VALORIZAÇÃO DO SEDIMENTO DO RIO AMAZONAS COMO MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR: CARACTERIZAÇÃO E DESEMPENHO

VALORIZATION OF AMAZON RIVER SEDIMENT AS A SUPPLEMENTARY CEMENTITIOUS MATERIAL: CHARACTERIZATION AND PERFORMANCE

Ederaldo Da Silva Azevedo

Universidade Federal do Pará | Belém, Pará | ederaldoazevedo@yahoo.com.br

Maurilio Gomes-Pimentel

Universidade Federal do Pará | Belém, Pará | mauriliogp@ufpa.br

Marcelo de Souza Picanço

Universidade Federal do Pará | Belém, Pará | marcelosp@ufpa.br

Resumo

As cidades amazônicas localizadas ao longo do rio Amazonas dependem do transporte fluvial para garantir o abastecimento e a sustentabilidade econômica. No entanto, o intenso acúmulo de sedimentos transportados pelo rio frequentemente bloqueia rotas estratégicas de navegação, obrigando a realização de campanhas anuais de dragagem que removem milhões de toneladas de material, geralmente descartadas sem aproveitamento econômico. Este estudo investigou o uso do sedimento do rio Amazonas como filler, substituindo parcialmente até 30% do cimento Portland. As propriedades do cimento foram avaliadas em curto prazo (28 dias) e longo prazo (2 anos). Os resultados demonstraram que o sedimento pode reduzir o consumo de cimento sem comprometer propriedades essenciais, como resistência à compressão e desempenho em relação à permeabilidade. Esses achados indicam que o sedimento do rio Amazonas tem potencial como material cimentício suplementar, oferecendo uma solução sustentável para reduzir os impactos ambientais associados à produção de cimento. Por não exigir calcinação, o sedimento elimina a necessidade de energia térmica em seu processamento, contribuindo para uma alternativa mais ecoeficiente.

Palavras-chave: Sedimento Marinho. Moagem de sedimento. Cimento alternativo. Propriedades a longo prazo.

ABSTRACT

Amazonian cities located along the Amazon River depend on river transport to ensure their supply and economic sustainability. However, the intense accumulation of sediments transported by the river often blocks strategic navigation routes, requiring annual dredging campaigns that remove millions of tons of material, usually discarded without economic use. This study investigated the use of Amazon River sediment as a filler, partially replacing up to 30% of Portland cement. The cement properties were evaluated in the short term (28 days) and long term (2 years). The results demonstrated that the sediment can reduce cement consumption without compromising essential properties, such as compressive strength and permeability performance. These findings indicate that Amazon River sediment has potential as a supplementary cementitious material, offering a sustainable solution to reduce the environmental impacts associated with cement production. Because it does not require calcination, the sediment eliminates the need for thermal energy in its processing, contributing to a more eco-efficient alternative.

Keywords: Marine sediment. Sediment grinding. Alternative cement. Long-term properties.

1 INTRODUÇÃO

A região amazônica é lar de aproximadamente 29 milhões de pessoas (SANTOS; SALOMÃO; VERÍSSIMO, 2021), sendo que grande parte dessa população depende diretamente do transporte fluvial para garantir o abastecimento de bens, suprimentos e matérias-primas que sustentam sua economia. Estima-se que mais de 70% das mercadorias movimentadas nas cidades utilizem esse modal. Contudo, os períodos de seca, especialmente nos últimos dois anos (LIMA et al., 2024), têm ameaçado a navegação, interrompendo a logística em pontos críticos. Para mitigar esses problemas, o governo planeja investir cerca de R$ 500 milhões de reais (~89 milhões de dólares, cotação de dezembro de 2024) nos próximos cinco anos para assegurar a navegabilidade durante todo o ano. Esse esforço visa manter ativa a principal rota fluvial, que se

estende por mais de 1.500 quilômetros, desde a fronteira com o Peru e a Colômbia até Itacoatiara, uma cidade brasileira (DNIT, 2024). Nesse contexto, o governo federal do Brasil, por meio do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, realiza periodicamente campanhas de dragagem no rio Amazonas (DNIT, 2024). Entretanto, milhões de toneladas de sedimentos removidos do leito do rio são descartados anualmente por não apresentarem valor agregado, representando uma oportunidade subaproveitada para usos mais sustentáveis.

O sedimento do rio Amazonas é um material composto por partículas com diâmetro inferior a 800 µm, cuja mineralogia é predominantemente formada por quartzo e argilominerais (ALMEIDA et al., 2024). Sua morfologia e composição tornam-no um candidato promissor para uso como material cimentício suplementar, já que não apresenta substâncias com potencial de degradação da matriz cimentícia, como sulfatos e álcalis. Nesse contexto, o presente estudo avaliou, até onde sabemos pela primeira vez, o sedimento do rio Amazonas como fíler (material de enchimento) em uma matriz de cimento Portland (JOHN et al., 2018). O sedimento foi apenas moído, de forma que suas partículas fossem reduzidas para tamanhos inferiores ao do cimento, e as propriedades dos cimentos resultantes foram analisadas em longo prazo (2 anos).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO DO RIO AMAZONAS

Amostras de sedimento do rio amazonas (ARS) foram coletadas de navios dragas, em laboratório, as amostras foram expostas em estufas a 100ºC por 24 h para perda de umidade. Uma amostra de 1 kg do ARS foi adicionada em moinho de bolas com volume de 15 litros e rotação de 40 rpm. Junto ao ARS, foram adicionadas 5kg de esferas de alumina (Ø 20 mm), o tempo de moagem foi de 30 minutos. Após moagem, o ARS foi caracterizado quanto a sua composição química por meio de fluorescência de raios X (Tabela 1).

Tabela 1: Caracterização química e física dos materiais. A composição química está expressa em (%). L.O.I refere-se à perda ao fogo a 900 °C. SG é a densidade específica, representada em g/cm³, e SSA é a área de superfície específica, expressa em m²/g.

Material	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MgO	K_2O	CaO	MnO	P_2O_5	Na_2O	SO_3	L.O.I	SG	SSA
ARS	78.87	9.48	3.14	0.71	0.35	1.57	0.89	0.67	0.12	1.44	-	3.04	2.65	2.77
OPC	20.16	9.9	2.2	-	3.02	0.9	56.28	-	-	0.11	1.08	4.65	3.12	1.63

Fonte: Autoria própria

Análise mineralógica do sedimento identificou a presença dos minerais quartzo e argilominerais (Fig. 1A). Análise termogravimétrica identificou perda de massa substancial que estão relacionados perda de água livre e a transformação dos argilominerais (Fig. 1B). O tratamento mecânico do sedimento proporcionou uma granulometria com o tamanho de partículas média ~66% inferior ao cimento (Fig. 1D). O sedimento também foi testado quando ao seu desempenho como material pozolânico de acordo com os procedimentos, o resultado revelou que o sedimento apresenta um índice de atividade pozolânica com o cimento de 87.6% (Fig. 1C), mas o resultado de desempenho com a cal não atingiu o mínimo padronizado, 6MPa (Fig. 1C), sugerindo que o sedimento atua majoritariamente como carga na matriz cimentícia.

Para avaliar o potencial uso do ARS como fíler, foram produzidos uma amostra de pasta de cimento com 100% de cimento (OPC), e outras amostras no qual o cimento foi substituído parcialmente em 10% ARS, 20% ARS e 30% ARS pelo sedimento do rio Amazonas. As amostras foram produzidas com uma relação água/(cimento + sedimento) de 0.4, após mistura, as pastas foram avaliadas quando ao seu desempenho no estado fresco, consistência e tempo de pega, e no estado endurecido por meio da resistência à compressão, módulo de elasticidade e propriedades de permeabilidade. Os ensaios no estado endurecido foram realizados nas idades de 28 dias e 2 anos.

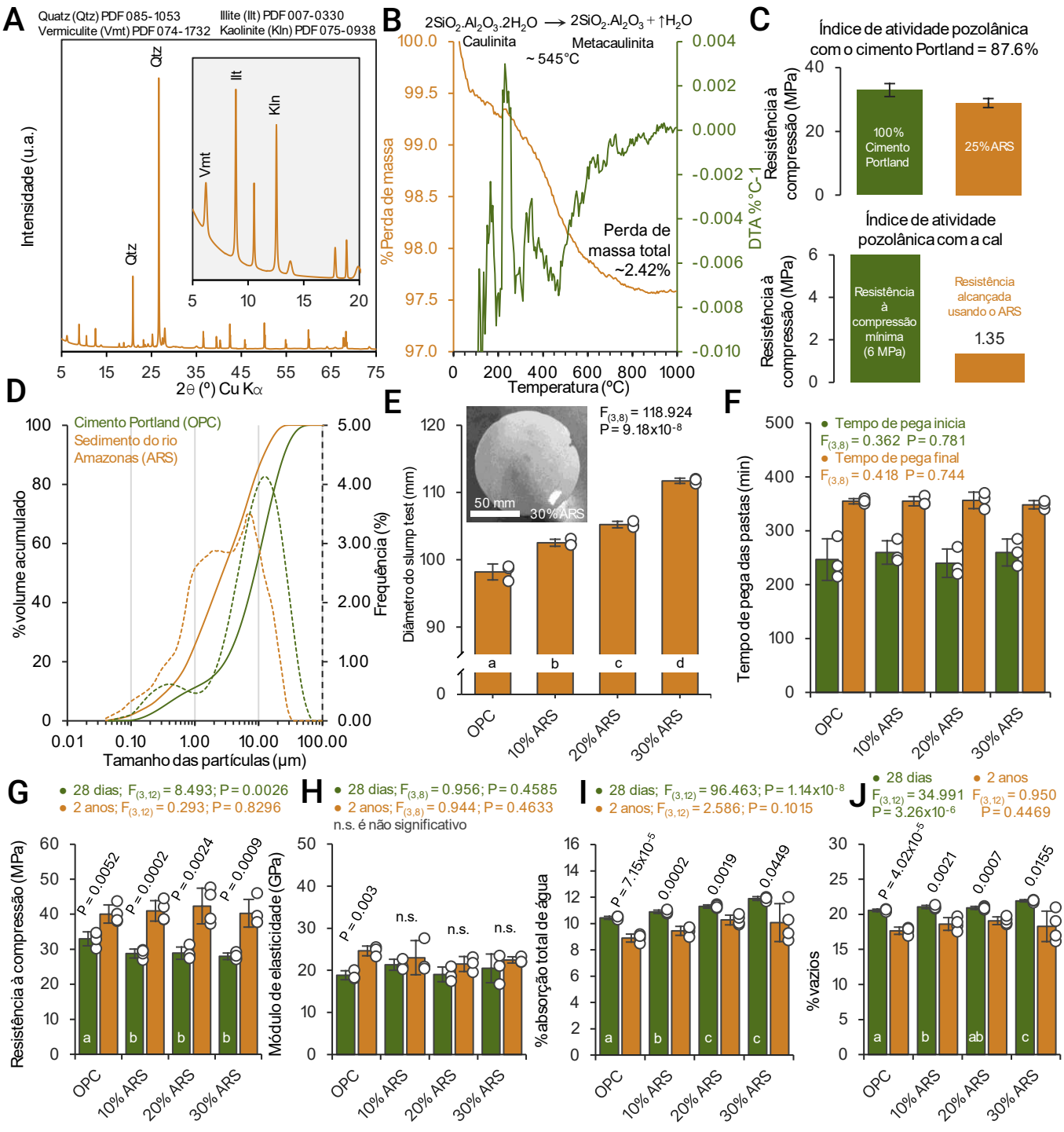
Os dados do presente estudo foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância de uma via (ANOVA one-way) complementado pelo teste de Tukey quando necessário e o teste t de student foi utilizado para avaliar os efeitos a longo prazo das amostras. Foram consideradas diferenças estatísticas quando $P<0.05$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aumento do consumo de sedimento melhorou a trabalhabilidade das pastas de cimento (Fig. 1E), quando maior a quantidade de sedimento maior o espalhamento, isso ocorre por conta da redução do consumo de cimento sem alteração do consumo de água, ocasionando a diluição da mistura (SOURI et al., 2015). Além

disso, o uso do sedimento não alterou o tempo de pega inicial e nem o tempo de pega final das pastas (Fig. 1F).

Figura. 01. Caracterização e desempenho do sedimento do rio Amazonas como material cimentício suplementar. A, avaliação mineralógica. **B**, análise termogravimétrica. **C**, análise dos índices de pozolanicidade com o cimento e com a cal. **D**, granulometria a laser dos materiais. **E**, consistência das pastas de cimento. **F**, análise do tempo de pega das pastas de cimento. **G**, resistência á compressão. **H**, módulo de elasticidade. **I**, absorção de água total e **J** é o índice de vazios das pastas. Os valores estão representados como média ± o desvio padrão. Foram consideradas diferenças estatísticas quando P<0.05. Em **E, G, I** e **J** letras minúsculas distintas indicam diferença estatística quando comparado entre as pastas para a mesma variável.



Fonte: Autoria própria.

A curto prazo (28 dias), todas as amostras com ARS em sua composição reduziram a resistência à compressão quando comparadas com a amostra controle (OPC) (Fig. 1G). Isso evidencia o fenômeno de diluição das pastas, no qual o aumento do volume do sedimento reduziu a concentração do cimento na matriz das pastas. Entretanto, ao avaliar a resistência das pastas a longo prazo (2 anos), o fenômeno de diluição

foi revertido. Todas as amostras com sedimento se comportaram de forma semelhante quando comparadas a amostra controle. Além disso, o aumento da idade aumentou em todos os casos a resistência das amostras. Quanto ao módulo de elasticidade, só houve aumento do módulo com o aumento da idade para a pasta com 100% de cimento, as amostras com sedimento não apresentaram diferença significativa entre si com o aumento da idade (Fig. 1H).

O sedimento do rio Amazonas aumentou a absorção total das amostras (Fig. 1I) e os vazios das pastas (Fig. 1J) na idade de 28 dias quando comparadas com a amostra OPC. Já na idade de 2 anos, em ambos os casos as amostras com sedimento não diferiram significativamente na absorção de água e no conteúdo de vazios quando comparado com a amostra OPC. Já quando as amostras são comparadas entre si em diferentes idades, todos os casos revelaram que o aumento da idade reduziu a absorção de água e o índice de vazios das amostras.

4 CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que o sedimento do rio Amazonas, atualmente descartado após operações de dragagem, tem potencial para ser reaproveitado como material cimentício suplementar, contribuindo para uma alternativa sustentável e economicamente viável na construção civil. Foi possível substituir até 30% do cimento Portland pelo sedimento sem comprometer propriedades essenciais, como resistência à compressão e permeabilidade, especialmente a longo prazo, após 2 anos. O uso do sedimento como filler pode reduzir a demanda por cimento Portland, mitigando os impactos ambientais associados à sua produção, como emissões de CO_2 e consumo de energia térmica, já que o sedimento não exige calcinação. A curto prazo (28 dias), houve redução na resistência à compressão devido ao fenômeno de diluição, mas essa diferença foi compensada ao longo do tempo. A absorção de água e o índice de vazios também se estabilizaram, mostrando desempenho semelhante ao cimento puro após 2 anos. O sedimento mostrou-se um material de fácil processamento e aplicação, com benefícios técnicos e ambientais significativos, evidenciando seu potencial para integrar soluções de engenharia sustentáveis, especialmente em regiões próximas ao rio Amazonas.

REFERÊNCIAS

SANTOS, D.; SALOMÃO, R.; VERÍSSIMO, A. Fatos da Amazônia 2021. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.59346/report.amazonia2030.202103.ed3.

LIMA, L. S. de; SILVA, F. E. O. e; ANASTÁCIO, P. R. D.; KOLANSKI, M. M. de P.; PEREIRA, A. C. P.; MENEZES, M. S. R.; CUNHA, E. L. T. P.; MACEDO, M. N. Severe droughts reduce river navigability and isolate communities in the Brazilian Amazon. **Communications Earth & Environment**, v. 5, p. 370, 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Federal Government signs R$92.8 million contract for dredging between Manaus and Itacoatiara. Gov.Br, 2024.

ALMEIDA, R. P.; GALEAZZI, C. P.; BEST, J.; IANNIRUBERTO, M.; DO PRADO, A. H.; JANIKIAN, L.; MAZOCA, C. E. M.; TAMURA, L. N.; NICHOLAS, A. Morphodynamics and depositional architecture of mid-channel bars in large Amazonian rivers. **Sedimentology**, v. 71, p. 1591–1614, 2024..

JOHN, V. M.; DAMINELI, B. L.; QUATTRONE, M.; PILEGGI, R. G. Fillers in cementitious materials — Experience, recent advances and future potential. **Cement and Concrete Research**, v. 114, p. 65–78, 2018..

SOURI, A.; KAZEMI-KAMYAB, H.; SNELLINGS, R.; NAGHIZADEH, R.; GOLESTANI-FARD, F.; SCRIVENER, K. Pozzolanic activity of mechanochemically and thermally activated kaolins in cement. **Cement and Concrete Research**, v. 77, p. 47–59, 2015