

ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO USANDO BIM PARA MANUTENÇÃO

Thiago Torres Ribeiro¹, Enzo Aldo Cunha Albuquerque², Isadora Matos Soares³, Luisa Resende Kanno⁴, Mateus Correia de Medeiros⁵, Thaynara Lima de Oliveira⁶, Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa⁷

¹*Dept. de Engenharia Civil, Universidade de Brasília
Asa Norte, 70910-900, Brasília/DF, Brasil
thiago.ribeiro@aluno.unb.br, thiago.torres.ttr@gmail.com*

²*Dept. de Engenharia Civil, Universidade de Brasília
Asa Norte, 70910-900, Brasília/DF, Brasil
160118981@aluno.unb.br, enzoatm5@hotmail.com*

³*Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília
Asa Norte, 70910-900, Brasília/DF, Brasil
isadora.soares@aluno.unb.br, matosisadora1@gmail.com*

⁴*Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília
Asa Norte, 70910-900, Brasília/DF, Brasil
luisa.resende@aluno.unb.br, luisarkanno@gmail.com*

⁵*Dept. de Engenharia Civil, Universidade de Brasília
Asa Norte, 70910-900, Brasília/DF, Brasil
160153603@aluno.unb.br, mateuscorreia.df@gmail.com*

⁶*Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília
Asa Norte, 70910-900, Brasília/DF, Brasil
thaynara.lima@aluno.unb.br, thaynaradeoliveiraa@gmail.com*

⁷*Dept. de Engenharia Civil, Universidade de Brasília
Asa Norte, 70910-900, Brasília/DF, Brasil
leinojosa@unb.br*

Resumo. Estruturas de concreto armado para se ter um melhor desempenho para o usuário dentro da vida útil definida em projeto deve se ter manutenções periódicas, e para se prever e identificar os elementos a serem mantidos há várias metodologias visuais. Um fator que deve ser considerado é a análise estrutural buscando representar em um modelo estrutural a degradação da estrutura com o passar do tempo quanto mais antiga a estrutura mais cuidado deve se ter com a mesma. Por meio desse trabalho apresenta uma metodologia para fazer a análise de estruturas existentes associando a metodologia GDE/UNB com ferramentas BIM que irão auxiliar no controle da manutenção de estruturas de concreto armado. A metodologia proposta é aplicada em um estudo de caso no prédio da faculdade de Tecnologia da Universidade Brasília visando verificar a utilidade e aplicabilidade da metodologia proposta e da possível replicação para análises de estruturas existentes.

Palavras-chave: Manutenção, BIM, Concreto Armado, GDE/UnB, Análise Estrutural

1 Introdução

A Norma Brasileira de manutenção [1], define que as estruturas de concreto devem ser projetadas, construídas e utilizadas de modo que sob as condições ambientais previstas, respeitadas as condições de manutenção preventiva especificadas no projeto. Conservem sua segurança, estabilidade, aptidão em serviço e aparência aceitável, durante um período pré-fixado de tempo, sem exigir medidas extras de manutenção e reparo. Com passar do tempo a estrutura se degrada naturalmente, e quanto mais antiga a estrutura mais defeitos ela pode apresentar,

por isso temos que avaliar o estado da estrutura constantemente. Segundo Biblus [2], a dimensão 7D é a fase de gestão da construção, ou seja, a fase de manutenção da mesma, porém o conceito de dimensão 7D é muito pouco aplicada no mercado e, portanto, esse trabalho pretende fornecer adição a metodologia GDE/Unb fazendo uma análise estrutural por meio de ferramentas BIM, neste caso, o Robot, software da Autodesk para análise e dimensionamento estrutural. Buscando ampliar as aplicações das ferramentas para efetuar uma análise da estrutura e assim definir estratégias de manutenção.

2 Definição do problema

Uma grande dificuldade que se encontra atualmente é representar o estado atual da estrutura em um modelo BIM. Existem várias patologias que afetam de maneira diferente a estrutura, tais como corrosão, trincas, oxidação da armadura entre outros. As metodologias usadas para fazer vistorias em estruturas de concreto e para identificar possíveis elementos a sofrerem manutenção como a GDE/UnB nos fornece parâmetros para classificar e ao fim definir um parâmetro para concluir o estado atual da estrutura. Segundo Vilas Boas et al [3] a metodologia nos permite realizar a avaliação quantitativa do grau de deterioração de estruturas de concreto quantificando as manifestações do dano e suas evoluções.

3 Metodologia

A metodologia GDE/Unb será aplicada associada uma análise estrutural buscando representar a situação atual da estrutura de concreto. Na metodologia Grau de Deterioração da Estrutura (GDE/UnB) é feita uma classificação visual levando em consideração ponderações matemáticas para se alcançar um índice que define o estado do elemento, família de estruturas e por fim, a estrutura como o todo. A metodologia já se consolidou como uma importante ferramenta que pode ser aplicada para todos os tipos de estruturas de concreto armado. Porém é necessário realizar uma análise estrutural do estado atual da estrutura, para isso, é apresentada uma metodologia apoiada em um modelo BIM para inserir cargas que simulam a atual situação da estrutura e verificar o comportamento da mesma, checando a adequação com as normas brasileiras de dimensionamento, visto que a tecnologia atual nos permite, em muitos casos, cálculos mais precisos que aqueles os feitos no momento da concepção estrutural dos edifícios analisados.

3.1 Fluxograma de Tarefas

O fluxograma (Figura 1) mostra o processo adotado na metodologia proposta para análise do estado de degradação da estrutura. Essa sequência visa viabilizar a obtenção de parâmetros técnicos e o objetivos, identificando os elementos estruturais que devem ser mantidos.

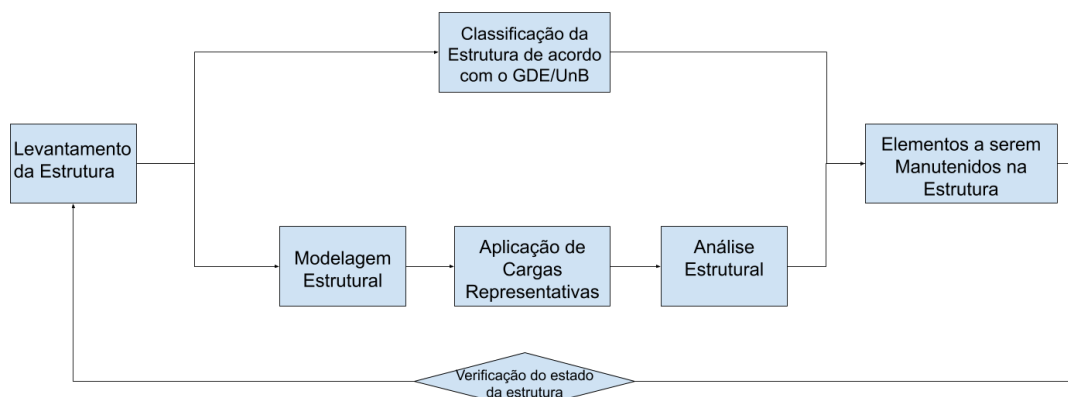


Figura 1 - Fluxograma de Tarefas

3.1.1 Estudo de Caso

A definição da estrutura é a escolha da edificação que participará do processo de avaliação estrutural. A edificação escolhida será o Bloco C da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (UnB). Segundo o site oficial da UnB a Faculdade foi inaugurada 1962, portanto o edifício possui quase 60 anos de uso.

3.1.2 Levantamento da Estrutura

O levantamento da estrutura consiste em fazer as medições minuciosas dos elementos estruturais, visto que não obtivemos acesso aos projetos estruturais. A dificuldade para realizar o levantamento se deve pela falta de informações documentais, e a dificuldade de saber os diâmetros e os tipos de aço que foram usados. A estrutura em questão é em concreto armado, além de se ter na cobertura em sheeds também em concreto armado, aumentando a iluminação natural, um auditório com vigas inclinadas com seção “T”. Alguns elementos apresentam desgaste estrutural. O objetivo desse levantamento é obter o máximo de informações para realizar a modelagem 3D.

3.1.3 Modelagem Estrutural

A modelagem estrutural foi realizada no software Revit da Autodesk (Figura 2). Nesse modelo, além da estrutura também está presente o modelo arquitetônico. Do ponto de vista da modelagem foi necessário a criação de novas famílias de estruturas como as viga em “T”, pilares e vigas de concreto aparente. Por conseguinte, é necessário inserir os tipos de apoio à estrutura que, no caso, é engastada na base dos pilares, entre vigas e pilares e entre vigas e lajes. A fundação da estrutura por não se ter mais informações sobre as características da mesma foi considerado um radier, mas se sabe que essa representação pode não representar a realidade.

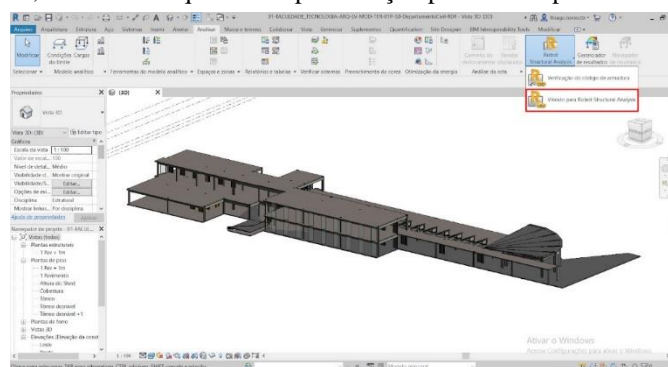


Figura 2 - Modelagem no Revit Autodesk

Ao fim da modelagem, o arquivo será exportado para o programa de Análise estrutural, Robot, pelo caminho mostrado na figura 2.

3.2 Aplicação de cargas Representativas

A escolha de cargas representativas é umas das partes mais importantes do processo, pois nelas iremos definir como a estrutura sofreu com o passar do tempo além do peso próprio que já está sendo considerado pelo software. Outra vantagem que a tecnologia nos proporciona é levar em consideração os efeitos de segunda ordem, a qual em cálculos manuais tornariam onerosos, como por exemplo levar em consideração nos cálculos, as fissuras, ou seja, a estrutura será analisada no Estágio II. Em configurações, o próximo passo é aplicar as cargas: peso próprio e uma sobrecarga de 2 KPa.

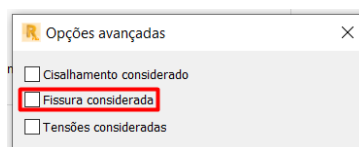


Figura 3. Opção para levar em consideração as fissuras no modelo.

4 Análise Estrutural

Ao finalizar a aplicação de cargas que representam o estado da estrutura, podemos avaliar a estrutura como um todo (Figura 4). Podemos definir alguns parâmetros para serem avaliados nessa análise estrutural, entre eles a reação nos apoios, os deslocamentos e por fim o dimensionamento de acordo com as normas atuais os esforços sofridos pela estrutura. A análise da estrutura tem por objetivo identificar os pontos de maior deslocamento, momentos e reações e verificar se há uma relação direta com os elementos que mais sofreram com a degradação.

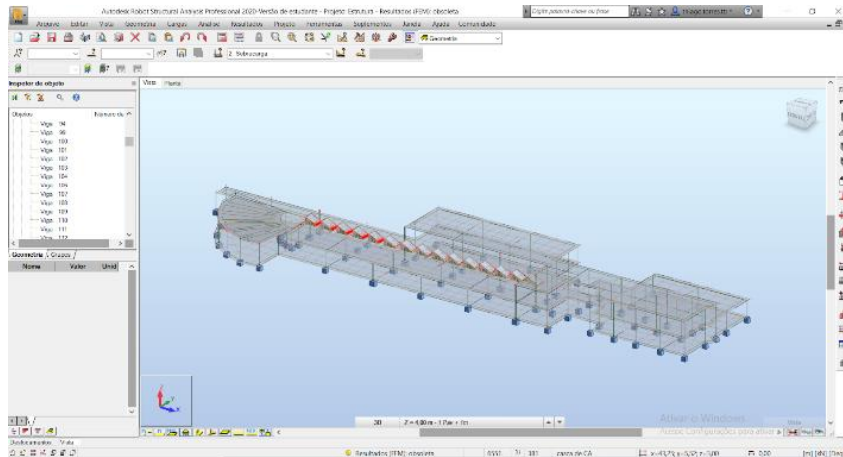


Figura 4 – Modelo Analítico Estrutural inserido no Robot

As cargas precisam ser consideradas na pior situação que, nesse caso, seria uma combinação de peso próprio e sobrecarga, e as mesmas serão majoradas em 20% e 40%, respectivamente.

4.1 Deslocamento

O primeiro aspecto analisado no estudo de caso foi o deslocamento da estrutura, no qual foi necessário identificar os pontos em que o deslocamento estava acima dos demais. A escala de cor usada na (figura 5) vai do azul mais claro até o mais escuro, identificando os pontos de menor deslocamento e os de maior, respectivamente.

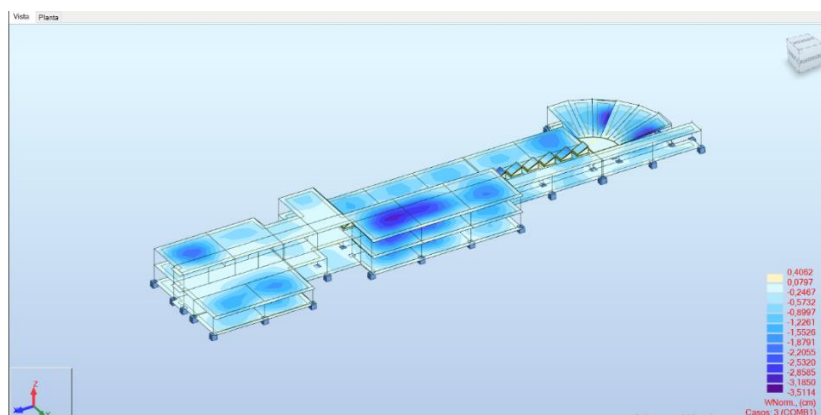


Figure 5. Deslocamento na Estrutura

Nessa imagem, pode-se perceber alguns pontos com um deslocamento de até 3,5cm. Com isso, é possível identificar que os maiores deslocamentos se encontram nas lajes superiores das salas dos professores no primeiro pavimento e do auditório, onde se encontram as vigas “T”. A Norma de desempenho NBR 15575-2 [1] (Requisitos para sistemas estruturais) de estrutura de concreto armado possui uma tabela que serve de fundamento teórico para entender os resultados desses deslocamentos.

Tabela 1 - Limite de deslocamento

| Razão da limitação | Elementos | Deslocamento limite | Tipo de deslocamento |
|----------------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------|
| Visual / Insegurança psicológica | Pilares, vigas e lajes | $L/250$ ou $H/300$ | Deslocamento final incluindo fluência (carga total) |

Onde:

L é o vão teórico do elemento estrutural, medido em centímetros.

H é a altura do elemento estrutural.

Se o elemento tiver um deslocamento acima do limite definido por norma, pode impedir o funcionamento de outros elementos não estruturais, tais como abertura de portas e janelas, e causando trincas e fissuras. Os vãos são medidos de um apoio ao outro da estrutura, onde os maiores vãos encontrados são de 9,95 metros e os menores de 3,37 metros. Neste caso os limites de deslocamento seriam:

Tabela 2. Maior e menor vãos encontrados na estrutura

| Vão (L) (cm) | Deslocamento máximo (L/250) (cm) |
|--------------|----------------------------------|
| 337 | 1,35 |
| 995 | 3,98 |

Classificação da estrutura é feita de maneira quantitativa e visual de acordo com a tabela e os pontos que precisam de uma intervenção seriam aqueles onde se encontram atualmente classificados como “visual/insegurança psicológica”. Os deslocamentos que foram considerados são de laje, pilar e viga.

4.2 Dimensionamento

O dimensionamento da estrutura da edificação ocorreu no início da década de 60 e, por esse motivo, não se tinha a tecnologia atual para levar em consideração todos os fatores de carga e cálculo que se pode ter atualmente. Segundo Ferreira; Lopes & Mendonça [4] o cálculo à mão apresenta diferenças entre o realizado com auxílio de programas de computadores já que existem algumas simplificações para se executar essa conta em um tempo mais hábil. Essas simplificações acarretariam, teoricamente, em uma estrutura mais conservadora para suprir os efeitos dessas considerações. Por esse motivo, sugere-se verificar o dimensionamento da estrutura no software Robot, buscando identificar os pontos que não estariam de acordo com as normas de dimensionamento atual. Para isso, foi feita uma configuração no software com a norma brasileira NBR [5]. Ao analisar as estruturas do ponto de vista do dimensionamento, o software realizou algumas alterações. A principal delas foi o aumento das dimensões dos pilares em função das reações que são absorvidas dos pilares para a fundação. Através dessa mudança é possível criar uma tabela com mudanças de seções de pilares.

Tabela 3. Sugestão de mudança de dimensionamento

| Dimensão atual | Dimensão proposta | Reação no pilar (KN) |
|----------------|-------------------|----------------------|
| 20x20 | 25x30 | 1200 |
| 20x20 | 25x25 | 850 |
| 20x20 | 20x25 | 500 |
| 20x20 | 20x20 | 350 |

Por meio dessa tabela é possível perceber que, em alguns casos, o software de dimensionamento, levando em consideração as normas atuais, sugere mudanças no dimensionamento para distribuir melhor as cargas e para evitar esforços excessivos nos elementos. A maioria dos pilares manteve as dimensões atuais, pois se encontram abaixo de uma força de reação de 350 KN.

4.3 Metodologia GDE/Unb

A metodologia GDE/UnB utilizada é a adaptada por Fonseca [6] em 2007, que apresenta adequações à metodologia desenvolvida por Castro [7], em 1994, corrigindo falhas matemáticas que majoram os resultados abaixo da média, influenciando o resultado da definição do grau de deterioração da estrutura. Deve-se então, selecionar a estrutura a qual é necessário verificar quantitativamente e qualitativamente e dividi-las em famílias. As famílias são: Pilares, vigas, lajes, escadas e rampas, cortinas e muros de arrimo, reservatórios, elementos de

| Danos | F_p | F_i | D | Croquis/Observações |
|---------------------------|-------|-------|-----|---------------------|
| carbonatação | 7 | | | |
| cobrimento deficiente | 6 | | | |
| contaminação por cloretos | 10 | | | |
| corrosão de armaduras | 7 | | | |
| desagregação | 7 | | | |
| deslocamento por empuxo | 10 | | | |
| desvio de geometria | 6 | | | |
| eflorescência | 5 | | | |
| esfoliação | 8 | | | |
| fissuras | 10 | | | |
| infiltração | 6 | | | |
| manchas | 5 | | | |
| segregação | 5 | | | |
| sinais de esmagamento | 10 | | | |

Figura 6. Tabela retirada de Fonseca [5]

fundação e elementos de composição arquitetônica. Após a divisão em famílias é necessário atribuir um fator de ponderação a qual é atribuído por análise visual do elemento estrutural. A seguir temos a tabela com o Fator de Ponderação (F_p) dos danos (Tabela 6).

Aplicado o fator de ponderação podemos aplicar o fato de intensidade do dano, que classifica a gravidade e evolução de um dano. A escala desse fator vai de 0 a 4 (Tabela 4).

| Tabela 4. Fator de Intensidade | |
|--------------------------------|----------------------|
| Tipo de lesão | Fator de intensidade |
| Sem lesões | 0 |
| Lesões leves | 1 |
| Lesões toleráveis | 2 |
| Lesões Graves | 3 |
| Estado Crítico | 4 |

Para efetuar o cálculo do Dano depende do fator de intensidade, de acordo com a equação abaixo:

Grau do dano (D):

$$D = 0,4F_p F_i \quad \text{para } F_i \leq 2,0$$

$$D = (6F_i - 14)F_p \quad \text{para } F_i > 2,0$$

O Grau de Deterioração de um elemento (G_{de}) pode ser calculado pela Equação para determinação do Grau de Deterioração do Elemento obtida por Fonseca [6]:

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \left[1 + \frac{\sum D_i - D_{m\acute{a}x}}{\sum D_i} \right] \quad (1)$$

A classificação da estrutura foi definida por Castro [5] em 1994 e segue a Tabela 5.

Tabela 5. Nível de Deterioração da estrutura

| Nível de Deterioração | G_{de} | Ações a serem adotadas |
|-----------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Baixo | 0 – 15 | Estado aceitável. Manutenção preventiva |
| Médio | 15 - 50 | Definição de prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção de no máximo 2 anos. |
| Alto | 50 - 80 | Definição de prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 1 ano) |
| Crítico | > 80 | Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata |

Por conta da pandemia, a COVID-19, não foi possível aplicar a metodologia por toda estrutura, portanto será avaliado apenas um elemento estrutural, mas o método pode se aplicar por todos os elementos estruturais. O analisado é um pilar localizado no primeiro pavimento do Bloco. Próximo a ele podemos ver uma tubulação de água pluvial que provoca manchas de coloração escura, o que indica infiltração chegando até próximo ao pilar.



Figura 7. Pilar a qual se aplicou a metodologia GDE/UnB

Com essas informações podemos construir a Tabela 6, com os dados referente a estrutura e com o valor que representa o Grau de deterioração do elemento.

Tabela 6. Grau de deterioração do Elemento

| Danos | F_p | F_i | D |
|---------------------------|-------|-------|----|
| Carbonatação | 7 | | 0 |
| Cobrimto deficiente | 6 | 3 | 24 |
| Contaminação por cloretos | 10 | | 0 |
| Corrosão de armaduras | 7 | | 0 |

| | | | |
|----------------------------------|----|---|------|
| Desagregação | 7 | | 0 |
| Deslocamento por empuxo | 10 | | 0 |
| Desvio de geometria | 6 | | 0 |
| Eflorescência | 5 | | 0 |
| Esfoliação | 8 | | 0 |
| Fissuras | 10 | 2 | 8 |
| Infiltração | 6 | 2 | 4,8 |
| Manchas | 5 | 3 | 20 |
| Segregação | 5 | | 0 |
| Sinais de esmagamento | 10 | | 0 |
| Grau de deterioração do elemento | | | 37,9 |

De acordo com a Tabela 6 o valor encontrado para o Grau de deterioração do elemento está dentro do intervalo de nível médio, portanto é necessário definir um prazo para uma nova inspeção e planejar uma manutenção de no máximo 2 anos.

5 Conclusão

A metodologia GDE/UnB inicialmente concebida por Castro [7] em 1994 para quantificar o estado de degradação de estruturas de concreto, modificada por Fonseca [6], e utilizada por Silva [8] para avaliar monumentos de Brasília, se mostrou uma metodologia eficiente a medida que foi melhorando os seus parâmetros e os tornando mais objetivos. Porém com o passar do tempo percebeu-se que era necessário acrescentar uma análise numérica por meio de modelos computacionais. Essa análise permite obter outras informações como: reações, esforços solicitantes e deslocamentos iniciais.

Apoiados em ferramentas da tecnologia BIM, podemos fazer a análise por Elementos Finitos e estudar a estrutura aplicando as cargas representativas para entender o estado atual da mesma e com isso ter uma análise mais profunda. Essa metodologia se mostrou aplicável em larga escala para controle e manutenção de edificações, as quais podem ter equipe técnicas responsáveis por cada etapa do processo e assim emitir um diagnóstico completo do estado da estrutura, propondo o momento em que a mesma deve sofrer a manutenção, assim evitando acidentes e perdas de patrimônio físico.

Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-2: Norma de desempenho: Requisitos para sistemas estruturais. Manutenção de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro. 2013.
- [2] BIBLUS. As dimensões do BIM: 3D, 4D, 5D, 6D, 7D. Disponível em: <<http://biblus.accasoftware.com/ptb/as-dimensoes-do-bim-3d-4d-5d-6d-7d/>>, 2019.
- [3] Vilas Boas, E. L. B., V. P., Silva, R. C., Alves, T. A. S., Costa, Y. R., Nascimento, M. L. M., Ferreira, S. G. (2018, setembro). Aplicação de metodologia GDE/UnB em uma edificação habitacional: estudo de caso. Anais do Congresso Brasileiro do Concreto, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 60.
- [4] Ferreira FHR, Lopes RS, Mendonça FRS. Comparação entre o dimensionamento manual e computacional de uma viga de concreto armado. Anais do 17 Simpósio de TCC e 14 Seminário de IC do Centro Universitário ICESP. 2019(17); 1105- 1125
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro. 2014.
- [6] Castro, E.K.; 1994. Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado. Dissertação de Mestrado, Publicação N°: E.DM-004A/94, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 129 p.
- [7] FONSECA, R. P.(2007) A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 006 A/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 213p.

[8] SILVA., L. S. P. DA (2008). Estruturas do Monumento a Caxias e do Teatro Pedro Calmon em Brasília: Histórico de projeto, execução e intervenções e estratégias para manutenção. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM - 014 A/08, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 183p