IMPACTO DO RESÍDUO DE BRITAGEM E DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL NO ESTADO FRESCO

Luã Melo Sobral Lopes, Thiago de Oliveira Ribeiro, Ivania da Silva Dias Santana, Jéfiter Soares Gonçalves, Fernanda Nepomuceno Costa

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/Laboratório de Materiais de Construção, Rua Rui Barbosa, 710, Centro – 44380-000-Cruz das Almas-BA, Brasil, lualmsl98@gmail.com, thiagaso29@gmail.com, ivaniadias3010@gmail.com, jefgoncalves@outlook.com, fernandacosta@ufrb.edu.br

Resumo

Este trabalho avaliou a influência da substituição parcial da areia natural (AN) por areia de britagem (AB), associada à incorporação de 4% de fino de rocha granítica (FRG), nas propriedades do concreto autoadensável (CAA) no estado fresco. O programa experimental contemplou a caracterização física dos materiais, o controle da temperatura e os ensaios de espalhamento (*slump-flow*), T_{500}, Funil V, Anel J, Caixa L e Caixa U. A temperatura foi monitorada conforme a NBR 7212:2024. O FRG apresentou potencial para aplicação em CAA, contribuindo para o equilíbrio entre fluidez, coesão e estabilidade da mistura e para o aproveitamento de resíduos de britagem.
Palavras-chave: Programa experimental. Caracterização física. Estabilidade da mistura.

Área do Conhecimento: Engenharias.

Introdução

A crescente demanda por materiais de construção, associada às restrições ambientais à extração de areia natural, tem impulsionado a busca por agregados alternativos capazes de reduzir os impactos ambientais da produção de concreto. Nesse contexto, resíduos provenientes do processamento de rochas, como a areia de britagem (AB) e os finos de rocha granítica (FRG), apresentam potencial de aproveitamento como substitutos parciais da areia natural, contribuindo para a redução do consumo de recursos naturais e o fortalecimento de práticas de economia circular na construção civil.

O concreto autoadensável (CAA) caracteriza-se pela elevada fluidez e capacidade de preenchimento e passagem entre armaduras sob a ação do próprio peso, dispensando o adensamento mecânico. Essas características o tornam particularmente adequado para elementos estruturais com elevada taxa de armadura ou geometrias complexas. No estado fresco, propriedades como fluidez, viscosidade, habilidade passante e estabilidade, são fundamentais para o desempenho do CAA e devem ser controladas conforme os métodos de ensaio estabelecidos pela NBR 15823 (ABNT, 2017), partes 1 a 6. Neste sentido, a NBR 7212 (ABNT, 2024) estabelece requisitos para o controle do concreto dosado em central, incluindo a temperatura do concreto no momento da mistura e do lançamento. A temperatura pode influenciar a cinética de hidratação do cimento e, consequentemente, as propriedades do concreto no estado fresco e sua evolução ao longo do tempo.

A utilização de resíduos de britagem em substituição à areia natural modifica a distribuição granulométrica e o teor de finos da mistura, podendo alterar sua viscosidade, fluidez, habilidade passante e estabilidade. Além disso, o acompanhamento da temperatura ao longo do tempo é relevante, uma vez que sua elevação pode influenciar a cinética de hidratação do cimento e, consequentemente, a evolução das propriedades do concreto no estado fresco. Apesar da existência de estudos sobre o emprego de resíduos de britagem em concretos, ainda são necessários estudos que relacionem a utilização de AB e FRG ao comportamento da temperatura do CAA ao longo do período de avaliação, especialmente quanto à manutenção das condições estabelecidas pela NBR 7212 (ABNT, 2024).

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da substituição parcial da areia natural por areia de britagem (AB) e finos de rocha granítica (FRG) nas propriedades do concreto autoadensável no estado fresco, acompanhando a variação da temperatura das misturas em

diferentes momentos e verificando sua conformidade com o limite estabelecido pela NBR 7212 (ABNT, 2024).

Metodologia

O programa experimental adotado para a execução deste trabalho foi definido com o objetivo de verificar a influência da incorporação do resíduo de fino de rocha granítica nas propriedades do concreto autoadensável (CAA) no estado fresco, considerando também o efeito da temperatura do concreto. Buscou-se, dessa forma, avaliar a viabilidade técnica da incorporação desse material em concretos destinados a aplicações na construção civil.

A pesquisa envolveu amostras de CAA obtidas a partir de um traço de referência, utilizado por uma usina de concreto da Bahia, e de um traço com incorporação de resíduo de fino de rocha granítica (FRG), em teor de 4%.

Para a produção dos concretos autoadensáveis foram utilizados, cimento Portland CP V, areia natural, areia de britagem (AB), brita com dimensão máxima característica de 12,5 mm, água e os aditivos químicos polifuncional MIRA SET 148 e superplastificante POWERFLOW 1108, fornecidos por uma empresa de concreto usinado localizada na região do Recôncavo da Bahia.

As etapas experimentais compreenderam: i) a caracterização dos materiais, visando à verificação de sua conformidade com os requisitos normativos; ii) a produção dos CAA; iii) a realização dos ensaios no estado fresco; e iv) a análise comparativa dos resultados obtidos. Durante a produção e os ensaios, a temperatura do concreto foi monitorada, considerando-se, como parâmetro de referência, o intervalo de 5 °C a 30 °C estabelecido pela NBR 7212 (ABNT, 2024) para a temperatura do concreto no momento da entrega. Foram realizadas e registradas, as temperaturas do ambiente, o laboratório onde o concreto foi desenvolvido, a temperatura durante o preparo na betoneira e por último, a do concreto já armazenado nos recipientes de corpos de prova.

A caracterização dos materiais constituintes do CAA foi conduzida por meio de ensaios normatizados, que avaliaram as propriedades físicas dos agregados (areia natural, areia de britagem, fino de rocha granítica e brita de 12,5 mm) e do cimento Portland CP V. Foram determinadas a distribuição granulométrica, conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022), pelo método do peneiramento; o teor de material pulverulento, conforme a NBR 16973 (ABNT, 2021); a massa específica, conforme a NBR 16916 (ABNT, 2021) para a areia natural, a areia de britagem e o FRG, este último obtido pela fração passante na peneira de 75 µm, e conforme a NBR 16917 (ABNT, 2021) para a brita; e a massa unitária, conforme a NBR 16972 (ABNT, 2021), para cada material, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização dos agregados utilizados.

Propriedade	AN	AB	FRG	Brita
Massa Específica (kg/dm³)	2,63	2,76	2,79	2,71
Massa Unitária (kg/dm³)	1,69	1,36	1,30	1,44
Teor de Material Pulverulento (%)	1,20	1,30	-	0,50
Dimensão Máxima (mm)	1,20	4,75	-	12,5
Módulo de Finura	2,40	4,18	-	6,63

Fonte: Autores.

Observa-se que o FRG apresentou massa específica de 2,79 kg/dm³, próxima à da areia de britagem (2,76 kg/dm³), porém apresentou a menor massa unitária entre os materiais avaliados (1,30 kg/dm³), característica associada à sua elevada finura e maior capacidade de preenchimento dos vazios. A areia de britagem apresentou módulo de finura de 4,18, superior ao da areia natural (2,40), indicando uma distribuição granulométrica mais grossa. A brita de 12,5 mm apresentou o maior módulo de finura (6,63), compatível com sua dimensão máxima característica. As diferenças observadas entre os materiais evidenciam a necessidade de considerar suas características físicas na composição e no ajuste do CAA.

Antes da produção dos concretos, a areia de britagem (AB) e o FRG foram submetidos à secagem em estufa, sob temperatura controlada, com o objetivo de reduzir a influência da umidade na determinação das massas dos materiais e assegurar maior uniformidade nas condições de dosagem.

Após a secagem, os materiais foram armazenados em recipientes fechados e mantidos protegidos da umidade até o momento da utilização.

O traço empregado na produção do concreto autoadensável (CAA) foi definido com base no estudo desenvolvido por Brandão (2023), adotando-se como referência um traço padrão (T.REF) fornecido por uma central de concreto localizada na região do Recôncavo da Bahia. A partir desse traço de referência, foram realizadas modificações no teor de agregado miúdo, também mencionado no estudo de Santos (2025), promovendo a substituição parcial, em massa, da areia natural (AN) pela areia de britagem (AB), proveniente do resíduo do processamento de britas.

O traço modificado apresentou acréscimo de 4% no teor de resíduo do processamento de britas, composto por areia de britagem (AB) e fino de rocha granítica (FRG), com redução equivalente de 4% no teor de areia natural (AN) de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Composição dos traços de CAA estudados.

Traço	CP V	AN	AB	B	FRG	MS*	PF**	ÁGUA
T-REF	1	2,12	0,53	2,24	0	0,41%	0,65%	0,56
T4	1	1,93	0,58	2,24	0,14	0,41%	0,65%	0,56

*MS: aditivo MIRA SET; **PF: aditivo POWERFLOW.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

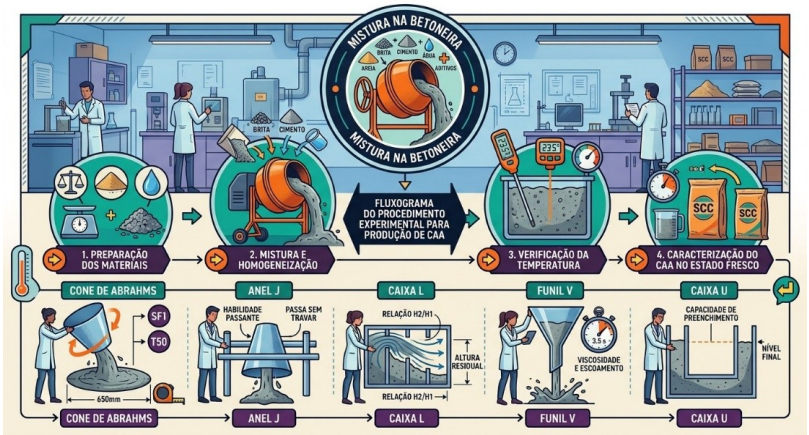
A relação água/cimento (a/c) foi mantida em 0,56 para todos os traços, considerando a classe de agressividade ambiental II (ABNT, 2026). Os teores dos aditivos, MIRA SET 148 (0,41%) e POWERFLOW 1108 (0,65%) também foram mantidos constantes, em relação à massa de cimento CP V-ARI nas duas formulações.

Os procedimentos avaliação do concreto autoadensável (CAA) no estado fresco foram realizados conforme as prescrições da NBR 15823, partes 1 a 6 (ABNT, 2017), que estabelecem os métodos de ensaio e os parâmetros para avaliação das propriedades do CAA. Para o controle da temperatura do concreto no estado fresco, foram adotados como referência os requisitos estabelecidos pela NBR 7212 (ABNT, 2024), especificamente quanto à temperatura do concreto no momento da entrega. Embora o concreto tenha sido produzido em laboratório, essa norma foi utilizada como referência para o parâmetro de temperatura avaliado no estudo.

Para a avaliação das propriedades no estado fresco, foram utilizados aproximadamente 25 L de CAA de cada traço. A produção dos concretos foi realizada mecanicamente, utilizando-se uma betoneira de eixo inclinado, com controle das condições de produção e dos procedimentos de ensaio. Os ensaios foram realizados com o objetivo de avaliar a capacidade de preenchimento, a viscosidade aparente, a habilidade passante e a estabilidade visual dos concretos autoadensáveis, além da temperatura no estado fresco, conforme a sequência apresentada no fluxograma da Figura 1.

Para a determinação da temperatura do concreto no estado fresco, utilizou-se um termômetro digital infravermelho.

Figura 1 - Fluxograma do procedimento experimental para produção de CAA e realização dos ensaios no estado fresco.



Fonte: Elaborado pelos autores, com auxílio de inteligência artificial (ChatGPT/OpenAI).

Resultados

Os resultados dos ensaios realizados no estado fresco para os concretos T-REF e T4 são apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. De modo geral, ambos os traços apresentaram comportamento compatível com as características requeridas para concretos autoadensáveis, sendo classificados quanto ao espalhamento como SF2 e quanto à viscosidade pelo tempo de escoamento T_{500} como VS1. Em relação à estabilidade visual, os dois concretos apresentaram índice de estabilidade visual (IEV) igual a 0, correspondente à condição de concreto altamente estável.

Tabela 3 – Resultados da avaliação no CAA por meio do T-REF.

Ensaios no Estado Fresco	Valores	Classe
Espalhamento (SF)	707,5 mm	SF 2
Tempo de Escoamento (T_{500})	1,23 s	VS 1
IEV	0	Altamente estável
Anel J (Habilidade Passante)	631,5 mm	PJ 2
Caixa L (Habilidade Passante)	0,89 mm	PL 2
Caixa U (Habilidade Passante)	13 mm	PU
Funil V (Viscosidade Aparente)	18 s	VF 2

Fonte: Autores.

Quanto à habilidade passante, os resultados obtidos no Anel J foram de 631,5 mm para o T-REF e 627,0 mm para o T4, ambos classificados como PJ2. Nos ensaios da Caixa L, os valores de 0,89 mm e 0,85 mm, respectivamente, resultaram na classificação PL2. Para a Caixa U, foram obtidos 13 mm para o T-REF e 28 mm para o T4, ambos enquadrados na classificação PU. Esses resultados indicam que a incorporação do resíduo de britagem por meio da FRG no T4 não alterou as classes de habilidade passante dos concretos, embora tenha sido observada uma variação nos valores absolutos obtidos.

Tabela 4 – Resultados da avaliação no CAA por meio do T4.

Ensaios no Estado Fresco	Valores	Classe
Espalhamento (SF)	707,5 mm	SF 2
Tempo de Escoamento (T_{500})	1,8 s	VS 1
IEV	0	Altamente estável
Anel J (Habilidade Passante)	627,0 mm	PJ 2
Caixa L (Habilidade Passante)	0,85 mm	PL 2
Caixa U (Habilidade Passante)	28 mm	PU
Funil V (Viscosidade Aparente)	7,8 s	VF 1

Fonte: Autores.

Em relação à viscosidade aparente, observou-se uma diferença mais expressiva entre os traços. O T-REF apresentou tempo de escoamento T_{500} de 1,23 s e tempo de escoamento no Funil V de 18 s, sendo classificado como VS1 e VF2, respectivamente. Já o T4 apresentou valores de 1,8 s para o T_{500} e 7,8 s para o Funil V, resultando nas classificações VS1 e VF1. Dessa forma, embora ambos os concretos tenham mantido a mesma classificação pelo T_{500}, o resultado do Funil V indica alteração no comportamento de escoamento do concreto com a incorporação do fino de rocha granítica.

Quanto à temperatura, foram registrados, em média, como temperatura ambiente em um dia chuvoso, de 22 ºC, durante o preparo na betoneira, 23º C, e como temperatura final com o concreto moldado, 24,0 °C, para o T-REF. Já para T4, as médias foram, para temperatura ambiente em um dia ensolarado, de 24 ºC, durante o preparo na betoneira de 26 ºC, e como temperatura final com o concreto moldado, 27,5 °C. Assim, o concreto contendo maior teor de fino de rocha granítica apresentou temperaturas de 2 ºC, 3 ºC e 3,5 °C superiores às do traço de referência, em relação a temperatura ambiente, de preparo e final, respectivamente. Apesar dessas diferenças, ambos os

valores permaneceram dentro da faixa de 5 °C a 30 °C estabelecida pela NBR 7212 (ABNT, 2024) como referência para a temperatura do concreto no momento da entrega.

Discussão

Os resultados obtidos indicam que a incorporação de areia de britagem (AB) e, especialmente, do fino de rocha granítica (FRG), no teor total de 4%, contribuiu para o ajuste da fração fina do concreto autoadensável (CAA). A presença de materiais finos é particularmente relevante nesse tipo de concreto, pois favorece a coesão da mistura, contribui para a estabilidade do sistema e reduz a tendência à segregação e à exsudação (Diniz *et al*., 2018). Assim, a incorporação do FRG não deve ser analisada apenas sob a perspectiva de substituição da areia natural, mas também como uma estratégia de ajuste da composição granulométrica e do volume de finos do CAA. A manutenção do espalhamento entre os traços demonstra que esse incremento de finos, no teor estudado, foi compatível com a fluidez requerida para o concreto autoadensável.

O espalhamento (SF) manteve-se idêntico entre os traços, indicando que a incorporação de AB e FRG não alterou de forma perceptível a capacidade de preenchimento do CAA. Esse resultado é relevante porque demonstra que o aumento da fração fina não resultou, nas condições avaliadas, em perda de fluidez. Para o CAA, o equilíbrio entre fluidez e coesão é fundamental: enquanto a elevada fluidez permite o preenchimento dos espaços e o escoamento sob ação do peso próprio, a presença adequada de finos contribui para manter a estabilidade da mistura. Portanto, o comportamento observado sugere que o incremento de 4% no teor de resíduo de britagem, composto por AB e FRG, proporcionou um balanço adequado entre essas características no estado fresco.

Os resultados de viscosidade aparente apresentaram comportamento distinto entre os métodos empregados. O tempo T_{500} aumentou de 1,23 s, no traço de referência (T-REF), para 1,8 s, no traço com substituição (T4), enquanto o tempo de escoamento no Funil V reduziu-se de 18 s para 7,8 s, resultando na mudança de classificação de VF2 para VF1. A diferença entre os resultados reforça que T_{500} e Funil V avaliam o escoamento sob condições distintas e, portanto, não necessariamente apresentam a mesma tendência. O aumento do T_{500} pode estar associado à maior coesão decorrente da presença adicional de partículas finas, especialmente do FRG, enquanto a redução do tempo no Funil V indica que o concreto manteve capacidade de escoamento em condição confinada. Dessa forma, os resultados devem ser interpretados conjuntamente, considerando o equilíbrio entre fluidez, viscosidade e estabilidade característico dos CAA.

Além das características da composição, deve-se considerar a diferença de temperatura registrada entre as betonadas finais, de 24 °C no T-REF e 27,5 °C no T4. Ambas as temperaturas se encontram dentro da faixa estabelecida pela NBR 7212 (ABNT, 2024), de 5 °C a 30 °C para a temperatura do concreto no momento da entrega. Entretanto, a diferença de 3,5 °C entre os traços constitui uma variável experimental que pode ter contribuído para as diferenças observadas nos tempos de escoamento. Assim, embora o comportamento reológico possa estar relacionado à incorporação de FRG e ao aumento da fração fina, a influência da temperatura não deve ser desconsiderada na interpretação dos resultados de viscosidade.

Quanto à habilidade passante, os ensaios do Anel J e da Caixa L não indicaram alterações relevantes entre os traços, permanecendo ambos classificados como PJ2 e PL2, respectivamente, com valores próximos aos obtidos para o traço de referência. Esse comportamento demonstra que a incorporação de AB e FRG, no teor avaliado, não prejudicou a capacidade do concreto de atravessar obstáculos sem bloqueio significativo. A manutenção da habilidade passante, associada ao espalhamento constante, reforça que o aumento da fração fina proporcionado pelo FRG ocorreu sem produzir uma perda relevante da capacidade de escoamento do CAA.

Segundo Santos (2025), a incorporação de materiais finos provenientes do processamento de agregados pode influenciar o comportamento dos concretos em função de suas características granulométricas e de sua interação com a pasta cimentícia. No presente estudo, a utilização de FRG permitiu explorar o potencial de um material fino de origem granítica como componente da fração fina do CAA. De modo geral, os resultados evidenciam que o FRG apresenta potencial para utilização em CAA como material integrante da fração fina, especialmente quando sua incorporação é avaliada em conjunto com a areia de britagem.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- O incremento de 4% no teor de resíduo de britagem (AB e FRG) mostrou-se viável para o CAA, mantendo as propriedades no estado fresco dentro das classes avaliadas pela NBR 15823.
- O FRG contribuiu para o ajuste da fração fina, favorecendo o equilíbrio entre fluidez, coesão e estabilidade da mistura.
- O espalhamento e a habilidade passante foram mantidos, enquanto T_{500} e Funil V apresentaram comportamentos distintos, indicando alteração no escoamento.
- A diferença de temperatura entre as betonadas (24 °C e 27,5 °C) constitui uma limitação e pode ter influenciado os resultados de viscosidade.
- O FRG apresenta potencial para aproveitamento em CAA, contribuindo para a valorização de resíduos e para a redução do consumo de areia natural.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2026. 263p.

_____. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2022. 28p.

_____. **NBR 12821: Preparação de concreto em laboratório – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2009. 9p.

_____. **NBR 15823-1: Concreto Autoadensável – Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco**. Rio de Janeiro, 2017. 20p.

_____. **NBR 16972: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios**. Rio de Janeiro, 2021. 10p.

_____. **NBR 16973: Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem**. Rio de Janeiro, 2021. 7p.

_____. **NBR 17054: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2022. 9p.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2022. 14p.

_____. **NBR 7212: Concreto dosado em central - Preparo, fornecimento e controle**. Rio de Janeiro, 2024. 31p.

BRANDÃO, M. C. S. **Avaliação da viabilidade técnica e econômica da incorporação de areia de britagem em substituição parcial da areia natural para a produção de CAA a partir de um traço de uma usina**. 2023. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2023.

DINIZ, H. A. A.; OLIVEIRA, J. N. de; SILVA, L. P. da; MACÊDO, M. S. de; SOUZA, M. M. de. **Caracterização e avaliação das propriedades de concretos autoadensáveis com adições minerais e baixo consumo de cimento**. HOLOS, v. 5, p. 51-64, 2018.

SANTOS, T. de J. C. dos. **Efeito da incorporação de resíduos do processo de britagem de rochas graníticas em substituição parcial da areia natural na carbonatação do concreto autoadensável**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2025.

TUTIKIAN, B. F.; MOLIN, D. C. D., **Concreto Auto-Adensável**. São Paulo: Pini, 2008.

Declaração sobre o uso de inteligência artificial

Na preparação deste artigo, os autores utilizaram ferramentas de IA para criação de imagens, fluxogramas, melhorias textuais e verificações ortográficas. Após seu uso, o conteúdo foi revisado pelos autores, que assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo.

Agradecimentos

Registra-se o agradecimento à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) pelo suporte institucional e pela estrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta pesquisa; ao grupo de pesquisa VALORA Civil – Valorização de Resíduos na Construção Civil, bem como da empresa Massa Fort Concreto e a Mineradora Pedra do Cavalo, pela doação dos materiais utilizados.