DETERMINAÇÃO DO TEMPO ZERO PELO MÉTODO DA VELOCIDADE DO PULSO ULTRASSÔNICO COMO BALIZADOR PARA O INÍCIO DA AFERIÇÃO DA RETRAÇÃO AUTÓGENA

Vítor Rossi Leoratto (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Fernando Aparecido Costa Barizão, Silvia Paula Sossai Altoe (Orientador).
E-mail: spsaltoe@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Engenharia Civil/ Construção Civil.

Palavras-chave: Autodessecação; UHPC; Retração.

RESUMO

Este estudo avaliou a velocidade de pulso ultrassônico (VPU) como balizador do tempo zero (t_0) da retração autógena em UHPC. O t_0 foi identificado em 10,06 h, associado ao início do aumento consistente da VPU e à formação do esqueleto sólido. A retração calculada a partir desse critério foi superior à obtida pelos tubos corrugados, indicando antecipação parcial do início das deformações. Apesar disso, a VPU mostrou-se uma técnica promissora por acompanhar diretamente a evolução da rigidez da matriz cimentícia.

1. INTRODUÇÃO

O Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC) apresenta elevada resistência mecânica, baixa permeabilidade e microestrutura densa, características associadas principalmente ao elevado teor de ligantes e à baixa relação água/materiais cimentícios. Entretanto, essas condições também favorecem o desenvolvimento da retração autógena nas primeiras idades, podendo contribuir para a formação de fissuras e comprometer o desempenho do material (XIE et al., 2018). Nesse contexto, a velocidade de pulso ultrassônico (VPU) constitui uma técnica potencial para acompanhar a evolução da matriz cimentícia, uma vez que seu aumento está relacionado à formação e ao desenvolvimento da estrutura sólida durante a hidratação. Em UHPC, a evolução da VPU tem sido associada às transições de pega e ao desenvolvimento das propriedades mecânicas nas primeiras idades (YOO; SHIN; YOON, 2016). Assim, este trabalho avalia a aplicação da VPU como balizador do tempo zero (t_o) para a análise da retração autógena em UHPC.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

A composição do UHPC utilizada no estudo é apresentada na Tabela 1. O procedimento de preparo da mistura seguiu a metodologia descrita por Barizão (2024).

Mistura	Cimento (kg/m³)	Sílica ativa (kg/m³)	Pó de quartzo (kg/m³)	Areia industrial (kg/m³)	SP (%)	a/c
REF	871,56	214,40	68,27	958,72	3,0	0,24

Tabela 1. Proporções da mistura de UHPC (BARIZÃO, 2024)

2.2 Métodos

O monitoramento por velocidade de pulso ultrassônico (VPU) foi realizado diretamente na matriz de UHPC, permitindo acompanhar a evolução da rigidez e da conectividade da matriz cimentícia nas primeiras idades. A variação da VPU ao longo do tempo foi utilizada como parâmetro balizador para a definição do (t_o) para início da aferição da retração autógena.

2.2.1 Determinação do tempo zero por velocidade de pulso ultrassônico

A determinação do tempo zero (t_o) por velocidade de pulso ultrassônico (VPU) foi baseada na metodologia proposta por Silva (2007), utilizando a ABNT NBR 8802:2013 como referência para o ensaio ultrassônico. O monitoramento foi realizado em corpos de prova cúbicos de 100 × 100 × 100 mm, com transdutores de 54 kHz, utilizando o equipamento Pundit Lab e o software Pundit Link, ambos da PROCEQ® (Figura 1). As leituras foram realizadas em intervalos de 2 min, durante 24 h. O t_o foi associado ao início do aumento consistente da VPU, correspondente à formação do esqueleto rígido e à transição da suspensão para o estado sólido.



Figura 1. Configuração experimental para determinação do tempo zero por VPU

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Determinação de tempo zero (t_0) por velocidade de pulso ultrassônico

A evolução da velocidade de pulso ultrassônico (VPU) ao longo das primeiras idades é apresentada na Figura 2.

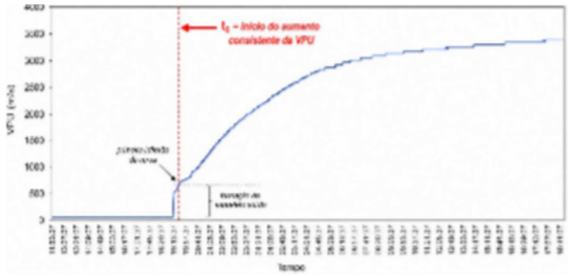


Figura 2. Determinação do tempo zero (t_o) por velocidade de pulso ultrassônico

Inicialmente, observam-se valores reduzidos, associados à ausência de uma estrutura sólida contínua capaz de transmitir adequadamente as ondas ultrassônicas. Com o avanço da hidratação, ocorre um aumento progressivo da VPU, relacionado à formação e ao enrijecimento do esqueleto sólido da matriz cimentícia. O tempo zero (t_o) foi balizado pelo início do aumento consistente da VPU, correspondente à primeira inflexão da curva e ao estabelecimento de uma rede sólida, determinado em 10,06 h após o início das aferições. A partir desse ponto, o crescimento contínuo da velocidade indica o avanço do enrijecimento e da consolidação da microestrutura do UHPC. Esse critério permite relacionar a evolução ultrassônica com o instante de transição estrutural do material, utilizado como referência para a análise da retração autógena (MORTADA et al., 2022)

3.2 Evolução da retração autógena considerando o t_o determinado pelo VPU

Os resultados obtidos a partir do critério de determinação do t_0 foram comparados com aqueles determinados pelo método dos tubos corrugados, utilizado como referência para avaliação da evolução da retração autógena.

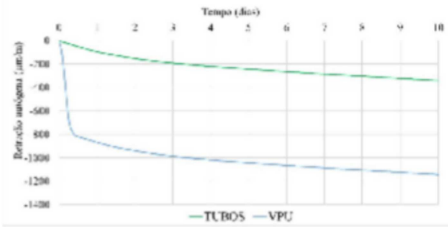


Figura 3. Curva de retração autógena com t_o definido pelo método de VPU

A utilização da VPU como balizador do tempo zero (t_o) apresentou comportamento mais coerente com a evolução da rigidez da matriz cimentícia, uma vez que o aumento da velocidade está associado à formação progressiva do esqueleto sólido. Entretanto, os valores de retração ainda foram superiores aos obtidos pelo método dos tubos corrugados, indicando que o critério adotado pela VPU antecipou parcialmente o início da contabilização das deformações. Segundo Huang e Ye (2017), a VPU é sensível ao desenvolvimento da estrutura sólida, sendo uma ferramenta promissora para a definição do t_o em matrizes de alto desempenho.

CONCLUSÕES

A VPU permitiu identificar a evolução do esqueleto sólido do UHPC e estabelecer o t_0 em 10,06 h. Entretanto, sua utilização resultou em retrações superiores às obtidas pelos tubos corrugados, indicando antecipação parcial do tempo zero. Assim, a VPU mostrou potencial como método complementar para definição do t_0, embora o critério de análise da inflexão necessite de calibração em relação à deformação autógena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação Araucária pelo apoio financeiro à realização deste projeto.

REFERÊNCIAS

HUANG, H.; YE, G. Examining the “time-zero” of autogenous shrinkage in high/ultra-high performance cement pastes. Cement and Concrete Research, v. 97, p. 107–114, 2017. DOI: 10.1016/j.cemconres.2017.03.010

XIE, T.; FANG, C.; MOHAMAD ALI, M. S.; VISINTIN, P. Characterizations of autogenous and drying shrinkage of ultra-high performance concrete (UHPC): an experimental study. *Cement and Concrete Composites*, v. 91, p. 156-173, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.05.009

YOO, D. Y.; SHIN, H. O.; YOON, Y. S. Ultrasonic monitoring of setting and strength development of ultra-high-performance concrete. *Materials*, v. 9, n. 4, art. 294, 2016. DOI: https://doi.org/10.3390/ma9040294

MORTADA, Youssef; MOHAMMAD, Malek; MANSOOR, Bilal; GRASLEY, Zachary; MASAD, Eyad. Development of test methods to evaluate the printability of concrete materials for additive manufacturing. *Materials*, v. 15, n. 18, art. DOI: https://doi.org/10.3390/ma15186486

SILVA, Eugênia Fonseca da. Variações dimensionais em concretos de alto desempenho contendo aditivo redutor de retração. 2007. 331 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

BARIZÃO, Fernando Aparecido Costa. O impacto do polímero superabsorvente na determinação da retração autógena e nas propriedades físicas e mecânicas do concreto de ultra alto desempenho. 2024. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2024