



ISSN: 2230-9926

Available online at <http://www.journalijdr.com>

# IJDR

*International Journal of Development Research*

Vol. 11, Issue, 08, pp. 49214-49217, August, 2021

<https://doi.org/10.37118/ijdr.22566.08.2021>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

## USO DO ARDUINO PARA MEDIÇÃO DE DEFORMAÇÕES EM ESTRUTURAS METÁLICAS DE INSTALAÇÕES PÚBLICAS MUNICIPAIS

Cristiano Batista Rodrigues, Ingra Ribeiro da Silva, Daniel Moraes Santos and  
\*Guilherme Lins Sambüç Ramalho

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 19<sup>th</sup> May, 2021

Received in revised form

10<sup>th</sup> June, 2021

Accepted 28<sup>th</sup> July, 2021

Published online 26<sup>th</sup> August, 2021

#### Key Words:

Extensômetro Resistivo,  
Estruturas Metálicas,  
Deformação,  
Deslocamento.

#### \*Corresponding author:

Guilherme Lins Sambüç Ramalho

### ABSTRACT

Para garantir que uma estrutura metálica exerça sua função de maneira correta, sem colocar em risco a vida de pessoas, é essencial que o monitoramento e a inspeção da mesma sejam feitos com uma determinada frequência, e quando esse monitoramento for realizado é importante que seja feito sem destruir a estrutura ou causar qualquer modificação em suas características. Diante disso, o presente estudo visa construir um extensômetro de baixo custo capaz de medir as deformações na qual uma estrutura metálica está sofrendo. Para realizar o estudo foi feita uma conexão entre os seguintes elementos: extensômetro, módulo amplificador, plataforma de Arduino Uno e um computador. O experimento consistiu em avaliar as deformações sofridas por uma régua metálica devido a aplicação de cargas em suas extremidades. Através do experimento foi possível observar que valores positivos de deformação foram obtidos quando o extensômetro estava sob tração e negativo quando estava sob compressão. O baixo custo desse extensômetro torna viável sua aplicação em construções pública que apresenta elementos metálicos em sua composição estrutural, como quadras esportivas, escolas, prefeituras e postos de saúde.

Copyright © 2021, Cristiano Batista Rodrigues et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Cristiano Batista Rodrigues, Ingra Ribeiro da Silva, Daniel Moraes Santos and Guilherme Lins Sambüç Ramalho. "Uso do arduino para medição de deformações em estruturas metálicas de instalações públicas municipais", *International Journal of Development Research*, 11, (08), 49214-49217.

## INTRODUCTION

Administração pública pode ser entendida como um conjunto de órgãos e serviços do estado que objetivam atender a necessidade da coletividade, como por exemplo segurança, educação e saúde. Ou seja, a administração pública é a gestão das necessidades públicas através de prestação de serviços públicos. A administração pública tem por objetivo atender os interesses dos cidadãos (GREGORIUS, 2015). Boa parte dos servidores públicos trabalham em lugares fechados, prédios que vai de um andar até dezenas de andares. É muito comum a presença de elementos metálicos que faz parte da composição estrutural dessas construções, como vigas composta de ferro e treliças. Para que os servidores públicos possam trabalhar em segurança em seu ambiente, torna-se necessário o monitoramento estrutural das construções públicas com determinada frequência. As frequentes notícias envolvendo incidentes em obras de infraestrutura, torna notável a necessidade de um maior monitoramento das condições estruturais de uma obra, garantindo uma série de benefícios, que vão desde a melhoria na segurança, até uma maior economia e produtividade. Sendo assim a utilização de equipamentos

capazes de monitorar os esforços mecânicos, se mostra de grande aplicabilidade no cenário da Engenharia Civil (CASTRO, 2018). O Monitoramento da Integridade Estrutural (MIE), busca monitorar o comportamento da estrutura, sob várias condições de carregamento, visando detectar a ocorrência de danos ou deteriorações, desta forma ele colabora com a redução de custos das intervenções para manutenção, reforma e modernização de estruturas. Porém, este monitoramento ainda se mostra como um processo muito dispendioso devido ao tipo de equipamentos necessários para a execução deste monitoramento, tais como sensores, aquisitores de dados, redes cabeadas e computadores (SILVA, 2018). Neste contexto, os extensômetros, capazes de identificar os esforços mecânicos em uma estrutura, se revelam como uma forma viável de monitoramento da integridade estrutural, estes podem se diversificar entre sensores de resistência elétrica, sensores de corda vibrante ou sensores a fibra óptica (SILVA; ASSIS, 2012), porém tendo em vista o baixo custo e relativa facilidade de utilização, no presente trabalho será feito o uso dos sensores de resistência elétrica. O extensômetro de resistência elétrica (strain gages), trata-se de um sensor elétrico cujo princípio de funcionamento é baseado na variação da resistência elétrica quando

submetido a uma deformação. Tal deformação será obtida a partir da variação de resistência que está correlacionada com o valor da tensão elétrica aplicada. Em suma, com a aplicação da força, ocorrerá deformações na estrutura que serão diretamente transmitidas para a base do extensômetro, que por sua vez deforma a resistência metálica, fazendo assim a variação da mesma (SILVA, 2018). A Figura 1 a seguir mostra uma representação do extensômetro de resistência elétrica (strain gages). Para realização do presente trabalho foi utilizado a plataforma Arduino Uno, para a aquisição de dados dos sensores. Para a conversão dos valores de resistência dos sensores em dados digitais, foi utilizado o módulo conversor e amplificador HX711 de 24 bits. O monitoramento de deformações em estruturas, necessita de um amplificador de sinais, devido ao fato de que as deformações são grandezas relativamente pequenas quando transformadas em variações de sinais elétricos, assim o módulo fornecerá dados precisos. Tendo em vista tais informações, o presente trabalho visa a aplicação dos extensômetros de resistência elétrica como método para monitoramento de deformações em estruturas metálicas, objetivando a redução das ocorrências de danos ou deteriorações em infraestruturas. Visa também comparar preços entre equipamentos de monitoramento estrutural existente no mercado e o desenvolvido neste estudo.

## METODOLOGIA

### Os materiais utilizados nesse estudo foram:

- 1 plataforma Arduino Uno
- 1 computador para programação
- 1 Módulo amplificador Hx711
- 1 Extensômetro F3130751123
- 1 Régua metálica (30 cm)
- 1 Grampo do tipo “C”
- 1 Fita isolante
- 1 Multímetro
- Silicone tekbond
- Detergente neutro
- cola tekbond
- 1 pinça
- 1 Fita adesiva

Inicialmente foi feita uma limpeza no ponto de instalação do extensômetro. Para isso foi utilizado detergente neutro. Posteriormente, foi definido a posição para instalação do extensômetro. A posição escolhida foi a lateral da régua metálica, pois era a parte mais homogênea e lisa. Em seguida, aplicou-se fita isolante sobre a régua para isolar os contatos dos extensômetros, e assim seguir com a colagem dos extensômetros no ponto onde as medidas de deformação foram realizadas. Posteriormente, foi verificado se havia curto circuito nos fios do sensor. Para isso utilizou-se um multímetro. Por fim, aplicou-se silicone sobre o extensômetro para sua proteção. O extensômetro utilizado nesse trabalho foi conectado ao módulo Hx711, cuja finalidade é proporcionar a conversão de alterações de valor de resistência do sensor. Esse módulo foi ligado a plataforma Arduino, que fará a interpretação dos dados provenientes do módulo. Já o Arduino foi ligado ao computador através da porta USB. Após o desenvolvimento do código de programação e com todas instalações feitas corretamente, realizou-se os experimentos. O experimento consistiu em aplicar forças nas duas extremidades da régua, e assim observar sua deformação. Os valores das deformações foram plotados no computador na forma de um gráfico para que se possa observar o comportamento das deformações.

**Coleta de Dados:** Os principais avanços ligados a tecnologia podem ser atribuídos aos ensaios não destrutivos, ou seja, é possível realizar uma investigação do material sem destruí-lo ou implementar qualquer modificação às suas características. O mercado atual ordena que os projetos diminuam os custos sem prejudicar a qualidade (CARDOSO,2017). Assim, os extensômetros elétricos de resistência são ferramentas que permite a inspeção e monitoramento de estrutura,

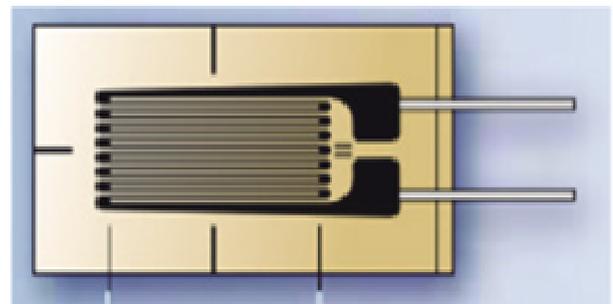
o que permite a obtenção de parâmetros muito importante para o cálculo estrutural, sem danificar a estrutura analisada. A inspeção dos esforços mecânicos utiliza os estudos de Robert Hooke, que realizou uma formulação matemática, na qual os esforços mecânicos são associados através da tensão resultante no material  $\sigma$ . Essa tensão está associada a uma deformação  $\epsilon$  através da lei de Hooke ( $\sigma = E \times \epsilon$ ), sendo E o módulo de elasticidade do material estudado. Quando um material sofre tração, a força que é aplicada é proporcional a deformação. Isso é válido quando o material se encontra na região elástica. Assim a deformação é diretamente proporcional a tensão aplicada, isso implica que, quanto maior for a tensão sobre um material, maior será sua deformação. Essa relação de proporcionalidade é verdadeira quando o material se encontra no chamado regime elástico. A tensão possui magnitude de força por unidade de área ( $N/m^2$ , no Sistema Internacional). Quando estão submetidos a tração ou compressão os materiais apresentam a capacidade de aumentar ou diminuir suas dimensões. Considerando um material de comprimento inicial l, quando submetido a tração ou compressão sua dimensão sofre uma variação  $\Delta l$ . A razão  $\Delta l/l$  é denominada deformação ( $\epsilon$ ). Dessa forma a deformação pode ser calculada através da equação 1.

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (1)$$

A relação entre a tensão e a deformação é dada pela razão entre a tensão e a deformação. Essa relação pode ser expressada conforme a equação 2 a seguir.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2)$$

O extensômetro de resistência é um sensor elétrico. Seu funcionamento está relacionado com a mudança na resistência quando submetido a uma deformação. A variação de resistência pode ser associada com um valor de tensão e deformação. A figura 11 mostra um extensômetro de resistência.



Fonte: Revista Engenharia, 2017.

**Figura 11. Extensômetro de resistência**

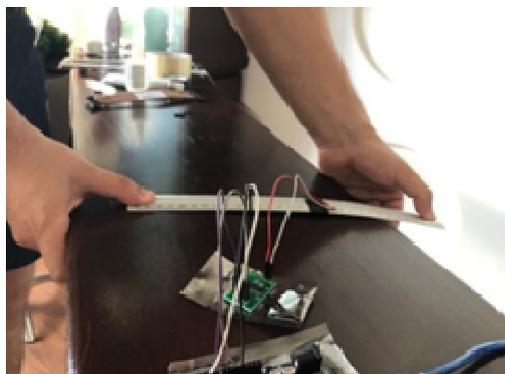
A sensibilidade do extensômetro pode ser associada a deformação através de um número chamado “gage fator” (GF). Essa constante é dada pela razão entre a mudança na fração da resistência elétrica e da mudança fracionária do comprimento (CARDOSO,2017), sendo expressa pela equação 3 a seguir, onde  $\Delta R$  é a mudança na resistência elétrica causada pela deformação, RG é a resistência do extensômetro não deformado e  $\epsilon$  a deformação.

$$E = ((\Delta R/RG))/\epsilon \quad (3)$$

Os extensômetros é composto principalmente por uma grade metálica sensível, que está conectada a peça que se deseja monitorar. O fio sensível possui um diâmetro de 0,01mm aproximadamente e é composta por ligas metálicas. A grade fica entre duas folhas de papel, podendo também ficar dentro de uma película de plástico fina. Nas extremidades os fios são soldados. A forma da grade de resistência pode variar de acordo com a finalidade de uso do extensômetro (CARDOSO,2017).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento foi dividido em duas etapas. Na primeira parte foi aplicado forças nas duas extremidades da régua de forma que o extensômetro sofresse tração, conforme a figura 12. Os valores referentes a deformação apresentado pelo Arduino se encontra na tabela 1 a seguir.



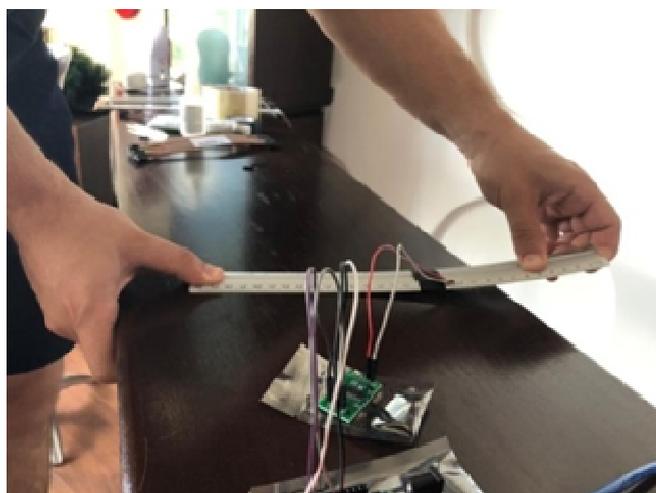
Fonte: Autores

Figura 12. Régua sob tração

Condição experimental	Deformação
1	1253
2	1297
3	1347
4	1402
5	1458
6	1517
7	1572
8	1623
9	1674
10	1732

Fonte: Autores

Tabela 1. Associação condição experimental x Deformação (tração)



Fonte: Autores

Figura 13. Extensômetro sob compressão

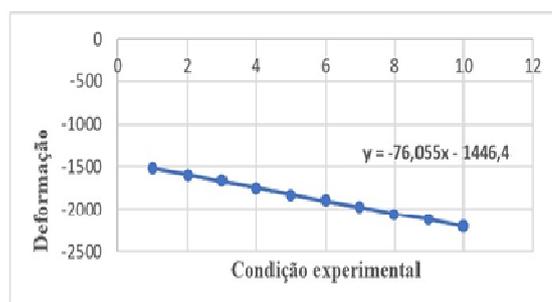
Pelos resultados apresentados, observa-se que os valores de deformação são todos positivos, o que demonstra que a região onde se

encontra o extensômetro sofre tração. Nota-se também, que a deformação varia de forma linear, aproximadamente.

Condição experimental	Deformação
1	-1523
2	-1598
3	-1676
4	-1749
5	-1828
6	-1903
7	-1976
8	-2054
9	-2132
10	-2208

Fonte: Autores

Tabela 2. Associação entre condição experimental x Deformação (compressão)



Fonte: Autores

Gráfico 2. Associação condição experimental x Deformação (compressão)

A medida em que as forças aplicadas nas extremidades da régua aumentam, a deformação sofrida pela régua também aumenta. Essa proporcionalidade está de acordo com a lei de Robert Hooke (equação 2). Cada condição experimental representa um par de forças aplicadas nas extremidades da régua. Seu valor não é conhecido, pois não havia equipamento disponível para sua medição. Na segunda parte do experimento aplicou-se forças nas duas extremidades da régua de modo que o extensômetro sofresse compressão, conforme a figura 13. Os valores referentes a deformação apresentado pelo Arduino se encontra na tabela 2, e a representação gráfica junto com a equação é demonstrada no gráfico 1. Através da análise do gráfico 1 e tabela 2, nota-se que os valores de deformação são todos negativos, o que indica que a extensômetro está sob compressão. Nota-se também uma relação aproximadamente linear entre a força aplicada nas extremidades da régua e a deformação. Essa linearidade também está de acordo com a lei de Robert Hooke (equação 2). Cada condição experimental representa um par de forças aplicadas nas extremidades da régua. Seu valor não é conhecido, pois não havia equipamento ou meios disponível para sua medição. Quando se faz uma análise de preço sobre os equipamentos utilizados no desenvolvimento deste estudo, observa-se o baixo custo, sendo isso um ponto positivo para o equipamento desenvolvido neste trabalho. Os valores dos equipamentos utilizados no desenvolvimento deste trabalho são apresentados na tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Preços dos equipamentos utilizados na pesquisa

Equipamento	Preço
Arduino	R\$27,89
Extensômetro	R\$20,00
Módulo HX711 24bits	R\$11,00
Cabo Jumper	R\$16,65
<b>Valor Total</b>	<b>R\$75,54</b>

Fonte: Mercado Livre

Tabela 4. Preços de extensômetros

Extensômetro	Preço
KFH-C1	R\$595,00
KFH-D16	R\$1.470,00
SGD-LY	R\$364,00
SGD-LY40	R\$1.260,00

Fonte: OMEGA™

Tabela 5. De preço do módulo de aquisição de dados

Módulo de aquisição de dados	Preço
OM-DAQ-USB-2401	R\$5.265,00

Fonte: OMEGA™

Tabela 6. Preços do conjunto de equipamentos

Equipamento	Preço
Módulo OM-DAQ-USB-2401	R\$5.265,00
Extensômetro SGD-LY	R\$364,00
<b>Valor Total</b>	<b>R\$5.629,00</b>

Fonte: OMEGA™

Além do orçamento feito para os equipamentos utilizados neste trabalho, foram feitos também para outros equipamentos fornecidos pela empresa OMEGA™. Os valores são apresentados na tabela 4 e 5. Para título de comparação, soma-se os preços do módulo de análise de dados e o extensômetro fornecido pela empresa, observa-se a discrepância do custo entre o fornecido pela OMEGA™ e o desenvolvido pela pesquisa. Os valores são apresentados na tabela 6. Pelos resultados apresentados nas tabelas anteriores de preços, nota-se a grande diferença de preço. Os valores dos extensômetros encontrado no mercado são muito maiores do que do extensômetro utilizado neste trabalho.

## CONCLUSÕES

Os extensômetros de resistência possuem a capacidade de converter pequenas variações de suas dimensões em variações de resistência elétrica, e assim medir a deformação causada num corpo, sendo um medidor de deformação utilizado pelos engenheiros. O uso de extensômetro para medição fica à frente de muitos outros métodos de medir-se deformação, pois permite realização de inspeção de estruturas sem danificá-las, o que é muito bom, já que se reduz custos. Este estudo apresenta o uso de extensômetro de baixo custo como potencial medidor de deformações. Ao analisar os resultados conclui-se que o extensômetro, quando deformado, responde enviando números associados a essa deformação. Quando o extensômetro sofre tração suas dimensões aumentam e os resultados apresentados são números positivos. Já quando o extensômetro sofre compressão, suas dimensões diminuem e os resultados são números negativos. Quando se faz medições de deformação sofrida por uma estrutura, também é importante saber a tensão na qual ela está sendo submetida. O extensômetro deste estudo não permite tal ação, pois a força imprimida nas extremidades das régua não são conhecidas.

Assim, para um estudo completo torna-se necessário o uso de mais um sensor capaz de medir as cargas na qual a estrutura está sendo submetida e um software para converter os valores de deformação fornecidos pelo Arduino em valores reais, com medidas em comprimento. Nota-se que o extensômetro usado no trabalho possui um preço muito inferior aos encontrados no mercado, embora o extensômetro estudado não tenha a mesma capacidade e precisão dos encontrados no mercado. Porém, com o aprimoramento e uso de mais um sensor para o cálculo de força, o extensômetro deste estudo traria resultados satisfatório e seu preço ainda seria inferior aos encontrados no mercado. Dessa forma, esse tipo de extensômetro torna-se atrativo para análise estrutural de construções públicas, como escolas, quadras esportivas e prefeituras, pois seu baixo custo contribui na redução dos gastos públicos. O uso desse tipo de equipamento ainda pode ser aprimorado. Os valores de deformação medido pelo extensômetro podem ser enviados, através de sinal Wi-Fi, para um banco de dados. Dessa forma há redução de gastos, pois elimina-se o uso de cabos, e os dados armazenados podem servir para estudos no futuro.

## REFERÊNCIAS

- Cardoso, C.,S., Chahub, E., Guimarães, J., M.,S; Branco, A.,M.,N., Oliveira, T.,S., Pereira, C., G.,A., Santos., K.,S. Extensômetros elétricos de resistência: definições e aplicações na construção civil. Revista ENGENHARIA, São Paulo, 2017, v18, p. 80-83. Disponível em: <[http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao\\_635/635\\_mat\\_civil\\_635.pdf](http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao_635/635_mat_civil_635.pdf)>. Acesso em: 21/10/2019.
- Gregorius, M.,R. A Administração Pública e suas funções. Disponível em: <<https://marciorosni.jusbrasil.com.br/artigos/195654350/administracao-publica-e-suas-funcoes>>. Acesso em: 10/12/2019.
- Jacinto, A.,G., A., Frota, N.,C.,S., Pimentel, L.,L., Branquinho., O.,C., Silva, J.,B.,L.,P. Desenvolvimento de sistema de baixo custo para monitoramento de integridade estrutural. Rio de Janeiro, 2019, Anais. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-70762019000400346&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-70762019000400346&script=sci_arttext)>.
- JÚNIOR, Antonio; PERTENCE, Antônio. Extensômetros em Engenharia Civil: Teoria e aplicações. Construindo, Belo Horizonte, v. 2, p. 24-26, 2010. 21/10/2019.
- Omega TM. Extensômetros. Disponível em: <<https://br.omega.com/guides/straingages.html>>. Acesso: 10/12/2019.
- SILVA, João Batista Lamari Palma. Desenvolvimento de sistema para monitoramento de estruturas com utilização da plataforma Arduino / João Batista Lamari Palma e Silva. – Campinas: PUC-Campinas, 2018.
- SILVA, Wilson J. Soares; ASSIS, Wayne Santos. Monitoração estrutural e instrumentação virtual aplicados ao ensino experimental de Engenharia Civil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2012, Belém - PA. Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2012.
- Silva, R.S., Conceitos e evolução da administração pública: o desenvolvimento do papel administrativo, Santa Cruz do Sul-RS, 2017. Disponível em <[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:E\\_dbPEi17NIJ:https://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/sidr/article/download/16678/4429+&cd=1&hl=pt->](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:E_dbPEi17NIJ:https://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/sidr/article/download/16678/4429+&cd=1&hl=pt->)>. Acesso em: 11/12/2019..

\*\*\*\*\*