

## ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM DISPOSITIVO ANTI-QUEDA DE MATERIAIS EM UM TRANSPORTADOR DE CORREIAS.

Antonio Carlos de Jesus Cordeiro Filho (UEMA) E-mail: [cordeirofilhoacj@gmail.com](mailto:cordeirofilhoacj@gmail.com)

Diógenes Leite Souza (UEMA) E-mail: [diogenesls@hotmail.com](mailto:diogenesls@hotmail.com)

**Resumo:** Os transportadores de correia são equipamentos largamente utilizados na indústria moderna, pois otimizam a produção, e constituem, na maioria dos casos, em um menor custo por tonelada na movimentação de grandes quantidades de materiais a granel. São equipamentos robustos, e quando dimensionados conforme as normas de projeto, não apresentam problemas estruturais. Os casos mais comuns, que comprometem a estabilidade, estão relacionados com a manutenção, e ou operação destes. Transportadores que usam casas de passagem conjugadas são mais suscetíveis a colapsos estruturais, considerando a possibilidade de fuga e acúmulos de materiais. O trabalho proposto demonstrou, por meio da simulação computacional via SolidWorks e Ansys, que estruturas conjugadas, mesmo quando bem projetadas, podem rapidamente sofrer danos estruturais se não estabelecerem uma sistemática de limpeza adequada. A opção mais adequada é a implantação de casa de passagem autoportante, mantendo-se uma rotina de limpeza industrial adequada. Dessa forma, através da análise de tensões, deformações e frequência, verificou-se a resposta da estrutura para um cenário com altas cargas na estrutura, mostrando se a mesma suporta tal operação.

**Palavras-chave:** Transportadores, Casa de passagem, Estrutural, Simulação.

## STRUCTURAL ANALYSIS OF AN ANTI-FALL MATERIAL DEVICE IN A BELT CARRIER.

**Abstract:** Belt conveyors have widely used equipment in modern industry, as they optimize production, and in most cases are a lower cost per tonne when moving large quantities of bulk materials. They are robust equipment, and when sized according to design standards, do not present structural problems. The most common cases that compromise stability are related to their maintenance and / or operation. Conveyors using coupled passageways are more susceptible to structural collapse, considering the possibility of leakage and material buildup. The proposed work demonstrated, through computer simulation via SolidWorks and Ansys, that conjugate structures, even when well designed, can quickly suffer structural damage if they do not establish a proper cleaning system. The most suitable option is the establishment of a self-supporting passage house, maintaining an adequate industrial cleaning routine. Thus, through the analysis of stresses, deformations, and frequency, it was verified the response of the structure for a scenario with high loads in the structure, showing if it supports such operation.

**Keywords:** Conveyors, Passageway, Structural, Simulation.

### 1. Introdução

Transportadores de correia são amplamente utilizados nos diversos segmentos da indústria em que se faz necessário o transporte de materiais de modo contínuo e em grandes volumes, otimizando a produção, sendo um dos métodos de menor custo de movimentação de materiais a granel (SWINDERMAN, 2009).

O dimensionamento do transportador de correia contínua é definido por normas como NBR 6177 e NBR 14762, originadas na norma americana CEMA, que tem por objetivo estabelecer as premissas básicas para o funcionamento deste equipamento, limitando ao dimensionamento em modelo estático (CEMA, 2016), o que na medida do incremento da complexidade do projeto, quer pelo regime de trabalho, velocidade da correia,

desnível ou aumento na potência de acionamento, há uma necessidade de o projetista analisar de forma complementar o modelo dinâmico (GELAIS, 2016). De acordo com a norma NBR 6177 (1999) o transportador de correia é um arranjo de componentes eletromecânicos e estruturais, constituindo-se em um equipamento horizontal, inclinado, em curvas, ou ainda uma combinação destas, destinados ao transporte de materiais a granel através de uma correia transportadora com movimento reversível ou não, que se deslocam sobre os tambores, roletes ou mesa de deslizamento, segundo uma trajetória definida pelas condições de projeto, possuindo partes ou regiões características de carregamento e descarga.

De uma forma geral, os transportadores de correia são constituídos por um ou mais acionamentos que, por meio de tambores sustentados em seus eixos por mancais de rolamentos tracionam esteiras ou correias de borracha sobre as quais o material granulado é transportado. Cada transportador de correia irá apresentar características bastante individuais e peculiares conforme sua aplicação, conforme o material a ser transportado e também de acordo com o perfil do terreno e as distâncias e diferentes elevações entre o carregamento e a descarga do material (NBR 6177/1999).

Na figura 01 é possível verificar de forma esquemática, modelo com os principais componentes de um transportador de correia.

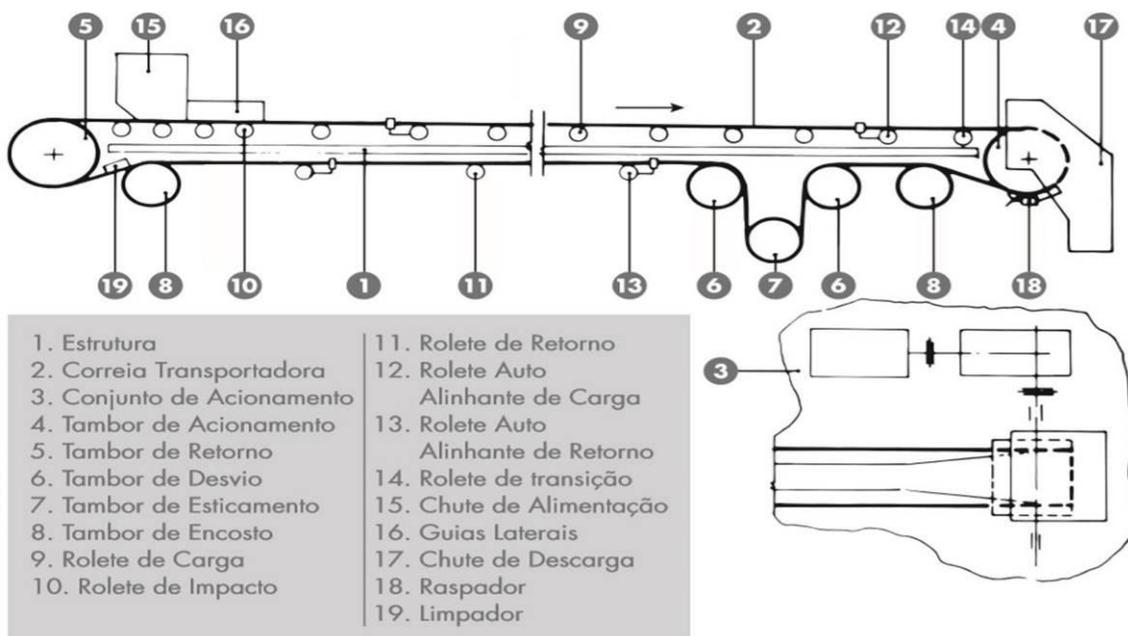


Figura 01 – Componentes de transportador de correia convencional (Mercurio, 2015).

## 2. Componentes Estruturais

A estrutura de um transportador de correia é composta por todos os elementos de sustentação que envolve: apoio, torres, colunas, treliças, suportes, torres de transferência etc. (MERCURIO, 2015).

A tecnologia relacionada ao desenvolvimento de projeto de transportadores de correia é bem conhecida, e raramente há problemas relacionados ao dimensionamento deste equipamento. Geralmente, os problemas são relacionados a manutenção, e ou operação. Considerando que uma manutenção deficiente, nos componentes pode diminuir a

eficiência operacional, quer pela menor disponibilidade do equipamento, quer pela perda de material. Sendo que este último tem ação degradante nos diversos componentes, e além do mais incrementa o custo de operação pela maior frequência de limpeza. Os motivos da perda de material geralmente são relacionados ao desalinhamento de correia, vazamento de material em pontos de transferência, deficiência no sistema de raspador, entre outros, implicando também na sobrecarga na estrutura do transportador não prevista em projeto, principalmente quando o material, tem grande densidade, como por exemplo, o minério de ferro (densidade 2,7 t/m<sup>3</sup>). Geralmente, após a implantação do projeto do transportador de correia, são implantadas estruturas de proteção complementar anti-queda tipo “casa de passagem” para permitir o acesso de veículos ou pessoas sob o equipamento, caso no layout da área haja uma interseção entre o trajeto do transportador e vias internas, conforme Figura 02. É fundamental que essas estruturas sejam independentes da estrutura do transportador de correia, tendo em vista que estes geralmente, não foram dimensionados para suportar estas cargas, evitando estruturas de casa de passagem conjugadas ao transportador, exceto quando esta já foi projetada originalmente considerando essas cargas e sobrecargas.

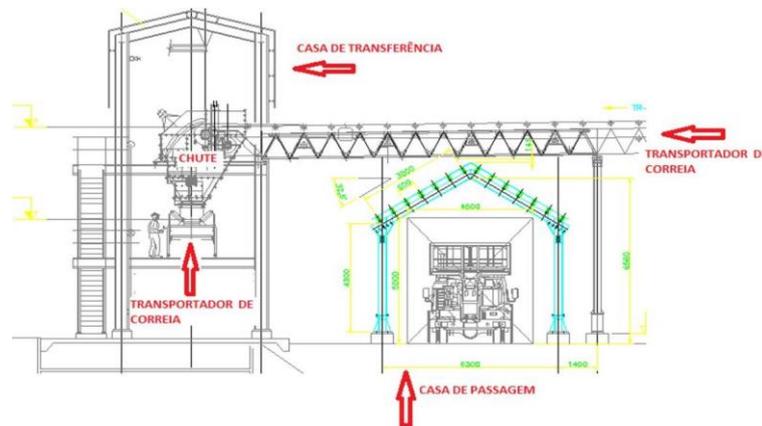


Figura 02 – Casa de passagem autoportante sob transportador de correia (Fonte: Acervo Autor)

Como descrito anteriormente, não é frequente, nem representativo os problemas no dimensionamento estrutural tendo em vista a robustez destes equipamentos, entretanto algumas deficiências e práticas de “manutenção” comprometem a vida útil dos transportadores, e em condições críticas podem causar o colapso estrutural deste, a exemplo a disciplina de limpeza do equipamento, além da implantação de casa de passagem conjugada a estrutura da treliça do transportador, aplicando sobrecargas não previstas à estrutura do transportador de correia. Neste artigo, o objetivo é simular um estudo de caso, na qual se modelou e simulou, com os softwares SolidWorks e Ansys, carregamentos acidentais em estrutura de casa de passagem conjugadas, analisando a resposta das estruturas as condições impostas.

### 3. Metodologia

Neste estudo há a intenção de analisar condições de carga na estrutura decorrentes de carregamentos acidentais (acúmulo de materiais), quando da implantação de

dispositivos antiqueda tipo casa de passagem de forma conjugada ao transportador de correia. Os dados do transportador de correia utilizado para modelagem de um vão é de um transportador de longa distância, robusto, conforme verifica-se na Tabela 01.

Tabela 1 – Dados técnicos do transportador de correia.

Características	Unid.	Quantidade
Capacidade de projeto	t/h	8000
Regime de Trabalho	h	24
Ângulo de Acomodação	graus	20
Velocidade de correia	m/s	4
Tipo de correia ST 2500 - cabo de aço	unid	1
Largura da correia	mm	1800
Potência de Acionamento	CV	1000 (2X)
Ângulo do rolete de carga	graus	45
Espaçamento entre roletes	mm	750
Comprimento de correia	m	2018
Desnível a vencer	m	0

Fonte: Adaptado GELAIS (2016).

Para possibilitar as análises estruturais foi implementado modelamento em 3D de um vão representativo do transportador de correia utilizando o software SolidWorks 2016, conforme pode se verificar na figura 03.

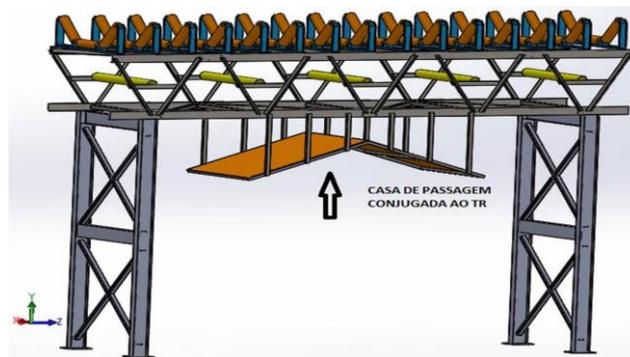


Figura 03- Modelagem de casa de passagem em um vão de um transportador de correia, utilizando solidworks 2016.

A Tabela 02 apresenta os perfis utilizadas na modelagem do transportador de correia.

Tabela 02 – Perfis utilizados na estrutura do Transportador de correia

Perfis	Material	Componente
Perfil U - 8 " x 2 1/2 " x 20,5 kg/m	ASTM A36	Treliça
Cantoneira L- 3" X 3/8" X 10,71 kg/m	ASTM A36	Treliça
Perfil W -200mm X 53 kg/m	ASTM A36	Coluna
Perfil W -310mm X 52 kg/m	ASTM A36	Coluna

Fonte: GERDAU (2019).

As simulações estruturais foram realizadas utilizando os softwares SolidWorks 2016 e Ansys 2018, sendo apresentado na Figura 04 o fluxograma da metodologia de simulações para análise estática e dinâmica no dispositivo de proteção antiqueda de

materiais, (chamado de casa de passagem) que permite a passagem de equipamentos e pessoas sob o transportador de correia sem o risco de projeção de matérias, entretanto este também se constituem em um ponto de acúmulo de materiais, implicando na maioria da vezes em sobrecarga estrutural, tendo em vista que no dimensionamento dos transportadores esta não é prevista, sendo adicionada este dispositivo posteriormente. Esta condição fica mais crítica em materiais com maior densidade como por exemplos minérios de ferro, como no caso proposto.

A metodologia proposta consiste em aplicar diferentes cargas, a partir do peso próprio da estrutura, simulando carregamento acidentais (0, 1 e 4 toneladas) por acúmulo de minério de ferro, cuja densidade considerada é de  $2,7 \text{ t/m}^3$ , verificando as diferentes respostas e a compatibilidade em relação a fluxograma de validação representada na Figura 04. Na análise estática, o objetivo é comparar tensão de Von Mises a e tensão de escoamento, que no caso do material ASTM A36, é de 250 MPa, e complementarmente ao Fator de segurança que deverá ser obrigatoriamente acima do valor 1 (um). A estrutura será submetida, sem modificações estruturais a sucessivas cargas até o colapso estrutural. Na análise dinâmica será verificado o modal, buscando obter as frequências naturais da estrutura e comparar com a frequência de excitação do transportador de correia (no caso motor de acionamento e roletes) verificando a possibilidade de ressonância na estrutura, caso a frequência de excitação não seja menor que a frequência natural. A análise de resposta harmônica permitirá comparar com os valores definidos na NBR 14762-2010 que estabelece limite de amplitude de deslocamento para estrutura, neste caso  $L/250$ .

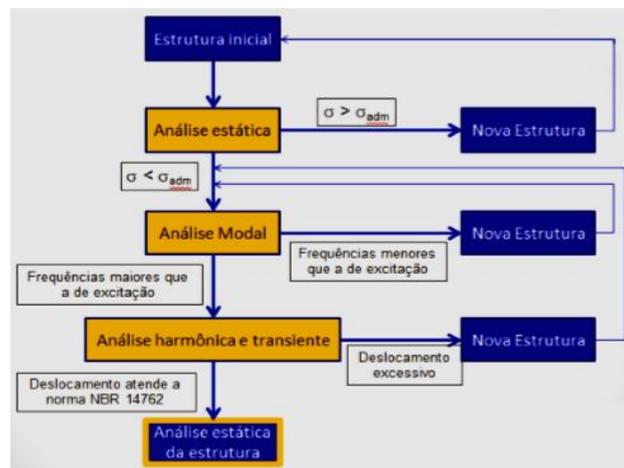


Figura 04 – Metodologia de validação de estrutura do vão do transportador de correia (CAMPOS,2013).

## 4. Resultados e discussão

### 4.1. Caso 01

Realizou-se a análise para a condição de peso próprio sem carregamento (sobrecarga) na casa de passagem, mas considerando o carregamento do material minério de ferro (densidade  $2,7 \text{ t/m}^3$ ) na correia transportadora aplicando na estrutura uma força de 10,18 KN. Na simulação de análise estática, verificou-se a tensão de Von Mises de 215 MPa e deslocamento de 4,15 mm, resultando em um fator de segurança mínimo de 1,2, conforme Figura 05, apresentando valores que estão dentro da norma NBR 14762, tendo em vista que a referida norma aceita valores de até 48 mm, considerando que o vão do transportador é de 12000 mm. O fator de segurança é maior que 1 e que satisfaz

plenamente as condições de validação da estrutura, conforme metodologia definida no fluxograma (Figura 04). A estrutura proposta esta aprovada nessa condição.

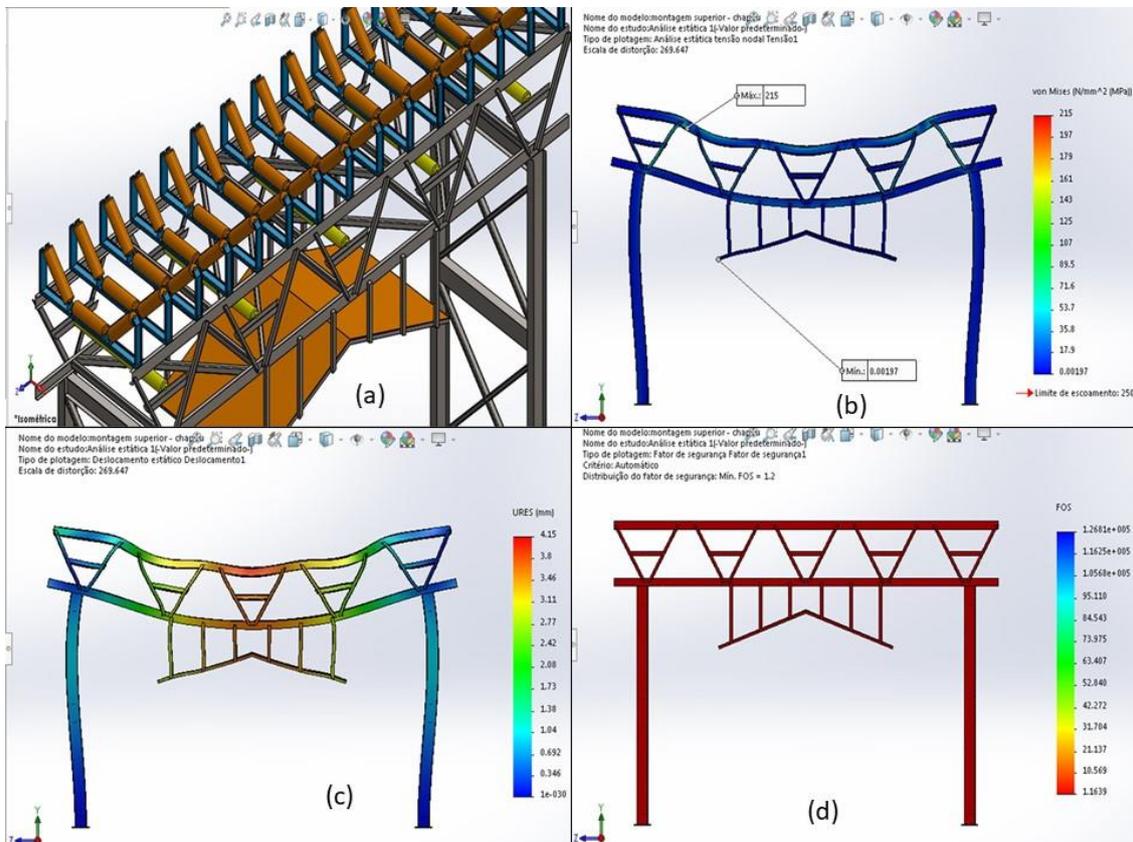


Figura 05 – Análise estática para o caso 01: (a) modelagem 3D; (b) deslocamento estático ; (c) fator de segurança; (d) tensão de von mises.

Foi realizada também uma análise dinâmica modal e resposta harmônica nos transportadores de correia contínuo utilizando o Ansys para a mesma condição. A simulação dinâmica com análise modal demonstra que a primeira frequência natural é de 8,30 Hz, conforme Figura 06(b), enquanto a frequência de excitação é de 6,37 Hz que representa a frequência dos roletes, portanto pode-se concluir que a estrutura, nas condições estabelecidas, não esta em condição de ressonância. Complementarmente na análise de resposta harmônica, cujo objetivo é identificar o deslocamento do ponto de maior amplitude em relação à sua faixa de frequência próxima do valor de frequência de excitação da estrutura, verifica-se que esta condição de contorno proposta atende a norma NBR 14762, tendo em vista que nas 10 primeiras frequências naturais desta estrutura a amplitude, conforme pode-se ver na figura 06(c), está abaixo ao preconizado pela norma, que para este caso é 48 mm, possuindo apenas um pico de frequência natural, aproximadamente 26 Hz, com deslocamento de 65,64mm superior ao recomendado, o que não compromete a estrutura, considerando que as principais frequências naturais estão bem distantes da frequência de excitação, conforme Figura 07. Então pode se afirmar que nestas condições a estrutura, também sob o ponto de análise de resposta harmônica atende plenamente.

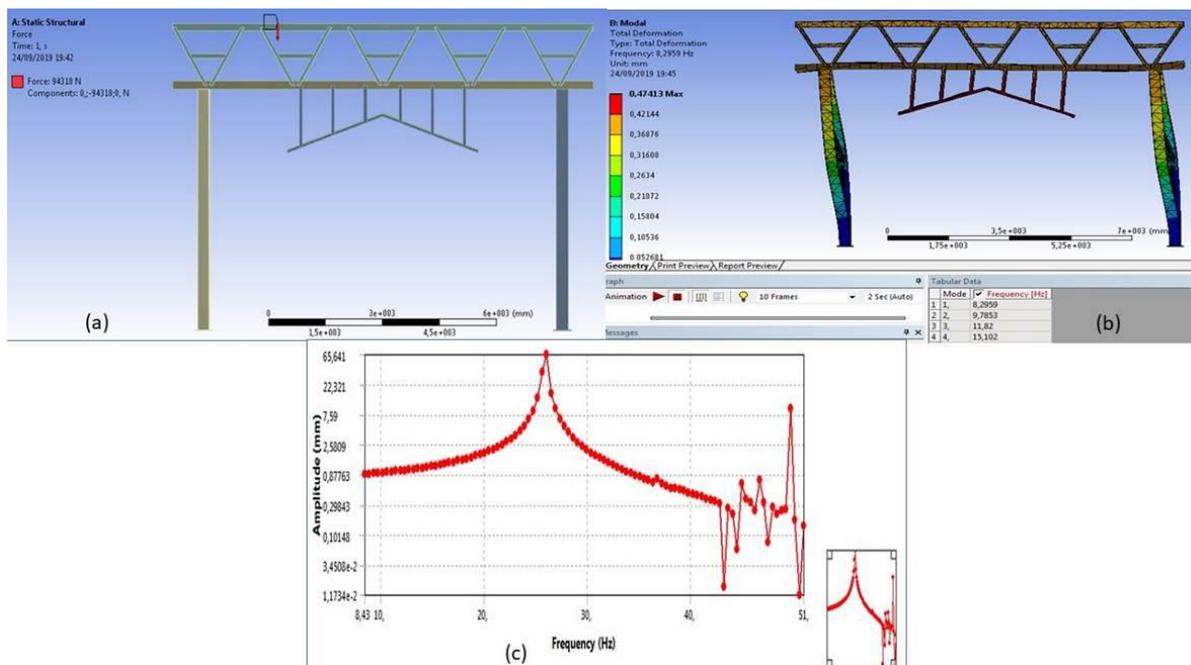


Figura 06 – Análise dinâmica para caso 01: (a) modelagem 3D; (b) análise Modal – Frequência natural; (c) análise Resposta harmônica.

Tabular Data		
	Mode	Frequency [Hz]
1	1,	8,2959
2	2,	9,7853
3	3,	11,82
4	4,	15,102
5	5,	16,682
6	6,	17,092
7	7,	17,647
8	8,	21,92
9	9,	23,192
10	10,	25,529

Figura 07 – Frequência natural da estrutura.

#### 4.2. Caso 02

Verificou-se também a condição para um carregamento da estrutura, considerando peso próprio da treliça e demais componentes e o carregamento do material minério de ferro na correia transportadora, além de cargas acidentais na casa de passagem estimada em 1000N aplicada na estrutura uma força de 11,18 KN. Na simulação de análise estática, verificou-se a tensão de Von Mises de 238 MPa e deslocamento de 5,25 mm, conforme Figura 08(a) e Figura 08(b), mostrando valores que estão dentro da norma NBR 14762. Entretanto fator de segurança está próximo a 1, conforme Figura 08(c), o que não satisfaz as condições de validação da estrutura, conforme metodologia definida. A estrutura é considerada reprovada, nas condições propostas. Na simulação de análise dinâmica, verificou-se na análise modal que a primeira frequência natural, conforme se pode verificar na Figura 09(b) é de 8,30Hz, enquanto a frequência de excitação é de 6,37 Hz que representa a frequência dos roletes. Portanto conclui-se que a estrutura, nas condições de contorno estabelecidas, não estão em condições de ressonância. Complementarmente, na análise de resposta harmônica o deslocamento da estrutura verificado, já é percebido uma degradação da estrutura, conforme Figura 9(c), tendo em vista que o pico de deslocamento se aproxima das frequências naturais mais baixas, o que começa a comprometer a estrutura. Como o fator de segurança, nas análise estática ,

é bem próximo a 1(um), não há margem de segurança, nestas condições o de contorno, no geral esta estrutura é considerada reprovada, não atendendo a norma NBR 14762.

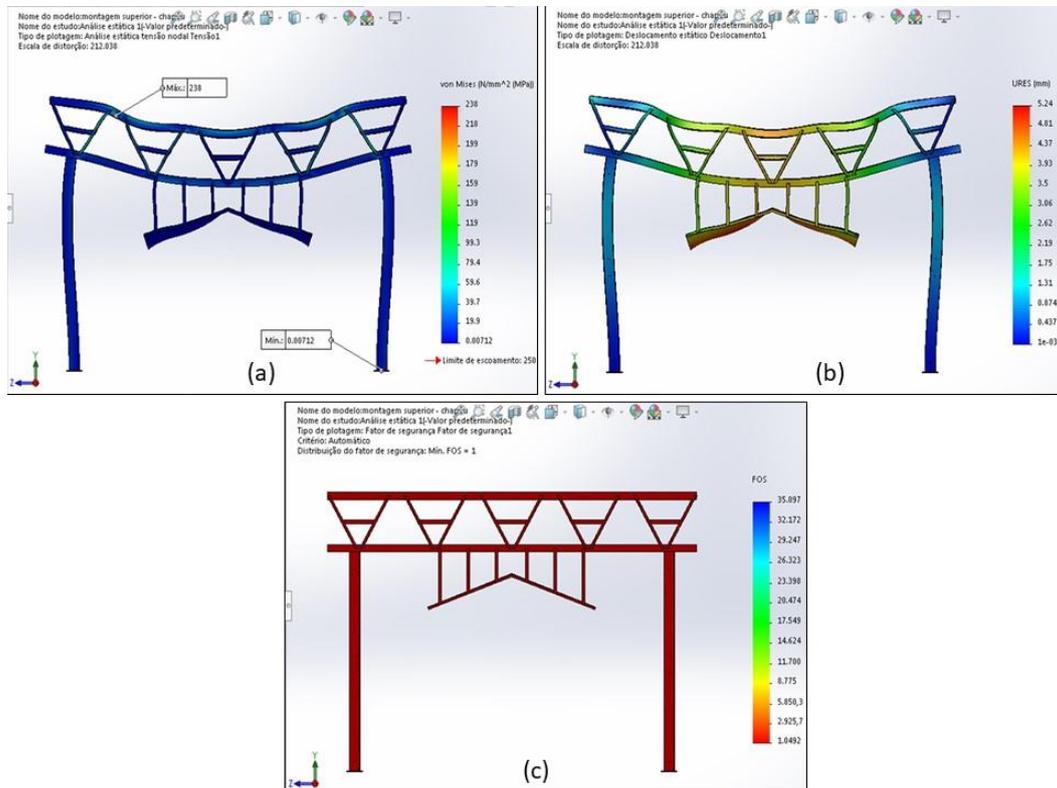


Figura 08 – Análise estática utilizando para caso 02: (a) tensão de Von Mises; (b) deslocamento estático ; (c) Fator de segurança.

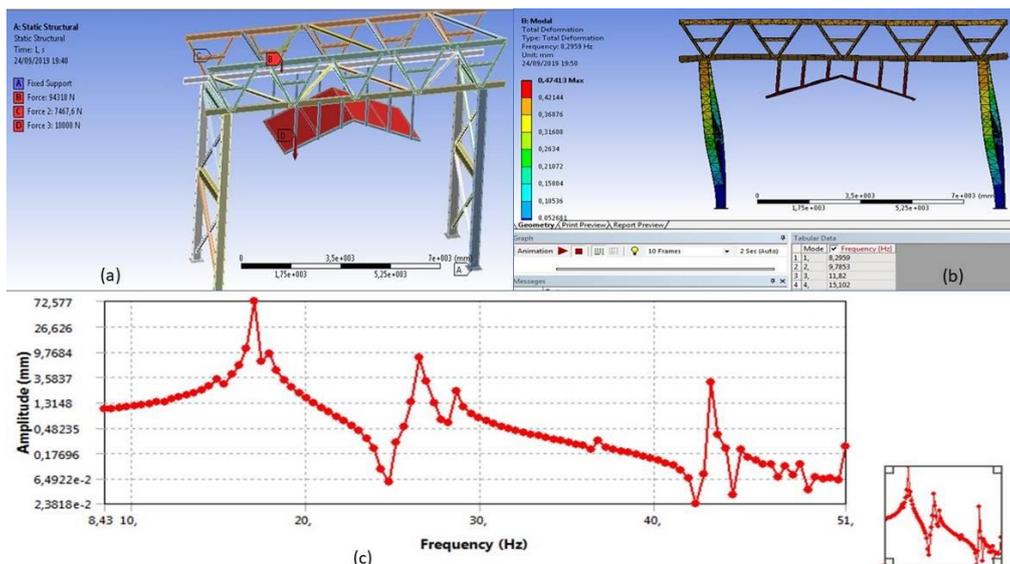


Figura 09 – Análise dinâmica para caso 02: (a) modelagem 3D; (b) análise modal – frequência naturais; (c) análise resposta harmônica.

## 4.3. Caso 03

Para a condição de peso próprio, mais carregamento de quatro toneladas de sobrecarga na casa de passagem e o peso próprio do transportador de correia, aplica-se na estrutura uma força de 14,18 KN. Verificou-se que tanto a tensão de Von Mises de 325MPa, quanto o fator de segurança de 0,77, conforme as Figura 10(a) e Figura 10(c), são valores que estão fora da norma NBR 14762, não satisfazendo as condições de validação da estrutura. O deslocamento foi de 12,46 mm, como mostrado na Figura 10(b) que é aceitável, entretanto, avaliando os demais resultados a estrutura está reprovada nas condições propostas na análise estática.

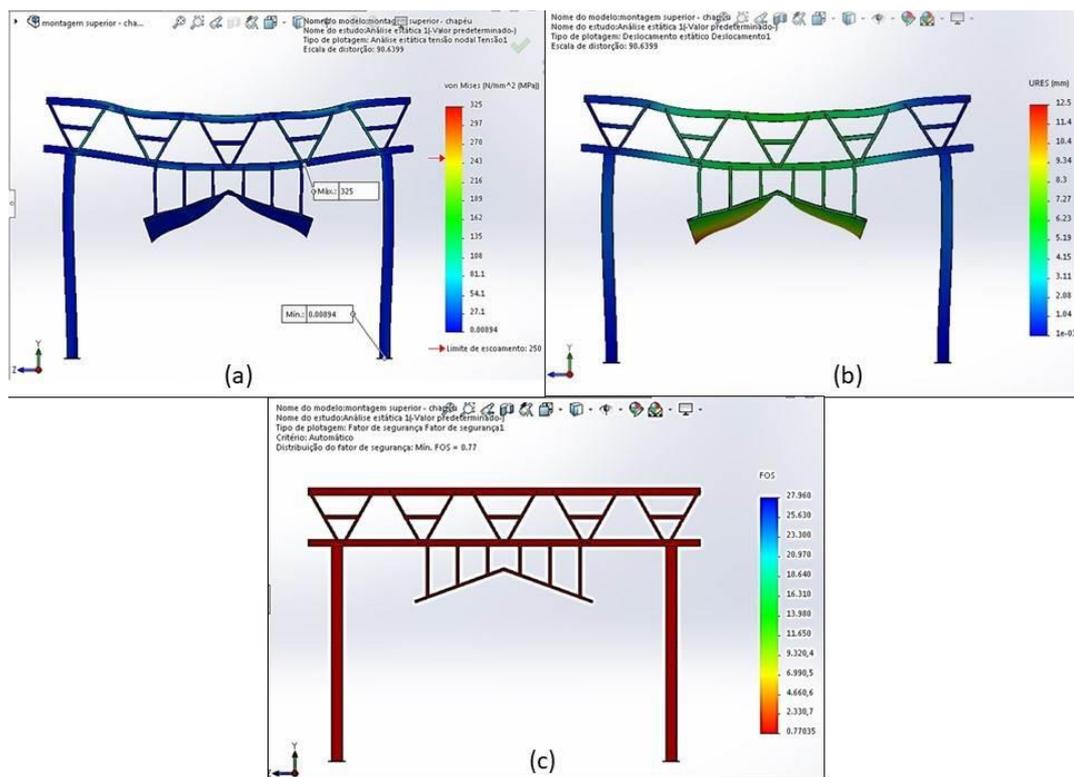


Figura 10 – Análise estática para caso 03: (a) tensão de Von mises; (b) deslocamento estático; (c) Fator de segurança.

Na análise modal, para a primeira frequência natural (8,30 Hz), conforme se pode verificar na Figura 11(b), não há condições para ressonância, tendo em vista que a frequência de excitação é de 6,37 Hz, portanto menor que as frequência natural determinadas. Complementarmente na análise de resposta harmônica a amplitude de deslocamento versus as frequências naturais, vistas na figura 11(c), apresentam valores bem acima do deslocamento máximo permitido (48 mm), mesmo em frequencia próximas a frequencia naturais. A estrutura está comprometido, percebendo se uma severa degradação, tendo em vista que o pico de deslocamento desta estrutura , esta acima de 1000mm, possuindo várias valores de amplitude, acima dos preconizados na norma NBR 14762., o que podemos concluir como suficiente para o colapso estrutural, portanto a estrutura na condição proposta, não atende as primissas estabelecidas para validação da estrutura, conforme metodologia definida no fluxograma (Figura 04). A estrutura proposta esta reprovada, tanto na análise estática , quanto na análise dinâmica.

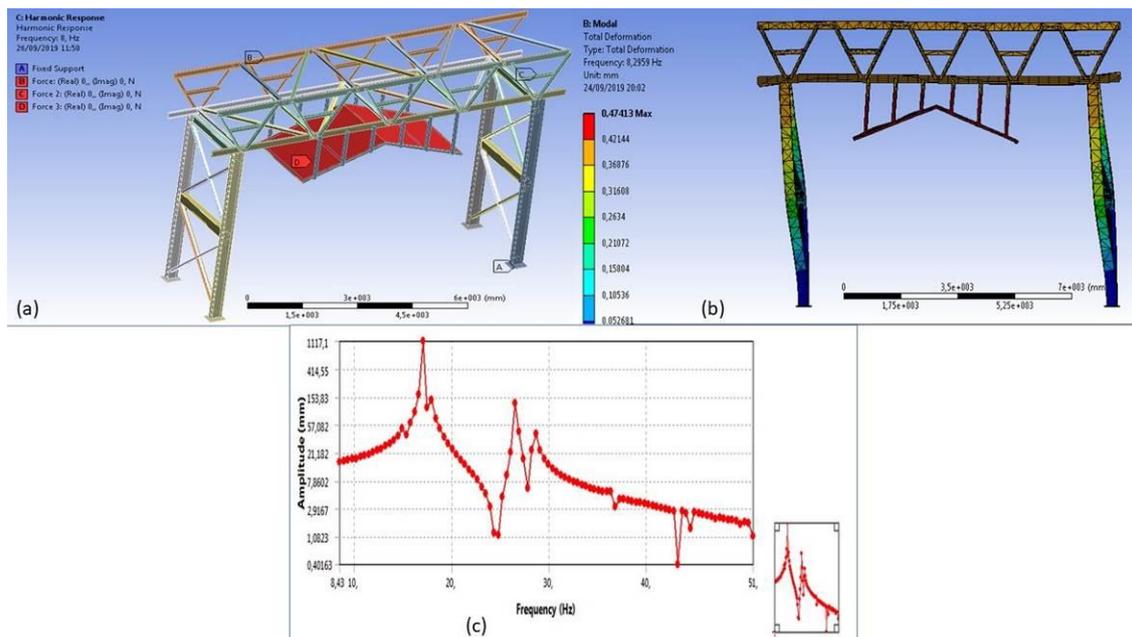


Figura 11 – Análise Dinâmica para caso 03: (a) modelagem 3D; (b) análise modal – frequência natural; (c) análise resposta harmônica.

## 5. Conclusões

Este estudo de caso aponta a degradação estrutural do transportador de correia, quando submetida a carregamento não previsto, como a implantação de casa de passagem conjugadas ao transportador, prática de menor custo, entretanto danosa à estabilidade estrutural do equipamento, levando rapidamente ao comprometimento e colapso estrutural, principalmente quando o material é de alta densidade, como no caso de minério de ferro. Sobrecarga de uma tonelada mais peso próprio da casa de passagem já compromete a estrutura, como se pode verificar nas simulações apresentadas. A solução para a estabilidade estrutural do transportador de correia passa pela correta manutenção deste equipamento, mantendo as condições de projeto, como substituição de componentes defeituosos, alinhamentos em geral, quanto a aspectos operacionais, como limpeza industrial, tendo em vista que a perda de materiais, e inerente ao processo de transporte, podendo ser reduzido, mais dificilmente eliminado por completo, assim sendo no caso da logística de minério de ferro, a limpeza tem que ser eficiente, tendo em vista que rapidamente a estrutura pode sofrer carregamentos acidentais perigosos à estrutura, o que no caso de estruturas de casa de passagem conjugadas ao transportador é mais crítico, quando comparadas a estruturas de casa de passagem autoportantes. Por fim, pode-se concluir que a casa de passagem conjugada ao transportador de correia não são recomendadas e devem ser evitadas.

**Referências**

**NBR 6177** - Transportadores contínuos - Transportadores de correia - Terminologia, São Paulo, 1999.

**NBR 14762** - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. São Paulo, 2010.

**CAMPOS, André Luiz.** Dimensionamento de um transportador contínuo para o transporte de minério de bauxita considerando aspectos estáticos e dinâmicos. Brasília, 2013.

**CEMA-** Conveyor Equipment Manufacturers Association. Belt Conveyors for Bulk Materials. 6th Ed., Florida, 2006.

**GELAIS, M et al.** - Uma análise comparativa entre o cálculo estático e dinâmico de transportadores de correia, Revista Ciência e Tecnologia, v. 19, n. 35, p. 1-11, 2016.

**GERDAU,** Catálogo Barras e Perfis, 2019.

**MERCÚRIO.** Manual Técnico de Correias Transportadoras. Itu: Schoba, 2015.

**SWINDERMAN, R.T et al.** – Guia Prático para um Controle mais Limpo, Seguro e Produtivo de Pó e Material. 4ª edição, Martin Engineering Company, EUA, 2009.