



O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP

THE USAGE OF EXTENSOMETRY TO MEASURE TENSIONS IN MECHANICAL STRUCTURES – CASE STUDY IN AN INDUSTRY AT ARARAQUARA-SP REGION

EL USO DE LA EXTENSOMETRÍA PARA MEDIR TENSIONES EN ESTRUCTURAS MECÁNICAS – CASO DE ESTUDIO EN UNA INDUSTRIA EN LA REGIÓN DE ARARAQUARA-SP

Matheus Freire de Souza¹, Danilo Carlos Rosseto Minhoni², Fabiana Florian³

<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i11.2233>

PUBLICADO: 11/2022

RESUMO

Os extensômetros são transdutores usados para medir deformações mecânicas em um corpo de prova. Este sensor é um bipolo que possui uma resistência nominal conhecida, e é colado sobre o corpo de prova, e quando esse corpo de prova sofre alguma deformação mecânica, a sua resistência é alterada, esta variação de resistência é lida e processada por um sistema de aquisição de dados, fornecendo um dado real e com boa precisão. O objetivo deste trabalho foi realizar a instrumentação de uma bomba eletro-hidráulica com sensores de deformação (*Strain Gages*). Foi realizada pesquisa bibliográfica, utilizando a técnica da Ponte de *Wheatstone* para a medição de forças axiais durante o funcionamento deste componente. Estes sensores foram submetidos a uma calibração direta, em laboratório de calibração de uma indústria na região de Araraquara-SP, com o objetivo de obter as relações de alterações de resistência com as unidades de força relacionadas às deformações da peça. Como resultado do estudo foi verificada uma boa linearidade nas curvas de calibração dos sensores em estudo e concluiu-se que a escolha do tipo de sensor e as técnicas utilizadas atingiram os objetos propostos.

PALAVRAS-CHAVE: Extensometria. *Strain Gage*. Ponte de *Wheatstone*.

ABSTRACT

Stensters are transducers used to measure mechanical deformations in a test body. This sensor is a bipole that has a known nominal resistance, and is glued on the test body, and when this test body suffers some mechanical deformation, its resistance is changed, this variation of resistance is read and processed by a data acquisition system, providing a real data and with good accuracy. The objective of this work was to perform the instrumentation of an electro-hydraulic pump with strain sensors (Strain Gages). A bibliographic research was carried out, using the Wheatstone Bridge technique to measure axial forces during the operation of this component. These sensors were submitted to a direct calibration, in a calibration laboratory of an industry in the region of Araraquara-SP, in order to obtain the relations of resistance changes with the force units related to the deformations of the part. As a result of the study, a good linearity was verified in the calibration curves of the sensors under study and it was concluded that the choice of sensor type and the techniques used reached the proposed objects.

KEYWORDS: Extensometer. *Strain-gage*. *Wheatstone bridge*.

RESUMEN

Los Stensters son transductores utilizados para medir deformaciones mecánicas en un cuerpo de prueba. Este sensor es un bipolo que tiene una resistencia nominal conocida, y está pegado en el cuerpo de prueba, y cuando este cuerpo de prueba sufre alguna deformación mecánica, se cambia su resistencia, esta variación de resistencia es leída y procesada por un sistema de adquisición de datos, proporcionando datos reales y con buena precisión. El objetivo de este trabajo fue realizar la

¹ Universidade de Araraquara - UNIARA

² Universidade de Araraquara - UNIARA

³ Universidade de Araraquara - UNIARA



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

instrumentación de una bomba electrohidráulica con sensores de deformación (galgas extensométricas). Se realizó una investigación bibliográfica, utilizando la técnica del puente de Wheatstone para medir las fuerzas axiales durante el funcionamiento de este componente. Estos sensores fueron sometidos a una calibración directa, en un laboratorio de calibración de una industria de la región de Araraquara-SP, con el fin de obtener las relaciones de cambios de resistencia con las unidades de fuerza relacionadas con las deformaciones de la pieza. Como resultado del estudio, se verificó una buena linealidad en las curvas de calibración de los sensores en estudio y se concluyó que la elección del tipo de sensor y las técnicas utilizadas llegaron a los objetos propuestos.

PALABRAS CLAVE: Extensómetro. Galga extensiométrica. Puente de Wheatstone.

INTRODUÇÃO

A Extensometria é uma técnica muito utilizada em medições e testes de deformação de materiais, esta técnica tem o objetivo de medir pequenas variações nas dimensões físicas de um corpo de prova em pontos onde há a tendência de sofrer deformações, como tensão, compressão, torção, cisalhamento e amassamento (PORTNOI, 2013).

Para realizar este tipo de medição utiliza-se sensores do tipo *Strain Gage*, estes tipos de sensores possuem diversos formatos e tamanhos e são divididos em duas categorias: O uniaxial e o roseta, onde o uniaxial mede a deformação em apenas 01 eixo enquanto o tipo roseta é capaz de medir deformações tri axiais. A escolha do tipo e tamanho do sensor a ser utilizado deve ser estudada caso a caso, levando em consideração a geometria da peça e o tipo de carga que será aplicada sobre ela.

O *Strain Gage* consiste em uma base isolante e uma resistência bem fina de fio ou de lâmina. Os sensores mais utilizados são de 120Ω e 350Ω (CHAPMAN; HALL, 1992).

Para possibilitar a leitura, os extensômetros são dispostos em um circuito elétrico chamado Ponte de *Wheatstone*, este tipo de circuito é muito utilizado para medidas precisas de resistência elétrica. A aplicação desta ponte permite transformar pequenas deformações mecânicas em variações elétricas, possibilitando assim a leitura e monitoramento.

A colagem e instalação deste tipo de sensor é uma atividade complexa e requer domínio técnico dos procedimentos de instalação deste tipo de sensor, correta preparação e limpeza da superfície. A instalação dos mesmos deve ser feita de maneira cautelosa para se obter resultados satisfatórios e condizentes com a realidade.

Foi realizada pesquisa bibliográfica em uma indústria da região de Araraquara-SP, o trabalho propõe a instrumentação em uma bomba eletro hidráulica após colapso de um rolamento interno ocasionando uma falha geral do componente e também a falha dos sistemas adjacentes conectados ao sistema.

Para diagnosticar a causa do problema, foi solicitado a instalação de sensores na carcaça desta bomba com a finalidade de medir as cargas axiais.

Com base em informações do fabricante e análise do mapa de cargas do componente, foi possível analisar os pontos de maiores tensões mecânicas e pressupõe-se que o uso de duas pontes



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

de *Wheatstone* conectadas em série permitiu uma melhor sensibilidade na medição, uma vez que as cargas sofridas são consideradas muito baixas (máximo de 50 quilogramas).

Após a instalação dos sensores, o componente foi submetido a calibração laboratorial com a finalidade de correlacionar a unidade de força (Kgf) com o *output* da ponte de *Wheatstone* (mV).

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 RELAÇÃO TENSÃO-DEFORMAÇÃO (LEI DE HOOKE)

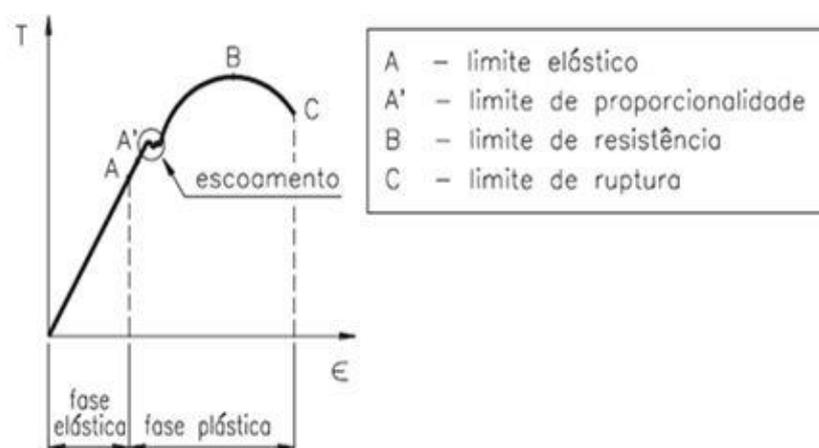
Quando uma peça de um determinado material é tracionada, a força aplicada é proporcional à deformação causada na região elástica, mantendo assim uma relação constante entre a força aplicada e a quantidade de deformação.

De acordo com os estudos de resistência dos materiais, todos os materiais possuem a tendência de se alongar quando tracionados e de encolher quando comprimidos (ANDOLFATO, 2004). Por exemplo, um corpo de prova possui um comprimento original l , suponha que esse material seja tracionado, e o alongamento referente a essa tração seja Δl , a relação de alongamento $\Delta l/l$ é chamada deformação e não possui nenhuma dimensão. A equação 1 mostra a fórmula para o cálculo de deformação.

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

A curva tensão-deformação é uma descrição gráfica do comportamento de deformação de um material sob carga de tração uniaxial. A curva é obtida no chamado ensaio de tração.

Figura 1 - Curva de tensão- deformação



Fonte: ANDOLFATO, CAMACHO e BRITO, 2004



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

A Figura 1 mostra a curva de comportamento de um corpo de prova relacionada ao aumento de uma tensão aplicada (T) e a deformação (ϵ) resultante. Na fase elástica, o material tem a capacidade voltar a sua forma original quando as cargas são removidas sobre ele, porém, caso se mantenha o aumento tensão aplicada, o material atingirá o limite de escoamento, que é o ponto onde é produzido um alongamento do material sem que varie a carga aplicada, atingindo assim a fase plástica, onde o material perde a sua capacidade voltar a forma original, gerando deformações irreversíveis. Neste estudo de caso, as cargas aplicadas durante a calibração dos *Strain Gage* respeitarão o limite da fase elástica da peça, assim como os limites das grades resistivas dos sensores.

1.2 SENSORES DE DEFORMAÇÃO (*STRAIN GAGE*)

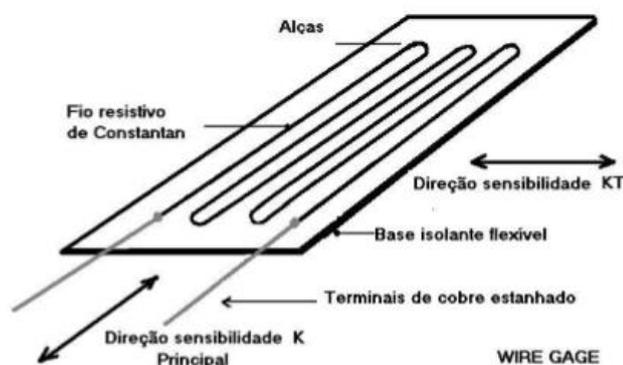
Segundo CHAPMAN & HALL, (1992, p. 1) [...] Strain gage é um componente fisicamente simples, que pode ser facilmente aplicado de forma direta para medições elementares de deformações superficiais. [...]

As principais características deste tipo de sensor são:

- Excelente resposta aos fenômenos dinâmicos (trabalho, tração, compressão);
- Alta precisão de medição;
- Pequeno tamanho e pouco peso;
- Excelente linearidade.

A figura 2 mostra o esquema de um Strain Gage:

Figura 2 - Imagem representativa de um Strain-Gage



Fonte: www.ensus.com.br



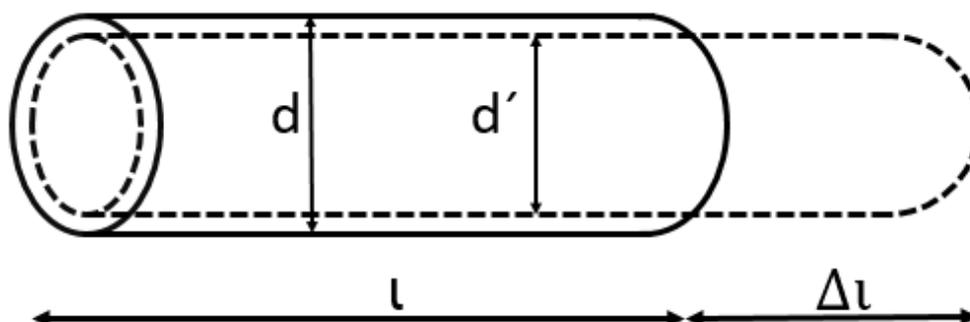
RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

1.2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO *STRAIN GAGE*

Quando a superfície do corpo de prova no qual o sensor está instalado sofre algum tipo de deformação, o fio resistivo do sensor também será conseqüentemente deformado, gerando assim uma alteração na resistência do sensor.

Figura 3 - Deformação de um fio tracionado.



Fonte: Própria

A Figura 3 mostra o comportamento de um fio submetido a tração, o comprimento l representa o comprimento inicial do fio, esse comprimento possui uma resistência R .

As linhas pontilhadas representam as dimensões do fio após a sua deformação, o comprimento agora é o $l + \Delta l$ e a resistência $R + \Delta R$.

De acordo com a Segunda Lei de Ohm, a resistência é definida conforme mostra a equação 2:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (2)$$

Onde:

R = resistência elétrica (Ω)

ρ = resistividade do material ($\Omega \cdot \text{mm}^2$)

L = comprimento do fio (mm)

A = área transversal do fio (mm^2)

Durante o seu funcionamento, o *Strain Gage* se deformará nas mesmas proporções do corpo de prova, tendo sua resistência aumentando com a peça sendo tracionada e diminuindo quando a peça sendo comprimida.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

A deformação pode ser positiva (tração) e negativa (compressão), a razão de deformação é conhecida como *strain*, devido a magnitude da deformação ser muito pequena essa deformação é frequentemente expressa por *microstrain* ($\mu\epsilon$ ou $\epsilon \cdot 10^{-6}$).

A sensibilidade de um Strain-Gage, também conhecido como *Gage Factor*, é dada pela razão entre a alteração da resistência ($\Delta R/R$) e a alteração no comprimento (deformação), ou seja, a variação da resistência relacionada a variação do comprimento do corpo de prova. As informações de *Gage Factor* são fornecidas pelo fabricante, e pode ser calculada utilizando conforme mostra a equação 3:

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} \quad (3)$$

Onde:

R = resistência elétrica (Ω)

l = comprimento do fio (m)

1.3 COEFICIENTE DE POISSON

O coeficiente de Poisson (ν) está relacionado com a magnitude de deformação gerada em uma direção perpendicular à aplicação de uma tensão. Um corpo de prova tracionado em sua direção longitudinal sofre não só um alongamento no seu sentido longitudinal, mas também uma contração no sentido transversal, relacionadas por (MEYERS; CHAWLA, 1982). A equação 4 mostra a fórmula para cálculo do coeficiente de Poisson:

$$\nu = \frac{\Delta e/e_0}{\Delta l/l_0} \quad (4)$$

Onde:

Δe = variação da dimensão transversal

e_0 = dimensão transversal inicial

Δl = variação da dimensão longitudinal

l_0 = dimensão longitudinal inicial

Para se definir o valor do coeficiente de Poisson é necessário o ensaio de tração em dispositivos de grande sensibilidade, que sejam capazes de executar medições de deformações transversais e deformações longitudinais.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

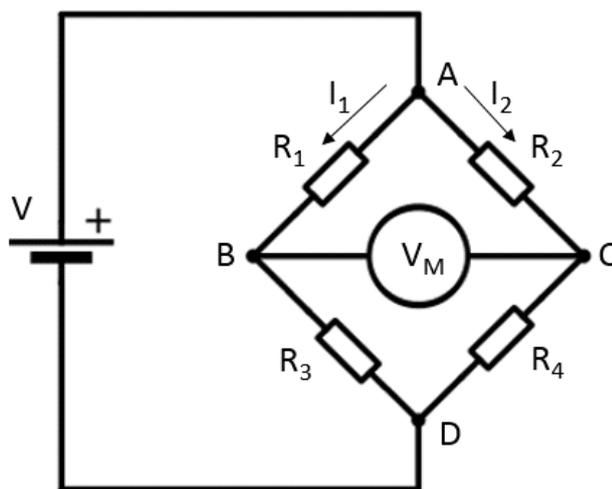
O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

1.4 PONTE DE WHEATSTONE

Ponte de *Wheatstone* é um circuito elétrico muito útil para a realização de medidas precisas de resistência elétrica (HELERBROCK, s. d.). Esse circuito é composto por quatro resistores, uma fonte de tensão e um voltímetro.

Quando o sistema estiver balanceado, haverá igualdade em cruz do produto das resistências, porém, quando o sensor sofrer alguma variação, o sistema se encontrara desbalanceado, resultando assim em uma pequena diferença de potencial (*milivolts*) na saída do circuito. A figura 4 mostra o circuito elétrico relacionado a ponte de *Wheatstone*.

Figura 4 - Ponte de Wheatstone



Fonte: www.embarcados.com.br

Para o cálculo da tensão de saída (V_s), deve-se analisar cada malha da ponte de forma separada. Considerando a primeira malha como R_1 e R_3 , a tensão no ponto de B será calculada conforme mostra a equação 5:

$$V_b = \frac{V \times R_3}{R_1 + R_3} \quad (5)$$

Já a tensão de saída no ponto C, referente a segunda malha, será calculada conforme mostra a equação 6:



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

$$V_c = \frac{V \times R_4}{R_2 + R_4} \quad (6)$$

Para se obter a tensão de saída (V_s), faz-se a diferença de ($V_b - V_c$), geralmente valores muito baixos, na ordem de milivolts (mV).

1.5 CALIBRAÇÃO

Calibração é o processo de comparação de uma quantidade ou valor desconhecido com um número modelo. A calibração verificará o instrumento em vários pontos ao longo de sua faixa e fazendo ajustes para alinhar o instrumento com o padrão, caso ele esteja fora da tolerância (ALMEIDA, 2020).

A calibração será importante nesse estudo para definir a relação do desbalanceamento da ponte de Wheatstone com a unidade de engenharia para força, através da aplicação de uma carga conhecida, gerando assim uma curva de calibração.

2 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em seis etapas, a primeira etapa consiste na apresentação do componente que foi instrumentado, a segunda etapa é a configuração da ponte de Wheatstone, a terceira etapa, a definição do modelo de sensor (*Strain Gage*) que foi utilizado, a quarta etapa, a disposição dos sensores na peça e fechamento da ponte de Wheatstone, quinta etapa, o processo de preparação de superfície e colagem dos sensores, e por fim, a sexta etapa a calibração dos sensores.

2.1 A BOMBA ELETRO-HIDRÁULICA

O componente a ser analisado, consiste em uma bomba eletro-hidráulica, responsável por fornecer energia hidráulica para atuadores que são responsáveis pelo movimento de superfícies de controle.

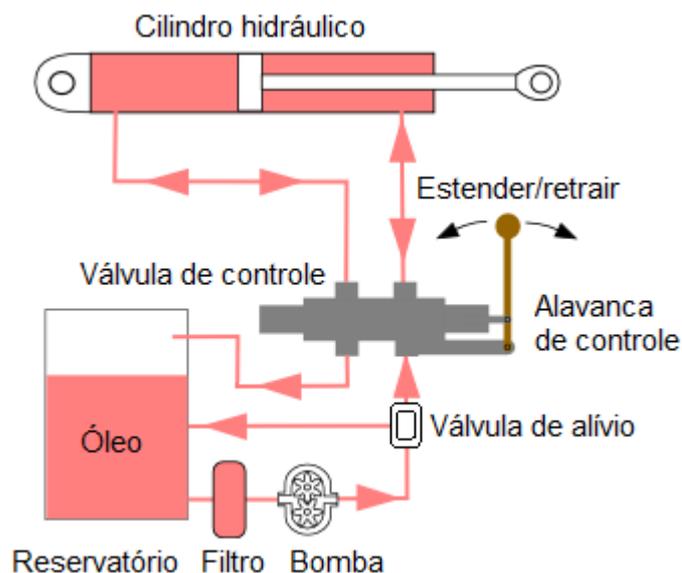
A figura 5, mostra de forma ilustrativa o funcionamento do sistema.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

Figura 5 - Representação do sistema



Fonte: Revista cultivar, 2020

Quando acionado, o motor da bomba hidráulica é energizado por geradores auxiliares, iniciando o fornecimento de pressão hidráulica, uma válvula controladora é instalada no sistema para controlar a entrega de pressão para os atuadores dos sistemas que são interligados a essa bomba.

O sistema também possui um reservatório de óleo, filtros, válvulas de alívio e tubulações.

A figura 6, mostra a bomba eletro-hidráulica.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

Figura 6 - Bomba Eletro-Hidráulica



Fonte: Própria

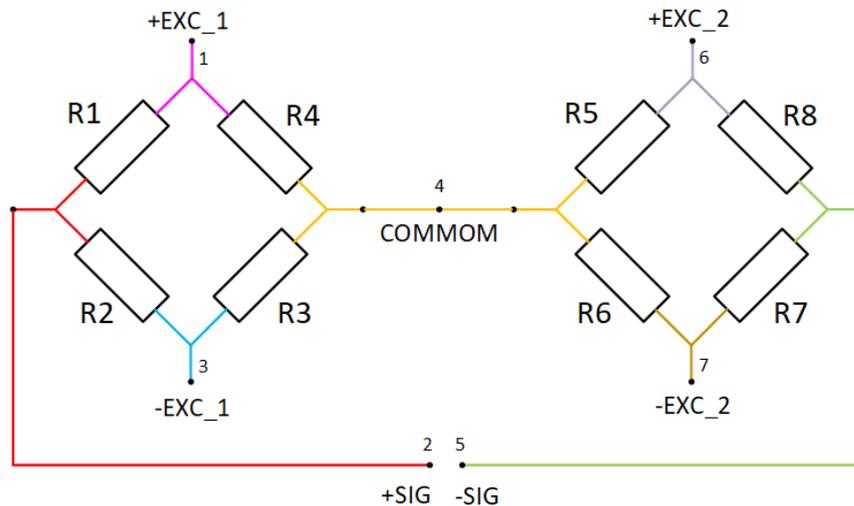
2.2 CONFIGURAÇÃO DA PONTE DE WHEATSTONE

Para cada sensor de carga instalado, foi implementado duas pontes de Wheatstone interligadas em série, com o objetivo de melhorar a sensibilidade da medição, tendo em vista que, de acordo com dados fornecidos pelo fabricante, a peça sofre uma carga muito baixa, em torno de 50kg, já considerando um fator de segurança. Cada ponte, possui uma sensibilidade de 490 microstrains, sendo assim, com as duas pontes em série, o sistema terá uma sensibilidade de 980 microstrains.

Um outro fator relevante que foi levado em consideração na escolha do tipo de ponte a ser utilizado foi a variação térmica. A variação térmica pode afetar diretamente a medição realizada pelo *Strain Gage*, tendo em vista que tanto o corpo de prova quanto a ponte resistiva podem retrair ou expandir de acordo com as mudanças de temperatura. Para corrigir este problema, foi utilizado a instrumentação do tipo ponte completa, que elimina automaticamente este efeito.

A figura 7, mostra o diagrama elétrico de como deve ser a ponte de Wheatstone de cada sensor. O diagrama elétrico foi desenvolvido utilizando a ferramenta Microsoft Visio.

Figura 7 - Diagrama ponte de Wheatstone



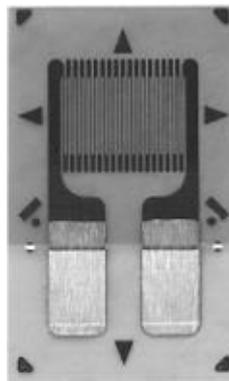
Fonte: Própria

2.3 DEFINIÇÃO DO MODELO DO SENSOR

De acordo com a sensibilidade desejada e a geometria da bomba-eleto hidráulica a ser instrumentada, foi definido como o melhor sensor a ser utilizado seria o sensor PN: CEA-13-062UW-350 da fabricante *Vishay*.

Conforme mostra a Figura 8, para cada sensor de carga foram utilizadas duas pontes de Wheatstone ligadas em série usando 8 *Strain Gages* cada. Ao todo foram instalados dois sensores de cargas, sendo necessário então um total de 16 *Strain Gages*. A figura 8 mostra o modelo de *Strain Gage* utilizado:

Figura 8 - Strain Gage utilizado:



Fonte: www.vishaypg.com



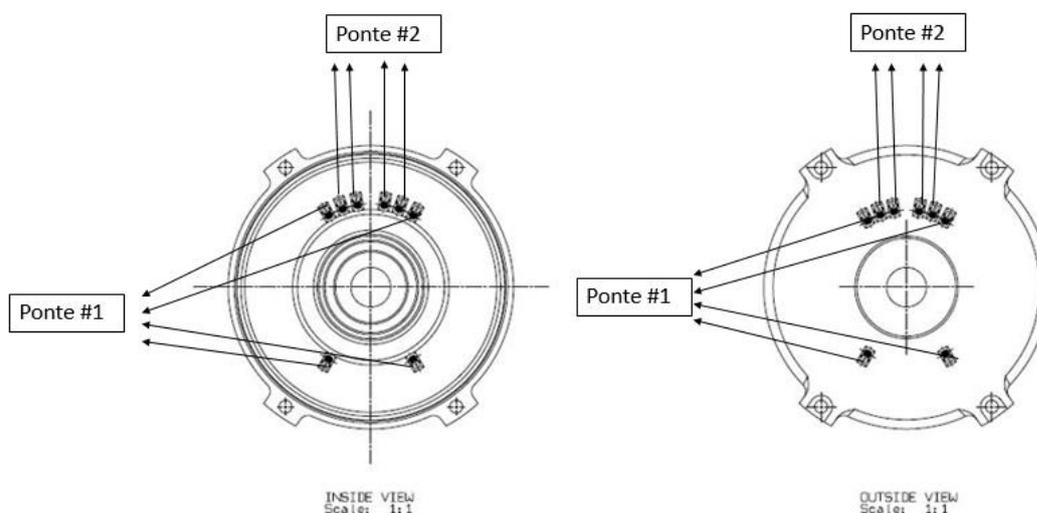
RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

2.4 FECHAMENTO DAS PONTES

Como dito mencionado no tópico 3.2, foi utilizado a instrumentação do tipo ponte completa, utilizando os quatro elementos resistivos como elementos ativos, ou seja, as quatro resistências da ponte serão as grades de *Strain Gage* que irão variar os seus valores de resistência de acordo com a deformação da peça. A Figura 9 mostra o posicionamento dos sensores na carcaça bomba.

Figura 9 - Posicionamento dos sensores



Fonte: Própria

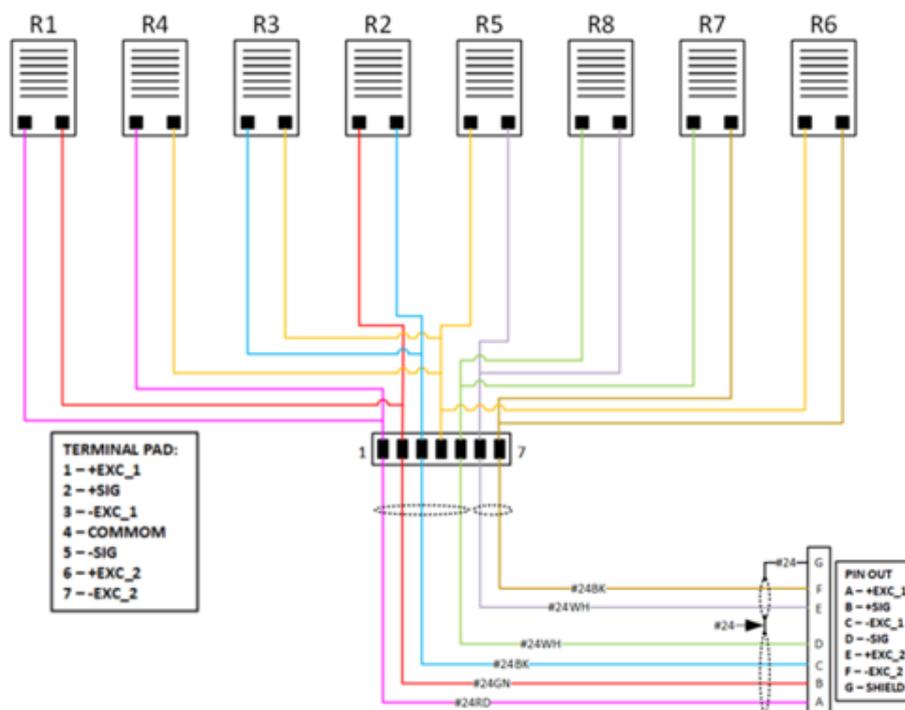
A figura 10, mostra o diagrama elétrico das ligações dos sensores, onde é disposto os elementos resistivos de cada sensor, os elementos resistivos são interligados até a barrete (itens 1 e 7) que é a interface onde é soldado os cabos de alimentação e aquisição de dados. O diagrama elétrico foi desenvolvido utilizando a ferramenta Microsoft Visio.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

Figura 10 - Diagrama elétrico



Fonte: Própria

2.5 PROCESSO DE INSTALAÇÃO DOS SENSORES

A correta leitura dos extensômetros está diretamente ligada à perfeita colagem dos *Strain Gages*. Como o processo de colagem é muito delicado, é importante seguir todas as etapas do processo, pois qualquer imperfeição ocorrida durante a fixação do gage poderá gerar interpretações errôneas quanto as reais deformações sofridas pela peça. As etapas do processo de colagem são: preparação da superfície, colagem do *Strain Gage*, soldagem dos terminais e proteção superficial.

A etapa de preparação da superfície consiste na correta limpeza e desengraxamento, lixamento físico e químico da superfície, marcação de posicionamento do correto local onde os sensores serão instalados e a neutralização da superfície.

Após a preparação da superfície, utilizando uma pinça, foi posicionado o *Strain Gage* com auxílio de uma fita celofane utilizando as marcações executadas anteriormente como referência. Em seguida, cuidadosamente, foi levantado parcialmente a fita e aplicado a cola sobre a toda a superfície do Gage. Para garantir que a cola tenha sido espalhada de forma homogênea, foi passado firmemente uma gaze dobrada sobre a superfície do sensor. A seguir, foi pressionado o *Strain Gage* utilizando o polegar por um minuto. Após 5 minutos, foi removido a fita celofane, inspecionado a



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

colagem do *Gage* e verificado que não havia irregularidades como bolhas, ou descolamentos laterais por exemplo.

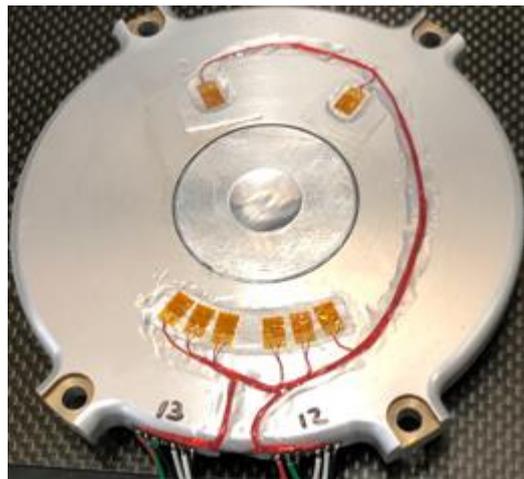
Posteriormente, foi realizado a soldagem dos fios de interligação, que são os fios utilizados para o fechamento da ponte de *Wheatstone*. Posteriormente foi efetuado a soldagem dos cabos de saída do condicionador, que são os fios que interligam a barrete ao cartão condicionador.

Após a soldagem foi efetuado uma inspeção para certificar a correta instalação dos fios, efetuado uma limpeza na área envolvida no processo de soldagem para remover qualquer tipo impureza.

Toda instrumentação realizada com *Strain Gage* deve ser protegida contra umidade, corrosão e possíveis impactos, para isso, foram utilizados vernizes e silicone conforme instruções do fabricante.

A figura 11 mostra o processo de colagem finalizado.

Figura 11 - Colagem finalizada



Fonte: Própria

2.6 CALIBRAÇÃO DOS SENSORES.

A fim de garantir a correta relação da saída em (mV) das pontes resistivas em uma unidade de força (N), os sensores foram submetidos a uma calibração em um laboratório certificado e que atende a NBR ISO/IEC 17025:2005. Utilizando equipamento que aplica valores conhecidos de força, foram aplicados 15 pontos de calibração variando 0 a 700 Newtons no sentido de tração. Para cada ponto de medição foram realizadas 12 leituras, 6 durante a aplicação da força, e 6 durante o alívio da força, com o objetivo de diminuir os desvios de medição através de tratamento estatístico desses dados e também eliminar erros de leitura como o erro de histerese.

O erro de histerese é a diferença máxima entre as indicações crescentes e decrescentes, em qualquer escala, em uma calibração (SCHNEIDER, 2019).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

3 RESULTADOS

Para possibilitar a leitura das variações de carga do corpo de prova, foi utilizado uma fonte de tensão para alimentar os sensores com uma tensão de diferencial de 5 Volts, ou seja, -2,5V e +2,5 V, e conectado um multímetro na saída dos deles para medir os valores de tração em mV. Com a peça em repouso e livre de quaisquer ações externas, foram verificados os valores de offset de -5,166 mV e 4,829mV, com esses valores, pode-se dizer que as pontes estão em desequilíbrio mesmo em repouso, este desequilíbrio é considerado normal, e acontece devido ao processo de colagem dos sensores.

Após coletado os valores de *offset* de cada sensor, a bomba eletro-hidráulica foi montada no equipamento de calibração, e foi verificado uma curva com uma boa linearidade conforme aplicação das forças. A curva de linearidade de uma calibração, é determinada pelo ensaio de amostras que possuem características parecidas e dentro da faixa de trabalho pretendida.

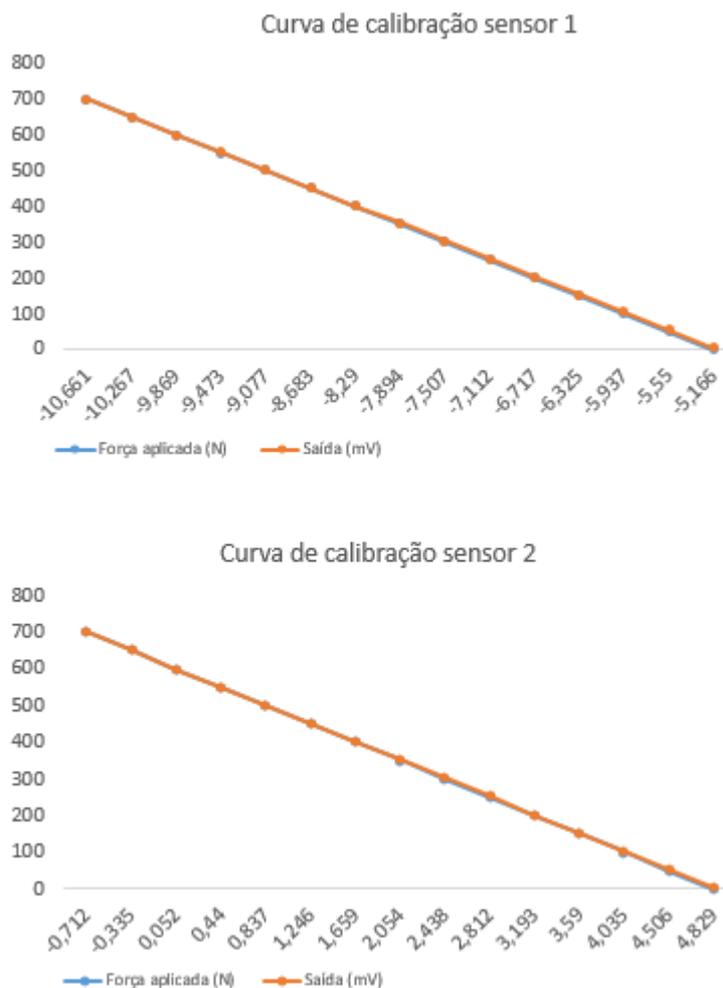
A figura 12 mostra os resultados das calibrações dos dois sensores, e a curva de correlação da força aplicada dada em (N) no eixo Y, e a saída da em (mV) no eixo X.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

Figura 12 - Curva de calibração dos sensores



Fonte: Própria

A incerteza estimada para este resultado de medição foi calculada para um nível de confiança de 95%. Para esta estimativa, o laboratório de calibração considerou o desvio estatístico de medição, incerteza do método de calibração, incerteza dos componentes e equipamentos utilizados no processo de medição de toda a cadeia de medição.

Os gráficos das curvas de calibração foram gerados com os valores coletados durante o processo de calibração, conforme tabelas 1 e 2:



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

Tabela 1 - Dados de calibração do sensor 1

Sensor 1		
Ponto de medição	Força aplicada (N)	Saída (mV)
1	700	-10,661
2	650	-10,267
3	600	-9,869
4	550	-9,473
5	500	-9,077
6	450	-8,683
7	400	-8,29
8	350	-7,894
9	300	-7,507
10	250	-7,112
11	200	-6,717
12	150	-6,325
13	100	-5,937
14	50	-5,55
15	0	-5,166

Fonte: Própria

Tabela 2 - Dados de calibração do sensor 2

Sensor 2		
Ponto de medição	Força aplicada (N)	Saída (mV)
1	700	-0,712
2	650	-0,335
3	600	0,052
4	550	0,44
5	500	0,837
6	450	1,246
7	400	1,659
8	350	2,054
9	300	2,438
10	250	2,812
11	200	3,193
12	150	3,59
13	100	4,035
14	50	4,506
15	0	4,829

Fonte: Própria



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

A linearidade da curva de calibração mostrou que os resultados obtidos foram satisfatórios, e que os processos de preparação da superfície, colagem dos sensores e proteção foram executados com êxito.

Certificados de calibração foram emitidos pelo laboratório de calibração pertencente a indústria em estudo para garantir que todos os processos de calibração foram executados conforme os requisitos das normas NBR ISO/IEC 17025:2005. A figura 13 mostra detalhes do resultado final.

Figura 13- Detalhes do resultado final



Fonte: Própria

4 CONCLUSÃO

Durante testes em bancada e após a calibração dos sensores, foi verificado que os sensores se comportaram conforme esperado, houve uma boa linearidade na curva de calibração, o que garante uma boa precisão nas medições quando a peça for submetida as forças axiais durante a sua operação real.

Sendo assim, conclui-se o objetivo foi atingido e que a proposta inicial, que foi utilizar a sensores de *Strain Gage* para medição de deformações mecânicas foi cumprida satisfatoriamente, e que as técnicas utilizadas desde a escolha dos sensores, processos de instalação, testes e validação foram executadas de forma assertiva.

Ressalta-se que apesar dos sensores *Strain Gage* possuírem uma alta complexidade na instalação e manuseio, esse tipo de sensor é considerado confiável, leve e com valor acessível ao mercado.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Lucas. **O que é calibração**. São Paulo: Nexxto, 2020. Disponível em: <https://nexxto.com/calibracao-e-verificacao-afinal-qual-a-diferenca-entre>



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

O USO DA EXTENSOMETRIA PARA MEDIÇÃO DE TENSÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS – ESTUDO DE CASO
EM UMA INDÚSTRIA NA REGIÃO DE ARARAQUARA- SP
Matheus Freire de Souza, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

[elas/#:~:text=Uma%20empresa%20de%20calibra%C3%A7%C3%A3o%20verificar%C3%A1,feitas%20usando%20um%20padr%C3%A3o%20rastre%C3%A1vel. Acesso em: 23 out. 2022.](#)

ANDOLFATO, Rodrigo P.; CAMACHO, Jefferson S.; BRITO, Gilberto A. de. **Extensometria Básica**. Ilha Solteira, SP: Unesp, 2004.

CIMM. **A curva tensão deformação**. São Paulo: CIMM, s. d. Disponível em: https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6537-a-curva-tensao-deformacao. Acesso em: 12 jun. 2022.

GUILHERME, José. Extensometria (Strain Gage) – O que é? Quando utilizar?. **Ensus**, 14 mar. 2016. Disponível em: <https://ensus.com.br/extensometria-strain-gauge-o-que-e-quando-utilizar/> Acesso em: 11 jun. 2022.

HANNAH, R. L. **Strain Gage Users' Handbook**. London: Chapman & Hall, 1992. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=YrNr00vhF_gC&printsec=frontcover&hl=pt-PT#v=onepage&q&f=false Acesso em: 12 jun. 2022.

HELERBROCK, Rafael. Ponte de Wheatstone. **Mundo Educação**, s. d. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ponte-wheatstone.htm> Acesso em: 11 jun. 2022.

MEYERS, M.; CHAWLA, K. **Princípios de Metalurgia Mecânica**. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda., 1982.

PORTNOI, M. **Extensometria, história, uso e aparelho**. USA: EECIS, 2013. Disponível em: <https://www.eecis.udel.edu/~portnoi/academic/academic-files/extensometria.html> Acesso em: 04 maio 2022.

SCHNEIDER, Fabiano. **Medição de pressão e a metrologia**. [S. l.]: Novus, 2019. Disponível em: <https://cdn.novusautomation.com/downloads/medi%C3%A7%C3%A3o%20de%20press%C3%A3o%20e%20a%20metrologia.pdf> Acesso em: 04 set. 2022.

VISHAY PRECISION GROUP, INC. General Purpose Strain Gage – Linear Pattern. **Vishay Precision Group, Inc**, 23 aug. 2018 Disponível em: <http://www.vishaypg.com/docs/11189/062uw.pdf>. Acesso em: 23 out. 2022.