

## Procedimientos de recuperación en fundaciones por problemas de reacción álcali/agregado. Investigación documental

C. S. Silva<sup>1\*</sup> , E. C. B. Monteiro<sup>1,2</sup> , M. S. C. Santos<sup>3</sup> , T. W. C. O. Andrade<sup>4</sup> ,  
W. A. Soares<sup>6</sup> , D. C. M. Neves<sup>6</sup> 

\*Autor de Contacto: [cristiane\\_santana@msn.com](mailto:cristiane_santana@msn.com)

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i2.490>

Recepción: 20/05/2021 | Aceptación: 10/03/2021 | Publicación: 01/05/2021

### RESUMEN

La reacción álcali/agregado (AAR) ha afectado muchas cimentaciones lo cual señala la importancia de realizar una verificación de los procedimientos de recuperación, la cual se realizó en cincuenta cimentaciones. El objetivo fue construir un perfil de los procesos de recuperación a través de una consulta con empresas de inspección o ejecutores de recuperaciones en la ciudad de Recife y ciudades vecinas. Para ello se aplicó en forma metodológica un cuestionario con diecisiete preguntas. Estos resultados permitieron establecer las similitudes de las cimentaciones afectadas, el diagnóstico, los procesos aplicados en la recuperación, los avances en materiales, los condicionantes para el uso de la armadura, los costos, y permitieron identificar las cimentaciones que dejaron una ventana de inspección para controles adicionales. El resultado fue una evaluación de los tratamientos en las bases afectadas por la reacción química AAR.

**Palabras clave:** fundaciones; reacción alcalina agregada; diagnóstico; procedimientos; recuperaciones.

**Citar como:** Silva, C. S., Monteiro, E. C. B., Santos, M. S. C., Andrade, T. W. C. O., Soares, W. A., Neves, D. C. M. (2021), "Procedimientos de recuperación en fundaciones por problemas de reacción álcali/agregado. Investigación documental", Revista ALCONPAT, 11 (2), pp. 124 – 145, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i2.490>

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, Catholic University of Pernambuco, Recife-PE, Brazil.

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, University of Pernambuco, Recife-PE, Brazil.

<sup>3</sup> Department of Civil Engineering, Federal University of Santa Catarina, Santa Catarina, Brazil.

<sup>4</sup> Department of Civil Engineering, Federal University of Pernambuco, Recife-PE, Brazil.

<sup>5</sup> Department of Civil Engineering, Pernambuco University, Recife-PE, Brazil.

#### Contribución de cada autor

En esta obra, los autores E.C.B. y T.W.C.O. contribuyeron a la idea, supervisión y directrices originales de este artículo. Los participantes M. S.C., W. A. y D.C.M., con la investigación de los contenidos de la investigación, desarrollo, en contacto con empresas para la recopilación de datos, en el formato de las conclusiones de la obra y en las traducciones en inglés y español.

#### Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2021) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

#### Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2022 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2022.

## Recovery procedures for foundation elements with alkali/aggregate reaction problems. Documental research

### ABSTRACT

The alkali-aggregate reaction (AAR) is a problem that has affected numerous foundations. This study, through an investigation of fifty foundations, seeks to create a profile of the recovery processes through consultations with inspection companies that have carried out recoveries in the city of Recife and neighboring areas. The methodology consisted on the application of a survey with seventeen questions. The results obtained made possible to establish similarities in the foundations affected, the diagnoses, processes applied during recovery, advances in materials, conditioning factors for the use of the reinforcement, and costs, and also identified the foundations where an inspection window was left for future checks. The results conclude with an evaluation of the treatments for foundations affected by AAR.

**Keywords:** foundations; alkali-aggregate reaction; diagnosis; procedures; recovery.

## Procedimentos de recuperações em elementos de fundações por problemas de reação álcali agregado. Investigação documental

### RESUMO

A Reação Álcali Agregado (RAA) atingiu muitas fundações e observou-se a importância de realizar uma verificação nos procedimentos de recuperações, compreendendo uma investigação em cinquenta fundações, objetivando traçar um perfil dos processos de recuperações através de consulta no acervo de empresas fiscalizadoras ou executoras de recuperações na cidade de Recife e cidades vizinhas. A metodologia consistiu na aplicação de um questionário com dezessete perguntas. Esses resultados possibilitaram estabelecer as semelhanças das fundações afetadas, o diagnóstico, processos aplicados na recuperação, os avanços dos materiais, fatores condicionantes para utilização da armadura, os custos, e possibilitaram a identificar as fundações que deixaram uma janela de inspeção para posteriores verificações. Concluindo-se com os resultados uma avaliação dos tratamentos nas fundações acometidas pela reação RAA.

**Palavras-chave:** fundações; reação álcali agregado, diagnóstico, procedimentos, recuperações.

### Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Página Web: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Reserva de derechos al uso exclusivo del título de la revista No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

## 1. INTRODUCCIÓN

A principios de la década de 1940, la comunidad científica se encontró con una "enfermedad" que afectaba a las grandes estructuras de hormigón. Una reacción lenta y progresiva que se desarrolló a través de un proceso químico entre hidróxidos alcalinos, presentes en las soluciones existentes en los poros de la pasta de hormigón y algunos minerales reactivos que se encuentran en ciertos tipos de agregados, en presencia de agua. La reacción álcali-agregado, más conocida como RAA, es una reacción química de larga duración y deleterial, que podría resultar en la formación de un gel expansivo, induciendo el elemento de hormigón a la formación de grietas y virutas, y como consecuencia la pérdida de su durabilidad y otras propiedades.

En Brasil, los pioneros de la reacción fueron Heraldo de Souza Githay y Murilo Dondici Ruiz, en 1963, a través del Instituto de Investigación Tecnológica de São Paulo (IPT), informaron de las reacciones de la RAA, su comportamiento, los materiales involucrados y las acciones atenuantes, dirigidas a las Centrales Hidroeléctricas de Urupungá.

A pesar de todos los descubrimientos científicos y del firme propósito de mejorar y consolidar los estudios sobre el hormigón, los problemas relacionados con el envejecimiento de las estructuras, vinculados a la falta de mantenimiento y al conocimiento incipiente de algunas patologías, como la reacción álcali-agregado (RAA), responsable de grandes sumas en sus recuperaciones, han traído muchas incertidumbres sobre los resultados y la durabilidad de estas intervenciones.

La reacción álcali-agregado en las obras fue verificada por primera vez en la Región Metropolitana de Recife (RMR), estado de Pernambuco, debido al interés generado en la inspección de los cimientos de varios edificios de viviendas, después de la caída de Areia Branca en 2004. Hay que aclarar que las causas del derrumbe del edificio Areia Branca fueron debidamente despejadas y no se encontró nada que señalara a la RAA como la causa del episodio. Sin embargo, la inspección de los cimientos de varios edificios de esa región permitió verificar la existencia de muchos casos en los que se rompía los bloques de coronación en pilas o zapatos. El análisis de estas ocurrencias realizado por especialistas, basado en testimonios de hormigón extraídos de los elementos de la fundación, demostró en realidad que se trata de una reacción álcali-agregado, ya que, por ejemplo, los laboratorios de la Asociación Brasileña de Cemento Portland (ABCP) estudiaron más de 60 casos (Battagin, 2016). Según Otoch (2016), la ocurrencia de expansión por RAA, hasta años atrás, fue de mayor incidencia en grandes obras, como presas y partes de plantas hidroeléctricas. Más recientemente, a finales de 2014 y a lo largo de 2015, se encontraron varios casos de RAA en la región de Recife/PE, principalmente en bloques y zapatos de cimentación de edificios de entre 3 y 20 años de construcción. Poco después, en Fortaleza/CE, los primeros casos de RAA también aparecieron en bloques de cimentación en algunos edificios, como ya se ha mencionado. (Otoch, 2016).

Según Battagin (2016) a través del trabajo de difusión del IBRACON y estandarización sobre el número de pruebas realizadas en laboratorio de la ABCP, a falta de estadísticas de los otros laboratorios, se encontró que en todo el país el número de pruebas enviadas a ABCP aumentó considerablemente a través de varios seguimientos de la cadena constructiva. Las muestras agregadas fueron enviadas por los segmentos más diferentes, incluyendo proveedores agregados (canteras), empresas de servicios de concreción, empresas de construcción, diseñadores, universidades y otros laboratorios, mostrando que toda la cadena de construcción estaba tomando conciencia gradualmente de la importancia de prevenir manifestaciones patológicas vinculadas a RAA. A partir de 1621 muestras de niños y grandes agregados recibidos por los laboratorios ABCP, en las que había suficiente identificación para permitir su trazabilidad en cuanto al tipo de cliente final u origen de la unidad federatible, fue posible elevar el perfil de los clientes que solicitaban las pruebas y el origen de las muestras agregadas por los estados brasileños, visualizados en la Figura 1. La mayoría de ellos provienen de São Paulo con 532 muestras y Pernambuco con 228 muestras,

con registros de solicitudes de todos los estados brasileños excepto Acre. (Battagin, 2016). Dado este escenario encontrado en Recife y ciudades vecinas de Pernambuco y por ser regiones con una alta incidencia de esta reacción, verificada con el gran aumento de ensayos que buscan dilucidar las condiciones del agregado, el presente trabajo presenta el resultado de una investigación documental llevada a cabo en las principales empresas de recuperación de estructuras en la RMR. Con el fin de dibujar un perfil de las características constructivas de la empresa, cómo se realizó el diagnóstico, los procedimientos utilizados en la intervención, los materiales aplicados en las recuperaciones, el uso del blindaje y los costes, así como los cimientos que tras la recuperación dejaron una ventana de inspección. La entrevista proporcionó datos de cincuenta fundaciones afectadas por la reacción, pero este número es posiblemente mayor, lo que puede ser investigado más adelante buscando un mayor alcance con datos relevantes que se pueden agregar y traer resultados futuros.

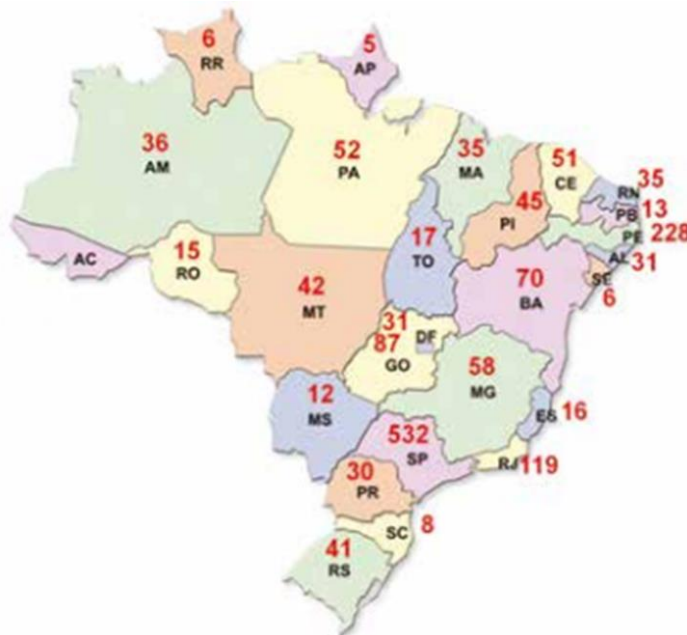


Figura 1. Distribución de muestras por los Estados (Battagin, 2016).

## 1.1 Concepto de Reacción y sus tipos

La reacción alcalina agregada es una reacción química que se produce en la estructura interna del hormigón que involucra los hidróxidos alcalinos que vienen como consecuencia de la hidratación del cemento y algunos minerales reactivos presentes en el agregado utilizado. Como resultado de la reacción, se producen productos que, en presencia de humedad, son capaces de expandirse, generando grietas, desplazamientos y pueden conducir al compromiso de estructuras de hormigón. Hay dos tipos de reacción alcalina agregada, clasificadas según su composición mineralógica reactiva del agregado y con mecanismos de expansión específicos. La reacción recibe las siguientes denominaciones: Reacción álcali-sílice (RAS) o álcali-silicato (RASS) y álcali-carbonato (RAC).

### 1.1.1 Reacción Álcali-Sílice (RAS)

Según Hasparyk (2005), la reacción álcali-sílice es el tipo de RAA más conocido e reportado en el entorno técnico, como el que normalmente ocurre más rápidamente, debido a las formas minerales de sílice reactiva implicadas. Entre las formas minerales más comunes destacan: ópalo o sílice amorfa, calcedonía, cristobalita, tridimita, gafas naturales y artificiales y microcristalina/cristocristalina y cuarzo deformado.

### 1.1.2 Reacción Álcali-silicato (RASS)

Un tipo específico de reacción álcali-sílice, llamada reacción álcali-silicato, se procesa entre álcalis y silicatos reactivos presentes en rocas sedimentarias, metamórficas y ígneas. Tiene el mismo mecanismo que la reacción alcalina-sílice, pero ocurre más lentamente. (Andrade, Silva, 2006).

### 1.1.3 Reacción Álcali-carbonato (RAC)

Es una reacción más rara y no hay formación del gel. Se caracteriza por la expansión de rocas carbonato, como resultado de la reacción entre alcalinos, principalmente derivados de pasta de cemento y piedra caliza dolo mítica, generando compuestos cristalizados como brucita, carbonatos alcalinos, carbonato de calcio y silicato magnesio. Esta expansión, llamada desdolomitización, se atribuye a la causa de las grietas que surgen en el hormigón como resultado del debilitamiento de la unión pasta-agregado. En esta reacción se produce de nuevo la formación de álcalis, permitiendo la continuidad de la desdolomitización, hasta que el dolomita ha reaccionado por completo o hasta que la concentración alcalina se reduce lo suficiente. (Andrade, Silva, 2006).

## 1.2 Comportamiento de las estructuras afectadas

Los síntomas de una estructura con RAA se presentan a través de la aparición de exudación de gel en la superficie de hormigón, bordes alrededor de los agregados, relleno de poro con material blanco o vítreo, agrietamiento y decoloración de hormigón. Las grietas que tienen su configuración en un mapa se producen con mayor frecuencia en pavimentos de carreteras, pistas de aeropuerto, paredes y rostros de elementos estructurales, que presentan baja restricción a la expansión en las tres direcciones. Según Hasparyk (2005), los principales efectos perjudiciales causados por el RAA en una estructura son los siguientes: agrietamiento en la superficie del hormigón y entre capas de hormigón; desplazamiento en la superficie de hormigón; pérdida de estanqueidad; desplazamiento (pérdida de adhesión) del mortero cerca de la superficie de los agregados; movimiento (apertura o desplazamiento relativo) de las juntas de contracción; apertura de juntas de construcción, con grietas horizontales; movimiento/desalineación de superficies libres (cresta de presa de alteamento y alféizares de derrames, desviaciones para aguas arriba en estructuras de presas y otros) y bloqueo o desplazamiento de equipos y piezas móviles (puertas, turbinas, ejes, pistones, entre otros).

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Consideraciones iniciales

La investigación desarrollada para este trabajo está relacionada con una investigación documental, desarrollada en las ciudades de Recife y Jaboatão dos Guararapes, lugares donde se produjo el mayor número de fundaciones afectadas por la reacción álcali-agregado, descrita en esta investigación. En Brasil hasta la fecha, todos los casos notificados de la reacción son exclusivamente del tipo álcali-sílice (RAS), como se presentará en los siguientes pasos. En este trabajo se expondrán las características de los edificios, diagnósticos, procedimientos, costes y los resultados de esta investigación obtenidos a través de consultas de los archivos de la empresa, así como entrevistas que se realizaron con los ingenieros que trabajan en el área de recuperaciones, en cincuenta casos de fundaciones afectadas por la reacción.

Cabe destacar que no hubo problemas ni restricciones por parte de las empresas involucradas en el suministro de información, pero se encontró un pequeño número de la historia de los proyectos con fundaciones recuperadas. Esto se refiere al hecho de que los condominios hacen sus presupuestos con empresas con experiencias probadas y éstos, cuando emiten sus opiniones con los materiales necesarios para eliminar el daño impuesto por la reacción dañino, se dispensan. Con el tiempo se verifica que estas recuperaciones fueron realizadas por personas con habilidades "dudosas", lo que puede comprometer la eficiencia de los servicios prestados. Sobre la base de este principio, estas

bases ya no se analizan y, en consecuencia, los resultados de estas recuperaciones pueden terminar en fracasos, debido a procesos mal ejecutados.

Aunque la reacción ha sido conocida desde hace más de 85 años por el entorno técnico y sus formas de prevención también están bien difundidas, el deterioro del hormigón resultante de la reacción sigue siendo considerado relevante, notablemente por su grave repercusión en los cimientos y los grandes trastornos traídos a las obras de infraestructura y construcción.

Basándose en este contexto y en cómo Recife es posiblemente una de las ciudades con mayor número de casos de reacción registrados en la literatura brasileña, se realizó una investigación para recopilar datos sobre el tema, iniciada en diciembre de 2018 y terminada en julio de 2019. La metodología utilizada se dividió en cuatro etapas según la Figura 2. La metodología desarrollada se basó en entrevistas en el mayor número posible de empresas que realizaron recuperaciones en fundaciones afectadas por la Reacción Alcalina Agregada, mediante la aplicación de un cuestionario con 17 preguntas, según la tabla 1.

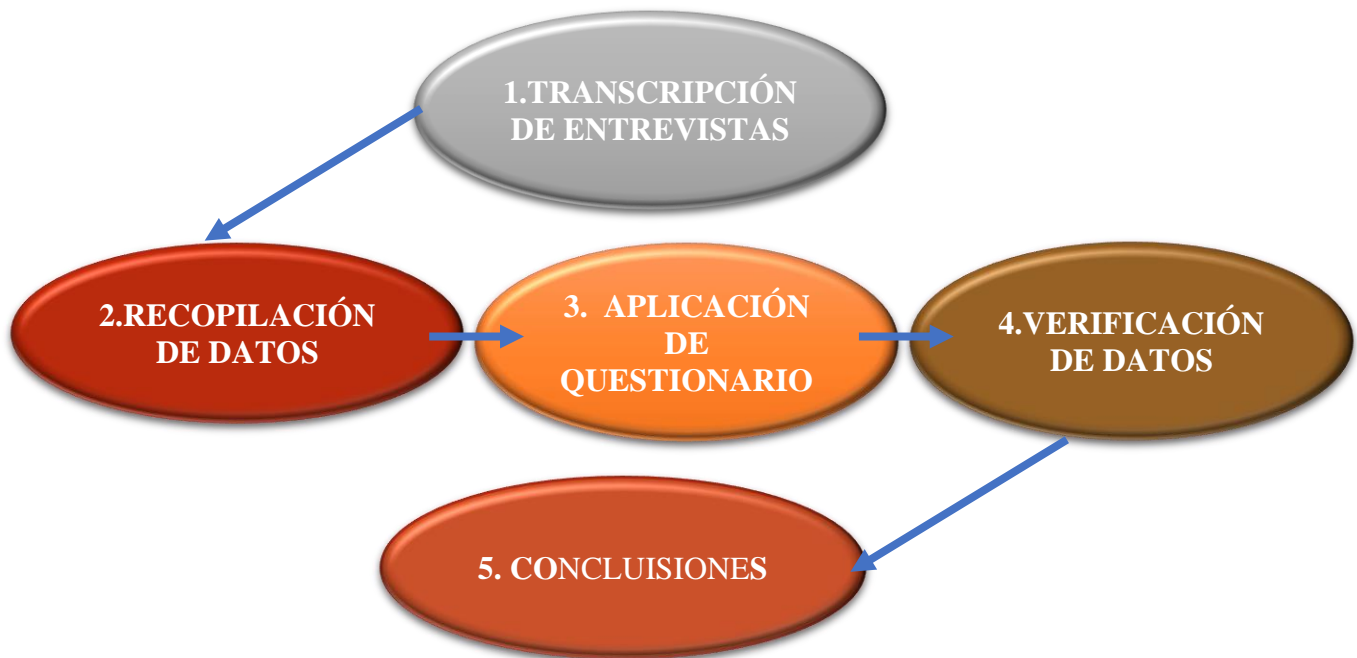


Figura 2. Metodología aplicada en las empresas entrevistadas.

## 2.2 Transcripción de Entrevistas

La primera etapa desarrollada fueron entrevistas con empresas de la cadena de construcción, informando sobre el propósito de la investigación y sobre la necesidad de datos actualizados sobre los cimientos que se recuperaron.

Tabla 1. Cuestionario aplicado en las entrevistas.

<b>Empresas:</b>		
<b>1.0</b>	<b>Características del edificio:</b>	
1.1	¿Cuál es el propósito de la empresa?	
	Alojamiento	Comercial
1.2	¿Cuántos pisos?	
1.3	¿Qué tan alto es el nivel de las aguas subterráneas?	
1.4	¿Cuántos años tiene el edificio?	
1.5	¿Cómo te enteraste del problema?, ¿Qué síntomas has encontrado?	
1.6	¿Qué tan lejos del mar está el edificio?	
1.7	¿Cuál es la base del edificio?	
<b>2.0</b>	<b>¿Cómo se hizo el diagnóstico?</b>	
2.1	Sitio de la incidencia de grietas en el edificio:	
2.2	¿Cómo se ha diagnosticado la patología?	
2.3	¿Qué pruebas se han realizado para determinar la patología?	
<b>3.0</b>	<b>¿Cómo se hizo la recuperación?</b>	
3.1	¿Qué medidas se han dado?	
3.2	¿Cómo se llenaron las grietas?, ¿Qué equipo se utiliza en él en la recuperación?	
3.3	¿fue el proyecto de refuerzo elaborado por el Calculista?	
3.4	¿Se hizo la camisa?	
	Sí	No
3.5	¿Se ha hecho la impermeabilización?	
<b>4.0</b>	<b>¿Quién fue el responsable de los costes de recuperación?</b>	
4.1	¿Quién fue el responsable del pago?	
4.2	¿Quedo una ventana de inspección después de la recuperación?	
<b>5.0</b>	<b>Observaciones:</b>	

### 2.3 Recopilación de Datos

Para esta investigación, se registró información sobre cincuenta edificios comerciales y residenciales con cimientos recuperados.

En la ciudad de Recife las recuperaciones se encontraban en edificios ubicados en los Barrios de Graças, Casa Forte, Espinheiro, Derby, Boa Vista, Madalena, Boa Viagem, Setúbal, con énfasis en el Barrio Boa Viagem.

En la ciudad de Jaboatão dos Guararapes las recuperaciones se encontraban en un edificio situado en el Barrio de Piedade.

Las empresas que participaron desde el universo de la información fueron muy receptivas y proporcionaron los elementos necesarios, asumiendo que la identidad de los edificios catalogados estaría bajo el secreto de la investigación, así como la identidad de las empresas. De esta manera, cada empresa fue nombrada por una carta, al azar a su nombre. Las colecciones verificaron el trabajo de las recuperaciones ejecutadas después de 2004, durante el cual se intensificaron las recuperaciones, el Cuadro 2 cuenta con la encuesta general de las empresas consultadas, demostrando su rendimiento y el número total de fundaciones detectadas.

La primera empresa entrevistó a A. Engenharia Ltda.

Fundada en 1995, la empresa A es una empresa que opera en el campo de la construcción civil, especializada en el área de recuperación y refuerzo de estructuras de hormigón armado y pretensado. Con una colección de más de 600 obras terminadas, 24 años en el mercado, otorgando en su cartera la excelencia en la construcción de estructuras en entornos marinos, tratamiento de hormigón aparente, recuperación y refuerzo de tuberías, refuerzo estructural, entre otros.

En esta empresa, treinta edificios fueron catalogados en diciembre de 2018 y mayo de 2019, con una imagen de la reacción identificada.

La segunda compañía X Engenharia.

Creada en 1981, cuenta en su cartera de construcción con una amplia gama de edificios modernos, a través de estructuras portuarias, desarrollos inmobiliarios, obras especiales de arte, recuperación y refuerzo estructural en edificios y obras de arte y conservación y restauración del Patrimonio Histórico.

En esta empresa, se catalogaron tres edificios, con una imagen de la reacción identificada, incluyendo la recuperación de un edificio comercial. Sin embargo, las otras recuperaciones realizadas por la empresa en cuestión están fuera de la propuesta de esta obra, que, aunque es la recuperación de fundaciones con RAS, no se trata de construcciones residenciales o comerciales.

La tercera compañía fue Y Engenharia.

Fundada en abril de 2000, con el objetivo de prestar servicios técnicos especializados en el sector de la construcción, abarcando restauración y refuerzos en elementos estructurales de hormigón armado, siendo éste el punto culminante de sus actividades. Los servicios especializados de restauración y refuerzo estructural hacen delicada la difusión nominal de las obras que constituyen su colección técnica, que contiene aproximadamente 350 obras realizadas. En esta empresa, se catalogaron siete edificios que pasaron por el proceso de recuperación.

La cuarta compañía fue Z. Engenharia.

Con más de 12 años de existencia y experiencia, realizando actividades de prestación de servicios técnicos de ingeniería civil en las áreas de recuperación y mantenimiento de edificios. En esta empresa, se catalogaron tres edificios, con una imagen de la reacción identificada.

La quinta compañía T Engenharia.

Fundada en enero de 2003 en la ciudad de Recife, hoy tiene operaciones nacionales y en su cartera más de 500 clientes atendidos. Los servicios ofrecidos en el área de asistencia técnica experta, consultoría, gestión y supervisión de obras, informes periciales, seguimiento y seguimiento técnico, entre otros. En esta empresa, se catalogaron siete edificios, con una imagen de la reacción identificada.



Tabla 2. Empresas que participan en las entrevistas.

Empresa	Actuando	Experiencia	Experiencia en el tiempo	Número de casos
A	Recuperación de la estructura	Estructuras marinas, tratamientos de hormigón, recuperación y refuerzo.	24 años	30
X	Recuperación de la estructura	Estructuras portuarias, obras especiales de arte, recuperación y refuerzo y restauraciones.	38 años	03
Y	Recuperación de la estructura	Recuperación y refuerzo de cimientos.	19 años	07
Z	Recuperación de la estructura	Recuperación y refuerzo de cimientos y mantenimiento de edificios.	12 años	03
T	Acompañamiento da recuperación	Asistencia técnica experta, consultorías, informes y seguimiento técnico.	16 años	07
<b>TOTAL</b>				<b>50</b>

## 2.4 Aplicación del cuestionario

La tercera fase correspondió a la aplicación de un cuestionario de quince preguntas relacionadas con edificios comerciales y residenciales donde se comprobó y recuperó la patología del RAS. En la aplicación del cuestionario, que se muestra en el Cuadro 2, se solicitó información sobre la manifestación patológica, histórico de las características de la empresa, cómo se determinaron el diagnóstico, el proceso de recuperación y los costos.

## 2.5 Verificación de datos

Con los datos recogidos, se inició la cuarta etapa con respecto al análisis de todo el material adquirido en la investigación, buscando fotos, informes y resultados de las pruebas para la contribución del material investigado.

Con las respuestas de cada cuestionario, de cada empresa, se construyó una hoja de cálculo con las composiciones de cada proyecto con sus referencias, nombrándose a sí mismo y sus características descritas, tales como edades, tipo de recuperaciones, materiales utilizados en rellenos, tipos de pruebas, año de recuperación, etc. verificado a través del Tabla 3. Estos datos se sumaron y luego obtuvieron los porcentajes de cada elemento analizado. En posesión de estos resultados, los gráficos (Figuras) fueron creados con sus respectivas identificaciones.

Tabla 3. Hoja de cálculo con las composiciones.

HOJA DE TRABAJO DE COMPOSICIÓN																		
EMPRESA X	REFERENCIAS	FUNCIONES						DIAGNÓSTICO			RECUPERACIÓN				VALORES		PECCI	
		PROPÓSITOS	Nº PISOS	NÍVEL DE MESA DE AGUA	EDAD	SÍNTOMAS	TIPOS DE FUNDACIONES	LOCAL	PATOLOGÍA	PRUEBAS	PASOS	CÁLCULO	TRATAMIENTO	IMPERMEABILIZACIÓN	CONDMINIO	CONSTRUCCIÓN	SI	NO

## 2.6 Discusiones

Finalmente, se verificó todo el material recaudado, con las subvenciones para analizar las características de la empresa, procedimiento aplicado en la determinación de manifestación patológica, diagnóstico, proceso de recuperación y costes.

Se encontró que las intervenciones en los cimientos ocurrieron debido a la necesidad de verificar el estado en el que se encontraban. Se cree que estas investigaciones ocurrieron debido a dos factores preponderantes. La primera por el derrumbe del edificio Areia Branca que puso en alerta a los condóminos por los controles de sus estructuras y la segunda de la obligatoriedad impuesta por la Ley N° 13341. Esta Ley hacía obligatorias las inspecciones periódicas, identificando así un mayor número de recuperaciones de cimentaciones y otras patologías previamente ignoradas debido al poco hábito de mantenimiento.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **3.1 Análisis de Datos**

Para el análisis de datos, el cuestionario se dividió en cuatro partes. El primero que reportó las características del edificio, el segundo fue diseccionado sobre el diagnóstico, el tercero como recuperación y finalmente los costos cobrados en la recuperación.

#### **3.2 Características del Edificios**

La primera información recopilada fue presentada las características de los edificios, compuesta por siete preguntas, mediante las cuales se puede tener una idea relevante de algunas situaciones relacionadas con factores preponderantes para la aparición de la reacción. Las preguntas siguieron con el siguiente orden: el propósito del proyecto, el número de pisos, la altura del nivel freático, la edad del edificio, cómo se descubrió el problema y qué síntomas se encontraron, distancia del mar al edificio. y el tipo de cimentación.

##### **3.2.1 Finalidad de la empresa**

Básicamente, de los 50 proyectos verificados, sólo el 4% son edificios comerciales y el 96% son edificios residenciales. En este caso, la mayoría de los edificios actualmente verificados están efectivamente compuestos por edificios residenciales, según lo registrado por el investigador, que se muestra en la Figura 3.

##### **3.2.2 Número de pisos**

El universo de investigación se encuentra en edificios que variaron la cantidad de pavimentos. El recuento se elaboró teniendo en cuenta los suelos comunes como sótano, planta baja, suelos filtrados, mecanografiados y la cubierta.

La Figura 4 muestra los porcentajes para el número de pisos para edificios de hasta 15 plantas, luego para edificios de 16 a 25 plantas y finalmente para edificios de más de 25 plantas, alcanzando hasta 41 plantas, sumando un total de 50 proyectos catalogados.

### FUNCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

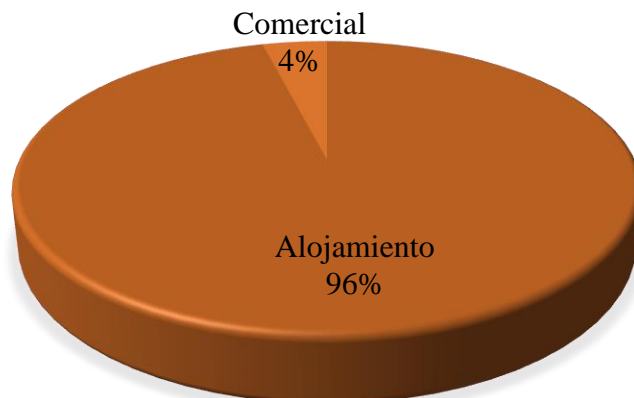


Figura 3. Propósito de la empresa

### NÚMERO DE PAVIMENTOS



Figura 4. Número de pisos

#### 3.2.3 Altura del nivel freático

Como la aparición de RAS está directamente relacionada con tres factores: los álcalis normalmente derivados del cemento, el agregado reactivo y la presencia de agua. En esta investigación, tratamos de identificar si se encontró agua durante todo el proceso de recuperación que pudiera favorecer la aparición de la reacción.

En el momento en que se excavó la cimentación, tratamos de identificar si había agua procedente de alguna fuente, ya sea de la mesa de agua o incluso de alguna otra condición. En parte de los cimientos donde se identificó el nivel de la tabla de agua, los elementos estaban parcial o sólo con agua en el nivel inferior del elemento. En el caso de esta reacción, es erróneo pensar que el fenómeno se desarrolla sólo en elementos concretos en contacto directo con el agua, porque aquellos que están sólo en el nivel inferior del bloque en contacto con el agua son susceptibles a la reacción.

Durante las entrevistas, en algunas empresas se puso a disposición la información, en otros casos se pudo identificar a través de las colecciones de las fotos, otras situaciones en la verificación de la composición de los costos del presupuesto que trajo los datos de reducción de las aguas subterráneas, es decir, los trabajos de recuperación sólo se pudieron realizar a través de la reducción de la lámina, y porque se desconoce el nivel en el que se estableció el agua en esa fundación, se

consideró el agua en la parte inferior del bloque en este caso. En otros casos no había información sobre la presencia de agua, por lo que se consideró que no se encontró el nivel de las aguas subterráneas.

Sobre la base de estas premisas, este tema se dividió en cuatro etapas, donde se encontraba el nivel de las aguas subterráneas en relación con la dimensión del elemento de cimentación: Nivel 1, Nivel 2, Nivel 3 y NE, descrito a continuación:

Nivel 1: agua en el nivel inferior del bloque;

Nivel 2: agua en el centro del bloque;

Nivel 3: agua en la parte superior del bloque

NE: nivel de aguas subterráneas no encontrado.

Posteriormente, después de todos los análisis por empresa, se elaboró el Cuadro 4 donde se resumieron los resultados de las aguas subterráneas y se abordaron generalmente en relación con las cincuenta fundaciones. Como resultado, el 40% del agua se obtuvo en el nivel inferior del bloque, nivel 1; para el nivel 2, el 18% de los cimientos con agua se encontraron en el medio de los bloques; nivel 3 no identificado. La información sobre el nivel de las aguas subterráneas no se encontró en el 42% de las fundaciones de investigación.

Tabla 4. Niveles de las láminas de agua encontradas.

<b>Resumen de los niveles de las láminas de agua</b>				
<b>Empresas</b>	<b>NÍVEL 1 - Agua en el nivel inferior del bloque</b>	<b>NÍVEL 2 - Agua en el medio del bloque</b>	<b>NÍVEL 3 - Agua en la parte superior del bloque</b>	<b>NE – Nivel no encontrado</b>
Z Ingeniería	50%	25%	0	25%
X Ingeniería	67%	33%	0	0
A Ingeniería	17%	20%	0	63%
Y Ingeniería	100%	0	0	0
T Ingeniería	61%	17%	0	17%
<b>Total</b>	<b>40%</b>	<b>18%</b>	<b>0</b>	<b>42%</b>

### 3.2.4 Edad de la construcción

Otro esfuerzo de la investigación fue tratar de identificar las edades de cada edificio, es decir, desde el año 1, después de la finalización de la construcción hasta el momento en que fue catalogado por la empresa responsable de su recuperación. Sin embargo, no es información que las empresas hayan puesto a disposición en todos los casos estudiados. Se encontraron edificios que presentaban diferentes edades en el momento de la recuperación por RAS.

Los edificios fueron encontrados a la edad de trece años en el momento de su recuperación, con cimientos en zapatos, otros edificios se refieren a cimientos en bloques en pilas y zapatos de 16, 19, 20, 30 a 45 años. En la Figura 5, se citó la información considerando las edades constructivas del edificio hasta 20 años, después de 21 a 30 años, luego de 31 a 40 años y finalmente 41 años en adelante y sus respectivos porcentajes para estos rangos de edad. La Tabla 08 muestra los porcentajes de edificios por su tipo de cimentación.

### EDADES DE CONSTRUCCIÓN

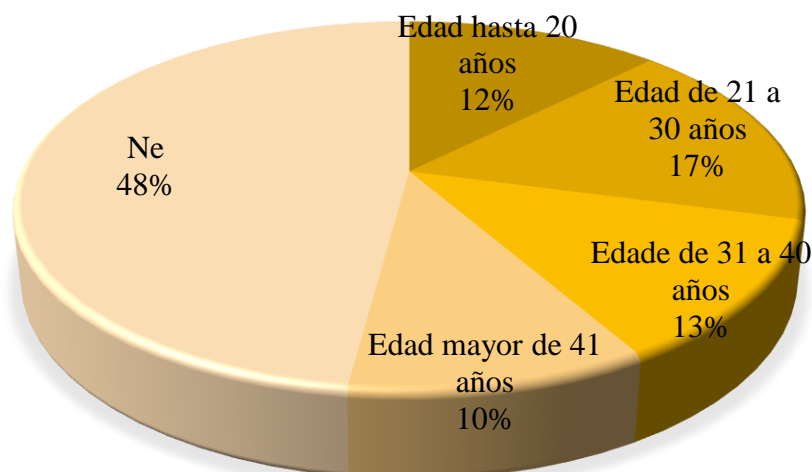


Figura 5. Edades de los edificios.

Las conclusiones de estas fundaciones afectadas por la reacción se produjeron debido a las situaciones adversas mencionadas anteriormente, como el derrumbe del edificio Areia Branca y, en consecuencia, la aparición de la Ley 13.032, que obligaba a los condominios a realizar inspecciones. A partir de ahí, los hallazgos, con diferentes edades constructivas, y empeorados o no de la reacción, fueron decisivos, tras las conclusiones de la reacción a través de pruebas, como la prueba petrográfica, identificando el grado de agresividad establecido en ese elemento fundacional, que podría servir de parámetro en cuanto a la necesidad de intervención urgente o no. Todavía se registró que los años en que se produjeron las recuperaciones fueron en períodos variados, pero principalmente en 2005, 2008, 2009, 2011, 2012, y se extienden hasta el día.

#### 3.2.5 Descubrimiento de la manifestación patológica y los síntomas encontrados

Por lo general, las dificultades asociadas con las interpretaciones sobre ocurrencias de grietas o daños en las estructuras, últimamente ha sido recurrente. Los problemas pueden haber sido causados por varios factores tales como fallas que ocurrieron durante la fase de diseño, uso de materiales incorrectos, mal proceso de construcción o debido a la falta de mantenimiento.

Los síntomas son problemas patológicos que presentan manifestaciones externas características, de las cuales se puede deducir la naturaleza, el origen y los mecanismos de los fenómenos involucrados, así como si estimar sus probables consecuencias. Estos síntomas, también llamados lesiones, daños, defectos o manifestaciones patológicas, pueden ser descritos y clasificados, guiando un primer diagnóstico, basado en observaciones visuales exhaustivas y experimentadas (Helene, 1992).

En esta investigación los síntomas encontrados están casi confundidos con el descubrimiento de la patología, ya que en el 80% de los casos identificados las causas mencionadas fueron a las fisuras. Estos que normalmente se propagan en el suelo, y en algunos casos fueron encontrados por los pilares del sótano, planta baja o pilotis, se identifican haciendo anormal el aspecto del entorno, debido a la patología insertada en los bloques o zapatos, que demuestran sus pruebas en la planta superior inmediatamente.

#### 3.2.6 Distancia del mar para la construcción

Este artículo fue analizado debido a la proximidad a la zona marina, que según NBR 6118: (2014), se considera con el Grado de Agresividad III, considerado fuerte.

Se encontró que la mayoría de los cimientos recuperados 54% se encuentran en la zona Sur, en el

Barrio de Boa Viagem. Los otros cimientos se encuentran en la zona norte, en zonas más remotas. Normalmente, la zona Sur, en esta zona, el nivel de las aguas subterráneas es alto, lo que posiblemente podría haber permitido un ambiente propicio para desencadenar la reacción en los cimientos.

### 3.2.7 Tipo de Fundación

En los cimientos uno de los síntomas más comunes encontrados se informó como fisuras. Existen numerosas dificultades para interpretar las patologías causadas por álcali-sílice (RAS). Sin embargo, es correcto afirmar que una estructura afectada por esta reacción tendrá la presencia del gel exudado, resultante de la reacción. Inicialmente, en las primeras etapas, o en condiciones en las que se formaron pequeñas cantidades, ras no se puede ver a simple vista, requiriendo especialistas y pruebas realizadas en muestras tomadas del elemento afectado para detectarlo.

Según Silva (2013) en su investigación se verificó con reconocidos calculistas, que trabajaban en el mercado inmobiliario de la construcción civil, que se insertaron algunos cambios en los proyectos fundacionales con el propósito de mitigar los efectos perjudiciales de la reacción. Se produjo un cambio en el detalle de los refuerzos de los elementos de cimentación, principalmente en los bloques de corona de las pilas porque tienen grandes volúmenes de hormigón, con refuerzos con mayores espesores en los laterales y en la parte superior (a través de mallas formando una jaula), con el fin de evitar o minimizar posibles grietas debido a alguna expansión del hormigón.

En el caso de esta investigación, ya que los edificios en cuestión tenían más de 15 años, los proyectos no habían sufrido cambios en términos de reacción. La Figura 6 muestra que, de los cincuenta proyectos mencionados, sólo dos tenían fundamentos en el calzado como elemento fundacional, es decir, sólo el 4%, el otro 96% eran fundaciones de bloques.

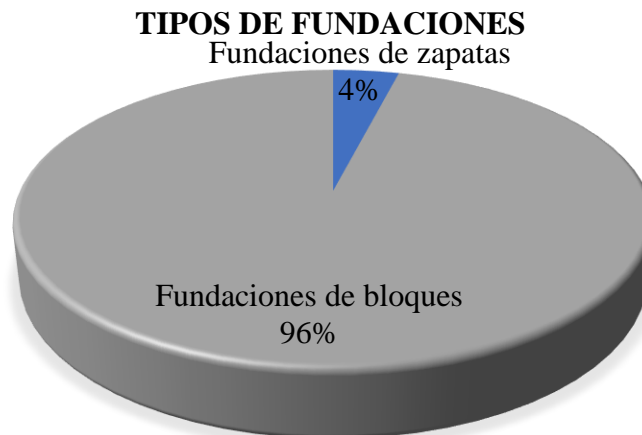


Figura 6. Tipos de fundaciones.

### 3.3 Diagnóstico

El diagnóstico de estructuras concretas afectadas por la reacción álcali-agregado implica las etapas de recopilación de información, inspección visual, pruebas de muestras de materiales de componentes concretos y testimonios extraídos de la estructura, auscultación a través de instrumentación y seguimiento de su evolución mediante modelado matemático (Priszkulnik, 2005).

El diagnóstico de los cimientos afectados se construyó a través de la información visual, y respuestas concretas a partir de los resultados de los ensayos realizados en los testimonios que concluyeron la existencia de la reacción alcalina sílice. Se reportaron situaciones detalladas sobre el estado de las fundaciones afectadas por la reacción, como la formación de fisuras. La extracción de testimonios fue una herramienta importante que permitió la identificación de grietas internas,

pérdida de adhesión del mortero en la interfaz con los agregados, ocurrencia de bordes de reacción alrededor de los agregados que han reaccionado con los álcalis, presencia de gel en vacíos y profundidad de carbonatación.

### 3.3.1 Lugar de incidencia de grietas en el edificio

Las respuestas encontradas para el sitio de incidencia de fisuras fueron respondidas con información muy similar. Las grietas fueron evidenciadas a través de encuestas, en su mayoría rutinarias, y debido a pistas encontradas en los pisos. Los elementos de los cimientos tenían grietas en la parte superior y los lados. Se realizó un mapeo preliminar de los elementos estructurales, donde se verificó el posicionamiento de las fisuras, sus derivaciones, espesores de su apertura y donde hubo la mayor concentración.

Sobre la base del principio de la combinación de toda la información de las inspecciones visuales, pruebas y documentación del proyecto y la construcción de edificios, sólo entonces fue posible analizar y diagnosticar el problema. Por lo tanto, se hace hincapié en la necesidad de pruebas de laboratorio para confirmar la aparición de la reacción de Sílice Alcalina.

También se informó por las empresas involucradas en este trabajo que se cumplen las inspecciones visuales, así como los controles del proyecto, pero sólo el 48% de los proyectos hicieron uso de pruebas de laboratorio. El otro 52% trató como resultado de los únicos enfoques visuales, como se muestra en la Figura 7. En algunas circunstancias, dependiendo de los problemas financieros, las pruebas se dispensan. En otros después de la verificación in situ del estado de la fundación, la reacción de eliminación se adelantó, de acuerdo con la Figura 8, que se convirtió en recuperación imperativa, haciendo que los propietarios acreditar el diagnóstico sólo a la experiencia de las empresas.

#### DIAGNÓSTICO DE PATOLOGÍA

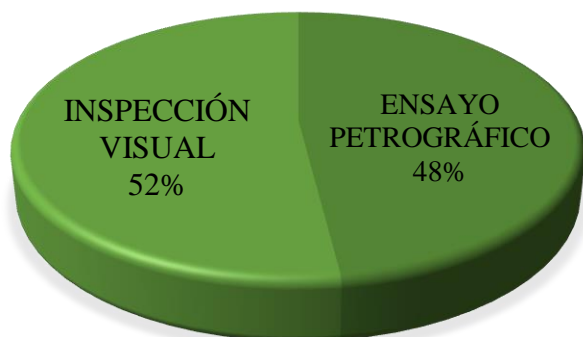


Figura 7. Diagnóstico de patología.



Figura 8. Bloquee el agrietamiento con RAA.

Actualmente se ofrecen varios métodos estandarizados en el mercado para caracterizar la amplia reactividad potencial de los agregados minerales en el cemento portland de hormigón. El análisis petrográfico es un examen para el diagnóstico de la presencia de material reactivo y también para la aparición de manifestaciones asociadas a la reacción, como el borde de reacción en el agregado, microfisuras causados por la expansión, presencia de gel dentro de los poros, entre otros.

El ensayo utilizado para determinar las patologías de esta investigación fue el ensayo petrográfico NBR 15577-3: (2013). Desafortunadamente, como se presentó anteriormente, dependiendo de los costos que las pruebas no se llevaron a cabo. Y en los casos investigados, los testimonios extraídos de los elementos de las fundaciones fueron remitidos a ABCP (Asociación Brasileña de Normas Técnicas) o al IPT (Instituto de Investigación Tecnológica), ambos en São Paulo. El mayor número de pruebas petrográficas, el 80% se atribuyó a ABCP y las demás al IPT.

### **3.4 Procedimientos de recuperación**

En el proceso de recuperación de estructuras concretas la calidad y el resultado de los servicios aplicados depende principalmente de un diagnóstico preciso y de la elección adecuada, que incluye la selección de materiales y equipos a utilizar, necesarios para realizar el servicio. Estos hechos fueron evidenciados con la solicitud de proyectos para fundaciones donde la reacción expansiva estaba en un alto grado de deterioro. Además de estas cuestiones, buscamos los resultados de los inmuebles de hormigón expuestos a la reacción, condición impuesta por las empresas, con el fin de verificar las condiciones en las que se encuentra el hormigón anterior, con el fin de garantizar los buenos resultados en la intervención de los servicios de recuperación. Dada la posesión anterior de estos datos, se determina el proceso de recuperación, los pasos a seguir, los procedimientos de seguridad aplicados y qué materiales se utilizarán en la lucha contra RAS.

#### **3.4.1 Pasos seguidos en el proceso de recuperación**

Los pasos seguidos en el proceso de intervención para la recuperación de la fundación se asemejan a una receta para el tratamiento de una enfermedad. Este proceso fue seguido y ejecutado por las cinco empresas entrevistadas en esta investigación en la mayoría de las recuperaciones, cambiando sólo los materiales utilizados en la búsqueda de la monolitización de los elementos.

La formulación de estos tratamientos de recuperación se ajustó a las preguntas relacionadas con el tamaño, el enrutamiento y la profundidad de las fisuras. Y cuando se trata de procesos de recuperación ras, la búsqueda es asegurar que las piezas estructurales vuelvan a funcionar en su conjunto, monóticamente, con el cierre de sus grietas, logradas mediante la inyección de un material adherente y resistente. Los pasos que componen la recuperación y el orden de su ejecución se describen a continuación:

Demolición y excavación de materiales; Lavado de Superficies de Hormigón; Pico de superficies; Perforación de hormigón; Colmatação y colocación de purgadores; Inyección en las grietas; Montaje de refuerzos y hormigón estructural.

#### **3.4.2 Llenado de fisuras y materiales utilizados**

La inyección es el último paso en el proceso de recuperación y tiene como objetivo permitir el llenado perfecto del espacio formado entre los bordes de una grieta que recompone la base y promueve su monolítico. Los procedimientos realizados en los rellenos de las grietas tuvieron pequeñas variaciones, de una empresa a otra, dependiendo del estado en el que se encontró el elemento estructural y los criterios desarrollados en la inyección.

En los diversos tratamientos estudiados era necesario el uso de materiales con alta resistencia mecánica a la compresión, tracción y cizalla y resina epoxi era uno de los materiales recomendados para el tratamiento de grietas y grietas afectadas por RAS. Porque es un material rígido después de la curación, e importante restringir el tratamiento sólo a las fisuras y grietas pasivas, es decir, que no presentaron movimiento, como fue el caso de los cimientos mencionados en esta obra.

El segundo material utilizado en las inyecciones fue el microcemento. Relativamente nuevo en este procedimiento, es un material creado a partir del propio cemento con una finura de los granos con hasta 8 micrómetros, o 8 milésimas de milímetro, y el 95% de las partículas tienen el mismo tamaño. Aplicado en recuperaciones de fisuras pasivas es un material rígido, después de su curación y utilizado en zonas secas o húmedas. Algunas empresas han optado por este material, ya que promueve a la parte estructural la protección alcalina de los refuerzos, la fuerza compresiva, la tracción y el cizallamiento y el llenado de vacíos, devolviendo el monolito y la fuerza de la estructura

En la investigación, hubo un mayor uso de resinas epoxi en el 82% de los cimientos, seguido de microcemento en el 6% de los cimientos y en el 10% el material utilizado no fue identificado, se muestra en la Figura 9.



En el proceso de inyección, se realizó el uso de purgas plásticas y metálicas, visualizadas en las Figuras 10 y 11. Las purgas metálicas forman parte de los nuevos avances en el proceso de inyección, al que se imputa una inyección con mayor presión, y en consecuencia la penetración del material en áreas de mayor profundidad en un corto período de tiempo. Sin embargo, en todos los materiales recogidos de este estudio, colmatação es un procedimiento utilizado en el cierre de grietas externas para garantizar la inyección, y el material más utilizado son mangueras de plástico, más simples y fácilmente encontrados en el comercio.



Figura 9. Materiales utilizados en inyecciones.

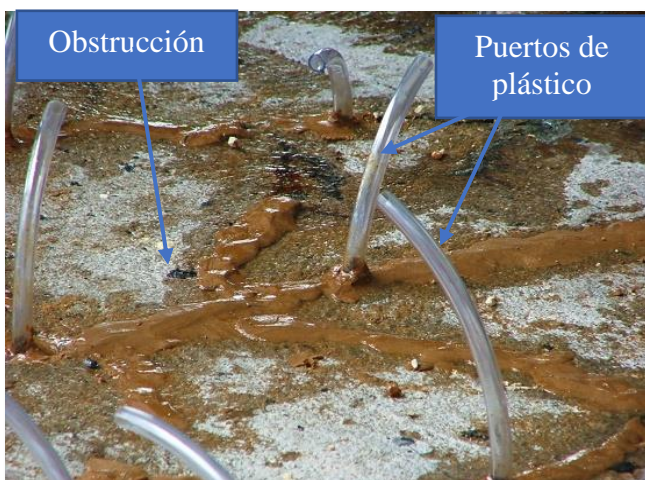


Figura 10. Puertos de plástico.



Figura 11. Puertos metálicos.

### 3.4.3 Camisas y el cálculo de refuerzo

Según Silva (2007) para realizar el proceso de construcción de encapsulación de los bloques afectados por el fenómeno expansivo de RAS, primero se debe tener un entendimiento sobre el comportamiento de la estructura a recuperar. Con la aparición del fenómeno de la Reacción de Sílice Alcalina en los bloques de cimentación en los edificios de la región metropolitana de Recife, entender el comportamiento de estas estructuras se convirtió en un desafío para los técnicos y calculistas de estructuras. Cómo establecer un diagnóstico preciso y adoptar técnicas que sean eficaces para el problema, es decir, devolver al trabajo su estabilidad y fiabilidad de diseño.

En el caso de los cimientos afectados, las zonas con pocos refuerzos eran susceptibles a las expansiones causadas por la reacción. Las pruebas de laboratorio han demostrado que en concreto la expansión se limita a la zona donde no hay compresiones fuertes. Es decir, cimientos como los

zapatos, que en ese momento tenían armadura sólo en las zonas inferiores y las áreas superiores (cuscús) por lo general tenían poca o ninguna armadura, eran susceptibles a la expansión. El cálculo del refuerzo se determinó en algunos casos, a través de la intervención de los calculistas. La evaluación para el uso del proyecto se determinó de acuerdo con el marco de expansión encontrado, en las bases con la reacción avanzada de eliminación, se pidió al cálculo que verificara. Las chaquetas representaban el 81% de los elementos de cimentación con el uso de armadura y el 19% no fueron identificados, que se muestran en la Figura 12.

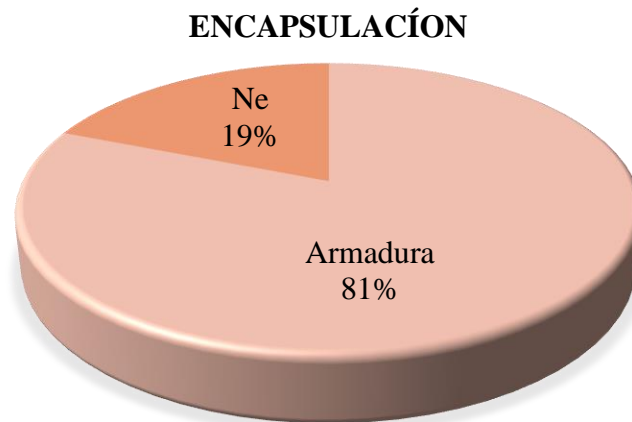


Figura 12. Uso de armadura.

#### 3.4.4 Impermeabilización

Durante la construcción de los cimientos, ya sean zapatos o bloques en función de la reacción, la salud y durabilidad de los cimientos se aseguraron a través de la impermeabilización. Paso importante debido a la exposición de estos elementos en contacto permanente con la humedad del suelo y, cuando no se trata, conducir la humedad por capilaridad.

Para evitar posibles problemas patológicos causados por la humedad, es imprescindible utilizar un sistema de impermeabilización compatible con la geometría de las piezas y con las características de la estructura, como el nivel de las aguas subterráneas. Se verificó en la investigación que en todos los cimientos recuperados, se utilizó impermeabilización en las tapas y lados de los elementos, visualizados en la Figura 13.



Figura 13. Bloque impermeabilizado.

### 3.5 Costes de las recuperaciones

Los recursos asignados en las recuperaciones dependían de cómo sería el tipo de intervención solicitada y los valores presentados. El costo de recuperación fue directamente proporcional a la solución adoptada para su ejecución, considerando la metodología, especificaciones materiales, mano de obra utilizada, obras complementarias, tales como arenas y andamios, bombas de reducción, entre otros.

Se verificó a lo largo de la investigación que los costos, bastante costosos, son responsabilidad del condominio y fueron variados y divididos en dos grupos, de acuerdo con la disponibilidad económica de cada condominio. El primer grupo realizó la recuperación completa en el 100% de las fundaciones y el segundo grupo las recuperaciones fueron realizadas por las partes y durante largos períodos.

### 3.6 Ventana de inspección

Como resultado, se encontró que, de las 50 fundaciones inspeccionadas, sólo dos salieron de las ventanas de inspección. Las ventanas son pequeñas aberturas que quedan en los elementos de cimentación, para monitorear las recuperaciones, visibles en los pisos superiores, visualizadas en la Figura 14 Internamente, pequeños trozos de vidrio se colocan visualizados en la Figura 15, donde previamente se identificaron las fisuras, que después de su rehabilitación, serán monitoreadas periódicamente. En caso de cualquier nuevo movimiento del bloque de cimentación, la tendencia de este vidrio se romperá, indicando posibles indicios de la continuidad del RAS, o alguna otra manifestación patológica.



Figura 14. Ventana de inspección.



Figura 15. Interior de la ventana inspección.

## 4. CONSIDERACIONES FINALES

Este estudio tenía como objetivo trazar un perfil de los procesos utilizados en las recuperaciones de cimentaciones afectadas por la reacción de Sílice Alcalina, a través de la verificación de casos prácticos en 50 fundaciones que fueron rehabilitadas. Se presentan los resultados, que se dividieron en cuatro partes que comprenden las características, diagnóstico, recuperación y costos. Los análisis de los primeros resultados proporcionaron las siguientes declaraciones sobre las características constructivas:

- ✚ En cuanto a los proyectos encuestados, el 96% son residenciales y el 4% comerciales;
- ✚ En cuanto al número de pisos, se encontraron estructuras de 15, 25, 30 a 41 plantas;
- ✚ Determinando los factores de acondicionamiento que influyen en la Reacción se estableció que varios cimientos estaban con sus elementos parcialmente emergiendo en el agua del mandrido.

De estos hallazgos, se encontró que el 40% de los cimientos se insertaron en el nivel 1, es decir, había agua procedente de las aguas subterráneas en contacto permanente con la parte inferior del bloque, no se encontró el 18% de los cimientos con agua en el medio del bloque, el nivel 2 y el nivel 3. En el 42% de los cimientos, no se identificó el nivel de las aguas subterráneas;

- ✚ Las edades constructivas, otros datos analizados desde los edificios, oscilaron entre 10, 15, 16, 20, 22, 25, 30, 40, 41 alcanzando hasta 45 años;
- ✚ Los resultados de las manifestaciones se produjeron a través de controles rutinarios que indicaban la aparición de grietas en los pisos del estacionamiento en el 80% de los casos encuestados;
- ✚ En las distancias de los edificios en relación con el mar, se encontró que el 54% de los cimientos estaban en el sur y el 46% en el norte;
- ✚ Los tipos de fundaciones encontradas eran zapatos con sólo el 4% y bloques con el 96%.

En el segundo material analizado, el diagnóstico concluyó las siguientes preguntas:

- ✚ El sitio de la incidencia de las grietas se identificó en los bloques y zapatos en los lados y en la parte superior de los bloques;
- ✚ El diagnóstico del 42% de los materiales analizados hizo uso de pruebas de laboratorio. Y a través de estudios con la participación de calculistas y especialistas en el área concreta, y dependiendo de la fisura, la edad del edificio y el entorno donde se insertó la fundación, esbozaron una metodología de recuperación para ras basada en los resultados de las pruebas resultantes de extracciones de testimonios que apoyaban la aparición de una receta para combatir la enfermedad de expansión. Sin embargo, el 58% de los materiales analizados buscaron opiniones de empresarios, de los cuales parte de ellos tenían mucha experiencia en los procesos de recuperación y otros supuestamente estaban en la zona, y debido a sus experiencias en otros estudios, sin la presencia de calculistas y resultados de pruebas, determinaron que la intervención debía realizarse como reacción alcalina tras la receta de recuperaciones utilizadas en otros casos.
- ✚ Los ensayos utilizados en el diagnóstico de la reacción del 42% de los cimientos fueron el ensayo petrográfico y el 58% restante diagnosticó la reacción a través de ensayos solo visuales.

En el tercer análisis, se observó información sobre recuperaciones:

- ✚ Las recuperaciones fueron similares en la mayoría de los cincuenta cimientos verificados y siguieron el siguiente procedimiento: demolición y excavación de piezas estructurales, lavado de la superficie de los elementos, esnodo y perforación de hormigón, colmatação, inyección, montaje de refuerzo, concreción e impermeabilización.
- ✚ La inyección en el llenado de las grietas que los materiales utilizados eran epoxi en el 84% de los cimientos, el microcemento en el 6% de los cimientos y en el 10% de los cimientos no se identificó. Lleno de la ayuda de la bomba de inyección neumática;
- ✚ La encapsulación se utilizó en el 81% de las fundaciones y en el 19% no fue identificado. La elección de este proceso fue a través del grado de deterioro en el que estaba la fundación. En las fundaciones más degradadas, las recuperaciones se utilizaron a través de la intervención del proyecto del cálculo.

El cuarto material de compilación fueron los costes de la recuperación y las ventanas de inspección:

- ✚ Los costos fueron pagados en su totalidad por los condominios, con la excepción de dos recuperaciones. Uno presentó el 50% de los costos pagados fue por la constructora y el otro el 50% por el condominio. El otro fue la recuperación de sólo cuatro zapatos y los costos pagados por la empresa constructora. Se encontraron valores costosos en las recuperaciones que variaron según las dimensiones de las piezas, el grado de degradación de la cimentación y también el

- procedimiento elegido para la restauración de la misma;
- ✚ El último objetivo de esta investigación sería identificar los cimientos que han sido sometidos a recuperaciones y si se dejó una ventana de inspección para posibles controles adicionales. En sólo el 4% de los cimientos se dejaron ventanas de inspecciones.

## 5. CONCLUSIONES

Con el resultado de esta investigación se puede tener una visión general real de los procedimientos utilizados en las recuperaciones en los años 2004 hasta la actualidad. Sin embargo, se sabe que, en los tratamientos aplicados, se observó la similitud de estos procesos, seguido de pequeños cambios. En entrevista con algunos de los directivos de las empresas, se constató que desde las recuperaciones realizadas en el puente Paulo Guerra en el año 2000, los materiales utilizados y los procedimientos de recuperación han progresado poco. Por ejemplo, la inyección mediante purgas de plástico y metal, aunque el sistema utilizado con purgas de plástico sigue siendo el más solicitado. Otro cambio se produjo en los materiales utilizados en la inyección, con el uso de microcemento, pero el epoxi siguió siendo el material más utilizado.

En las recuperaciones de los cimientos ejecutados, es necesario un seguimiento eficaz y sistemático, ya que la Reacción Álcali-Sílice puede manifestarse de nuevo, porque todavía hay muchas lagunas en los resultados de estas intervenciones, revelando que es extremadamente importante aplicar una ventana de inspección que permita los controles de seguimiento. Especialmente en las fundaciones rehabilitadas que no presentaban seguimiento técnico del personal cualificado y los resultados de las pruebas, predominantemente elementos para la determinación consciente y coherente de los procedimientos de la manifestación patológica. Como resultado, hay una falta de un diagnóstico concreto que posiblemente conducirá al uso de procesos equivocados y la continuidad de una enfermedad no asegurada. Se observó que la búsqueda de menores costos, en contra de las buenas prácticas de ejecución y la garantía de buenos resultados. En las cincuenta fundaciones encuestadas, sólo dos dejaron las ventanas de inspección, lo que representa el 4% de las obras encuestadas que permitieron el seguimiento.

En los materiales encuestados, verificamos la búsqueda de información sobre la química de la reacción, la microestructura de los agregados, las medidas atenuantes, las prevenciones, pero es necesario mirar aquellos cimientos recuperados, que no tienen la respuesta de la eficiencia de estos procedimientos utilizados como forma de recuperación, ni el tiempo de su durabilidad. La eficacia de los resultados futuros en la lucha contra la RAA en fundaciones antiguas también debería ser una razón de seguimiento sistemático para garantizar su salud estructural.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este artículo es de gran relevancia para la comunidad científica/académica y no sería posible sin la colaboración de todos los participantes que estuvieron presentes durante su producción y desarrollo. Estamos inmensamente agradecidos a la Universidad Católica de Pernambuco y a la Universidad de Pernambuco por su asociación en la preparación del artículo y por su apoyo a través del Aviso de Apoyo al Investigador - APQ 2019 y la Coordinación para la Mejora del Personal de Educación Superior - Brasil - (CAPES) - Código de Financiamiento 001.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, T., Silva, J. J. R., Almeida R., Figueirôa, J. P., Kihara, Y., Pecchio, M. (2006), *“Diagnóstico de Reação Álcali-Agregado em Blocos de Fundação de um Edifício Público situado na Cidade do Recife/PE.”* In: II Simpósio Sobre Raa em Estruturas de Concreto. IBRACON.

- Andrade, T. (2006) “*Histórico de Casos de RAA Ocorridos Recentemente em Fundações de Edifícios na Região Metropolitana do Recife.*”, In: II Simpósio Sobre Raa em Estruturas de Concreto. IBRACON.
- Associação de Normas Técnicas (2013). *NBR 15577: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto.* Rio de Janeiro.
- Associação de Normas Técnicas (2013). *NBR 15577-1: Guia para Avaliação da Reatividade Potencial e Medidas Preventivas para Uso de Agregado em Concreto.* Rio de Janeiro, 2008. 11p.
- Associação de Normas Técnicas (2013). *NBR 15577-2: Coleta, Preparação e Periodicidade de Ensaio de Amostras de Agregados para Concreto.* Rio de Janeiro, 2008. 2p.
- Associação de Normas Técnicas (2013) *NBR 15577-3: Análise Petrográfica para Verificação de Potencialidade Reativa de Agregados em Presença de Álcalis do Concreto.* Rio de Janeiro, 2008. 8p.
- Associação de Normas Técnicas (2013). *NBR 15577-4: Determinação da Expansão em Barras de Argamassa pelo Método Acelerado.* Rio de Janeiro, 2008. 12p.
- Associação de Normas Técnicas (2013). *NBR 15577-5: Determinação da Mitigação da Expansão em Barras de Argamassa pelo Método Acelerado.* Rio de Janeiro, 2008. 5p.
- Associação de Normas Técnicas (2013). *NBR 15577-6: Determinação da Expansão em Prismas de Concreto.* Rio de Janeiro, 2008. 16p.
- Associação de Normas Técnicas (2014). *NBR 6118: Estruturas de concreto armado – Procedimento.* Rio de Janeiro, 2014. 238 p.
- Battagin, A., Silveira, A.L., Munhoz, F., Battagin, I. (2016), “*A Evolução da Cultura da Prevenção da Reação Álcali-Agregado no Mercado Nacional.*” Associação Brasileira de Cimento Portland. In: Concreto e construções. Ano 44. Ed. IBRACON.
- Hasparyk, N. P. (1999), “*Investigação dos Mecanismos da reação Álcali-Agregado – Efeito da Cinza de Casca de Arroz e da Sílica Ativa.*” Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Hasparyk, N. (2005), “*Investigação do Concreto Afetados pela Reação Álcali Agregado e Caracterização Avançada do Gel Exsudado.*” Tese de Doutorado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Helene, P. (1992), *Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto.* 2ª Ed. São Paulo, PINI.
- Priszkulnik, S. (2005), *Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto Afetadas pelas reações Cimento-Agregado.* In: ISAÍÁ, G.C. Concreto: Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Ed. Ibracon. Vol 2.
- Silva, C. S. (2013), “*Reação Álcali-Agregado: Diagnóstico, Tratamento e Cuidados na Execução de Elementos em Concreto Armado nas Fundações da RMR.*” Monografia em Engenharia, Universidade de Pernambuco, Recife.
- Silva, G. A. (2007), “*Recuperação de Blocos de Coroamento afetados pela reação Álcali-Agregado.*” Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2007.
- Munhoz, F. A. C. (2007), “*Efeito de Adições Ativas na Mitigação das reações Álcali-Sílica e Álcali-Silicato.*” Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Otoch, S. (2016), Reação álcali-agregado: o que é e como evitar?. “*A Evolução da Cultura da Prevenção da Reação Álcali-Agregado no Mercado Nacional.*” Associação Brasileira de Cimento Portland. In: Concreto e construções. Ano 44. Ed. IBRACON.