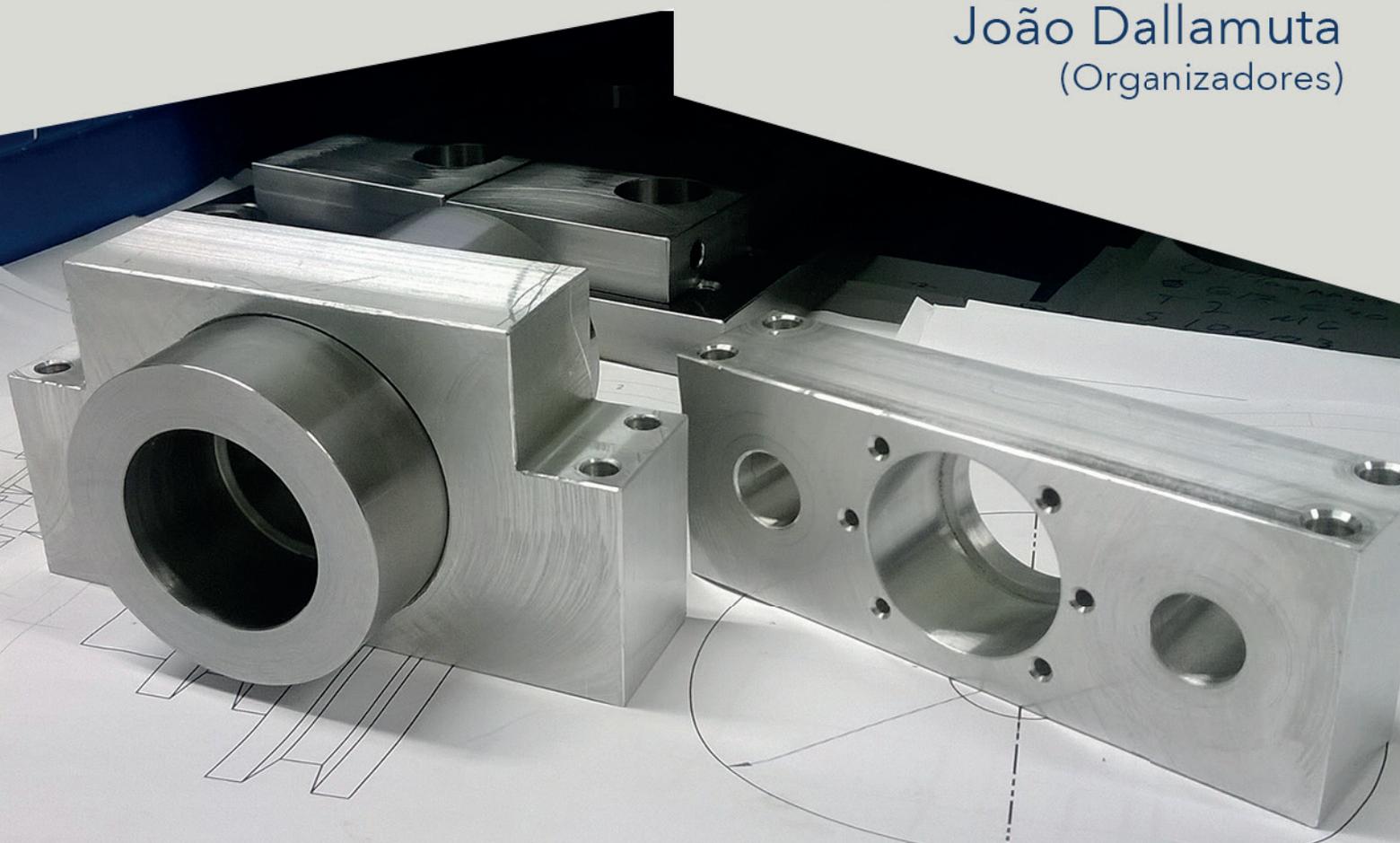


# Engenharias Mecânica e Industrial: Gestão e Simulação

Franciele Bonatto  
Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:  
FIT:  
TYPICAL:  
SURFACE FINISH:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
FINISH:  
FIT:

**Atena**  
Editora

Ano 2018

**Franciele Bonatto**  
**Henrique Ajuz Holzmann**  
**João Dallamuta**  
(Organizadores)

# **Engenharias Mecânica e Industrial: Gestão e Simulação**

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
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  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	Engenharias mecânica e industrial [recurso eletrônico] : gestão e simulação / Organizadores Franciele Bonatto, Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web ISBN 978-85-85107-77-2 DOI 10.22533/at.ed.772180506  1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica. 3. Produtividade industrial. I. Bonatto, Franciele. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Dallamuta, João.  CDD 670.427
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

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.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica provavelmente seja a mais versátil de todas as engenharias. Sua gama de atuação envolve praticamente todas as atividades industriais e inúmeros temas transversais como materiais, métodos, gestão e qualidade. Temas estes que se subdividem em vários outros, o que torna a organização de um livro de engenharia mecânica é uma tarefa desafiadora, porém gratificante. Nesta obra é possível verificar a diversidade de temas envolvendo a engenharia mecânica e industrial com metodologias de simulação e gestão.

A simulação é na sua essência uma ferramenta experimental e refere-se a um modelo de realidade que nos permite avaliar e prever a dinâmica de desdobramento dentro de condições pré definidas.

É uma das bases da atividade de engenharia, sem a qual viabilidades econômicas e sobretudo de segurança em projetos de componentes e sistemas não seriam obtidas. Processos de simulação buscam melhores índices de segurança e retorno para o projeto.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, nas áreas de escoamentos, elementos de máquinas e aproveitamento energético.

Igualmente importante para a segurança, mas sobretudo para o retorno econômico de projetos, são as técnicas de gestão adequadas. São apresentados trabalhos de análise de qualidade de vida, acidentes de trabalho e melhoria contínua do ambiente industrial. Estas abordagens trazem o elemento humano para a discussão e ratificam a importância do profissional de engenharia para a sociedade como um todo.

Boa leitura

Franciele Bonatto  
Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DA CARÇAÇA INTERTRAVADA DE UM TUBO FLEXÍVEL PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS	
<i>Virgínia Siqueira Gonçalves</i>	
<i>Elias Rocha Gonçalves Júnior</i>	
<i>Álvaro de Azeredo Araújo de Carvalho</i>	
<i>Juliana Araujo Brasil</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>15</b>
ESCOAMENTO GÁS-LÍQUIDO NO PADRÃO ANULAR: UMA ANÁLISE DE CORRELAÇÕES PARA O FATOR DE ATRITO INTERFACIAL	
<i>Cidelei Ferreira de Paula Junior</i>	
<i>Luiz Eduardo Melo Lima</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>28</b>
MODELAGEM NUMÉRICA EM LÂMINA DE MOLA SEMIELÍPTICA	
<i>Marcella Monnique Mello da Silva</i>	
<i>Leonel Leonardo Delgado Morales</i>	
<i>Vinícius Rodrigues Moraes Silva</i>	
<i>Yanique Vidal Costa</i>	
<i>André Nepomuceno Trajano</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>37</b>
DETECÇÃO DE DEFEITOS EM ROLAMENTOS INDUSTRIAIS ATRAVÉS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS E ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	
<i>Luís Henrique Ferreira de Oliveira</i>	
<i>Jorge Nei Brito</i>	
<i>Lucas Costa Brito</i>	
<i>Daniel Junio Soares Rodrigues</i>	
<i>Vinícius Augusto Diniz Silva</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>49</b>
AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE SOMMERFELD E OCVRK PARA MANCAIS HIDRODINÂMICOS RADIAIS	
<i>Gabriel Alves Costa</i>	
<i>Erickson Fabiano Moura Sousa Silva</i>	
<i>Sillas de Oliveira Cezar</i>	
<i>Victor Hugo Martins de Almeida</i>	
<i>Vaneide Gomes</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>63</b>
ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À FADIGA DE UM TRANSPORTADOR DE LÂMINAS DE CLÍNQUER	
<i>Raphael Calazans Cardoso</i>	
<i>Frederico Castro Souza</i>	
<i>Abraão Santos Silva</i>	
<i>Gustavo Dória Lima</i>	
<i>Sandro Griza</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>74</b>
TRAÇADO DO DIAGRAMA DE INTERAÇÃO N, M DE PILARES EM CONCRETO ARMADO SOB FLEXÃO NORMAL COMPOSTA	
<i>Ana Carolina De Oliveira Ribeiro</i>	
<i>Caroline Martins Calisto</i>	
<i>Cristiane Caroline Campos Lopes</i>	
<i>Thamires Carvalho Neves</i>	

<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>82</b>
ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE ONDA NA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA	
<i>Ricardo Cardoso Guimarães</i>	
<i>Phelype Haron Oleinik</i>	
<i>Eduardo de Paula Kirinus</i>	
<i>Bruno Vasconcellos Lopes</i>	
<i>William Correa Marques</i>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>90</b>
APLICATIVO EM AMBIENTE MATLAB PARA METODOLOGIA EDUCACIONAL NO DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS FOTOVOLTAICOS	
<i>Bruno de Alencar Carneiro</i>	
<i>Rubens Soeiro Gonçalves</i>	
<i>Rômulo Diêgo Marinho Siqueira</i>	
<i>Ricardo Medeiros Rodrigues</i>	
<i>Dalmir dos Santos Matos</i>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>106</b>
ANÁLISE E DISCUSSÕES SOBRE ACIDENTES DE TRABALHO NAS OPERAÇÕES COM TRATORES AGRÍCOLAS NA REGIÃO DO ALTO SERTÃO SERGIPANO	
<i>Antonio Cardoso Ferreira</i>	
<i>Fábio Santos de Oliveira</i>	
<i>Fabício Oliveira da Silva</i>	
<i>Jubirai José Galliza Júnior</i>	
<i>Vagner dos Anjos Costa</i>	
<i>Silvio Leonardo Valença</i>	
<i>Cochiran Pereira dos Santos</i>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>118</b>
AS DIFERENTES NUANCES NA QUALIDADE DE VIDA NO TRABALHO (QVT) NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO COMPARATIVO EM EQUIPES DE MANUTENÇÃO E PROJETOS	
<i>André Luis Martins de Souza</i>	
<i>Renata Alessandra Evangelista</i>	
<i>Alexandre Assis Bueno</i>	
<i>Lucas Oliveira Magalhães</i>	
<i>Pedro de Freitas Silva</i>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>132</b>
O USO DA KAIZEN NO SETOR DE MONTAGEM	
<i>Maikon Ricardo Peruchini</i>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>145</b>

## ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À FADIGA DE UM TRANSPORTADOR DE LÂMINAS DE CLÍNQUER

### **Raphael Calazans Cardoso**

Universidade Federal de Sergipe (UFS),  
Departamento de Ciência e Engenharia de  
Materiais  
Aracaju – Sergipe

### **Frederico Castro Souza**

Votorantim Cimentos – Unidade Laranjeiras  
Aracaju – Sergipe

### **Abraão Santos Silva**

Universidade Federal de Sergipe (UFS),  
Departamento de Ciência e Engenharia de  
Materiais  
Aracaju – Sergipe

### **Gustavo Dória Lima**

Universidade Federal de Sergipe (UFS),  
Departamento de Ciência e Engenharia de  
Materiais  
Aracaju – Sergipe

### **Sandro Griza**

Universidade Federal de Sergipe (UFS),  
Departamento de Ciência e Engenharia de  
Materiais  
Aracaju – Sergipe

**RESUMO:** No presente trabalho um transportador de lâmina de clínquer foi analisado para verificar se a alteração no projeto feita pela aplicação de uma chapa de reforço para aumentar a resistência à fadiga junto ao mancal do eixo dos carrinhos será efetiva para eliminar a

ocorrência de falhas futuras. A análise consistiu na confecção do modelo em 3D, verificação de deformações por extensometria, calibração do modelo 3D com o resultado da extensometria e verificação das tensões atuantes em decorrência de todos os esforços aplicados no carrinho. Foram analisadas diferentes condições de operação, com variação no ângulo de inclinação do equipamento ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$  e  $45^\circ$ ) e na capacidade de carga (60% e 100%). Os resultados demonstraram que a tensão atuante máxima no reforço é de 140 MPa. Verificou-se também, que a aplicação de 60% da capacidade máxima pode evitar a ocorrência de falhas por fadiga. No entanto, a resistência a fadiga pode ser reduzida ainda mais por fatores tais como defeitos metalúrgicos e dimensionais da solda, além de sobrecargas imprevistas no modelo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fadiga, Transportador, Simulação Computacional, Extensômetros.

**ABSTRACT:** In this paper, a clinker conveyor was analyzed to verify if a change in the design made by the application of a reinforcement sheet to increase the fatigue strength next to the carts shaft bearing will be effective to eliminate the event of future failures. The analysis consisted of the preparation of a model 3D, verification of the strain using strain gauges, calibration of the 3D model and verification of the stress acting because of the entire load applied to the carts.

Different operating conditions were analyzed with variation in the inclination angle of the equipment ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$  e  $45^\circ$ ) and in load capacity (60% e 100%). The results showed that the maximum stress in the reinforcement is 140 MPa. It also verified that the application of 60% of the maximum capacity could avoid the occurrence of failures. However, fatigue strength can be further reduced by factors such as metallurgical and dimensional weld defects, as well as unforeseen overloads in the model.

**KEYWORDS:** Fatigue, Conveyor, Computer Simulation, Strain Gauges.

## 1 | INTRODUÇÃO

Fadiga é um modo de falha associada a esforços cíclicos. A ruptura ocorre a uma tensão inferior do que a necessária para provocar a falha devida a um carregamento estático (DIETER, 1986). Diferente de uma falha associada a esforço estático, a falha por fadiga ocorre de maneira súbita, sendo portanto perigosa, uma vez que pode não haver sinais visíveis antes da falha (SHIGLEY, 2005). De acordo com DIETER (1986) a falha por fadiga corresponde a 90% do total de todos os modos de falhas mecânicas.

O transportador é um equipamento de transporte contínuo muito usado na indústria. Possui alta eficiência e grande capacidade de transporte, construção simples, além de requerer pequena manutenção. Este equipamento pode ser usado em diferentes distâncias e transportar diferentes materiais.

Alguns estudiosos se dedicaram à análise de falhas de transportadores mecânicos, tais como ZHAO e LIN (2011) que analisaram modos típicos de falhas de transportadores de correias além de métodos de prevenção e eliminação de falhas para garantir o seu funcionamento. Pode-se citar, também, FEDORKO et al (2014) que analisaram o dano no transportador de correia causado pela queda do material, DOVICA e FEDORKO (2013), que analisaram as falhas de uma correia transportadora de borracha têxtil danificada pelo desgaste e NGUYEN e ROMIOS (2014) com a investigação das causas da falha de eixo do transportador de uma centrífuga.

O presente estudo trata da análise de extensometria e da simulação numérica do transportador de lâminas de clínquer, cujo objetivo é verificar a integridade estrutural do conjunto quando em serviço. A Figura 1 apresenta esquema do trilho por onde transitam os carrinhos do transportador de lâmina.



**Figura 1:** Esquema do transportador analisado. Posição horizontal inicial em (A). Em (B), o trilho apresenta inclinação em rampa de 45 graus. O declive é reduzido em (C). Na extremidade superior, os carrinhos giram, descarregam o clínquer e retornam para o início por baixo do trilho. Fonte: Autor (2017)

## 2 | METODOLOGIA

A análise das deformações do carrinho foi realizada através da técnica de extensometria, a qual consiste na medida da diferença de potencial elétrico em decorrência do afastamento dos pontos de aquisição de sinal existente em um extensômetro de resistência elétrica, *strain gauge*. Foi utilizado aquisitor de dados LYNX ADS 2000 e extensômetros axiais, modelo KYOWA KFG 10 120 C1 11, com comprimento de 10 mm. Foi utilizada uma configuração de ¼ de ponte com três fios para a aquisição dos dados (ALMEIDA e RODRIGUES, 2002). Os sinais foram adquiridos no ponto A1 e A2, com deformação longitudinal ao eixo de simetria do sistema e transversal ao eixo, respectivamente, conforme ilustrado na Figura 2.



**Figura 2.** Os dois extensômetros axiais foram colados respectivamente no sentido do eixo de simetria do sistema (extensômetro A1) e no sentido transversal (extensômetro A2). Fonte: Autor (2017)

O carregamento do transportador foi feito manualmente com a quantidade de clínquer transportada em serviço normal. Os valores de deformação devido ao carregamento foram, então, adquiridos. O transportador foi movido até o ponto B (Figura 1) onde se reiniciou a aquisição dos dados até completar uma volta, parando no mesmo ponto. Neste ciclo foram adquiridos os sinais do extensômetro A1. As deformações foram convertidas em tensões elásticas através da lei de Hooke (BEER, 1982) estabelecida pela Equação 1.

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (1)$$

Onde:

$\sigma$  = Tensão (MPa);

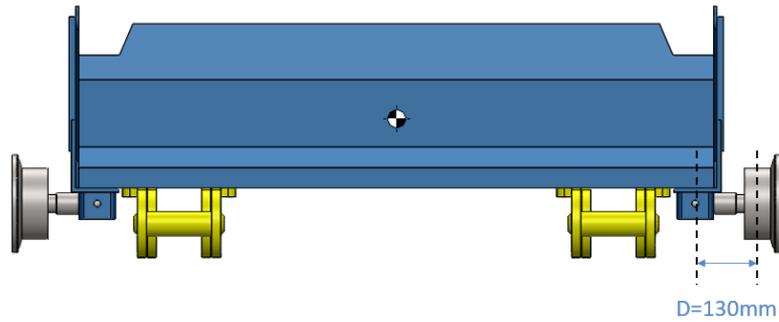
E = Módulo de elasticidade da liga (GPa);

$\varepsilon$  = Deformação (mm/mm).

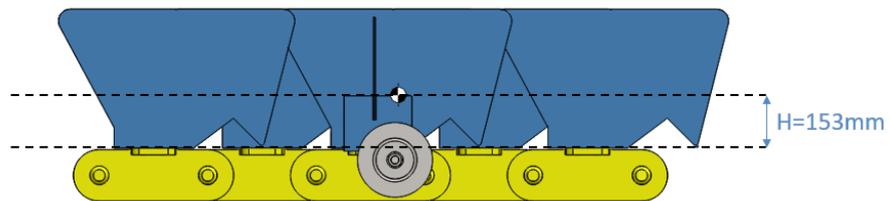
O desenvolvimento do estudo de simulação foi dividido em duas partes. Na primeira foi realizada uma simulação considerando apenas o peso do carregamento do clínquer. Verificada a concordância dos resultados com o ensaio de extensometria, a segunda parte foi realizada, considerando o peso da estrutura. Nesta última foram variados o ângulo de inclinação na máquina entre 0°, 30° e 45° e a capacidade de carga do equipamento, com 100% e 60% do clínquer carregado na máquina.

## 2.1 Modelagem do Conjunto

Tendo em vista que o sistema é suportado por roldanas, que estão espaçadas através de 4 lâminas de aço, foi considerado que o conjunto de apoio está submetido ao peso e a carga de carregamento de clínquer referentes a 4 compartimentos de carrinho do transportador. Dessa forma, esse conjunto foi modelado com o objetivo de extrair a posição do centro de massa do sistema, bem como a massa da estrutura (considerando que os componentes são fabricados em aço ASTM A36). Observou-se que o peso da estrutura é de aproximadamente 660 kg e que o centro de massa está localizado no plano de simetria transversal e no plano que contém os centros das roldanas em uma distância de 153 mm da fixação da estrutura, conforme as Figuras 3 e 4, respectivamente.



**Figura 3.** Plano frontal da estrutura. Fonte: Autor (2017)

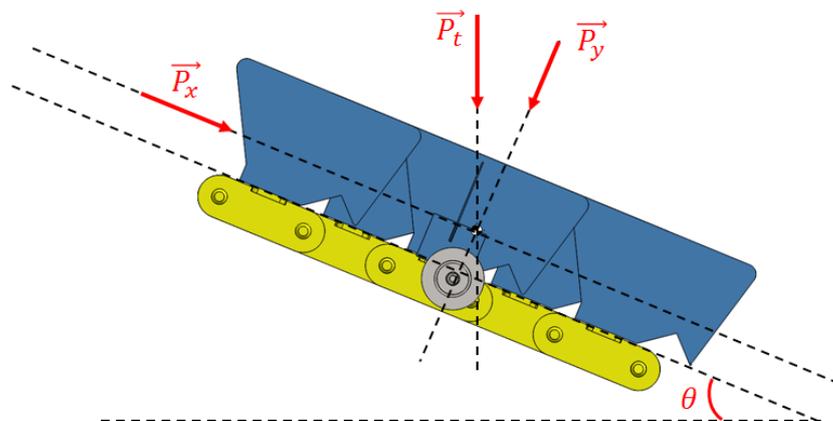


**Figura 4.** Plano Lateral da estrutura. Fonte: Autor (2017)

Além disso, através da modelagem, foi possível determinar o volume interno de cada compartimento (161 litros para 100% e 97 litros para 60% da sua capacidade) e conhecendo a densidade do clínquer (1,38 kg/L), foi calculada a massa referente ao seu carregamento para os 4 compartimentos (892 kg).

## 2.2 Determinação dos Carregamentos

A força atuante no sistema corresponde ao peso da estrutura ( $P_{est}$ ) e o peso do cliquer ( $P_{cl}$ ). Quando essa estrutura está em serviço em um plano inclinado, a força peso total do sistema ( $P_t$ ) foi decomposta em duas componentes, como ilustrado na Figura 5.



**Figura 5.** Estrutura em um plano inclinado. Fonte: Autor (2017)

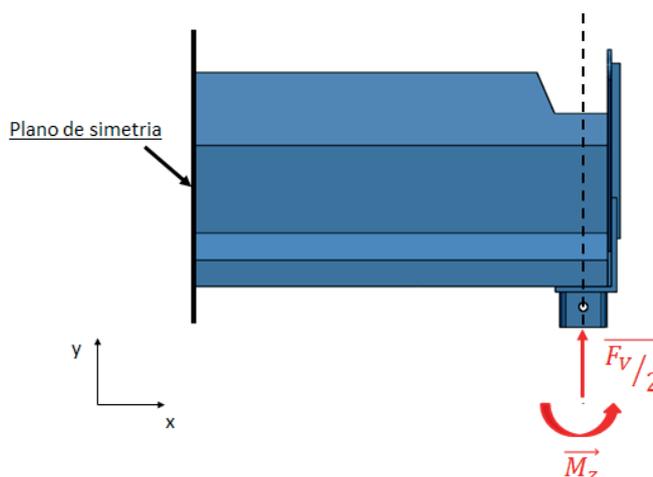
A força na direção longitudinal da estrutura e na direção transversal foram denominadas de força horizontal ( $F_H$ ) e força vertical ( $F_V$ ). Estas componentes podem ser determinadas pelas Equações 2 e 3.

$$F_H = P_t \sin \theta \quad (2)$$

$$F_V = P_t \cos \theta \quad (3)$$

### 2.3 Condições de Contorno

A simulação foi realizada em uma unidade representativa do sistema, a qual permitiu analisar a distribuição de tensão na região adjacente ao ponto de apoio da roldana (região crítica, que corresponde ao mancal e chapa de reforço). As componentes das forças foram posicionadas para essa unidade, de modo que é estabelecido que a força vertical e seu conjugado fossem aplicados no ponto de apoio da roldana, como indicado na Figura 6, restringido o movimento nas direções X e Z. Já para a força horizontal e seu conjugado foi estabelecido a aplicação nas superfícies de união entre a corrente e a restrição dos movimentos nas direções Y e X, como mostrado na Figura 7.



**Figura 6.** Reação no apoio. Fonte: Autor (2017)

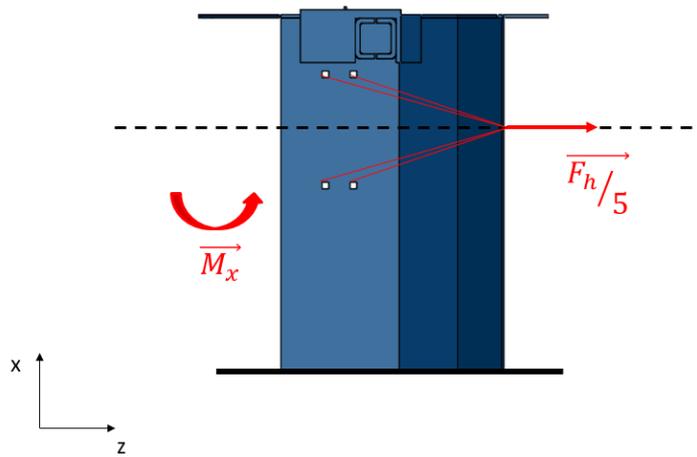


Figura 7. Reação nos pontos de fixação. Fonte: Autor (2017)

## 2.4 Malha e Propriedades dos Materiais

As simulações realizadas foram do tipo linear-estáticas. O programa Abaqus 6.13 foi utilizado. Foram utilizados os elementos do tipo “3D STRESS”. A malha desenvolvida para a unidade representativa na região adjacente ao apoio da roldana está ilustrada nas Figuras 8 e 9. As propriedades intrínsecas do material da estrutura (Aço ASTM A36), além do tipo de malha e de elemento estão apresentados na Tabela 1. Para a confecção da malha do sistema foram necessários 142.955 elementos e 188.131 nós.

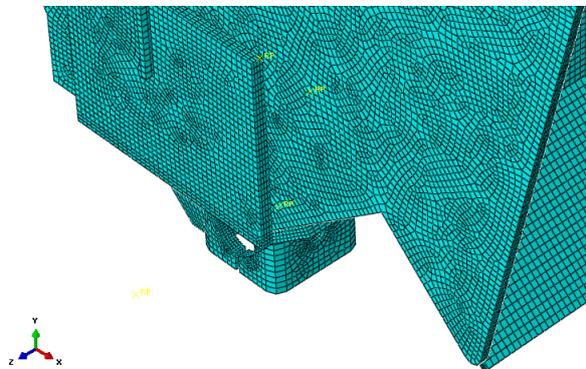


Figura 8. Malha desenvolvida para a estrutura. Fonte: Autor (2017)

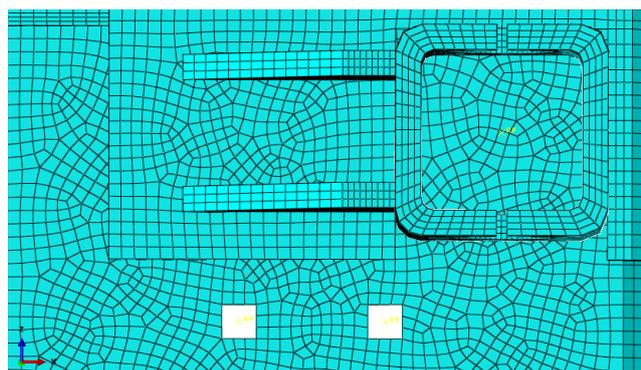


Figura 9. Detalhe da malha na região adjacente ao apoio. Fonte: Autor (2017)

Tipo de Elemento	Módulo de Elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson	Tensão ao escoamento (MPa)	Limite de resistência à tração (MPa)
C3D8R	210	0,33	220	400

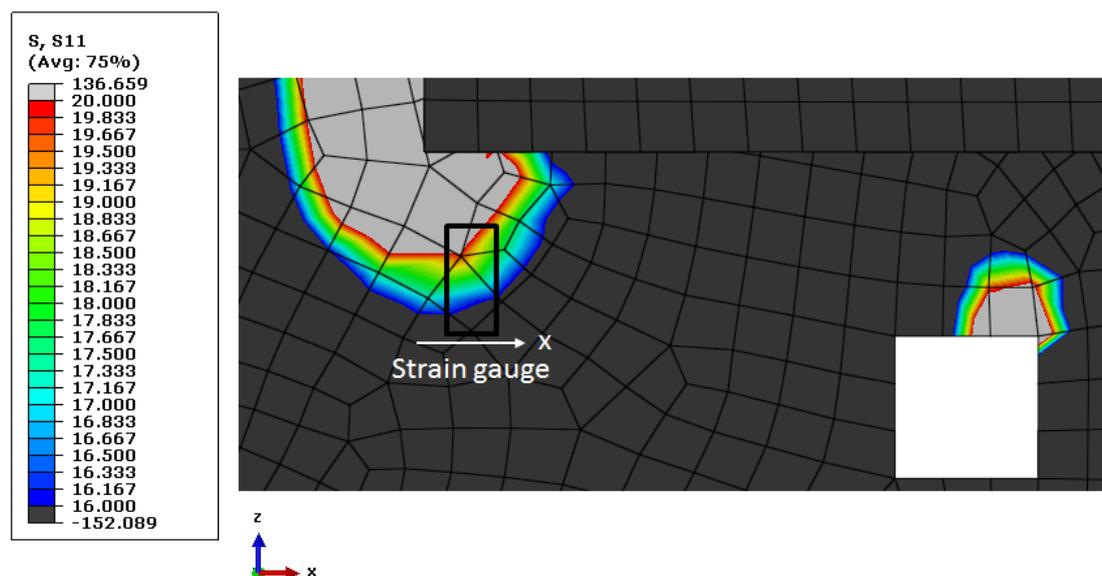
**Tabela 1.** Propriedades do Aço ASTM A36.

Fonte: SHIGLEY (2005)

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

As deformações apresentadas pelos extensômetros A1 e A2 após a inserção do clínquer no carrinho foram empregadas na equação 1 e resultaram nas tensões de 18 MPa e 20 MPa, respectivamente. Após a movimentação do transportador, o extensômetro A2 apresentou aumento de tensão de 1,2 MPa na posição C do trilho (Figura 1). Estes valores foram encontrados no percurso ascendente do transportador.

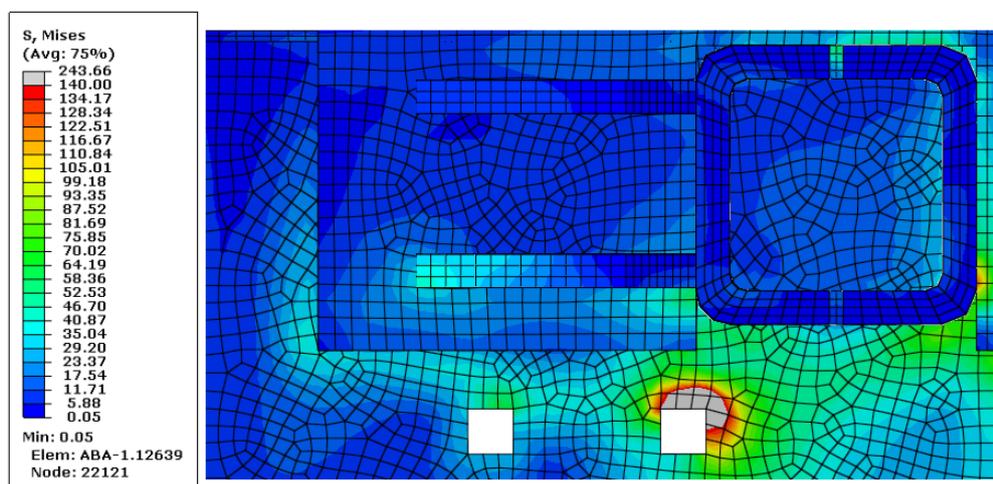
Utilizando simulação computacional, foram determinadas as distribuições de tensões de Von Mises para a estrutura na horizontal considerando somente o peso do clínquer, para a direção X e Z. Na direção X, a simulação indicou uma tensão máxima da ordem de 20 MPa, ilustrado na Figura 10 e para a direção Z, a tensão máxima foi de aproximadamente 18 MPa. A partir da observação dos resultados encontrados, constatou-se que as tensões desenvolvidas nas direções X e Z por meio dos extensômetros A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>, respectivamente, são equivalentes às tensões desenvolvidas nas simulações. Depreende-se que as considerações adotadas para realização das simulações representam adequadamente as condições de contorno que ocorrem na prática durante o serviço de transporte.



**Figura 10.** Tensões na direção de X quando somente do carregamento de clínquer na horizontal.

Fonte: Autor (2017)

A distribuição de tensão de Von Mises quando a estrutura está na horizontal e é submetida ao peso total clínquer (100%), considerando 4 compartimentos, e da estrutura está ilustrada na Figura 11. Do mesmo modo foram determinadas as tensões para 60% do clínquer quando a estrutura está na horizontal, 100% e 60% do clínquer com  $\theta$  a  $30^\circ$ , bem como para 100% e 60% clínquer a  $45^\circ$ . Os resultados encontrados para cada condição estão descritos na Tabela 2.



**Figura 11.** Tensões de Von Mises considerando o carregamento total com o equipamento na horizontal.

Fonte: Autor (2017)

Capacidade do Clínquer	Ângulo $\theta$	Tensão Máxima (MPa)
100%	Horizontal	140 MPa
60%	Horizontal	110 MPa
100%	$30^\circ$	130 MPa
60%	$30^\circ$	100 MPa
100%	$45^\circ$	115 MPa
60%	$45^\circ$	90 MPa

**Tabela 2.** Tensões e Von-Mises encontrados para as diferentes condições.

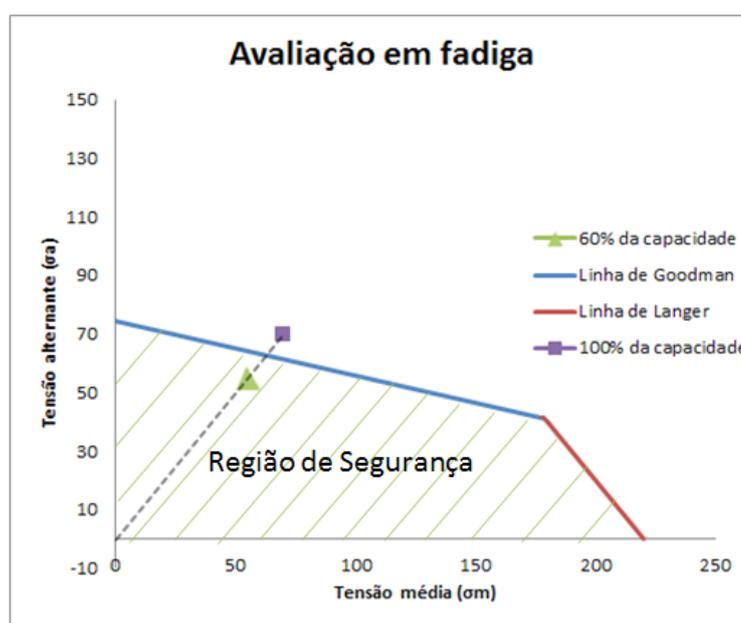
Fonte: Autor (2017)

A partir da análise dos resultados expostos na Tabela 2, concluiu-se que um aumento do ângulo  $\theta$  provoca redução nos valores das tensões atuantes na estrutura. Logo, a posição horizontal é suficiente para avaliar a segurança em fadiga da estrutura.

Nota-se que os níveis de tensão para a estrutura na horizontal giram em torno de 140 MPa e 110 MPa, para 100% e 60% do carregamento, respectivamente. Estes níveis de tensão, apesar de serem inferiores ao limite de escoamento do material da estrutura (220 MPa) podem ultrapassar o limite de resistência à fadiga do material. A concentração de tensão devido aos furos quadrados é desconsiderada, uma vez que nessa região há parafusos de fixação, que reduzem o efeito da concentração de

tensão.

Para análise da integridade estrutural em fadiga, levou-se em consideração um cenário extremo no qual a estrutura é submetida a um carregamento cíclico flutuante com tensão mínima nula e máxima em 140 MPa e 110 MPa, respectivamente para 100% e 60% O resultado desta análise está representado no diagrama de Goodman desenvolvido para as condições conhecidas, mostrado na Figura 12. Observa-se que ponto de solicitação de carregamento para 100% do peso do clínquer se encontra fora da região de segurança em fadiga. Para efeito de comparação, foi inserido neste diagrama a condição de carregamento equivalente a 60 % da capacidade total do equipamento. Nota-se que, de acordo com as considerações adotadas, a máquina possivelmente estaria operando dentro do limite de segurança determinado pelo diagrama.



**Figura 12.** Avaliação em fadiga da estrutura através do diagrama de Goodman.

Fonte: Autor (2017)

O transportador percorre uma volta completa em 10,94 minutos, o que representa a frequência de solicitação de 48044 ciclos por ano. No entanto, fatores diversos aos utilizados como condições de contorno no presente estudo podem reduzir a expectativa de vida em fadiga do sistema. Dentre estes fatores podemos salientiar possíveis defeitos metalúrgicos e dimensionais da solda e sobrecargas do sistema, provocadas por desgastes do conjunto roda/trilho, carga de clínquer superior àquela utilizada na presente simulação, obstáculos sobre o trilho que dificultem a passagem da roda, entre outros.

## 4 | CONCLUSÕES

Os resultados para simulação computacional apresentaram concordância com a análise extensiométrica. Foi encontrada uma tensão máxima na ordem de 140 MPa considerando os pesos do clínquer e da estrutura. Concluiu-se que as tensões a que o componente está submetido podem ser superiores ao limite de fadiga do material, no caso de utilização do equipamento com 100% de sua capacidade. Constatou-se, também, que a utilização de 60% da capacidade possibilita a operação em um nível dentro dos limites determinados pelo diagrama de Goodman desenvolvido.

Alterações do projeto do reforço podem ser realizadas a fim de reduzir a tensão aplicada e promover a segurança em fadiga do sistema. No caso de ocorrência de falha futura em serviço, recomenda-se apropriada análise de falha a fim de aperfeiçoamento do projeto do reforço.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. A. O.; RODRIGUES, J. F. S. **Introdução a Análise Experimental de Estruturas**, Laboratório de Sistemas Estruturais Ltda, Fortaleza, 2002.
- BEER, F. P.; JOHNSTON E. R. **Resistência dos Materiais**. 2 Ed. São Paulo: McGraw Hill, 1982.
- DIETER, G. **Mechanical Metallurgy**. 3. ed. Boston, Estados Unidos: McGraw-Hill, 1986.
- DOVICA, M.; FEDORKO, G. **Failure analysis of textile rubber conveyor belt damaged by dynamic wear**. Engineering Failure Analysis, v.28, p 103-114, 2013.
- FEDORKO, G. et al. **Failure analysis of belt conveyor damage caused by the falling material**. Part I: Experimental measurements and regression models. Engineering Failure Analysis, v. 36, p 30-38, 2014.
- NGUYEN, T.; ROMIOS, M. **Failure of a conveyor trunnion shaft on a centrifuge**, v.11, p 401-402, 2014.
- SHIGLEY, E. J; MISCHKE, R. C; BUDYNAS, G. R. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- ZHAO, L.; LIN, Y. **Typical failure analysis and processing of belt conveyor**. Procedia Engineering, v.26, p. 942-946, 2011.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Franciele Bonatto** Professora assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação e mestrado em engenharia de produção pela UTFPR e doutorado em andamento em Engenharia de Produção pela mesma universidade. Trabalha com os temas: gestão da qualidade, planejamento e controle da produção e cadeia de suprimentos.

**Henrique Ajuz Holzmann** Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**João Dallamuta** Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-77-2

