

Control de la resistencia a compresión del hormigón: un análisis comparativo entre los procedimientos propuestos por la ABNT y ACI

R. Boni^{a*}, R. Silva^a y P. Helene^{a,b}

^aPhD Engenharia, CP 01303-060, São Paulo, Brasil, ricardo.boni@concretophd.com.br,
rafael.silva@concretophd.com.br

^bEscola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), CP 05508-010, São Paulo, Brasil,
paulo.helene@concretophd.com.br

Recibido: 10 de diciembre de 2025

Aceptado: 20 de enero de 2026

RESUMEN

En Brasil, actualmente, el control de la resistencia a compresión del hormigón se realiza según la norma ABNT NBR 12655:2022, que establece los tipos de control, los límites máximos para la formación de los lotes y los criterios de muestreo. Sin embargo, cuando este control se realiza según la norma estadounidense, los resultados obtenidos no coinciden. Las diferencias se justifican por el hecho de que el procedimiento de muestreo y los criterios de aceptación son distintos del modelo adoptado por la ABNT NBR 12655. Este artículo presenta los resultados obtenidos durante el control de la resistencia a compresión del hormigón realizado según las normas brasileñas, así como un análisis comparativo con el control propuesto por la norma ACI 318-25. Para este artículo, se realizó un estudio utilizando una mezcla de hormigón con $f_{ck} = 50$ MPa, producida durante 4 meses y aplicada a cabezales de fundación.

PALABRAS CLAVE: Hormigón, resistencia a compresión, control, variabilidad, ABNT NBR 12655:2022, ACI 318-25

ABSTRACT

In Brazil, concrete compressive strength testing is currently performed according to the ABNT NBR 12655:2022 standard, which establishes the types of testing, maximum limits for batch formation, and sampling criteria. However, when this testing is performed according to the American standard, the results obtained do not match. These differences are due to the fact that the sampling procedure and acceptance criteria are different from the model adopted by ABNT NBR 12655. This article presents the results obtained during concrete compressive strength testing performed according to Brazilian standards, as well as a comparative analysis with the testing proposed by the ACI 318-25 standard. For this study, a concrete mix with $f_{ck} = 50$ MPa, produced over 4 months and applied to foundation caps, was used.

KEYWORDS: Concrete, compressive strength, control, variability, ABNT NBR 12655:2022, ACI 318-25

*Autor de correspondencia

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC-BY-NC-SA 4.0).

Citar como: Boni, R., Silva, R., y Helene, P. (2026). Control de la resistencia a compresión del hormigón: un análisis comparativo entre los procedimientos propuestos por la ABNT y ACI. *Revista Hormigón*, 69, 17–25. <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s27189058/4tfgpp8kp>

1. Introducción

En Brasil, actualmente, el control de la resistencia a compresión del hormigón se realiza de acuerdo con las prescripciones de la norma ABNT NBR 12655:2022 “*Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*” [1] que presenta, en el subitem 6.2 “*Ensaio de resistência à compressão*”, los límites máximos para la formación de lotes de hormigón, los criterios de muestreo y los dos tipos de control tecnológico considerados: control estadístico por muestreo parcial y control por muestreo total.

En el control por muestreo parcial, se toman muestras aleatoriamente de diferentes lotes de hormigón. Para la determinación posterior de la $f_{ck,est}$ (resistencia efectiva según ACI), se requiere un número mínimo de especímenes (según los grupos y clases de resistencia del hormigón), y el valor se calcula mediante estimadores, que son expresiones matemáticas con base estadística. Estas expresiones consideran, en el caso de muestras con un número de especímenes entre $6 \leq n < 20$ la mitad de los resultados más bajos obtenidos y, para muestras con veinte o más especímenes ($n \geq 20$), la resistencia media (f_{cm}) y la desviación estándar de estos resultados, denominada s_d en la norma brasileña.

En Brasil, el control de muestreo parcial se utiliza comúnmente en fábricas de prefabricados de hormigón, como losas alveolares, vigas, columnas y durmientes. Esto se debe principalmente a la dinámica de producción y al elevado número de lotes involucrados, pues las hormigoneras son, en general, de volúmenes del orden de apenas 1 m^3 . Su uso es poco frecuente en aplicaciones de control de aceptación para estructuras de ingeniería especiales o edificios que reciben hormigón mezclado en grandes volúmenes, como es el caso de camiones hormigoneros con volúmenes de 8 m^3 a 10 m^3 .

En cuanto al control por muestreo total (100 %), se muestrean todos los lotes de hormigón y la resistencia característica estimada a compresión del hormigón ($f_{ck,est}$) se obtiene a partir del valor de la resistencia a compresión de la muestra de cada lote ($f_{c,hormigonada}$), ya que la muestra, en este caso del 100 %, se considera coincidente con la población. Este es un método de control ampliamente utilizado en Brasil en la construcción de edificios comerciales y residenciales de varios pisos desde la promulgación de la ABNT NBR 6118 en 1978.

El control de la resistencia a compresión del hormigón en estructuras de edificación y obras de ingeniería civil es parte integral de la introducción de la seguridad en el diseño estructural, y su verificación continua durante todo el proceso de construcción es esencial.

Este artículo presenta los resultados obtenidos durante el control de la resistencia a compresión del hormigón mediante muestreo total, de acuerdo con la norma ABNT NBR 12655:2022 [1] y ABNT NBR 6118:2023 [2], así como un análisis comparativo con el control propuesto por la norma estadounidense ACI 318-25 “*Building Code for Structural Concrete – Code Requirements and Commentary*” [3]. Para ello, se analizó, a modo de ejemplo, una mezcla de hormigón con $f_{ck} = 50 \text{ MPa}$, producida en una planta de dosificación durante un período de 4 meses y aplicada a los cabezales de fundación de un proyecto.

2. Contexto y premisas

2.1 Características del hormigón y particularidades de su producción

Con base en las especificaciones del proyecto y las condiciones del sitio, se preparó una dosificación de hormigón $f_{ck} = 50 \text{ MPa}$, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Dosificación de hormigón $f_{ck} = 50$ MPa, en masa, materiales secos, para 1 m³ de hormigón.

Ingredientes de la mezcla de hormigón	$f_{ck} = 50$ MPa
Cemento (CP III-40-RS)	418 kg
Sílice activo	22 kg
Agua	185 kg
Arena de cuarzo natural	437 kg
Piedra partida (dimensiones de 4,5 mm a 9,5 mm)	372 kg
Grava chancada (dimensiones de 9,5 mm a 19 mm)	930 kg
Aditivo reductor de agua tipo 1 – Retardador de fraguado – RA1-R – 1,0 % spc	4,18 kg
Aditivo reductor de permeabilidad – RP – 1,0 % spc	4,18 kg
Relación agua/ligante	0,42
Masa específica	2,372 kg/m ³

De acuerdo con la norma ABNT NBR 8953:2015 “*Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*” [4], el hormigón entregado en obra se clasifica como un hormigón de masa específica normal (C), con clase de resistencia C50 – Grupo I, clase de consistencia S100, hormigón bombeable y destinado a aplicaciones típicas de elementos estructurales de edificaciones.

De acuerdo con la Tabla 7.1 “*Correspondência entre classe de agressividade e a qualidade do concreto*” de la norma ABNT NBR 6118:2023 [2], para estructuras de hormigón armado (HA), el hormigón especificado en el proyecto atiende a todas las clases de agresividad ambiental de la norma (I, II, III y IV).

Además, cabe destacar que el hormigón especificado también cumple con todos los requisitos relacionados a las condiciones de exposición a soluciones acuosas agresivas establecidas en la Tabla 6 de la norma ABNT NBR 12655:2022 [1], siendo considerado altamente resistente a acciones mecánicas y a acciones ambientales agresivas.

En cuanto a los procedimientos de carga en planta de producción del hormigón, en el punto de carga se cargó la grava, arena, cemento, agua y aditivo multifuncional (RA1-R), y la

sílice activa se colocó en la cinta transportadora directamente sobre los agregados para asegurar una mejor homogeneización de la mezcla final, la cual se realizó en el tambor del camión hormigonero.

Tras la carga del hormigón, se añadió el aditivo reductor de permeabilidad (RP) al tanque de redosificación de la planta de dosificación. Esta adición se realizó por volumen, por un profesional capacitado, utilizando cubetas graduadas.

Es importante señalar que, una vez fuera de la planta de dosificación, no se permitía añadir agua al hormigón en ninguna circunstancia. Si era necesario corregir el asentamiento, se utilizaba un aditivo superplastificante (añadido, ocasionalmente, en la obra por un profesional capacitado, previa autorización del responsable, y únicamente para corregir la fluidez del hormigón fresco).

En este contexto, el hormigón se suministró siempre con la misma dosificación, desde la misma planta, durante un período de 4 meses. En total, con esta dosificación, se generaron más de 179 camiones hormigoneros, con una capacidad máxima de 8 m³ cada uno, lo que totalizó aproximadamente 1.432 m³ de hormigón, o un promedio de 358 m³ / mes.

2.2 Adopción de plan de control de la resistencia

El control de la resistencia a compresión del hormigón se realizó mediante muestreo total, respetando las prescripciones de la norma ABNT NBR 12655:2022 [1], por un laboratorio acreditado por el INMETRO perteneciente a la Rede Brasileira de Laboratorios de Ensaio (RBLE).

El plan de control de resistencia del hormigón adoptado durante todo el proceso productivo consistió en el moldeo de 4 (cuatro) probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura para cada uno de los camiones hormigoneros, siendo 1 (una) para ensayo de resistencia a compresión a los 7 días, 2 (dos) para los 28 días de edad y 1 (una) para la rotura a los 63 días.

Las probetas se moldearon y posteriormente (fueron desmoldadas entre las 24 y 36 h) se transportaron al laboratorio central de control tecnológico, ubicado aproximadamente a 20 km de la obra, para su curado y ensayo. Se almacenaron en una cámara húmeda, sus extremos se prepararon mediante rectificado y se ensayaron en prensas calibradas, de acuerdo con las normas ABNT NBR 5738:2015 “*Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*” [5] y ABNT NBR 5739:2018 “*Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*” [6].

2.3 Influencia de las operaciones de ensayo y control

Los resultados disponibles se analizaron, desde el punto de vista de la influencia de las operaciones de ensayo y control, según los criterios recomendados por el American Concrete Institute en el ACI-214R-11 “*Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete*” [7] y el Anexo B (informativo) de la norma ABNT NBR 5739:2018 [6]. Esta metodología consiste en calcular la desviación estándar y el coeficiente de variación debido a las operaciones de ensayo y control, con base

en los resultados de resistencia a compresión de probetas pares y su posterior comparación con los criterios de control sugeridos en el Capítulo 4 “*Analysis of Strength Data*” del ACI-214R-11 [7] que establece lo siguiente:

a) Cálculo de la desviación estándar de las operaciones de ensayo y control (1):

$$S_e = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{n \cdot d_2} \quad (1)$$

donde:

s_e : desviación estándar de las operaciones de ensayo en MPa;

n : número de especímenes considerados como compuestos de p probetas (nunca menos de 10 especímenes);

A : diferencia entre el resultado más alto y el más bajo de especímenes que representan la misma muestra;

d_2 : coeficiente que depende del número p de probetas representativas del mismo espécimen, según la Tabla 2.

b) Cálculo del coeficiente de variación o variabilidad de las operaciones de ensayo y control (2):

$$V_e = \left(\frac{s_e}{f_{cmj}} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

donde:

s_e : desviación estándar de las operaciones de ensayo en MPa (valor obtenido en el ítem a);

V_e : coeficiente de variación debido a las operaciones de prueba y control (%);

Tabla 2. Coeficientes d_2 para el cálculo de la desviación estándar de las operaciones de ensayo y control.

Número p de probetas	d_2
2 (dos)	1,128
3 (tres)	1,693
4 (cuatro)	2,059

f_{cmj} : promedio de todos los resultados utilizados, a los j días de edad, en MPa.

c) Determinación del Estándar de Control, según Tabla 3:

Considerando la diferencia en la resistencia a compresión entre las dos probetas pares rotas a los 28 días de edad, los resultados obtenidos a lo largo de todo el período de producción del hormigón indicaron una desviación estándar de las operaciones de ensayo y control (s_e) de 2,34 MPa y un coeficiente de variación debido a las operaciones de ensayo y control (V_e) del 4,3 %. Por lo tanto, de acuerdo con los límites recomendados por ACI 214R-11 [7], los resultados apuntaron a nivel de control BUENO.

Cabe señalar que este mismo tipo de análisis también es considerado por la norma ABNT NBR 5739:2018 [6], en su Anexo B (informativo) titulado “*Avaliação estatística de desempenho do ensaio*”.

3. Resultados

3.1 Presentación de resultados de resistencia a compresión de acuerdo con las normas ABNT

La resistencia a compresión de cada ejemplar se determinó después de la rotura de las probetas a los 28 días de edad, de acuerdo con las prescripciones de la norma ABNT NBR 5739:2018 [6], equivalente a la ASTM C 39 [8].

La Figura 1 presenta el gráfico de los valores individuales de resistencia a compresión del hormigón a los 28 días de edad, el histograma

y la distribución normal correspondiente. En este gráfico, el eje de abscisas muestra los ejemplares en orden cronológico, mientras que el eje de ordenadas indica los valores de resistencia a compresión de cada una. Estos valores corresponden a la resistencia más alta obtenida en la rotura de dos muestras "pares", según la norma ABNT NBR 12655:2022 [1].

El gráfico presenta 179 resultados de resistencia a compresión, obtenidos durante 4 meses. Estos resultados oscilaron entre 46,2 MPa y 68,8 MPa, con un promedio de 55,9 MPa y una desviación estándar de 4,1 MPa. Cinco (5) resultaron inferiores a la resistencia especificada en el diseño ($f_{ck} = 50$ MPa), es decir, aproximadamente el 2,8 % del total de camiones, siendo el valor más bajo obtenido equivalente a $0,92 * f_{ck}$.

Además, considerando el concepto de resistencia característica del hormigón descrito en el subítem 12.2 de la norma ABNT NBR 6118:2023 [2], el valor de resistencia a compresión de este hormigón, obtenido directamente de la población, es decir, obtenido del histograma, sería $f_{ck,5\%} = 50,9$ MPa. La resistencia característica de este hormigón, adaptada del criterio de muestreo parcial de la ABNT NBR 12655:2022 [1], sería $f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 * s_c = 49,1$ MPa, aunque, en este caso, se trata solo de una especulación matemática, ya que el criterio efectivo a utilizar debería ser el de muestreo total al 100 %.

3.2 Análisis comparativo entre los métodos de control propuestos por ABNT y ACI

Como se detalló previamente, la resistencia a compresión del hormigón se controló mediante muestreo total, de acuerdo con las

Tabla 3. Coeficiente de variación de las operaciones de prueba y control (V_e), ACI 214.

Tipo de servicio	Patrón de control				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Razonable	Deficiente
Control en obras de construcción	< 3,0 %	3,0 % a 4,0 %	4,0 % a 5,0 %	5,0 % a 6,0 %	> 6,0 %
Investigación de laboratorio	< 2,0 %	2,0 % a 3,0 %	3,0 % a 4,0 %	4,0 % a 5,0 %	> 5,0 %

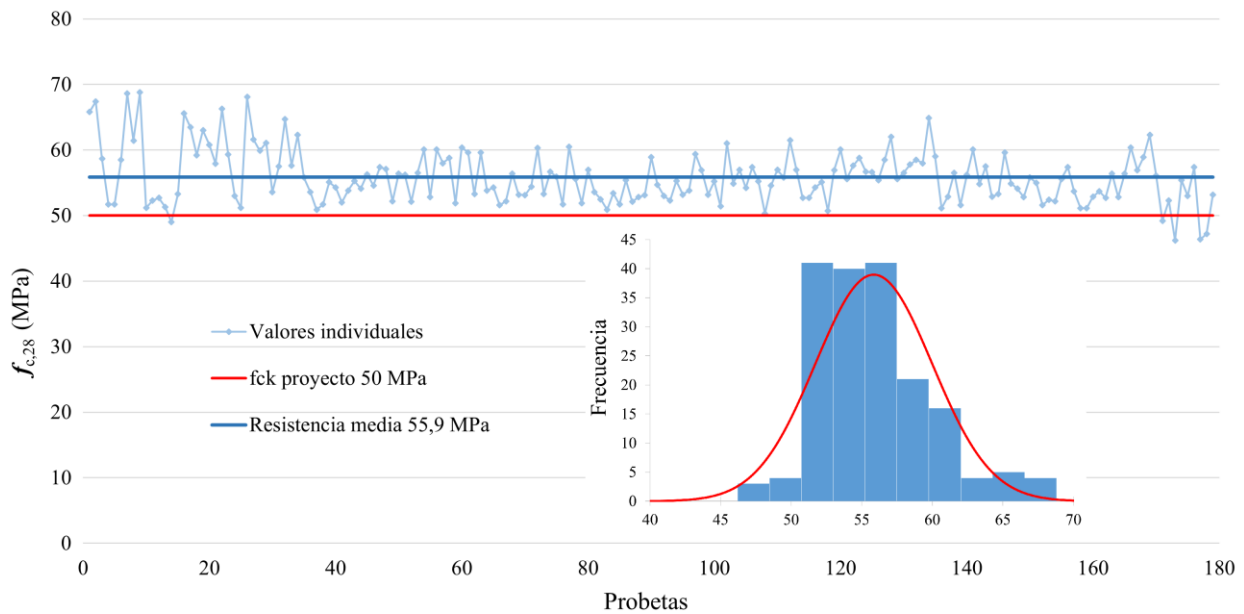


Figura 1. Gráfico de valores individuales en función de los resultados de resistencia a compresión del hormigón a los 28 días de edad y su histograma correspondiente.

prescripciones de la norma ABNT NBR 12655:2022 [1]. Sin embargo, al analizar los valores de resistencia a compresión de este mismo lote de hormigón según la norma ACI 318-25 “*Building Code for Structural Concrete – Code Requirements and Commentary*” [3], el resultado final no coincide. Esto se justifica por el hecho de que los procedimientos de muestreo, así como los criterios de aceptación prescritos por la ACI, difieren del modelo adoptado por la ABNT.

Respecto al muestreo, la norma ACI 318-25 [3], en su ítem 26.12 “*Evaluación y aceptación del concreto endurecido*”, recomienda los siguientes criterios mínimos:

- una muestra de hormigón por día de vertido;
- una muestra por cada 115 m³ de hormigón producido;
- un ejemplar por cada 465 m² de superficie para losas o muros;
- el control se exige para volúmenes inferiores a 38 m³, siempre que exista una dosificación de mezcla aprobada.

Además, según la norma ACI 318-25 [3], el valor de resistencia a compresión de cada espécimen se determina mediante la media

aritmética simple de los resultados obtenidos de las probetas gemelas. Según la norma ASTM C39-16b “*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*” [8], si los valores individuales de las probetas gemelas difieren en más del 8 %, los resultados son inadecuados y se debe repetir el ensayo. La norma ACI 318-25, así como la norma ABNT NBR 12655:2022 [1], también consideran que solo se obtiene un valor de resistencia a compresión de cada lote de hormigón moldeado.

ACI 318-25 [3] prescribe los siguientes criterios de aceptación y conformidad:

1. El promedio móvil de cualesquiera 3 (tres) resultados consecutivos debe ser igual o mayor que la resistencia característica definida en el diseño (f_{ck}).
2. Para $f_{ck} \leq 35$ MPa, ningún resultado individual debe ser inferior a $f_{ck} - 3,5$ MPa; para $f_{ck} > 35$ MPa (caso en cuestión), ningún resultado individual puede ser inferior a $0,9 * f_{ck}$.

Si no se cumple alguno de estos criterios, la norma ACI 318-25 [3] sugiere medidas para corregir la resistencia. Las principales acciones consisten en modificar el diseño de la mezcla de hormigón, como aumentar la cantidad de

material cementante, reducir el consumo de agua, usar aditivos reductores de agua y disminuir el contenido de aire incorporado. También se enumeran medidas adicionales, pero no menos importantes, como reducir el tiempo de entrega y mejorar el control tecnológico del hormigón.

En situaciones donde no se cumple el segundo criterio, la norma ACI 318-25 [3] indica la investigación de la resistencia mediante la extracción de testigos. Por lo tanto, se entiende que este criterio tiene mayor relevancia en el proceso de aceptación y conformidad del hormigón.

Por lo tanto, para realizar un análisis comparativo entre los controles realizados por la ABNT y ACI, todos los valores de resistencia a compresión obtenidos a los 28 días de edad también fueron tratados y organizados de acuerdo con los criterios de muestreo y aceptación propuestos por la ACI 318-25 [3], como se presenta a continuación.

Considerando el criterio mínimo de muestreo propuesto por la norma ACI 318-25 [3] de una muestra a cada 115 m³ de hormigón (lo que equivale a un muestreo (camión) a cada 14 camiones hormigoneros de 8 m³), este artículo permitió analizar numerosas combinaciones de resultados, ya que se moldearon muestras para todos los camiones hormigoneros

(población). Para investigar todas las posibilidades, se determinaron las envolventes de los valores individuales y la media móvil de tres resultados consecutivos, identificando los valores máximo y mínimo, considerados.

De acuerdo con los criterios establecidos por el ACI 318-25 [3], todos los valores individuales deben ser superiores a 45 MPa ($0,9 \cdot f_{ck}$). La Figura 2 (envolvente de valores individuales) muestra que, considerando todas las posibilidades, ningún valor es inferior a 45 MPa (cabe destacar que el valor individual promedio más bajo registrado fue de 45,5 MPa). Por lo tanto, este criterio de aceptación se cumplió siempre.

Además, según la norma ACI 318-25 [3], para garantizar la aceptación del hormigón, se debe realizar otro tipo de análisis. La Figura 3 muestra la envolvente de la media móvil a lo largo de todo el período de producción (valores máximo y mínimo de tres resultados consecutivos). Cabe destacar que en ningún caso la media móvil fue inferior a la resistencia característica definida en el proyecto (50 MPa). El valor más bajo registrado fue de 50,2 MPa. Por lo tanto, independientemente de la combinación de resultados considerada, este criterio de aceptación siempre se cumplió.

Por tanto, considerando el escenario más desfavorable posible, si el control tecnológico

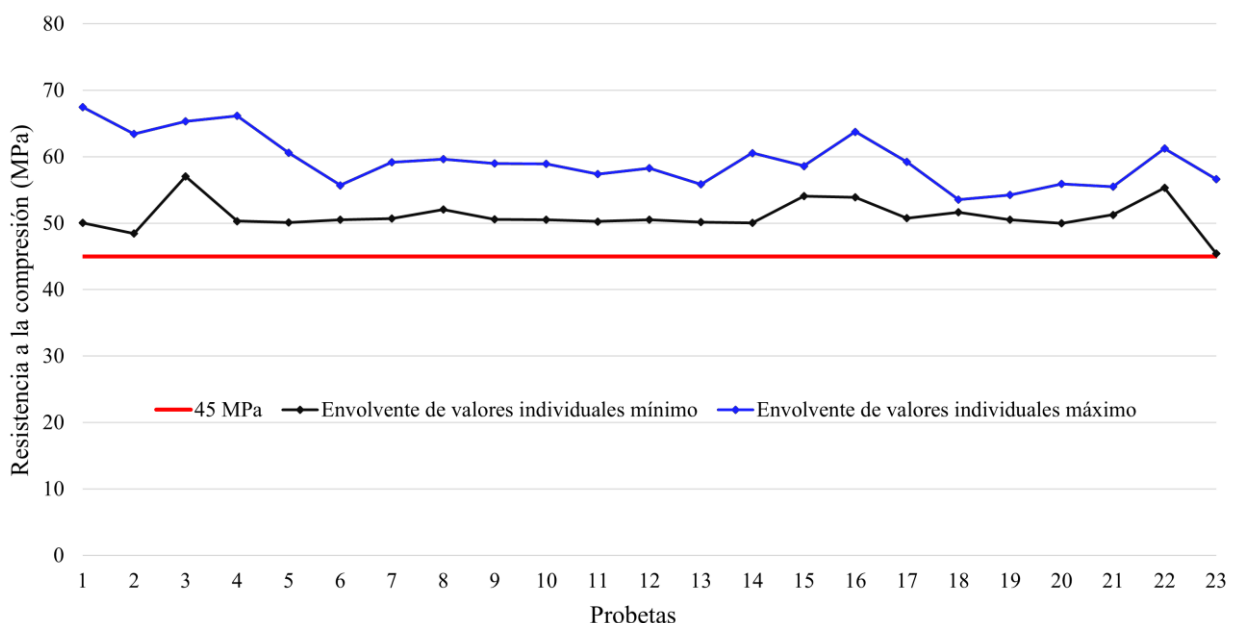


Figura 2. Envolvente de resistencia a compresión de valores individuales, ACI 318-25 [3].

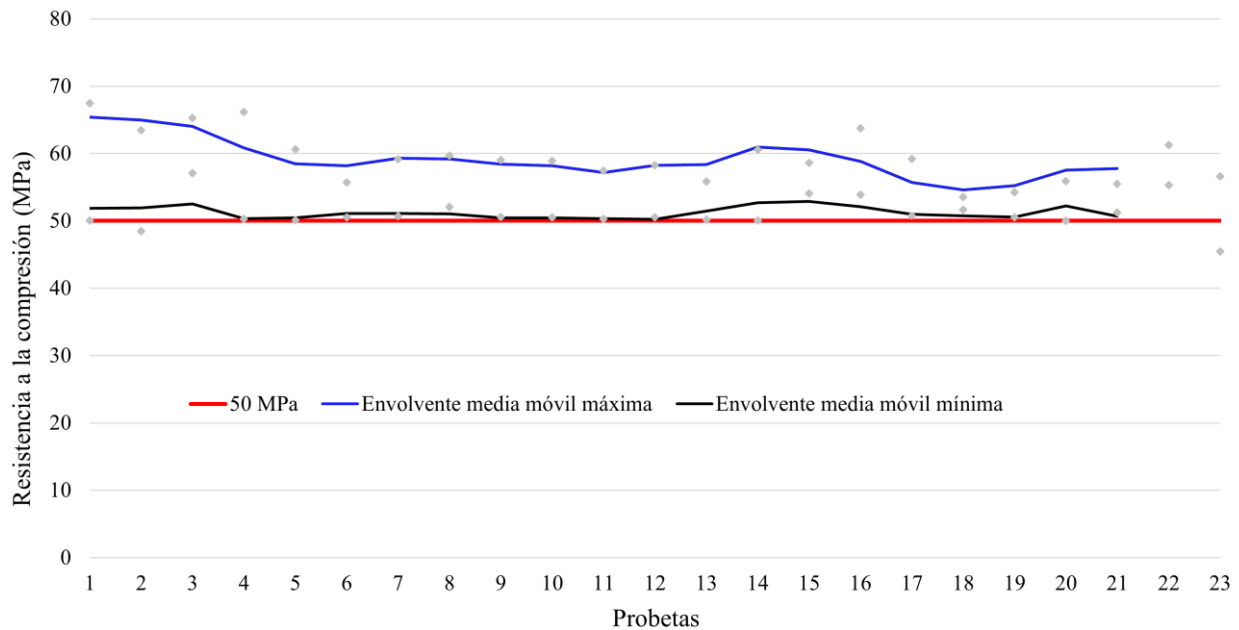


Figura 3. Envolvente de la media móvil de 3 valores consecutivos a lo largo del período de producción, ACI 318-25 [3].

del hormigón se realizara de acuerdo con ACI 318-25 [3], no existirían no conformidades ya que ambos criterios (valores individuales y media móvil) se cumplirían siempre simultáneamente.

4. Conclusiones

El control tecnológico de la resistencia a compresión del hormigón, recomendado por las normas brasileñas, es muy riguroso y el más seguro. El muestreo es del 100 % (población) y los resultados se analizan individualmente con base en el valor más alto del par de resistencias, sin tolerancias; es decir, cualquier valor de resistencia inferior a la especificación de diseño se considerará no conforme, por mínima que sea la diferencia. Sin embargo, este método de control es costoso, ya que implica el moldeo, la manipulación, el transporte, el curado, la preparación de los encabezados de las probetas y la ruptura de numerosas muestras de hormigón de todos los camiones hormigoneros recibidos en la obra (control total a 100 % de muestreo).

Cabe señalar que la metodología de control prescrita por la norma ACI 318-25 es mucho más flexible en comparación con los criterios de la norma brasileña. En la norma estadounidense, el control no se realiza mediante muestreo total, sino que los resultados se analizan a partir de la media aritmética simple de las resistencias; se establecen tolerancias para valores individuales de resistencia a compresión y, además, se aplica el concepto de media móvil de resultados consecutivos como criterio de aceptación.

En la opinión de los autores de este artículo, los criterios de aceptación y conformidad propuestos por la norma ABNT NBR 12655 son muy exigentes, y sería conveniente flexibilizar el valor de los resultados individuales con un margen de hasta $0,9 * f_{ck}$. Por otro lado, el criterio de muestreo adoptado en Brasil favorece la seguridad y, en opinión de estos autores, aunque costoso, debería mantenerse.

En este estudio de caso, los resultados obtenidos mediante el control tecnológico prescrito por la ABNT NBR 12655 indicaron un

índice de no conformidad relacionado con la resistencia a compresión del hormigón de 5 veces en 179 camiones hormigoneros (2,8 %). Esta pequeña no conformidad generó desgaste innecesario y revisiones del proyecto. Por el contrario, los mismos resultados, al analizarlos con la norma ACI 318-25, indicaron un índice de no conformidad cero.

Adoptar flexibilidad y aceptar, en la norma brasileña ABNT NBR 6118, algunos valores individuales de hasta $0,9 * f_{ek}$ como compatibles, ciertamente tendría un impacto positivo en el proceso de producción, minimizando costos potenciales, retrabajos, revisiones de proyectos, retrasos en los cronogramas de construcción y fricciones innecesarias entre las partes interesadas en la cadena de producción de hormigón, sin comprometer la seguridad, durabilidad y calidad final de las estructuras de hormigón.

Agradecimientos

Los autores agradecen a todos los profesionales de la PhD Engenharia, empresa responsable de proporcionar el material y los resultados de la base de datos para el desarrollo de este trabajo. Los autores también agradecen a la Prof. María Josefina Positieri de la Universidad Tecnológica Nacional por la confianza y atención.

Fuentes de financiamiento

Este trabajo fue financiado por la PhD Engenharia Ltda., empresa especializada en tecnología del hormigón, control tecnológico, patología y diagnóstico de estructuras de hormigón, análisis técnico de proyectos y supervisión técnica de la construcción de proyectos ejecutivos.

Contribución de autoría

P. Helene: Conceptualización, Revisión. R. Boni: Conceptualización, Investigación, Redacción-original. R. Silva: Investigación, Redacción-borrador.

Declaración de conflicto de interés

Los autores declaran que no existen algún conflicto de interés.

Referencias

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2022). *ABNT NBR 12655 Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento*.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2023). *ABNT NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*.
- [3] American Concrete Institute. (2025). *Building code for structural concrete – Code Requirements and Commentary (ACI 318-25)*.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). *ABNT NBR 8953 Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). *ABNT NBR 5738 Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). *ABNT NBR 5739 Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*.
- [7] American Concrete Institute (2011). *Guide to evaluation of strength test results of concrete (ACI 214R-11)*.
- [8] American Society for Testing and Materials. (2016). *ASTM C39/C39M-16b. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*.