 2015).

Diferentes áreas da ciência vêm analisando o emprego de materiais com o intuito de obter potenciais inovadores. Na área da construção civil, a nanotecnologia merece destaque, pois proporciona a fabricação de materiais com melhores propriedades mecânicas (DU; PANG, 2015; SILVA et al., 2017).

Os nanomateriais como nanotubos e nanofibras ao serem adicionados aos compósitos cimentícios, permitem melhorias nas propriedades mecânicas, como resistência a compressão, a flexão e a tração em um curto prazo, pois melhoram a interação fibra-matriz (CHUAH et al., 2014; LI et al., 2016; LI et al., 2017).

Os nanomateriais possuem um custo elevado, o que limita sua utilização em larga escala. Mas, mesmo que sejam aplicados em baixa dosagem, contribuem com aumento da durabilidade dos materiais a base de cimento (LE; DU; PANG, 2014), reduzindo a manutenção ao longo da vida útil e consequentemente minimizando o custo do ciclo de vida da infraestrutura.

A introdução de nanomateriais na indústria da construção civil auxilia na redução dos impactos das atividades industriais sobre o meio ambiente, pois promovem estruturas com maior durabilidade, reduzindo a manutenção ao longo da vida útil e consequentemente minimizando o custo do ciclo de vida da infraestrutura.

Assim, este trabalho teve por objetivo a incorporação de óxido de grafeno, em argamassa de revestimento, visando melhores resultados mecânicos, com o intuito de reduzir as patologias na construção civil, e consequentemente diminuir a necessidade de intervenções nas edificações e a quantidade de resíduos no ambiente.

METODOLOGIA

Obtenção e caracterização dos materiais

Óxido de Grafeno

O óxido de grafite foi preparado de acordo com Hummers (1958), modificada por Yang et. al., (2013). Misturou-se 1 g de grafite em pó (Sigma-Aldrich 99,9% de pureza) com 60 g de cloreto de sódio em um béquer. A mistura foi macerada em um almofariz até completa homogeneização. Transferiu-se o material para um béquer e adicionou-se 1 L de água deionizada. Filtrou-se o cloreto de sódio dissociado na água por meio de filtração a vácuo. Levou-se o material à estufa a 90°C e após secagem dissolveu-se o mesmo em 23 mL de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄ 98%) em agitador marca ATECMED por 8 horas. Adicionou-se 3 g de permanganato de potássio em banho termostaticado marca Tecnal com temperatura inferior a 20°C. Aumentou-se a temperatura a 40°C, sob agitação por 30 minutos e 70°C por 45 minutos. Adicionou-se 3 mL de água deionizada e aqueceu-se a mistura a 105°C por 5 minutos duas vezes. Adicionou-se mais 40 mL de água deionizada com temperatura mantida a 100°C durante 15 minutos. Finalizou-se a reação adicionando 140 mL de água deionizada e 10 mL de solução de H₂O₂ 30%. Centrifugou-se o material utilizando centrífuga da marca EVLAB, descartando o sobrenadante. Realizou-se a lavagem do sólido precipitado duas vezes com ácido clorídrico (HCl 5%) e, em seguida, três vezes com água deionizada.

Após o processo oxidativo as amostras foram exfoliadas utilizando um ultrassom de ponteira (HIELSCHER, UP400St) em modo pulsado com potência de 100W durante 30 min, para a obtenção do óxido de grafeno.

Em seguida, a amostra foi liofilizada e para isso a solução foi centrifugada (THERMO SCIENTIFIC - SORVALL LEGEND XTR) a 3000 rpm durante 40 min, o sobrenadante foi removido e o precipitado foi congelado em nitrogênio líquido e liofilizado por 24 h em liofilizador de bancada (MARTINCHRIST - Alpha 1-2 LD Plus).

Após a obtenção do óxido de grafeno, este foi caracterizado por meio das técnicas de Difração de Raios X (DRX), em equipamento Bruker D8 Advance, com fonte de radiação de Cu K α ($\lambda=0,1542$ nm), tensão de 40 kV, corrente de 30 mA, velocidade de 2 °/min e ângulo de incidência de 2θ entre 10° e 80 °; microscopia eletrônica de varredura

(MEV), equipamento QUANTA 250 da marca FEI, e espectroscopia RAMAN, com laser de 532 nm em varredura de 2 m/V utilizando equipamento Bruker, modelo Senterra.

Cimento Portland

Foi utilizado o cimento Portland de uso geral (OPC) Tipo II 32- E.

Agregado Miúdo

Como agregado miúdo utilizou-se a areia, conforme ASTM C778-13. Este foi caracterizado quanto a densidade de massa específica e densidade de massa aparente, conforme ASTM C136/C136M-14. Empregou-se o mesmo agregado para todas as misturas.

Confecção e caracterização dos corpos de prova

O traço unitário empregado nas argamassas modificadas e na argamassa de referência foi de 1:3 (cimento: areia), conforme o item X 4.2 da norma ASTM C270-14a. Utilizou-se 0,4% de superplastificante a base de policarboxilato, comercialmente disponível como Master Glenium 51®, em relação ao peso do cimento e relação água-cimento de 0,48, conforme Tabela 01.

Foram preparadas duas argamassas modificadas, a primeira com um teor de adição 0,04% do volume de cimento de óxido de grafeno, denominada de argamassa modificada A, e a segunda com um teor de 0,1% do volume de cimento de óxido de grafeno, denominada de argamassa modificada B. A mistura das argamassas foi realizada conforme a norma ASTM C305-14 e a mistura dos nanomateriais na pasta foi por dispersão mecânica, direto na mistura seca da argamassa (areia + cimento).

Tabela 01 - Tabela referente a composição da argamassa de referência e a argamassa modificada.

Tipo da argamassa	Cimento (g)	Água (g)	Areia (g)	Aditivo superplastificante (%)	Óxido de grafeno (%)	Óxido de grafeno (g)
Referência	625,0	300,0	1.875,0	0,4	0	0
Modificada A	625,0	300,0	1.875,0	0,4	0,04	0,25
Modificada B	625,0	300,0	1.875,0	0,4	0,1	0,62

Fonte: Autora (2018).

Depois de preparadas as argamassas, os corpos de provas foram moldados conforme as normativas para cada ensaio e caracterizadas de acordo com os ensaios de Índice de Consistência (ASTM C1437-15 e ASTM C230/C230M-14); Retenção de água (ASTM 1506-16b); Determinação da densidade de massa; Determinação da densidade de massa teórica sem vazios e teor de ar incorporado (ASTM C185-15a). Após 28 dias, no estado endurecido, foram realizados os testes de Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão axial (ASTM C348-14 e ASTM C349-14), em equipamento DL 30000 –EMIC, com taxa de carregamento de 50 N/s durante o teste de tração à flexão, e 500 N/s no teste de resistência à compressão; Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido (ASTM C490/C490M – 17); Coeficiente de capilaridade (ASTM C1794-15) e Determinação da resistência de aderência à tração de revestimento de paredes e pisos (NBR 13528/2010).

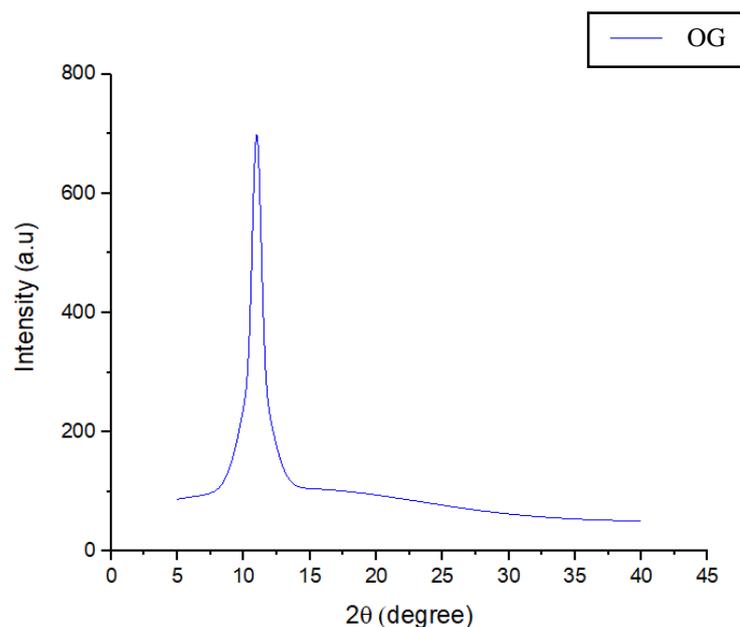
Os corpos de prova resultantes dos ensaios de compressão axial foram analisados quanto a morfologia em equipamento QUANTA 250 da marca FEI, no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa da Universidade Estadual de Maringá.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 01 apresenta a análise de DRX obtida para o óxido de grafeno. Os valores da análise de DRX, apresentam os picos do OG. Para OG é mostrado um pico de $2\theta = 10,98^\circ$ que confirma ser óxido de grafeno quando comparado com resultados obtidos de $11,98^\circ$ por e $10,59^\circ$ por Castro et al. (2018). O valor encontrado pode ser utilizado para determinar a distância interplanar que corresponde a 0,9 nm quando o pico se encontra na faixa de 10° (STOBINSKI et al., 2014).

O pico observado na análise de DRX sofre variações conforme a quantidade de KMnO_4 (permanganato de potássio) utilizado para realizar a oxidação. Com uma variação de 1 a 6 g do agente oxidante observou-se picos variando entre $2\theta = 26,15^\circ$ (1 g de KMnO_4) e $2\theta = 10,12^\circ$ (6 g de KMnO_4) para OG, sendo uma relação inversamente proporcional a quantidade de KMnO_4 utilizado. Para a amostra oxidada com 3 g de KMnO_4 , o pico de $2\theta = 11,74^\circ$ é apresentado (KRISHNAMOORTHY et al., 2013), comprovando que a oxidação foi efetiva, o que o torna um material que quando incorporado em matriz cimentícia tem por objetivo o aumento da resistência (LONG et al., 2018).

Figura 01 - Análise Difração de Raios X do óxido de grafeno.

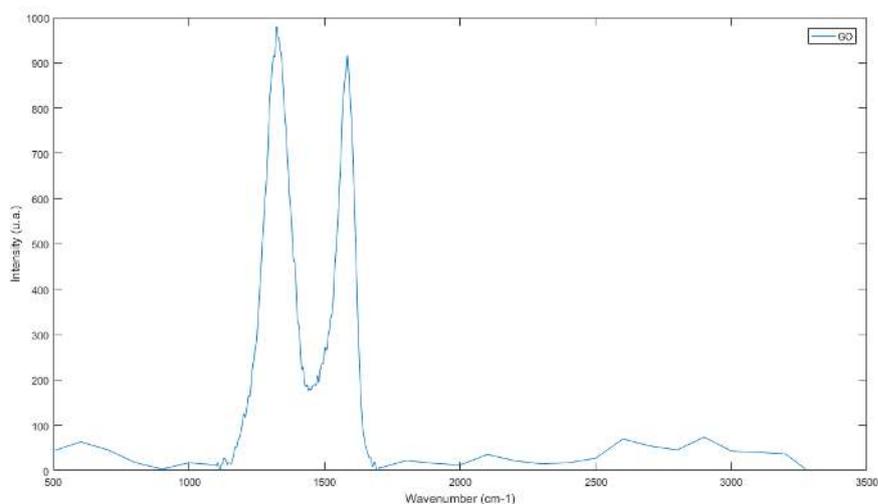


Fonte: Autora (2018).

A espectroscopia Raman, Figura 02, é uma ferramenta utilizada com o objetivo de realizar a elucidação estrutural de materiais carbônicos tais como: grafite, e diamante (KRISHNAMOORTHY et al., 2013), e pode ser utilizada também para caracterização do óxido de grafeno. O espectro do OG analisado, conforme Figura 02, possui uma banda D de maior intensidade localizada em 1323 cm^{-1} e uma banda G de menor intensidade em 1584 cm^{-1} . A razão entre as intensidades da banda D e G é de $ID/IG = 1.07$. A literatura apresenta o mesmo perfil de intensidade para cada banda e valores de deslocamento Raman de 1331 cm^{-1} para banda D, 1591 cm^{-1} para banda G e $ID/IG = 1.04$ (CASTRO et al., 2018).

A banda G está relacionada a vibração dos átomos de carbono (FARIA et al., 2017; CASTRO et al., 2018). A banda D corresponde a defeitos estruturais do material devido a oxidação. O processo de oxidação para obtenção do OG trabalha com grupos oxigenados, que causam defeitos estruturais no material, fazendo com que a intensidade da banda D aumente. Essa mudança pode ser comprovada pela diferença entre o grafite e o OG, pois a banda D tem menor intensidade que a banda G quando o grafite ainda não passou pelo processo de oxidação, com o processo a intensidade da banda D passa a ser maior que a da banda G (WANG et al., 2008).

Figura 02 – Raman do óxido de grafeno.

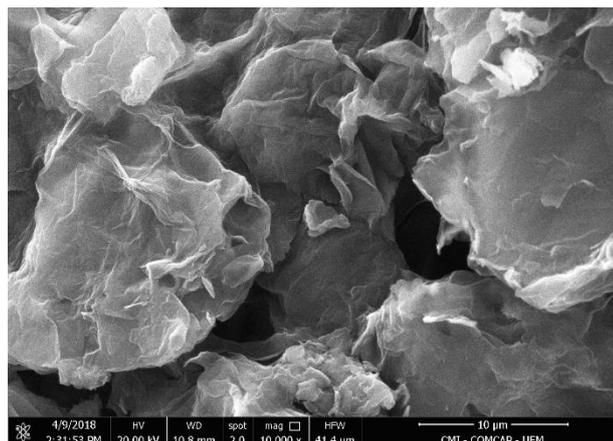


Fonte: Autora (2018).

A razão entre as intensidades das duas bandas também pode ser utilizado para identificar os defeitos na estrutura do material, quando o valor calculado é menor que um, a banda G tem maior intensidade que a banda D. Quando o valor calculado é maior que um, a banda D tem maior intensidade que a banda G, comprovando a oxidação e a presença de grupos oxigenados na estrutura (MUNIR et al., 2015; CASTRO et al., 2018), o que quando incorporado a uma matriz tem por objetivo o reforço da estrutura do material, assim como Long et al. (2018) verificaram.

A morfologia do óxido de grafeno foi analisada por MEV. Na Figura 03 é possível ver as folhas do OG e verifica-se que ocorreu a exfoliação de maneira bem sucedida, pois o material apresenta-se em finas camadas com características de filme bem distanciadas, comprovando a oxidação efetiva do material.

Figura 03 – MEV do óxido de grafeno.



Fonte: Autora, 2018.

A tabela 02 apresenta as propriedades do cimento Portland utilizado.

Tabela 02 - Características do cimento Portland.

Massa específica (g/cm³)	Massa unitária (g/cm³)	Teor de Pozolana %
3,06	1,21	6,00

Fonte: Votoran (2018). Adaptado pela autora.

De acordo com as características físicas obtidas para o agregado miúdo, conforme Tabela 03, os valores estão de acordo com o recomendado para a utilização em uma argamassa de revestimento, com uma absorção de 0,24%, índice de volume de vazios de 43,7%, Batiston (2012) encontrou valores próximos.

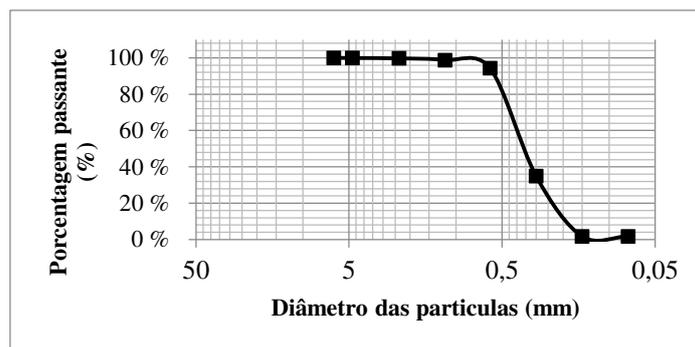
Tabela 03 - Características do agregado miúdo.

Massa específica aparente Seca (g/cm³)	Massa específica (g/cm³)	Massa específica (g/cm³)	Absorção %	Massa Unitária (g/cm³)	Índice de Volume de Vazios (%)
2631	2636	2646	0,24	1,489	43,7

Fonte: Autora (2018).

A composição granulométrica, conforme Figura 04, apresenta qual % do agregado miúdo está em uma granulometria de 9,5mm a 0,15mm, característica para a composição utilizada em argamassa de revestimento.

Figura 04 - Composição granulométrica do agregado miúdo.

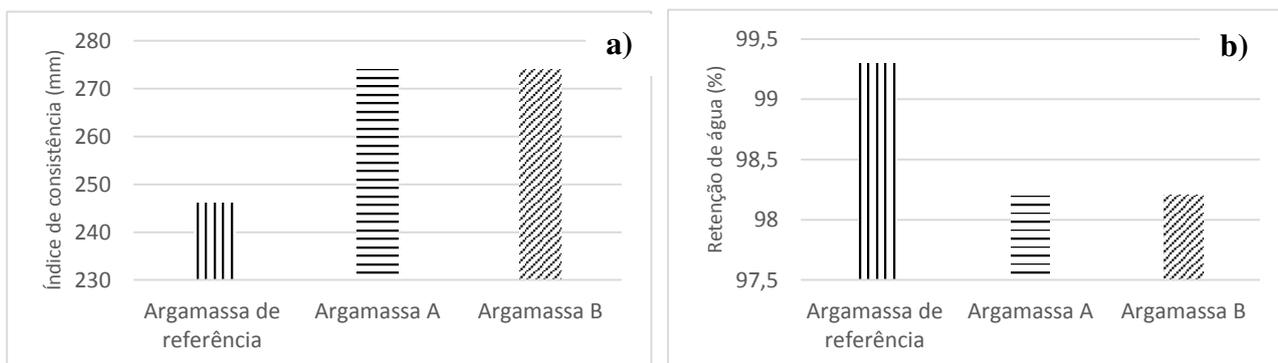


Fonte: Autora (2018).

Após realizados os testes do agregado miúdo, foram preparadas as amostras das argamassas para a realização dos testes físicos e mecânicos.

Em relação a fluidez da pasta de cimento, foi realizado o ensaio de índice de consistência na argamassa de referência, argamassa modificada A e argamassa modificada B. As argamassas modificadas tiveram um aumento na sua funcionalidade de 11,38%, conforme Figura 05 (a). Pode-se dizer que a superfície específica das nanopartículas do OG e os grupos funcionais com oxigênio, não promoveram uma absorção de água livre nos estágios iniciais da argamassa. Isso pode ter acontecido pelo fato de o óxido de grafeno ter uma elevada superfície e com a complementação da incorporação do aditivo policarboxilato, houve a entrada de água quando misturado ao óxido de grafeno, promovendo um aumento da trabalhabilidade dos materiais (BATISTON, 2012).

Figura 05 - Resultado dos ensaios: a) Índice de Consistência; b) Retenção de Água.



Fonte: Autora (2018).

Em relação do teste de retenção de água, verificou-se que as argamassas modificadas tiveram 1,10% menor retenção de água em relação a argamassa de referência, conforme Figura 05 (b).

Devido à grande superfície de área dos nanomateriais há maior necessidade de água para molhar a superfície destes materiais, desta forma, os nanomateriais podem promover uma redução do teor de água (CHUAH et al., 2014). Isto pode estar relacionado com a redução dos poros na matriz cimentícia, resultando na dificuldade de penetração da água, assim como Du e Pang (2015) também verificaram por meio da adição de nanopartículas de grafeno.

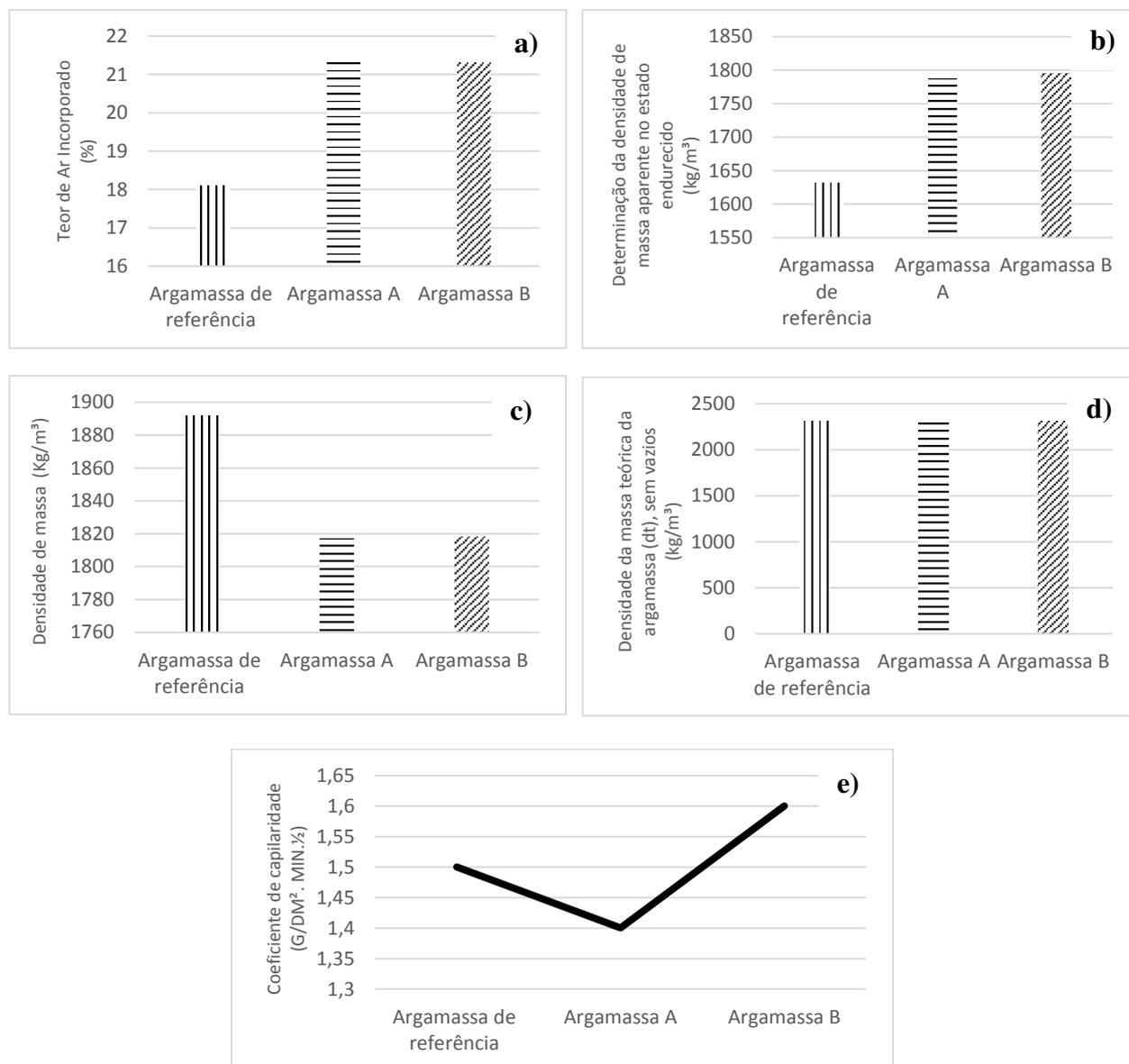
Com a redução dos poros na matriz cimentícia, pode-se dizer que a adição de OG em compósitos cimentícios promovem uma melhoria em relação a resistência à elementos agressivos, pois a conexão entre a matriz cimentícia com o óxido de grafeno permitem a criação de uma barreira e conseqüentemente a redução da penetração de agentes agressivos nos compósitos (FARIA et al, 2017).

A Figura 06 (a) e (b) apresenta os resultados obtidos para as argamassas modificadas e de referência no estado fresco. Verifica-se que não houve variação nos resultados obtidos para as argamassas de referência e modificadas em relação à densidade de massa e densidade de massa teórica. Isso mostra que as nanopartículas não interferiram nestes parâmetros.

Em relação ao teor de ar incorporado, verificou-se que houve um aumento de aproximadamente 18% tanto na argamassa A quanto na argamassa B, em relação a argamassa modificada, conforme Figura 06 (c). Nota-se que o aumento do teor de óxido de grafeno não influenciou no aumento do teor de ar incorporado. Pode-se dizer que com a adição de OG, a porosidade aberta tende a aumentar, aumentando assim o teor de ar incorporado (FARIA et.al, 2017), tornando o material mais leve e quando exposto à regiões úmidas, torna a argamassa mais resistente a penetração, reduzindo possíveis problemas patológicos.

No teste densidade de massa aparente no estado endurecido verificou-se um aumento de 9,49% e 9,98% da argamassa A e B, respectivamente, em comparação com a argamassa de referência, conforme Figura 06 (d). O resultado obtido é satisfatório, e comprova que o OG adicionado tem função de diminuir a porosidade do material.

Figura 06 - Resultado dos ensaios: a) densidade de massa; b) densidade de massa teórica da argamassa sem vazios; c) teor de ar incorporado; d) determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido e) coeficiente de capilaridade.



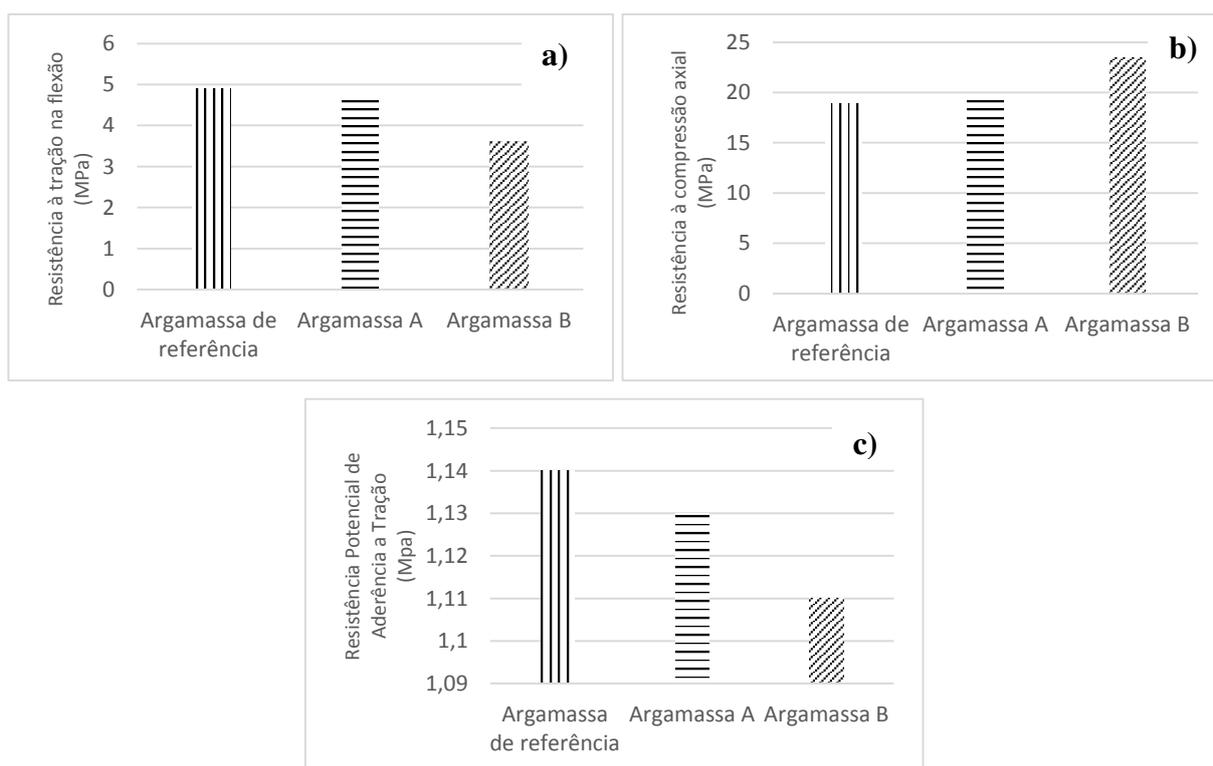
Fonte: Autora (2018).

Em relação ao coeficiente de capilaridade, notou-se que a argamassa A, obteve menor coeficiente, e a argamassa B, obteve maior coeficiente, quando comparadas com a argamassa de referência, conforme Figura 06 (e). A adição de óxido de grafeno pode ter promovido o refinamento dos poros, transformando-os de macroporos em microporos, assim como Marcondes (2012) também verificou, comprovando a efetividade da adição de OG em argamassa de revestimento. Conforme aumentou-se o teor de OG, promoveu-se o aumento de monocamadas de materiais.

Com o intuito de analisar a influência do óxido de grafeno nas propriedades mecânicas da argamassa, foram realizados os teste de tração na flexão e logo após o teste de compressão axial.

Quanto ao teste de resistência à tração na flexão, a argamassa de referência teve melhor resultado, conforme Figura 07 (a). As argamassas modificadas A e B tiveram uma redução na resistência à tração de 6,12% e 26,53%, respectivamente. Mesmo com a redução, os resultados obtidos estão dentro da normativa. Pode-se dizer que há uma tendência decrescente de resistência à flexão ou efeito insignificante da adição de óxido de grafeno em compósito cimentício (DU; PANG, 2015). No caso, a adição de OG foi decrescente, assim como Batiston (2012) e Faria et.al (2017) também verificaram. Isso pode ser explicado devido à difícil dispersão do óxido de grafeno em matriz cimentícia, pois quanto maior a quantidade adicionada, mais difícil a dispersão (BATISTON 2012).

Figura 07 – Resultado dos ensaios: a) Determinação da resistência à tração na flexão; b) Determinação da resistência à compressão axial; c) Determinação do potencial de aderência à tração.



Fonte: Autora (2018).

Com relação a resistência à compressão axial, conforme Figura 07 (b), pode-se verificar que houve um aumento conforme o aumento da quantidade de óxido de grafeno, isto indica que a adição de óxido de grafeno em argamassa tem um efeito positivo no

processo de hidratação e pode preencher os poros da matriz cimentícia, o que é comprovado pelas imagens de microscopia eletrônica de varredura, Figura 08, melhorando assim esta propriedade mecânica da argamassa. Além disso, há reações interfaciais dos grupos de ácido carboxílico de folhas OG e CSH ou $\text{Ca}(\text{OH})_2$ grupos da matriz de cimento. Essa reação cria uma ligação covalente na interface entre o OG e a matriz cimentícia, promovendo uma transferência de carga para o óxido de grafeno (SILVA et al., 2017).

Verifica-se que as argamassas modificadas tiveram melhor resultado, a argamassa A teve um aumento de 3,7% em relação a argamassa de referência enquanto a argamassa B teve um aumento de 24,3%. Este resultado contrapõe resultados de alguns pesquisadores, como Faria et.al (2017) e Ghazizadeh et al. (2018), que constataram melhores resultados de argamassa com adição de óxido de grafeno em baixas dosagens de OG, entre 0,03% a 0,05%.

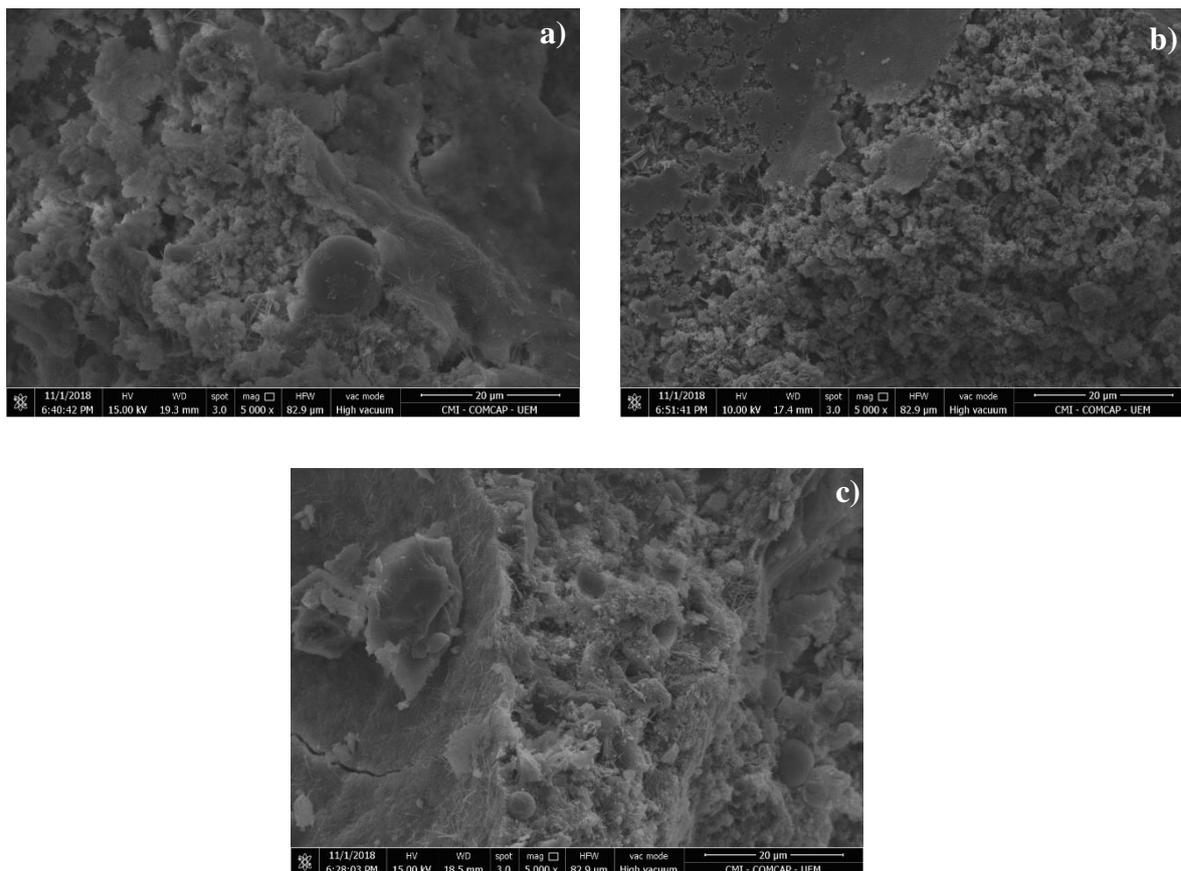
Pelas imagens de microscopia eletrônica de varredura obtidas para as argamassas de referência e argamassas A e B, observa-se que a oxidação do grafite foi efetiva, pois houve a formação de cristais devido as reações de hidratação do cimento. As Figuras 08 (a) e (c) comprovam isso. Pode-se observar o teor de fibras no material e isso é aumentado com a adição de óxido de grafeno, conforme imagens da Figura 08 (a), (b) e (c).

O rompimento dos corpos de prova aos 28 dias de cura apresentam que isto ocorreu na direção dos planos de clivagem.

A superfície apresenta aspecto regular quando compara-se a adição de óxido de grafeno à argamassa A, já na argamassa B a superfície apresenta um aspecto irregular e com aumento da quantidade de poros, isso pode ter sido causado pela má dispersão do óxido quando adicionado diretamente no cimento, diminuindo a resistência à flexão.

Além disso, outro item que pode explicar a variação encontrada entre os testes de resistência à flexão e compressão axial com a adição do óxido de grafeno, é a orientação das nanopartículas. A presença de nanopartículas verticais podem interromper a continuidade da matriz cimentícia, interferindo na transferência de tensão, podendo ocasionar microtrincas e uma baixa resistência à flexão (TRAGAZIKIS et al., 2018), o que é comum em matrizes cimentícias contendo nanomateriais, por não ser possível a orientação dessas nanopartículas.

Figura 08 -Microscopia Eletrônica de Varredura das argamassas: de referência (a), argamassa de A (b) e argamassa B (c).



Fonte: Autora (2018).

Em relação ao comportamento mecânico, além do teste de resistência à flexão e à compressão axial, realizou-se o teste de determinação do potencial de aderência à tração. Neste teste, verificou-se que a argamassa de referência obteve melhor resultado, comparado a argamassa A e B, conforme Figura 07 (c). A argamassa A teve uma redução de 0,87% e a argamassa B teve uma redução de 2,63%, em relação a argamassa de referência.

Mesmo com essa pequena redução nos resultados, as três amostras de argamassa tiveram a ruptura na argamassa, e se classificam na Classe A3, segundo a NBR 15258/2005, atendendo, portanto, os parâmetros para comercialização.

Em relação aos resultados mecânicos das argamassas modificadas, verifica-se na Tabela 04, que com um método de dispersão, como por exemplo ultrasonificação ou sonificação, pode haver uma melhoria nos resultados, em relação a incorporação direta na pasta de cimento.

Tabela 04 - Propriedades mecânicas de compósitos cimentícios com nanomateriais à base de carbono.

Matriz	Nanomaterial (ac%)	Método de dispersão	Resultados (comparados com um compósito de referência)
Pasta cimentícia	MWCNT (0,15/0,045)	Sonificação com ácido poliacrílico	Resistência a Flexão: 16% (com 0,15%) Resistência a Compressão: 50% (com 0,045%)
Pasta cimentícia	MWCNT (0,2/0,1)	Ultrasonificação, centrifugação e sonificação com TNW/DIS	Resistência a Flexão: 40% (com 0,2%) Resistência a Compressão: 15% (com 0,1%)
Argamassa	MWCNT (0,5)	Sonificação com carboxilato e ácido nítrico e sulfúrico	Resistência a Flexão: 25% Resistência a Compressão: 19%
Argamassa	CNF (0,2)	Sonificação	Resistência a Flexão: 11% Resistência a Compressão: 10%
Pasta cimentícia	OG (0,04/0,06)	Sonificação	Resistência a Flexão: 67% (com 0,04%) Resistência a Compressão: 59% (com 0,06%)
Pasta cimentícia	OG (0,08)	Sonificação com sílica e centrifugação	Resistência a Flexão: 30% Resistência a Compressão: 12%
Pasta cimentícia	OG (0,05)	Ultrasonificação	Resistência a Compressão: 19%
Argamassa	OG (0,05)	Já disperso	Resistência a Flexão: 71% Resistência a Compressão: 24%
Argamassa	OG (0,4)	Sonificação e deposição eletroforética	Resistência a Flexão: 6% Resistência a Compressão: 5%
Argamassa	OG (0,03)	Ultrasonificação	Resistência a Flexão: 78,6%
Argamassa	OG (2,0)	Ultrasonificação	Resistência a Flexão: 24%

Fonte: Faria et al. (2017). Adaptada pela autora.

Faria et.al, 2017 realizaram um estudo comparativo em diferentes proporções de óxido de grafeno, sendo que em uma amostra houve a dispersão aquosa e em outra amostra a inserção do OG foi direta nos agregados secos da argamassa. Os melhores resultados foram nas amostras com dispersão do óxido. Porém ambas as argamassas tiveram resultados favoráveis para sua utilização e aplicação na construção civil.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos é possível verificar que a adição de óxido de grafeno no teor de 0,04% e 0,1% interferiram em algumas características físicas da argamassa de revestimento, como: fluidez; densidade de massa; teor de ar incorporado; determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido; e coeficiente de capilaridade. Pelo fato de serem pequenas diferenças nos resultados, não há interferência na qualidade da argamassa final.

Quanto aos ensaios mecânicos, constatou-se que as argamassas modificadas tiveram maior influência na resistência a compressão quando comparadas com a argamassa de referência. Verificou-se que a argamassa B, com maior quantidade de óxido de grafeno, obteve melhor resultado na resistência à compressão axial. Em relação ao teste de determinação do potencial de aderência à tração, a argamassa de referência obteve

melhor resultado, porém as argamassas modificadas com óxido de grafeno também atendem as exigências da norma.

Por meio das análises no ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise da fratura, nota-se que há uma interação fibra-matriz na argamassa de revestimento com adição de OG, promovendo assim melhor comportamento físico e mecânico, podendo contribuir com a redução das fissuras que são formadas pela retração da secagem e demais patologias.

REFERÊNCIAS

ABDEL-GAWWAD, H.A.; ABO-EL-ENEIN, S.A. A novel method to produce dry geopolymer cement powder. **Hbrc Journal**, v. 12, n. 1, p.13-24, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.06.008>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C778-13**: Standard Specification for Standard Sand. United States, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C136/C136M - 14**: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. United States, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C270-14a**: Specification for Mortar for Unit Masonry. West Conshohocken, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C305-14**: Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency. United States, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1437-15**: Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. United States, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C230/C230M-14**: Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement. United States, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1506 – 16b**: Standard Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement-Based Mortars and Plasters. United States, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C185 – 15a**: Standard Test Method for Air Content of Hydraulic Cement Mortar. United States, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C348 – 14**: Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars. United States, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C349 – 14**: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure). United States, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C490/C490M – 17**: Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete. United States, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

BABAK, F.; ABOLFAZL, H.; ALIMORAD, R.; PARVIZ, G. Preparation and Mechanical Properties of Graphene Oxide: Cement Nanocomposites. **The Scientific World Journal**, v. 2014, n.1, p.1-10, 2014. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/276323>

BATISTON, E. R. **Incorporação de Nanotubos de Carbono em Matriz de Cimento Portland**. 1 v. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

CANTOR, D. M.; MANEA, D. L. Innovative building materials using agricultural waste. **Procedia Technology**, v. 19, n. 1, p.456-462, 2015.

CASTRO, V. L.; CLEMENTE, Z.; JONSSON, C.; SILVA, M.; VALLIM, J. H.; DE MEDEIROS, A. M. Z.; MARTINEZ, D. S. T. Nanoecotoxicity assessment of graphene oxide and its relationship with humic acid. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 37, n. 7, p. 1998–2012, 2018. <http://doi.wiley.com/10.1002/etc.4145>

CHUAH, S.; PAN, Z.; SANJAYAN, J. G.; WANG, C. M.; DUAN, W. H. Nano reinforced cement and concrete composites and new perspective from graphene oxide. **Construction And Building Materials**, v. 73, n.1, p.113-124, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.040>

CONSTRUÇÃO, Câmara Brasileira da Indústria da. **Consumo, Produção e Valores de Materiais de Construção**. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/materiais-de-construcao/cimento>>. Acesso em: 04 jan. 2019.

DU, H.; PANG, S. D. Enhancement of barrier properties of cement mortar with graphene nanoplatelet. **Cement And Concrete Research**, v. 76, n.1, p.10-19, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.05.007>

FARIA, G. S.; LIMA, A. M.; BRANDÃO, L. P.; DA COSTA, A. P.; NARDECCHIA, S.; RIBEIRO, A. A.; PINHEIRO, W. A. Production and characterization of graphene oxide and reduced graphene oxide with different oxidation times. **Revista Materia**, v. 22, 2017.

FERRO, G.; TULLIANI, J. M.; JAGDALE, P.; RESTUCCIA, L. New Concepts for Next Generation of High Performance Concretes. **Procedia Materials Science**, v. 3, n.1, p.1760-1766, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mspro.2014.06.284>

FARIA, P.; DUARTE, P. BARBOSA, D.; FERREIRA, I. New composite of natural hydraulic lime mortar with graphene oxide. **Construction And Building Materials**, v. 156, n.1, p.1150-1157, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.072>

GHAZIZADEH, S. et al. Understanding the behaviour of graphene oxide in Portland cement paste. **Cement And Concrete Research**, v.1, n.1, p.1-14, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.016>.

GONG, S. M. A. K.; PAN, Z.; KORAYEM, A. H.; QIU, L.; LI, D.; COLLINS, F.; WANG, C. M.; DUAN, W. H. Reinforcing Effects of Graphene Oxide on Portland Cement Paste. **Journal Of Materials In Civil Engineering**, v. 27, n. 2, p.40140101-40140106, 2015. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0001125](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001125)

HU, Y.; LUO, D.; LI, P.; LI, Q.; SUN, G. Fracture toughness enhancement of cement paste with multi-walled carbon nanotubes. **Construction And Building Materials**, v. 70, n.1, p.332-338, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.077>

HUMMERS, W. S.; OFFEMAN, R. E. Preparation of Graphitic Oxide. **Journal of the American Chemical Society**, v. 80, n. 6, p. 1339–1339, mar. 1958

JAYAPALAN, A. R.; LEE, B. Y.; KURTIS, K. E. Can nanotechnology be ‘green’? Comparing efficacy of nano and microparticles in cementitious materials. **Cement And Concrete Composites**, v. 36, n.1, p.16-24, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.11.002>

KRISHNAMOORTHY, K.; VEERAPANDIAN, M.; YUN, K.; KIM, S. J. The chemical and structural analysis of graphene oxide with different degrees of oxidation. **Carbon**, v. 53, p. 38–49, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2012.10.013>

LE, J.; DU, H.; PANG, S. D. Use of 2D Graphene Nanoplatelets (GNP) in cement composites for structural health evaluation. **Composites Part B: Engineering**, v. 67, n.1, p.555-563, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.08.005>

LI, X.; LIU, Y. M.; LI, W. G.; LI, C. Y.; SANJAYAN, J. G.; DUAN, W. H.; LI, Z. Effects of graphene oxide agglomerates on workability, hydration, microstructure and compressive strength of cement paste. **Construction And Building Materials**, v. 145, n.1, p.402-410, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.058>

LI, X.; KORAYEM, A. H.; LI, C.; LIU, Y.; HE, H.; SANJAYAN, J. G.; DUAN, W. H. Incorporation of graphene oxide and silica fume into cement paste: A study of dispersion and compressive strength. **Construction And Building Materials**, v. 123, .1, p.327-335, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.022>

LV, S.; MA, Y.; QIU, C.; SUN, T.; LIU, J.; ZHOU, Q. Effect of graphene oxide nanosheets of microstructure and mechanical properties of cement composites. **Construction And Building Materials**, v. 49, n.1, p.121-127, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.022>

MARCONDES, C. G. N., **Adição de Nanotubos de Carbono em Concretos de Cimento Portland – Absorção, Permeabilidade, Penetração de Cloretos e Propriedades Mecânicas**, 1v., Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2012.

PARVEEN, S.; RANA, S.; FANGUEIRO, R.; PAIVA, M. C. Microstructure and mechanical properties of carbon nanotube reinforced cementitious composites developed using a novel dispersion technique. **Cement And Concrete Research**, v. 73, n.1, p.215-227, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.03.006>

RHEE, I.; KIM, Y. A.; SHIN, G.O.; KIM, J. H.; MURAMATSU, H. Compressive strength sensitivity of cement mortar using rice husk-derived graphene with a high specific surface area. **Construction And Building Materials**, v. 96, n.1, p.189-197, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.016>

SAAFI, M.; TANG, L.; FUNG, J.; RAHMAN, M.; LIGGAT, J. Enhanced properties of graphene/fly ash geopolymetric composite cement. **Cement And Concrete Research**, v. 67, n.1, p.292-299, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.08.011>

SATHIPARAN, N.; RUPASINGHE, M. N.; PAVITHRA, B. H.M. Performance of coconut coir reinforced hydraulic cement mortar for surface plastering application. **Construction And Building Materials**, v. 142, n.1, p.23-30, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.058>.

SILVA, R. A.; GUETTI, P. C.; LUZ, M. S.; ROUXINOL, F.; GELAMO, R. V. Enhanced properties of cement mortars with multilayer graphene nanoparticles. **Construction And Building Materials**, v. 149, p.378-385, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.146>.

STOBINSKI, L.; LESIAK, B.; MALOLEPSZY, A.; MAZURKIEWICZ, M.; MIERZWA, B.; ZEMEK, J.; JIRICEK, P.; BIELOSHAPKA, I. Graphene oxide and reduced graphene oxide studied by the XRD, TEM and electron spectroscopy methods. **Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena**, v. 195, p. 145–154. 2014.

SUMESH, M.; ALENGARAM, U. J.; JUMAAT, M. Z.; MO, K. H.; ALNAHHAL, M. F. Incorporation of nano-materials in cement composite and geopolymer based paste and mortar – A review. **Construction And Building Materials**, v. 148, n.1, p.62-84, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.206>

TRAGAZIKIS, I. K. DASSIOS, K.G.; DALLA, P. T.; EXARCHOS, D. A.; MATIKAS, T. E. Acoustic emission investigation of the effect of graphene on the fracture behavior of cement mortars. **Engineering Fracture Mechanics**, p.1-8, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfracmech.2018.01.004>.

WANG, G.; YANG, J.; PARK, J.; GOU, X.; WANG, B.; LIU, H.; YAO, J. Facile synthesis and characterization of graphene nanosheets. **Phys. Chem C**, v. 112, n. 22, p. 8192–8195, 2008. <http://dx.doi.org/10.1021/jp710931h>

6 NORMAS DO ARTIGO 1

Revista Ambiente Construído – Ciências ambientais: B1; Engenharias I: B1.

Diretrizes para Autores

Taxas para publicação (*APCs charges*)

Não são cobradas taxas para submissão e avaliação de artigos.

No entanto, após a conclusão do processo de avaliação por pares, os artigos aceitos passarão por revisão normativa, ortográfica e gramatical, executada por profissionais credenciados pela revista. Os custos dos serviços de revisão ortográfica e gramatical serão cobrados diretamente dos autores, pelos profissionais credenciados.

Ética (*Ethics and malpractice*)

São aceitos para publicação apenas artigos originais e inéditos, necessariamente fruto de um trabalho de pesquisa. Os artigos são primeiramente avaliados pelo editor-chefe, para verificar a pertinência do assunto e o atendimento às diretrizes editoriais da revista. Se aceito nesta etapa, faz-se a verificação quanto à existência de informações de autoria do artigo no texto e no arquivo, de forma a garantir a avaliação duplamente cega, e quanto à originalidade do texto, para evitar publicação de artigos que firam a ética na produção acadêmica.

Ainda com relação à ética, é essencial que os autores observem os seguintes requisitos:

- devem constar como autores apenas pessoas que contribuíram significativamente para o conteúdo e produção do artigo. O reconhecimento por contribuições assessórias pode ser efetuado por meio de agradecimentos, ao final do artigo;
- os autores devem se certificar que todas fontes utilizadas para a produção do artigo foram devidamente citadas, garantindo a originalidade do texto e a inexistência de plágios e auto-plágios.

Política de plágio

De acordo com a Política Editorial da revista *Ambiente Construído*, “são aceitos para publicação artigos originais e inéditos, necessariamente fruto de um trabalho de pesquisa”. Os textos submetidos são rastreados com uso das ferramentas *Plagiarisma.net* e *Plagium*.

Estrutura do artigo (*Preparing your manuscript*)

Título: O título do trabalho deve ser breve (máximo de 15 palavras) e suficientemente específico e descritivo, contendo as palavras-chave que representem o conteúdo do texto.

Indicação de Responsabilidade: Indicação de autoria do artigo deve ser feita **apenas no Sistema (nunca no arquivo submetido)**, apresentando o nome completo, a sua principal ocupação atual, principal instituição à qual está vinculada, endereço profissional, telefone e e-mail, de todos os autores, conforme exemplo abaixo:

FULANO DE TAL, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Caixa Postal 7100; CEP 03999-999, Porto Alegre - RS, Tel. 51 33169000, E-mail: fulano@ufrgs.br

Resumo: Deve conter de 100 a 200 palavras, em português, acompanhado de sua tradução para o inglês. O resumo deve apresentar clara e sucintamente o contexto, o problema de pesquisa, objetivo, uma descrição sucinta do método, e resultados alcançados, caracterizando a contribuição para o conhecimento científico.

Palavras-chave: Após o resumo (abstract), devem ser incluídas, no mínimo, três e, no máximo, seis palavras-chave (Keywords) que auxiliem na identificação dos principais assuntos tratados no artigo.

Artigo: O texto deve conter um item de introdução com o objetivo de informar o leitor sobre o tema que será abordado e colocá-lo a par do conhecimento já existente. Deverá ser apresentada uma breve revisão bibliográfica, referenciando as principais referências nas quais o trabalho foi fundamentado.

Uma parte substancial do artigo deverá ser dedicada à descrição do desenvolvimento da pesquisa e discussão dos resultados obtidos. A descrição, apesar de sucinta, deverá ser clara, permitindo ao leitor compreender perfeitamente o procedimento adotado, ou ter acesso a ele por referências citadas. O método de pesquisa deve ser detalhadamente apresentado, incluindo delineamento ou estratégias utilizadas, e instrumentos de coleta e análise de dados claramente especificados.

Considera-se imprescindível um item contendo comentários conclusivos, destacando-se os principais produtos da pesquisa e suas contribuições para o conhecimento existente.

As referências devem ser apresentadas conforme as instruções, mas sua quantidade não deve ser excessiva. Deve-se evitar, se possível:

- referências para conhecimento geral do tema abordado;
- referências secundárias (*apud*);

- muitas referências para um único argumento;
- predominância de referências próprias.

Referências: As referências devem ser reunidas no final do artigo em uma única ordem alfabética, de acordo com NBR 6023 - Referências – Elaboração (2002).

Exemplos:

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-780**: standard test method for preconstruction and construction evaluation of mortars for plain and reinforced unit masonry. Philadelphia, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6461**: blocos cerâmicos para alvenaria: verificação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1983a.

BARROS, M. M. B. **Metodologia Para Implantação de Tecnologias Construtivas Racionalizadas na Produção de Edifícios**. 1996. 410 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BLEDZIK, A. K. *et al.* A Comparison of Compounding Process and Wood Type For Wood Fibre-pp Composites. **Composites Part A: applied Science and Manufacturing**, v. 36, p. 789-797, 2005.

BRANDÃO, D. Q.; HEINECK, L. F. M. Classificação das Formas de Aplicação da Flexibilidade Arquitetônica Planejada em Projetos de Edifícios Residenciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., Florianópolis, 1998. **Anais...** Florianópolis: UFSC, ANTAC, 1998. v. 2, p. 215-222.

MORAES, R. C.; ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G. Efeitos da Cinza de Casca de Arroz e Fíler Calcário Sobre a Resistência Mecânica do Concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 43., Fortaleza, 2000. **Anais...** Fortaleza: IBRACOM, 2000.

Citações: as citações no corpo do texto devem obedecer à forma adotada na referência, conforme NBR 10520: Apresentação de citações em documentos (2001), como por exemplo:

Conforme Moraes et al. (2000) ...

... (BRANDÃO; HEINECK, 1998).

A NBR 6461 (ABNT, 1983a) especifica

Sakai e Sugita (1995) sugerem ...

... (SILVA; ROMAN, 2001; LAVELLE, 1998).

... bem como proposto na ASTM C-780 (ASTM, 1991).

Agradecimentos: Agradecimentos para agências de fomento à pesquisa, a instituições que não a do(s) autor(es) e a eventuais orientadores ou inspiradores do trabalho poderão ser mencionados no final do artigo, apenas na versão final, após aprovação do artigo para publicação.

Notas: Notas inseridas no corpo do artigo devem ser indicadas por meio de algarismos romanos, em formato sobrescrito, imediatamente depois da frase a que diz respeito. As notas deverão vir no rodapé do texto, na página em que aparecem.

Ilustrações: Figuras e fotografias nítidas e gráficas (estritamente indispensáveis para à clareza do texto) poderão ser aceitas e deverão ser assinaladas, no texto, pelo seu número de ordem e pela sua legenda, os locais onde devem ser intercalados. Se as ilustrações enviadas já tiverem sido publicadas, mencionar a fonte e a permissão para reprodução.

Quadros e tabelas: deverão ser acompanhados de legenda que permita compreender o significado dos dados reunidos. Assinalar, no texto, pelo seu número de ordem e sua legenda, os locais onde devem ser intercalados. Preferencialmente, quadros e tabelas devem ser feitas no próprio documento do Word.

Fórmulas: as fórmulas deverão ser numeradas e inseridas ao longo do texto.

Estilo: o texto deve ser claro, direto e preciso, evitando-se linguagem rebuscada, excesso de adjetivos ou frases longas.

Formato (*Formating your manuscript*)

A minuta do artigo deve ter o máximo de 7.000 palavras e 5MB, contando-se a partir da introdução do artigo, até as conclusões. O original deverá ser formatado em folha A4, com espaço simples, fonte Times New Roman, tamanho 12. As margens superior e esquerda devem apresentar 3 cm e as margens inferior e direita, 2 cm. Na primeira página deve estar o título em português e em inglês, o resumo, o *abstract* e palavras-chave em cada um dos idiomas. Os títulos e subtítulos não devem ser numerados e os formatos das fontes dos títulos do artigo podem ser:

Título 1: Times New Roman, tamanho 14, em negrito e maiúsculas. Deverá receber numeração progressiva com um dígito.

Ex.: **RESULTADOS**

Título 2: Times New Roman, tamanho 12, negrito.

Ex.: **Características e apropriação dos espaços abertos**

Título 3: Times New Roman, tamanho 12, sem negrito.

Ex.: Sobrados

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados apresentados é possível verificar que a adição de óxido de grafeno em argamassa de revestimento interfere na questão mecânica da mesma,

quando adicionado teores de 0,04% e 0,1%. Verificou-se que a argamassa com adição de 0,1% teve melhor resultado no teste de resistência à compressão axial.

Comparando-se a argamassa de referência com as argamassas modificadas pelo ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), notou-se que as argamassas modificadas apresentam maior área superficial. Essa interação fibra-matriz nas argamassas modificadas é viável e eficiente, uma vez que permite melhor comportamento mecânico, auxiliando assim a diminuição de fissuras e patologias que se formam na retração da secagem.

A diminuição de fissuras permite maior resistência e maior durabilidade da argamassa, diminuindo a necessidade de intervenções nas edificações e conseqüentemente diminui a quantidade de resíduos no ambiente, contribuindo assim com a sustentabilidade.

Para dar continuidade no trabalho e fomentar a investigação sugere-se realizar um estudo comparativo entre argamassas modificadas com óxido de grafeno, utilizando diferentes métodos de dispersão e comparando-as com a inserção direta de nanomaterial nos agregados secos da pasta cimentícia.

Sugere-se para futuros estudos a realização de DRX e Raman das argamassas modificadas.