XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

ANÁLISE TÉCNICA DO USO DE ÁGUA RECICLADA EM ARGAMASSAS DE HIDRATAÇÃO CONTROLADA

Technical analysis of the use of recycled water in controlled hydration mortars

FERNANDA F. RIBEIRO[1], LUIZ A. TREVISOL[2], ELIZAMARY O. FERREIRA[3], SAMUEL A. BATAIOTE[4]
[1] Eng. Civil, Sup. Técnica – Hobi S.A. Mineração de Areia e Concreto, fernanda@hobimix.com.br
[2] Eng. Civil, MSc. Gerente Técnico – Hobi S.A. Mineração de Areia e Concreto, luiz.alberto@hobimix.com.br
[3] Eng. Civil, MSc. Sup. Desenvolvimento – Hobi S.A. Mineração de Areia e Concreto, elizamary@hobimix.com.br
[4] Engenheiro Civil, Analista Técnico – Hobi S.A. Mineração de Areia e Concreto, samuel@hobimix.com.br

RESUMO
Com o objetivo de minimizar os impactos ambientais, reduzir custos e garantir bom desempenho técnico, foram realizados testes para analisar as propriedades físicas no estado fresco e as propriedades mecânicas no estado endurecido de argamassas de hidratação controlada. As argamassas foram produzidas em central dosadora de concreto, utilizando água de reuso proveniente da lavagem de caminhões betoneiras. A água de reuso passa por dois estágios, num processo de separação das partículas sólidas; o primeiro deles é a separação do agregado, seguindo para a filtragem e separação do excesso de finos. A partir disto a água passa por um controle de densidade e pH antes de ser reutilizada. O processo adotado permite a produção de argamassas de hidratação controlada com tempos de estabilidade de até 48 horas gerando uma redução da utilização de água limpa, proveniente de poço artesiano na ordem de 80% sem interferir no desempenho técnico do produto.

Palavras-chave: Argamassa de hidratação controlada. Sustentabilidade. Desempenho. Água reciclada.

ABSTRACT
With the aim of minimizing environmental impacts, reducing costs and ensuring good technical performance, tests were carried out to analyze the physical properties in the fresh state and the mechanical properties in the hardened state of controlled hydration mortars. The mortars were produced in a concrete batching plant, using reused water from washing concrete mixer trucks. The reused water goes through two stages, in a process of separation of solid particles, the first of which is the separation of the aggregate, followed by filtering and separation of excess fines. From this point on, the water undergoes density and pH control before being reused. The process adopted allows the production of controlled hydration mortars with stability times of up to 48 hours, generating a reduction in the use of clean water, coming from artesian wells, of around 80% without interfering with the technical performance of the product.

Key-words: Controlled hydration mortar. Sustainability. Performance. Recycled water.

Como citar:
RIBEIRO, F. F.; TREVISOL, L. A.; FERREIRA, E. O.; BATAIOTE, S. A. Análise técnica do uso de água reciclada em argamassas de hidratação controlada. XV SBTA 2025. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

A reciclagem de água na construção civil representa um avanço significativo em termos de sustentabilidade, contribuindo de maneira relevante para a preservação dos recursos hídricos e para a mitigação dos impactos ambientais associados ao consumo de água potável em atividades produtivas. A política nacional de resíduos sólidos brasileira, instituída pela lei n° 12.305 define que sempre que líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível, deve-se adotar, desenvolver e aprimorar tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais [1]. Com isso a crescente demanda por soluções sustentáveis tem impulsionado a pesquisa e a implementação de práticas que visam à redução do consumo de recursos naturais e a minimização dos impactos ambientais.

Em uma usina de concreto, a água pode ser utilizada de várias maneiras além da produção, como na limpeza dos resíduos dos caminhões, na pulverização durante a produção e higienização da usina [2]. As principais atividades que consomem água são a de lavagem do caminhão betoneira, utilizando cerca de 1500 Litros diariamente para a fabricação de 8 m³ de concreto [3].

Estudos indicam que a reutilização de água, especialmente em processos como a lavagem de caminhões betoneiras, pode resultar em uma redução substancial no consumo de água potável, ao mesmo tempo em que proporciona benefícios econômicos, como a diminuição dos custos relacionados ao abastecimento de água. A utilização de água de reuso, quando adequadamente tratada, tem-se mostrado uma solução não apenas sustentável, mas também uma forma de reduzir custos operacionais, além de assegurar a conformidade com as normas ambientais e técnicas vigentes.

A ABNT NBR 15900-1:2009 estabelece como água de reuso aquela que é recuperada de processos de preparo do concreto, água usada para limpar a parte interna de betoneiras de centrais misturadoras, de caminhões betoneiras, misturadores e bombas de concretos ou água proveniente do processo de recuperação de concreto fresco [4]. Nesse cenário, a utilização de água de reuso em processos produtivos destaca-se como uma estratégia eficiente para a preservação dos recursos hídricos e a otimização dos processos operacionais.

A implementação de sistemas eficientes de reciclagem de água, como os hidrociclones, que são equipamentos construídos para a separação sólido-líquido, teve sua primeira patente depositada no final do século XIX (BRETNEY, 1891) e sua utilização foi intensificada em meados da década de 1940 na indústria de mineração [5]. Atualmente tem se tornado uma prática cada vez mais comum em usinas de concreto, sendo um fator chave para o aprimoramento da sustentabilidade das operações e para a garantia do bom desempenho técnico dos materiais produzidos, assim como as argamassas de hidratação controlada.

O presente estudo teve como objetivo a avaliação das propriedades físicas no estado fresco e das propriedades mecânicas no estado endurecido de argamassas de hidratação controlada produzidas com água reciclada proveniente da lavagem de caminhões betoneiras e redução da utilização de água limpa.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Cimento Portland (CP IV RS): O cimento utilizado foi do tipo Portland, classe CP IV RS com massa específica de 2,83 g/cm³, conforme as especificações da ABNT NBR 16697:2018 [6].

Cal Hidratada Tipo CH I: A cal hidratada utilizada no traço é do tipo CH I, conforme especificado pela ABNT NBR 7175:2003 [7], com a propriedade de teor de óxidos totais não hidratados de 8,97 %.

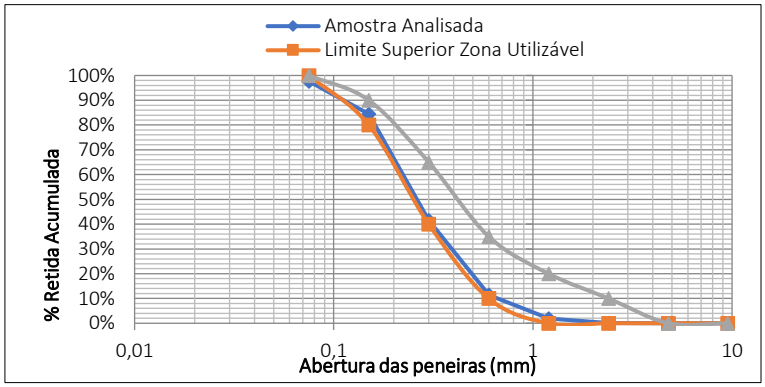
Agregado Miúdo Natural: O agregado miúdo utilizado foi classificado conforme a ABNT NBR 17054:2022 [8], que determina a composição granulométrica, com os resultados apresentados na Tabela 1 e representados no gráfico da Figura 1, a massa específica aparente foi determinada de acordo com a ABNT NBR 16916:2021 [9], e o teor de material pulverulento foi avaliado conforme a ABNT NBR 16973:2021 [10], cujos resultados também estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Características técnicas da areia natural.

Propriedades	Areia Natural
Dmáx (mm)	1,2
Módulo de finura	1,4
Massa específica (g/cm³)	2,64
Massa unitaria (kg/dm³)	1,64
Teor de finos (%)	2,77

Fonte: Os autores (2025).

Figura 1 – Curva Granulométrica da areia natural.



Fonte: Os autores (2025).

Aditivo Estabilizador de Hidratação e Incorporador de Ar: As características dos aditivos utilizados à mistura foram detalhadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características técnicas dos aditivos.

Propriedades	Aditivo Estabilizador de Hidratação	Aditivo Incorporador de Ar
Massa especifica (g/cm³)	1,15	1,02
Teor e sólidos (%)	31,0	5,0
pH	6,0	6,7

Fonte: Os autores (2025).

Água Reciclada ou de Reúso: A água empregada no preparo da argamassa foi reciclada, proveniente de processos de preparação de concreto e da limpeza interna de betoneiras. A qualidade da água foi verificada com base nas exigências da ABNT NBR 15900[(4)], que regula as condições físico-químicas da água para amassamento do concreto e suas estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características técnicas da água reciclada.

Ánalise	Resultado	PRC 5	LQ	Referência
Cálcio	694,0 mg/L	-	19,0	SMWW3500Ca
Cloreto	1096,4 mg/L	Máx. 250,0 mg/L	200,0	SMWW4500Cl-B
Condutividade Eletrolítica	5,8 µS/cm	-	0,5	SMWW2510B
Dureza	2145,0 mg/L	Máx. 300,0 mg/L	50,0	SMWW2340C
Ferro	1,30 mg/L	Máx. 0,3 mg/L	0,03	SMWW3500Fe
Magnésio	99,2 mg/L	-	1,0	SMWW3500MgB
Manganês	< 0,005 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,0005	SMWW3030D, 3120B | POP.FQ.61
Sulfato	211,0 mg/L	Máx. 250,0 mg/	50	SMWW4500SO42E
Zinco	< 0,100 mg/L	Máx. 5,0 mg/L 0	0,100	SMWW3030D, 3120B | POP.FQ.61
Aluminío	< 0,02 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,02	ISO 10566/94 E30
Potêncial Hidrogeniônico	12,6 upH	Min. 6 Máx. 9 upH	0,1	SMWW4500-H+
Sólidos Sedimentáveis	< 0,10 mL/L.h	-	0,10	SMWW2540F
Solidos Totais	350,0 mg/L	-	10,0	SMWW2540B
Alcalinidade	2950,0 mg/L	-	100,0	SMWW2320B

LQ: Limite de Quantificação.
PRC 5: Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017 - Anexo XX (alterado pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021).
SMWW: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition.*

Fonte: Os autores (2025).

PRODUÇÃO DA ARGAMASSA

A mistura da argamassa foi realizada em caminhões betoneiras, utilizando o processo industrial de uma usina dosadora de concreto, que garante a precisão nas proporções dos materiais. Inicialmente, foi elaborado um traço de referência (A), utilizando água potável, em seguida, foi desenvolvido o traço (B), no qual a água potável foi substituída por água reciclada, proveniente da limpeza de betoneiras e de processos de reuso de água no preparo do concreto. As proporções dos dois traços estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Proporções dos traços utilizados para realização dos ensaios.

Traço	Cimento	Cal	Areia Natural	AEH	AIA	Água Potável	Água Reciclada
A - Referência	72%	28%	100%	1,9 a 2,2%	0,4 a 0,5%	100%	-
B	72%	28%	100%	1,9 a 2,2%	0,4 a 0,5%	-	100%

Fonte: Os autores (2025).

MÉTODOS

RECICLAGEM DE ÁGUA

O processo de reciclagem de água na usina de concreto é realizado com um sistema avançado de hidrociclones, que recupera de forma eficiente a água utilizada na produção e limpeza de equipamentos, como betoneiras e bombas. A água residual, contendo partículas de cimento, agregados finos e outros resíduos sólidos, é coletada e enviada para tratamento. Nos hidrociclones, a separação ocorre por força centrífuga: as partículas sólidas, mais densas, são descartadas no fundo, enquanto a água limpa sobe para a parte superior. Após a separação, a água purificada é armazenada e reutilizada em novos processos, com eficiência de recuperação de até 90%, dependendo da qualidade inicial e do sistema utilizado. As figuras 2, 3, 4 e 5 abaixo demonstram o processo de tratamento para o reuso da água.

Figuras 2, 3, 4 e 5 – Processo de tratamento e reciclagem de água.



Fonte: Hobimix Concreto e argamassa (2025).

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS ARGAMASSAS

Para a avaliação do desempenho da argamassa, foram produzidas amostras de argamassa de hidratação controlada ao longo de um período de seis meses. Foram realizados ensaios atendendo requisitos conforme a ABNT NBR 13281-1:2023 [11], tanto ensaios classificatórios quanto informativos, a fim de caracterizar as propriedades da argamassa produzida. A aplicação desses ensaios visou garantir a qualidade e a conformidade da argamassa em ambos os cenários (uso de água potável e reciclada), assegurando que as propriedades técnicas do material não fossem comprometidas durante o processo de substituição da água.

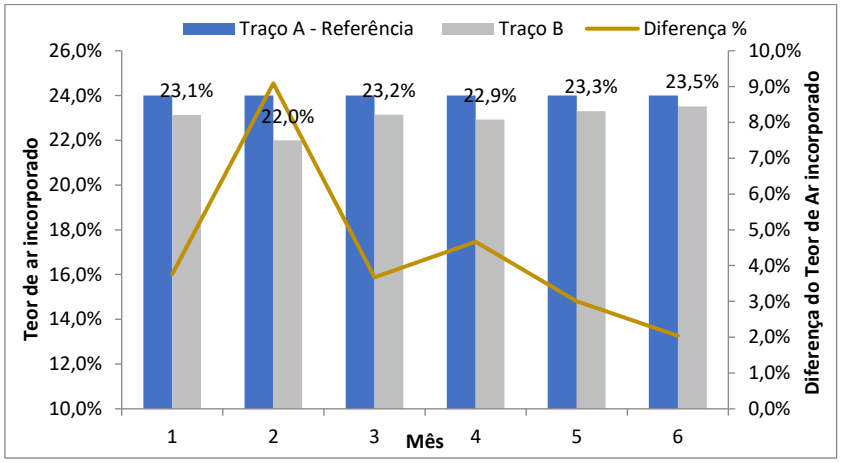
RESULTADOS

ESTADO FRESCO

Os resultados do teor de ar incorporado estão apresentados na Figura 6. Para o traço referência (Traço A), o teor estabelecido foi de 24%. Já para o produzido com a substituição

de água potável por água reciclada (Traço B), o teor médio de ar incorporado ao longo do tempo foi de 23%, com desvio padrão inferior a 1%, apresentando um resultando inferior ao traço A (referência).

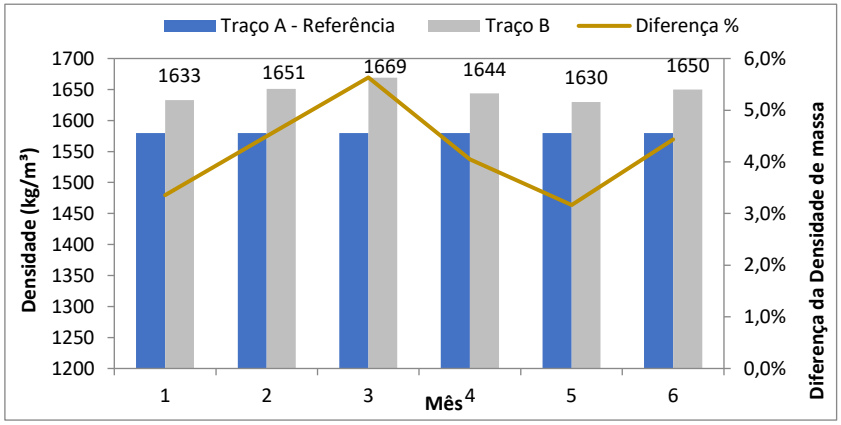
Figura 6 – Resultados dos ensaios de teor de ar incorporado.



Fonte: Os autores (2025).

A análise dos ensaios de densidade de massa, apresentada na Figura 7, evidencia as diferenças entre o traço de referência (Traço A) e o traço B (com água reciclada) ao longo dos meses. Observa-se que a densidade do Traço B é consistentemente superior à do Traço A, indicando um impacto da substituição da água potável por água reciclada. Além disso, a linha de diferença percentual destaca uma variação máxima no mês 3 (aproximadamente 5%), enquanto os demais meses apresentam variações menores e mais estáveis. Esses resultados sugerem que o uso de água reciclada pode influenciar positivamente a densidade de massa.

Figura 7 – Resultados dos ensaios de densidade de massa.

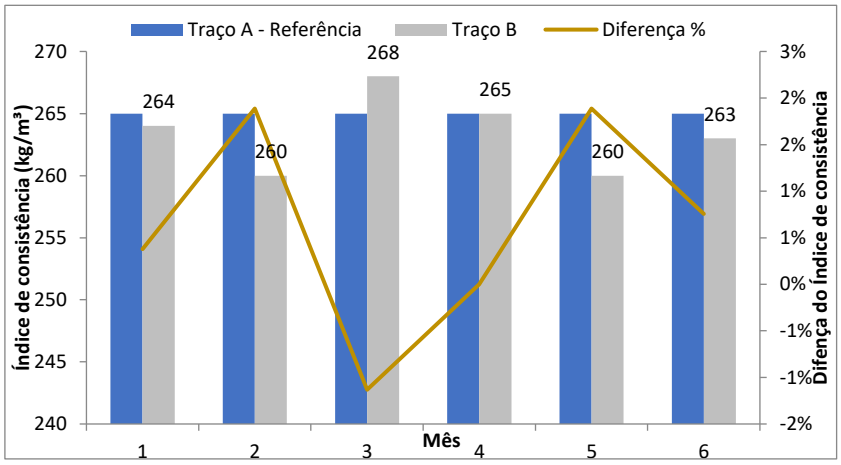


Fonte: Os autores (2025).

A Figura 8 apresenta o comportamento do índice de consistência, onde o traço referência (Traço A) apresentou uma consistência de 265 mm, enquanto o Traço B obteve um valor médio de 263 mm. Destaca-se que o percentual de diferença entre os traços analisados foi inferior a 2%, o que não gerou impacto nas propriedades de reologias da argamassa para o

ensaio em questão.

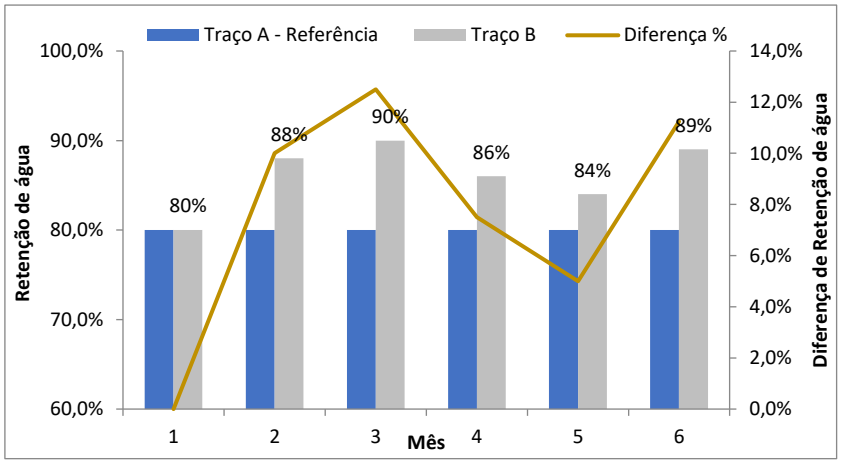
Figura 8 – Resultados dos ensaios de índice de consistência.



Fonte: Os autores (2025).

Os dados apresentados na Figura 9 indicam um aumento significativo na retenção de água para o traço com água reciclada (Traço B), com variações entre 5% e 13% em relação ao Traço A. Esse aumento na retenção de água pode ser atribuído à presença de partículas de água reciclada, que tendem a melhorar a absorção e retenção da água na mistura, o aumento da retenção de água contribui para uma cura mais eficiente, prevenindo a evaporação precoce e permitindo uma hidratação completa do cimento, assim garantindo um melhor desempenho da argamassa.

Figura 9 – Resultados dos ensaios de retenção de água.



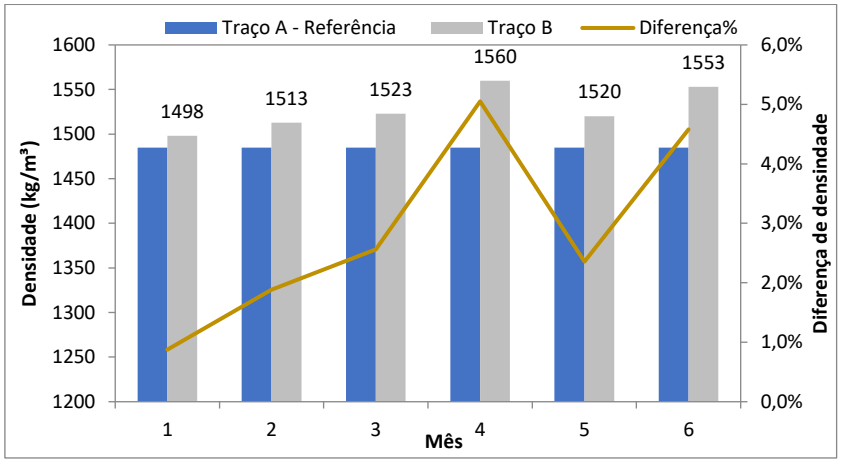
Fonte: Os autores (2025).

Estado Endurecido

O produzido com a substituição de água potável por água reciclada (Traço B), como mostra na Figura 10, tem um aumento na densidade aparente ao longo do tempo, tendo uma densidade de massa aparente de média de 1527 kg/m³. Esse aumento pode estar relacionado a fatores como composição dos materiais, reações químicas, ou melhor, absorção de água, o que

impacta positivamente nas propriedades podendo resultar em uma argamassa mais densa e resistente.

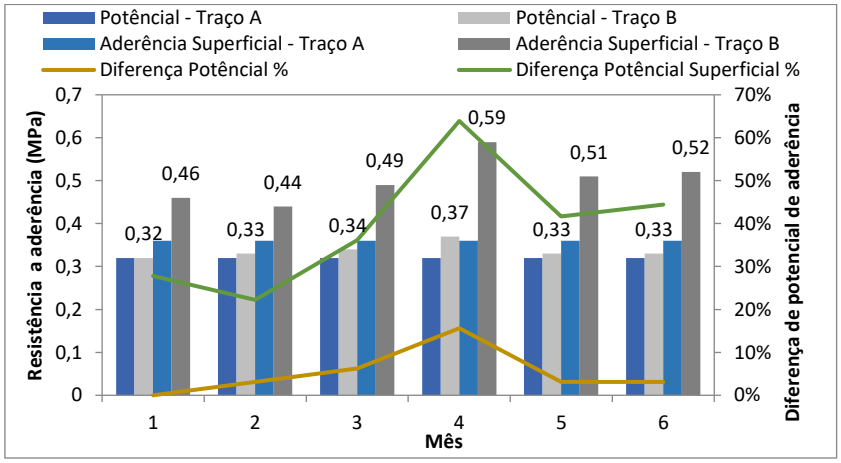
Figura 10 – Resultados dos ensaios de densidade de massa aparente.



Fonte: Os autores (2025).

A Figura 11 apresenta os resultados dos ensaios de potencial de aderência e potencial de aderência superficial. Os dados mostram que o Traço B apresenta um aumento expressivo nas propriedades físicas, tanto no potencial de aderência quanto no potencial de aderência superficial. O potencial de aderência do Traço B alcançou 0,33 MPa, com um ganho médio de resistência de 6% em relação ao Traço A. Já o potencial de aderência superficial atingiu 0,50 MPa, mostrando uma capacidade de ganho de resistência muito superior ao Traço A, com valores de aderência que superam 22%, chegando a um pico de 64% de diferença. Além disso, esses resultados sugerem que o Traço B oferece um desempenho significativamente superior, e, apesar de apresentar maior resistência, não o torna inadequado para aplicações, visto que atende às características exigidas pela ABNT NBR 13281-1:2023 [11], para as classes RA1 e RA2.

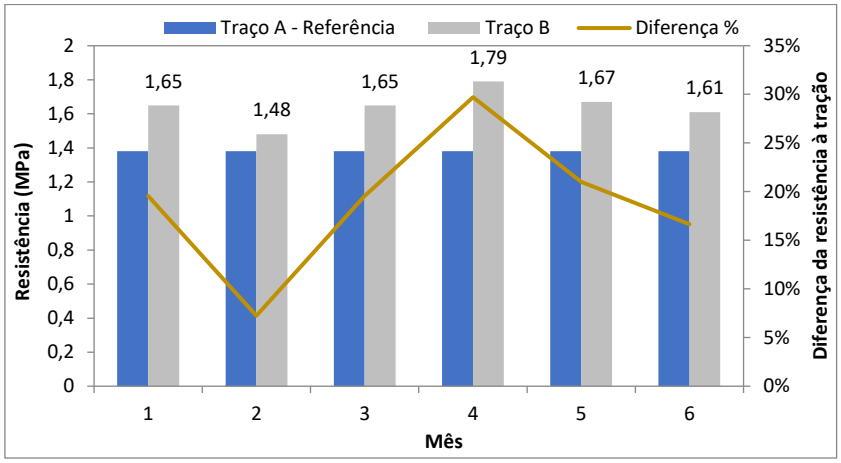
Figura 11 – Resultados dos ensaios de potencial a aderência e potencial aderência superficial.



Fonte: Os autores (2025).

O Traço B apresentado na Figura 12 teve um desempenho superior, com a tração na flexão variando de 1,48 MPa a 1,79 MPa, com um aumento médio de resistência de 19%, sugerindo que ele pode oferecer um desempenho mais robusto em condições de esforços mecânicos.

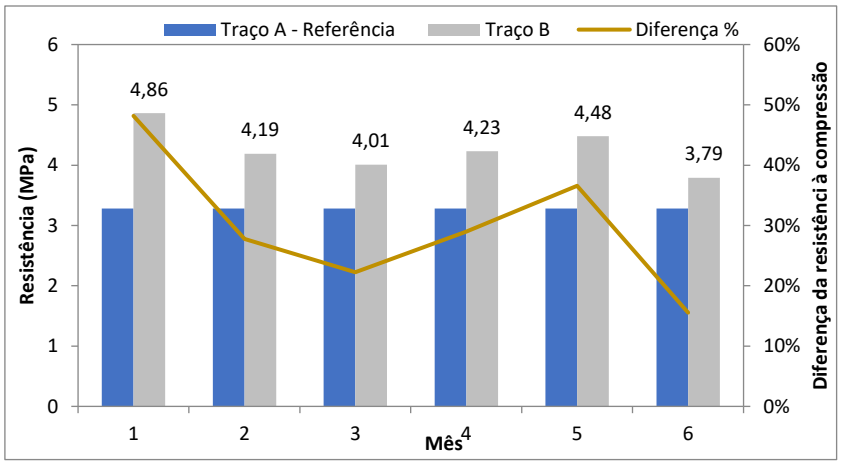
Figura 12 – Resultados dos ensaios de tração na flexão.



Fonte: Os autores (2025).

Os resultados de compressão, apresentados na Figura 13, indicam que o Traço B apresenta uma resistência significativamente superior em relação ao Traço A, com valores variando de 4,19 MPa a 4,86 MPa. A diferença percentual entre os dois traços varia de 22% a 48%, evidenciando um melhor do Traço B.

Figura 13 – Resultados dos ensaios de compressão.



Fonte: Os autores (2025).

Os resultados de módulo de elasticidade, representados na Figura 14, mostram que o Traço B tem um desempenho superior ao Traço A em todos os meses analisados, com variações de 7% a 13% de diferença. O Traço B tem uma variação de 9,00 GPa a 9,64 GPa, enquanto o Traço A tem um módulo de deformação de 8,55 GPa. Esses resultados indicam que o Traço B possui um módulo de elasticidade mais elevado, o que sugere uma maior rigidez e capacidade de deformação elástica, oferecendo maior estabilidade e resistência a deformações sob carga.

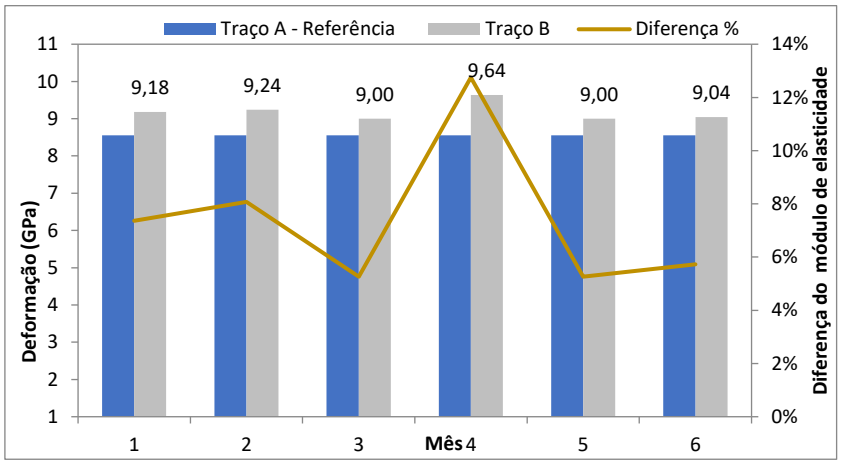
No entanto, é importante observar que um alto módulo de elasticidade pode ter desvantagens em determinadas condições. Materiais com módulos de elasticidade elevados tem menos capacidade de absorver impactos e são mais propensos a fissuração quando submetidos a esforços. A ABNT NBR 13281-1:2023 [11], classifica o módulo de elasticidadade das argamassas de revestimento de acordo com sua rigidez e em diferentes faixas de desempenho, conforme mostra na Tabela 5. Embora o Traço B apresente resultados superiores, sua classificação, conforme estabelecido pela norma, permanece a mesma do Traço A, ou seja, Classe E3.

Tabela 5 – Proporções dos traços utilizados para realização dos ensaios.

Classe	Módulo de elaticidade dinâmico (Ed) MPa
E1	12 000 < Ed ≤ 14 000
E2	9 500 < Ed ≤ 12 000
E3	7 000 < Ed ≤ 9 500
E4	Ed ≤ 7 000

Fonte: ABNT NBR 13281-1:2023

Figura 14 – Gráfico dos resultados de ensaios de módulo de elasticidade.



Fonte: Os autores (2025).

CONCLUSÃO

O estudo realizado demonstrou que a utilização de água reciclada proveniente da lavagem de caminhões betoneiras na produção de argamassas de hidratação controlada pode ser uma estratégia eficaz para promover a sustentabilidade na construção civil, sem comprometer o desempenho técnico dos materiais. No que diz respeito às propriedades da argamassa no estado fresco, como índice de consistência plástica e teor de ar incorporado, não foram observados interferências significativas, devido à substituição da água potável por água reciclada, para a retenção de água foi identificado um impacto possivelmente relacionado às propriedades físico-químicas da água reciclada, este fator é fundamental para o desempenho da argamassa, pois é necessário que uma quantidade água seja mantida durante o processo de cura, permitindo que os aglomerantes como o cimento se hidratem, resultando em maior resistência mecânica e maior durabilidade. Nos resultados obtidos para o estado endurecido,

a substituição de água potável por água reciclada resultou em benefícios significativos, além de manter a qualidade das argamassas em termos de propriedades físicas e mecânicas. Os testes realizados indicaram que as argamassas produzidas com água reciclada apresentaram resistência superior, sugerindo que o uso de água reciclada não só contribui para a preservação dos recursos hídricos, mas também oferece melhorias nas características do produto final.

Além disso, no que tange à economia de água, ao considerar uma produção mensal de 5.000 metros cúbicos de argamassa, registra-se uma redução de consumo de 900.000 litros de água. Esse montante corresponde a 80% do volume de água utilizado na produção de argamassa com hidratação controlada, sendo os 20% remanescentes destinados à reposição de água limpa necessária para o funcionamento do sistema.

Essa economia de água pode ser um benefício considerável, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. Dessa forma, a prática de reutilização de água, quando devidamente tratada, representa uma solução vantajosa para a construção civil, alinhando sustentabilidade, economia de recursos e eficiência técnica. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se realizar uma análise detalhada para avaliar a influência da utilização de água reciclada na argamassa de hidratação controlada, especificamente no tempo de início de pega e no tempo de puxamento, a fim de determinar a melhor janela de utilização.

REFERÊNCIAS

[1] Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. **N° 12.305.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03//_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: jan. 2025.

[2] SEALEY, B.J; PHILLIPS, P.S; HILL, G.J. Waste management issues for the UK ready-mixed concrete industry. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 32, 2001, 321-331 p.

[3] TSIMAS, S.; ZERVAKI, M. Reuse of waste water from ready-mixed concrete plants. Management of Environmental. Quality: **An International Journal**. Vol. 22, n. 1, 2011, 7-17 p.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **15900-1**: Água para assentamento do concreto Parte 1: Requisitos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

[5] PESSOA, J. D. **Avaliação de um sistema híbrido composto por um hidrociclone e membranas cerâmicas/polimérica para tratamento de águas residuárias.** 2019. Tese (Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Campina Grande-PB.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: 2018.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **7175**: Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro: 2003.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro: 2022.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR **16916:** Agregado miúdo –

Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: 2021.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR **16973**: Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro: 2021.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR **13281-1**: Argamassa inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios – Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro: 2023.