

Avaliação do comportamento evolutivo da retração do concreto aos 28 dias - ênfase ao piso industrial de concreto no Brasil

JUTS – Journal of Urban Technology and Sustainability

ISSN: 2675-780X

DOI: <https://doi.org/10.47842/juts.v7i1.70>

Editor Chefe: Guilherme Leite Gaudereto

Avaliação: duplo-anônima por pares

Recebido: 28/09/2024

Aceito: 06/12/2024

¹Igor Donisete^{ID}, ²Renan Salvador^{ID}

¹LPE Engenharia, São Paulo – Brasil, igor@lpe.eng.br

²PROLAB - Engenharia de Construção, São Paulo – Brasil, renan.salvador@prolab.eng.br

RESUMO

Este artigo tem o objetivo de apresentar a viabilidade da previsão da evolução da retração hidráulica do concreto em idades inferiores aos 56 dias, visando a uma diminuição dos prazos de análise dos ensaios. Com isso, espera-se que este estudo seja útil para minimizar deficiências de planejamento, gerar impactos econômicos positivos, bem como preencher uma lacuna técnica desta disciplina. A pesquisa se insere no contexto de estudos sobre a durabilidade de estruturas em concreto, com foco na retração como um dos principais mecanismos que potencializam patologias em pisos industriais. A literatura disponível ressalta a importância da avaliação da retração em diferentes idades do concreto, mas carece de informações robustas sobre a otimização dos prazos para alcançar resultados confiáveis. Utilizou-se um banco de dados robusto com mais de 200 ensaios de retração realizados entre os anos de 2020 e 2023, abrangendo diferentes regiões do Brasil. Os dados foram analisados comparando os resultados obtidos em diferentes idades (14, 28 e 56 dias), quando ainda se considerou variáveis como a relação água/cimento, o tipo de cimento e o uso de aditivos compensadores de retração. Concluiu-se a viabilidade de otimização do prazo de avaliação dos resultados em 50%, permitindo a adoção da idade de 28 dias como parâmetro de projeto. Em suma, o estudo destaca a importância de inovações metodológicas objetivando a eficiência construtiva e sustentável. O estudo é pioneiro ao propor uma metodologia para prever a retração do concreto em idades inferiores a 56 dias, permitindo a proposição de um novo parâmetro para avaliação. O valor da pesquisa está em sua contribuição para a otimização dos processos construtivos e para a melhoria da qualidade dos pisos industriais de concreto.

Palavras-chave: Piso industrial de concreto; Retração; Aditivo compensador de retração; Sustentabilidade.

Evaluation of the evolutionary behavior of concrete shrinkage at 28 days - focus on slabs on grade in Brazil

This article aims to present the feasibility of predicting the evolutionary behavior of hydraulic concrete shrinkage at ages below 56 days, with the goal of reducing the analysis timelines for testing. Thus, it is expected that this study will be useful in minimizing planning failures, generating positive economic impacts, and addressing a technical gap in this field. The research is situated within the context of studies on the durability of concrete structures, focusing on shrinkage as one of the main mechanisms that exacerbate pathologies in slabs on grade. The available literature highlights the importance of assessing shrinkage at different ages of concrete but lacks robust information on optimizing timelines for obtaining reliable results. A robust database was utilized, containing over 200 shrinkage tests conducted between 2020 and 2023, covering different regions of Brazil. The data were analyzed by comparing the results obtained at different ages (14, 28, and 56 days), while also considering variables such as the water/cement ratio, the type of cement, and the use of shrinkage-compensating admixtures. It was concluded that the feasibility of optimizing the evaluation period for the results by 50% allows for the adoption of 28 days as a design parameter. In summary, the study highlights the importance of methodological innovations aimed at constructive and sustainable efficiency. The study is pioneering in proposing a methodology to predict concrete shrinkage at ages below 56 days, allowing for the introduction of a new parameter for evaluation. The value of the research lies in its contribution to optimizing construction processes and improving the quality of slabs on grade.

Keywords: Slabs on grade; Shrinkage; Shrinkage compensating admixture; Sustainability.



1. INTRODUÇÃO

O Historicamente, grande parte dos problemas relacionados aos pisos industriais de concreto são classificados como fissuras, trincas, juntas danificadas (empenadas e/ou com maiores aberturas) e irregularidades superficiais devido a variações volumétricas do concreto (Mehta; Monteiro, 2013). Comportamentos que usualmente estão relacionados aos efeitos da retração do concreto.

Por vezes, para estruturas de concreto em geral, não é comum dar ênfase aos comportamentos de variações volumétricas, principalmente para elementos que não possuem exigências estéticas. Entretanto, para o piso de concreto, o estudo e controle dos efeitos da retração são fundamentais, podendo significar o sucesso ou fracasso da obra (Rodrigues, 2006).

De acordo com a ANAPRE (2008), aproximadamente 65% dos 35 milhões de m² de pisos de concreto produzidos em 2008 apresentaram problemas, relacionados a falhas de execução ou de projeto. Considerando a pesquisa mais recente da ANAPRE (2022), que indica uma área construída de cerca de 43 milhões de m² de pisos em 2021, e mantendo a taxa de ocorrência de problemas, é possível entender o potencial volume de condições patológicas que os pisos podem apresentar.

A indústria brasileira tem uma aversão cultural às fissuras nos pisos de concreto, mesmo que sejam pequenas e não afetem a operação. Por isso, a retração do concreto é uma consideração essencial para os projetistas, o que gera uma grande demanda por novas tecnologias. Em virtude dessa necessidade, em 2020 criou-se a primeira norma nacional para medir a variação dimensional do concreto a NBR 16.834 da ABNT, representando um avanço significativo no controle de qualidade das obras no Brasil (ABNT, 2020).

Diversos fatores contribuíram simultaneamente para essa evolução, destacando-se a utilização de placas de maior dimensão, a crescente aplicação de pisos de concreto com reforços fibrosos e a redução na disponibilidade de agregados miúdos de alta qualidade, especialmente as areias de origem natural, que possuem por características próprias um maior módulo de finura. Esses elementos exercem uma influência significativa nas propriedades reológicas do concreto, resultando em uma maior necessidade de água em sua composição.

A revitalização da norma brasileira de Cimento Portland, que ocorreu em 2018, a NBR 16.697 da ABNT, substituiu diversas normas relacionadas, pode ter contribuído para esse cenário ao permitir acréscimos significativos de adições ao cimento (ABNT, 2018). Naturalmente, com essas mudanças, foi percebido um crescimento nos consumos de cimento e, consequentemente, do volume de água utilizado, visto a necessidade de adequar o comportamento do concreto devido a maior quantidade de finos.

Esses eventos aconteceram em um período em que o setor ainda não combinava o uso de aditivos redutores de água dos tipos 1 e 2 (conforme a NBR 11.768 da ABNT, 2019) e não estava plenamente ciente dos riscos ligados aos elevados índices de retração no concreto. Essa prática resultou em um aumento no consumo de água e cimento nas formulações de concreto destinadas a pisos industriais, intensificando a retração, especialmente a de origem hidráulica.

Observou-se, de forma natural, um aumento nas manifestações patológicas associadas aos valores mais críticos da retração do concreto, desse modo, como resposta, o mercado se mobilizou, demonstrando maior comprometimento com a minimização da retração e incentivando a busca por soluções, como a atualização das normas brasileiras e a incorporação de aditivos compensadores de retração.

Recentemente, o mercado brasileiro tem mostrado avanços significativos no controle tecnológico das obras, refletidos pelo crescimento na realização de ensaios e na ampliação da rede de laboratórios. No entanto, persiste um desafio relacionado ao prazo para obtenção dos resultados finais, que, conforme as diretrizes normativas, são liberados apenas com 56 dias de idade. Esse intervalo pode ser problemático, já que muitas obras se encontram em estágio avançado ou até concluídas, dificultando a implementação de ajustes de maneira ágil, tanto técnica quanto economicamente.

Desse modo, objetivando uma redução dos prazos avaliativos e, consequentemente, proporcionar maior agilidade na definição de soluções, além de minimizar as falhas de planejamento na etapa de obra, foi conduzida uma pesquisa sobre o comportamento e a evolução da retração do concreto no Brasil. O estudo buscou prever os padrões de comportamento do material em diferentes idades, permitindo desenvolver uma visão ampla sobre o assunto.

2. MÉTODO

2.1. Banco de dados

A pesquisa contou com uma base de dados abrangente, envolvendo a análise de mais de 200 ensaios de retração por secagem, realizados de acordo com a metodologia apresentada na norma ABNT NBR 16.834 (ABNT, 2020). Os ensaios foram realizados em todas as regiões do Brasil, entre 2020 e 2023, abrangendo concretos com diferentes composições, como agregados, consumos de água, tipos de cimentos, e adições (estruturais ou não), além de variantes considerando a presença ou não de aditivos compensadores de retração. A Tabela 1 apresenta a distribuição dos ensaios avaliados por região do país.

Tabela 1 – Representação dos ensaios avaliados para cada região do Brasil

Região	Parcela
Norte	3%
Nordeste	14%
Centro-Oeste	8%
Sudeste	68%
Sul	7%

Fonte: Autor, 2024.

A compreensão dos relatórios, especificamente dos resultados da variação dimensional do concreto, parte dos valores comparativos dos corpos de prova ensaiados, entre a leitura inicial (L0), realizada logo após a desforma, e as demais (Lidade) realizadas normalmente com 1, 2, 7, 14, 28 e 56 dias. Os valores positivos indicam expansão e os valores negativos indicam retração.

A variação dimensional considerada é a média aritmética dos resultados individuais obtidos em cada uma das idades de leitura, realizadas em três corpos de prova por amostra.

2.1. Análise dos dados

Os resultados foram analisados na forma de tabelas e gráficos dinâmicos, com ênfase em dois grupos, a fim de compreender a relação da variação dimensional entre idades: 14 - 56 dias e 28 - 56 dias. Esses intervalos de idade foram escolhidos devido à observação de sensibilidade importante nos resultados inferiores aos 14 dias, fato ocasionado em função da alteração das condições de armazenamento dos corpos de prova, que são retirados da câmara úmida, mantidos por 7 dias, e então colocados em câmara seca, permanecendo até o término do ensaio.

Essas condições alteram o comportamento das leituras, que, frequentemente, por saírem de uma condição expansiva para retrativa, nota-se evoluções não correlacionais.

Para determinar a razão entre a variação dimensional e as idades dos ensaios, realizou-se a verificação por meio das equações 1 e 2, que propõem a divisão do valor do comprimento do corpo de prova com idades referenciais de 14 ou 28 dias, pelo valor do comprimento da peça aos 56 dias, com apresentação do resultado em percentual.

$$\text{Razão } l_{14}/l_{56} = \frac{100 \times l_{14}}{l_{56}} \quad (1)$$

$$\text{Razão } l_{28}/l_{56} = \frac{100 \times l_{28}}{l_{56}} \quad (2)$$

Os ensaios de retração, por questões normativas, devem imperativamente apresentar a dosagem do concreto ensaiado, contribuindo com dados substanciais sobre o consumo e tipo de cimento, consumo de água, tipo e quantidade de agregados miúdos e graúdos, adições estruturais, aditivos compensadores de retração e demais aditivos.

Ao compilar todos os dados apresentados, objetivando determinar grupos avaliativos, notou-se baixas correlações sequenciais com boa parte dos dados, com exceção do cimento, da água e dos aditivos compensadores de retração.

Optou-se então em selecionar como dado de entrada principal a relação água/cimento (a/c), que é intrínseca ao consumo de água e de cimento do concreto, o que sugere a relevância direta para os resultados de retração, visto que envolve os dois dados de maior influência, estando em consonância com o discutido e explorado amplamente na literatura.

Por fim, as análises foram divididas em dois grupos, considerando como variável a presença ou ausência de aditivos compensadores de retração. Essa abordagem permitiu uma observação dos dados mais focada e minuciosa, possibilitando uma maior confiança na exploração do comportamento evolutivo da retração, sem possíveis contaminações de resultados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao avaliar os dados, notou-se variações significativas dos resultados entre a razão 14 - 56 dias (figura 1), comportamento similar ao que já era esperado para idades inferiores aos 14 dias, impossibilitando identificar correlações estatisticamente relevantes, dessa maneira, esse grupo foi desconsiderado. Por outro lado, a correlação entre as idades de 28 e 56 dias revelou correlações significativas, possibilitando a obtenção de dados conclusivos.

Com a análise estatística da razão 28 - 56 dias, separando-a nos dois grupos previamente considerados, obteve-se o entendimento de que a retração de concretos sem aditivo compensador de retração aos 28 dias equivale a aproximadamente 75% da retração obtida aos 56 dias (Figura 2). Por outro lado, no caso de concretos com utilização de aditivo compensador de retração, a relação é cerca de 60% dos resultados obtidos aos 56 dias (Figura 3).

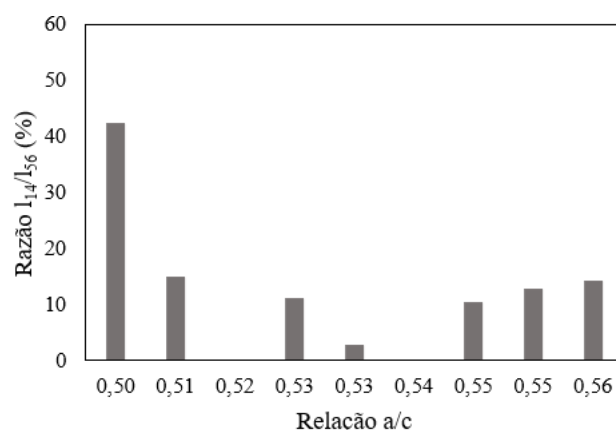


Figura 1: Resultados entre razão 14 - 56 dias

Fonte: Autor, 2024.

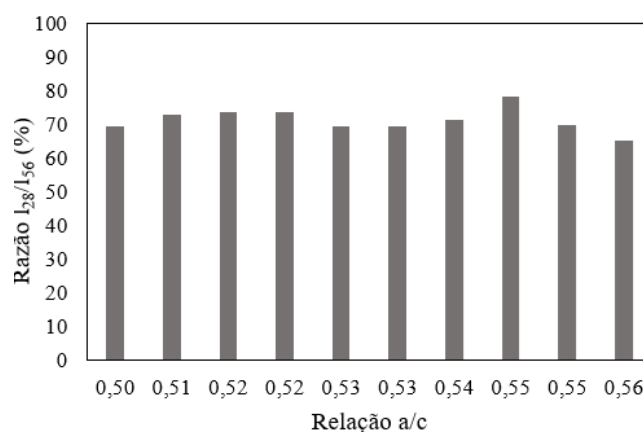


Figura 2: Resultados entre razão 28 – 56 dias para concretos sem o uso de aditivo compensador de retração

Fonte: Autor, 2024.

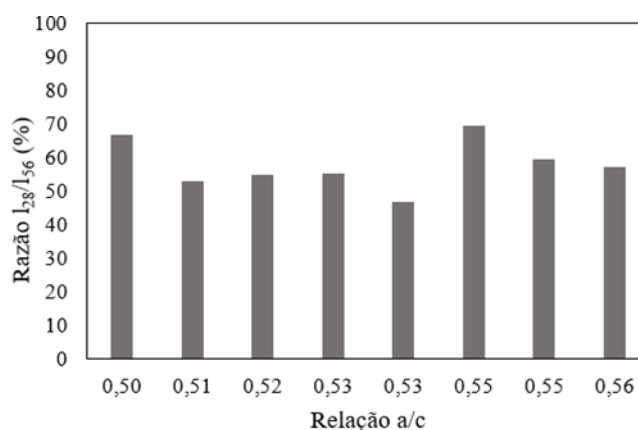


Figura 3: Resultados entre razão 28 – 56 dias para concretos com o uso de aditivo compensador de retração

Fonte: Autor, 2024.

É válido pontuar que para relações a/c superiores a 0,55, essas relações tendem a se destoar da média verificada, principalmente em concretos sem o uso de aditivo compensador de retração. Todavia, ao considerar que relações a/c superiores a 0,55 não atendem parcela significativa dos ambientes em que um piso industrial pode ser submetido, segundo as classes de agressividades apresentadas pela norma NBR 6.118 da ABNT, compreende-se que a adoção das correlações encontradas atende de forma abrangente as necessidades desta solução (ABNT, 2023).

Assim, ao apresentar de forma concreta os resultados da pesquisa, determinou-se que a retração esperada aos 28 dias para concretos sem aditivos compensadores é de 330 $\mu\text{m/m}$. Já para concretos que utilizam aditivos compensadores, a retração prevista é de 190 $\mu\text{m/m}$ no mesmo período.

Houve outros fatores fundamentados em decorrência deste trabalho, que podem servir de inspiração ou contribuir para pesquisas futuras, como a observação das influências diretas dos consumos de cimento e de água, com maiores valores de retração do concreto. Ainda, notou-se o impacto dos tipos de cimento com o comportamento de retração.

Em concretos com consumos de água inferiores a 195 litros/ m^3 , verificam-se retrações entre 450 e 600 $\mu\text{m/m}$ aos 56 dias, enquanto para consumos superiores observam-se retrações da ordem de 600 a 750 $\mu\text{m/m}$, valores consideravelmente elevados para pisos de concreto, portanto, não se recomenda utilizar concretos com consumos superiores a 195 litros/ m^3 , sem que haja o uso de aditivos compensadores de retração. A Figura 4 ilustra o verificado.

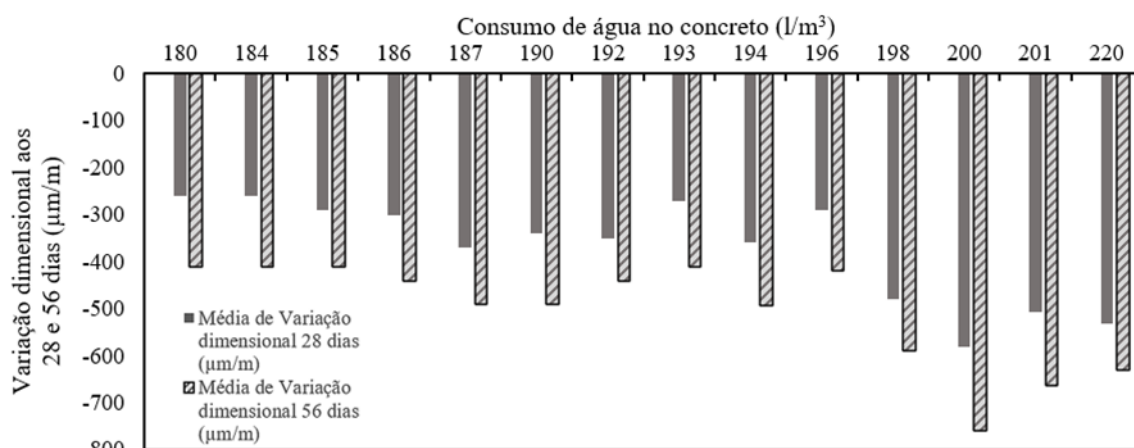


Figura 4: Resultados médios de variação dimensional do concreto nas idades de 28 e 56 dias
Fonte: Autor, 2024.

Concretos com consumos de cimento superiores a 400 kg/m^3 mostraram valores mais elevados de retração, relativamente maiores que 450 $\mu\text{m/m}$. Para se obter níveis mais adequados de retração considerando o uso em pisos industriais de concreto, que são entre 350 e 450 $\mu\text{m/m}$ aos 56 dias, recomenda-se a utilização de consumos de cimento inferiores a 350 kg/m^3 , aliado ao consumo de água inferior a 195 litros/ m^3 . Em caso de um ou ambos os consumos serem superiores ao indicado, recomenda-se avaliar o uso de aditivo compensador de retração, com consumo inicial de 12,5 kg/m^3 .

Existe influência na retração do concreto, de acordo com os diferentes tipos de cimento, sendo identificada a seguinte ordem decrescente, do mais influente ao menor: CPIII, CP V ARI, CP II E e CP II F. Portanto, visando a obter retrações mais baixas, sugere-se a utilização preferencial de cimentos do tipo CP II F e CP II E.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de impulsionar o desenvolvimento do mercado de pisos industriais de concreto, o estudo explorou o comportamento evolutivo da retração do concreto no território brasileiro,

considerando-se diversas variáveis que influenciam nesse fenômeno, as quais podem ser cruciais na durabilidade desse tipo de estrutura.

Por meio de análises detalhadas, foi possível constatar uma redução significativa no prazo de realização do ensaio de retração do concreto, pela identificação de correlação estatisticamente satisfatória dos resultados aos 28 dias, com os obtidos aos 56 dias, isso representa uma redução de 50% do prazo para se obter resultados avaliativos.

Ao agilizar a obtenção de resultados assertivos, não apenas otimiza os processos de construção do piso industrial, mas certamente proporciona mais confiabilidade e redução de custos para os envolvidos, tendo em vista que é possível tomar decisões mais rápidas e precisas durante o processo construtivo, garantindo qualidade das estruturas e prolongando da sua vida útil. De modo geral, ao se trabalhar com especificações aos 28 dias, permite-se que a obra tenha um melhor planejamento, reduzindo os riscos de se iniciar uma obra sem ter o real conhecimento da retração do concreto, bem como entender a necessidade de se utilizar aditivos compensadores, ou então, ajustar as suas dosagens para quantidades mais adequadas e assertivas.

Ainda, é possível considerar implicações importantes para a sustentabilidade no Brasil, tendo em vista que a solução apontada neste artigo compreende o conceito de algumas metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU; principalmente a ODS 12, relacionada ao consumo e à produção sustentáveis, visto que, ao reduzirmos os prazos avaliativos, é possível obter resultados conclusivos em menor tempo, reduzindo os riscos de patologias nas estruturas, o que naturalmente minimiza o uso de recursos com manutenções e/ou reconstruções. Ainda, permite a redução de consumos mais elevados de aditivos compensadores de retração em fases iniciais de construções.

Por fim, é importante ressaltar que essa iniciativa está alinhada com as práticas internacionais, amplamente aplicadas nos EUA, contribuindo para o fortalecimento da abordagem técnica sobre o assunto.

REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ABNT. **ABNT NBR 11768**: aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Parte 1: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT. **ABNT NBR 16834**: concreto — determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT. **ABNT NBR 16697**: Cimento Portland: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ANAPRE. **Mercado de pisos industriais no Brasil**: cenário e perspectivas do segmento. São Paulo: ANAPRE, 2022.

ANAPRE. **Palestra no Concrete Congress, South America**. São Paulo: ANAPRE, 2008.

ASTM. **ASTM C 157 M**: Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic - Cement Mortar and Concrete. West Conshohocken: ASTM International, 2017.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete**: microstructure, properties, and materials. 4. ed. New York: McGraw-Hill Professional Publishing, 2013.

ONU. **Objetivo de Desarrollo Sostenible 12**: Consumo y Producción Responsables. Ginebra, 2024. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>. Acesso em: 16 abr. 2024.

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Projetos e critérios executivos de pavimentos industriais de concreto armado**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, 2006.

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Pisos industriais com concreto de retração compensada**. São Paulo: Editora J. J. Carol, 2019.