

## Os suportes para ar-condicionado dos edifícios: Desafios de uma cidade sustentável

**Wildson Wellington Silva**

Mestrando, UPE, Brasil.

wildsonws@gmail.com

**Willames de Albuquerque Soares**

Professor Doutor, UPE, Brasil.

was@poli.br

**Eliana Cristina Barreto Monteiro**

Professora Doutora, UPE, Brasil.

eliana@poli.br

## RESUMO

O avanço da tecnologia e o aumento das temperaturas globais, suscitaram a demanda por sistemas de refrigeração individual e coletiva nas edificações residenciais e comerciais, deixando os equipamentos de ar-condicionado e seus respectivos suportes expostos em fachadas. Por isso, o objetivo dessa pesquisa é avaliar - Através de um estudo de caso - a degradação dos suportes de concreto armado. O estudo verificou que 49,5% das edificações pesquisadas possuem suportes para aparelhos de ar-condicionado na área externa de suas fachadas e desses, 69% são de concreto armado. A partir das imagens aéreas pôde-se constatar rachaduras em 90% dos suportes e 21% deles apresentaram colapso parcial da estrutura. Assim sendo, conclui-se a existência de falha na concepção de projeto do suporte de concreto armado, uma vez que, não tem sido dada a devida importância aos requisitos mínimos de cobertura e controle de qualidade na fabricação do concreto, sendo decisivos no aumento da porosidade e na entrada de agentes agressivos. A baixa vida útil desses suportes está associado a risco de acidentes graves ou fatais com a queda de partes dessas estruturas, além de suscitar a troca frequente, demandando mais consumo de cimento e gerando mais resíduos da construção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Corrosão de armadura. Durabilidade do concreto. Vida útil. Resíduos da construção.

## 1 INTRODUÇÃO

As edificações demandam equipamentos de arrefecimento, sendo comum a instalação em suas fachadas, de suportes para os aparelhos de ar-condicionado. Dentre os tipos de materiais utilizados, podem-se destacar os de concreto armado, metálicos, plásticos e de fibra de vidro, estando sujeitos às inúmeras intempéries, como sol, chuva, vento, poluição e dejetos de animais.

O concreto possui mecanismos de degradação que impedem uma vida útil mais longa, como a lixiviação, expansão por sulfatos, reação álcali-agregados, além dos processos de corrosão da armadura - provenientes da carbonatação e ação de íons cloretos - sendo agravados pela classe de agressividade ambiental. De acordo com Bertolini (2010) e Almeida e Sales (2018) três aspectos ligados à região e seus microclimas são decisivos nessa degradação, são eles: a umidade relativa do ar, atmosfera marinha e centros populacionais, sendo influenciados pelas chuvas e ventos. O presente trabalho - através de um estudo de caso - levanta as manifestações patológicas dos suportes de concreto armado, a partir de uma edificação em região litorânea, que possui níveis de agressividade ambiental mais elevados.

Sabe-se que, altas concentrações de umidade relativa favorecem a transmissão de cloretos no interior do concreto, de modo que, quando foi analisado com a variação de umidade de 20% a 100% identificou-se que, quanto maior a umidade relativa, maior seria a concentração de cloretos e a consequente profundidade de difusão de íons cloretos, com ampliação em até 4,3 vezes (JIN et al., 2022). Umidades acima de 70%, por sua vez, possibilitam que o cloreto esteja como solução salina e não em forma de cristais (CASTAÑEDA et al., 2018).

Todavia, com o acréscimo da temperatura a transmissão e a profundidade da difusão de cloretos é acelerada no interior do concreto, inclusive, com a elevação de 5 °C para 65 °C a profundidade de difusão do cloreto amplia em 3,3 vezes (JIN et al., 2022).

Embora as chuvas possuam a característica de limpeza, à medida que a intensidade dela aumenta, ocorre a redução de íons cloretos na superfície do concreto e com o aumento na duração das chuvas, a profundidade de acesso ao interior do concreto é maior e atua reduzindo mais profundamente os íons cloretos, ou seja, a maior intensidade da chuva potencializa o dano a estrutura porosa. Em concretos mais secos, por sua vez, a permeabilidade da chuva é maior e a concentração de íons cloretos é reduzida (JIN et al., 2021).

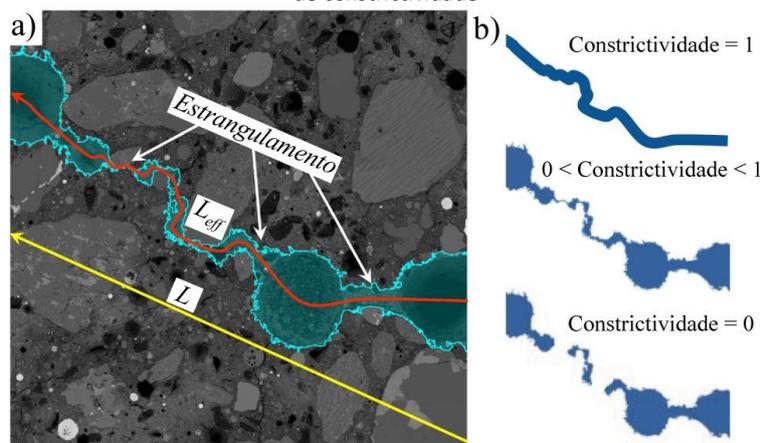
O estudo observou também que as taxas de corrosão são maiores nos locais onde a direção dos ventos incide sobre as construções, logo, fachadas que recebem esses ventos nos períodos de chuva e apresentam elevada umidade relativa do ar, tendem a degradar com mais facilidade, por isso, um aumento ainda mais significativo ocorre nas regiões litorâneas (PAKKALA et al., 2019).

O transporte de íons cloretos é influenciado pela profundidade marítima do litoral, amplitude de marés, arrebentamento das ondas e especialmente na direção dos ventos do litoral para o continente. As reduções da salinidade ocorrem em distâncias de 100 m a 150 m da costa e de forma abrupta (LEE; MOON, 2006). Essas distâncias são influenciadas por obstáculos, chuvas, além do efeito gravimétrico. Em uma região nordeste do Brasil, por exemplo, chegou-se a reduções fortes nos primeiros 100 m a 200 m (MEIRA et al., 2020).

O modelo de Cole et al. (2013) identificou a deposição de cloreto em função dos ventos, - adotou-se duas premissas: o cloreto produzido pela arrebentação (< 1 km), no qual as taxas de deposição caem exponencialmente no primeiro quilômetro e as formadas pelas ondas do mar (> 1 km), são mais leves e menores e caem gradualmente ao longo do interior do continente. Como resultado, formou-se um mapa com o alcance da deposição de cloretos com indicação em vermelho, pelas altas concentrações no primeiro quilômetro, mas pôde-se encontrar com menores concentrações, atingindo quase 100 km do litoral (PONGSAKSAWAD et al., 2021).

Muitos fatores estão associados ao transporte iônico, como a geometria, distribuição dos poros e sua conectividade, as reações químicas - em decorrência das ligações dos íons as paredes dos poros - quimicamente ativas e o efeito do potencial elétrico, pois as paredes encontram-se carregadas negativamente, possibilitando o efeito do potencial de membrana e afetando a difusão de íons. O envelhecimento do concreto e o resultado das reações químicas ao longo do tempo, reflete na diminuição da porosidade e a conseqüente tortuosidade. Além disso, o aumento da temperatura interfere em todos os processos citados, concebendo mais capacidades de ligação (ZHANG; LUZIO; ALNAGGAR, 2021), conforme Figura 1.

Figura 1 – Microestrutura porosa de concreto mostrando a) trajetória tortuosa dos poros e b) diferentes condições de constrictividade



Fonte: Adaptado de (ZHANG; LUZIO; ALNAGGAR, 2021)

O dióxido de carbono ou gás carbônico ( $CO_2$ ) é um elemento abundante na atmosfera. Ao entrar em contato com o concreto ele penetra nos poros por difusão e adsorção, dilui-se na presença de umidade formando o ácido carbônico ( $H_2CO_3$ ), esse material formado reage com a

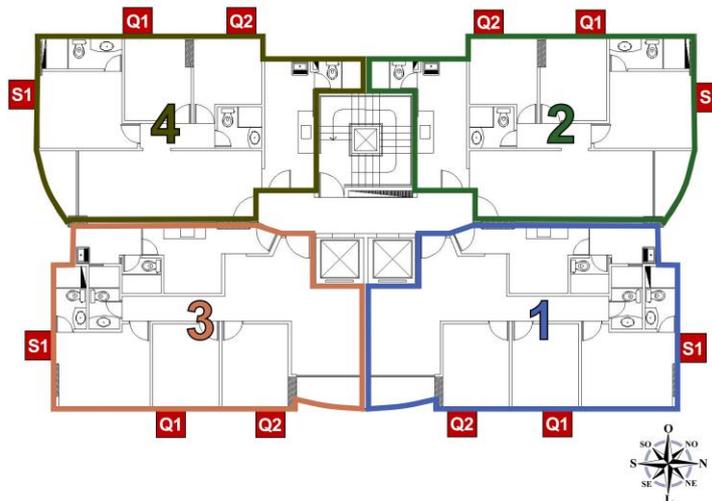
pasta de cimento hidratada como o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) formando o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). O resultado chama-se carbonatação e está associado a lixiviação do concreto (POSSAN, 2010); (XU et al., 2022).

## 2 METODOLOGIA

Para concretização do estudo foi escolhido um edifício de uso residencial, composto por duas torres denominadas A e B, com 14 pavimentos de apartamentos e mais 3 pavimentos de estacionamento, sendo um deles subterrâneo. O condomínio possui quatro unidades habitacionais por pavimento, totalizando os dois blocos em 112 unidades habitacionais. Localizado no bairro de Casa Amarela, na zona norte do Recife, - Estrada do Arraial - número 3574, estado de Pernambuco, CEP: 52.070-230 e sob as coordenadas geográficas Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 25 L, de longitude 289041.00 m E e latitude 9112227.00 m S.

Os blocos foram separados conforme os projetos do condomínio, com a denominação A e B e a separação por Unidade Habitacional com as terminações de 1 a 4. Em seguida, os três quartos foram classificados em S1, Q1 e Q2, em razão dos suportes de concreto armado para ar-condicionado de cada um deles, conforme Figura 2.

Figura 2 - Classificação das caixas para ar-condicionado.

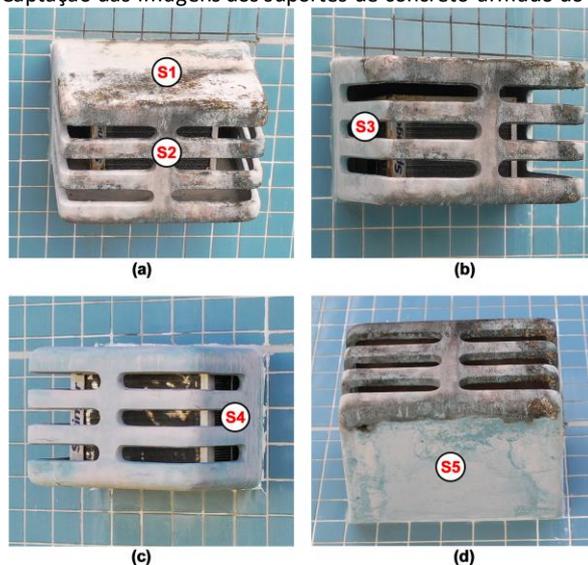


Fonte: Autor, 2022

Para determinar o estado de deterioração de cada caixa foram realizados voos com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), modelo MAVIC 2 Pro da fabricante DJI, visando a captação de imagens para as faces superior, frontal e laterais e com uma câmera digital modelo COOLPIX P520, da fabricante Nikon, para captura de imagem na face inferior. Com o total de 336 caixas de concreto, sendo 3 por apartamento, captou-se 1.344 imagens.

Na Figura 3 estão demonstradas como foi realizada a captura das imagens: S1 – face superior; S2 – face frontal; S3 – face esquerda; S4 – face direita e pôr fim a S5 – face inferior.

Figura 3 - Captação das imagens dos suportes de concreto armado do tipo janela.



Fonte: Autor, 2022

Após a coleta das imagens, as manifestações patológicas puderam ser classificadas de acordo com os tipos de problemas presentes. As fotos de cada parte dos suportes de concreto foram analisadas de acordo com os critérios do Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação das manifestações patológicas

Código	Manifestação patológica	Descrição
1	Descascamento da pintura	Quando a camada de pintura se encontra com partes removidas
2	Manchas	Quando acompanha manchas brancas, amarelas, verdes e escuras
3	Fissuras e trincas	Quando há o início de aberturas em forma de linha no concreto e superficial
4	Rachaduras	Quando há aberturas no concreto com ruptura de massa
5	Desplacamento do concreto	Quando há o despreendimento do concreto, removendo a sua função estrutural
6	Exposição da armadura	Quando a armadura se encontra exposta visualmente
7	Colapso parcial	Quando parte da estrutura se encontra ausente

Fonte: Autor, 2022

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Características geográficas e climáticas

Quanto ao relevo do local, obteve-se o perfil de elevação e identificou-se as altitudes, partindo do zero na formação das ondas até o máximo de 12 m na elevação do Parque Arraial do Bom Jesus e de 10 m no local da edificação (conforme Figura 4).

Figura 4 – Perfil de elevação da edificação até o ponto de rebentação das ondas

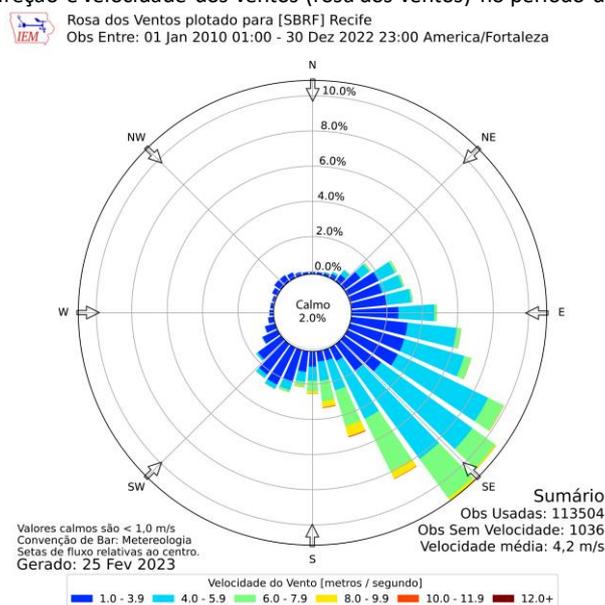


Fonte: Adaptado de (GOOGLE LLC, 2022)

A medição da radiação solar, que interfere na temperatura ambiente, pode ser observada na carta solar do Recife, na qual é possível constatar temperaturas ao longo do ano, não inferiores a 20º C e em grande parte superiores a 25º C, de acordo com a escala de medição do Termômetro de Bulbo Seco (TBS), que mede a temperatura do ambiente onde está instalado (ANALYSIS SOL-AR, 2022).

Com o intuito de ter informações sobre a direção do vento, analisou-se um mapa da Rosa dos Ventos na cidade do Recife, no período da construção da edificação, de 2010 até 2022, nele é possível obter a direção e velocidade do vento, incluindo as direções predominantes e a velocidade dos ventos mais fortes. A partir da análise, observou-se que os ventos com maiores velocidades são os da direção SE, com velocidades que podem chegar a mais de 12 m/s. Apenas em 2% do ano a velocidade do vento é considerada calma, ou seja, menores que 1 m/s, vide Figura 5.

Figura 5 – Direção e velocidade dos ventos (rosa dos ventos) no período de 2010 a 2022



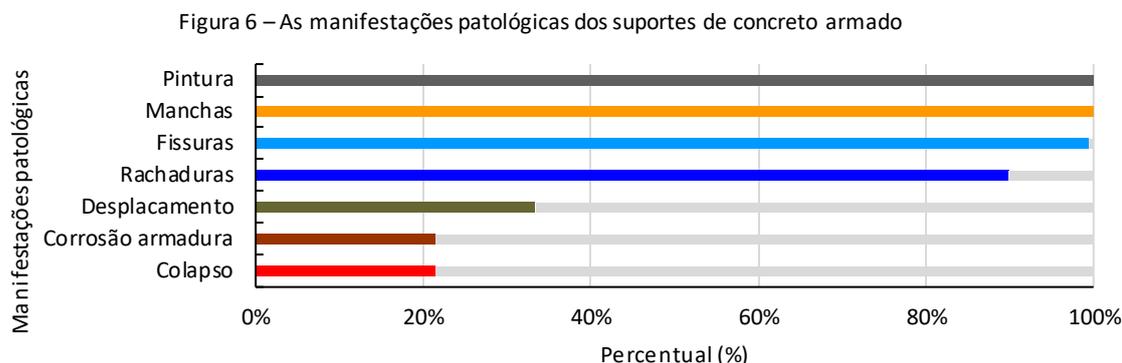
Fonte: (IOWA STATE UNIVERSITY, 2023)

A análise possibilita concluir que a umidade relativa do ar é elevada quando influenciada pelas zonas equatoriais e tropicais, além dos efluentes ou oceanos, permitindo uma maior quantidade de vapor de água na atmosfera. Através das mínimas e máximas do (INMET, 2022) para o ano de 2020 constata-se a variação ao longo do dia, mantendo-se uma média não abaixo de 60% de umidade relativa do ar e atingindo valores máximos superiores a 90% de umidade relativa e com a ocorrência de chuva em todos os meses do ano.

### 3.2 Estudo de caso

Após apontar as manifestações patológicas dos suportes de concreto armado, foi possível identificar a deterioração da pintura e a presença de manchas em 100% dos suportes de concreto, seguidos por fissuras superficiais na quase totalidade, 99% e rachaduras em 90%. No que concerne às manifestações com maior deterioração, segue-se o deslocamento do concreto com 33%, seguido por corrosão da armadura exposta, 21% e por último, também com

21%, o estado de colapso parcial, no qual partes da estrutura encontram-se ausentes, conforme demonstrado na Figura 6.



Fonte: Autor, 2022

A rachadura é um indicativo do estado de degradação das estruturas de concreto, porém, a simples presença não demonstra o estado inicial ou avançado de deterioração, nem se é apenas localizada ou generalizada. Para estratificar os 90% dos suportes com rachaduras, classificou-se a degradação em três níveis, conforme descrito no quadro 2.

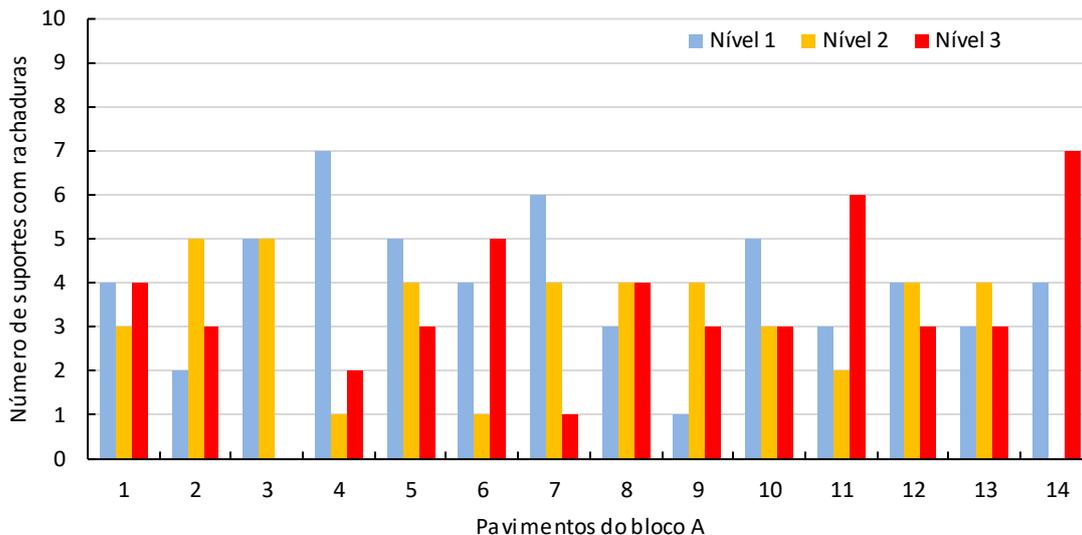
Quadro 1 – Classificação das rachaduras por nível de degradação

Nível de degradação	Crítérios
Nível 1	Rachaduras sem continuidade e de forma localizada
Nível 2	Quando as rachaduras estão em vários locais
Nível 3	Quando há aberturas maiores das rachaduras e aparece de forma generalizada

Fonte: Autor, 2022

Com essa classificação foi possível realizar uma vistoria nas imagens dos suportes para ar-condicionado da fachada e separar por pavimento, que totaliza 12 suportes de concreto armado. Com exceção das classificadas como nível 1, as de nível 2 e 3 estão em situação de deterioração média a elevada. No bloco A constatou-se os suportes com deterioração mais avançada, sobretudo nos pavimentos elevados, como o 11 e o 14, quando se refere as rachaduras de nível 3, conforme Figura 7.

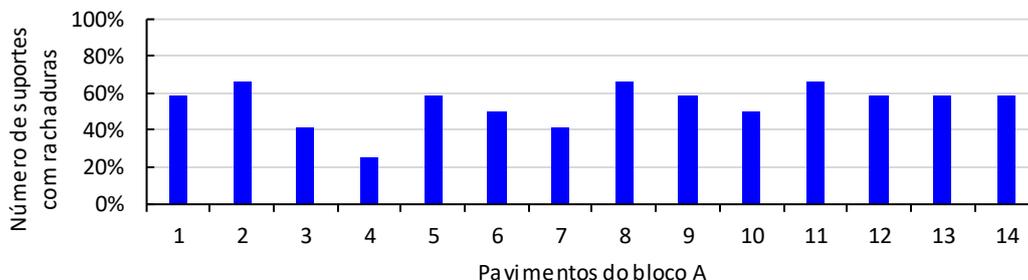
Figura 7 – Classificação das rachaduras por nível de deterioração no bloco A



Fonte: Autor, 2022

Quando os suportes na condição de nível 2 e 3 são somados, observa-se uma média de 54% dos suportes nesta situação, chegando a 67% em alguns pavimentos. Percebe-se que apesar de alguns suportes estarem em situação mais danificada nos pavimentos mais baixos e mais altos, a diferença quanto aos pavimentos com altura mediana não é discrepante, conforme visto na Figura 8.

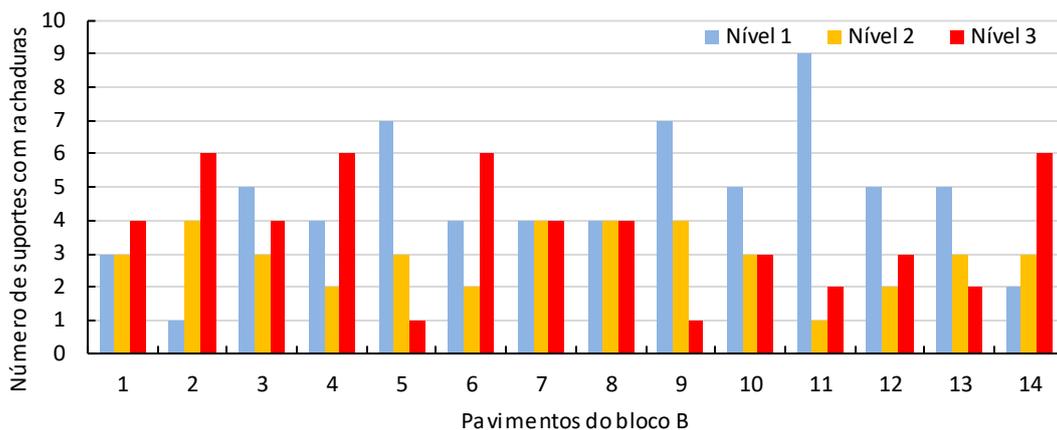
Figura 8 – Suportes deteriorados no nível 2 e 3 por pavimento



Fonte: Autor, 2022

Para o bloco B constatou-se os suportes com deterioração mais elevada de nível 3, nos pavimentos baixos, como o 2, 4, 6 e um mais alto, no pavimento 14, conforme Figura 9.

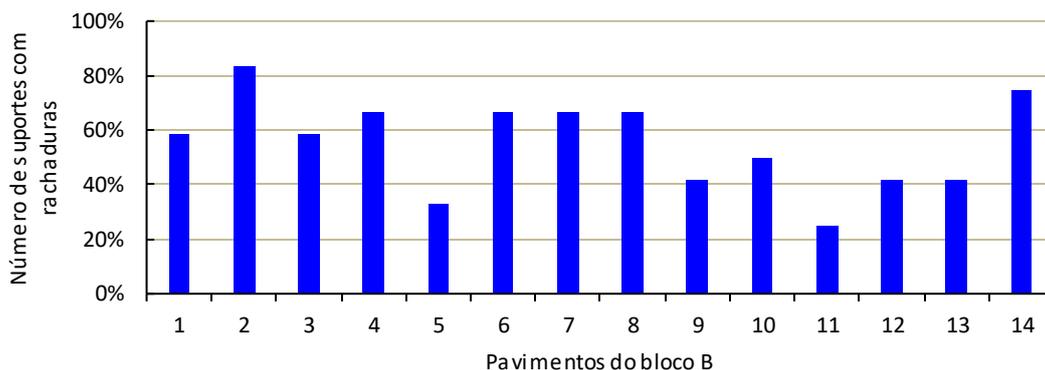
Figura 9 – Classificação das rachaduras por nível de deterioração no bloco B



Fonte: Autor, 2022

Quando os suportes na condição de nível 2 e 3 são somados, observa-se uma média de 55% deles nesta situação, bastante similar com o bloco A, chegando ao pico de 83% no pavimento 2. No caso do bloco B, percebe-se desproporção entre os pavimentos, com alguns picos e quantidades inferiores entre andares próximos, conforme visto na Figura 10.

Figura 10 – Suportes deteriorados no nível 2 e 3 por pavimento

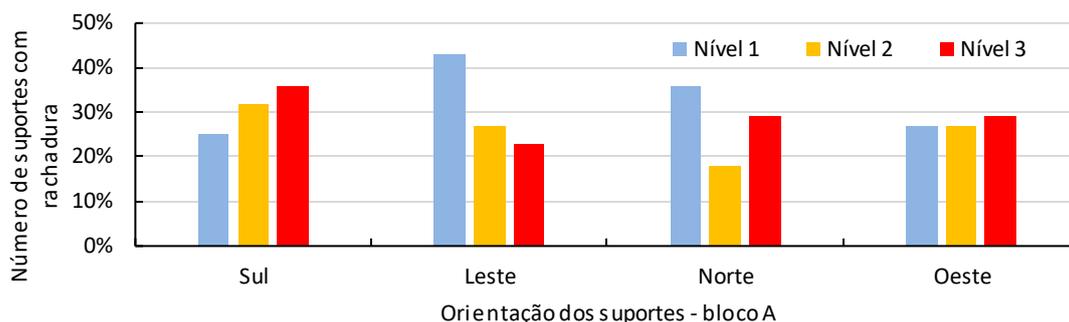


Fonte: Autor, 2022

Uma outra análise relacionou as degradações com a orientação dos pontos cardeais, no sentido de identificar correlações com a direção dos ventos, chuvas e íons cloretos. Os suportes com rachaduras foram separados de acordo com o nível de degradação e respectivas direções: sul, leste, norte e oeste e chegou-se aos resultados no bloco A de 36% dos suportes com nível 3 de deterioração no lado Sul, seguidos por 29% no Norte e Oeste e por último, com 23% no Leste, vide Figura 11.

Considerando que o vento predominante está na direção Sudeste, é de se esperar que as fachadas Sul e Leste tenham maior predominância de suportes de concreto armado em estado avançado de deterioração. Na fachada Sul é possível verificar essa condição, porém não é visto na fachada Leste, a qual possui mais suportes na condição de rachaduras de nível 1.

Figura 11 – Níveis de deterioração das rachaduras nos suportes de acordo com a direção dos pontos cardeais do bloco A

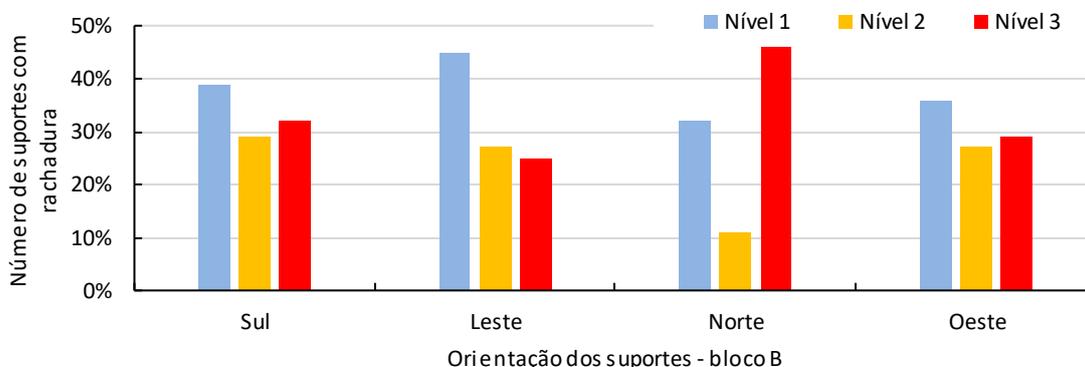


Fonte: Autor, 2022

Para o bloco B foi constatada uma maior predominância de suportes deteriorados no nível 3 na orientação Norte, com 46%, seguido por 32% no Sul, 29% no Oeste e 25% no Leste, visualizados na Figura 12.

A situação do bloco B é similar ao bloco A e o vento predominante está na direção Sudeste, sendo as fachadas Sul e Leste as mais afetadas pelas condições ambientais adversas, favorecendo a predominância de suportes de concreto armado em estado avançado de deterioração. Constatou-se que na fachada Norte estavam os suportes com maior índice de rachaduras generalizadas, ao passo que as orientações Sul, Leste e Oeste possuíam valores próximos.

Figura 12 - Níveis de deterioração das rachaduras nos suportes, de acordo com a direção dos pontos cardeais do bloco B



Fonte: Autor, 2022

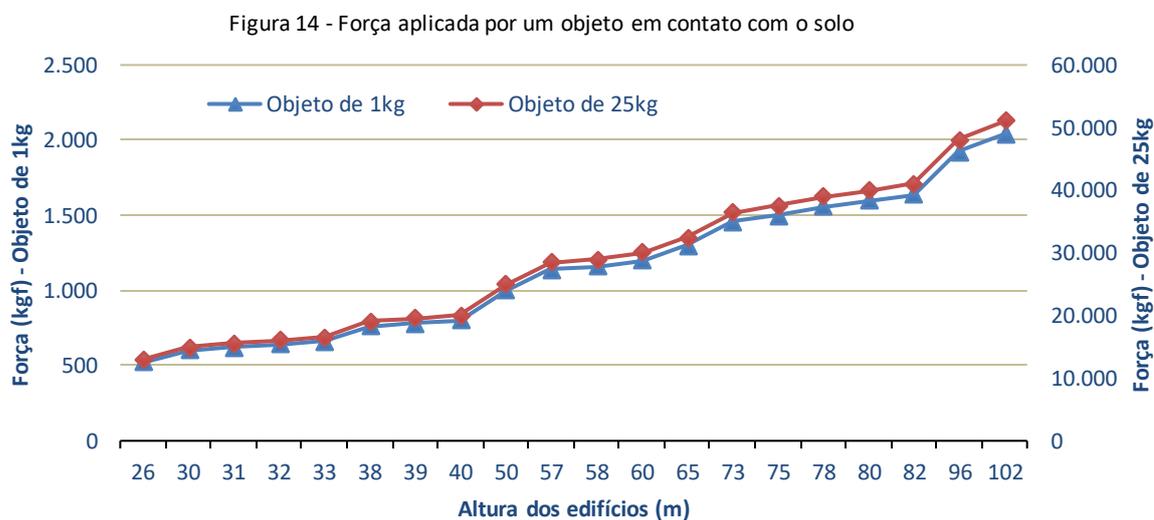
Realizaram-se vistorias também nos suportes de concreto armado no bairro de Boa Viagem, região situada a poucos metros do arrebatamento das ondas do mar e que recebe influência direta do ataque por íons cloretos. Logo, em virtude do exposto anteriormente, é notável o desgaste dos suportes, conforme pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 – Suportes de concreto armado para ar-condicionado no bairro de Boa Viagem, em estado avançado de deterioração. (a) corrosão avançada e presença de vegetação. (b) colapso quase total do suporte. (c) corrosão generalizada com deslocamento do concreto. (d) corrosão avançada na face inferior do suporte.



Fonte: Autor, 2022

Em um estudo de (SILVA; MONTEIRO, 2020) sobre suportes para aparelhos de ar-condicionado, calculou-se a força (kgf) que partes de um suporte de concreto exerce ao cair no solo, para objetos de 1 kg e 25 kg, partindo de alturas de 26 m até 102 m, como pode ser visto na Figura 14.



Fonte: (SILVA; MONTEIRO, 2020)

#### 4 CONCLUSÃO

A partir da observação dos aspectos ambientais foi possível verificar condições propícias ao desgaste prematuro do concreto, relacionadas à umidade relativa do ar e

temperaturas elevadas, a planicidade da região e proximidade com o mar, assim como a ocorrência de chuva em todos os meses do ano, associada a ventos do tipo rajada.

Um conjunto de dois edifícios residenciais, distantes 6,64 km do mar e que possui suportes de concreto armado do tipo janela, foi utilizado como estudo de caso. A captação de imagens aéreas em alta definição desses suportes, foi essencial na coleta das manifestações patológicas em todas as faces externas. A predominância de rachaduras, resultantes da corrosão da armadura foram observadas no estudo de caso da edificação com suportes de concreto armado do tipo janela, tendo como resultado o destacamento do concreto e a ausência de partes dessas estruturas.

Por fim, as condições da cidade com temperaturas e umidade relativa do ar em patamares elevados durante todo o ano, o concreto do suporte desprovido de controle de qualidade e sem atendimento às características de cobertura mínimas para a região, favorece o acesso de agentes agressivos de forma acelerada, tanto pelo CO<sub>2</sub> quanto por íons cloretos. Todos esses fatores propiciam a degradação do suporte de concreto armado, independentemente da direção ou altura em que esteja instalado.

O conhecimento do problema e a ação preventiva são imprescindíveis para mitigar os perigos envolta da queda de partes do suporte, que a depender do tamanho e altura podem atingir o solo com força da ordem de toneladas, de forma a incapacitar ou suprimir definitivamente pessoas ou objetos. Reforça-se a necessidade de utilização de materiais com mais resistência aos fatores ambientais como o alumínio, plástico de engenharia e aço inoxidável, lembrando que nenhum material está isento de deterioração no decorrer dos anos.

O consumo de cimento tornou-se um dos grandes dilemas quanto as emissões de gases de efeito estufa pois, estruturas que não possuam um tempo de vida útil adequado, propicia o maior consumo desse material, além das consequências do descarte dos resíduos de construção.

## Referências

ALMEIDA, F. C. R.; SALES, A. **Ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2018.

ANALYSIS SOL-AR. 2022. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/pt-br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>>. Acesso em: 11 ago. 2022.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

CASTAÑEDA, A. et al. Penetration of marine aerosol in a tropical coastal city: Havana. **Atmosfera**, v. 31, n. 1, p. 87–104, 2018.

COLE, I. S. et al. Holistic model for atmospheric corrosion: Part 2 - Experimental measurement of deposition of marine salts in a number of long range studies. <http://dx.doi.org/10.1179/147842203225008886>, v. 38, n. 4, p. 259–266, dez. 2013.

GOOGLE LLC. **Google Earth Pro**. 2022. Disponível em: <[kh.google.com](http://kh.google.com)>. Acesso em: 5 set. 2022.

INMET. **Normais climatológicos do Brasil (1991-2020)**. 2022. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

IOWA STATE UNIVERSITY. **IEM - Custom Wind Roses**. 2022. Disponível em: <[https://mesonet.agron.iastate.edu/sites/dyn\\_windrose.phtml?station=SBRF&network=BR\\_\\_ASOS&bin0=2&bin1=5](https://mesonet.agron.iastate.edu/sites/dyn_windrose.phtml?station=SBRF&network=BR__ASOS&bin0=2&bin1=5)>

&bin2=7&bin3=10&bin4=15&bin5=20&conv=from&units=mps&nsector=36&fmt=svg&dpi=300&year1=2010&month1=1&day1=1&hour1=0&minute1=0&year2=2022&month2=12&day2=31&>. Acesso em: 24 fev. 2023.

JIN, H. et al. Influence of the rainfall intensity on the chloride ion distribution in concrete with different levels of initial water saturation. **Construction and Building Materials**, v. 281, p. 122561, 26 abr. 2021.

JIN, L. et al. Developing a model for chloride transport through concrete considering the key factors. **Case Studies in Construction Materials**, v. 17, p. e01168, 1 dez. 2022.

LEE, J. S.; MOON, H. Y. Salinity distribution of seashore concrete structures in Korea. **Building and Environment**, v. 41, n. 10, p. 1447–1453, 1 out. 2006.

MEIRA, G. R. et al. Behaviour of Surface Chloride Concentration in Concretes Subjected to Field Exposure in Marine Atmosphere Zone. **XV International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC 2020)**, p. 921–928, 25 set. 2020.

PAKKALA, T. A. et al. Predicted corrosion rate on outdoor exposed concrete structures. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, v. 37, n. 5, p. 679–698, 5 set. 2019.

PONGSAKSAWAD, W. et al. Chloride distribution model and corrosion map of structural steels for tropical climate in Thailand. **Science of The Total Environment**, v. 787, p. 147465, 15 set. 2021.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

SILVA, W. W.; MONTEIRO, E. C. B. As manifestações patológicas e os riscos dos protetores de aparelhos de ar condicionado em edificações. **Revista ALCONPAT**, v. 10, n. 3, p. 377–393, 2020.

XU, Z. et al. Effects of temperature, humidity and CO<sub>2</sub> concentration on carbonation of cement-based materials: A review. **Construction and Building Materials**, v. 346, p. 128399, 5 set. 2022.

ZHANG, Y.; LUZIO, G. DI; ALNAGGAR, M. Coupled multi-physics simulation of chloride diffusion in saturated and unsaturated concrete. **Construction and Building Materials**, v. 292, p. 123394, 19 jul. 2021.