

# Avaliação da ponte centenária em arco de concreto armado sobre o Rio Paranaíba: análise de tráfego e estrutural

*Evaluation of the centenary bridge in reinforced concrete arch over Paranaíba River: traffic and structural analysis*

**Ana Flávia Alves Castro**

Graduanda do curso de Engenharia Civil (UNIPAM).

E-mail: ana.engenhariacivil@hotmail.com

**Nathallia Silva Kohl**

Graduanda do curso de Engenharia Civil (UNIPAM).

E-mail: nathalliakohl@hotmail.com

**Jessé Moreira Oliveira**

Doutor em Físico-Química Teórica; Docente do curso de Engenharia Civil (UNIPAM).

E-mail: emaildojessemoreiraoliveira@gmail.com

**Rogério Borges Vieira**

Especialista em Avaliação e Perícias na Engenharia Civil; Docente do curso de Engenharia Civil (UNIPAM).

E-mail: rogeriobv@unipam.edu.br

---

**Resumo:** A ponte sobre o rio Paranaíba em Patos de Minas – MG possui grande importância para a população há cerca de 100 anos. Diante disso, o presente trabalho tem como intuito o estudo da obra citada, analisando as manifestações patológicas e o tráfego do local. Foram realizados ensaios não destrutivos *in loco*, visando a analisar a situação em que ela se encontrava. Na análise visual, foi perceptível a constatação de anomalias na estrutura. Já no ensaio de esclerometria, foi encontrada a provável resistência, verificando a possível presença de carbonatação. Por meio do experimento de ultrassonografia, foram obtidos valores de velocidades de propagação relativamente baixos em decorrência da homogeneidade do concreto. No volume de tráfego, mensurou-se elevada quantidade de veículos que passam pela ponte devido à sua ligação com pontos industriais, rurais e urbanos. Assim, nota-se a relevância de se ter um cuidado maior com o seu estado de conservação superficial e estrutural.

**Palavras-chave:** Manifestações patológicas. Ponte. Rio Paranaíba.

**Abstract:** The bridge over Paranaíba River, in Patos de Minas - MG, has a great importance for the population for about 100 years. Accordingly, this work aims to study the work cited, analyzing pathological manifestations and local traffic. Non-destructive tests were performed *in loco*, aiming to analyze the actual bridge situation. In the visual analysis, it was possible to observe anomalies in the structure. In the sclerometry test, the probable resistance was found, verifying the possible presence of carbonation. By means of ultrasound experiment, relatively

low values of propagation velocities were obtained as a result of concrete homogeneity. The traffic volume was measured by a high number of vehicles passing through the bridge due to the connection to the industrial, rural and urban areas. Thus, it is noteworthy that some greater care should be taken with its superficial and structural conservation status.

**Keywords:** Pathological manifestations. Bridge. Paranaíba River.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, nota-se a presença das pontes como meio de transposição de obstáculos à continuação de uma via (MARCHETTI, 2008). Elas surgiram de modo natural e, aos poucos, foram ganhando evidência nos países. Devido a sua grande utilização e com o intuito de facilitar a sua aplicação, as pontes foram, cada vez mais, sendo aprimoradas, melhorando o método de execução e os materiais empregados.

Situada na cidade de Patos de Minas – MG, a ponte sobre o rio Paranaíba, desde a sua inauguração, tornou-se uma construção de grande relevância. A ligação que ela proporciona entre as zonas urbana, rural e industrial do município beneficia vários ramos do comércio local e regional (MELLO, 2008). Por ser uma ponte centenária e sua utilização ser constante, é necessário um estudo para que suas características sejam mantidas.

O objetivo geral da pesquisa consistiu na análise da obra citada, mostrando a situação em que se encontrava. Para isso, fez-se a revisão da literatura do assunto abordado; o desempenho da análise visual da obra de arte, verificando as manifestações patológicas que apresentava; a realização de ensaios não destrutivos para averiguar o estado da estrutura; e a efetuação de um quantitativo do tráfego existente no local, visto que existe grande fluxo de veículos diariamente e com grandes cargas.

Segundo a Secretaria Municipal de Educação, Cultura, Esporte e Lazer e a Divisão de Patrimônio Histórico de Patos de Minas-MG, a obra de arte do rio Paranaíba é uma construção que já foi legalmente tombada no ano 2.000, devido a sua importância para a economia e para a história do município bem como para a arquitetura brasileira. O processo de tombamento pode ser verificado no anexo A.

A funcionalidade da ponte em estudo é constantemente discutida. Diante disso, é indispensável o seu acompanhamento frequente, tendo em vista que é a única forma de transição entre as partes. É de suma importância a observação e a manutenção da obra de arte, já que ela é um patrimônio da população, que deve ser mantido em perfeito estado de conservação.

Neste quesito, o presente trabalho é qualitativo, pois trata de um estudo das características da ponte, e quantitativo, devido à realização da contagem de tráfego que ocorre nela.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A presente revisão da literatura abrange assuntos relacionados a pontes, seus tipos e suas técnicas construtivas. Ressaltam-se os métodos de ensaios não destrutivos

mais comuns, que permitem um entendimento da manifestação patológica existente na ponte sobre o rio Paranaíba, além de um estudo de contagem de tráfego desse trecho, para averiguação do fluxo existente no local.

## 2.1 PONTES

Conforme Marchetti (2008), as pontes são estruturas que, desde a antiguidade, tem como principal objetivo transpor algo. Em geral, são divididas em três partes: a infraestrutura, a mesoestrutura e a superestrutura. A infraestrutura é a seção a qual é responsável pelo apoio no terreno, como as estacas e sapatas. A mesoestrutura é o elemento que recebe os esforços, como os pilares. Já a superestrutura é onde se trafega, como as lajes e vigas.

As pontes surgiram de forma natural, sendo as primeiras de madeira, fibras naturais e pedra. Com o passar do tempo, foram sendo aprimoradas. Após a Revolução Industrial, foram surgindo as pontes metálicas, de concreto Portland e, mais tarde, as de concreto armado seguidas das de concreto protendido (SAHUINCO, 2011).

Com a necessidade de unir a resistência do aço com a consistência e durabilidade do concreto, foi criado o concreto armado. Devido à capacidade da composição de assumir qualquer forma com facilidade e agilidade e ao aço estar protegido pelo concreto evitando-se corrosão, esse tipo de material foi ganhando credibilidade e tornando-se um dos métodos mais usuais. Com o decorrer do tempo, mais construções começaram a aparecer, colocando o cimento como um dos elementos mais empregados no ramo da construção até os dias atuais. Esse fato é devido ao conjunto cimento e aço trabalharem adequadamente juntos, resistindo à tensão de tração e compressão. Mesmo com o emprego do concreto armado em outras construções, como na execução do tabuleiro das pontes, somente em 1912 é que começaram a fabricar pontes de viga e pórtico desse material de até 30 metros de vãos (DEBS; TAKEYA, 2009).

## 2.2 VISTORIA

Conforme a ABNT (2001), vistoria consiste na constatação local de fatos, mediante observações criteriosas em um bem e nos elementos e condições que o constituem ou o influenciam.

### 2.2.1 Métodos de Ensaios Não Destrutivos

Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI, 2017) destaca que o procedimento de ensaios não destrutivos são técnicas usadas na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los, tendo como vantagem a realização de testes com a estrutura em uso e a rápida obtenção de dados. Esses ensaios compreendem métodos capazes de proporcionar informações do teor de defeitos, das características tecnológicas de um material, do monitoramento da degradação em serviço de componentes, equipamentos e estruturas.

### 2.2.1.1 *Ensaio Visual*

Segundo Sahuinco (2011), a inspeção visual serve para ter uma noção geral da situação em que a construção em estudo se encontra, fornecendo informações dos defeitos existentes, vistos a olho nu. O referido ensaio é classificado como qualitativo já que mostra patologias na edificação, podendo, então, ser tratadas.

### 2.2.1.2 *Ensaio de Esclerometria*

De acordo com a ABNT (2012), esse teste é um método para a determinação da dureza superficial da área de uma determinada peça de concreto de forma não destrutiva. É utilizado para a avaliação da uniformidade do concreto em diferentes partes de uma determinada estrutura. Avalia as características mecânicas por meio de curvas de correlação e analisa as mudanças das propriedades que o concreto apresenta ao longo dos anos. Para realizar o ensaio, usa-se um equipamento chamado esclerômetro de reflexão. Por meio do impacto da máquina sobre a área de ensaio, é obtido um valor correspondente ao valor de índice esclerométrico.

### 2.2.1.3 *Ensaio de Ultrassonografia*

A ABNT (2013) ressalta que esse método de ensaio serve para a determinação da velocidade de propagação de onda longitudinal, obtida por pulsos ultrassônicos por meio de um componente de concreto. É utilizado para verificar a homogeneidade da peça estrutural, percepção de eventuais falhas e variações no concreto, que podem ocorrer ao longo do tempo.

O equipamento com o qual se realiza o experimento é composto de uma fonte, em que se conectam dois transdutores, um transmissor e outro receptor. A frequência da vibração da onda longitudinal emitida pelo aparelho é acima de 20 quilohertz (kHz), e a velocidade da propagação das ondas indicam as características em que se encontram o concreto.

## 2.3 VOLUME DE TRÁFEGO

Conforme o Manual de Estudos de Tráfego do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), o volume de tráfego pode ser definido como o número de veículos que percorrem um determinado trecho durante um período de tempo, sendo apresentado em veículos/dia (vpd) ou veículos/hora (vph).

Segundo DNIT (2006), a contagem de tráfego pode ser realizada de 4 (quatro) formas: contagem manual, contagem automática, videoteipe e método do transformador móvel. O método mais simples e viável de ser executado é a contagem manual, que é feita por meio de uma ficha de contagem que contém tipo, classe, eixos e peso. Essas características são relevantes para a determinação do volume de tráfego. Além disso, é fundamental que a determinação do tráfego seja realizada para o dimensionamento do reforço ou definição de possíveis intervenções. É interessante que

se definam algumas características do tráfego, como o número  $N$ , sendo este quantidade de passagens do eixo padrão.

### 3 METODOLOGIA

A obra de arte estudada é uma ponte de arco feita de concreto armado, localizada sobre o rio Paranaíba, no bairro Nossa Senhora Aparecida, que liga o perímetro urbano à área rural na cidade de Patos de Minas – MG. Segundo Dannemann (2016), ela possui uma idade estimada em 100 anos, com a dimensão de 7 metros de largura e 57 metros de arco.

O trabalho foi desenvolvido em campo e no laboratório de Tecnologia dos Materiais de Construção do Centro Universitário de Patos de Minas. Na ponte, foram realizados ensaios visuais e não destrutivos, e no laboratório, verificados os dados coletados em campo para possíveis resultados.

#### 3.1 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Primeiramente foi realizado o ensaio visual, de modo a identificar as possíveis manifestações patológicas. Em seguida, o ensaio de esclerometria de acordo com a ABNT NBR 7584:2012 e o ensaio de ultrassonografia com os parâmetros da ABNT NBR 8802:2013.

##### 3.1.1 Ensaio Visual

Por meio de uma visita in loco, foi realizada uma análise visual, com a finalidade de observação das manifestações patológicas existentes no local. Para registro da ponte, foi utilizada máquina fotográfica.

##### 3.1.2 Ensaio de Esclerometria

Segundo a NBR 7584:2012, para que se inicie o ensaio de esclerometria, é necessário que se faça a verificação do aparelho. Foram efetuados 10 impactos em uma bigorna de aço de 16 kg. O equipamento foi ajustado de forma que se aplicasse um coeficiente de correção através da fórmula

$$k = \frac{n \times E_{nom}}{\sum_{i=1}^n E_i}$$

Após a realização dos ajustes, observou-se se as superfícies da seção analisada estavam secas, limpas e, se possível, planas. A área de ensaio foi preparada por meio de polimento enérgico com movimentos circulares, localizada nas faces verticais da ponte, distanciadas de, no mínimo, 50 mm dos cantos e arestas; os impactos foram distribuídos de forma uniforme na região da estrutura. Efetuaram-se 4 ensaios de 16 impactos na área dos arcos, sendo, no total, 2 arcos e 1 ensaio de 9 impactos em cada tirante, totalizando 18 tirantes, visto que a largura da peça era pequena e não permitiu

a possibilidade de realizar mais impactos. A norma não permite mais de um impacto no mesmo ponto, portanto, a distância mínima foi de 30 mm entre 2 pontos de impactos.

Os resultados obtidos em cada ensaio foram coletados e analisados e foi feita uma média aritmética. Caso o valor do impacto variasse entre 10% para mais ou menos entre os outros ensaios, deveria ser descartado; caso não se obtivessem 5 valores de impactos semelhantes, seria necessário que se refizesse o ensaio novamente.

Desse modo, por meio do coeficiente de correção e da média aritmética do teste na estrutura, foi obtido o índice esclerométrico médio efetivo ( $|E$ ), que consiste na dureza superficial do concreto. Após isso, foi feita a comparação de resultados de cada pilar e tirante da ponte. A equação necessária para encontrar tal valor é a seguinte:

$$|Ea = k \times |E$$

### 3.1.3 Ensaio de Ultrassonografia

De acordo com a NBR 8802:2013, para o ensaio de ultrassonografia é necessária uma preparação da superfície, sendo esta uma regularização do componente ensaiado. Os materiais analisados precisavam ter as mesmas propriedades de composição e umidade relativa. Era essencial que se fizesse a calibração do aparelho, seguido da aplicação de uma camada fina de acoplante nas faces dos transdutores ou na peça estrutural.

Visto que o método de transmissão utilizado foi o indireto, posicionaram-se os transdutores na mesma face da peça de modo que fosse fixado o aparelho (transdutor – emissor) em um ponto, realizando a leitura do tempo de propagação de ondas em várias distâncias. Em um sistema cartesiano, locaram-se as distâncias entre os pontos e os tempos coletados de forma que a onda ultrassônica percorresse tal distância. Para que fosse encontrada a velocidade de propagação de ondas, bastou que se obtivesse a inclinação da reta, já que ambos os valores têm a mesma definição.

O ensaio foi realizado nos dois arcos da ponte de modo que fossem efetuados quatro ensaios. Os resultados foram analisados e comparados entre si. Dessa forma, foi possível a percepção da homogeneidade do concreto; imperfeições do concreto como fissuras e falhas internas; e variação do concreto ao longo do tempo (ABNT, 2013).

## 3.2 VOLUME DE TRÁFEGO

Por meio da tabela apresentada no Manual de Estudo de Tráfego do DNIT, foi possível analisar e classificar os tipos que transitavam no trecho estudado. Foi utilizado o nível de precisão C de acordo com a tabela Métodos Manuais de Contagem de Volume. O método ocorreu entre 6 a.m. e 10 p.m. de quinta-feira até domingo. Foram realizados os acompanhamentos prescritos nos dias indicados pelo Manual do DNIT. Os dados coletados serviram como parâmetros para a averiguação da utilização da ponte, sendo apurados e analisados, determinando-se, assim, o volume médio diário (VMD) e o número N.

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Os ensaios foram executados no dia 25 de julho de 2018 entre 7h:30m e 10h:00m. Primeiramente foi realizado o ensaio visual, posteriormente o ensaio de esclerometria e, em seguida, o de ultrassonografia, seguindo os parâmetros impostos pelas normas de cada experimento.

#### 4.1.1 Ensaio Visual

Em decorrência do ensaio visual, foi possível averiguar a situação patológica que a ponte se encontrava. Embora esse experimento seja realizado apenas a olho nu, foi possível a constatação de anomalias na ponte. Quando se trata de uma análise visual, alguns vícios construtivos tornam-se mais relevantes devido à intensidade com que se apresentam na peça estrutural. Dessa forma, notou-se a presença de fissuras, trincas, manchamento, deslocamento do concreto e descolamento da pintura.

Bastos (2006) afirma que, em toda estrutura de concreto armado, podem surgir fissurações. É antieconômica a eliminação total de tais fissuras, porém estas não podem vir a prejudicar a estética e a durabilidade da ponte. No caso da estrutura estudada, a estética já está sendo afetada; quem transita sobre a ponte nota a presença de tais manifestações.

As fissuras presentes na ponte estudada possivelmente decorreram da ação de agentes naturais e da movimentação excessiva, já que a carga que transita sobre ela é maior que a permitida (15 toneladas). Tal anomalia pode vir a causar perda da resistência, comprometendo, assim, sua segurança.

Recomenda-se, para a possível neutralização dessa anomalia, junta de movimentação ou de controle e membrana acrílica, métodos que ajudam no tratamento dessa manifestação patológica (SAHADE, MACHADO, CAVANI, 2013). A figura 1 retrata fissurações encontradas na composição da estrutura, sendo averiguadas em grande parte da ponte; estas são as mais evidentes visualmente.

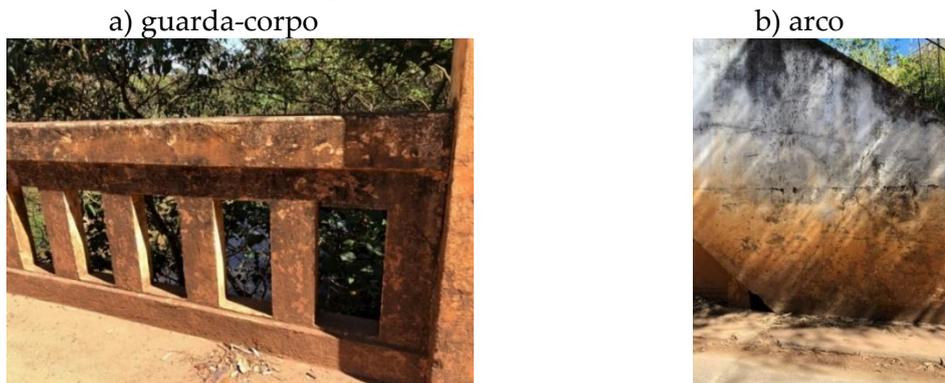


Fonte: Autores, 2018.

Também foi relevante a manifestação de manchamento por mofo. Esse efeito ocorre em decorrência da infiltração das águas da chuva. Isso pode vir a afetar as armaduras, que, em contato com água, oxidam-se.

Recomenda-se que se realizem algumas ações para minimizar esse efeito, como a limpeza do local, retirando-se a camada superficial da anomalia, posteriormente a aplicação de um impermeabilizante e depois a pintura, impossibilitando-se, assim, a entrada de agentes externos.

**Figura 2 – Manchamento por mofo**



**Fonte:** Autores, 2018.

Devido à ponte já estar quase atingindo a sua vida útil, foram encontradas outras manifestações que devem ser levadas em consideração (BERTOLINI, 2010). O deslocamento do concreto encontrado na peça estrutural é em decorrência da corrosão das armaduras. Esse fenômeno ocorre devido ao aço oxidado ocupar um volume maior que ocuparia em seu estado inicial (SACHS, 2015).

A causa da manifestação patológica citada deve-se à idade avançada da ponte e ao possível comprometimento das armaduras pela oxidação, já que a ponte possui inúmeras fissurações que facilitam a entrada da umidade. Foi averiguado esse fenômeno no guarda corpo; embora não seja um elemento estrutural, é importante ressaltar esta anomalia.

Para que tal efeito seja neutralizado, deve-se, de acordo com o Medeiros (2008), recorrer a alguns procedimentos, como o corte da área demarcada, a retirada do material danificado, seguido da pintura do aço para maior proteção, finalizando com a argamassa de reparo.

**Figura 3** – Deslocamento do concreto no guarda-corpo



**Fonte:** Autores, 2018.

Além dessas anomalias, foi verificada a presença do descolamento da pintura, que é originado de reações de sais das eflorescências que prejudicam a sua ligação com o concreto. Outros motivos que podem acarretar o aparecimento dessa anomalia são a má impermeabilização ou a não impermeabilização do local, além do contato com infiltração, como no caso da ponte, na qual se aumenta a possibilidade de aparecimento dessa manifestação patológica (LOTTERMANN, 2013).

Andrade (1997) destaca que a vida útil da pintura externa de uma estrutura varia de 3 a 5 anos, levando em consideração os efeitos a que está sujeita. De acordo com a Secretaria Municipal de Obras de Patos de Minas, foi verificado que a ponte passou, na década de 90, por manutenção na sua pintura, sendo esta em cal. Desde essa data, não houve mais reparos; essa foi a única modificação realizada durante todos os anos de sua existência.

Sugere-se que algumas ações sejam tomadas para que tal efeito na ponte não se prolifere, como o lixamento da superfície e a reaplicação da pintura. Deve-se preocupar com a qualidade do material utilizado, tendo em vista que a estrutura analisada está sujeita constantemente a intempéries.

**Figura 4** – Descolamento da pintura no tirante.



**Fonte:** Autores, 2018.

Devido à eminente assiduidade de manifestações patológicas e à sua idade avançada, a ponte sobre o rio Paranaíba necessita de manutenção. Sendo um patrimônio histórico e com grande relevância para a sociedade patense, requer cuidados para sua preservação.

#### 4.1.2 Ensaio de Esclerometria

Anterior ao ensaio, foi verificado a calibração do aparelho. Em seguida, iniciou-se, então, o ensaio com a limpeza e lixamento das áreas em que foram executados os golpes. Posteriormente, procedeu-se à marcação das malhas para aplicação dos golpes que foram realizados a 90° da peça estrutural.

A ponte possui dois arcos. Foi executado o arco esquerdo e depois o arco direito, olhando-se da cidade para a área rural e industrial. Foram executados os ensaios, sendo primeiramente nos arcos e, em seguida, nos 9 tirantes. Os valores obtidos estão apresentados a seguir. Os ensaios 1 e 2 correspondem aos valores retirados dos arcos e os ensaios de 3 em diante, dos tirantes. Conforme especificado na ABNT NBR 7584:2012, caso algum valor do ensaio tenha dado  $\pm 10\%$  da média aritmética, deve-se efetuar nova média, desprezando-se tal valor. Para determinação do índice esclerométrico médio efetivo ( $I_{Ea}$ ), foi calculado e utilizado o valor de coeficiente de correção de 1,02 para ambas as quantidade de golpes.

Cada aparelho de esclerometria apresenta uma curva de calibração de forma a estimar uma resistência conforme a dureza obtida pelo ensaio. No caso da ponte estudada, os valores obtidos por meio da curva foram apresentados a seguir.

**Tabela 1** – Resultado do ensaio de esclerometria nos arcos e nos tirantes.

Arco	Ensaio	Dureza superficial				Média/Desvio (Aparelho)	Média/Desvio (Calculado)	$I_{Ea}$ (N.mm)	Fck estimado (Mpa)
		50,0	60,0	52,5	59,5				
Esquerdo	1	63,5	57,0	63,0	65,0	$\bar{x} = 58,9$ $S = 4,1$	$\bar{x} = 59,5$ $S = 2,9$	60,69	40,86
		58,5	57,5	57,0	59,0				
		59,0	63,5	55,5	61,0				
		50,0	48,0	49,5	41,5				
Esquerdo	2	53,0	52,0	47,5	47,5	$\bar{x} = 48,6$ $S = 5,1$	$\bar{x} = 50,7$ $S = 3,9$	51,71	34,81
		52,5	47,5	52,5	41,5				
		53,5	53,0	52,0	35,5				
		63,5	49,8	57,0	-				
Esquerdo	3	35,0	68,0	59,0	-	$\bar{x} = 55,3$ $S = 9,4$	$\bar{x} = 55,3$ $S = 9,4$	56,30	37,90
		52,5	56,5	56,5	-				
		63,5	65,0	52,5	-				
Esquerdo	4	58,0	61,5	65,5	-	$\bar{x} = 61,1$ $S = 4,7$	$\bar{x} = 61,1$ $S = 4,7$	63,34	42,64
		57,0	67,0	59,5	-				
		61,0	72,0	56,5	-				
Esquerdo	5	64,5	58,0	63,0	-	$\bar{x} = 60,2$ $S = 3,9$	$\bar{x} = 60,2$ $S = 3,9$	60,79	40,93
		52,0	57,5	56,5	-				
		63,0	67,5	62,0	-				
Esquerdo	6	62,5	60,0	61,5	-	$\bar{x} = 62,0$ $S = 2,3$	$\bar{x} = 62,0$ $S = 2,3$	63,24	42,58
		60,0	60,0	61,5	-				
		58,0	61,0	63,5	-				
Esquerdo	7	54,0	63,0	58,0	-	$\bar{x} = 60,4$ $S = 3,4$	$\bar{x} = 60,4$ $S = 3,4$	62,32	41,96
		62,5	64,5	58,5	-				
		57,0	54,0	56,0	-				
Esquerdo	8					$\bar{x} = 60,2$ $S = 4,1$	$\bar{x} = 60,2$ $S = 4,1$	62,12	41,82

Continua...

...Conclusão

		61,5	59,0	62,0	-				
		60,0	65,5	66,0	-				
Esquerdo	9	53,0	51,5	56,5	-	$\bar{x} = 55,5$ $S = 2,8$	$\bar{x} = 55,5$ $S = 2,8$	56,61	38,11
		58,5	60,0	53,0					
		55,0	55,0	57,0	-				
Esquerdo	10	59,0	68,5	55,5	-	$\bar{x} = 62,7$ $S = 4,5$	$\bar{x} = 62,7$ $S = 4,5$	64,87	43,67
		67,5	61,5	61,5	-				
		68,5	60,5	61,5	-				
Esquerdo	11	46,5	57,5	59,5	-	$\bar{x} = 56,3$ $S = 5,0$	$\bar{x} = 56,3$ $S = 5,0$	57,83	38,93
		58,5	51,0	56,0	-				
		63,0	60,0	54,5	-				
Direito	1	54,5	59,5	59,0	53,0	$\bar{x} = 58,1$ $S = 5,4$	$\bar{x} = 58,1$ $S = 3,3$	59,26	39,90
		50,5	48,0	65,0	61,5				
		57,0	61,5	57,5	53,0				
		58,5	63,5	68,5	58,5				
Direito	2	56,0	56,5	44,5	60,0	$\bar{x} = 55,9$ $S = 4,4$	$\bar{x} = 56,7$ $S = 2,9$	57,83	38,93
		61,0	62,0	55,0	50,0				
		59,5	53,5	53,5	56,5				
		55,0	55,5	60,0	54,5				
Direito	3	59,0	62,0	59,5	-	$\bar{x} = 58,5$ $S = 2,6$	$\bar{x} = 58,5$ $S = 2,6$	60,69	40,86
		50,5	56,6	60,0	-				
		57,0	58,5	63,5	-				
Direito	4	54,0	57,4	54,5	-	$\bar{x} = 52,2$ $S = 2,9$	$\bar{x} = 52,2$ $S = 2,9$	53,24	35,84
		50,0	51,0	50,5	-				
		50,5	54,0	48,0	-				
Direito	5	52,5	61,5	52,5	-	$\bar{x} = 54,1$ $S = 4,7$	$\bar{x} = 54,1$ $S = 4,7$	55,18	37,15
		59,5	53,0	57,0	-				
		55,0	49,0	47,0	-				
Direito	6	56,5	67,5	54,0	-	$\bar{x} = 56,4$ $S = 5,3$	$\bar{x} = 56,4$ $S = 5,3$	56,81	37,82
		50,0	51,5	54,0	-				
		60,5	58,5	55,0	-				
Direito	7	57,5	60,0	56,0	-	$\bar{x} = 56,3$ $S = 2,6$	$\bar{x} = 56,3$ $S = 2,6$	57,43	38,66
		56,5	59,5	53,0	-				
		54,0	57,5	53,0	-				
Direito	8	53,0	46,0	52,0	-	$\bar{x} = 52,7$ $S = 4,0$	$\bar{x} = 52,7$ $S = 4,0$	53,55	36,05
		52,0	55,5	60,5	-				
		53,5	49,5	52,0	-				
Direito	9	61,5	52,5	64,5	-	$\bar{x} = 56,8$ $S = 7,4$	$\bar{x} = 56,8$ $S = 7,4$	59,06	39,76
		64,5	45,0	58,0	-				
		48,0	56,0	61,5	-				
Direito	10	48,0	47,5	57,5	-	$\bar{x} = 51,6$ $S = 4,1$	$\bar{x} = 51,6$ $S = 4,1$	52,63	35,43
		51,0	52,5	45,5	-				
		51,0	55,5	55,5	-				
Direito	11	65,5	52,5	52,0	-	$\bar{x} = 60,2$ $S = 5,5$	$\bar{x} = 60,2$ $S = 5,5$	63,65	42,85
		65,5	59,5	66,0	-				
		60,0	57,0	63,5	-				

Fonte: Autores, 2018.

Através dos resultados obtidos pela realização do ensaio de esclerometria, foi possível perceber que o índice esclerométrico corrigido médio do lado esquerdo apresenta valor médio de 59,98 N.mm, com um desvio padrão de 3,9. Já no lado direito, o valor encontrado foi de 57,18 N.mm, com um desvio padrão de 3,4. Com isso, foi observado que a dureza superficial do concreto do lado esquerdo obteve um valor melhor que o do lado direito, já que o desvio padrão apresentou valores aproximados.

Isso decorre da ação da carbonatação presente na peça estrutural. Segundo Bauer (2011), esse efeito tem uma influência negativa, pois fraudar o real valor da resistência do concreto. Destaca que a carbonatação no concreto armado não age de forma positiva, pois compromete sua segurança pelo motivo de atacar as armaduras.

Não há relatos de concretos de alta resistência na década da construção da ponte sobre o rio Paranaíba, já que não existiam normas que estabeleciam métodos de execução para esse efeito. Havia a preocupação e o conhecimento de se ter uma estrutura com boas características e bons materiais, porém não existiam recursos necessários para tais efeitos.

Na análise realizada sobre os dados coletados através do ensaio de esclerometria e comparados com a curva de calibração do aparelho, pôde-se notar que os valores não apresentam a real situação do estado da ponte, já que não havia concretos com resistências elevadas naquela época. Tal motivo pode ser justificado pela existência da carbonatação, já que, segundo Réus *et al* (2016), essa manifestação patológica altera consideravelmente os valores reais da estrutura.

#### 4.1.3 Ensaio de Ultrassonografia

O aparelho de ultrassom foi configurado e testado para comprovar a sua calibração. Devido ao fato de a limpeza do local do ensaio já ter sido executada anteriormente, deu-se início ao ensaio, aplicando-se o gel acoplante nos transdutores e, em seguida, posicionando-os na peça. Repetiu-se o ensaio no mesmo lado do arco com 5 distâncias. Os resultados apurados estão apresentados na tabela 2. Os ensaios 1 e 2 foram realizados no lado esquerdo da ponte, e os ensaios 3 e 4, no lado direito.

**Tabela 2 – Resultado do Ensaio de Ultrassonografia nos Arcos**

Ensaio	Distância (cm)	Tempo (μs)	Ensaio	Distância (cm)	Tempo (μs)
1	10	35,8	2	10	30,8
	20	58,3		20	54,6
	30	90,5		30	103,6
	40	143,7		40	143,0
	50	221,5		50	170,4
3	10	29,9	4	10	32,7
	20	61,6		20	77,2
	30	80,7		30	115,9
	40	149,9		40	176,9
	50	166,8		50	219,2

Fonte: Autores, 2018.

Em cada ensaio, foram obtidas velocidades de propagação da onda, dispostas a seguir. Foram criadas duas distâncias, já que as velocidades de propagação das ondas mostradas à esquerda apresentaram valores relativamente baixos.

Para melhor compreensão e classificação dos resultados, Cánovas (1998) criou um quadro para que fosse possível diferenciar um concreto de outro por meio de sua velocidade de propagação da onda ultrassônica. A tabela 3 apresenta tais especificações, de acordo com os valores encontrados na ponte sobre o rio Paranaíba.

**Tabela 3** - Velocidade de propagação da onda ultrassônica.

Ensaio	5 distâncias (m/s)	Qualidade do concreto	3 primeiras distâncias (m/s)	Qualidade do concreto
1	2.550,4	Regular	3.293,5	Bom
2	2.922,6	Regular	3.074,5	Bom
3	2.974,0	Regular	3.528,2	Ótimo
4	2.343,0	Regular	2.613,6	Regular

**Fonte:** Autores, 2018.

Para cada tipo de concreto, necessita-se de um tipo específico de material. No caso da ponte sobre o rio Paranaíba, não se sabe ao certo os aglomerantes e agregados utilizados, já que, naquela época, não existiam normas brasileiras para tal tipo de construção. De acordo com a NBR 8802 (ABNT, 2013), isso relativamente influencia nas leituras dos ensaios de ultrassom.

O método do ensaio de ultrassonografia aplicado na ponte sobre o rio Paranaíba foi o modo de transmissão indireta, embora não seja tão recomendado pelo fato de a acentuação do sinal recebido ser menor do que o realizado pelo modo direto. Esse foi o recurso a ser utilizado, pelo motivo da situação em que a ponte se encontrava.

Em geral, os resultados apresentaram valores regulares, considerando o ensaio com 5 distâncias. Pensando em um método para que esses valores exibissem resultados consideráveis, levou-se em conta apenas 3 distâncias. Desse modo, obtiveram-se velocidades de propagação mais elevadas devido à retirada dos pontos com as distâncias maiores, ou seja, 0,4 m e 0,5 m.

Por meio da tabela 3, observam-se os resultados obtidos no ponto 4, que está localizado no lado direito da ponte, próximo à cidade. Os valores são relativamente baixos quando comparados com os de mais. Tal fato se deve possivelmente à diversidade de materiais que foram utilizados na construção da estrutura. É necessária uma atenção maior nesse ponto.

A baixa velocidade encontrada no pulso da onda ultrassônica representa a ocorrência de um conjunto de anomalias na ponte. Isso se deve à falta de homogeneidade do concreto. Possivelmente a quantidade de vazios está elevada fazendo com que a onda demore a percorrer o trajeto até o outro transdutor. Esses valores decorrem dos seguintes fatores: resistência à compressão do concreto; consideração da agressividade do ambiente; adensamento e cura insuficiente; e falhas no escoramento.

## 4.2 VOLUME DE TRÁFEGO

A contagem de tráfego foi realizada nos dias 02, 04 e 05 de agosto de 2018, no período de 6h:00m à 22h:00m. Devido à ponte possuir somente uma faixa de passagem, a contagem foi executada considerando todos os veículos que passam por ela independentemente do sentido. Os resultados estão na tabela 4 a seguir.

**Tabela 4** – Voluma de Tráfego mensal

NOME E CLASSE	QUANT. DE EIXOS	VMD
CAMINHÃO (2C)	2	330
CAMINHÃO TRUCADO (3C)	3	69
CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE (2S2)	4	32
CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE (3S2)	5	1
CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE (2I3)	5	1
CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE (3S3)	6	40
CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE (3I3)	6	5
CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE (3C3)	6	1
CAMINHÃO TRATOR (X)	3	3
ROMEU E JULIETA (CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE) (3D4)	7	3
RODOTREM (CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + DOIS SEMI REBOQUES DOM DOLLY) (3T6)	9	1
ÔNIBUS (2CB)	2	81
CARRO	-	2.578
MOTO	-	1.138

**Fonte:** Autores, 2018.

Pelos valores apresentados, percebe-se a quantidade de veículos que transita, no decorrer do dia, na ponte sobre o rio Paranaíba, com predominância de carros e motos. Essa alta quantidade possivelmente se deve à existência da área industrial do outro lado da ponte, já que os trabalhadores necessitam deslocar-se. Outro motivo pautável para valores tão elevados de carros e motos é a presença de loteamentos, chacreamentos e acesso a vários distritos.

Os valores referentes a ônibus e a caminhões não foram tão significativos comparados aos de carros e motos, porém notou-se um número considerável de veículos de carga, visto que a área industrial e os distritos vizinhos requerem transporte para seus produtos e matéria prima.

### 4.2.1 Número N

Segundo o DNIT (2006), o número N é a quantidade de eixo padrão de 8,2 toneladas que percorre um determinado trecho em um ano. A obtenção de tal número foi demonstrada a seguir, levando-se em consideração apenas veículos de carga.

$$N = 365 \times VMD \times FE \times FC$$

O VMD da fórmula trata do somatório de veículos de carga que passam pelo trecho em um dia. Tal valor é de 567.

O FE (fator de eixo) foi obtido pela divisão do número de eixos; é obtido pela multiplicação da quantidade de eixos pelo VMD, pela quantidade de veículos. Obteve-se então o valor de 2,61.

Já o FC (fator de equivalência de carga) refere-se ao valor que expressa a quantidade de transição de um eixo padrão, que, no caso, é de 8,2 toneladas. Para que fosse possível a conversão desse valor, utilizaram-se as equações de USACE apresentadas pelo DNIT. Portanto, o valor total encontrado foi de 279,39.

Após determinação de todos os fatores da equação, computou-se em um valor de número N de 150.913.221. Portanto, nota-se que a quantidade de eixo padrão que transita sobre a ponte é consideravelmente elevada. Como se trata de eixos de 8,2 toneladas, é indiscutível que causam grande impacto na estrutura da ponte.

A porcentagem de veículos com carga de 10 a 20 toneladas é superior a todos os outros. Isso se deve à quantidade de caminhões com carga máxima de 16 toneladas que transitam frequentemente nesse trecho. Do outro lado da ponte, existe o aterro sanitário que é responsável por inúmeros caminhões dessa classe, além de ser o local de despejo de entulhos, normalmente carregados em caminhões poliguindaste.

Outra justificativa para elevada porcentagem de veículos com tais cargas é a grande quantidade de ônibus de 16 toneladas que necessitam circular por esse trajeto, já que diversas pessoas chegam a seus trabalhos por meio destes.

Os veículos com carga máxima de 21 a 30 toneladas apresentaram grande relevância para tal contagem, dado que a transição desse tipo de veículo foi elevada. Uma justificativa para esse fenômeno é a presença da área industrial do outro lado da ponte, que requer o deslocamento de produtos e matérias primas.

## 5 CONCLUSÃO

O estudo realizado a respeito da ponte sobre o rio Paranaíba localizada na cidade de Patos de Minas – MG permitiu a percepção do estado estrutural em que ela se encontrava e a grande importância que ela representa para o município, por ser ligação entre dois polos da cidade.

Em decorrência da análise visual, perceberam-se manifestações patológicas que afetam a estrutura tanto na parte interna, quanto na externa. Observou-se que a ponte apresentava inúmeras anomalias: fissuração, manchamento por mofo, deslocamento do concreto e descolamento da pintura. Essas anomalias são decorrentes tanto de falha na execução e na falta de manutenção, quanto de ações climáticas.

Por meio do ensaio de esclerometria, constatou-se carbonatação na estrutura, já que as resistências estimadas através das durezas superficiais encontradas nos ensaios e na curva de calibração do aparelho apresentaram resultados maiores que o esperado. Não há relatos de resistências tão elevadas na época de execução da ponte.

O método de ultrassonografia foi utilizado de modo indireto, devido à localização das partes da estrutura ensaiadas não possibilitarem outro tipo de realização do teste. Os resultados coletados com 5 distâncias foram regulares, já com 3 apresentaram valores consideráveis, em decorrência da retirada das maiores distâncias

e da grande quantidade de vazios que causam diminuição da velocidade de propagação ultrassônica.

Os resultados obtidos tanto no ensaio de esclerometria quanto no de ultrassonografia permitiram perceber que o lado direito apresentou valores menores em comparação com os do lado esquerdo. Foi perceptível, portanto, que com o lado direito deve-se ter uma maior observação.

Mediante as análises realizadas na ponte, foi possível a constatação de anomalias, em decorrência do tempo de construção e da falta de manutenção da obra de arte. Existem métodos para solucionar ou minimizar tais efeitos em uma estrutura, porém necessita-se de uma análise aprofundada para determinação da ação mais eficaz.

A contagem volumétrica averiguou a constatação de um grande fluxo de veículos que transitavam pela ponte e, em decorrência disso, um valor alto do número N. A explicação para esses resultados é a vasta utilização e importância que essa ponte tem para a população municipal e regional.

Pela análise, percebeu-se que não deveria transitar caminhão nem mesmo com menor carga, que seriam 16 toneladas. Essa sobrecarga constante afeta consideravelmente a estrutura, acarretando, assim, cada vez mais desgaste nas peças estruturais.

Pelo motivo de a ponte estudada ser um patrimônio histórico, tornaram-se limitadas algumas ações, como as extrações de corpos de prova, método que permitiria uma abrangência maior e um resultado mais fundamentado.

Algumas sugestões para trabalhos futuros seria um método para averiguação da vibração com carregamento dinâmico e deformações com carregamentos estáticos. Esses testes são realizados com a prova de carga, obtendo-se, assim, um valor da real carga que a ponte suportaria.

Notou-se um descuido no âmbito da manutenção da ponte sobre o rio Paranaíba. Qualquer estrutura de concreto necessita de estar sempre em um estado de conservação ideal. Para neutralizar as reações existentes na estrutura analisada, de forma a combater a evolução de tais manifestações, é necessário um estudo mais aprofundado. É fundamental que se tenha uma preocupação maior com a ponte, dada a importância que ela apresenta para a sociedade.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Jairo José de Oliveira. **Durabilidade das estruturas de concreto armado:** análise das manifestações patológicas nas estruturas do estado de Pernambuco. 1997. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. **Ensaio não destrutivo e inspeção.** Disponível em: <http://www.abendi.org.br/abendi/default.aspx?mn=709&c=17&s=&friendly=>. Acesso em: 23 fev. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14653-1**: avaliação de bens parte 1: procedimentos gerais. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584**: concreto endurecido: avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802**: concreto endurecido: determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2006. 92p. (Notas de aula).

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. v. 2, 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de Construção: patologia, reabilitação, preservação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 414 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Estudos de Tráfego**. Rio de Janeiro, 2006.

Disponível em:

[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/manual\\_estudos\\_trafego.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/manual_estudos_trafego.pdf). Acesso em: 02 de mar. 2018.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: PINI, 1998. 522 p.

CARDOSO, Manoel Gonçalves. **Avaliação da integridade estrutural de pontes metálicas da ferrovia turística Ouro Preto/Mariana (MG) por meio de modelagem numérica e técnicas laboratoriais**. 2007. 198f. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - MG.

COSTA, Cristina Margarida Rodrigues. **Análise numérica e experimental do comportamento estrutural de pontes em arco de alvenaria de pedra**. 2009. 618f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2009.

DANNEMANN, Eitel. Antiga ponte do rio Paranaíba em construção. **EfecadePatos**, Patos de Minas, 06 maio 2016. Disponível em:  
<http://www.efecadepatos.com.br/?p=20358>. Acesso em: 28 fev. 2018.

DEBS, Mounir Khalil El; TAKEYA, Toshiaki. **Introdução às pontes de Concreto**. São Carlos: Departamento de Engenharia de Estruturas, 2009. 106 p. Apostila.

LOTTERMANN, André Fonseca. **Patologias em estruturas de concreto**: estudo de caso. 2013. 66f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí – RS.

MEDEIROS, Marcelo. **Corrosão do concreto é causada por umidade e gases nocivos**. Disponível em: [https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gases-nocivos\\_6412\\_0\\_1](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gases-nocivos_6412_0_1). Acesso em: 20 set. 2018.

MELLO, Antônio de Oliveira. **Patos de Minas, meu bem querer**. 3. ed. Patos de Minas: SEMED, 2008. 413 p.

MINÁ, Alexandre José Soares. **Estudo de estacas de madeira para fundações de pontes de madeira**. 2005. 177f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP.

RÉUS, G. C.; SILVESTRO, L.; MEDEIROS, M. H. F. de; SOUSA, D. J.; GOMES, G. R.; SANTOS FILHO, M. L. Influência da frente de carbonatação na resistência superficial do concreto obtida pelo método da esclerometria. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES – CBPAT, 2016, Belém - PA. **Anais [...]**, Belém, abr. 2016.

SACHS, Ana. Recuperação estrutural. Tratamento intensivo. **Téchne**, ed. 220, ano 23, jul. 2015.

SAHUINCO, Melquiades Hermógenes Choquepuma. **Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de Concreto**. 2011. 170f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP.

SAHADE, Renato Freua; MACHADO, Luciana Varela; CAVANI, Gilberto de Ranieri. Avaliação de sistemas de recuperação de fissuras em revestimentos de vedação. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, Fortaleza – CE, 2013.