

## **Método Acoplado Integridade e Segurança - Método MAIS: Formulação e Estudo de Caso**

### **Method of Assessment by Integrity and Safety - MAIS: Formulation and Case Study**

DOI:10.34117/bjdv7n8-615

Recebimento dos originais: 07/07/2021

Aceitação para publicação: 27/08/2021

**Ana Luiza de Oliveira**

Universidade de Brasília, Brasília (DF) Brasil  
analui.aoliveira@gmail.com

**João Pantoja**

Universidade de Brasília, Brasília (DF) Brasil  
joaocpantoja@gmail.com

**Sara Prado**

Universidade de Brasília, Brasília (DF) Brasil  
sarapnm@gmail.com

**Humberto Varum**

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto, Portugal  
hvarum@fe.up.pt

**Naiara Porto**

Universidade de Brasília, Brasília (DF), Brasil  
naiarag.porto@gmail.com

#### **RESUMO**

O tema sobre conservação, reabilitação e manutenção de estruturas já edificadas vem criando destaque, seja devido à ideia de sustentabilidade que tem ganhado visibilidade, seja por pressão da sociedade que hoje já reconhece maior valor em seus patrimônios. Neste contexto, é reconhecida a necessidade e pertinência de métodos de avaliação de estruturas existentes. No entanto, estes métodos devem ser calibrados e validados. O grande número de variáveis envolvidas e as suas incertezas, como as diferentes tipologias estruturais, as condições dos materiais, as cargas atuantes, as condições de agressividade ambiental, entre outros, devem ser considerados com rigor, por forma que o modelo descreva adequadamente o funcionamento correto e preveja o nível de segurança da estrutura existente. O presente trabalho apresenta o Método MAIS, Método Acoplado Integridade e Segurança, metodologia probabilística que acopla uma análise de confiabilidade com um processo de inspeção e avaliação das condições estruturais de edificações existentes em concreto armado e suas manifestações patológicas. O Método MAIS possibilita a identificação dos mecanismos de degradação ativos e a determinação do nível de segurança da estrutura, resultando num prognóstico estimado do funcionamento e segurança atual e futuro do sistema estrutural em análise. Ele consiste

em decompor a estrutura em classes e em elementos para avaliá-los individualmente e como um todo. Esse método tem os resultados comparados com a Metodologia GDE, Grau de Deterioração do Elemento. A comparação foi realizada em um mezanino presente na Universidade de Brasília (UnB) e, como resultado, verificou-se que o Método MAIS é menos conservador e mais ressonante com a realidade em comparação com a Metodologia GDE, que tem a tendência de supervalorizar os danos.

**Palavras-chave:** Avaliação estrutural, Método MAIS, Inspeção sensorial, Concreto armado, Manifestação patológica .

## **ABSTRACT**

The theme of conservation, rehabilitation and maintenance of structures already built is becoming more and more important, either due to the idea of sustainability that has gained visibility, or by pressure from society that nowadays already recognizes greater value in their heritage. In this context, the need and relevance of evaluation methods for existing structures is recognized. However, these methods must be calibrated and validated. The large number of variables involved and their uncertainties, such as the different structural typologies, the material conditions, the acting loads, the environmental aggressiveness conditions, among others, must be considered with rigor, so that the model adequately describes the correct functioning and predicts the safety level of the existing structure. The present work presents the MAIS Method, Method Coupled Integrity and Safety, probabilistic methodology that couples a reliability analysis with an inspection and evaluation process of the structural conditions of existing buildings in reinforced concrete and its pathological manifestations. The MAIS Method enables the identification of active degradation mechanisms and the determination of the structure's safety level, resulting in an estimated prognosis of the current and future functioning and safety of the structural system under analysis. It consists in decomposing the structure into classes and elements to evaluate them individually and as a whole. This method has its results compared to the GDE Methodology, Degree of Element Deterioration. The comparison was accomplished in a mezzanine present in the University of Brasilia (UnB) and, as a result, it was verified that the MAIS Method is less conservative and more resonant with the reality in comparison with the GDE Methodology, that has the tendency to overvalue the damages.

**Keywords:** Structural evaluation, MAIS Method, Sensorial inspection, Reinforced concrete, Pathological manifestation.

## **1 INTRODUÇÃO**

O tema conservação de patrimônios nunca foi tão presente na mídia, na sociedade e nas empresas quanto atualmente. A atual propagação da ideia de desenvolvimento sustentável, que considera a necessidade do presente sem comprometer as gerações futuras, incentiva o espalhamento desse tópico. Ser sustentável é bem-visto e bem-quisto, e essa é uma realidade mundial. Tal fato abriu os olhos para a necessidade da manutenção e conservação das edificações já construídas, não apenas pela edificação em si, mas também porque as dimensões de um prédio e todo o material já aplicado nele torna inviável sua demolição e reconstrução em larga escala. Outro ponto é a lotação das

cidades. Os centros urbanos encontram-se preenchidos, sendo difícil até mesmo encontrar terrenos baldios disponíveis para construir algo do zero, o que deixa como opção a reabilitação dos que já estão edificadas. O abandono de edificações é uma realidade que pode e deve ser revertida, adaptando os prédios antigos às necessidades atuais.

Outro fator que intensificou a tendência do tema é a globalização. A modernidade, a tecnologia, a aceleração do estilo de vida, a globalização, o neoliberalismo e a exclusão social advinda dele produziram uma reação que, de certa forma, fortaleceu reivindicações e formas de expressão regionais e locais. É como se a sociedade procurasse algo duradouro, constante, forte e representativo para olhar e se lembrar de quem são, que reforce a própria identidade, em meio a esse turbilhão. Isso intensificou o estudo sobre a conservação de patrimônios. O objetivo da conservação do patrimônio não é perpetuar o passado, mas sim representar o patamar de referência, o conjunto de fatores por meio das quais as sociedades se reconhecem, se identificam, constroem e reconstroem seus valores e trajetória, mantendo o caráter social da população. Ele vai muito além de ser um prédio ou monumento que é útil ao ser humano, sendo mais valorizado pelo seu valor histórico e cultural.

Um exemplo que comprova essa constatação é o incêndio que atingiu a catedral de Notre-Dame, em Paris, em abril de 2019, já que tal infortúnio gerou grandes comoções ao redor do mundo, e não pelo fato de ser uma edificação usada para celebrar eventos religiosos, mas pelo que ela provoca e representa ao coletivo. Questiona-se, então, se tamanha preocupação com a conservação dos patrimônios do passado não enrijeceria a criação e a inovação, que é também necessária para sobrevivermos aos tempos modernos. De acordo com Choay (2006), tal constatação não é verdadeira uma vez que a não preservação privaria a sociedade de memórias e raízes essenciais à inovação e à evolução.

## **2 METODOLOGIAS PARA A AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO**

Para o correto dimensionamento de estruturas, duas são as perspectivas que devem ser levadas em consideração: a segurança estrutural, ligada à necessidade de reduzir o risco de colapso inerente a qualquer obra feita pelo homem e exposta à natureza, e o adequado comportamento da estrutura em serviço, ligado à necessidade de atender às demandas dos usuários com conforto e, concomitantemente, reduzir os custos de manutenção.

Ainda que bem projetadas e executadas, os mecanismos de degradação de uma edificação são complexos e manifestações patológicas podem surgir, diminuindo o seu desempenho. Sendo assim, metodologias fundamentadas devem ser aplicadas para projetá-las, de modo que durem com desempenho satisfatório por sua vida útil e, também, para avaliá-las e mantê-las. Projetar uma nova estrutura e avaliar uma já existente implicam no uso de metodologias diferentes. Enquanto a primeira, fundamentada nos vários estados limites, pode ser considerada um processo de decisão, a segunda deve levar em conta as diversas incertezas presentes, possui um número de variáveis mais elevado, e objetiva assegurar que há um nível adequado de segurança com relação às cargas existentes e potenciais (CEB, 1998).

Depois de anos de avanço científico, algumas metodologias já aceitas pelos profissionais da área são conhecidas e já foram aplicadas. Uma delas é a metodologia Condition Rating, divulgada pelo Comité Européen du Béton (1998) proposta para ser aplicada em populações extensas de avaliação no qual, através de um índice de dano e um fator de deterioração, identifica os elementos que estão mais danificados. Em resumo, ele é composto de três etapas: primeiramente é feita a inspeção visual junto com a avaliação preliminar da condição da estrutura, observando as forças aplicadas, as ações estruturais, a hierarquia de importância de seus componentes e identifica-se as regiões mais danificadas; em seguida a intensidade da manifestação patológica e sua extensão são constatadas para determinar o índice numérico do nível de dano; enfim, faz-se a avaliação da segurança com o cálculo da força residual dos elementos.

Proposta recentemente por uma conjunção de pesquisadores italianos, portugueses e brasileiros, outra metodologia é o Alert-D (Sangiorgio et. Al., 2018). Seu diferencial é que integra ferramentas de inteligência artificial e informações tecnológicas a um Sistema de Apoio à Decisão (SSD). Primeiramente é realizado um Processo Analítico Hierárquico (AHP-Analytic Hierarchy Process) dos elementos da construção. Nele, quatro são os fatores aplicados a cada um dos danos encontrados: severidade da manifestação patológica, extensão da manifestação patológica, componente danificado e posição do componente. Como cada peso é associado a apenas um critério e alternativa, e já que a gama de alternativas é conhecida, os pesos são atribuídos automaticamente. Então esse Processo Analítico Hierárquico é aplicado à nova formulação dos Indicadores-Chaves de Desempenho (KPI-Key Performance Indicator), que objetiva destacar a presença de diversas manifestações patológicas em um único componente. Então o resultado é

aplicado ao Modelo de Dano para corrosão de armaduras de Tuutti (1982) para que se encontre o grau de deterioração da estrutura.

Outra metodologia existente é a Grau de Deterioração do Elemento, Metodologia GDE, que é uma das utilizadas no presente trabalho. Ela foi criada por Castro (1994), e procura estabelecer critérios para quantificar o nível de degradação dos elementos isolados e da estrutura globalmente, tornando possível criar um programa de manutenção periódica estabelecendo as ações que devem ter prioridade de acordo com o nível de criticidade de cada elemento. Baseia-se no modelo de dano de Tuutti (1982), mostrado no item 0.

Desde então, a metodologia evoluiu e foi refinada por Fonseca em 2007, sendo essa a versão utilizada nessa comparação. A sua metodologia consiste em dividir a estrutura global em elementos, que formam famílias. Em vistoria *in loco*, cada manifestação patológica existente recebe um Fator de dano ( $F_d$ ), e um Fator de intensidade ( $F_i$ ). Deste modo, calcula-se o Grau de deterioração do elemento ( $G_{de}$ ), conforme Equação 1.

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \cdot \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_i - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m D_i} \right) \quad (1)$$

### 3 MÉTODO MAIS

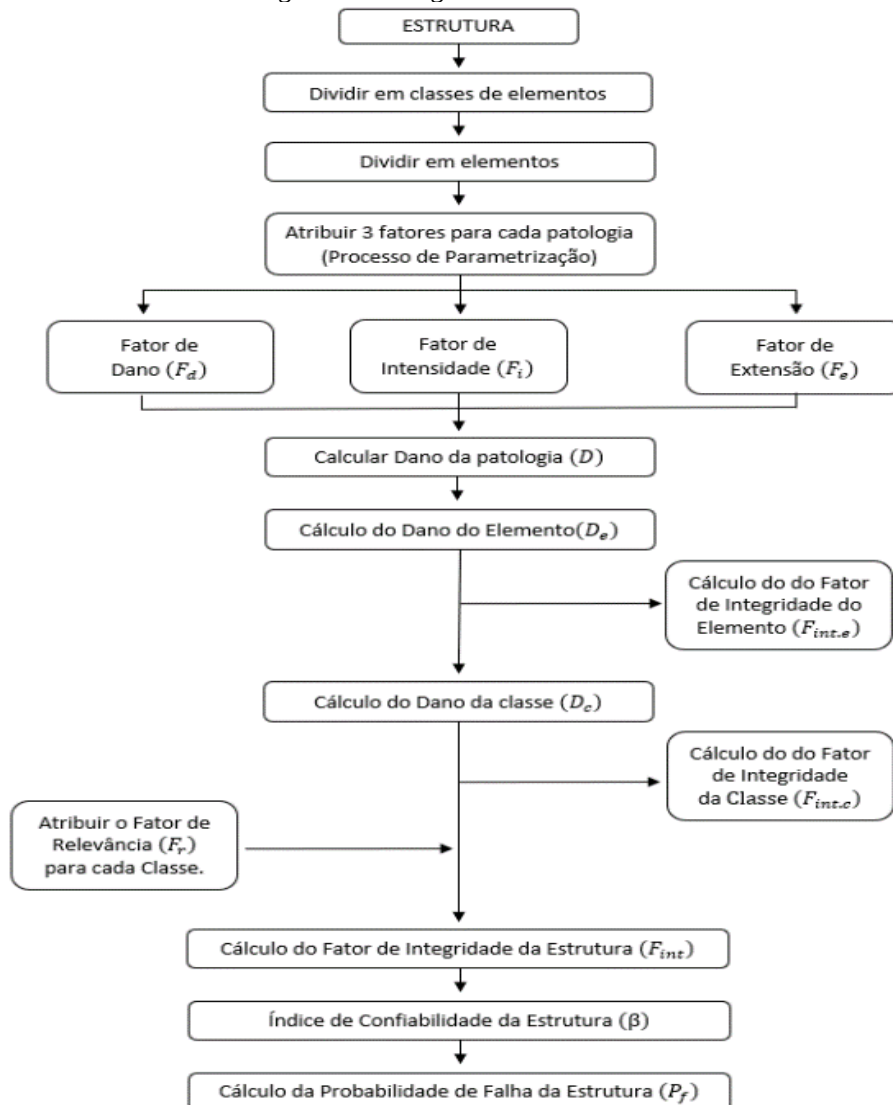
O Método MAIS – Método Acoplado Integridade e Segurança – apresentado em Oliveira *et al.* (2020), destaca-se por considerar tanto a integridade, ou seja, o estado de conservação da edificação, quanto a segurança da estrutura, por levar em conta as incertezas presentes no processo de avaliação, através do uso da probabilidade, permitindo um resultado mais assertivo, e por usar a parametrização na inserção dos dados a velocidade da inspeção é impulsionada. A Figura 1 apresenta o Fluxograma da Metodologia MAIS, que é explicado neste tópico.

O primeiro passo é essencial receber a devida atenção para o sucesso da avaliação. Deve-se saber claramente qual a sessão da edificação será avaliada e obter o máximo de informações possíveis sobre suas características construtivas, como idade, história, projetos, técnicas construtivas, tipologia, materiais utilizados, etc. Em seguida, com o auxílio do projeto, ou se necessário, deve-se fazer o levantamento estrutural *in loco*, separar a estrutura em classes. Sugere-se dividi-las em: cortinas, pilares, vigas, rampas/escadas, elementos arquitetônicos, fundação, juntas de dilatação, lajes e reservatórios. Cabe ao profissional responsável avaliar quais dessas classes se adequam à

estrutura. Separa-se então a classe em elementos, no qual cada um deles deve ser nomeado. Exemplificando: cada componente pertencente à classe de pilares deve receber uma identificação (pilar 1, pilar 2, pilar 3, etc.) de vigas (viga 1, viga 2, viga 3, etc.) e assim sucessivamente.

Após essa preparação inicial, partimos para a avaliação *in loco*. É necessário ter em porte, o caderno de instruções já com as tabelas a serem preenchidas. Esse caderno apresenta as informações básicas para uma vistoria, além de matrizes de desempenho a serem preenchidas pelo profissional ou equipe especializada responsável, que são necessárias para seguir o fluxograma. Cada elemento deve ser fotografado.

Figura 1 - Fluxograma Método MAIS



Fonte: autora

Para cada manifestação patológica encontrada em cada elemento, atribui-se três fatores:

- Fator de Dano ( $F_d$ ): usado para projetar o nível de relevância daquele dano na

funcionalidade daquele elemento. Isso porque uma manifestação patológica, por exemplo, umidade, pode ter maior impacto em pilares que em lajes. É previamente definido, ou seja, é tabelado;

- Fator de Intensidade ( $F_i$ ): atribui o grau de severidade e a evolução da manifestação patológica naquele determinado componente. É definido no momento da inspeção pelo profissional e fazê-lo não é simples, uma vez que o ambiente e o contexto devem ser considerados;
- Fator de Extensão ( $F_e$ ): busca traduzir o grau de espalhamento do dano no elemento, afinal, uma avaria pequena em um elemento representa um desgaste menor que em grande parte do componente. É uma tarefa que depende da manifestação patológica envolvida. É determinado *in loco* pelo inspetor.

Cada dano tem comportamento e evolução diferente, que varia de acordo com diversos fatores, como utilização, manutenção e ambiente em que se encontra. Por isso, é um desafio parametrizar corretamente o Dano ( $D$ ) individual de cada manifestação patológica, que busca traduzir o grau de deterioração que ela causa. Tal discussão foi apresentada em Oliveira (2020), em que se concluiu que o modelo de dano de Heidecke era o mais adequado. Sendo assim, sabendo os Fatores de dano, intensidade e extensão de cada manifestação patológica presente em cada elemento, calcula-se o Dano ( $D$ ), conforme apresentado no tópico 0.

O Dano do Elemento ( $D_e$ ) é calculado conforme Equação 2. Na sua formulação, sobre o maior dano existente é acrescido uma média ponderada que representa as outras manifestações patológicas presentes. Já a segunda parte da equação ( $m/2m - 1$ ) compara esse valor da primeira parte da equação com o maior valor de Dano possível para aquelas anomalias presentes, ou seja, o valor do dano caso todos esses fatores fossem iguais a 1.

$$D_e = D_{m\acute{a}x} \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_i - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m D_i} \right) \times \frac{m}{2m-1} \quad (2)$$

Onde:

$D_e$ : dano do elemento;

$D_{m\acute{a}x}$ : Maior dano presente no elemento;

$D_i$ : danos presentes no elemento;

m: número de manifestações patológicas presentes no elemento.

O Fator de Integridade do Elemento ( $F_{int.e}$ ), que estima a porcentagem do elemento que se encontra em boas condições, é calculado através da Equação 3.

$$F_{int.e} = 1 - De \quad (3)$$

O Dano da classe ( $D_c$ ) é a média direta do dano de cada elemento com um coeficiente de segurança de 15%, conforme Equação 4. O Fator de integridade da classe ( $F_{int.c}$ ) segue o mesmo critério do Fator de integridade do elemento e é apresentado na Equação 5.

$$D_c = \mu D_e \times 1,15 \quad (4)$$

$$F_{int.c} = 1 - D_c \quad (5)$$

Atribui-se então o Fator de Relevância de cada classe, que considera a sua importância em função da sua responsabilidade no comportamento estrutural global e no bom desempenho da mesma. Isso permite o cálculo do Fator de Integridade da Estrutura globalmente, sua Confiabilidade e, por fim, sua Probabilidade de Falha. O presente trabalho focará nos Danos do elemento e da classe, logo essas últimas etapas, bem como os Fatores de integridade, não serão abordados.

### 3.1 ESCALAS

A correta parametrização permite resultados mais coerentes e dá velocidade à inspeção, à programação e ao resultado. Tendo isso em vista, essa é uma fase que requer olhar atento durante o desenvolvimento da metodologia, por isso aqui é exposto a escala utilizada em ambos os métodos utilizados para o Fator de dano ( $F_d$ ) no método MAIS, correspondente ao Fator de ponderação ( $F_p$ ) na metodologia GDE, e para o Fator de intensidade ( $F_i$ ).

Quadro 1 - Parametrização Fatores de Dano e de Integridade para os métodos MAIS e GDE

| Fator                     | Lesões            | Letreiro | MAIS   | GDE |
|---------------------------|-------------------|----------|--------|-----|
| Fator de Dano (Fd)        | Muito pouca       | ---      | ---    | 1   |
|                           | Pouca             | A        | 0,4226 | 2   |
|                           | Intermediária     | B        | 0,6265 | 3   |
|                           | Importante        | C        | 0,87   | 4   |
|                           | Muito importante  | D        | 1      | 5   |
| Fator de Intensidade (Fi) | Sem lesões        | ---      | 0      | 0   |
|                           | Lesões leves      | A        | 0,4226 | 1   |
|                           | Lesões toleráveis | B        | 0,6265 | 2   |
|                           | Lesões graves     | C        | 0,87   | 3   |
|                           | Lesões críticas   | D        | 1      | 4   |

O Fator de extensão (Fe) está incluso apenas no Método MAIS e é distribuído conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Parametrização do Fator de Extensão (Fe)

| Fator                  | Extensão da patologia (%) | Letreiro | MAIS   |
|------------------------|---------------------------|----------|--------|
| Fator de Extensão (Fe) | < 2                       | ---      | ---    |
|                        | 02 - 10                   | A        | 0,4226 |
|                        | 10 - 30                   | B        | 0,6265 |
|                        | 30 - 70                   | C        | 0,87   |
|                        | ≥ 70                      | D        | 1      |

Tão relevante quanto a correta parametrização dos dados de entrada para o cálculo final é o ajuste adequado da classificação dos resultados encontrados. Assim, a classificação do Dano do elemento ( $D_e$ ), correspondente ao Grau de dano do elemento ( $Gde$ ) e, também, da estrutura ocorre conforme o Quadro 3, fundamentado em Fonseca (2007).

Quadro 3 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento

| Grau de Dano | MAIS        | GDE      | AÇÕES A SEREM ADOTADAS                                                                                            |
|--------------|-------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Baixo        | 0 a 0,14    | 0 a 14   | Estado aceitável. Manutenção preventiva.                                                                          |
| Médio        | 0,15 a 0,49 | 15 a 50  | Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).                     |
| Alto         | 0,5 a 0,74  | 50 a 80  | Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano)    |
| Sofrível     | 0,75 a 0,89 | 80 a 100 | Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses). |
| Crítico      | 0,9 a 1     | > 100    | Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.                                                     |

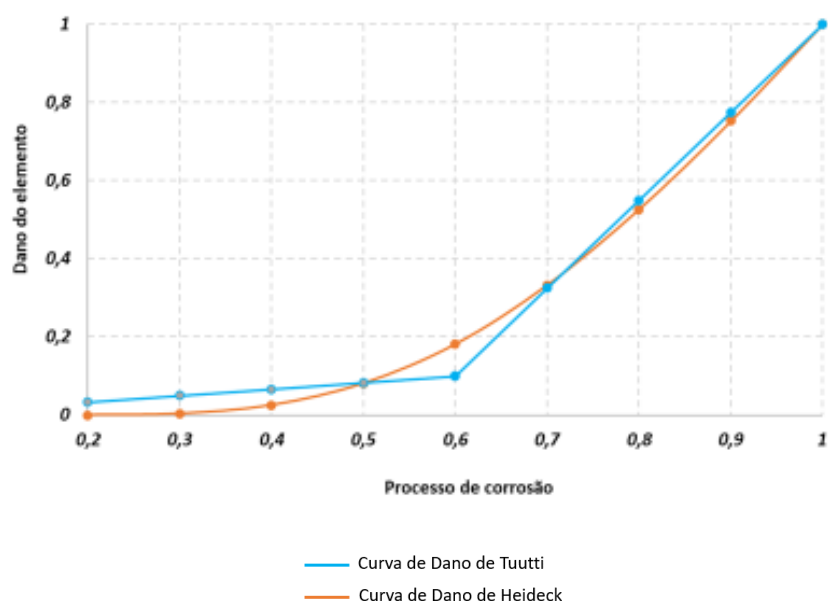
### 3.2 MODELO DE DANO

Encontrar o modelo de dano mais adequado para a avaliação é fundamental, e os dois modelos usados, o de Tuutti (1982) e o de Heidecke, são explorados aqui.

O modelo de Tuutti apresenta duas fases de comportamento linear: a iniciação, que envolve a lenta penetração de substâncias deletérias (carbonatação e/ou penetração de cloretos) na microestrutura do concreto até que atinjam um limite em que o seu comportamento muda. Nessa fase então o problema ainda não é visível. E a propagação, período no qual há um aumento na velocidade do processo de degradação. Quando o pH do concreto desce a valores inferiores a 9-10, ou o teor de cloretos ultrapassa o valor crítico, inicia-se o processo de corrosão após a despassivação das armaduras até níveis inaceitáveis de deterioração que levam ao colapso. Castro (1994) observou que o processo de iniciação leva cerca de 60% do tempo, ocorrendo a maior parte do dano durante a segunda fase, que representa menos da metade do tempo, cerca de 40% do processo.

O modelo de Heidecke considera a idade efetiva do imóvel, a vida útil e o coeficiente de depreciação e é composto por uma única linha curva. Isso é uma vantagem ao modelo, pois por ser uma única equação, facilita sua programação e acelera a análise. Uma análise mais profunda dos modelos foi realizada para decidir qual é o mais adequado e, ao compará-los através da sobreposição de um gráfico ao outro, nota-se que seus comportamentos são similares e que o modelo de Heidecke se adaptou bem ao observado por Castro (1994).

Figura 2 - Modelo de Dano de Tuutti e Heidecke.



Fundamentado no Modelo de Tuutti, Fonseca (2007) encontrou a Equação 5, que representa a fase da iniciação, e a Equação 6, que representa a propagação.

$$\text{Se } Fi \leq 2,0 \rightarrow D = 0,8 \times Fi \times Fp \quad (5)$$

$$\text{Se } Fi \geq 3,0 \rightarrow D = (12 Fi - 28) \times Fp \quad (6)$$

Já fundamentado no Modelo de Heidecke, tem-se a Equação 7, que representa a parábola do modelo.

$$D = (1,9738 Fi^2 - 1,1187 Fi + 0,1513) Fd * Fe \quad (7)$$

Sendo assim, essas foram as equações utilizadas no estudo de caso para determinar qual o modelo de dano que mais se adapta. A parametrização escolhida no Método MAIS, conforme item 0, valoriza os pontos presentes quando o processo de corrosão já superou os 60%, uma vez que três dos seus quatro pontos (Letreiros B, C e D do Quadro 1) encontram-se nessa fase de propagação, e apenas um dos pontos (Letreiro A do Quadro 1) está na fase de iniciação. Isso porque diversos autores concordam que nessa primeira fase, as manifestações patológicas são praticamente inexistentes, não sendo possível detectá-las via inspeção sensorial. A distribuição linear da escala resultaria numa supervalorização das manifestações patológicas ainda em estado inicial.

#### **4 ESTUDO DE CASO – MEZANINO DO INSTITUTO CENTRAL DE CIÊNCIAS DA UNB**

O Método MAIS visa contribuir para a humanidade com uma organização sistemática de avaliação de edificações em concreto armado já existentes, com foco em patrimônios que representam a identidade de um povo. Em geral, as universidades são prédios imponentes que representam uma cidade, e o mesmo ocorre com a Universidade de Brasília, que está localizada no Plano Piloto de Brasília, patrimônio cultural da humanidade tombado em 1987 pela UNESCO, por ser considerada um marco na história do planejamento urbano.

Tendo isso em vista, o valor imaterial da Universidade de Brasília (UnB) é inestimável e o método MAIS foi aplicado no mezanino da sua entrada norte, mais conhecida como ceubinho, presente no Instituto Central de Ciências (ICC). Sua construção teve início em 1962 e foi finalizada em 1975. É uma edificação que comporta vários departamentos, faculdades, laboratórios e anfiteatros, representando a

interdisciplinaridade entre os cursos. É uma obra que certamente marca todo estudante e professor da universidade. A Figura 3 mostra uma vista aérea do ICC, com a entrada norte destacada, correspondente a Figura 4.

Figura 3 - Vista aérea do ICC



Fonte: Artchist<sup>1</sup>

Figura 4 - Mezanino entrada sul



Fonte: Walter Vilhena (1992) apud FONSECA (2007).

#### 4.1 SISTEMA CONSTRUTIVO

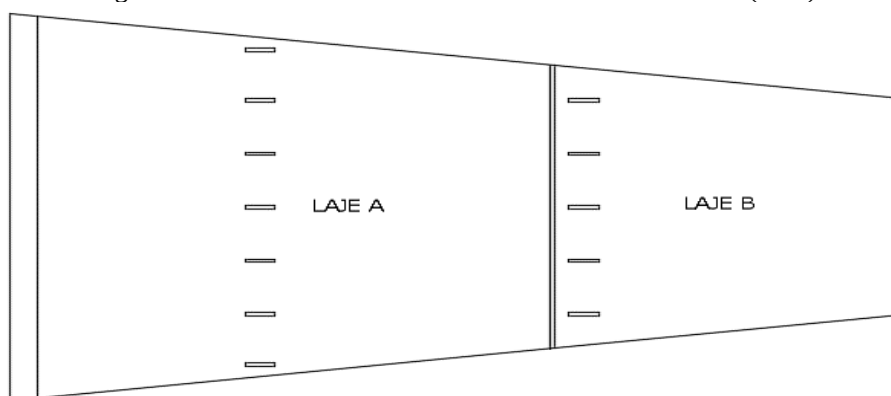
O mezanino do ICC foi construído em concreto armado e, diferente do resto da edificação que usou o concreto pré-moldado, aqui optou-se pelo protendido. A laje possui formato trapezoidal e, em levantamento *in loco*, constatou-se que a base menor possui 13,75 m e a maior 24,60 m, totalizando 872 m<sup>2</sup> de área. Ligada à extremidade da laje A

<sup>1</sup> Fonte: <https://artchist.blogspot.com/2015/04/universidad-de-brasilia-instituto.html>. Acesso em fevereiro de 2021.

do mezanino há uma rampa com 2 m de largura e 12 m de comprimento em formato de ferradura.

Assim como todo o ICC, as lajes dos mezaninos também são em concreto armado, entretanto neste caso ele não é pré-moldado, mas sim protendido. A laje é dupla com um caixão perdido de 60 cm de espessura com formato trapezoidal. Através de um levantamento *in loco*, constatou-se que sua base menor é de 13,75 m e a base maior 24,60 m, totalizando 872,46 m<sup>2</sup> de área. Divida por uma junta de dilatação, a laje foi delimitada em Lado A e Lado B. A Laje A possui um balanço de 12,85 m a contar do eixo do pilar, sendo que a outra extremidade da laje está apoiada na Laje B, formando um dente de Gerber. A Figura 5 e a Figura 7 apresentam respectivamente um desenho da planta baixa e o corte do mezanino.

Figura 5 - Planta baixa do mezanino da entrada norte do ICC (UnB)



Fonte: autora.

Figura 6 - Corte do mezanino da entrada norte do ICC (UnB)



Fonte: autora.

## 4.2 ENSAIOS TÉCNICOS

Ensaio técnico foram realizados para melhor entendimento da estrutura, e serão expostos a seguir.

### ▪ Monitoramento de Fissuras

A fissura é um sinal de que a estrutura se mexeu. É necessário saber se as fissuras ainda estão ativas, ou seja, se ainda se movimentam, ou se estão inativas, mostrando que a estrutura se acomodou. Para tal, faz-se um ensaio de monitoramento das fissuras na qual placas de gesso são aplicadas sobre elas. Caso estejam inativas, o gesso continuará contínuo e liso, caso estejam ativas o gesso mostrará claramente essa movimentação

através de uma fissura. O ensaio constatou que sim, havia a presença de fissuras ativas no mezanino, ou seja, a estrutura ainda se movimenta.

Figura 7 - Monitoramento fissuras com placas de gesso.

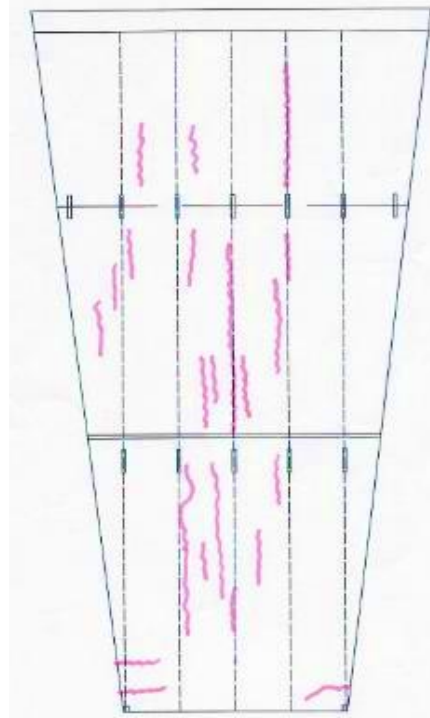


Fonte: autora.

#### ▪ Mapeamento de Fissuras

Fazer o mapeamento de danos é uma ótima ferramenta para visualizar globalmente o estado da estrutura quando avaliada a olho nu por uma inspeção visual. Neste estudo de caso foi realizado o mapeamento das fissuras presentes, apresentado na Figura 8. O resultado mostrou que o elemento se encontra comprometido com a presença de fissuras. O ensaio de monitoramento com gesso auxiliou nesse processo.

Figura 8: Mapeamento de fissuras mezaninos ICC Norte e Sul, respectivamente.



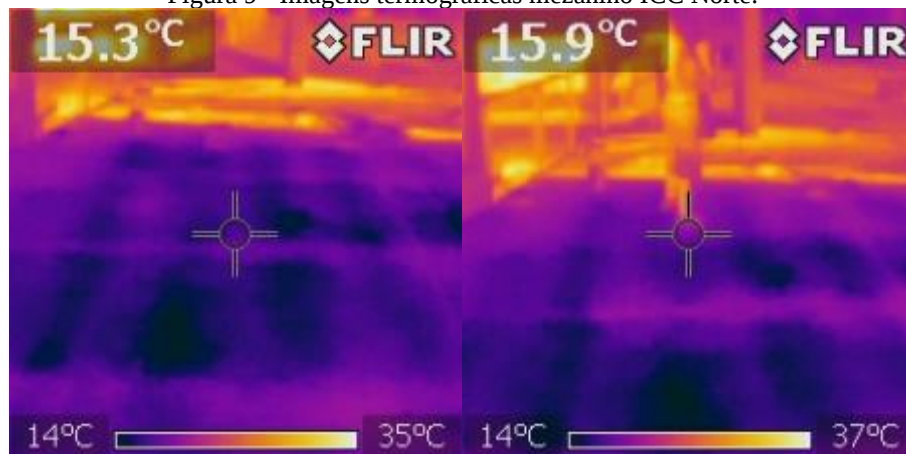
Fonte: autora.

#### ■ Imagens Termográficas

Um obstáculo dos profissionais da área da engenharia diagnóstica é a impossibilidade de ver e saber o que há dentro das estruturas e quais foram as técnicas construtivas e tipologia do local. Como alternativa surge a termografia, ferramenta não destrutiva que, com o auxílio de uma câmera específica, capta as diferenças de temperatura de um corpo.

No mezanino, permitiu-nos saber a tipologia da laje, que é constituída por vigotas entre as lajes, no caixão perdido, como mostra a Figura 9 - Imagens termográficas mezanino ICC Norte..

Figura 9 - Imagens termográficas mezanino ICC Norte.



Fonte: autora

- Vistoria

Para aplicar a metodologia de avaliação da estrutura, uma vistoria em junho de 2019 foi realizada e o levantamento das manifestações patológicas feito. A estrutura foi decomposta em duas classes: pilares e lajes. Elas foram divididas e nomeadas em elementos, separados em Lado A e Lado B pela junta de dilatação. A classe de pilares foi desmembrada em doze elementos e foram nomeados de acordo com a sua locação; já a classe de lajes foi dividida em dezoito elementos, como mostra a Figura 10.

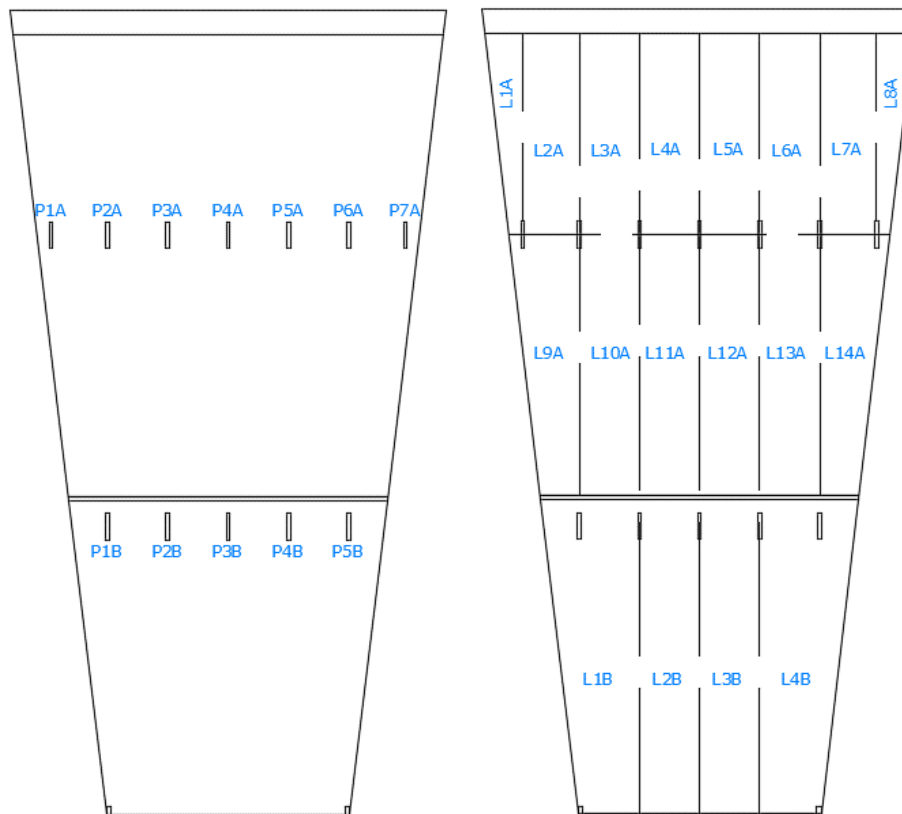
Com o auxílio do caderno de inspeção, cada manifestação patológica foi avaliada e atribuída a uma Fator de Dano ( $F_d$ ), Fator de Intensidade ( $F_i$ ), e Fator de Extensão ( $F_e$ ), para encontrar o Dano ( $D$ ) e dar procedimento ao Método MAIS e à Metodologia GDE.

- Registro Fotográfico

Convém fazer o registro fotográfico de todos os elementos, até mesmo para tirar dúvidas em algum momento posterior. Alguns desses registros estão na Figura 12 e Figura 13. Em análise superficial, nota-se que essa classe apresentou cobrimento deficiente e corrosão de armaduras espalhadas por todo o elemento, algumas já em estado avançado, além de deslocamento e eflorescência, o que evidencia vazamentos, falhas de concretagem, manchas, além do desnível que a laje apresenta.

Já os pilares encontravam-se, de modo geral, em boas condições, apresentando algumas falhas de concretagem, deslocamentos e fissuras.

Figura 10 - Nomeação dos elementos de pilares e lajes



Fonte: autora

Figura 11: Registro fotográfico da laje do mezanino do ICC Norte (UnB)





Fonte: autora

Figura 12 - Registro fotográfico: Pilar do mezanino do ICC Norte (UnB)



Fonte: autora

## 5 RESULTADOS

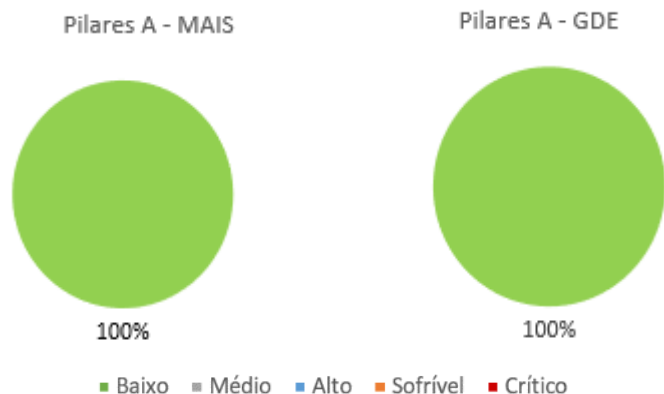
Após os ensaios e a vistoria, os cálculos foram realizados. No Quadro 4 - Danos do elemento (De) serão apresentados os resultados da aplicação do Método MAIS no mezanino da entrada norte do ICC da UnB, contraposto com a metodologia GDE. Para além do quadro, gráficos são uma excelente maneira de comparar os resultados de modo visual e mais intuitivo, sendo apresentados a seguir.

Quadro 4 - Danos do elemento (De)

| PILARES A |           |          |          |         | PILARES B |               |          |          |         |
|-----------|-----------|----------|----------|---------|-----------|---------------|----------|----------|---------|
| Elemento  | De - MAIS |          | De - GDE |         | Elemento  | De - MAIS     |          | De - GDE |         |
| PA1       | 0,00      | Baixo    | 0,00     | Baixo   | PB1       | 0,01          | Baixo    | 0,00     | Baixo   |
| PA2       | 0,01      | Baixo    | 1,60     | Baixo   | PB2       | 0,01          | Baixo    | 0,00     | Baixo   |
| PA3       | 0,00      | Baixo    | 13,04    | Baixo   | PB3       | 0,01          | Baixo    | 0,00     | Baixo   |
| PA4       | 0,00      | Baixo    | 2,40     | Baixo   | PB4       | 0,24          | Médio    | 0,00     | Alto    |
| PA5       | 0,00      | Baixo    | 8,08     | Baixo   | PB5       | 0,00          | Baixo    | 0,00     | Baixo   |
| LAJES A   |           |          |          |         |           |               |          |          |         |
| Elemento  | De - MAIS |          | De - GDE |         | Elemento  | Dano (D) MAIS |          | De - GDE |         |
| LA1       | 0,58      | Alto     | 157,04   | Crítico | LA8       | 0,59          | Alto     | 163,24   | Crítico |
| LA2       | 0,57      | Alto     | 149,39   | Crítico | LA9       | 0,82          | Sofrível | 169,14   | Crítico |
| LA3       | 0,62      | Alto     | 154,21   | Crítico | LA10      | 0,37          | Médio    | 38,00    | Médio   |
| LA4       | 0,78      | Sofrível | 163,87   | Crítico | LA11      | 0,86          | Sofrível | 159,55   | Crítico |
| LA5       | 0,55      | Alto     | 145,41   | Crítico | LA12      | 0,91          | Crítico  | 171,00   | Crítico |
| LA6       | 0,60      | Alto     | 168,03   | Crítico | LA13      | 0,76          | Sofrível | 165,85   | Crítico |
| LA7       | 0,58      | Alto     | 159,15   | Crítico | LA14      | 0,60          | Alto     | 165,37   | Crítico |
| LAJES B   |           |          |          |         |           |               |          |          |         |
| Elemento  | De - MAIS |          | De - GDE |         | Elemento  | De - MAIS     |          | De - GDE |         |
| LB1       | 0,82      | Sofrível | 169,14   | Crítico | LB3       | 0,84          | Sofrível | 169,14   | Crítico |
| LB2       | 0,74      | Alto     | 140,76   | Crítico | LB4       | 0,83          | Sofrível | 169,14   | Crítico |

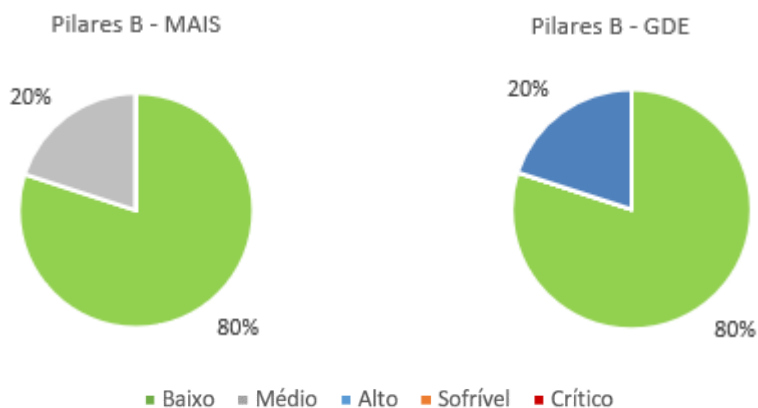
Os gráficos a seguir apresentam análises percentual dos graus de dano.

Gráfico 1 - Dano do elemento (De) - Pilares A



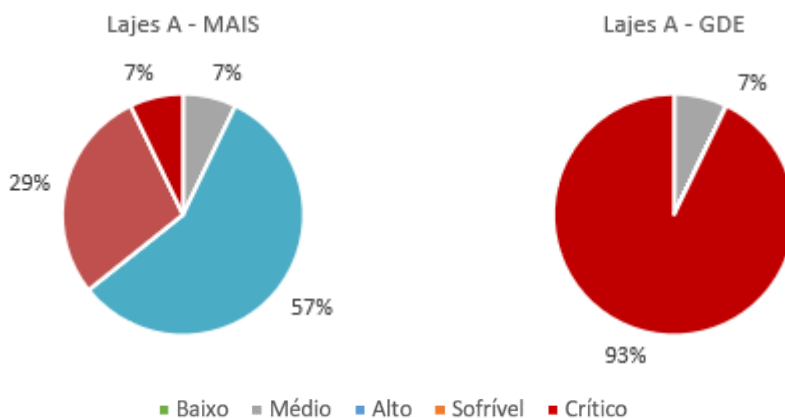
Ambas as avaliações mostram que os pilares do Lado A estão em boas condições, sendo classificados com grau de dano baixo, necessitando apenas de manutenção preventiva.

Gráfico 2 - Dano do elemento ( $D_e$ ) - Pilares B



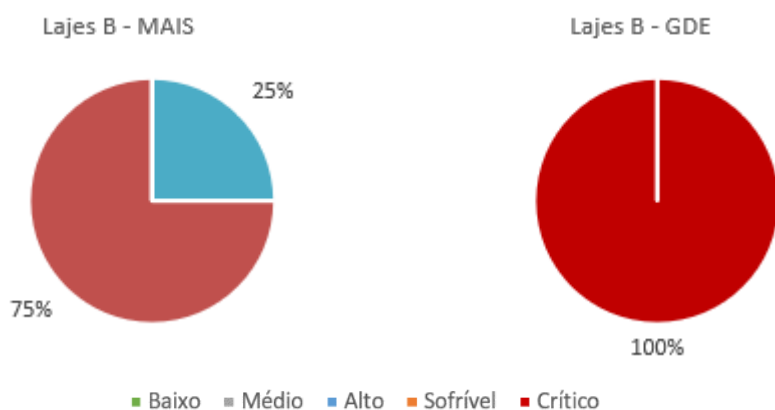
De modo geral os pilares do Lado B encontram-se em boas condições, apenas o PB4 que apresenta cobertura deficiente, corrosão de armaduras e falha de concretagem, porém em uma extensão pequena, menos de 10% do elemento, sendo classificado com grau de dano médio pelo método MAIS, e alto pelo GDE.

Gráfico 3: Dano do elemento ( $D_e$ ) – Lajes A



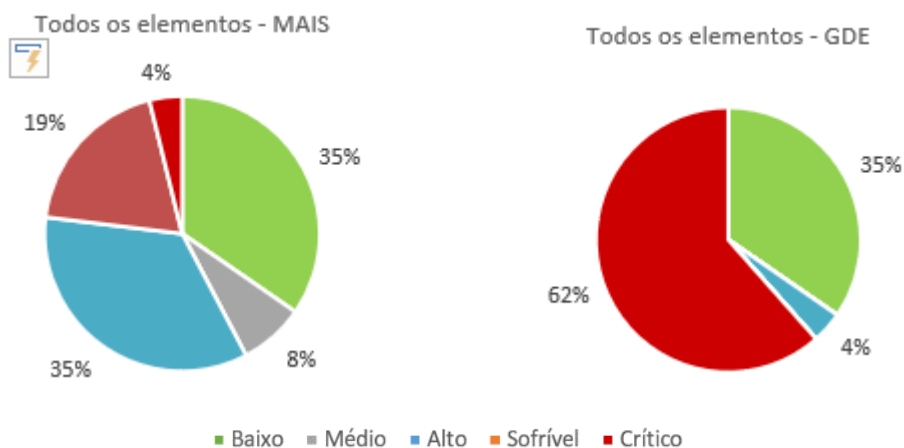
Na metodologia GDE 93% da laje foi condenada, considerada em estado crítico. Já no MAIS, apenas 7% foi classificada como crítica, tendo a maior parte com grau de dano alto.

Gráfico 4 - Dano do elemento (De) - Lajes B



No caso das Lajes B, pelo Método MAIS 75% foi considerada com grau de dano sofrível e 25% alto, enquanto o GDE condenou severamente todo o elemento.

Gráfico 5 - Dano do elemento (De) – Todos os elementos

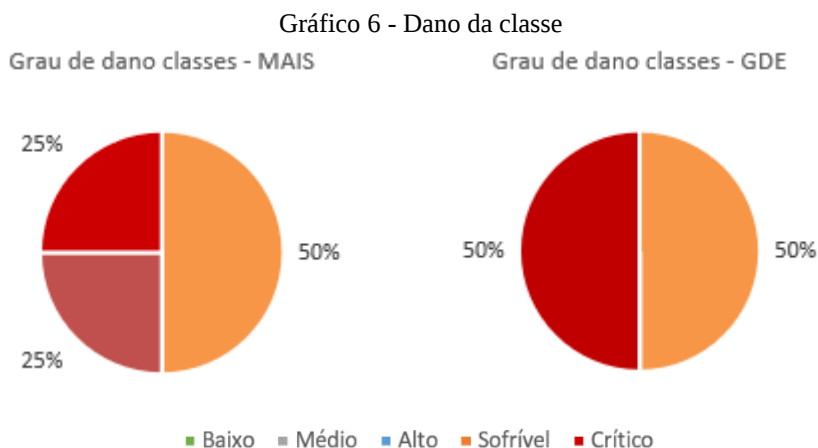


Aqui nota-se que enquanto na metodologia GDE 62% dos elementos foram classificados como em estado crítico, no método MAIS esse valor é de apenas 4%, com 54% atribuídos o grau alto ou sofrível de deterioração. Em ambos os métodos 35% apresentam baixo estado de dano.

Os Danos da classe ( $D_c$ ) são apresentados no Quadro 5 e no Gráfico 6.

Quadro 5 - Danos da classe ( $D_c$ )

| Dano da Classe ( $D_c$ ) |      |          |        |         |
|--------------------------|------|----------|--------|---------|
| Classe                   | MAIS |          | GDE    |         |
| Pilares A                | 0,04 | Baixo    | 14,69  | Baixo   |
| Pilares B                | 0,06 | Baixo    | 14,69  | Baixo   |
| Lajes A                  | 0,76 | Sofrível | 233,90 | Crítico |
| Lajes B                  | 0,93 | Crítico  | 222,55 | Crítico |



Ambas as metodologias indicam que a classe de pilares está com um bom estado de conservação, e que as Lajes B estão críticas, precisando de intervenção imediata. Já a classe Lajes A foi considerada com grau sofrível de dano, e crítico, pelo GDE.

## 6 CONCLUSÕES

Neste estudo foi feita a avaliação da integridade de uma edificação em concreto armado, o mezanino da entrada norte do minhocão da UnB. O objetivo é apresentar o Método MAIS e compará-lo com a Metodologia GDE. Vale acentuar que, para isso, os dados de entrada, ou seja, os *inputs*, são equivalentes e sempre seguem o Quadro 1. Após a coleta de dados, programação e análise dos resultados, chegou-se a algumas conclusões, que são apresentadas a seguir:

- Em todos os casos a Metodologia GDE foi mais conservadora e apresentou danos maiores. De fato, há situações em que ela supervaloriza o estado de dano real da estrutura;
- O fato de o Método MAIS utilizar pontos que estão presentes na fase de propagação, ou seja, a fase em que o dano evolui mais rapidamente e as manifestação patológica são visíveis, fazem com que ele seja mais preciso. O fato de a avaliação ter sido em junho de 2019 e não ter colapsado evidencia esse fato;
- Outra vantagem do Método MAIS é que a classificação dos graus de dano do elemento em baixo, médio, alto, sofrível e crítico são mais fiáveis, também devido à essa escolha dos pontos na fase da propagação;
- Por ser parametrizado de 0 a 1, o resultado do Método MAIS é mais palpável, mais compreensível à racionalidade humana, já que os resultados são dados em porcentagem. Na metodologia GDE não há uma escala tão clara, uma vez que o ela tem valor mínimo, mas não um valor máximo, conforme mostra o Quadro 1.

- Quando o dano está ainda em fase inicial (não visível) o Modelo de Tuutti é o mais conservador; Já na fase final, o Modelo de Heidecke apresenta os resultados mais conservadores; Sendo assim,
- O fato de ser utilizada uma única expressão no Modelo de Heidecke simplifica o processo da metodologia, o que é vantajoso para o método.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem:

- CAPES – BRAZIL (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo supor financeiro à pesquisa;
- CONSTRUCT, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pelo suporte técnico.

## REFERÊNCIAS

- Comité Européen du Béton. CEB. (1998). Bulletin N°- 243 Strategies for Testing and Assessment of Concrete Structures. CE13-FII), Comité Européen du Béton. International system of unified standard codes of practice for structures. Volume 'Common unified rules for different types of construction and material', CE13F11) International Recommendations, edição. 1978
- Choay, F. A alegoria do patrimônio. Editora da Unesp: Estação Liberdade. São Paulo (SP). 2005.
- Fonseca, R. R. (2007). Estrutura do Instituto Central de Ciências: aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Universidade de Brasília (UnB). Brasília (DF), Curitiba, v.7, n.8, p. 84900-84923 aug. 2021
- Oliveira, A. L. A., Pantoja, J. C.; Varum, H. (2020). Método Acoplado Integridade e Segurança (MA 5): Proposta de Metodologia para a Avaliação de Estruturas em Concreto Armado, 42 Encontro de Conservação e Reabilitação de Edifícios. ENCORE 2020. Lisboa e LNEC (PT);
- Sangiorgio, V., Pantoja, J. C., Varum, H., Uva, G., & Fatiguso, F. (2018). Structural Degradation Assessment of RC Buildings: Calibration and Comparison of Semeiotic-Based Methodology for Decision Support System. Journal of Performance of Constructed Facilities, 33(2), 04018109. <https://doi.org/10.1051/asce/cf.1943-5509.0001249>
- TUUTTI, K. (1982) Corrosion Steel in Concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm. 1982.