

A close-up photograph of a white industrial robotic arm with a blue cable, positioned over a workbench. On the workbench, there is a red cylindrical object. The background is a bright, slightly blurred industrial setting.

**JAQUELINE FONSECA RODRIGUES  
(ORGANIZADORA)**

**ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO: VETOR  
DE TRANSFORMAÇÃO  
DO BRASIL**

**Atena**  
Editora

Ano 2019

**Jaqueline Fonseca Rodrigues**

(Organizadora)

# Engenharia de Produção: Vetor de Transformação do Brasil

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Karine de Lima  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	Engenharia de produção [recurso eletrônico] : vetor de transformação do Brasil / Organizadora Jaqueline Fonseca Rodrigues. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-611-9 DOI 10.22533/at.ed.119190409  1. Engenharia de produção – Pesquisa – Brasil. 2. Gestão de qualidade. I. Rodrigues, Jaqueline Fonseca.  CDD 658.5
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

Antes de efetuar a apresentação do volume em questão, deve-se considerar que a **Engenharia de Produção** se dedica à concepção, melhoria e implementação de sistemas que envolvem pessoas, materiais, informações, equipamentos, energia e maiores conhecimentos e habilidades dentro de uma linha de produção.

O primeiro volume, com 18 capítulos, é constituído com estudos contemporâneos relacionados aos processos de **Engenharia de Produção**, além das áreas de **Eficiência Energética**; **Sistema de Gestão da Qualidade**; **Gestão de Projetos**; **Ergonomia** e tomada de decisão através de pesquisa operacional.

Tanto a Engenharia de Produção, como as pesquisas correlatas mostram a evolução das ferramentas aplicadas no contexto acadêmico e empresarial. Algumas delas, provenientes de estudos científicos, baseiam os processos de tomadas de decisão e gestão estratégica dos recursos utilizados na produção.

Além disso, os estudos científicos sobre o desenvolvimento acadêmico em **Engenharia de Produção** mostram novos direcionamentos para os estudantes, quanto à sua formação e inserção no mercado de trabalho.

Diante dos contextos apresentados, o objetivo deste livro é a condensação de extraordinários estudos envolvendo a sociedade e o setor produtivo de forma conjunta através de ferramentas que transformam a **Engenharia de Produção**, o **Vetor de Transformação do Brasil**.

A seleção efetuada inclui as mais diversas regiões do país e aborda tanto questões de regionalidade quanto fatores de desigualdade promovidas pelo setor produtivo.

Deve-se destacar que os locais escolhidos para as pesquisas apresentadas, são os mais abrangentes, o que promove um olhar diferenciado na ótica da Transformação brasileira relacionada à Engenharia de Produção, ampliando os conhecimentos acerca dos temas abordados.

Finalmente, esta coletânea visa colaborar ilimitadamente com os estudos empresariais, sociais e científicos, referentes ao já destacado acima.

Não resta dúvidas que o leitor terá em mãos extraordinários referenciais para pesquisas, estudos e identificação de cenários produtivos através de autores de renome na área científica, que podem contribuir com o tema.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os **Agradecimentos da Organizadora** e da **Atena Editora**, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de conhecimentos e inovações, e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de **Engenharia de Produção**.

**Boa leitura!!!!**

Jaqueline Fonseca Rodrigues

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
A QUALIDADE NA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS EM UMA COOPERATIVA DE CRÉDITO E A OTIMIZAÇÃO DE SUA MENSURAÇÃO	
Murilo Sagrillo Pereira Wagner Pietrobelli Bueno Leoni Pentiado Godoy Adriano Mendonça Souza Mateus Freitas Ferreira Taís Pentiado Godoy	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1191904091</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>18</b>
APLICAÇÃO DA TEORIA DAS FILAS NO ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE ATENDIMENTO AOS USUÁRIOS DO SERVIÇO DE LAVA-CAR EM UM POSTO DE COMBUSTÍVEIS	
Jairine Polyana Gaioski Andreza Rodrigues Costa Eloise Gonçalves Shih Yung Chin	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1191904092</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>50</b>
ANÁLISE SIMPLIFICADA SOBRE A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ROTOMOLDAGEM, BASEADA NA ISO 50.001	
Silvio Cesar Ferreira da Rosa André Luiz Emmel Silva Jorge André Ribas Moraes Ítalo Rosa Policena Cassio Denis de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1191904093</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>63</b>
APLICAÇÃO DA FERRAMENTA CAPDO PARA REDUÇÃO DE PERDAS DE EMBALAGENS EM UMA FÁBRICA DE BEBIDA	
Daécio Lima Batista Gilson Freire Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1191904094</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>71</b>
APLICAÇÃO DA TEORIA DAS FILAS PARA ANÁLISE DA CAPACIDADE DE UM ESTACIONAMENTO DE UNIVERSIDADE PÚBLICA	
Shih Yung Chin Gabriel Santos Munhoz Nathália de Paiva Cristo Leite Araújo Nathana Caroline Donini Cezario	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1191904095</b>	



<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>84</b>
APLICAÇÃO DO <i>TRAVELLING SALESMAN PROBLEM</i> NA ROTEIRIZAÇÃO DAS VIATURAS DA MARINHA DO BRASIL: UMA ABORDAGEM DA TEORIA DOS GRAFOS	
Luiz Rodrigues Junior Marcos dos Santos Marcone Freitas dos Reis	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1191904096</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>94</b>
ARIMA NA PREVISÃO DO PREÇO DO AÇO NO RIO GRANDE DO SUL	
Patricia Cristiane da Cunha Xavier Leonam Vieira Hemann Adriano Mendonça Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1191904097</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>106</b>
AUTOAVALIAÇÃO DAS PRÁTICAS DE GESTÃO DA QUALIDADE: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE FABRICAÇÃO DE PLÁSTICOS	
Edimary Santana Cabral Carvalho Bento Francisco dos Santos Júnior Eduardo Ubirajara Rodrigues Batista Thuany Reis Sales Alcides Anastácio Araújo Filho Antonio Vieira Matos Neto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1191904098</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>119</b>
AVALIAÇÃO DO GRAU DE MATURIDADE EM GERENCIAMENTO DE PROJETOS NO SETOR DE PLANEJAMENTO DA EMPRESA MF TECNOLOGIA PREDIAL	
Antonio Vieira Matos Neto Bento Francisco dos Santos Júnior Alcides Anastácio Araújo Filho Adriele Santos Souza Fabiane Santos Serpa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1191904099</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>133</b>
SIMULACIÓN DE LOS MODOS DE FRECUENCIAS FUNDAMENTALES EN UN MODELO SECCIONAL REDUCIDO DE TABLERO PUENTE PARA ENSAYOS EN TÚNEL DE VIENTO	
Jorge Omar Marighetti Beatriz Angela Iturri Maximiliano Gomez	
<b>DOI 10.22533/at.ed.11919040910</b>	

**CAPÍTULO 11 ..... 147**

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS DESPESAS E CUSTOS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO SETOR DE VENDAS

Iraiane Pimentel dos Reis Passos  
Bento Francisco dos Santos Júnior  
Adriele Santos Souza  
Alcides Anastácio Araújo Filho  
Antonio Vieira Matos Neto

**DOI 10.22533/at.ed.11919040911**

**CAPÍTULO 12 ..... 160**

LEVANTAMENTO MANUAL DE CARGAS E CRITÉRIOS ERGONÔMICOS NA PALETIZAÇÃO DE GARRAFAS DE ÁGUA

Amanda Ebert Bobsin  
Natália Eloísa Sander  
Vitória Pereira Pinto  
Fernando Gonçalves Amaral

**DOI 10.22533/at.ed.11919040912**

**CAPÍTULO 13 ..... 173**

O USO DO GEOGEBRA NO CURSO DA ENGENHARIA: UM ESTUDO DE CASO FEITO COM ALUNOS DO 1º PERÍODO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Jonas da Conceição Ricardo  
Ricardo Marinho dos Santos  
Leonardo de Araújo Casanova  
Marcus Vinicius Silva de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.11919040913**

**CAPÍTULO 14 ..... 183**

O USO SIMULAÇÃO PARA A TOMADA DE DECISÃO EM AMBIENTES DE ATENDIMENTO AOS USUÁRIOS DE INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR

Leonard Barreto Moreira  
Fábio Freitas da Silva  
Andressa da Silva Duarte Silva  
João Lucas Olímpio da Silva  
Annabell Del Real Tamariz  
Aílton da Silva Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.11919040914**

**CAPÍTULO 15 ..... 194**

ORGANIZAÇÃO METROLÓGICA DA QUALIDADE: ESTUDO DE CASO NUMA EMPRESA DO RAMO AUTOMOTIVO

Júlia Ferreira Dantas  
Bento Francisco dos Santos Júnior  
Cariosvaldo Alves

**DOI 10.22533/at.ed.11919040915**



<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>208</b>
RELAÇÃO DOS GASTOS DO GOVERNO EM ASSISTÊNCIA SOCIAL COM AS VARIÁVEIS MACROECONÔMICAS BRASILEIRAS PELA ANÁLISE FATORIAL	
Viviane de Senna Adriano Mendonça Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.11919040916</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>222</b>
UMA VISÃO TÉCNICA SOBRE A MAIOR COZINHA <i>FAST FOOD</i> DO MUNDO: MCDONALD'S	
Dayse Mendes Douglas Soares Agostinho Élcio Nascimento da Silva Jéssika Alvares Coppi Arruda Gayer Julio César Shoenemann Varella Maise Rodrigues Pereira Murilo Henrique de Lima Gouvea Paulo Sérgio Campos Renan Weiber de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.11919040917</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>238</b>
UTILIZAÇÃO DO <i>SOFTWARE NCSS (NUMBER CRUNCHER STATISTICAL SYSTEM)</i> NA VERIFICAÇÃO DE TENDÊNCIAS DA ECONOMIA BRASILEIRA	
Elpidio Oscar Benitez Nara José Carlos Kasburg João Victor Kothe João Carlos Furtado Jacques Nelson Corleta Schreiber Leonel Pablo Tedesco Jones Luís Schaefer Ismael Cristofer Baierle	
<b>DOI 10.22533/at.ed.11919040918</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>254</b>
AVALIAÇÃO DOS RELATÓRIOS DE NÃO CONFORMIDADES DE UM ABATEDOURO DE AVES UTILIZANDO O CICLO PDCA	
Mario Fernando de Mello Cristina Pasqualli Eudes Vinicius dos Santos Marcos Morgental Falkembach	
<b>DOI 10.22533/at.ed.11919040919</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>266</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>267</b>

## SIMULACIÓN DE LOS MODOS DE FRECUENCIAS FUNDAMENTALES EN UN MODELO SECCIONAL REDUCIDO DE TABLERO PUENTE PARA ENSAYOS EN TÚNEL DE VIENTO

### Jorge Omar Marighetti

Laboratorio de Aerodinámica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste; jomaringha@gmail.com

### Beatriz Angela Iturri

CPA Técnico IMIT, CONICET, bea\_ang@hotmail.com

### Maximiliano Gomez

Becario CyT, Laboratorio de Aerodinámica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste; maximiliano.gomez290893@gmail.com

**RESUMEN:** Las Estructuras civiles esbeltas con bordes cortantes sometidas a cargas de viento; por su masa, elasticidad y amortiguamiento; son susceptibles de vibrar en diversos grados de libertad. Estas oscilaciones son caracterizadas por los modos y frecuencias fundamentales de vibración, donde las fuerzas inerciales generadas por el movimiento resultan de mayor magnitud que las fuerzas aerodinámicas inducidas por viento. Dichas estructuras sometidas a la acción de fuerzas fluctuantes generadas por el viento incidente; cuyo rango de frecuencias de excitación es cercano a las frecuencias fundamentales de la estructura; generan respuestas oscilantes de gran amplitud. Estos efectos destructivos se observaron en el colapso del puente Tacoma Narrows en 1940. La dificultad de obtener analíticamente respuestas

dinámicas dio origen a las técnicas de análisis a través de modelos reducidos en ensayos en túnel de viento basadas en leyes de semejanza (Teoría de Modelos).

En el presente trabajo, con el uso de programas de diseño y simulación 3D, se realiza la simulación de un modelo seccional de un tablero puente implementado en una balanza dinámica. La simulación del modelo estructural, muestran cinco formas modales, frecuencias y desplazamientos máximos. Con los resultados de la simulación, se implementará el modelo físico para estudios en túnel de viento del Laboratorio de Aerodinámica de la Facultad de Ingeniería (UNNE), del puente atirantado “Guamá”, Río Guamá, Pinar del Río, Cuba, reproduciendo la forma modal 1 y 3; desplazamiento vertical y torsión alrededor del eje longitudinal; suprimiendo los otros modos, el análisis experimental se realizara con dos grados de libertad.

**PALABRAS CLAVE:** Simulación; frecuencias fundamentales, modos de vibración; tablero de puente, leyes de semejanza.

**ABSTRACT:** Sharp-edged slender civil structures subjected to wind loads; by its mass, elasticity and damping; they are susceptible to vibrate at varying degrees of freedom. These oscillations are characterized by fundamental frequencies of vibration, where the inertial

forces generated by the movement are of greater magnitude than the aerodynamic forces induced by wind and modes. These structures under the action of fluctuating forces generated by the incident wind; the excitation frequency range is close to the fundamental frequencies of the structure; they generated large amplitude oscillating responses. These destructive effects were observed in the collapse of the bridge of Tacoma Narrows in 1940. The difficulty of obtaining, analytically dynamic answers gave rise to analysis techniques across models reduced by wind tunnel tests based on laws of similarity (model theory), currently are reliable tools.

In this work, with the use of 3D simulation and design programs, is the simulation of a sectional model of the Board bridge implemented in a dynamic balance. The simulation of the structural model, show five modal shapes, frequencies and maximum displacement. With the results of the simulation, the physical model for studies in the wind tunnel of the laboratory of aerodynamics of the Faculty of Engineering (UNNE), of the cable-stayed bridge “ Guamá “, will implement is River Guamá, Pinar del Rio, Cuba, playing the modal form 1 and 3, vertical displacement and torsion around the longitudinal axis by suppressing other modes, the experimental analysis was made with two degrees of freedom.

**KEYWORDS:** Simulation; fundamental frequencies; modes of vibration; Board of bridge; laws of similarity.

## 1 | INTRODUCCIÓN

Las cargas provocadas por el viento en estructuras civiles resulta del impacto simultáneo de masas de aire sobre la superficie, que se desplazan en un campo de velocidades de viento medias e instantáneas no uniforme. Eestructuras civiles donde una de sus dimensiones geométricas es varios ordenes de magnitud mayor respecto a otras, o bien, la menor dimensión es mucho menor a la escala integral de la turbulencia incidente, presentan un alto grado de sensibilidad dinámica a los efectos inducidos por el viento atmosférico (SCANLAN, R.H 1996). Las velocidades fluctuantes, generadas por turbulencia contenida en el viento, inducen vibraciones a la estructura diversas amplitudes y frecuencias. Las vibraciones se originan en fuerzas dinámicas provenientes de inestabilidades del escurrimiento atmosférico y alteraciones del campo de velocidad por la presencia de la estructura y topografía del sitio. La separación del flujo en la estructura, desprendimientos de vórtices (vortex shedding), martillamiento (buffeting), flujo de reataque, entre otros, son consecuencia de esas alteraciones en el campo de velocidades. códigos de viento más actualizados han gradualmente incorporado en los últimos tiempos. Un conocido accidente, que generó la profundización de estudios más profundos de los efectos dinámicos, por acción del viento, es el puente Tacoma Narrows, en los Estados Unidos (1941); este colapso ocurrió a una velocidad de viento mucho menor a la velocidad de diseño adoptada.

Edificios altos, tableros de puentes de grandes vanos, cables de trasmisión eléctrica, conductos o torres, estructuras típicas donde la evaluación de cargas de

viento son valoradas con métodos de análisis considerando los efectos dinámicos. El análisis dinámico de modelos reducidos en ensayos en túnel de viento, es un método confiable para conocer el real funcionamiento de estructuras civiles sometidas a la acción de cargas de viento no estacionarias (WILFRED E. BAKER, PETER S. WESTINW, FRANKLIN T. DODGE “Similarity methods in engineering dynamics. Theory and practice of scale modeling”1991). El análisis dimensional aplicado en estos estudios, para obtener parámetros adimensionales que permiten extrapolar los resultados al prototipo, herramienta que brindan resultados experimentales de situaciones que involucran dimensiones físicas y propiedades de los escurrimientos (P. A. BLACKMORE “A comparison of experimental methods for estimating dynamic response of buildings” 1985).

Los modelos seccionales rígidos con parámetros dinámicos estructurales reproducidos, son de bajo costo con resultados satisfactorios en el análisis de las respuestas dinámicas de estructuras, sometidos a la acción del viento atmosférico. Los modelos seccionales, aunque rígidos, son diseñados para simular las propiedades dinámicas, suspendiéndolos en la balanza dinámica de manera que permita la reproducción a escala de sus primeros modos fundamentales de vibración y frecuencia, el amortiguamiento y la masa inercial, calibrados en las magnitudes a escala de los valores del prototipo. Los requerimientos de semejanza para el estudio del comportamiento dinámico de las estructuras, deben tener en cuenta la semejanza de las características medias y turbulentas del flujo de aire, semejanza geométrica de la estructura (escala de simulación del viento natural), semejanza de las fuerzas aerodinámicas (número de Reynolds), semejanza de las fuerzas inerciales, de rigidez y fuerzas de amortiguamiento.

Actualmente existen métodos con modelos numéricos que, mediante el uso de computadoras, permiten la determinación de estados tensionales en análisis de la interacción fluido estructura. Sin embargo, el comportamiento no lineal de las estructuras, los materiales empleados, sometidos a la acción de cargas no estacionarias y aleatorias, limitan sus alcances. Las diferencias entre las hipótesis teóricas y el comportamiento real hacen necesario recurrir a ensayos estructurales, en escala real (prototipo) o con modelo reducidos en túneles de viento. Aún hoy gran parte de las investigaciones en dinámica estructural son extractadas de experimentos desarrollados en los túneles de viento, ya sea para aplicación en desarrollos analíticos y numéricos, como para la obtención de valores aplicables directamente al diseño

Herramientas utilizadas en la actualidad son los programas de diseño y simulación en 3D. Ya hace muchos años que se utilizan los ordenadores para diseñar todo tipo de objetos tanto en dos dimensiones como en tres dimensiones. Las pioneras fueron las empresas aeronáuticas, que por su poder económico y la complejidad de los productos que fabricaban eran las únicas que podían asumir los costes de desarrollo de este tipo de programas y los equipos necesarios para utilizarlos. Un ejemplo de esto es Dassault Systems, empresa que pertenece al grupo de Dassault Aviation, al desarrollar

el software de diseño e ingeniería CATIA, en los años 60. A partir de los años 70, todas las empresas de aviación y algunas empresas de automóviles adoptaron este software para el diseño de sus productos.

Los beneficios no se han limitado a la obtención de una potente herramienta de dibujo que permite mejorar la calidad y la productividad, sino que también se obtienen otros beneficios. En paralelo al desarrollo de las aplicaciones de diseño asistido por ordenador, se han desarrollado también otras de simulación, modelización y manufactura de productos. Esta evolución, ha ido paralela al aumento de la capacidad de proceso y a la facilidad de uso de los ordenadores, avanzando notablemente desde la llegada de los PCs (BALDASANO, J.M.; GASSÓ, S.; COLINA, F.G. 2001). Estas herramientas nos permiten un análisis previo y más económico del fenómeno de estudio para analizar su comportamiento y, a través de los mismos, obtener ciertos valores que luego pueden aplicarse en la construcción de modelos y en la realización de ensayos en el campo experimental.

En el presente trabajo se analiza la viabilidad de la construcción, para ensayos dinámicos en el túnel de viento, de un modelo seccional de tablero puente, estructura civil, esbelto, de bajo aspecto aerodinámico y de bordes cortantes; por medio de una balanza para ensayos dinámicos, construida específicamente, permita medir movimientos torsionales y verticales periódicos (SCANLAN, R.H, TOMKO J.J 1971). Para ello, con la ayuda de programas de simulación 3D, se diseña y simula un modelo de tablero de puente con escala geométrica 1:50, de tablero del puente atirantado “Guamá”, río Guamá, Pinar del Río, Cuba, en el que se reproducen parámetros estructurales, masa, rigidez y amortiguamiento, basados en leyes de semejanza (Teoría de Modelos) y la balanza dinámica a desarrollar para estudios dinámicos en túnel de viento del Laboratorio de Aerodinámica de la UNNE (N. J. COOK, “Determination of the model scale factor in wind tunnel simulations of the adiabatic atmospheric boundary layer” 1977/1978). Reproduciendo las propiedades dinámicas, con elementos específicos, es posible encontrar los modos y las magnitudes de las frecuencias fundamentales del modelo físico.

## 2 | DESARROLLO TEÓRICO

Análisis del modelo seccional del tablero del puente atirantado “Guamá”, escala geométrica 1:50, forma regular rectangular, cuya sección es de 0,03 m de alto por 0,35 m de cuerda y 2 m de longitud. En Figura 1 se observan la forma geométrica y ejes de referencia del modelo seccional del tablero de puente analizado.

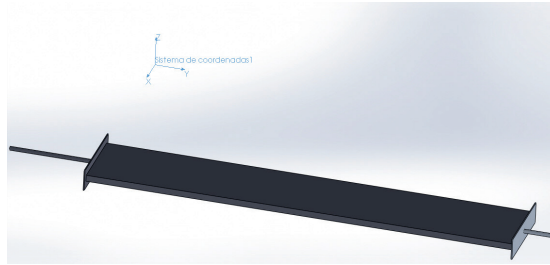
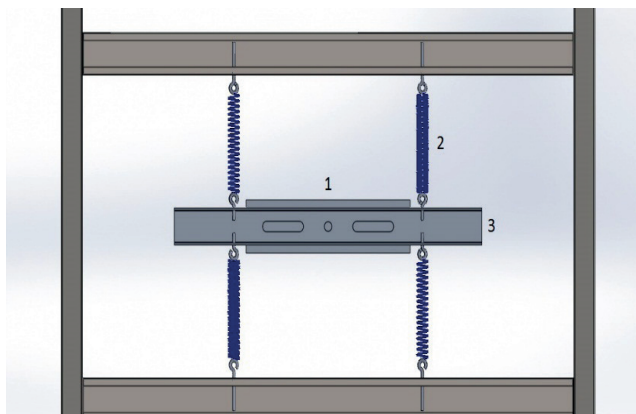


FIGURA 1- Diseño del modelo seccional de tablero puente.

Un conjunto de cuatro pares de resortes de tracción, de una constante  $k = 5000$  N/m, son implementados de acuerdo con las distancias previamente calculadas con una pretensión de 200 N como se ve graficado en la Figura 2.



- 1 - Modelo
- 2 - Apoyo elástico
- 3 - Perfil central de aluminio: conectado al modelo y a los resortes

FIGURA 2 - Esquema de sustentación del modelo con resortes

Las ecuaciones de movimiento para los dos grados de libertad (GDL) permitidos, en el eje  $z$  (sustentación) y el torsional, alrededor del eje  $y$ , en el modelo; que se analizaran en el modelo experimental son dados por las expresiones 1 y 2

$$m \ddot{z} + K_1(x - l_1\theta) + K_2(x + l_2\theta) = 0 \quad (1)$$

$$I_0 \ddot{\theta} - K_1 l_1(z - l_1\theta) + K_2 l_2(z + l_2\theta) = 0 \quad (2)$$

donde,  $m$  es la masa del modelo,  $k_1$  y  $K_2$ , son las constantes del resorte que suspenden el modelo para reproducir las frecuencias de vibración de ambos GDL,  $I_0$  es el momento inercia másico en el centro de masa del modelo,  $x$ ,  $y$  y  $z$  son las coordenadas traslacionaes y la roracional; el centro de masa del modelo coincide con el eje de rotación.

Para fines prácticos y de simulación se reduce la estructura a la sección donde está ubicado el puente, considerando a los perfiles de la estructura portante son totalmente rígidos. Esto es posible ya que la estructura que rodea el puente es rígida, no es así en el caso del perfil central en el cual está sujeto el puente, el cual es considerado principio libre de vínculos, exceptos los resortes. De esta manera, se



podrán deducir analíticamente los primeros modos de frecuencia fundamentales de vibración del modelo.

La estructura portante del modelo y considerando las características estructurales y geométricas del puente “Guama”, cuyo tablero tiene 17,3 m de cuerda, altura del borde 1,2 m (DE MIRANDA, M. (2000)), y considerando las dimensiones de la cámara de ensayos de túnel de viento, la longitud es de 2m. En la escala geométrica 1:50, las medidas del modelo seccional, 0,35 m de cuerda, 0,03 m de altura y 2 m de longitud. En la Figura 3 se ve la estructura portante y el modelo seccional de tablero puente suspendido por resortes.



FIGURA 3- Diseño de estructura para ensayo dinámico y modelo de tablero puente.

La estructura soporte del modelo seccional, está construida en la alrededor de la cámara de ensayos de la primera mesa del túnel de viento “Jacek P. Gorecki” de la Facultad de Ingeniería UNNE; éste, es un túnel de capa límite de circuito abierto, su longitud total es de 39,65 m. La cámara de ensayo tiene 2,4 m de ancho x 1,8 m de alto x 22,8 m de largo, y produce una velocidad máxima en vacío de 25 m/s [90 km/h].

## 2.1 Analisis Dimensional

Para diseñar el modelo seccional reducido son aplicadas la Teoría de los Modelos, a través de las leyes de semejanza, para una estructura dinámica; la aplicación de los métodos de similitud, en ensayos en situaciones controladas, en túnel de viento permite obtener a partir de resultados de experimentos extrapolar a valores reales (BAKER, W.E.; WESTINE, P.S.; DODGE, F.T. 1973).

Para obtener la correspondencia entre el comportamiento del modelo y del prototipo, en el estudio sobre modelos, es necesario que se cumplan ciertas condiciones de semejanza y también determinar cuáles de estas condiciones deben ser satisfechas (BLESSMANN, J. Introdução ao estudo das ações dinâmicas do vento. 1998).

1. Semejanza geométrica: requiere que el modelo y el prototipo tengan igual aspecto aerodinámico; todas las dimensiones lineales de modelo se relacionen con las dimensiones correspondientes del prototipo por medio de un factor de escala constante:

2. Semejanza cinemática: dos flujos son cinemáticamente similares cuando las velocidades en puntos correspondientes están en la misma dirección; sus vectores



velocidad y aceleración en puntos y tiempos homólogos tengan direcciones homólogas.

3. Patrones de líneas de corriente que se relacionan por un factor de escala constante, requiere que los regímenes de flujo sean los mismos en el modelo y en el prototipo.

4. Semejanza dinámica, cuando dos flujos tienen distribuciones de fuerza tales que tipos idénticos de fuerzas son paralelos y se relacionan en magnitud por medio de un factor de escala constante en todos sus puntos.

Los requerimientos para esta similitud son los más restrictivos: dos flujos deben poseer tanto similitud geométrica como cinemática para ser similares dinámicamente. (BLESSMANN, J. (1990))

Para establecer las condiciones requeridas para la similitud dinámica completa, son consideradas todas las fuerzas importantes para esta configuración de flujo, relacionadas por el mismo factor de escala entre los flujos del modelo y del prototipo; los registros medidos en un flujo de modelo pueden relacionarse cuantitativamente con las condiciones en el flujo de prototipo.

Estrictamente no se cumple con todos los requerimientos, excepto para el caso de una relación de escala 1:1. Afortunadamente, en muchas situaciones solamente dos de las fuerzas tienen la misma magnitud. El análisis dimensional y la teoría de la similitud son utilizados para analizar fenómenos complejos mediante un análisis preliminar del mismo y la elección de un sistema de parámetros adimensionales adecuado mediante el uso del teorema Pi de Buckingham.

El teorema Pi de Buckingham, con grupos adimensionales de variables gobernantes de un fenómeno físico, permiten alcanzar la similitud dinámica entre flujos geoméricamente similares; toda relación física puede ser expresada en términos de un conjunto de productos adimensionales independientes con parámetros físicos más relevantes. Probando que en un problema físico que incluye  $n$  propiedades en las cuales hay  $m$  dimensiones, estas propiedades pueden reordenarse en  $n-m$  parámetros adimensionales independientes (STREETER, V.L.; WYLIE, E.B.; BEDFORD, K.W.2000).

## 2.2 Correspondencia de escala

El modelado físico del tablero de puente es ligado a una serie de relaciones entre las características geométricas y dinámicas del prototipo y el modelo (KLAUS OLIVEIRA, M.G. 2003). Esas relaciones, denominadas factores de escala, para este modelo son:

- a. Escala de longitud: la razón entre una longitud del modelo y su correspondiente en el prototipo:

$$\lambda_L = \frac{L_m}{L_p}$$

Donde,  $\lambda_L$ , factor de escala de longitud,  $L_m$  es la longitud del modelo,  $L_p$  es la longitud del prototipo. En este trabajo se utiliza un factor de escala de 1:50.

b. Escala de masa, definida por la razón entre la masa del modelo y la del prototipo:

$$\lambda_m = \frac{m_m}{m_p}$$

Donde,  $\lambda_m$  es factor de escala de masa,  $m_m$ , masa del modelo y  $m_p$ , masa del prototipo.

c. Escala de momento de inercia de masa, por unidad de longitud es:

$$\lambda_{Im} = \lambda_\rho \cdot \lambda_L^5$$

Donde,  $\lambda_{Im}$  es el factor de escala de momento de inercia de masa,  $\lambda_\rho$  es el factor de escala de masa específica, definido como el cociente entre la masa específica del modelo y del prototipo.

d. Escala de frecuencia, dado por la razón entre la frecuencia del modelo y la frecuencia del prototipo:

$$\lambda_f = \frac{f_m}{f_p}$$

Donde,  $\lambda_f$  es el factor de escala de frecuencia,  $f_m$  es de frecuencia de modelo,  $f_p$  es la frecuencia del prototipo.

La frecuencia del modelo depende del momento de inercia de masa y de la constante elástica de los resortes utilizados. Resortes más rígidos determinaran frecuencias más altas. El modelo tiene un factor de frecuencia del modelo es de  $\lambda_T = 50/3 = 16,66$

e. Escala de tiempo, dado simplemente por el inverso de la escala de frecuencia:

$$\lambda_T = \frac{1}{\lambda_f}$$

Donde:,  $\lambda_T$  es el factor de escala de tiempo; el utilizado es de  $\lambda_T = 3/50$

f. Escala de velocidad, razón entre la velocidad en el modelo y la velocidad en el prototipo, deducido,

$$\lambda_v = \frac{V_m}{V_p} = \frac{\frac{L_m}{t_m}}{\frac{L_p}{t_p}} = \frac{\lambda_L}{\lambda_T} = \lambda_L \cdot \lambda_f$$

Donde,  $\lambda_v$  es el factor de escala de velocidad,  $V_m$  es la velocidad en el modelo,  $V_p$  es la velocidad en el prototipo,  $t_m$  es el tiempo en el modelo y  $t_p$  es el tiempo en el prototipo. El factor de escala de velocidad utilizado es 1/3

Las semejanzas estructurales del tablero del puente, cumple igualdad de los siguientes parámetros adimensionales entre el modelo y el prototipo:

a- Elasticidad, razón entre la fuerza elástica de la estructura y la fuerza de inercia del aire,  $E/\rho \cdot V^2$ , donde E es el módulo de deformación longitudinal del material,  $\rho$ , es la densidad del aire y V la velocidad de viento.

b- Momento de Inercia, considerado como la razón entre la fuerzas de inercia de la estructura y del aire:  $\rho_e / \rho$ , donde  $\rho_e$  es la masa específica de la estructura por unidad de longitud.

c- Gravitacional (número de Froude), la razón entre la fuerza de inercia del aire y las fuerzas gravitacionales:  $V^2/g D$ ; donde, g, es la aceleración gravitatoria, D, una dimensión característica.

d- Viscosidad (número de Reynolds), razón entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas debidas al aire:  $V D/u$ , donde u es la viscosidad cinemática del aire.

e- Amortiguamiento estructural, razón entre la energía disipada por ciclo y la energía total de la oscilación,  $\zeta$ . Se asume, en este trabajo, por ser frecuencias naturales, como amortiguamiento nulo.

Teniendo en cuenta las propiedades dinámicas del modelo que se detallan en la Tabla 1, así como la rigidez del modelo se calculan las dimensiones de los apoyos elásticos, que se colocaran en el exterior del túnel, que permitan un mayor control de las características dinámicas del mismo.

	Prototipo	Modelo
$F_n$ (frecuencia de sustentación)	0,424 Hz	$\simeq 7$ Hz
$F_o$ (frecuencia de torsión)	0,792 Hz	$\simeq 13,2$ Hz
$F_o/F_n$	1,87	1,89
m (masa por unidad de longitud)	26500 Kg/m	21,2 kg/m
I (momento de inercia por longitud)	992500 Kgm <sup>2</sup> /m	0,318 Kgm <sup>2</sup> /m

TABLA 1 - Propiedades dinámicas del prototipo escaladas en el modelo seccional.

### 2.3 Simulación dinámica

Después de establecer las sujeciones, y determinar un mallado solido basado en curvatura con un tamaño máximo de elementos de 40 mm y en tamaño mínimo de 5 mm; teniendo en cuenta el tamaño mínimo de los elementos utilizados en la simulación, como se puede ver representado en la Figura 3 donde se ve el modelo seccional, el perfil central, los perfiles rígidos (de los cuales se suspenderá el mismo mediante los apoyos elásticos) cubiertos por la malla definida.

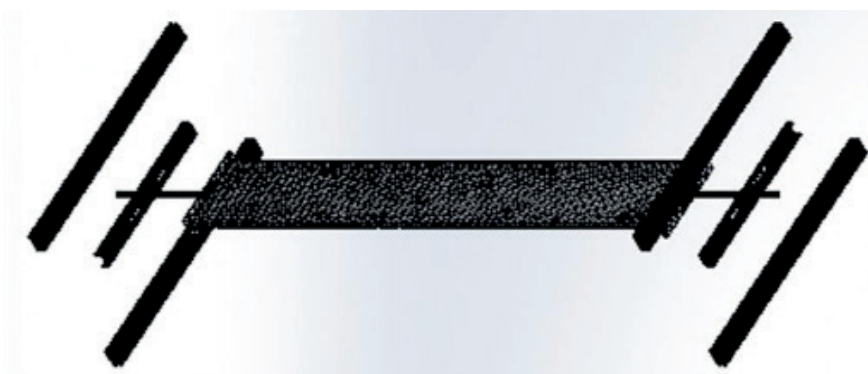


FIGURA 3 – Representación de la malla utilizada

La calidad del mallado es de elementos cuadráticos de alto orden, otras características se enumeran en la Tabla 2, una vez establecidos estos parámetros se procede a ejecutar la simulación.

Número total de nodos	418042
Número total de elementos	214392
Cociente máximo de aspecto	63.461
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	24.6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	2.74
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0

### 3 | RESULTADOS DE ESTUDIOS

Considerando un modelo de una masa de 21,3205 kg y una inercia  $I$  (momento de inercia por longitud) = 0,3123 kgm<sup>2</sup>/m, estos valores considerando el modelo seccional de tablero puente y los perfiles centrales como una sola estructura, observamos 5 modos de frecuencias para la misma y los valores correspondientes que se ven en la Tabla 3.

Modos de frecuencia	Rad/seg	Hz	Seg.
1	36,369	5,7883	0,17276
2	69,515	11,064	0,090386
3	82,15	13,075	0,076484
4	111,46	17,74	0,056371
5	208,41	33,169	0,030149

TABLA 3 - Lista de modos

Si reducimos los valores de masa e inercia a los calculados analíticamente ( $m = 20,0846$  kg,  $I$  (momento de inercia por longitud) = 0, 2462); y aplicamos un nuevo mallado cuyos detalles vemos en la Tabla 4 y realizamos una nueva simulación, obtenemos los valores de frecuencia que se observan en la Tabla 5.

Número total de nodos	404169
Número total de elementos	206436
Cociente máximo de aspecto	69.396
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	20.8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	3.14
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0

TABLA 4 - Información de malla – Detalles

Modos de frecuencias	Rad/seg	Hertz	Segundos
1	37,119	5,9077	0,16927
2	72,141	11,482	0,087096
3	83,805	13,338	0,074974
4	101,6	16,171	0,061841
5	192,7	30,67	0,032605

TABLA 5 - Lista de modos

Los modos fundamentales, se ven en las Figuras 4, 5, 6, 7 y 8; los cuales no muestran una gran variación entre las dos simulaciones.

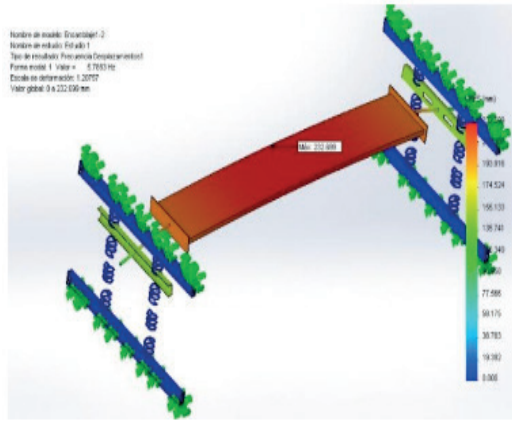


FIGURA 4– Forma Modal 1

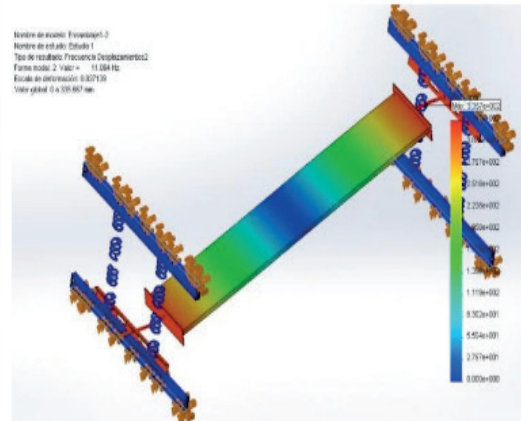


FIGURA 5 – Forma Modal 2

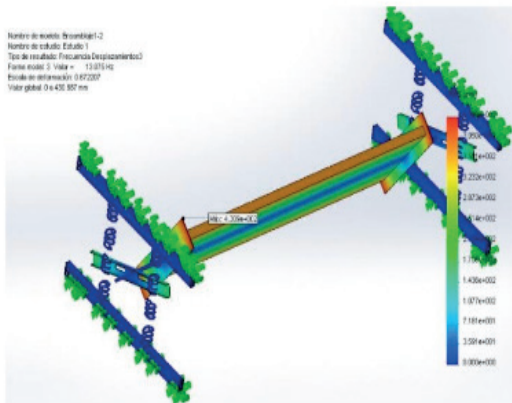


FIGURA 6 – Forma Modal 3

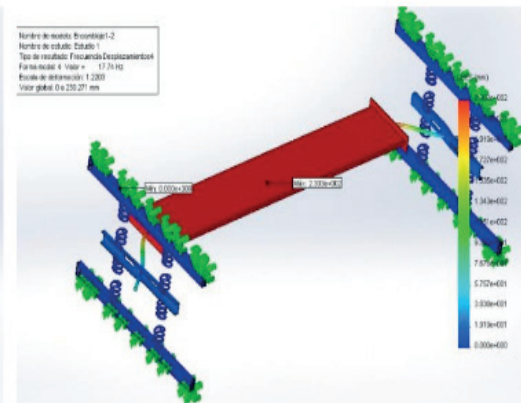


FIGURA 7 – Forma Modal 4

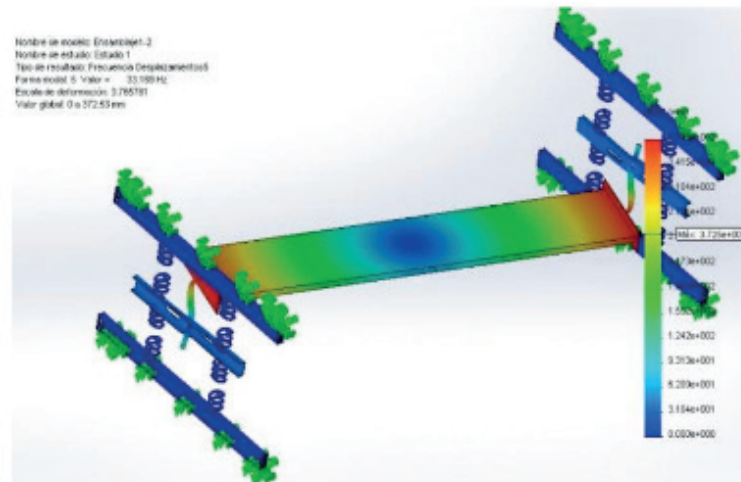


FIGURA 8 – Forma Modal 5

Los valores en frecuencia, masa e inercia de la primera simulación generan determinados desplazamientos máximos como se ven en la Figura 9, para cada modo:

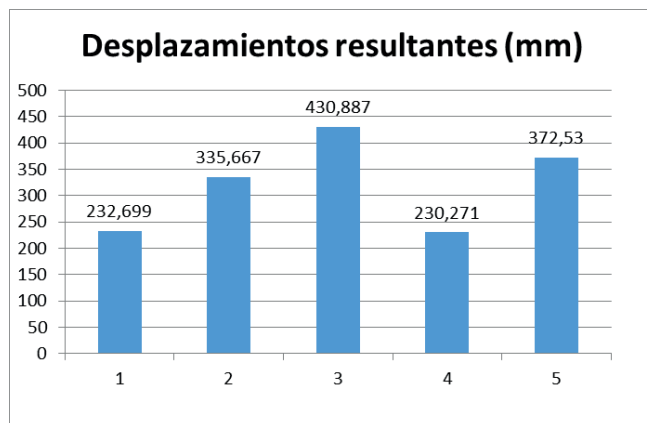


FIGURA 9 – Desplazamientos resultantes

## CONCLUSIONES

Analizando los datos obtenidos en la primer simulación se puede notar que si bien la masa y la inercia analizadas se asemejan a las calculadas analíticamente las frecuencias en los modos 1 y 3, que son lo que nos interesan para nuestro trabajo, difieren a los calculados; aunque su variación es mínima, en particular la frecuencia de torsión. Se puede aproximar más los valores de frecuencia de desplazamiento vertical y torsión (modos 1 y 3) a los cálculos analíticos al reducir la masa y la inercia como se ve en la valores de la segunda simulación pero esta variación no es significativa. La mayor variación ocurre en los modos 4 y 5 que son los modos que debemos suprimir para nuestro trabajo permitiendo solamente 2 grados de libertad haciendo más factible su análisis dinámico mediante las ecuaciones de movimiento para los dos grados de libertad (GDL) permitidos, en el eje z (sustentación) y el torsional, alrededor del eje y, en el modelo como se menciono al principio.

Otros factores a considerar que pueden generar una reducción en los modos de frecuencia son las flexiones que se producen en el modelo seccional al alcanzar sus desplazamientos máximos y los materiales empleados en su diseño.

Los modos de frecuencia obtenidos en la simulación permitirán diseñar y construir el modelo de tablero de puente seccional, los elementos dinámicos y las dimensiones de la estructura portante, para el ensayo en túnel de viento.

## REFERENCIAS

BALDASANO, J.M.; GASSÓ, S.; COLINA, F.G.. *Diseño asistido por ordenador (CAD). Evolución y perspectivas de futuro en los proyectos de Ingeniería*. XVII Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos - Murcia, 2001.

BAKER, W.E.; WESTINE, P.S.; DODGE, F.T. *Similarity Methods in Engineering Dynamics*. 2. Spartan Books,; Hayden Book Company, Inc. New Jersey, Estados Unidos, 1973.

BLESSMANN, J. *Introdução ao estudo das ações dinâmicas do vento*, Editora da Universidade/ UFRGS, Porto Alegre, RS-Brasil, 1998.



BLESSMANN, J. (1990) Aerodinamica das construções. Editora Sagra, Porto Alegre

DE MIRANDA, M. (2000) Bridges Over the Rio Guamá. Report n° R.06. Final Especifications for Wint Tunnel Tests, consorcio Novo Guamá, Sao Pablo, Brasil

FOX, R.W.; McDONALD, A.T. *Introducción a la Mecánica de Fluidos*. 2. ed. McGraw-Hill, Interamericana S.A., 1995.

KLAUS OLIVEIRA, M.G. *Desenvolvimento de um suporte flexível para ensaios de modelos aeroelásticos em túnel de vento*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003

LANGHAAR, H.L. *Dimensional Analysis and Theory of Models*. John Wayne & Sons, Inc. Estados Unidos, 1951.

N. J. COOK, “Determination of the model scale factor in wind tunnel simulations of the adiabatic atmospheric boundary layer”, *Journal of Industrial Aerodynamics*, (1977/1978)

P. A. BLACKMORE “A comparison of experimental methods for estimating dynamic response of buildings” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, (1985)

SCANLAN, R.H 1996. Aerodynamic of Cable-Supported Bridges. *J. Construct. Steel Res*, vol. 39, n° 1

SCANLAN, R.H, TOMKO J.J 1971. Airfoil an Bridges Decks Flutter Derivatives. *Jornal of Engineerin Mechanc Division*, vol. 97, n °6

STREETER, V.L.; WYLIE, E.B.; BEDFORD, K.W. *Mecánica de Fluidos*. 9. ed. McGraw Hill: Santafé de Bogotá, Colombia, 2000.

WILFRED E. BAKER, PETER S. WESTINW, FRANKLIN T. DODGE “Similarity methods in engineering dynamics. Theory and practice of scale modeling”. Elsevier, 1991

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**Jaqueline Fonseca Rodrigues** – Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PPGE/UTFPR; Especialista em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PPGE/UTFPR; Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG; Professora Universitária em Cursos de Graduação e Pós-Graduação, atuando na área há 15 anos; Professora Formadora de Cursos de Administração e Gestão Pública na Graduação e Pós-Graduação na modalidade EAD; Professora-autora do livro “Planejamento e Gestão Estratégica” - IFPR - e-tec – 2013 e do livro “Gestão de Cadeias de Valor (SCM)” - IFPR - e-tec – 2017; Organizadora dos Livros: “Elementos da Economia – vol. 1 - (2018)”; “Conhecimento na Regulação no Brasil – (2019)” e “Elementos da Economia – vol. 2 - (2019)” – “Inovação, Gestão e Sustentabilidade – vol. 1 e vol. 2 – (2019)” pela ATENA EDITORA e Perita Judicial na Justiça Estadual na cidade de Ponta Grossa – Pr.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aço 94, 95, 101, 102, 103, 105

Análise Fatorial 3, 7, 10, 12, 13, 15, 208, 209, 211, 212, 213

ARIMA 94, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104

Assistência Social 90, 208, 209, 210, 213, 214, 220, 221

Autoavaliação 106, 107, 115, 116

### B

Bases Matemática 173

### C

Cadeia de Markov 18, 74, 82

Capacidade 18, 20, 47, 49, 66, 71, 73, 79, 80, 87, 95, 100, 101, 112, 122, 125, 126, 161, 185, 203, 239

Capdo 63, 70

Ciclo PDCA 53, 109, 254, 255, 257, 258, 260, 263

Cooperativa de Crédito 1, 3, 4, 6

Custos 45, 46, 47, 64, 65, 66, 70, 84, 86, 108, 111, 117, 121, 122, 123, 124, 128, 131, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 184, 195, 225

### D

Despesas 147, 148, 149, 150, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 243

### E

Economia 3, 4, 16, 51, 84, 105, 115, 147, 208, 209, 210, 214, 218, 220, 237, 238, 239, 240, 242, 243, 251, 252, 266

Eficiência Energética 50, 51, 52, 62

Embalagem 63, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 259, 264

Engenharia 1, 48, 52, 71, 84, 93, 146, 171, 173, 174, 175, 177, 182, 266, 267, 268

Equipamentos 53, 54, 55, 94, 111, 118, 149, 194, 195, 196, 199, 200, 201, 204, 207, 228, 230, 258, 260, 261, 263, 265

Ergonomia 160, 161, 171

Estacionamento 9, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 82, 83

Estatística Multivariada 7, 10, 17, 208, 219, 221

Eventos Discretos 183, 185, 193

### F

Fast Food 222, 223, 224, 225, 226, 227, 229, 232, 234

Ferramentas da qualidade 59, 64, 65, 66, 108, 109, 194, 196, 198, 201, 206, 254, 255, 258, 260, 262, 263

## G

Geogebra 173, 174, 175, 176, 179, 180, 181

Gestão da Qualidade 65, 70, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 195, 207, 254, 255, 256, 257, 258, 264

Gestão de Projetos 119, 120, 121, 126, 131

## I

ISO 50001 50, 51, 52, 58, 61, 62

## L

Lava Car 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 31, 32, 35, 37, 45, 47

Levantamento 67, 68, 117, 127, 160, 161, 163, 167, 168, 169, 170, 173, 181, 196, 198, 200, 201, 202

## M

Manuseio de Cargas 160, 161, 171

Marinha do Brasil 84, 86, 90, 93

Maturidade em Gerenciamento de Projetos 119, 120, 125, 126, 127, 129, 131, 132

Medição 50, 52, 53, 54, 79, 80, 108, 194, 199, 200, 201, 202, 204, 233, 241

Melhoria 24, 33, 45, 47, 50, 51, 52, 58, 59, 64, 65, 69, 70, 71, 72, 80, 81, 82, 106, 108, 109, 110, 111, 112, 116, 118, 131, 162, 198, 200, 222, 223, 234, 254, 257

## N

Não Conformidades 106, 107, 109, 115, 116, 117, 254, 255, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265

NBR ISO 9001:2015 106, 107, 111, 112, 113, 115, 116, 117

NCSS 9, 238, 239, 240, 243, 244, 251, 252

NIOSH 160, 161, 162, 163, 164, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172

## P

PMBOK 119, 120, 125, 126, 127, 128, 131, 132

Previsão 94, 95, 96, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 183, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253

Previsão de Demanda 105, 239, 240, 241, 243, 253

Problema do Caixeiro Viajante (PCV) 84, 86, 89

Processos 20, 51, 52, 64, 65, 66, 70, 73, 84, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 116, 117, 118, 121, 123, 124, 126, 127, 148, 185, 195, 196, 198, 199, 207, 222, 223, 225, 226, 230, 234, 239, 241, 252, 254, 255, 256, 258

## Q

Qualidade 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 16, 17, 42, 45, 52, 59, 63, 64, 65, 66, 69, 70, 87, 99, 102, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 120, 121, 122, 123, 124, 148, 161, 168, 184, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 204, 206, 207, 223, 224, 225, 227, 228, 230, 232, 233, 254, 255, 256, 257, 258, 260, 262, 263, 264, 265

## R

Rotomoldagem 50, 52, 53, 58, 59, 60, 62

RULA 160, 161, 162, 163, 164, 166, 167, 169, 170, 171

## S

Semiose 173

Serviço 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 37, 45, 47, 48, 64, 73, 87, 112, 122, 125, 128, 184, 186, 187, 189, 199, 223, 225, 226, 228, 255, 256, 258, 260, 263

Simulação 18, 19, 23, 24, 26, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 47, 48, 57, 67, 73, 79, 83, 93, 183, 185, 187, 188, 190, 192, 193, 242

Simulação de Monte Carlo 18, 19, 23, 47, 48, 73

Sistema de Controle 147, 152, 153, 155, 156, 158, 258

Sistema de Gestão da Qualidade 106, 107, 108, 111, 112, 115, 116, 117, 118

Sistema Produtivo 222, 223, 224, 226

Sistemas de Atendimento 183

## T

Tendência 96, 99, 102, 187, 198, 203, 220, 238, 239, 240, 244, 245, 247, 248, 251, 257

Teoria da Filas 183

Teoria dos Grafos 84, 85

TIC 173

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-611-9

