



XIV Congresso Brasileiro
de Pontes e Estruturas

Parametrização de Danos e Reparos para Orçamentação da Manutenção de Pontes de Concreto: Uma Abordagem Conceitual

Ana Carolina P. Martins¹, Fernando G. Bellon², José Maria F. de Carvalho³, Christian A. F. Souza⁴, Maria Cláudia S. Alvarenga⁵, Matheus S. Andrade⁶, Diôgo S. Oliveira⁷, Kléos M. L. Cesar Jr.⁸, José Carlos L. Ribeiro⁹

¹ Universidade Federal de Viçosa (UFV)/ Departamento de Engenharia Civil (DEC)/ ana.martins5@ufv.br
^{2,3,4,5,6,7,8,9} UFV/ DEC/ ²fernando.bellon@ufv.br/ ³josemaria.carvalho@ufv.br/ ⁴christian.souza@ufv.br/

⁵maria.alvarenga@ufv.br/ ⁶matheus.andrade@ufv.br/ ⁷diogooliveira@ufv.br/ ⁸kleos@ufv.br/ ⁹jcarlos.ribeiro@ufv.br

Resumo

As pontes são componentes fundamentais da infraestrutura de transportes. Entretanto, essas estruturas estão sujeitas ao envelhecimento e à rápida deterioração dos seus elementos devido à natureza das cargas e às condições ambientais as quais estão expostas, podendo apresentar diversas manifestações patológicas causadas por agentes químicos, físicos, biológicos ou mecânicos. Sendo assim, para manter a integridade e segurança das pontes, é necessário acompanhar constantemente o seu estado, e, caso necessário, executar ações de reparo, reabilitação e/ou reforço. O acompanhamento e a avaliação do estado de condição dessas estruturas são realizados pelo inspetor de pontes, que tem como uma de suas principais funções identificar os danos e as potenciais áreas problemáticas. Visando simplificar, otimizar e automatizar a documentação e o processamento dos dados de inspeção, este trabalho propõe a modelagem paramétrica dos danos identificados durante a etapa de inspeção de pontes e associação de intervenções de manutenção a cada dano parametrizado. A partir de um lote de pontes, foram identificados e parametrizados os principais danos recorrentes nas estruturas, assim como os serviços de reparo associados. Como resultados, foram obtidos modelos paramétricos estruturados que armazenam informações dos danos inspecionados e dos reparos. Além disso, foram produzidas árvores de decisão para determinação das práticas mais adequadas de reparo de acordo com os parâmetros de entrada na documentação dos danos. Concluiu-se que a parametrização realizada é uma abordagem alternativa às práticas correntes de documentação de informações de inspeção, utilizando um formato de estruturação dos dados adequado à implementação computacional, o que facilita sua utilização para a criação e atualização de bancos de dados relativos à fase de operação de pontes. Também foi possível automatizar decisões ligadas às intervenções de manutenção, viabilizando a implementação computacional dos modelos paramétricos propostos.

Palavras-chave

Pontes; Manifestações Patológicas; Manutenção; Reparos; Parametrização; Árvore de Decisão.

1. Introdução

A expansão da infraestrutura de transportes, associada ao envelhecimento e à deterioração dos seus componentes, exige a aplicação de ações periódicas de inspeção, manutenção e reabilitação para manter o desempenho adequado, funcionalidade e segurança das estruturas (FRANGOPOL; SOLIMAN, 2015; XIE; WU; WANG, 2018). As etapas de inspeção de uma ponte devem ser realizadas de forma minuciosa, a fim de garantir que todo elemento estrutural seja inspecionado, o estado da estrutura seja avaliado, e sejam analisadas a integridade e segurança oferecida aos usuários por meio de relatórios de inspeção (DNIT, 2004a, 2004b).

A inspeção visual de pontes sofre com diversas limitações, incluindo a segurança da equipe de inspeção, a precisão na detecção de danos subsuperficiais e a subjetividade do processo. Além

disso, a coleta de dados na inspeção visual é lenta, com dados normalmente documentados de forma manual por meio do preenchimento de formulários padrão de relatório de inspeção (ABU DABOUS et al., 2017; AGDAS et al., 2016).

Como qualquer estrutura de concreto, as pontes sofrem perda da integridade ao longo do tempo devido à degradação causada por agentes químicos, físicos, biológicos, ou mecânicos, e a partir desse processo de deterioração surgem as manifestações patológicas que afetam o estado de condição das estruturas (DNIT, 2010; HELENE, 2005). Cada um desses agentes pode, individualmente ou conjuntamente, contribuir de diferentes formas para o surgimento de danos na estrutura, embora dificilmente a deterioração do concreto seja relacionada a uma única origem (BOLAR; TESHAMARIAM; SADIQ, 2013).

Dentre as manifestações patológicas comumente encontradas em pontes de concreto armado pode-se destacar reação álcali-agregado, corrosão das armaduras, lixiviação, ataque de cloretos e sulfatos, carbonatação, eflorescência, gradiente de temperatura, fadiga, retração, sobrecarga, ciclos gelo-degelo, acumulação de matéria orgânica e presença de organismos vivos (DNIT, 2010; HELENE, 2005). A corrosão das armaduras é considerada como um dos danos mais recorrentes, podendo causar diversos efeitos físicos subsequentes, tais como fissuras, deslocamento do concreto e rachaduras (BOLAR; TESHAMARIAM; SADIQ, 2013; CADENAZZI et al., 2020).

Avaliar a real condição das estruturas durante a etapa de inspeção é essencial para identificar os danos existentes a fim de propor estratégias de manutenção e reparo, e essa tarefa requer um grande conjunto de dados, bom julgamento e conhecimento especializado (BOLAR; TESHAMARIAM; SADIQ, 2013; PANAHA; KIOUMARSI, 2021; XU; TURKAN, 2019). Sendo assim, este trabalho propõe metodologias de parametrização da informação dos danos mais recorrentes identificados durante a inspeção de pontes de concreto armado, bem como a associação de intervenções de reparo a cada dano parametrizado. Essa abordagem paramétrica tem a finalidade de tornar a aquisição de dados mais simples, estruturada e direta, visando otimizar a fase de operação e os processos de quantificação e orçamentação dos serviços de manutenção.

2. Metodologia

2.1 Considerações gerais

Este trabalho buscou parametrizar propriedades e relações observadas nos danos e reparos mais recorrentes em Obras de Arte Especiais de concreto armado e, com base nas informações parametrizadas, estabelecer estruturas de dados para conter tais informações. A definição dessa estrutura de dados base foi realizada a partir da análise de um lote de pontes reais e definição dos danos mais comuns e os reparos associados.

2.2 Levantamento e análise dos dados

A primeira etapa correspondeu ao levantamento e análise de dados de um lote de pontes reais. Os documentos utilizados neste estudo consistiam em fichas de inspeção, relatórios fotográficos, croquis e planos de trabalho para o reparo e orçamentação de cada ponte.

O lote de pontes definido para a avaliação dos danos recorrentes e reparos aplicados foi um lote localizado em Rondonópolis, no Mato Grosso, região Centro-Oeste. Esse lote foi escolhido por conter um número reduzido de pontes e por essas estruturas apresentarem notas técnicas variando de 1 a 4 de acordo com a norma DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004a), o que indicava que as OAEs apresentavam condições bastante diversas, o que poderia indicar a presença de uma grande variabilidade no número e no grau de severidade dos danos. A extensão dessas pontes varia de 26,00 m a 90,00 m e a largura varia entre 9,6 m e 12,0 m.

2.3 Identificação dos danos e parâmetros de entrada

As pontes selecionadas no lote foram analisadas por meio das fichas de inspeção e dos registros fotográficos, a fim de identificar os danos mais comumente identificados na etapa de inspeção, os elementos da ponte nos quais os danos estavam localizados, as extensões relativas dos danos em relação ao elemento em que se localizavam, as notas técnicas atribuídas e a necessidade de intervenção de manutenção e reparo.

Após a identificação dos danos, estes foram padronizados de acordo com a nomenclatura que consta nas fichas de inspeção, bem como unidade de medida. Além disso, os parâmetros de entrada foram identificados e definidos para cada dano analisado.

2.4 Relação de danos e reparos

Nessa etapa, os danos identificados nas pontes analisadas foram associados a serviços de reparo que constavam no Plano de Trabalho e Orçamento. A cada serviço de reparo foi atribuída a discriminação do serviço e a unidade de medida associada. Essa relação de serviços é utilizada para compor a orçamentação das ações de manutenção que serão realizadas em casa ponte.

2.5 Definição dos modelos paramétricos

Foram definidas quais eram as informações imprescindíveis na documentação realizada pelo inspetor, para cada tipo de dano identificado, sendo criados parâmetros para armazenar tais dados. As demais informações, que apresentavam alguma padronização entre diferentes instâncias do mesmo dano, foram associadas à parâmetros configuráveis, minimizando a quantidade de dados a serem inseridos ao realizar uma inspeção em campo. A partir dessa definição e padronização dos parâmetros de entrada, foram configuradas árvores de decisão parametrizadas para alguns tipos de reparo específicos, automatizando determinadas relações entre danos, elementos e serviços.

3. Resultados e discussão

3.1 Mapeamento dos danos

Dentre os danos mapeados nas pontes analisadas, os mais recorrentes e escolhidos para a parametrização foram listados na Tabela 1. Os danos identificados durante a etapa de análise das fichas de inspeção e dos relatórios fotográficos das pontes do lote de Rondonópolis – MT, são ilustrados nas Figuras 1 a 12.

Tabela 1 - Relação de Tipo de Dano.

Dano	Unidade
Lixiviação e mancha de carbonatação	m ²
Infiltração no concreto	m ²
Fissura superficial	m
Desplacamento de concreto com armadura exposta	m ²
Armadura sem cobrimento	m ²
Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada	m ²
Nicho de concretagem	m ²
Fissura profunda fina	m
Fissura profunda aberta ($w > 0,3$ mm)	m
Junta danificada ou inexistente ou expelida	m
Guarda-rodas ou barreira destruídos	m
Guarda-corpo destruído	m



Figura 1 – Lixiviação e mancha de carbonatação (SGO, 2020).



Figura 2 – Infiltração do concreto (SGO, 2020).



Figura 3 – Fissura superficial (SGO, 2020).



Figura 4 – Deslocamento do concreto com armadura exposta (SGO, 2020).



Figura 5 – Armadura sem cobrimento (SGO, 2020).



Figura 6 – Concreto desagregado com armadura exposta e oxidada (SGO, 2020).



Figura 7 – Nicho de concretagem (SGO, 2020).



Figura 8 – Fissura profunda fina e infiltração no concreto (SGO, 2020).



Figura 9 – Fissura profunda aberta (SGO, 2020).



Figura 10 - Junta danificada ou inexistente ou expelida (SGO, 2020).



Figura 11 - Guarda-rodas ou barreira destruídos (SGO, 2020).



Figura 12 - Guarda-corpo destruído (SGO, 2020).

Considerando o lote de Rondonópolis, utilizado para estudo, pode-se fazer uma análise da ocorrência dos danos nas pontes. Conforme representado no gráfico mostrado na Figura 13, a “Lixiviação e mancha de carbonatação” é o dano mais recorrente no lote, estando presente em todas as pontes avaliadas. Seguindo a ordem do maior número de ocorrências, constam “Junta danificada ou inexistente ou expelida”, “Deslocamento do concreto com armadura exposta e oxidada”, “Nicho de concretagem”, “Fissura profunda fina” e “Fissura profunda aberta”.

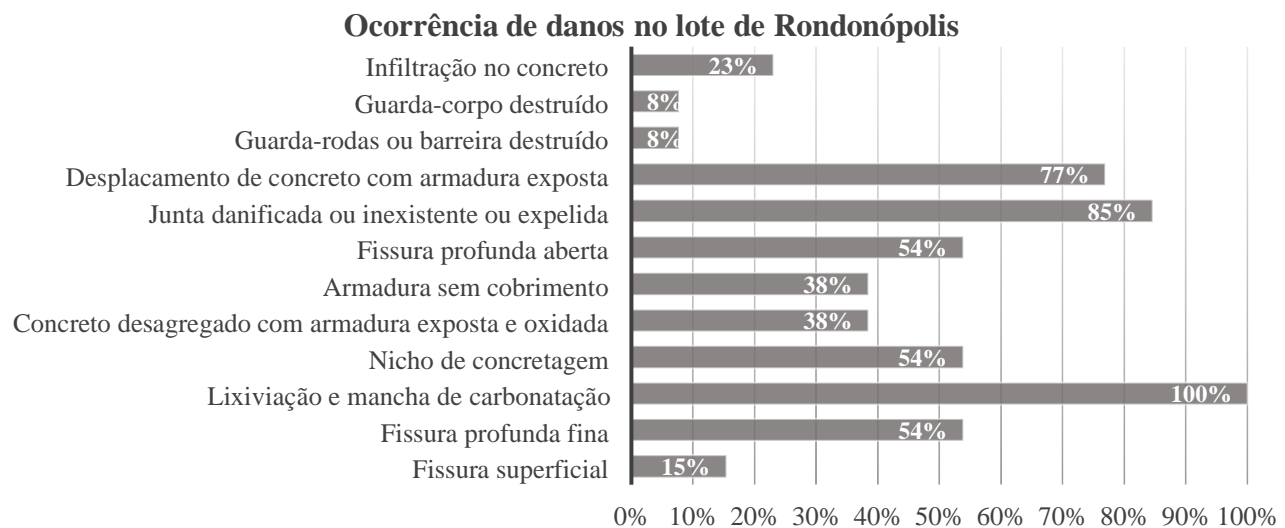


Figura 13 – Ocorrência dos danos no lote de Rondonópolis, MT.

3.2 Parametrização dos danos e reparos

Foram determinados os parâmetros de entrada essenciais para documentar as informações dos danos, particulares a cada ocorrência, bem como propriedades comuns, que embora não precisassem ser declaradas nas inspeções de campo, ainda eram necessárias para a automatização do processo de quantificação dos reparos associados. Além disso, pode-se identificar que alguns parâmetros de entrada são padrão para todos os danos, e outros variam de acordo com a especificidade de cada patologia.

Cada dano está associado a um conjunto de serviços de reparo, os quais herdam os parâmetros de entrada fornecidos ao dano. Entretanto, a depender dos valores dos parâmetros, o conjunto de reparos associados pode variar, adaptando-se de forma automática para fornecer a solução mais adequada. Nos modelos paramétricos de reparo, os parâmetros herdados dos danos são utilizados para alimentar equações de cálculo de quantitativos de serviços. Sendo assim, as informações de entrada,

que inicialmente se referiam unicamente aos danos, originam estimativas de quantitativos dos serviços de reparo apropriados. Um esquema de parametrização relacionando danos e reparos é apresentado na Figura 14. Uma relação entre danos, parâmetros de entrada e reparos mais simples estão resumidos na Tabela 2.

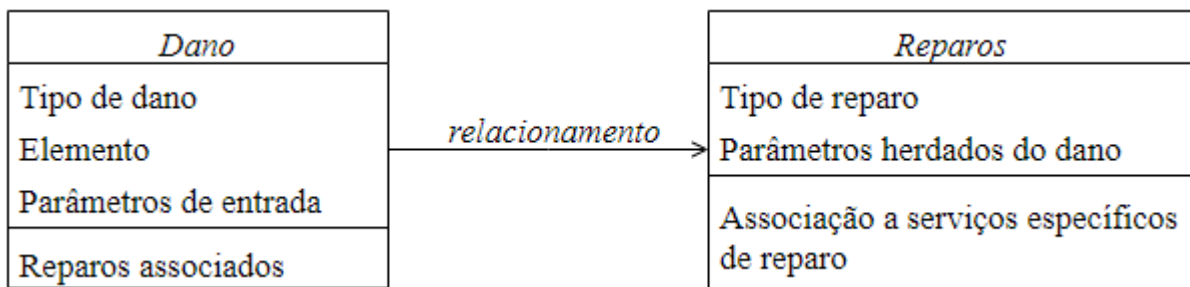


Figura 14 – Esquema de parametrização dos danos e reparos associados.

Tabela 2 - Parametrização de danos e correlação com reparos.

Danos	Parâmetros de entrada	Reparos
Infiltração no concreto	Elemento (texto)	Remoção do concreto com jateamento d'água sob muito alta pressão Concreto projetado via seca $f_{ck} = 30$ MPa
	Comprimento (m)	
	Largura (m)	
	Profundidade (mm)	
Fissura profunda fina	Elemento (texto)	Injeção de adesivo epóxi mecanizada
	Comprimento (m)	
	Profundidade (mm)	
	Abertura (mm)	
Fissura profunda aberta	Elemento (texto)	Injeção de adesivo epóxi mecanizada
	Comprimento (m)	
	Profundidade (mm)	
	Abertura (mm)	
Junta danificada ou inexistente ou expelida	Elemento (texto)	Substituição de junta de dilatação Limpeza em junta de dilatação
	Largura da ponte (m)	
Guarda-rodas ou barreira destruídos	Elemento (texto)	Demolição controlada de concreto com martelete Armação em aço CA-50 Perfuração em concreto com martelete elétrico Fornecimento e aplicação de adesivo estrutural à base de resina epóxi Formas de compensado plastificado 10 mm Concreto $f_{ck} = 30$ MPa – confecção em betoneira e lançamento manual
	Comprimento (m)	
	Largura (m)	
	Profundidade (mm)	
Guarda-corpo destruído	Elemento (texto)	Recomposição de guarda-corpo
	Comprimento (m)	

A associação entre danos e reparos adaptáveis, nos quais os reparos utilizados são dependentes tanto do elemento no qual o dano é localizado quanto da porcentagem de perda de seção das armaduras, foram esquematizados utilizando árvores de decisão, conforme representado no esquema da Figura 15. A Tabela 3 lista a relação dos serviços de reparo e os parâmetros de entrada.

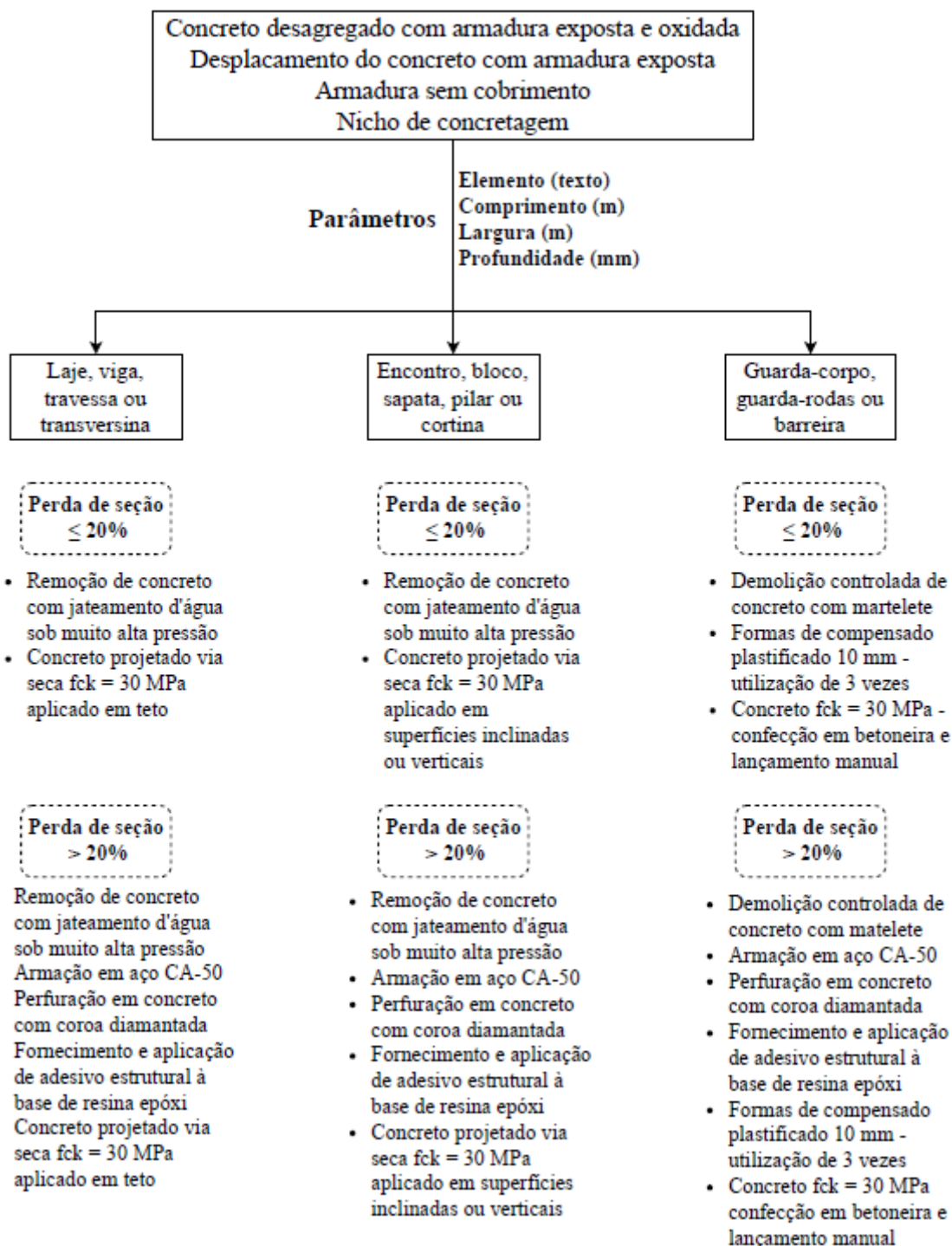


Figura 15 – Árvore de decisão para reparos mais complexos.

Tabela 3 - Algoritmos de cálculo dos reparos.

Reparos	Parâmetros de entrada
Remoção do concreto danificado	
<ul style="list-style-type: none">• Remoção de concreto com jateamento d'água sob alta pressão• Demolição controlada de concreto com martetele	Parâmetros herdados do dano
Recomposição do concreto	
<ul style="list-style-type: none">• Concreto $f_{ck} = 30$ Mpa – confecção em betoneira e lançamento manual• Concreto projetado via seca $f_{ck} = 30$ MPa aplicado em superfícies inclinadas e verticais• Concreto projetado via seca $f_{ck} = 30$ MPa aplicado em teto	Parâmetros herdados do dano
Armação em aço CA-50	
<ul style="list-style-type: none">• Armação em aço CA-50 – fornecimento, preparo e colocação	Parâmetros herdados do dano Taxa de aço (kg/m^2)
Perfuração em concreto	
<ul style="list-style-type: none">• Perfuração em concreto com martetele elétrico - $D = 10$ mm• Perfuração em concreto com coroa diamantada - $D = 20$ mm	Parâmetros herdados do dano Taxa de perfuração (m/m^2)
Adesivo estrutural	
<ul style="list-style-type: none">• Fornecimento e aplicação de adesivo estrutural à base de resina epóxi	Parâmetros herdados do dano Taxa de epóxi (kg/m^2)
Injeção de fissuras	
<ul style="list-style-type: none">• Injeção manual de adesivo estrutural à base de resina epóxi de baixa viscosidade• Injeção mecanizada de adesivo estrutural à base de resina epóxi de baixa viscosidade	Parâmetros herdados do dano Densidade do epóxi (kg/l)

4. Potenciais de aplicação no contexto BIM

A parametrização de danos e reparos é importante não somente para reduzir a subjetividade do processo de inspeção e facilitar a orçamentação da manutenção em pontes de concreto armado, mas também para a futura confecção e manutenção dos modelos de informação das estruturas em BIM (*Building Information Modeling*). Os modelos parametrizados de danos e reparos são importantes na identificação de quais são as informações necessárias para a etapa de documentação (Figura 16).

Além disso, a parametrização de danos facilita a criação e manutenção de modelos BIM das pontes que incluam danos e suas informações relevantes. Com base na parametrização proposta é possível inserir danos nos modelos BIM, implementar os parâmetros definidos para cada caso e, com o tempo atualizar as informações dos danos nos modelos e comparar a evolução das patologias catalogadas, abrindo espaço para a aplicação desta metodologia em sistemas de gestão de pontes.

A metodologia proposta neste trabalho vem de encontro à necessidade de atualização do modelo de gestão de pontes no Brasil, nos quais ainda há poucos recursos e existe a necessidade de priorização de ações de reparo. Como a parametrização de danos e reparos possibilita a implementação computacional de algoritmos para obtenção de estimativas da orçamentação, ela se torna também uma importante ferramenta que auxilia a tomada de decisões em sistemas de gerenciamento amplos quando é necessário definir onde serão utilizados os recursos disponíveis.

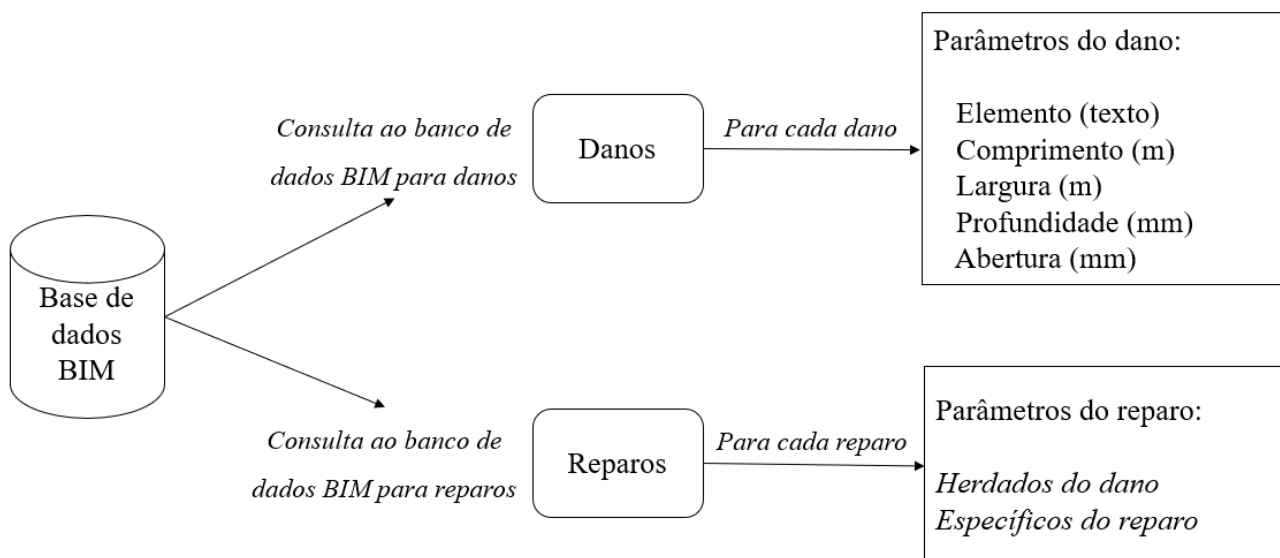


Figura 16 – Banco de dados para danos e reparos em BIM.

5. Conclusões

Com base no estudo realizado, pode-se concluir que a metodologia de parametrização dos danos em pontes de concreto e de reparos associados possibilita a estruturação e a simplificação da documentação dos dados de inspeção, ajudando a padronizar as informações e consequentemente reduzindo a subjetividade do processo. Além disso, a estrutura padronizada facilita a implementação computacional da metodologia, podendo servir de base para sistemas de aquisição de dados referentes à etapa de operação das pontes.

A associação de reparos aplicáveis a danos identificados possibilita automatizar o processo de decisão referente às ações de intervenção de manutenção, o que viabiliza a implementação computacional dos modelos paramétricos propostos.

A estruturação dos dados para danos e reparos apresenta um avanço importante para a futura modelagem da informação de danos em BIM e aplicação dos modelos em um sistema de gerenciamento de pontes.

Referências

- ABU DABOUS, S. et al. Concrete bridge deck condition assessment using IR Thermography and Ground Penetrating Radar technologies. *Automation in Construction*, v. 81, n. April, p. 340–354, 2017.
- AGDAS, D. et al. Comparison of Visual Inspection and Structural-Health Monitoring As Bridge Condition Assessment Methods. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, v. 30, n. 3, p. 1–10, 2016.
- BOLAR, A.; TESFAMARIAM, S.; SADIQ, R. Condition assessment for bridges: a hierarchical evidential reasoning (HER) framework. *Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance*, p. 648–666, 2013.
- CADENAZZI, T. et al. Cost and environmental analyses of reinforcement alternatives for a concrete bridge. *Structure and Infrastructure Engineering*, v. 16, n. 4, p. 787–802, 2020.
- DNIT. NORMA DNIT 010/2004 - PRO: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes, 2004a.
- DNIT. Manual de inspeção de pontes rodoviárias. 2. ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2004b.
- DNIT. Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2010.
- FRANGOPOL, D. M.; SOLIMAN, M. Life-cycle of structural systems: recent achievements and future directions. *Structure and Infrastructure Engineering*, v. 12, n. 1, p. 1–20, 2015.
- HELENE, P. Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto. São Paulo: Red Rehabilitar, 2005.

- PANAH, R. S.; KIOUMARSI, M. Application of building information modelling (BIM) in the health monitoring and maintenance process: A systematic review. *Sensors (Switzerland)*, v. 21, n. 3, p. 1–26, 2021.
- XIE, H. B.; WU, W. J.; WANG, Y. F. Life-time reliability based optimization of bridge maintenance strategy considering LCA and LCC. *Journal of Cleaner Production*, v. 176, p. 36–45, 2018.
- XU, Y.; TURKAN, Y. BrIM and UAS for bridge inspections and management. *Engineering, Construction and Architectural Management*, v. 27, n. 3, p. 785–807, 2019.