ADIÇÃO DE POLIURETANO COM CARVÃO REFINADO EM ARGAMASSA DE ALTA RESISTÊNCIA

Felipe Sievert da Costa Portes[1] (IC), Estácio T. Wanderley Neto(PQ)[1], Lucas Pacca e Silva[1] (GR), Adhimar Flávio Oliveira(a) (PQ)[1]
[1]*Universidade Federal de Itajubá*

Palavras-chave: Argamassa de alta resistência. Reciclagem. Sustentabilidade.

Introdução

Na construção civil, um dos materiais mais utilizados no mundo é o cimento, devido às suas aplicações dentro das construções [1]. Com o crescimento populacional aumentando de forma exponencial, o consumo de compostos de cimento vêm crescendo paralelamente. Com isso, a indústria cimentícia vem procurando maneiras para melhorar cada vez mais as propriedades físicas e químicas dos derivados do cimento [2], isso ocorre desde, possivelmente, antes mesmo da História registrada, onde já eram aplicados aditivos à misturas dos compostos de cimento, buscando uma melhora nas propriedades mecânicas desses compostos [3].

A argamassa é um produto do cimento com água e areia que é utilizada principalmente na parte revestimento. Um dos métodos que vem sendo cada vez mais utilizado para a aplicação de argamassas e outros derivados do cimento, como o concreto, é o método de alta resistência onde não é necessária a vibração mecânica para que a argamassa se assente onde ela for deposta. Uma das principais vantagens da argamassa alta resistência é a sua fluidez e coesão durante a sua aplicação [3].

Nessa pesquisa foram aplicados materiais sustentáveis, tendo como objetivo sintetizar uma argamassa *eco friendly*, para isso, utilizando o carvão vegetal, pois esse material vem, na maior parte do mercado, de madeiras plantadas, tendo como principal árvore do eucalipto madeira de reflorestamento, sendo que a origem dos materiais utilizados é um fator muito importante para avaliar sustentabilidade do material final [4]. Além disso, um diferencial desse método da eletrólise para obtenção do aditivo é que ele é relativamente mais barato e envolve um custo energético menor que os métodos convencionais, o que torna viável realizar a síntese em uma escala industrial [5]**.** Além disso, foram verificados os efeitos da aplicação de poliuretano, um dos motivos da escolha desse material se deve ao fato da sua versatilidade, possuindo comportamentos de metais e borrachas combinados [6]. Tendo em vista uma pegada *eco friendly*, no presente trabalho, o poliuretano que foi utilizado é de origem reciclável.

Metodologia

Com o intuito de se obter o carvão refinado, foram separados pedaços de carvão vegetal, após isso eles foram macerados, depois, esse produto foi peneirado por duas peneiras, os pedaços maiores para voltarem ao pilão, em seguida o material passante foi levado para a eletrólise para esfoliação [7-8].

Para a reação foi preparada uma solução de ácido sulfúrico em água destilada, Após o processo, o material com o ácido foi filtrado em funil a fim de ser lavado com água destilada, em seguida o material foi secado, ao fim da secagem o material foi guardado em um becker para utilização nos processos seguintes.

Para se obter o material composto por carvão refinado e poliuretano foi realizado o mesmo processo do carvão refinado puro, porém a massa constituía 50% polímero e e 50% carvão. Ao passar das na estufa, foi possível verificar um material bem homogêneo, não havendo duas fases, podendo se deduzir que o polímero incorporava o carvão refinado.

Para que fosse elaborado um traço ideal para se utilizar na argamassa foi necessário saber com que tipo de areia estava sendo utilizada. A fim de determinar a caracterização da areia foi realizado o ensaio de granulometria [9] nela para que pudesse avaliar em qual faixa de de utilização de areia ela estava. Após esse ensaio também foi possível pelo método do picnômetro [10], obter-se a massa específica da areia. O cimento utilizado foi o CP-2-E, o cimento mais utilizado e comercializado para obras domésticas no Brasil, também foi utilizado metacaulina como parte dos finos no traço, a sua quantidade foi calculada como sendo 10% da massa de cimento utilizada, foi utilizada água de

torneira, buscando uma argamassa de alta resistência é necessário utilizar o superplastificante (SP), que serve como agente químico para aumentar a fluidez e a coesão da argamassa, dispensando o uso de vibradores mecânicos [11]. Na Tabela 1 é apresentado um resumo das quantidades empregadas para a preparação do traço da argamassa.

TRAÇO UTILIZADO	
Materiais	QUANTIDADE (kg)
Cimento	1,0313
Areia média	1,4186
Areia fina	1,4327
Metacaulina	0,1031
Água	0,5441
Superplastificante	0,3867

Tabela 1: Traço utilizado como referência para a argamassa

Após separar os materiais necessários para a elaboração do traço em suas quantidades pré-determinadas, foi misturado na argamassadeira todos os agregados nominado como finos até obter uma mistura homogênea, após isso, acrescentou-se aproximadamente a água, então acrescentou-se o SP. Na etapa seguinte, a areia foi adicionada aos poucos e em agitação. Ao fim desse processo os cilindros-molde foram lubrificados e pesados vazios, seguindo do preenchidos até o topo com a mistura e pesados novamente, para se calcular a massa específica da argamassa.

Os demais traços foram realizados de forma semelhante, a diferença foi que tanto a com carvão refinado puro e o outro com o PU foi que utilizou-se 1% da massa de cimento, retirando a mesma quantidade de metacaulina.

Resultados e discussão

Na Figura 1 é mostrado os resultados de DRX para a amostra com carvão puro, o carvão pós-eletrólise (EC) e a combinação do polímero juntamente com o carvão puro, após a eletrólise do conjunto (Pol+EC). Tanto o carvão, quanto o EC possuem um DRX semelhante, que estão de acordo com a referência [15], que foi obtido de um carvão ativado proveniente de casca de coco. Já a amostra na qual ocorreu a eletrólise do carvão, juntamente com o polimento, percebe-se a presença de um pico em aproximadamente 2Θ=10º, que revela a presença de duas formas de carbono no material: OG com alta e baixa concentração de grupos funcionais.

O OG com alta concentração de grupos funcionais exibe um pico característico no plano cristalino a 10ºC, indicando o aumento da distância interplanar devido à introdução de grupos oxigenados, como hidroxilas e epóxidos, entre as camadas de grafeno. Esse aumento da distância entre as camadas reflete a presença de uma maior quantidade de oxigênio, o que é esperado em amostras de OG com um alto grau de oxidação.

Esses resultados sugerem que, embora o processo de esfoliação eletroquímica tenha introduzido uma quantidade considerável de grupos oxigenados, uma fração das folhas de grafeno ainda preserva características estruturais do carvão.

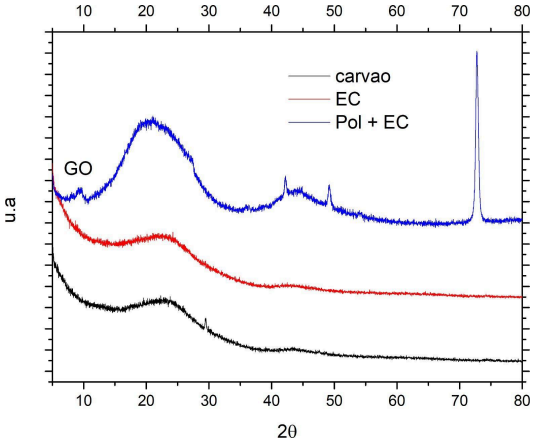

Figura 1: DRX das amostras de carvão, EC e Pol+EC

Na Figura 2 é mostrado os resultados do ensaio de compressão para as argamassas com os três diferentes traços, referência, aquele que não possui aditivos, o traço em que foi adicionado apenas o carvão EC (GO) e também o traço que leva a combinação do EC com o polímero (GO + P). É possível analisar que tanto o referência como o GO possuem uma resistência elevada próxima da esperada (25Mpa), sendo a média das tensões máximas 27,49Mpa e 23,91Mpa respectivamente. Já o traço no qual foi adicionado o GO + P, é possível analisar que a resistência tem uma redução expressiva, caindo para a média de tensão máxima de 10MPa, sendo isso menos do que a metade do esperado, não se sabe ao certo o que levou a essa redução drástica das tensões, porém algo observado a olho nu nas amostras é que houve uma absorção de água muito maior nas amostras com polímero e apenas o carvão, incorporando assim ar dentro do corpo de prova que por consequência levam a um aumento na fragilidade da argamassa.

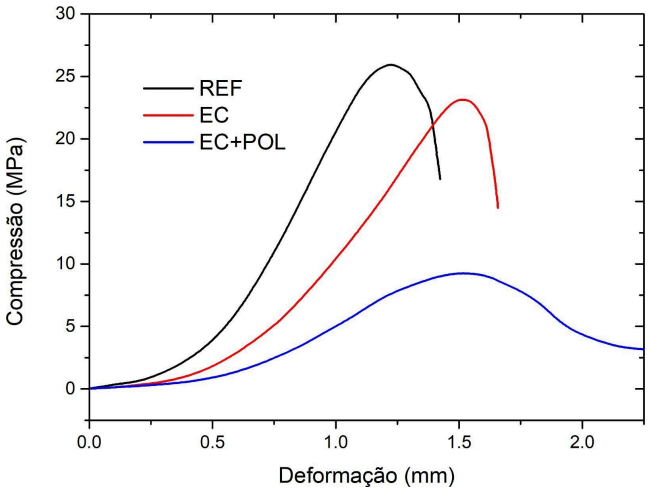

Figura 2: Gráfico da tensão por deformação das médias de cada amostra

Na Figura 3 é mostrado o FTIR da mistura do resíduo de poliuretano (PU) com o carvão oxidado, apresenta as bandas características de ambos os componentes da mistura. As bandas do PU são assinaladas no espectro, elas correspondem à vibração das ligações (O-H, N-H, C-H, C=O, C=C, C-O). Confirmado a presença do PU.

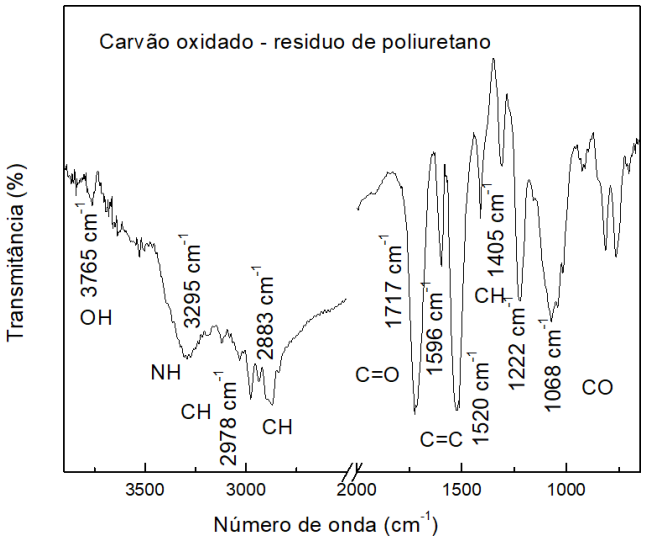

Figura 3: FTIR da mistura do resíduo de poliuretano (PU) com o carvão oxidado (EC+POL).

Os resultados obtidos demonstram que o carvão vegetal refinado possui um impacto positivo na resistência da argamassa de alta resistência, mantendo uma performance mecânica próxima à esperada (27,49 MPa) quando utilizado sozinho. A inclusão do carvão oxidado na argamassa não comprometeu a resistência significativamente, o que indica que o processo de eletrólise foi eficaz em manter a integridade estrutural do carvão. Em contraste, a adição de poliuretano reciclável resultou em uma redução acentuada da resistência, que caiu para 10 MPa. Esta diminuição é atribuída à maior absorção de água e à incorporação de ar na argamassa, fenômenos que reduziram a coesão e aumentaram a fragilidade do material. A análise FTIR corroborou essas observações, evidenciando a presença de grupos funcionais adicionais no carvão oxidado e confirmando a integração do poliuretano na mistura. Esses achados sublinham o potencial do carvão refinado como um aditivo sustentável eficaz, enquanto indicam que o uso de poliuretano reciclável requer melhorias para evitar impactos adversos nas propriedades mecânicas da argamassa.

Conclusões

Este estudo investigou o uso de carvão vegetal refinado e poliuretano reciclável como aditivos na produção de argamassa de alta resistência, com o objetivo de promover soluções mais sustentáveis na construção civil. Através da caracterização espectroscópica por FTIR, confirmamos a estrutura e oxidação dos materiais, revelando que o carvão oxidado apresentou uma nova oxidação na estrutura grafítica, enquanto o poliuretano reciclável foi claramente incorporado à mistura.

Os resultados experimentais indicam que a argamassa contendo carvão puro conseguiu manter uma resistência mecânica elevada (27,49 MPa), o que é consistente com os padrões esperados para argamassas de alta resistência. Por outro lado, a adição de poliuretano reciclável resultou em uma redução significativa da resistência para 10 MPa. Este decréscimo pode ser atribuído à maior absorção de água e à incorporação de ar na argamassa, que contribuiu para uma maior fragilidade do material.

A pesquisa demonstra que, embora o carvão vegetal refinado mostra um potencial promissor para melhorar as propriedades das argamassas de forma sustentável, o uso de poliuretano reciclável apresenta desafios consideráveis. A fragilidade resultante da adição de poliuretano destaca a necessidade de otimização dos métodos de incorporação de polímeros para evitar a degradação das propriedades mecânicas da argamassa.

Portanto, este estudo contribui para a compreensão dos efeitos dos aditivos sustentáveis na argamassa de alta resistência, ressaltando a importância de equilibrar a sustentabilidade e a performance mecânica dos materiais. Futuros trabalhos poderão explorar ajustes na

formulação e novos métodos de processamento para aprimorar a eficácia dos polímeros recicláveis em combinações de argamassas sustentáveis.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Universidade Federal de Itajubá e à Dra. Maria Elena Leyva González responsável por todo o auxílio na elaboração das amostras do aditivo, agradeço também à Dra. Valquíria Claret dos Santos por toda a ajuda na parte de compreensão de resultados e ao Sr. Fabiano por todo o auxílio, paciência e disponibilidade no laboratório em cada parte do trabalho, agradeço também ao Laboratório de Alta Tensão (LAT) que foi sede da parte de síntese e caracterização dos aditivos. Reforço o agradecimento aos órgãos fomentadores de pesquisa CNPq e Fapemig pelo apoio financeiro durante toda a realização da pesquisa.

Referências

[1] KRYSTEK, Małgorzata; CIESIELSKI, Artur; SAMORÌ, Paolo. Graphene‐based cementitious composites: toward next‐generation construction technologies. Advanced Functional Materials, v. 31, n. 27, p. 2101887, 2021.
[2] BAUER, Luiz Alfredo Falcão. Materiais de Construção. 5ª edição. Brasil: Livro Técnico em 1994.
[3] CAIRES, Leide Daiane. Aplicação de óxido de grafeno reduzido em argamassa cimentícia para estudo de suas propriedades mecânicas. 2019.
[4]REIS, Marielza Corrêa dos; SERRA, Sheyla Mara Baptista; ZAMPIERON, João Vicente. Evaluation of the incorporation of charcoal residues in cement mortars.
Environmental Quality Management, v. 31, n. 3, p. 143-154, 2022.
[5] SAHOO, Pallishree et al. Synthesis and characterization of graphene oxide and graphene from coal. Materials Today: Proceedings, v. 56, p. 2421-2427, 2022.
[6] DAS, Abhijit; MAHANWAR, Prakash. A brief discussion on advances in polyurethane applications. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, v. 3, n. 3, p. 93-101, 2020.
[7] PEREIRA, NELSON GUSTAVO ALVES ; GONZALÉZ, MARIA ELENA LEYVA ; QUEIROZ, ALVARO ANTONIO ALENCAR DE ; OLIVEIRA,
ADHIMAR FLÁVIO ; TAVARES WANDERLEY NETO, ESTÁCIO . Higher
Electrical Conductivity of Functionalized Graphene Oxide Doped with Silver and Copper (II) Ions. Energies, v. 16, p. 7019, 2023.
[8] PEREIRA, ERIC LUIZ ; GAMA, ANDERSON ; GONZÁLEZ, MARIA ELENA LEYVA ; OLIVEIRA, ADHIMAR FLÁVIO . Synergistic electrochemical method to prepare graphene oxide/polyaniline nanocomposite. Polímeros: ciência e Tecnologia, v. 33, p. 1, 2023.
[9] SILVA, L. S.; DEMETRIO, J. C. C.; DEMETRIO, FJC. Concreto Sustentável: Substituição da Areia Natural por Pó de Brita para Confecção de Concreto Simples. Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, São Luís–MA, 2015.
[10] Norma ABNT NBR 6458:Anexo B – Grãos que passam na peneira de abertura 4,8mm - determinação da massa específica.
[11] FERNANDES, Luiz Flávio Reis et al. UTILIZAÇÃO DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE EM ARGAMASSAS ÁLCALI-ATIVADAS. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS
CONSTRUTIVOS. 2017.