

INFLUÊNCIA DOS MICRO-CLIMAS DO RIO DE JANEIRO NO DESENVOLVIMENTO DOS PROCESSOS PATOLÓGICOS DO CONCRETO ARMADO

Armando de Oliveira¹ y Vicente Custódio Moreira de Souza²

Resumo: A ocorrência de patologias nas estruturas de concreto armado traz uma série de prejuízos para as edificações e para a sociedade, indo desde o financeiro até os inconvenientes causados aos clientes e usuários da edificação. Hoje é sabido que esses processos patológicos estão diretamente ligados ao ambiente em que as estruturas se encontram. Como o município do Rio de Janeiro apresenta grandes variações ambientais, procurou-se quantificar a ocorrência dos problemas patológicos ao longo do seu território. Para a realização deste trabalho dividiu-se o município em micro-regiões climáticas com base em fatores sócio-econômicos, climáticos e geográficos. A partir daí foi feita uma coleta de dados estatísticos, referentes aos índices de precipitação pluviométrica e às máximas temperaturas médias registradas pelas estações de observação localizadas em cada uma das regiões consideradas. Os resultados mostraram que existem diferenças significativas entre os índices medidos nas diversas micro-regiões em que se dividiu o município. Com isto, comprovou-se que as estruturas de concreto armado do município do Rio de Janeiro estão expostas a condições climáticas diferenciadas e que suas durabilidades são influenciadas pela região em que foram executadas.

INFLUENCE OF THE MICRO-CLIMATES OF RIO DE JANEIRO ON THE DEVELOPMENT OF PATHOLOGICAL PROCESSES IN REINFORCED CONCRETE

Abstract: Pathologies in reinforced-concrete structures cause many problems to buildings and to the society, which range from financial problems to inconveniences to customers and users of the building. Such pathological processes are directly linked to the environment surrounding the structure. Because there are environmental variations within Rio de Janeiro, this paper investigates pathologies in different parts of Rio. The area was divided in climatic micro-regions, taking into account socio-economic, climatic and geographical issues. Statistical data was gathered regarding rain and maximum mean temperature recorded by meteorological stations at each micro-area considered. The results show that there are significant differences in the index measured in different micro-regions. It is concluded that reinforced-concrete structures in Rio de Janeiro are exposed to different climate conditions which influence the structural durability.

INTRODUÇÃO

O grande número de estruturas que apresentam problemas patológicos, provocados pelos mais variados tipos de causas, sugere uma associação às condições ambientais a que estão expostas. Com isso, torna-se necessário saber o nível de influência que alguns fatores ambientais exercem sobre a durabilidade das estruturas. Como o município do Rio de Janeiro, particularmente, apresenta variações de clima e relevo, procurou-se estabelecer se estas diferenças podem ser significativas para a formação de processos de deterioração do concreto armado. Assim, pretende-se, no futuro, com base na nova NBR 6118, a Norma brasileira que regulamenta o projeto e a construção de estruturas em concreto armado e protendido, estabelecer relações que justifiquem a especificação de certos procedimentos durante a execução e a conservação da estrutura.

Para que esta análise seja possível, estamos propondo, neste trabalho, a divisão do município do Rio de Janeiro em micro-regiões climáticas para assim poder determinar se as diferenças entre alguns índices climáticos medidos nestas regiões caracterizam influências significativas na formação dos processos patológicos do concreto armado.

¹ MSc, Engenheiro Civil, Engenheiro da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

² PhD, Engenheiro Civil, Professor Titular, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil, Pesquisador do CNPq.

MICRO-CLIMAS DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

O município do Rio de Janeiro encontra-se dividido nas denominadas Regiões-Administrativas, RAs, que são compostas por um conjunto de bairros, contendo habitações formais e informais, agrupados de acordo com a localização dos mesmos. Assim sendo, coletaram-se os dados estatísticos, obtidos a partir de estações de observação climáticas, de diferentes áreas do município.

São vários os fatores que podem influenciar o surgimento de patologias nas estruturas de concreto armado. Baseado nisto, dividiu-se as regiões administrativas, RAs, do município do Rio de Janeiro em 07 (sete) grupos distintos, aos quais serão dados os nomes de micro-regiões climáticas. Os principais critérios utilizados nessa separação foram o relevo e as condições climáticas. A divisão está apresentada na Figura 1. Na Figura 2 mostra-se a divisão juntamente com o relevo.

Micro-região da Guanabara (MRC-01): todas as RAs que integram essa MRC recebem a influência das condições climáticas proporcionadas pela baía da Guanabara. Por ser uma região de grande movimentação e concentração de veículos, inclusive contendo o Centro da cidade, a concentração de CO₂ no ar tem valores elevados, tornando o ambiente mais poluído. O próprio relevo da cidade contribui para este fator, com o maciço da Tijuca dificultando a passagem dos ventos oceânicos, que poderiam promover com maior facilidade a troca do ar contaminado.

Micro-região Oceânica (MRC-02): é formada pelas regiões administrativas que se localizam próximas às áreas de mar aberto, no caso o oceano Atlântico. As estruturas localizadas nessa área sofrem a incidência direta do vento oceânico, que pode facilitar a penetração de águas e sais no concreto. Por outro lado, estas mesmas correntes eólicas têm a propriedade de reciclar o ar da região, podendo reduzir os índices de partículas em suspensão no ar, que, ao conterem CO₂ (dióxido de carbono), podem ser prejudiciais às estruturas de concreto armado.

Micro-região do Maciço da Tijuca (MRC-03): é formada pelas regiões administrativas que se localizam no Maciço da Tijuca, sofrendo forte influência da altitude e da vegetação remanescente da Mata Atlântica.

Micro-região Central (MRC-04): é formada pelas regiões administrativas que se localizam entre a Baía da Guanabara e o Maciço da Tijuca. Assim como a MRC-01, o relevo que confina a região, e impede a passagem dos ventos, tende a criar um bolsão de poluição atmosférica, provocando a alta concentração de partículas em suspensão no ar.

Micro-região da Baixada (MRC-05): é formada pelas regiões administrativas que se localizam na zona oeste do Município, estando situado em uma área de altas temperaturas, cercado pelo Maciço da Tijuca, pelo Maciço da Pedra Branca e pelo Maciço do Gericinó. Esta região ainda concentra as principais vias expressas rodoviárias que cortam o município, apresentando um grande fluxo diário de veículos que influenciam negativamente na manutenção da boa qualidade do ar.

Micro-região de Jacarepaguá (MRC-06): localiza-se após a Lagoa de Jacarepaguá e Lagoa da Tijuca, que são as divisórias naturais com a micro-região Oceânica. O Maciço da Pedra Branca e o Maciço da Tijuca localizam-se nas laterais desta MRC, apresentando um afunilamento em direção ao limite posterior da região.

Micro-região Oeste (MRC-07): é formada pelas regiões administrativas que se localizam na Zona Oeste do Município.

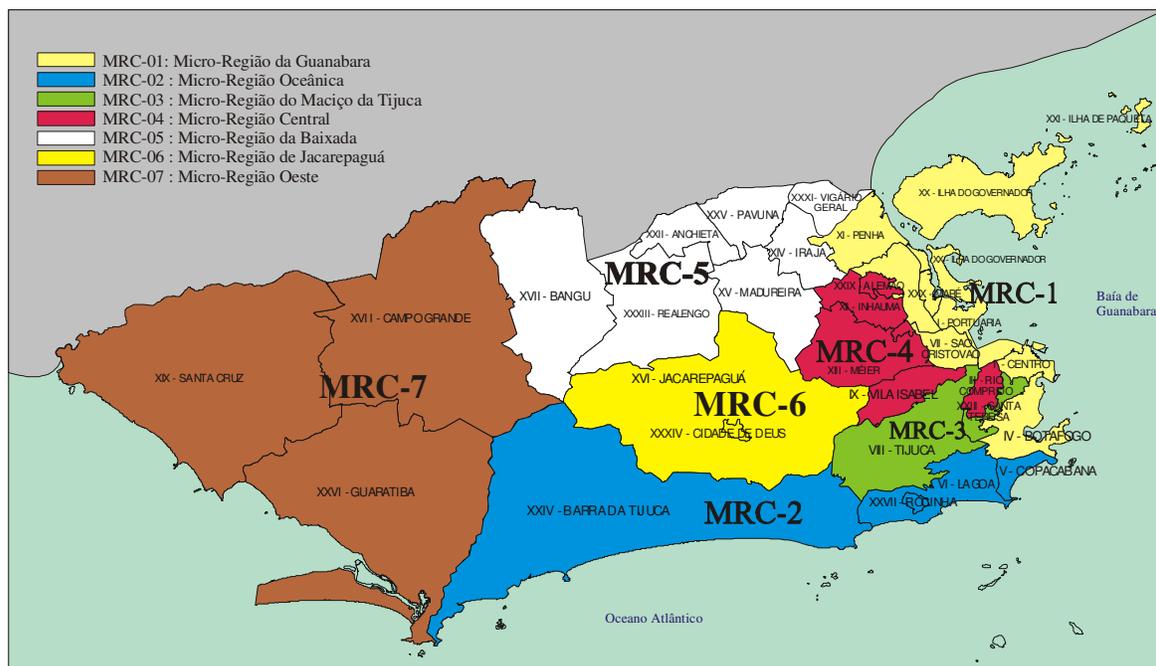


Figura 1: Divisão do Município do Rio de Janeiro em micro-regiões climáticas – MRCs.

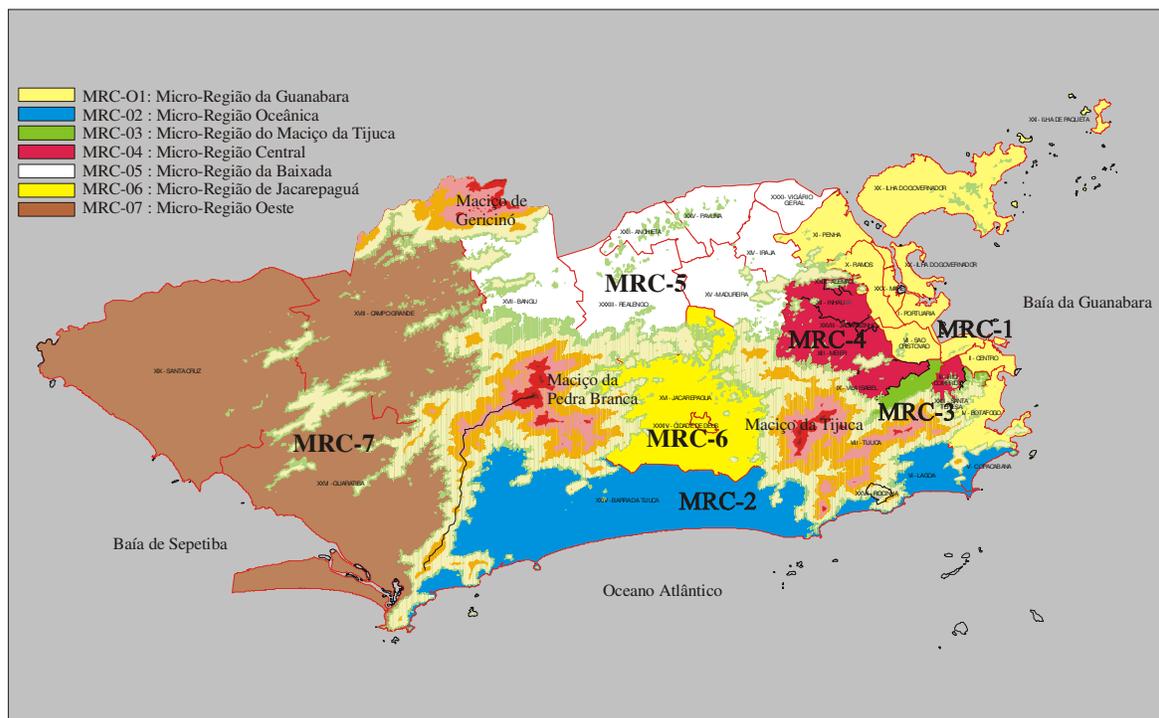


Figura 2: Divisão do Município do Rio de Janeiro em micro-regiões climáticas com apresentação do relevo.

ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS DAS MICRO-REGIÕES CLIMÁTICAS

Dados sobre as precipitações pluviométricas nas MRCs

O Quadro 3.1.1 apresenta os índices de precipitação pluviométrica, em mm/ano, e a localização de cada estação de observação de acordo com a divisão do município em micro-regiões climáticas:

Quadro 1: Localização das estações de observação, segundo as MRCs.

| Estações de observação | Média | Micro-região climática |
|------------------------|---------|------------------------|
| 01- Vidigal | 938,87 | MRC-2 |
| 02- Urca | 904,17 | MRC-1 |
| 03- São Conrado | 1173,95 | MRC-2 |
| 04- Tijuca | 1261,33 | MRC-3 |
| 05 -Sta.Teresa | 1057,65 | MRC-3 |
| 06- Copacabana | 889,10 | MRC-2 |
| 07- Grajaú | 1098,03 | MRC-4 |
| 08- I. Governador | 1028,47 | MRC-1 |
| 09- Penha | 897,47 | MRC-1 |
| 10- Madureira | 904,60 | MRC-5 |
| 11- Irajá | 945,03 | MRC-5 |
| 12- Bangu | 873,80 | MRC-5 |
| 13- Piedade | 1094,40 | MRC-4 |
| 14- Tanque | 849,90 | MRC-6 |
| 15- Saúde | 997,90 | MRC-1 |
| 16- Jardim Botânico | 1077,90 | MRC-2 |
| 17- Itanhangá | 1321,47 | MRC-2 |
| 18- Cidade de Deus | 870,75 | MRC-6 |
| 19- Riocentro | 972,03 | MRC-6 |
| 20- Guaratiba | 1010,53 | MRC-7 |
| 21- Gericinó | 1011,43 | MRC-7 |

| | | |
|------------------|---------|-------|
| 22- Santa Cruz | 1052,77 | MRC-7 |
| 23- Cachambi | 975,40 | MRC-4 |
| 24- Anchieta | 864,00 | MRC-5 |
| 25- Campo Grande | 1050,93 | MRC-7 |
| 26- Sepetiba | 1031,47 | MRC-7 |
| 27- Laranjeiras | 1082,40 | MRC-1 |
| 28- Botafogo | 846,80 | MRC-1 |

A forma de apresentação dos índices pluviométricos, disposta no Quadro 2, possibilita a análise estatística do tipo anova fator único, determinando, assim, se a variação dos índices de uma MRC para outra pode influenciar na formação dos processos patológicos.

Quadro 2: Índices pluviométricos segundo as MRCs.

| | Índice precipitação pluviométrica | | | | | |
|-----------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|--------|
| MRC - O1 | 904,17 | 1028,47 | 897,47 | 997,90 | 1082,40 | 846,80 |
| MRC - O2 | 1173,95 | 938,87 | 889,10 | 1077,90 | 1321,47 | |
| MRC - O3 | 1261,33 | 1057,65 | | | | |
| MRC - O4 | 1098,03 | 1094,40 | 975,40 | | | |
| MRC - O5 | 904,60 | 945,03 | 873,80 | 864,00 | | |
| MRC - O6 | 849,90 | 870,75 | 972,03 | | | |
| MRC - O7 | 1010,53 | 1011,43 | 1052,77 | 1050,93 | 1031,47 | |

O Quadro 3 demonstra o resultado desta análise, de onde podemos concluir que o índice de precipitação pluviométrica apresenta variação significativa entre as micro-regiões climáticas, para um nível de significância de 95%.

Quadro 3: Análise anova dos índices de precipitação pluviométrica segundo as MRCs.

| Grupo | Contagem | Soma | Média | Variância | | |
|---|----------|---------|----------|-----------------|----------|-----------------|
| MRC - 01 | 6 | 5757,20 | 959,53 | 8189,31 | | |
| MRC - 02 | 5 | 5401,28 | 1080,26 | 30874,57 | | |
| MRC - 03 | 2 | 2318,98 | 1159,49 | 20743,45 | | |
| MRC - 04 | 3 | 3167,83 | 1055,94 | 4868,86 | | |
| MRC - 05 | 4 | 3587,43 | 896,86 | 1330,71 | | |
| MRC - 06 | 3 | 2692,68 | 897,56 | 4268,26 | | |
| MRC - 07 | 5 | 5157,13 | 1031,43 | 418,04 | | |
| ANOVA | | | | | | |
| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F ₀ | valor-P | F crítico |
| Entre grupos | 181024,3 | 6 | 30170,71 | 3,029669 | 0,027047 | 2,572712 |
| Dentro dos grupos | 209126,8 | 21 | 9958,42 | | | |
| Total | 390151,1 | 27 | | | | |
| Como $F_0 > F$ crítico, temos que os índices de precipitação pluviométrica medidos em cada uma das MRCs não são homogêneos para um nível de confiança = 95% | | | | | | |

Dados sobre as temperaturas ambiente nas MRCs

O Quadro 4 apresenta os valores das médias das temperaturas máximas e a localização de cada estação de observação de acordo com a divisão do município em micro-regiões climáticas.

Quadro 4: Médias das temperaturas máximas.

| | ANO | | |
|---------------------------|-------------------------------------|------|------|
| | 2001 | 2000 | 1999 |
| | Média das temperaturas máximas (°C) | | |
| Estação Bangu | 31,1 | 30,3 | 29,6 |
| Estação Alto da Boa Vista | 27,7 | 27,2 | 25,8 |
| Estação Jacarepaguá | 29,0 | 28,2 | 27,4 |
| Estação Jardim Botânico | 28,5 | 28,1 | 27,6 |

O Quadro 5 apresenta o resultado da análise estatística, do tipo anova fator único, de onde podemos concluir que a temperatura ambiente apresenta variação significativa entre as micro-regiões climáticas, para um nível de significância de 95%. Assim, pode-se afirmar que este é um fator que pode influenciar no surgimento de processos patológicos.

Quadro 5: Análise anova das médias de temperaturas máximas.

| Grupo | Contagem | Soma | Média | Variância | | |
|--|-------------|------|---------|----------------|---------|---------------|
| Estação Bangu | 3 | 91 | 30,3333 | 0,5633 | | |
| Estação Alto da Boa Vista | 3 | 80,7 | 26,9000 | 0,9700 | | |
| Estação Jacarepaguá | 3 | 84,6 | 28,2000 | 0,6400 | | |
| Estação Jardim Botânico | 3 | 84,2 | 28,0667 | 0,2033 | | |
| ANOVA | | | | | | |
| Fonte da variação | SQ | Gl | MQ | F ₀ | valor-P | F crítico |
| Entre grupos | 18,40916667 | 3 | 6,1364 | 10,3277 | 0,0040 | 4,0662 |
| Dentro dos grupos | 4,753333333 | 8 | 0,5942 | | | |
| Total | 23,1625 | 11 | | | | |
| Como F ₀ > F crítico, temos que a temperatura ambiente das MRCs não são homogêneas para um nível de confiança = 95% | | | | | | |

RESULTADOS DE PATOLOGIAS PARA AS MICRO-REGIÕES CLIMÁTICAS

A planilha apresentada neste item mostra as informações obtidas a partir da análise e seleção de 541 (quinhentos e quarenta e um) laudos de vistoria dos arquivos da Secretaria Municipal de Urbanismo do Município do Rio de Janeiro. As características das estruturas, bem como as anomalias apresentadas, foram cadastradas em um programa de banco de dados, possibilitando o agrupamento das informações junto às micro-regiões climáticas – MRCs – criadas.

Nesta etapa foi elaborada uma planilha – Quadro 6 - que apresenta os dados contendo informações sobre as patologias observadas em cada uma das MRCs. Esses valores são obtidos a partir da soma das quantificações individuais e referentes a cada uma das Regiões Administrativas (divisão oficial do Município) associadas para a formação das MRCs. Nesse mesmo quadro serão mostrados os números referentes aos registros que quantificam os tipos de agentes causadores, obedecendo ao mesmo critério adotado para os tipos de patologias.

Apresenta-se ainda a quantificação percentual referente às ocorrências em cada uma das micro-regiões climáticas. Esse procedimento está apresentado no Quadro 7, inclusive com a indicação em faixas de percentagem, estando destacado em sombreado e negrito as patologias com incidência superior a 50% dentro de uma mesma MRC.

Assim, pode-se fazer as seguintes observações:

- a micro-região climática da Guanabara, MRC-01, foi a que apresentou o maior número de registros patológicos, com 138 laudos de vistorias analisados. Em seguida aparece a MRC Central, MRC-04, com 120 ocorrências;

- a micro-região Oeste, que inclui as regiões administrativas de Campo Grande, Guaratiba e Santa Cruz, teve apenas 18 casos de estruturas sintomatizadas dentro de um universo de 541. Este fato deve-se à baixa densidade de estruturas de concreto armado existentes na região;
- todas as micro-regiões climáticas apresentaram índices percentuais de corrosão de armaduras acima dos 44%, demonstrando ser este um dos principais problemas que afetam os elementos de concreto armado;
- a MRC-07 apresentou o maior número de estruturas que sofreram colapso, com 16,67%. O crescimento recente da região, associado ao baixo poder aquisitivo da população local, evidencia a queda acentuada do nível de qualidade das construções, estando as normas de qualidade e segurança relegadas a um segundo plano, sempre em detrimento dos fatores econômicos. Os 27,78% das estruturas apresentando deformação excessiva, o maior de todos os índices, só confirma os comentários apresentados;
- o não aparecimento da carbonatação do concreto em nenhuma das 120 estruturas vistoriadas na MRC-04 é um dado que demonstra uma distorção nos dados obtidos para este tipo de patologia. O alto índice de partículas em suspensão presente no ar da região, associado às outras patologias anotadas, é um fator que permite afirmar que o concreto dos elementos estruturais está sintomatizado pela carbonatação, sendo necessário apenas que se realizem os testes específicos para se comprovar sua presença.
- a MRC do Maciço da Tijuca (MRC-03) apresentou índices de fissuração do concreto bem abaixo dos valores percentuais registrados para as demais micro-regiões climáticas, tendo 19% de estruturas sintomatizadas contra 28% da MRC-07, que foi a de segundo menor percentual. Este fato pode ser justificado pelas temperaturas mais amenas que ocorrem no local, reduzindo os efeitos indesejáveis produzidos por uma cura ineficiente do concreto durante o seu endurecimento. A expansão volumétrica sofrida pelas barras de aço em função da corrosão – em cerca de 48% das estruturas - deve estar contribuindo de forma direta para a instalação dos processos de fissuração do concreto, registrado na maioria dos casos desta micro-região;
- a MRC da Guanabara (MRC-01) e a MRC Central (MRC-04) - que registraram o maior número de ocorrência de patologias - possuem o maior índice percentual de imóveis com mais de 45 anos de existência, sendo 23,5% e 27,7%, respectivamente, de estruturas nesta condição. As duas micro-regiões apresentaram ainda os piores índices percentuais de dias com boa qualidade do ar, 20% para a MRC-01 e 15% para a MRC-04. Vale lembrar que nas MRC-05, MRC-06 e MRC-07 não foram efetuadas as medições da qualidade do ar;

A partir de um outro tipo de análise, pode-se determinar a ocorrência simultânea de dois tipos de patologias do concreto em uma mesma estrutura. Essa quantificação pode indicar uma forte tendência de interdependência entre elas, estando uma falha diretamente ligada ao surgimento de outra. Procedimento similar irá indicar a relação entre um quadro patológico instalado na estrutura e o seu agente causador, determinando a quantidade de falhas que tiveram origem a partir de um certo evento indesejado.

Como o objeto do estudo é o concreto armado, as patologias a serem abordadas com maior ênfase serão as seguintes:

- deformação excessiva;
- fissuração no concreto;
- desagregação do concreto;
- deslocamento do concreto;
- eflorescência no concreto;
- corrosão de armaduras.

Com esta seleção de patologias, partiu-se para o cruzamento das informações no formulário de banco de dados proposto. Os resultados obtidos estão apresentados na planilha do Quadro 8, em quantidade unitária de ocorrência e, na planilha do Quadro 9, em forma percentual, de onde se nota que:

- 80,46% das estruturas que apresentaram deslocamento do concreto possuíam elementos estruturais com corrosão de armaduras. Esse dado justifica-se pela expansão volumétrica que a corrosão provoca nas armaduras, causando a fissuração do concreto;
- 68,97% das estruturas apresentaram peças de concreto com deslocamento do concreto e do revestimento. Uma observação mais cuidadosa da afirmação demonstra que cerca de 30% das estruturas parece possuir os seus elementos estruturais em concreto aparente, já que só foi registrada a ocorrência do deslocamento do concreto. Esta situação tende a ocorrer principalmente nas áreas de baixa renda, onde a falta de recursos impede a execução do revestimento, que acabaria por exercer uma função protetora para a estrutura;
- em 73,33% dos laudos de vistoria em que foram cadastrados problemas de desagregação do concreto também foram constatadas as situações de corrosão nas armaduras. No entanto, em apenas 8,27% das estruturas que tinham barras em processo de corrosão foi identificada a desagregação do concreto. Estes valores podem indicar que a corrosão das armaduras está diretamente associada às causas da desagregação do concreto destas estruturas;

- 72,22% dos casos de eflorescência do concreto acarretaram a corrosão das armaduras. Como a maioria dos casos de eflorescência registrados é proveniente de infiltrações de águas – pluviais ou de vazamentos –, percebe-se a importância que um sistema eficiente de manutenção tem para a conservação de uma estrutura de concreto. Observa-se que 48,15% dos casos de eflorescência são provocados por falta de manutenção;
- em 56,77% dos casos de corrosão de armaduras ocorreu o deslocamento do revestimento, e em 26,32% houve deslocamento do concreto;
- analisando cada patologia do concreto armado individualmente, conclui-se que a corrosão de armaduras está presente em pelo menos 36% dos casos. De forma análoga, dos 266 registros de armaduras com corrosão, apenas a eflorescência do concreto apareceu em percentuais acima dos 36%;
- em 48,51% dos casos de deformação excessiva houve fissuração do concreto, comprometendo o estado limite de utilização das estruturas sintomatizadas. A esbeltez que se tenta conseguir no dimensionamento, para que os elementos estruturais satisfaçam os projetos de arquitetura e os custos de construção, pode ser um fator de grande influência neste caso, reduzindo, inclusive, o cobrimento das peças;
- a calcinação da massa de concreto provocada pelas altas temperaturas produzidas por incêndios é responsável por 12,87% dos casos de deformação excessiva da estrutura, por 11,73% dos casos de fissuração do concreto e por 26,67% dos casos de desagregação do concreto. Um dado que merece ser informado é a ocorrência de 46 casos de sinistro por incêndio dentre os 541 laudos de vistoria pré-selecionados. Este valor representa 8,5% do total de atendimentos que a SMU realiza em edificações com estrutura em concreto armado, sendo que, em 78,2% dos casos, o prédio em questão era comercial ou de uso misto;
- em 7,2% dos laudos de vistorias examinados a patologia foi provocada por intervenções que se realizaram fora dos limites do terreno da estrutura danificada, sendo provocada por construções vizinhas. Este fato evidencia a importância da realização de um estudo aprofundado da interação solo/estrutura, não deixando de se considerar os efeitos que as fundações das novas edificações podem produzir em estruturas estáveis já existentes;
- houve 53 casos de uso incorreto da estrutura, o que representa 9,8% do total de registros. Estes problemas foram gerados, em sua maioria, por reformas realizadas sem acompanhamento técnico especializado, chegando a causar o colapso da estrutura em 15,15% das ocorrências.

CONCLUSÕES

A metodologia utilizada neste estudo permitiu verificar, estatisticamente, a existência da influência do clima, dependendo da área do município do Rio de Janeiro em que a estrutura se encontra, na formação dos processos degenerativos do concreto armado.

Observando-se os dados obtidos, pôde-se constatar que o município apresenta diferenças significativas entre os índices de precipitação pluviométrica e, também, entre as temperaturas ambientes de suas micro-regiões, existindo assim a possibilidade da estrutura estar exposta a diferentes níveis de agressividade, de acordo com sua localização.

Como as estruturas estão sujeitas à ação da natureza durante a sua vida útil, deve-se utilizar medidas preventivas para minimizar esses efeitos, adotando especificações técnicas e procedimentos construtivos que possam proteger os materiais da ação destrutiva destes agentes. O detalhamento da geometria das peças, a especificação esmerada do cobrimento das armaduras, a utilização de materiais de construção de boa qualidade, e a cura realizada de acordo com as recomendações das normas brasileiras vigentes, são fatores determinantes para garantir um bom padrão de qualidade ao concreto produzido, aumentando o tempo de vida útil da estrutura.

Sabe-se que, tanto na corrosão eletroquímica, quanto na carbonatação do concreto – que provoca a despassivação das armaduras -, a deterioração das armaduras de aço só irá ocorrer se a umidade atingir uma profundidade capaz de alterar as características da massa de concreto, criando, assim, as condições necessárias para o início dos processos destrutivos. Essa penetração ocorre através dos poros e das fissuras existentes no concreto, que podem ser provocadas por diversos fatores. Assim, mesmo que uma atmosfera apresente altos índices CO₂, a difusão só irá ocorrer se houver aberturas que proporcionem a penetração do gás. De forma análoga, pode-se entender o processo de percolação da água no interior da massa de concreto. Assim, áreas como o Maciço da Tijuca, por apresentar altos índices de precipitação pluviométrica, podem ter uma maior tendência a apresentar anomalias nas estruturas de concreto armado.

Quadro 6: Ocorrência de patologias e suas causas nas micro-regiões climáticas (unidades).

| | TOTAL | MRC-01 | MRC-02 | MRC-03 | MRC-04 | MRC-05 | MRC-06 | MRC-07 |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| OCORRÊNCIA NOS LAUDOS | 541 | 138 | 95 | 42 | 120 | 85 | 43 | 18 |
| PATOLOGIA REGISTRADA | | | | | | | | |
| Deformação excessiva | 101 | 19 | 24 | 5 | 21 | 19 | 8 | 5 |
| Fissuração na alvenaria | 234 | 56 | 44 | 14 | 65 | 31 | 17 | 7 |
| Fissuração no concreto | 179 | 46 | 38 | 8 | 37 | 30 | 15 | 5 |
| Desagregação do concreto | 30 | 7 | 7 | 2 | 8 | 4 | 2 | 0 |
| Calcinação | 48 | 17 | 5 | 0 | 13 | 10 | 0 | 3 |
| Desplacamento do revestimento | 221 | 72 | 35 | 12 | 48 | 34 | 13 | 7 |
| Desplacamento do concreto | 87 | 25 | 17 | 4 | 19 | 11 | 5 | 6 |
| Eflorescência no concreto | 162 | 37 | 19 | 14 | 39 | 33 | 16 | 4 |
| Corrosão das armaduras | 266 | 64 | 42 | 20 | 65 | 41 | 25 | 9 |
| Carbonatação | 7 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 0 |
| Desgaste | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Colapso da estrutura | 31 | 9 | 6 | 1 | 5 | 6 | 1 | 3 |
| CAUSA DA PATOLOGIA | | | | | | | | |
| Erro de projeto | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 |
| Erro de execução | 55 | 7 | 9 | 4 | 17 | 9 | 7 | 2 |
| Falta de manutenção | 115 | 28 | 16 | 12 | 27 | 16 | 13 | 3 |
| Uso inadequado | 53 | 15 | 8 | 4 | 9 | 10 | 2 | 5 |
| Construções vizinhas | 39 | 9 | 16 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| Ação física | 56 | 19 | 8 | 0 | 13 | 12 | 0 | 4 |
| Ação química | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ação biológica | 20 | 11 | 4 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Ação mecânica | 7 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |

Quadro 7: Ocorrência de patologias nas micro-regiões climáticas, em %.

| | TOTAL | MRC-01 | MRC-02 | MRC-03 | MRC-04 | MRC-05 | MRC-06 | MRC-07 |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| OCORRÊNCIA NOS LAUDOS | 541 | 138 | 95 | 42 | 120 | 85 | 43 | 18 |
| PATOLOGIA REGISTRADA | | | | | | | | |
| Deformação excessiva | 18,67 | 13,77 | 25,26 | 11,90 | 17,50 | 22,35 | 18,60 | 27,78 |
| Fissuração na alvenaria | 43,25 | 40,53 | 46,32 | 33,33 | 54,17 | 36,47 | 39,53 | 38,89 |
| Fissuração no concreto | 33,09 | 33,33 | 40,00 | 19,05 | 30,83 | 35,29 | 34,88 | 27,78 |
| Desagregação do concreto | 5,55 | 5,07 | 7,37 | 4,76 | 6,67 | 4,71 | 4,65 | 0,00 |
| Calcinação | 8,87 | 12,32 | 5,26 | 0,00 | 10,83 | 11,76 | 0,00 | 16,67 |
| Desplacamento do revestimento | 40,85 | 52,17 | 36,84 | 28,57 | 40,00 | 40,00 | 30,23 | 38,89 |
| Desplacamento do concreto | 16,08 | 18,12 | 17,89 | 9,52 | 15,83 | 12,94 | 11,63 | 33,33 |
| Eflorescência no concreto | 29,94 | 26,81 | 20,00 | 33,33 | 32,50 | 38,82 | 37,21 | 22,22 |
| Corrosão de armaduras | 49,17 | 46,38 | 44,21 | 47,62 | 54,17 | 48,24 | 58,14 | 50,00 |
| Carbonatação | 1,29 | 1,45 | 0,00 | 2,38 | 0,00 | 1,18 | 6,98 | 0,00 |
| Desgaste | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Colapso da estrutura | 5,73 | 6,52 | 6,32 | 2,38 | 4,17 | 7,06 | 2,33 | 16,67 |



VALORES ENTRE 30% E 40%



VALORES ENTRE 40% E 50%



VALORES ACIMA DE 50%

Quadro 8 – Ocorrência simultânea das patologias em uma estrutura de concreto armado, em valor unitário.

| PATOLOGIA REGISTRADA | TOTAL | Deformação excessiva | Fissuração na alvenaria | Fissuração no concreto | Desagregação do concreto | Deslocamento do concreto | Eflorescência no concreto | Corrosão de armaduras | Colapso da estrutura |
|---------------------------|-------|----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
| Deformação excessiva | 101 | 0 | 49 | 49 | 5 | 12 | 23 | 37 | 6 |
| Fissuração na alvenaria | 234 | 49 | 0 | 81 | 12 | 27 | 55 | 63 | 11 |
| Fissuração no concreto | 179 | 49 | 81 | 0 | 13 | 27 | 49 | 74 | 13 |
| Desagregação do concreto | 30 | 5 | 12 | 13 | 0 | 10 | 7 | 22 | 2 |
| Calcinação | 48 | 13 | 35 | 21 | 8 | 15 | 0 | 6 | 4 |
| Deslocamento revestimento | 221 | 25 | 77 | 61 | 14 | 60 | 85 | 151 | 6 |
| Deslocamento do concreto | 87 | 12 | 27 | 27 | 10 | 0 | 25 | 70 | 5 |
| Eflorescência no concreto | 162 | 23 | 55 | 49 | 7 | 25 | 0 | 117 | 2 |
| Corrosão de armaduras | 266 | 37 | 63 | 74 | 22 | 70 | 117 | 0 | 7 |
| Carbonatação | 7 | 1 | 2 | 4 | 0 | 1 | 5 | 4 | 0 |
| Colapso da estrutura | 33 | 6 | 11 | 13 | 2 | 5 | 2 | 7 | 0 |
| CAUSA DA PATOLOGIA | | | | | | | | | |
| Erro de projeto | 5 | 3 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| Erro de execução | 55 | 10 | 10 | 21 | 2 | 9 | 12 | 31 | 9 |
| Falta de manutenção | 115 | 19 | 39 | 33 | 7 | 24 | 78 | 91 | 3 |
| Uso inadequado | 53 | 17 | 21 | 25 | 2 | 3 | 9 | 16 | 5 |
| Construções vizinhas | 39 | 2 | 33 | 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| Ação física | 56 | 14 | 41 | 25 | 7 | 14 | 0 | 10 | 8 |
| Ação biológica | 20 | 2 | 10 | 5 | 0 | 4 | 12 | 15 | 0 |
| Ação mecânica | 7 | 3 | 1 | 4 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 |

Quadro 9 – Ocorrência simultânea das patologias em uma estrutura de concreto armado, em valor percentual.

| | PATOLOGIA APRESENTADA PELA ESTRUTURA | | | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| | Deformação excessiva | Fissuração no concreto | Desagregação do concreto | Deslocamento do concreto | Eflorescência no concreto | Corrosão de armaduras |
| TOTAL DE OCORRÊNCIA | 101 | 179 | 30 | 87 | 162 | 266 |
| patologia registrada | | | | | | |
| Deformação excessiva | | 27,37 | 16,67 | 13,79 | 14,20 | 13,91 |
| Fissuração na alvenaria | 48,51 | 45,25 | 40,00 | 31,03 | 33,95 | 23,68 |
| Fissuração no concreto | 48,51 | | 43,33 | 31,03 | 30,25 | 27,82 |
| Desagregação do concreto | 4,95 | 7,26 | | 11,49 | 4,32 | 8,27 |
| Calcinação | 12,87 | 11,73 | 26,67 | 17,24 | 0,00 | 2,26 |
| Deslocamento revestimento | 24,75 | 34,08 | 46,67 | 68,97 | 52,47 | 56,77 |
| Deslocamento do concreto | 11,88 | 15,08 | 33,33 | | 15,43 | 26,32 |
| Eflorescência no concreto | 22,77 | 27,37 | 23,33 | 28,74 | | 43,98 |
| Corrosão de armaduras | 36,63 | 41,34 | 73,33 | 80,46 | 72,22 | |
| Carbonatação | 0,99 | 2,23 | 0,00 | 1,15 | 3,09 | 1,50 |
| Colapso da estrutura | 5,94 | 7,26 | 6,67 | 5,75 | 1,23 | 2,63 |
| CAUSA DA PATOLOGIA | | | | | | |
| Erro de projeto | 2,97 | 1,12 | 0,00 | 1,15 | 0,00 | 0,38 |
| Erro de execução | 9,90 | 11,73 | 6,67 | 10,34 | 7,41 | 11,65 |
| Falta de manutenção | 18,81 | 18,44 | 23,33 | 27,59 | 48,15 | 34,21 |
| Uso inadequado | 16,83 | 13,97 | 6,67 | 3,45 | 5,56 | 6,02 |
| Construções vizinhas | 1,98 | 2,79 | 6,67 | 2,30 | 1,85 | 0,38 |
| Ação física | 13,86 | 13,97 | 23,33 | 16,09 | 0,00 | 3,76 |
| Ação biológica | 1,98 | 2,79 | 0,00 | 4,60 | 7,41 | 5,64 |
| Ação mecânica | 2,97 | 2,23 | 0,00 | 1,15 | 0,62 | 0,75 |

BIBLIOGRAFIA

- Mendes Neto, A.O., (2003). "Mapeamento das patologias em estruturas prediais de concreto armado no município do Rio de Janeiro." Dissertação de Mestrado, Orient. Vicente C. M. de Souza, UFF, Niteroi, Brasil.
- De Souza, V. C. M., Ripper, T., (1998). *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*, São Paulo, Editora Pini, Brasil.
- Município Do Rio De Janeiro, (1998). *Anuário estatístico do município do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro.
- Silva, P.F.A., (1995). *Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana*, São Paulo, Editora Pini, Brasil.