



CONTRIBUCIÓN AL PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO EJECUTADO CON PIEDRA REDONDEADA EN LA CIUDAD DE MANAUS: PROCEDIMIENTOS HABITUALES Y RECOMENDADOS POR NORMATIVAS

ARTÍCULO ORIGINAL

ROCHA, Francisco dos Santos¹, SILVA, José Rodrigo Sevalho da²

ROCHA, Francisco dos Santos. SILVA, José Rodrigo Sevalho da. **Contribución al proyecto de estructuras de concreto ejecutado con piedra redondeada en la ciudad de Manaus: procedimientos habituales y recomendados por normativas.**

Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Año. 08, Ed. 07, Vol. 01, pp. 103-128. Julio de 2023. ISSN: 2448-0959, Enlace de acceso:

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-civil/estructuras-de-concreto>,

DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-civil/estructuras-de-concreto

RESUMEN

En un principio, se abordaron los agregados utilizados en la construcción en la ciudad de Manaus, recolectando muestras de las zonas Norte, Sur, Este y Oeste con el fin de evaluar sus índices de calidad y propiedades físicas, con el objetivo de utilizar estos materiales en la mezcla de concreto. Posteriormente, se llevaron a cabo prototipos de losas y vigas con el fin de extraer testigos de concreto para evaluar su resistencia a la compresión. Estos elementos se expusieron a las condiciones ambientales, como lluvia, sol y viento, y un grupo de ellos se sometió a ciclos de humectación al inicio y al final del día. Además, se fabricaron probetas cilíndricas destinadas a ensayos de compresión axial. Durante el proceso de endurecimiento del concreto, estas probetas se identificaron y se dividieron en dos grupos para exponerlos a diferentes condiciones: sumergidos en una solución saturada de hidróxido de calcio, al aire libre, al aire libre pero bajo techo, y al aire libre con ciclos de humectación al inicio y al final del día. Estos experimentos se realizaron durante un año para evaluar cómo la humedad relativa del aire y la temperatura ambiental influyen en la resistencia del concreto.

Los resultados indicaron que las condiciones ambientales, especialmente en el período de julio a noviembre, junto con el procedimiento común de curado utilizado en Manaus, que consiste en humedecer las superficies al inicio y al final del día, afectan la ganancia de resistencia del concreto, lo que resulta en un valor final inferior al



esperado. Esto conlleva a una reducción de la capacidad de carga de la estructura, un aumento en la porosidad y una disminución del módulo de elasticidad del concreto. Por lo tanto, en el diseño y construcción de estructuras de concreto en Manaus, se deben tener en cuenta las particularidades de la región, en especial el tipo de agregado, las condiciones ambientales y los procedimientos habituales de curado en la zona.

Palabras clave: Condiciones ambientales, Concreto con agregados redondeados, Curado del concreto.

1. INTRODUCCIÓN

La norma vigente que trata sobre el proyecto de estructuras de concreto - procedimiento, NBR 6118 (ABNT, 2014), menciona agregados de basalto, diabasa, granito, gneis, caliza y arenisca para la composición de la masa de concreto. En la mayoría de las unidades federativas se ofrece agregado grueso artificial, piedra triturada, con la ventaja de que la granulometría puede estar en consonancia con el tipo de obra. Como resultado, los experimentos que respaldaron la norma se realizaron con agregado artificial, lo que no valida fórmulas que involucren la resistencia del concreto realizado con otro tipo de agregado.

En la ciudad de Manaus, predomina la oferta de "seixo rolado", un agregado grueso natural obtenido en los lechos de los ríos del Estado de Amazonas, debido a los daños ambientales provocados por la extracción de rocas del suelo. Es común el uso de "seixo rolado" en la composición de las mezclas de concreto en las obras realizadas en la ciudad de Manaus, también debido a su menor costo de obtención en comparación con el agregado artificial.

Los profesionales del campo deben producir concreto con resistencia igual o superior a la especificada en el proyecto. Los requisitos que deben cumplirse para que esto ocurra dependen de varios factores, como recomiendan Andrade y Helene (2010), por ejemplo. Los principales factores son: la calidad de los materiales que componen el concreto, el procedimiento adecuado en la fase de ejecución del concreto, el proceso de endurecimiento, la temperatura y la humedad del aire en el lugar de instalación de la estructura.



En la fase de obtención de la resistencia del concreto en la obra, además de la calidad de los materiales que lo componen, deben establecerse condiciones para que las reacciones químicas puedan ocurrir plenamente durante el endurecimiento del concreto. Según establece la NBR 14931 (ABNT, 2023), mientras no se alcance un endurecimiento satisfactorio, el concreto debe curarse y protegerse contra agentes perjudiciales para: evitar la pérdida de agua en la superficie expuesta, asegurar una superficie con la resistencia adecuada y garantizar la formación de una capa superficial duradera.

En algunas partes del país, aún se adoptan procedimientos peculiares a la región, prevaleciendo la transmisión de conocimientos de manera empírica. En la ciudad de Manaus, prevalece el curado del concreto mediante el sistema de mojado de la estructura al inicio y al final del día o incluso al aire libre, sin el uso de ningún proceso artificial. Además, no se tienen en cuenta las influencias de las condiciones ambientales de la región en la resistencia del concreto durante su endurecimiento. En el diseño de estructuras de concreto, deben considerarse las acciones del entorno, como lo señala, por ejemplo, Lima (2011), y la influencia de diferentes climas urbanos en la calidad del concreto (VALIN JUNIOR, 2016).

En este trabajo, se evalúa la interferencia de las condiciones ambientales en la ganancia de resistencia del concreto durante la fase de endurecimiento, realizado en la ciudad de Manaus, teniendo en cuenta los procedimientos de curado comunes en la región y los recomendados por la NBR 5738 (ABNT, 2016).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

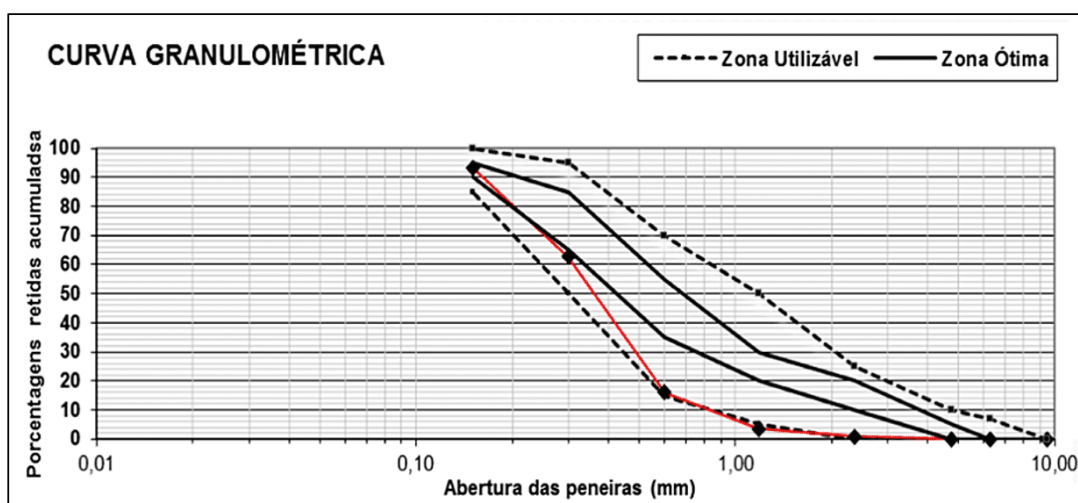
Según la NBR 6118 (ABNT, 2014), las estructuras de concreto deben cumplir con los requisitos mínimos de calidad, capacidad de resistencia, rendimiento en servicio y durabilidad durante su construcción y servicio, y con los requisitos adicionales establecidos conjuntamente entre el autor del proyecto estructural y el contratante. Los requisitos mínimos de calidad incluyen la seguridad contra la ruptura (capacidad de resistencia), la capacidad de la estructura para mantenerse en plenas condiciones de uso durante su vida útil (rendimiento en servicio) y la capacidad de la estructura

para resistir las influencias ambientales previstas en el lugar de implantación de la obra (durabilidad).

La resistencia del concreto es uno de los principales parámetros que influyen en los resultados de estos tres grupos representativos de los requisitos de calidad de una estructura de concreto, afectando, por ejemplo, la seguridad contra la ruptura. Por lo tanto, en la fase de ejecución de los elementos estructurales, se deben observar la calidad de los materiales que componen el concreto, los procedimientos utilizados durante la fabricación de los elementos y también el curado del concreto, con el objetivo principal de retrasar la evaporación del agua utilizada en la preparación de la mezcla, para cumplir con los requisitos de rendimiento estructural establecidos en la NBR 15575-1 (2021).

La NBR 7211 (ABNT, 2022) establece límites de distribución granulométrica, definiendo rangos granulométricos de trabajo, como se muestra en la figura 1, para el agregado fino: zona utilizable (definida por líneas punteadas) y zona óptima (definida por líneas continuas). La curva granulométrica representada por segmentos de línea roja muestra, por ejemplo, el bajo índice de calidad de la arena en cuanto a su distribución granulométrica, recogida en el barrio *Japiim*, zona sur de la ciudad de Manaus.

Figura 1: Granulometría de la arena recolectada en el barrio *Japiim*



Fuente: Brito; Rocha; Fernandes (2015).

Acerca de la calidad de las arenas ofrecidas por las tiendas de materiales de construcción en la ciudad de Manaus, en la tabla 1 se encuentran resultados más amplios obtenidos por Brito; Rocha; Fernandes (2015) que caracterizan las arenas recogidas en la zona sur de la ciudad de Manaus. Estos datos indican una baja calidad de la arena, especialmente en lo que respecta al módulo de fineza. La arena disponible para el consumidor en la zona sur es fina, con un módulo de fineza menor a 2,2, de acuerdo con la NBR 7211 (ABNT, 2022).

Tabla 1: Resultados de los ensayos de granulometría; contenido de arcilla en terrones y materiales friables; material fino que pasa a través del tamiz de 75 µm, por lavado; e impurezas orgánicas

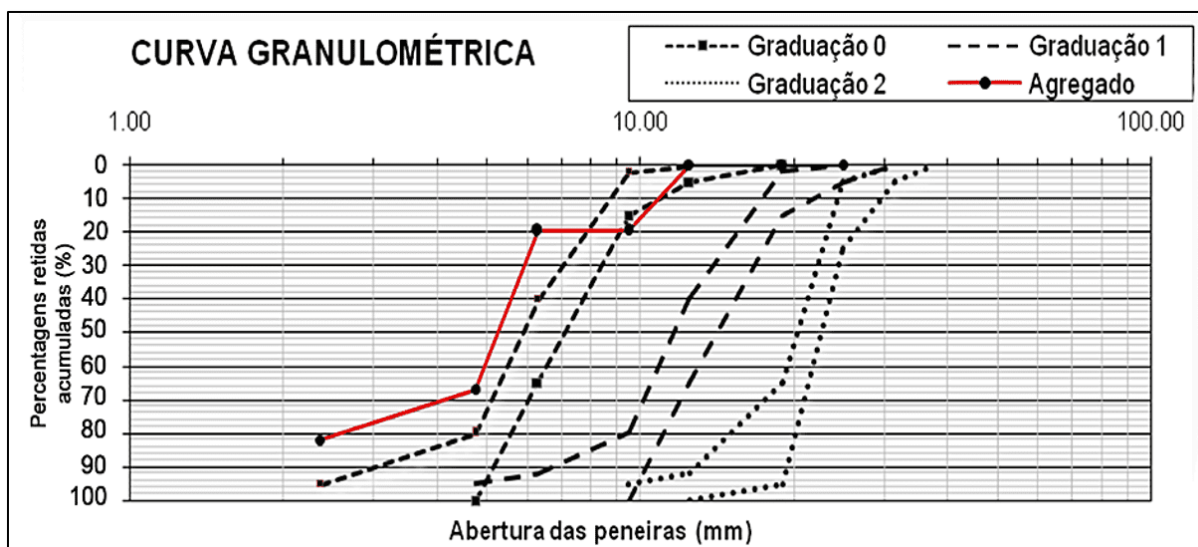
Barrios											
Santa Luzia				Betânia				São Francisco			
#	P1	P2		#	P1	P2		#	P1	P2	
4,75	0	0	MF = 1,83	4,75	0	0	MF = 1,58	4,75	0	0	MF = 2,12
2,36	0	0		2,36	0	0		2,36	0	0	
1,18	3	3	DM = 1,18mm	1,18	2	2	DM = 1,18mm	1,18	3	3	DM = 1,18mm
0,60	15	18		0,60	12	14		0,60	26	29	
0,30	50	68	TAM = 0,5%	0,30	44	58	TAM = 0,4%	0,30	54	83	TAM = 2,0%
0,15	26	94		0,15	26	84		0,15	14	97	
Fondo	6	100	MFI = 0,1%	Fondo	16	100	MFI = 0,3%	Fondo	3	100	MFI = 0,2%
			IO = color claro				IO = color claro				IO = color oscuro
Notaciones: # - abertura de la malla (mm); P1 - porcentaje retenido; P2 - porcentaje retenido acumulado; MF - módulo de finura; DM - dimensión máxima; TAM - contenido de arcilla en terrones y materiales friables; MFI - material fino que pasa a través del tamiz de 75µm, mediante lavado; IO - impurezas orgánicas.											

Fuente: Brito; Rocha; Fernandes (2015).

Según la NBR 7211 (ABNT, 2022), los límites de la composición granulométrica del agregado grueso se definen mediante la relación d/D (menores (d) y mayores (D) dimensiones del agregado grueso): $d(mm)/D(mm) = 4,75/12,5$; $9,5/25$; y $19/31,5$, respectivamente, denominados graduaciones 0, 1 y 2. La curva granulométrica formada por segmentos de línea roja, obtenida a partir de una muestra recogida en el

barrio *Novo Israel*, zona Norte, muestra un bajo índice de calidad del seixo en cuanto a su distribución granulométrica.

Figura 2 - Granulometría del seixo rolado recogido en el barrio *Novo Israel*



Fuente: Aoki; Rocha; Fernandes (2015).

Los resultados de las pruebas que se encuentran en la tabla 2, obtenidos por Aoki; Rocha; Fernandes (2015), en muestras recolectadas en la zona norte de la ciudad de Manaus, indican que el material no presenta una granulometría graduada. El material ofrecido en la zona norte de Manaus tiene altas tasas de retención de granos en las cribas de 9,5 mm, 4,75 mm y 2,36 mm, lo que caracteriza una fuerte presencia de material con granulometría de agregado fino.

Tabla 2: Resultados de los ensayos de granulometría; contenido de arcilla en terrones y materiales friables; material fino que pasa a través del tamiz de 75µm, mediante lavado

Barrios											
Cidade Nova			Santa Etelvina			Cidade de Deus					
#	P1	P2		#	P1	P2		#	P1	P2	
25	4	4	MF = 5,72 DM = 25mm	25	0	0	MF = 5,52 DM = 19mm	25	1	1	MF = 5,13 DM = 19mm TAM = 0,2%
19	2	6		19	0	0		19	2	3	
9,5	30	36		9,5	20	20		9,5	11	14	
4,75	36	72		4,75	48	68		4,75	30	44	
2,36	11	83		2,36	16	84		2,36	29	73	



1,18	6	89	TAM	=	1,18	6	90	TAM	=	1,18	15	88	MFI	=
0,60	2	91	0,2%		0,60	3	93	0,0%		0,60	6	94	0,3%	
0,30	5	96	MFI	=	0,30	5	98	MFI	=	0,30	4	98		
0,15	3	99	0,9%		0,15	1	99	0,4%		0,15	1	99		
Fondo	1	100			Fondo	1	100			Fondo	1	100		
Notaciones: # - abertura de malla (mm); P1 - porcentaje retenido; P2 - porcentaje retenido acumulado; MF - módulo de fineza; DM - dimensión máxima; TAM - contenido de arcilla en terrones y materiales friables; MFI - material fino que pasa a través del tamiz de 75µm, por lavado.														

Fuente: Aoki; Rocha; Fernandes (2015).

Estos resultados indican la necesidad de caracterizar los agregados que forman parte de la composición de la masa de concreto, principalmente debido a la ubicación de las canteras y al proceso de recolección del agregado.

Algunos procedimientos que se usaban en el pasado, sin comprobación teórica o experimental y que dependen de la región, todavía se utilizan en la actualidad. En el caso de elementos de concreto, prevaleció la idea de que el agua contenida en el concreto fresco no necesita mantenerse en la mezcla durante la fase de endurecimiento de la masa. Además, es común exponer la pieza de concreto en un ambiente no cubierto bajo el sol para acelerar su endurecimiento. La relación agua/cemento en este proceso también recibe poca atención. En la mayoría de las obras realizadas en la ciudad de Manaus, el curado del concreto se realiza mediante la humectación de las superficies al principio y al final del día y, en general, se interrumpe mucho antes de que se produzca la máxima hidratación del cemento, es decir, a los veintiocho días de edad.

Según Neville y Brooks (2013), el concreto debe mantenerse saturado, o lo más cerca posible de eso, hasta que los espacios originalmente llenos de agua en la pasta de cemento fresco se hayan llenado con la cantidad requerida de productos de hidratación del cemento. El conjunto de acciones para mantener el concreto saturado se llama curado del concreto.



En el diseño de elementos de concreto, ya sea estructural o elementos de concreto simples, se debe especificar el lugar de la obra para elegir el método de curado adecuado, considerando principalmente la humedad relativa del ambiente, como recomiendan, por ejemplo, Metha y Monteiro (2008). En la práctica, solo en lugares con alta humedad y temperatura estable se puede prescindir del curado del concreto.

En la región norte del país, la humedad relativa del ambiente puede ser mayor al 80% durante gran parte del año, lo que ha llevado a la creencia en el curado natural, adoptada por muchos constructores, especialmente por los maestros de obra. Sin embargo, esta creencia carece de fundamento, ya que los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología muestran fuertes variaciones de humedad y temperatura en la ciudad de Manaus a lo largo del año.

La agresividad ambiental ya se aborda en la NBR 6118 (ABNT, 2014) en los proyectos de estructuras comunes, clasificándola como débil, moderada, fuerte y muy fuerte para definir la calidad del concreto y la protección del acero de refuerzo. Para efectos del diseño de estructuras de concreto, esta clasificación se relaciona con los siguientes tipos de ambientes: regiones rurales, sumergidas, urbanas, marinas, industriales y con salpicaduras de marea. Sin embargo, no se tienen en cuenta las variaciones de humedad y temperatura en cada región de las unidades federativas para mejorar la durabilidad de las estructuras.

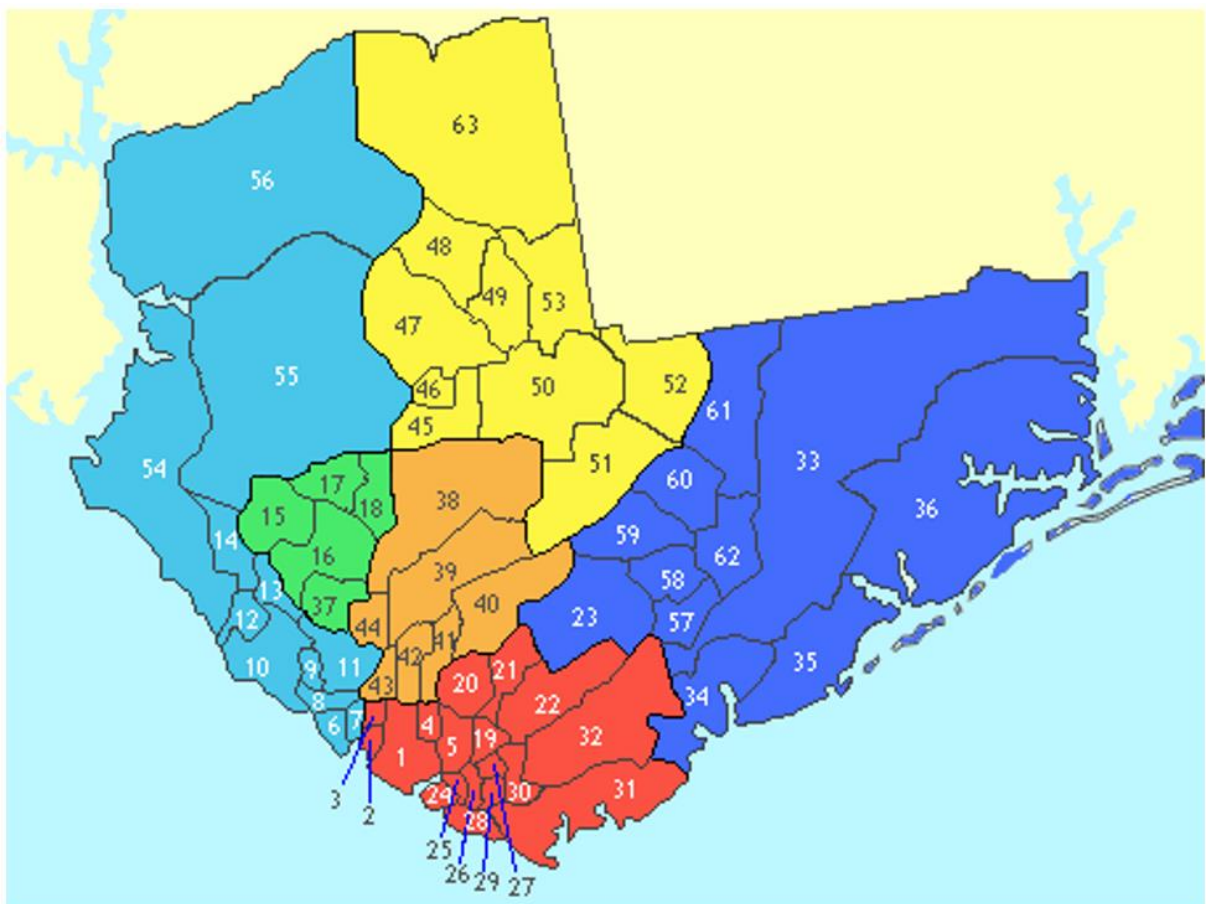
Se realizaron varios estudios sobre la influencia de los agregados naturales en mortero y concreto en las obras de la ciudad de Manaus debido a la falta de prescripciones técnicas sobre estas mezclas. Ejemplos de estos estudios son: Brito; Rocha; Fernandes (2015); Aoki; Rocha; Fernandes (2015); Rocha; Fernandes; Monteiro (2015); Rocha; Coelho; Silva (2020).

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de recolección de los agregados se definió en función de la diversidad de calidad del material disponible en el mercado de la construcción, como se muestra en los resultados presentados en Rocha *et al.* (2017), de modo que los concretos ejecutados representaran la realidad de las obras realizadas en la región urbana de la ciudad de Manaus. La figura 3 muestra las zonas de obtención de los agregados, Norte (amarillo), Sur (rojo), Este (azul oscuro) y Oeste (azul claro), para ensayos de caracterización.

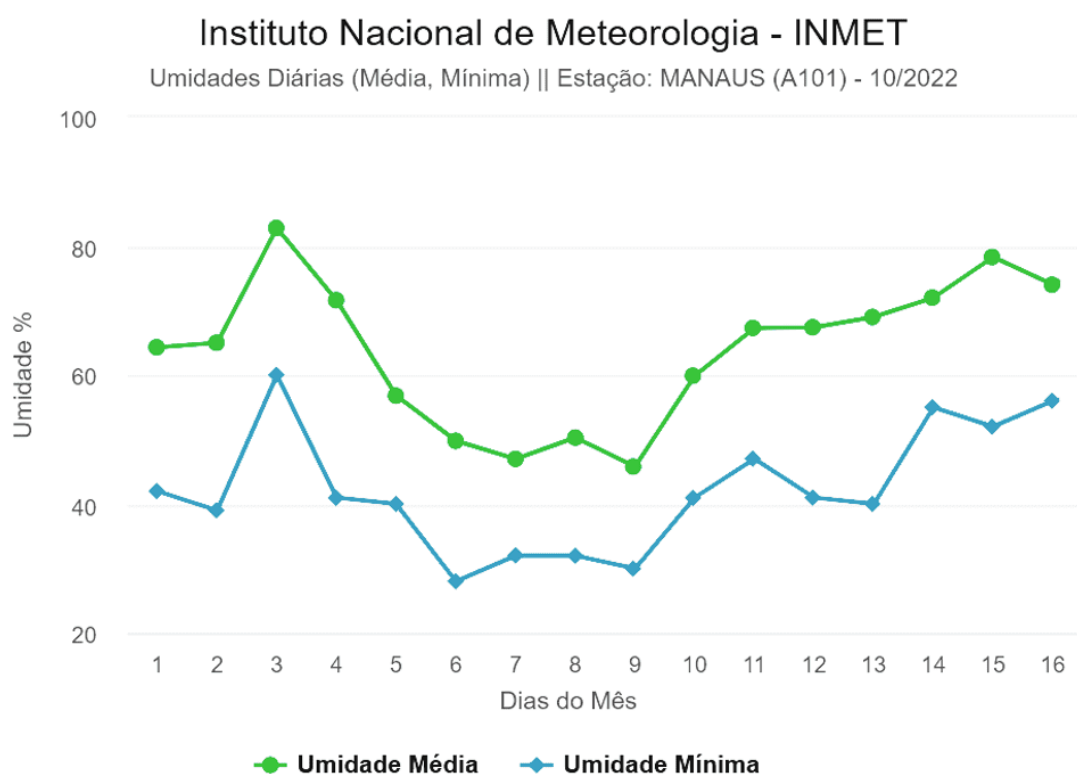
Figura 3 - Mapa de la ciudad de Manaus dividido por zonas



Fuente: Marcelino, 2021.

En la ciudad de Manaus, según el Instituto Nacional de Meteorología (INMET), la humedad del aire en la ciudad de Manaus se mantiene alrededor del 80% durante la mayor parte del año. Sin embargo, en el período que va desde julio hasta principios de noviembre, las tasas de humedad del ambiente disminuyen significativamente, pudiendo en algunos días caer por debajo del 30%, como se muestra en el gráfico de la figura 4 para los primeros días de octubre de 2022.

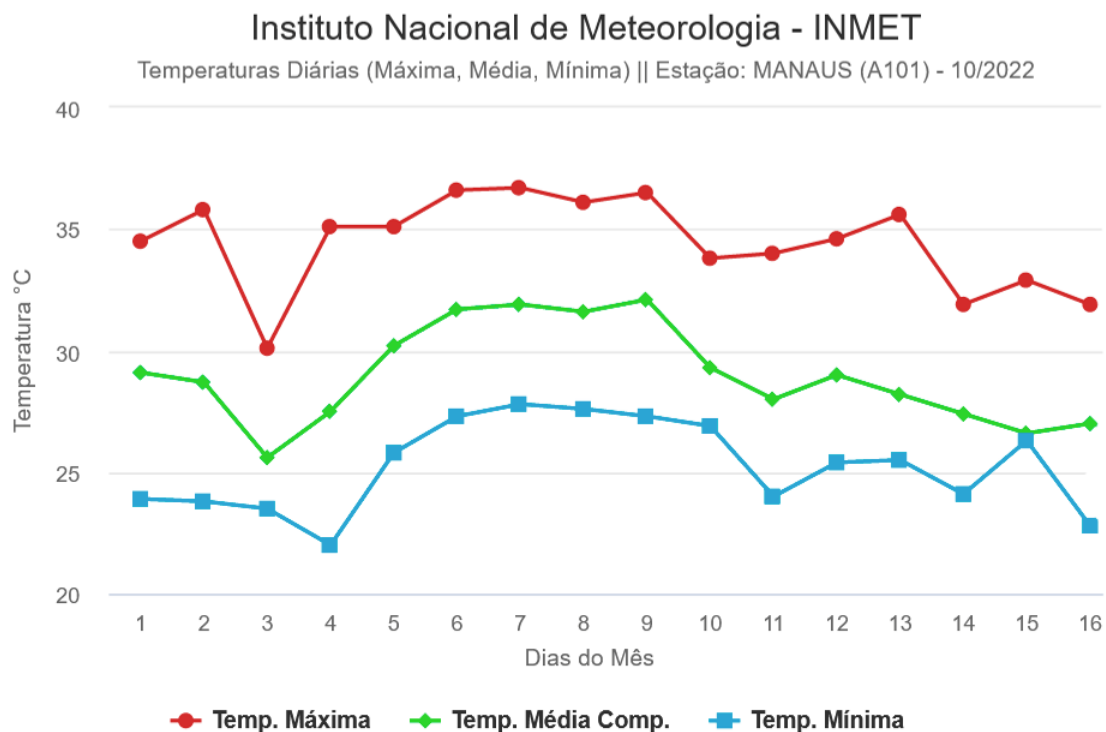
Figura 4: Variación de la humedad relativa del aire en los primeros días de octubre de 2022



Fuente: INMET (2022).

En este período, las temperaturas máximas mensuales se acercan a los 40°C, como muestra, por ejemplo, el gráfico en la figura 5 para los primeros días de octubre de 2022. Junto con las bajas tasas diarias de humedad del aire y las altas temperaturas, en el período de julio a noviembre, se producen las bajantes de los ríos Negro y Solimões, así como la falta de lluvias en la región.

Figura 5: Variação de la temperatura en los primeros días de octubre de 2022



Fuente: INMET (2022).

Los experimentos se llevaron a cabo en las instalaciones de la Escuela Superior de Tecnología de la UEA, en el barrio Chapada, y en un edificio ubicado en el barrio *Japiim*, donde se realizaron las molduras de los elementos de concreto. En estos lugares, durante la fase de endurecimiento del concreto, se realizaron mediciones de la humedad relativa del aire y la temperatura.

3.2 DATOS

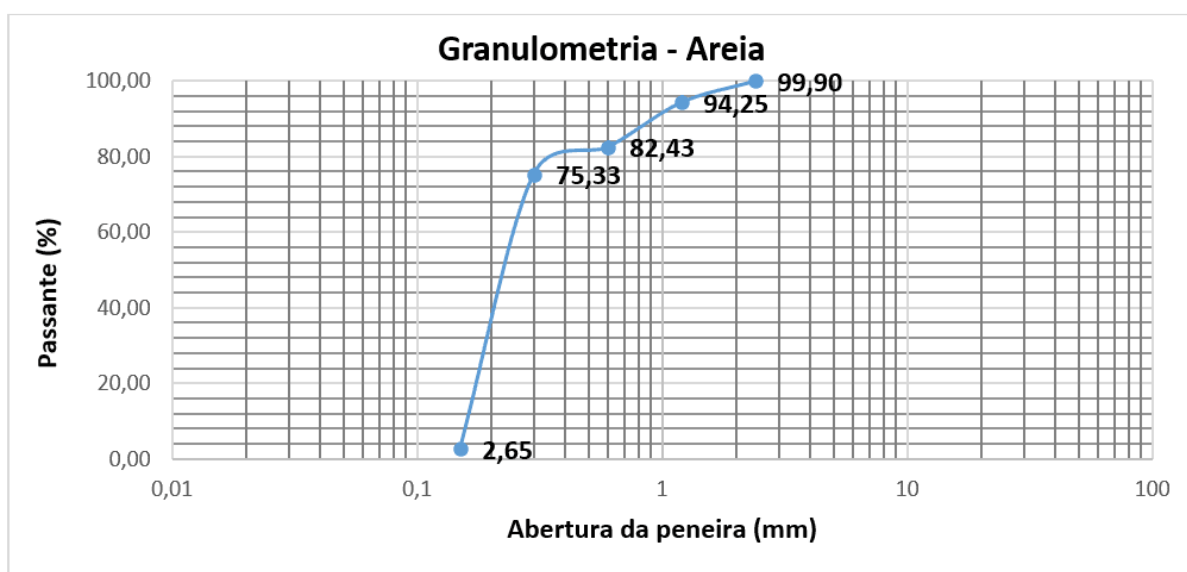
Los agregados disponibles en el mercado de la construcción en la ciudad de Manaus se extraen de diferentes canteras ubicadas en los lechos de los ríos del Estado de Amazonas, lo que diversifica las características de la materia prima. Por esta razón, se tomaron muestras de arena y guijarros rodados en las tiendas de materiales de construcción ubicadas en los barrios de las zonas Norte, Sur, Este y Oeste de la ciudad de Manaus. Se llevaron a cabo todos los ensayos de caracterización de los agregados recogidos, necesarios para definir las proporciones de concreto, siguiendo

los procedimientos recomendados por la NBR 16915 (ABNT, 2021), NBR 16916 (ABNT, 2021), NBR 16917 (ABNT, 2021), NBR 16972 (ABNT, 2021), NBR 16973 (ABNT, 2021), NBR 17054 (ABNT, 2022), NBR 7218 (ABNT, 2010) y NBR NM 49 (ABNT, 2001), así como el ensayo para obtener la densidad del cemento, según la NBR 16605 (ABNT, 2017).

En la zona Norte, por ejemplo, la arena y el guijarro rodado presentaron las curvas granulométricas que se muestran en las figuras 6 y 7, y los siguientes resultados para:

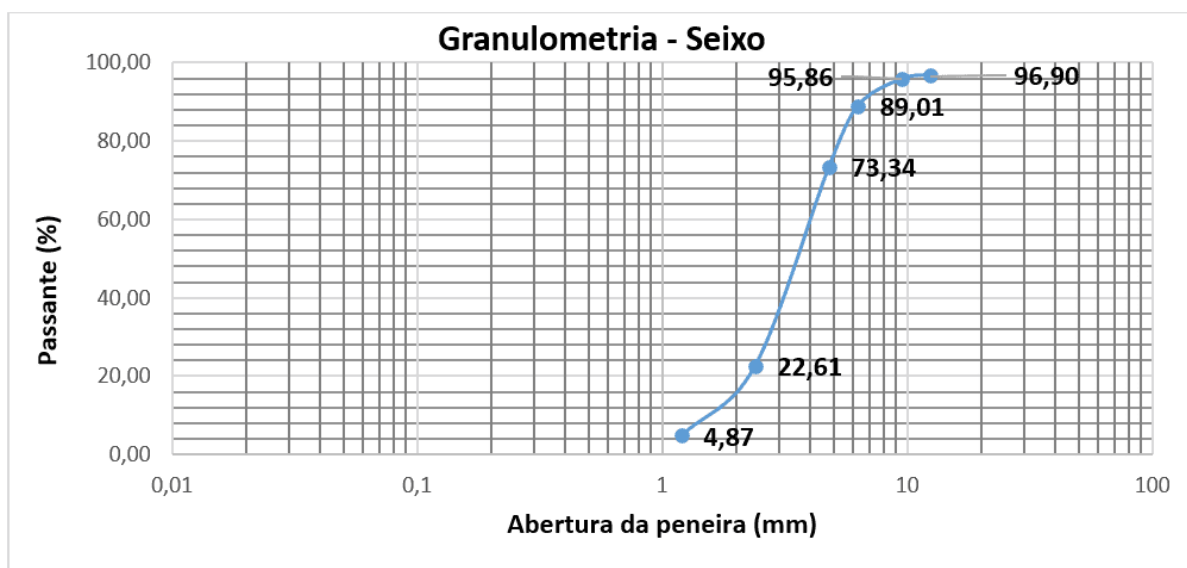
1. a) arena: masas unitaria y específica en g/cm^3 , respectivamente, 1,70 y 2,60; módulo de finura = 1,45; clasificación = arena muy fina;
2. b) guijarro rodado: masas unitarias suelta y compactada, y densidad en g/cm^3 , respectivamente, 1,64, 1,67 y 2,63; diámetro máximo = 9,5 mm.

Figura 6: Granulometría de la arena recolectada en la zona Norte



Fuente: Autoría propia (2021).

Figura 7: Granulometría del guijarro recolectado en la zona Norte



Fuente: Autoría propia (2021).

A partir de estos datos, se definieron las proporciones de concreto para resistencias características de 20 MPa y 25 MPa, considerando una relación agua/cemento de aproximadamente 0,50 y siguiendo los procedimientos establecidos en Terzian y Helene (1993); Tutikian y Helene (2011). Las relaciones encontradas para cemento, arena y grava, en ese orden, fueron 1:1,2:2,61 y 1:1,0:2,32, respectivamente, para 20 MPa y 25 MPa.

Las proporciones de referencia con los agregados naturales de la zona Sur, para 20 MPa y 25 MPa, en ese orden, fueron: 1:1,2:3,35 y 1:1,0:2,97. En la zona Este, se obtuvieron las siguientes proporciones: 1:2,25:3,9 y 1:1,9:3,49. Con los agregados naturales de la zona Oeste, las proporciones de referencia fueron: 1:1,2:3,1 y 1:1,0:2,7.

3.3 MÉTODOS

Los agregados utilizados en la composición de las mezclas de concreto se adquirieron en tiendas de materiales de construcción ubicadas en los barrios de Manaus, con el fin de que los resultados de la investigación reflejen la realidad de los materiales en la obra. Las muestras de agregados recogidas en los barrios de las zonas Norte, Sur,



Este y Oeste de Manaus se sometieron a las siguientes pruebas, siguiendo las normas vigentes:

1. a) En cuanto a los indicadores de calidad de los agregados: contenido de material fino que pasa a través del tamiz de 75 μm por lavado; contenido de arcilla en terrones y materiales friables; impurezas orgánicas en el agregado fino;
2. b) En cuanto a las propiedades físicas de los agregados: granulometría; densidad a granel en estado suelto; densidad real.

En la fase de ejecución de los concretos, se consideraron los procedimientos utilizados en las obras de la ciudad de Manaus: la ejecución manual con pala y la ejecución mecánica con una mezcladora de concreto de 120 litros de capacidad. En cada experimento, se prepararon cuerpos de concreto con la misma mezcla y se sometieron a situaciones que representaban las prácticas habituales y las recomendadas por la normativa.

Inicialmente, se moldearon cuatro elementos planos que representan losas, y dos elementos lineales que representan vigas, utilizando concreto mezclado en la mezcladora. Estos modelos se expusieron al aire libre durante siete meses, sometidos a las condiciones climáticas de sol, lluvia y viento. Durante este período, la mitad de los cuerpos se sometieron al proceso de curado comúnmente utilizado en la ciudad de Manaus, que consiste en ciclos de humectación al principio y al final del día.

El procedimiento de extracción de los testigos de prueba siguió las pautas de la norma NBR 7680-1 (ABNT, 2015) y fue realizado por una empresa especializada en ensayos de materiales de construcción. La figura 8a muestra el equipo utilizado en la extracción de los testigos, denominado DK 12 TIROLIT, y la figura 8b presenta los testigos de prueba extraídos de los elementos de losas.

Figura 8: Extracción de testigos: a) Equipo de extracción (izquierda); b) Testigos de prueba extraídos de las losas (derecha)



Fuente: Autoría propia (2022).

Los testigos cilíndricos se recubrieron con azufre, como se muestra en la figura 9a, para que las tensiones fueran uniformes en las secciones transversales. Las pruebas se llevaron a cabo en una prensa hidráulica eléctrica de la marca Pavitest, modelo I-3001-B/No. 984, como se ilustra en la figura 9b.

Figura 9: Procedimientos de prueba: a) Cuerpos de prueba revestidos con azufre (figura a la izquierda); b) Equipo de prueba (figura a la derecha)



Fuente: Autoría propia (2022).

Después de esta etapa de la investigación, se moldearon cilindros de prueba circulares utilizando moldes metálicos de 10 cm x 20 cm y 15 cm x 30 cm, y se llevaron a cabo ensayos de compresión axial según lo recomendado por la NBR 5738 (ABNT, 2016), que trata sobre el concreto - procedimiento para la fabricación y curado de probetas. Con el propósito de verificar la calidad y uniformidad del concreto utilizado en la obra, después de retirar los moldes, los cilindros de prueba se sometieron a procesos de curado. Se evaluaron las ganancias de resistencia en concretos con guijarros en su composición en las siguientes situaciones: inmersión de los cilindros en una solución saturada de hidróxido de calcio, como prescribe la NBR 5738 (ABNT, 2016), figura 10a; ciclos de humectación de las superficies de los elementos de concreto, al principio y al final del día, como se hace habitualmente en la ciudad de Manaus; y endurecimiento del concreto al aire libre, sin curado artificial. En todas estas situaciones, se realizaron mediciones de la humedad relativa del aire y la temperatura con un termohigrómetro digital modelo MT-241A, como se muestra, por ejemplo, en la figura 10b.

Figura 10: Procedimientos de curado y medición de humedad y temperatura: a) Cuerpos sumergidos en solución (figura a la izquierda); b) Cuerpos expuestos al aire libre (figura a la derecha)



Fuente: Autoría propia (2022).

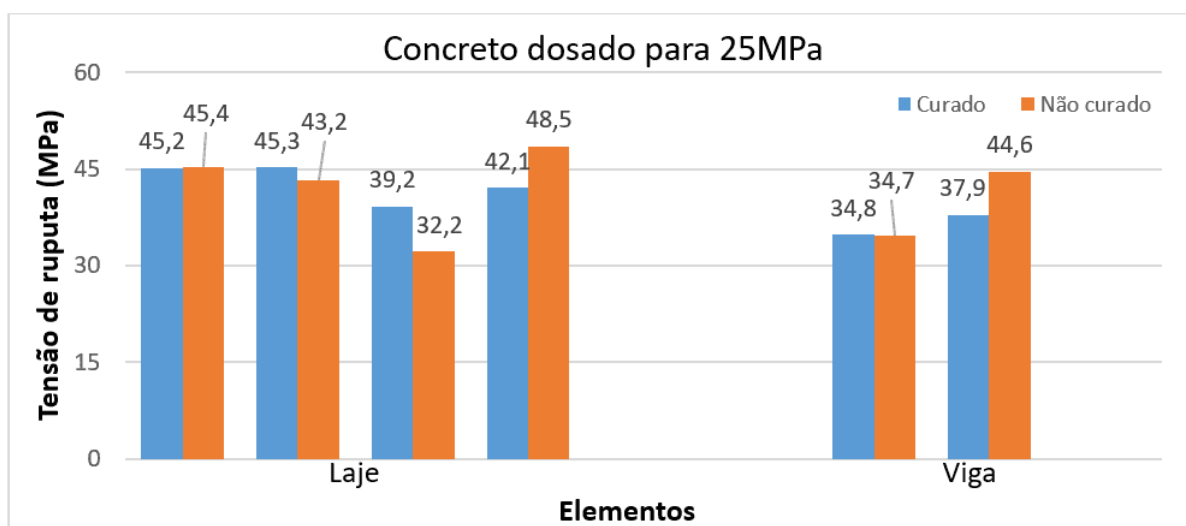
Los experimentos se llevaron a cabo durante un año, considerando, además de los diferentes tipos de exposición del concreto en la fase de endurecimiento, la humedad relativa del aire y la temperatura. Por último, se trataron los principales parámetros del

concreto afectados por el curado del concreto asociado con la sustitución de la grava triturada por agregado natural, el guijarro rodado, en la composición del concreto. Los resultados obtenidos a lo largo de este período proporcionaron datos técnicos para la validación de las conclusiones de la investigación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los primeros resultados provienen de los cuerpos extraídos de estructuras de concreto representativas de vigas y losas, expuestos al aire libre durante aproximadamente siete meses. Durante el período de exposición de las piezas de concreto al aire libre, bajo la acción del sol, la lluvia y el viento, dos elementos de losa y uno de viga fueron sometidos al proceso de curado habitual en la ciudad de Manaus, que implica ciclos de humectación al comienzo y al final del día. Los resultados de los ensayos de compresión axial se muestran en la figura 11, obtenidos en elementos curados según el proceso habitual en la región y en cuerpos sin curado artificial. Los ensayos se realizaron en febrero de 2022, y se seleccionaron resultados al azar para su representación gráfica.

Figura 11: Resistencia a la compresión de concretos curados y no curados



Fuente: Autoría propia (2022).

Estos resultados muestran que las resistencias de los concretos elaborados con gravilla en ambas situaciones, expuestos al aire libre, con y sin curado, son



prácticamente iguales. Durante el período de ganancia de resistencia de estos elementos, que abarcó los meses de noviembre a febrero, la humedad relativa del aire se mantuvo alrededor del 80% y predominaban las lluvias diarias en la región.

Las tensiones promedio en las losas fueron de 42,9 MPa en elementos curados mediante el proceso de humectación y 42,3 MPa en elementos expuestos al aire libre. En el caso de los elementos de viga, los análisis de los valores confiables también indicaron una pequeña discrepancia en el valor promedio de la tensión, es decir, 36,3 MPa y 34,7 MPa, respectivamente. Cabe destacar que los elementos de losa tienen un espesor menor que los elementos de viga y son más sensibles a las condiciones ambientales, como la lluvia, la temperatura y la humedad del aire y del suelo.

En la tabla 3 se muestran las tensiones de ruptura obtenidas en ensayos de cilindros de 10 cm x 20 cm a los veintiocho días de edad. Los moldes metálicos se llenaron con concretos mezclados manualmente con una azada, utilizando una proporción de 1:2:3 (cemento: arena: grava). A partir de una misma mezcla de concreto, se moldearon ocho cilindros circulares, de los cuales cuatro se sumergieron en una solución saturada de hidróxido de calcio y los otros se guardaron en un entorno cubierto.

Tabla 3: Resistencia del concreto con proporción 1:2:3

Condición de la probeta	Tensión de ruptura (MPa)			
	Sin curar	21,0	18,2	18,3
Curado	21,4	24,7	13,8	21,2

Fuente: Autoría propia (2022).

Se realizó un procedimiento similar para las probetas de concreto con una relación 1:3:3 (cemento: arena: piedra triturada), que se realizaron manualmente y con un alto contenido de agua en la mezcla (relación agua/cemento superior a 0,6). Las tensiones de ruptura a la compresión a los veintiocho días de edad se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Resistencia del concreto con relación 1:3:3

Condición de la probeta	Tensión de ruptura (MPa)			
	Sin curar	9,4	8,0	9,3
Curado	8,4	8,2	9,5	8,1

Fuente: Autoría propia (2022).

En los meses de marzo y abril de 2022, período con una alta humedad relativa del aire (INMET, 2022), se moldearon dos conjuntos de muestras de concreto con proporción 1:2:3, preparadas manualmente con una azada. De cada mezcla de concreto se moldearon ocho probetas, cuatro de las cuales se curaron de acuerdo con la norma brasileña vigente, y cuatro se expusieron al medio ambiente bajo techo. Las pruebas de las probetas arrojaron los valores que se muestran en la tabla 5.

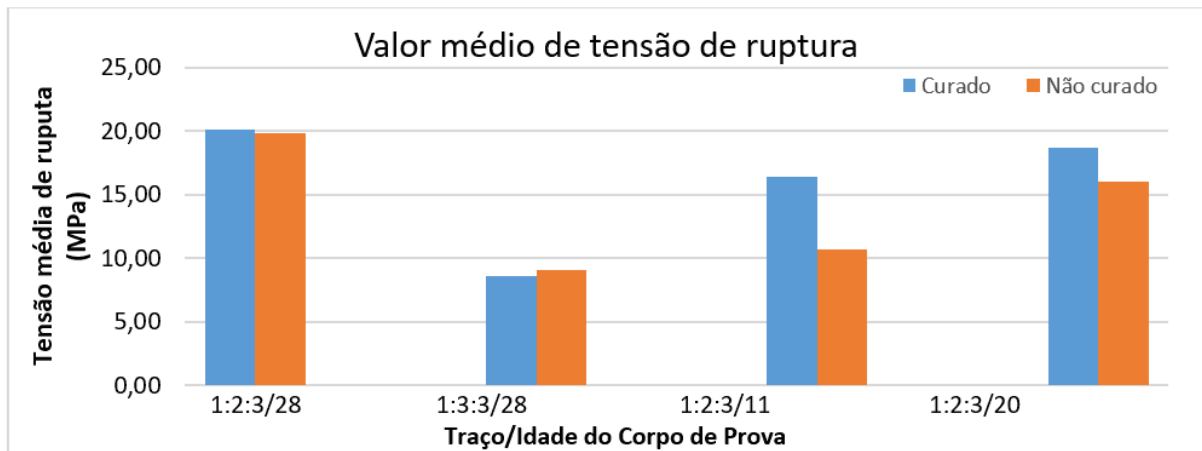
Tabla 5: Resistencia del concreto con proporción 1:2:3

Condición de la probeta	Tensión de ruptura (MPa)							
	11 días de idade				20 días de idade			
Sin curar	10,9	13,9	10,8	7,3	16,1	15,1	16,0	17,0
Curado	19,4	17,4	17,5	11,3	21,4	18,4	16,7	18,2

Fuente: Autoría propia (2022).

Los resultados presentados en las tablas 3, 4 y 5, que se muestran en el gráfico de la figura 12, correspondientes a ensayos realizados en los meses de febrero, marzo y abril de 2022, durante la temporada de lluvias con una humedad cercana al 80%, muestran que comienzan a surgir disparidades en las resistencias a la compresión en las dos situaciones.

Figura 12: Resistencia media a la compresión de cuerpos curados y no curados

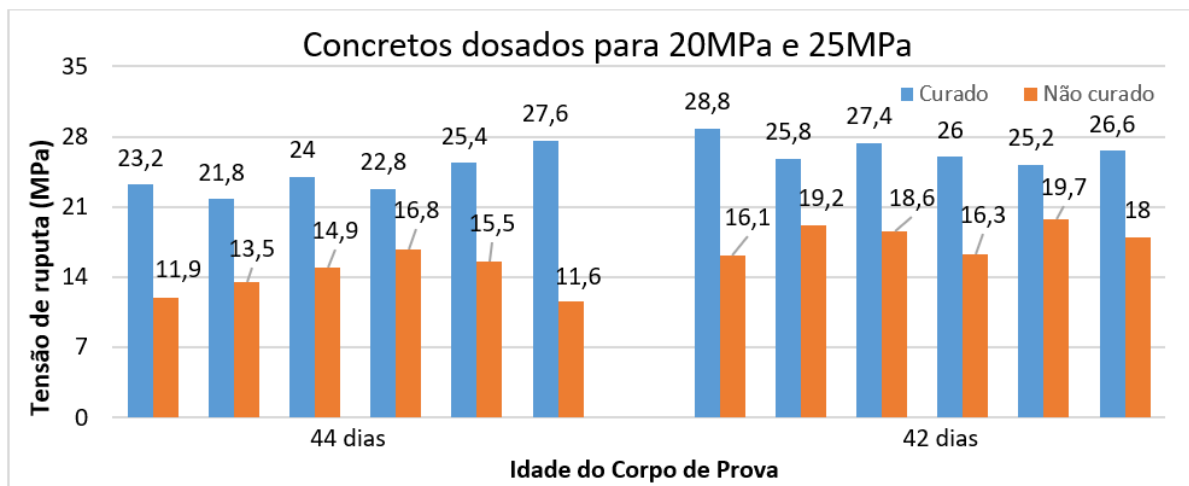


Fuente: Autoría propia (2022).

En el mes de julio, se evaluaron las resistencias de concreto a los siete días de edad, moldeando seis cuerpos de prueba cilíndricos de 10cm x 20cm y 15cm x 30cm. La mezcla de cemento, arena y gravilla, dosificada para 20MPa, se realizó en una mezcladora con capacidad de 120 litros. Los resultados obtenidos en las pruebas fueron, en MPa: a) cuerpos sumergidos en solución saturada de hidróxido de calcio: 21,9; 23,6; 21,2, con un valor promedio de 22,2MPa; b) cuerpos expuestos en el entorno cubierto: 19,6; 20,2; 18,9, con un valor promedio de 19,6MPa. Estos resultados indicaron una fuerte caída en los valores de las tensiones de ruptura a la compresión en cuerpos no curados.

En los meses de agosto y septiembre de 2022, se moldearon dos lotes con doce ejemplares cada uno: seis cuerpos de cada lote fueron expuestos al aire libre, bajo la acción del sol, la lluvia y el viento; y seis fueron sumergidos en solución saturada de hidróxido de calcio. Las tensiones de ruptura en pares, elegidas al azar, se muestran en la figura 13.

Figura 13: Resistencia a la compresión de cuerpos de prueba curados y no curados



Fuente: Autoría propia (2022).

Los gráficos representativos de las tensiones, figura 13, indican una fuerte influencia de las condiciones ambientales en el aumento de la resistencia del material de concreto en la fase de endurecimiento. Los resultados mostraron que la baja humedad del aire y la alta temperatura impiden la completa reacción de los componentes del cemento durante el período de endurecimiento, cuando el proceso de humedecimiento no es continuo.

En la última fase de las pruebas, las evaluaciones de resistencia se realizaron en concreto dosificado para 20 MPa, utilizando moldes de 10 cm x 20 cm, a los siete días de edad, en las siguientes situaciones: curado siguiendo las prescripciones de la NBR 5738 (2016) y curado mediante el rociado de las probetas expuestas al aire libre, al principio y al final del día. El lote de cuerpos en la primera situación proporcionó las siguientes tensiones de ruptura en MPa: 21,9, 27,3, 20,3, 20,5, 24,0, 23,7, con un valor promedio de 23,0 MPa. Las pruebas de los cuerpos expuestos al aire libre y curados mediante ciclos de rociado proporcionaron, en MPa: 21,8, 21,3, 21,2, 21,3, 21,5, 20,3, con un valor promedio de 21,2 MPa. Estos valores indicaron una fuerte influencia en la ganancia de resistencia del material de concreto en la fase de endurecimiento, lo que impide la completa realización de las reacciones de los componentes del cemento en la mezcla de cemento, agregados y agua.



5. CONCLUSIÓN

Los resultados de la investigación indican que los concretos utilizados en las construcciones en la ciudad de Manaus, durante el período conocido como "verano amazónico" (de julio a noviembre), cuando la incidencia del sol es más fuerte y la lluvia es escasa, generalmente presentan resistencias a la compresión inferiores a las previstas en los proyectos. Durante este período, parte del agua presente en el concreto fresco se evapora, lo que impide que algunas de las reacciones químicas se completen. Los procedimientos convencionales en la ciudad de Manaus, como el riego de las superficies al comienzo y al final del día, en condiciones de baja humedad relativa del aire, no son efectivos para retener el agua en la mezcla de componentes del concreto.

Sin embargo, fuera de este período, los procedimientos de curado convencionales en la ciudad de Manaus no afectan negativamente las ganancias de resistencia en los concretos que contienen agregado grueso de guijarros rodados en su composición. Según INMET (2022), la humedad relativa del aire en esta época del año oscila en torno al 80% y las temperaturas diarias son más suaves, con períodos alternados de lluvia.

Algunas empresas de construcción evitan la pérdida de agua presente en la mezcla al seguir las pautas establecidas en las normas vigentes, como el riego continuo de las superficies, el uso de una capa de agua en las losas, la aspersión de productos químicos en la superficie para retener el agua en la mezcla o la protección de los elementos con mantas húmedas.

En las obras con control tecnológico, donde el concreto se suministra desde una planta de dosificación central y se moldean probetas en el lugar, el problema de la interrupción de algunas reacciones de los componentes del cemento en la mezcla durante el período de julio a noviembre persiste. Los resultados de las pruebas no representan la realidad de la obra, ya que los procesos de curado del concreto en la obra no siguen las pautas de la norma.



Los efectos negativos del curado mediante el riego de la superficie, generalmente dos veces al día, afectan a otros parámetros del concreto endurecido, como el módulo de elasticidad, que depende de la resistencia a la compresión del concreto, y la porosidad del concreto. El aumento de la porosidad, como resultado de la pérdida de agua al medio ambiente, facilita la penetración de gases y agua corrosiva en el material, lo que puede provocar la corrosión de las armaduras, como señalan, por ejemplo, Helene (1986) y Helene (1988). Las intensidades de los parámetros, como la rotación de la sección transversal y la flecha de vigas y losas de los edificios, que son inversamente proporcionales al módulo de elasticidad, también se ven afectadas, pudiendo superar los límites permitidos establecidos por la norma.

En resumen, las pautas de las normas brasileñas que tratan sobre el diseño y la ejecución de estructuras de concreto deben adaptarse a la ciudad de Manaus, en el estado de Amazonas, considerando principalmente las condiciones ambientales de la región, el tipo de agregado grueso (guijarros rodados) y los procedimientos de curado convencionales utilizados en la región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 14931**: execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15575 - 1**: edificações habitacionais - desempenho: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16605**: cimento e outros materiais em pó – determinação de massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16915**: agregados - amostragem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16916**: agregado miúdo – determinação da densidade e da absorção da água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (ABNT). **ABNT NBR 16917:** agregado graúdo - determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16972:** agregados - determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **ABNT NBR 16973:** agregados - determinação de material fino que passa pela peneira 75µm por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 17054:** agregados - determinação da composição granulométrica – método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738:** concreto – procedimento para moldagem e cura dos corpos-de-prova. Versão corrigida: 2016. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 6118:** projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **ABNT NBR 7211:** agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7218:** agregados: determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 7680-1:** concreto: extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – resistência à compressão axial. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR NM 49:** agregado miúdo - determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ANDRADE, T.; HELENE, P. Concreto de cimento Portland. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**, São Paulo: 2.ed., cap. 29, p. 945-984, 2010.

AOKI, C. Y., ROCHA, F. S.; FERNANDES, F. F. **Influência do agregado graúdo comercializado na cidade de Manaus no desempenho dos elementos de concreto das edificações.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 57, 2015, Bonito – MS. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2015.



BRITO, L. V., ROCHA, F. S; FERNANDES, F. F. **Influência do agregado miúdo comercializado na cidade de Manaus no desempenho dos elementos de argamassa e concreto das edificações.** *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 57, 2015, Bonito – MS. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2015.

HELENE, P. **Corrosão em armaduras para concreto armado.** São Paulo: PINI/ IPT, 1986. 45 p.

HELENE, P. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1988. 119 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Gráfico diário de estações de Manaus (A101).** Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/Graficos/A101>>. Acesso em: outubro de 2022.

LIMA, M. G. Ações do meio ambiente sobre as estruturas de concreto. **Concreto: ciência e tecnologia**, São Paulo, v.1, cap. 21, 2011.

MARCELINO, C. **Bairros de Manaus.** Disponível em: <<http://www.camilomarcelino.com/bairrosmanaus/>>. Acesso em 27 de setembro de 2021.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P.J. M. **Concreto, estrutura, propriedades e materiais.** Revisores e Coordenadores: Hasparyk, N. P., Helene, P.; Paulon, A. V. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto.** 2.ed. São Paulo: BOOKMAN, p. 472, 2013.

ROCHA, F. S; COELHO, D. S. P.; SILVA, J. R. S. **Influência do seixo rolado no módulo de elasticidade do concreto comercializado na cidade de Manaus.** *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 62, 2020, Florianópolis – SC. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2020.

ROCHA, F. S; FERNANDES, F. F.; MONTEIRO, A. K. C. **Avaliação da retração em vigas retas de concreto executadas com agregados comercializados na cidade de Manaus.** *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 57, 2015, Bonito – MS. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2015.

ROCHA, Francisco dos Santos *et al.* **Agregados para argamassa e concreto executados na cidade de Manaus.** Manaus: BK Editora, 2017. 57p.

TERZIAN, Paulo; HELENE, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo: PINI/SENAI, 1993. 189 p.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. Dosagem dos concretos de cimento Portland. **Concreto: Ciência e Tecnologia**, São Paulo: v. 1, p. 439–471, 2011.



VALIN JUNIOR, M. O. *et al.* Influência de diferentes climas urbanos na qualidade do concreto. **Engenharia e Construção**, Curitiba – PR, v.3, n.1, p. 42-56, jan./jun., 2016.

Enviado: 18 de mayo de 2023.

Aprobado: 20 de junio de 2023.

¹ Asesor. Doctor y Máster en Ingeniería de Estructuras por la USP, Ingeniero Civil por la Universidad Federal de Amazonas. CURRÍCULO LATTES: <http://lattes.cnpq.br/6406742929195826>.

² Maestría en curso en Ciencia e Ingeniería de Materiales, Graduado en Ingeniería Civil. ORCID: 0000-0003-1109-3778. CURRÍCULO LATTES: <http://lattes.cnpq.br/3714131411856225>.