

ESTEIRA ROLANTE PARA TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Ana Carolina Maciel, ana_c_maciel@estudante.sc.senai.br¹
Diego Rafael Liz, diego_r_liz@estudante.sc.senai.br¹
Harley Ivan Venicius Inácio, harley_ivan@estudante.sc.senai.br¹
Thais de Jesus Schmitt Ballmann, thais.ballmann@edu.sc.senai.br¹
Anderson de Carvalho Fernandes, anderson.fernandes@edu.sc.senai.br¹
Bruna Zappelino de Freitas, bruna.zappelino@edu.sc.senai.br¹

¹Faculdade Senai Joinville, R. Arno Waldemar Dohler, 957 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89223-001

Resumo. Esteiras rolantes são amplamente utilizadas na indústria, com o objetivo de transportar os mais diversos tipos de carga, tais como peças, produtos e combustíveis, tal como serragem, resíduo sólido resultante de outros processos que pode ser reaproveitado para a geração de energia térmica. Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo de esteira rolante para transporte de serragem, sendo realizadas diversas etapas como revisão de literatura, cálculos, projeto mecânico, montagem, testes, adaptações e simulação. Assim, os resultados apresentam o projeto conceitual final e a montagem do protótipo da esteira, sendo que testes experimentais confirmam o transporte de serragem com a vazão mássica desejada, conforme definido anteriormente por meio de métodos matemáticos.

Palavras chave: Esteira rolante. Resíduos sólidos. Serragem. Protótipo. Métodos matemáticos.

Abstract. Conveyor belts are widely used in industry, in order to transport the most diverse types of cargo, such as parts, products and fuels, such as sawdust, solid waste resulting from other processes that can be reused for the generation of thermal energy. Therefore, the present work aims to develop a prototype conveyor belt for transporting sawdust, with several stages being performed such as literature review, calculations, mechanical design, assembly, tests, adaptations and simulation. The results present the final conceptual project and the assembly of the prototype conveyor belt, and experimental tests confirm the transport of sawdust with the desired mass flow rate, as previously defined through calculations.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

Keywords: Conveyor belt, Solid residues, Sawdust, Prototype, Mathematical methods.

1. INTRODUÇÃO

A função da esteira transportadora (conveyor belt), também conhecida como correia transportadora, é providenciar um fluxo contínuo entre as operações pela qual o material/peça precisará passar e, devido às inúmeras vantagens como economia, segurança de operação, confiabilidade e versatilidade de aplicações, esse equipamento de transporte é amplamente utilizado no carregamento e elevação de materiais de pequeno, médio e grande porte em diversos segmentos de mercado. A esteira transportadora foi protagonista no contexto da revolução industrial, proporcionando maior agilidade de produção no que ficou conhecido como Fordismo, método no qual o produto é transportado ao longo da linha de produção, passando por diversos processos e operários até que se obtenha o produto (LUÍS et al., 2016). Esse componente industrial é basicamente composto por uma correia sem fim estendida entre dois rolos principais, sobre os quais a correia desliza com baixo atrito, tornando-se capaz de mover cargas pesadas. Dentre as limitações da esteira têm-se a velocidade de transporte e a inclinação de trabalho (BASTOS, 2014). As esteiras são compostas por diversos elementos de máquina, incluindo polias, mancais e eixos, além da própria correia transportadora, motor e sistema de redução, fornecendo movimento e torque necessário para o transporte das peças (TULLIO; MACHADO, 2020). Dentre as possibilidades de carga, a esteira pode ser utilizada para transporte de combustíveis, tal como o resíduo sólido serragem.

RAPOSO et al. (2015) realizou um estudo para avaliar a possibilidade de aproveitamento energético da serragem gerada na região do Moçambique. O autor explica a importância da biomassa de serragem, pois esta é uma fonte renovável, reduzindo impactos ambientais e gastos econômicos devido à possibilidade de utilização da energia térmica gerada. Dentre as técnicas a serem aplicadas na serragem a ser utilizada para queima, é a briquetagem e a pelletização, de modo a densidade energética desse combustível e, conseqüentemente, o poder calorífico do mesmo. Raposo et al. (2015) ainda cita a ampla aplicação da madeira para geração de energia térmica, sendo que a lenha contribui com 8,40 % do consumo total no contexto em que 38,40 % da energia renovável é provinda da biomassa.

Desse modo, o presente projeto tem como objetivo desenvolver uma esteira rolante para transporte do resíduo sólido serragem. Nesse sentido, para a concretização do projeto, diversas etapas foram realizadas, dentre estas revisão de literatura, projeto mecânico, cálculos, montagem, testes, adaptações e simulação.

2. METODOLOGIA

Projetar trata-se de formular um plano para suprir a uma necessidade específica, sendo o projeto um processo inovador no qual se faz necessária a tomada de decisões (Shigley, 2016). Para o desenvolvimento do projeto em questão, se utilizou a metodologia apresentada na Figura 1, incluindo etapas como definição do problema (desenvolvimento de um protótipo de esteira rolante para transporte do resíduo sólido serragem), síntese (projeto conceitual inicial da esteira), análise e otimização (com base no projeto conceitual, compreender quais as possíveis melhorias) e avaliação (montagem e testagem da esteira por meio de experimentos práticos). Ademais, a integração entre as etapas foi essencial, como por exemplo o retorno a fase conceitual após identificação de necessidade de novas peças para integrar a esteira e garantir o bom funcionamento da mesma.

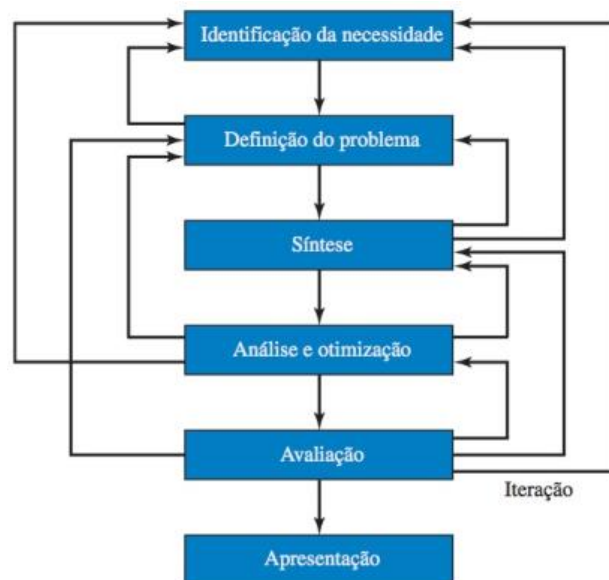


Figura 1. Fluxograma das fases de um projeto, identificando as possíveis realimentações e interações (Shigley, 2016)

2.1. Definições iniciais

Tendo em vista a importância ambiental e econômica da biomassa, esse será o combustível a ser transportado pela esteira, o qual seria representado por casca de lápis. Como meio de baratear os custos envolvidos na fase de experimentação, foi utilizado serragem com densidade média de 0,21 g/cm³. O motor utilizado para o deslocamento da esteira trata-se de um Ckiyama código AK555/306PL12S6500C, com rotação de 5300 rpm e torque de 306,4 gf.cm.

2.2. Softwares

Para o desenvolvimento da esteira foi necessária a realização do projeto da mesma, sendo utilizado o SolidWorks, software CAD (Computer Aided Design – Projeto Assistido por Computador) versão 2021. Casos específicos de simulação foram realizados para compreender a concentração de tensão de determinadas peças, além do tempo de usinagem caso alguns componentes fossem manufaturados por esse processo. Nesses casos, se contempla a tecnologia CAE (Computer Aided Engineering – Engenharia Assistida por Computador), sendo utilizado o software NX Siemens versão 1867.

2.3. Equações

Ao longo do desenvolvimento do projeto foi necessária a utilização de equações matemáticas que auxiliassem nos cálculos de redução do motor, dimensões do funil e análise de tensão, conforme mostra a Figura 2. A Tabela 1 apresenta as variáveis matemáticas utilizadas nos cálculos, tais como módulo (m) e número de dentes (Z) das engrenagens.

$$\begin{aligned}
 W_m &= \frac{n * \pi}{30} & m &= \frac{D}{Z} \\
 U_m &= W * r & n_e &= \frac{30 * U}{\pi * r} \\
 D_e &= 2 * \frac{30 * U}{n * \pi} & U_e &= W_e * \frac{D_r}{2}
 \end{aligned}
 \tag{a}$$

$$Q = \rho * A \quad \dot{m} = \frac{m}{t}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \tau_{m\acute{a}x} = \frac{T * r}{J} \quad \sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M * c}{I}$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad A = h * d \quad \sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x * \sigma_y + 3 * \tau_{xy}}$$

(a)
(b)
(c)

Figura 2. Equações utilizadas para o dimensionamento (a) das engrenagens do sistema de redução, (b) da área de saída do funil de alimentação e (c) de tensões devido a cargas estáticas (Adaptado de Shigley, 2016 e Norton, 2013)

Tabela 1. Variáveis matemáticas utilizadas nos cálculos

Aplicação	Variável	Representação	Unidade
Redução do motor	Rotação	n	rpm
	Torque	T	N.m
	Diferença de potencial	V	Volts
	Velocidade angular	W	rad/s
	Módulo	m	-
	Número de dentes	Z	-
	Diâmetro primitivo	D	mm
	Velocidade linear	U	m/s
Dimensionamento do funil	Vazão volumétrica	Q	cm ³ /s
	Densidade	ρ	g/cm ³
	Área	A	cm ²
	Altura	h	cm
	Diâmetro	d	cm

Aplicação	Variável	Representação	Unidade
Análise de tensão	Força	F	N
	Área	A	m ²
	Momento	M	N.m
	Centróide	c	m
	Momento de inércia	I	m ⁴
	Torque	T	N.m
	Raio	r	m
	Momento polar de inércia	J	m ⁴
	Tensão	σ	Pa
	Tensão torcional	τ	Pa

2.4. Processos e Materiais

Segundo Silva (2019), a Manufatura Aditiva (MA), popularmente conhecida como Impressão 3D, vem inovando o método de criação de peças e objetos, sendo este um processo que utiliza um modelo CAD para realizar a extrusão de material camada a camada, formando a peça final. Quirino (2020) explica que essa técnica surgiu na década de 60, sendo, nesta época, chamada de prototipagem rápida. O termo Manufatura Aditiva foi de fato estabelecido somente em 2009, pela norma ASTM F2792, sendo atualizada em 2015 para ISO/ASTM 52900. O autor também explica a flexibilidade dessa técnica de manufatura para a construção de objetos complexos, além de enfatizar a quantidade e importância dos parâmetros de MA para as propriedades mecânicas das peças construídas.

Nesse sentido, para o projeto da esteira em questão, a técnica de FDM foi utilizada na construção de diversas peças, descritas na Tabela 2, sendo utilizado, como material de adição filamento do polímero PLA. A Tabela 2 apresenta os parâmetros de processamento configurados no software Ultimaker Cura, os quais foram utilizados na Manufatura Aditiva das peças da esteira.

Tabela 2. Parâmetros de processamento utilizados na MA das peças

Parâmetro	Valor	Unidade
Velocidade de impressão	40 a 50	mm/s
Altura de camada	0,15	mm
Temperatura de extrusão do bico	200	°C
Temperatura da mesa	60	°C
Preenchimento da camada	20 a 50	%
Largura de cada parede	0,4	mm
Número de paredes	3	-

Neto (2019) cita a versatilidade do corte a laser em materiais como madeira, vidro, polímero, metal e tecido, possibilitando a obtenção de geometrias complexas com tolerâncias dimensionais rigorosas, frisando como principais vantagens deste processo a precisão, a qualidade final da superfície cortada, os baixos níveis de deformação, emissão e fumo e ruído, além da a reduzida Zona Termicamente Afetada (ZTA).

Desse modo, o corte a laser foi utilizado para cortar algumas peças do projeto descrito no presente relatório, sendo estas de acrílico, na qual o laser foi fundamental para acertar o tamanho das chapas, bem como fazer as ranhuras necessárias para posterior encaixe de outras peças. Conforme mostrado na Figura 3, a máquina utilizada trata-se da marca DuploTech modelo DUPLOTECH 1080 100 W, com parâmetros de 15 mm/s de velocidade de corte e 98,5 % da potência máxima da máquina, sendo esta 100 W.

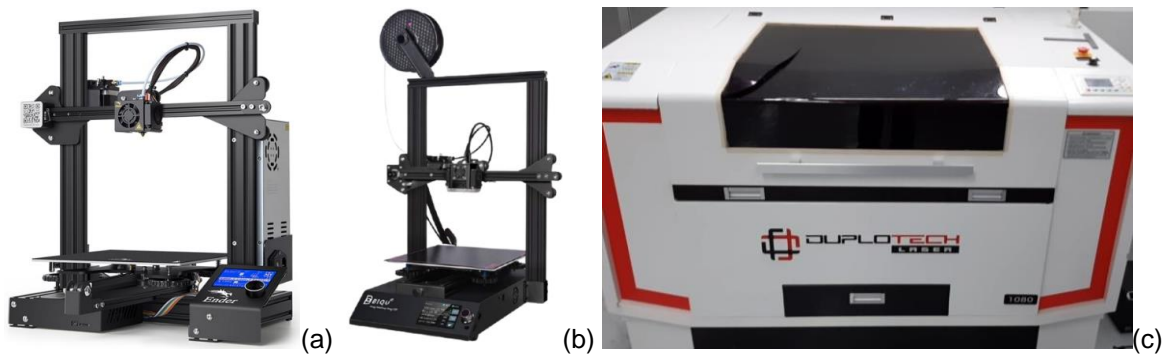


Figura 3. Máquinas (a) Creality Ender 3 e (b) Bigtreetech Biqu B1, utilizadas na MA e (c) DuploTech 1080 100W, no Corte a Laser

3. RESULTADOS

3.1. Projeto conceitual inicial

O Projeto conceitual da esteira, desenvolvido no SolidWorks possibilitou a compreensão do desafio, de modo a desenvolver o mesmo, aplicando melhorias ao longo das atividades, para posterior fabricação dos componentes e montagem da esteira. Na Figura 4 é possível visualizar o layout inicial proposto, contendo a ideia básica de funcionamento desse equipamento de transporte de combustível, em que o motor é acoplado a um sistema de redução de rotação por meio de engrenagens, considerando a motora e a movida. Posteriormente, a engrenagem movida transmite movimento ao eixo, o qual está fixo a um rolo de diâmetro maior que finalmente gerará o movimento da esteira.

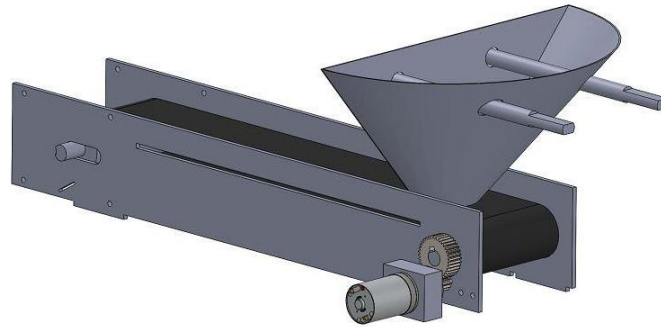


Figura 4. Layout inicial da esteira

O conceito de funil utilizado, ilustrado na Figura 5, baseia-se na distância (h) no eixo Z entre a área de saída do mesmo e a correia, sendo esta pequena o suficiente que não haja entupimento, mas não tão elevada de modo que muito combustível seja depositado na esteira.

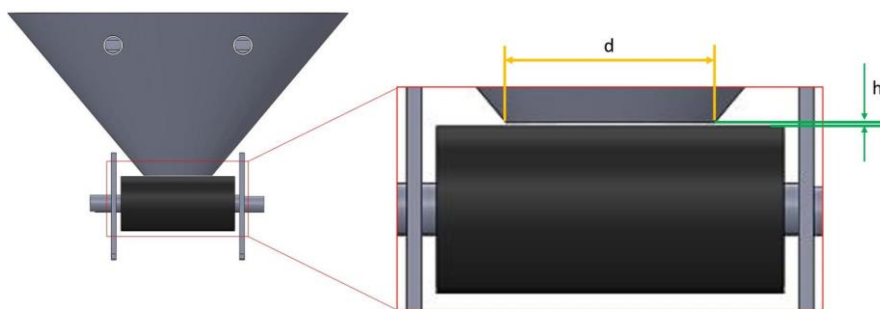


Figura 5. Conceito de funcionamento do funil

3.2. Teste preliminar

Para o projeto do funil e compreensão da área de saída com base na vazão volumétrica a ser entregue, testou-se o escoamento. O funil inicialmente desenvolvido para o teste preliminar apresentava 3 cm de diâmetro de saída, 22,5 cm de altura e 30° de ângulo em relação a vertical. A Figura 6 apresenta a preparação para o Teste Preliminar, demonstrando o béquer utilizado para adição do combustível sólido no funil durante o teste, além do modo de fixação do funil com grampos.



Figura 6. Teste preliminar

Para compreender a fluidez do combustível sólido e a relação de vazão final obtida, fez-se uma marcação de 15 cm em uma folha de papel. Nesse sentido, o teste foi realizado de modo que o funil, fixado a aproximadamente 0,88 cm da base, foi inicialmente posicionado em cima da folha, em um dos extremos da linha desenhada. O funil manteve-se parado, ao passo que a folha foi vagarosamente puxada, em velocidade aproximadamente constante, um cronometro foi iniciado, sendo o mesmo parado depois de percorridos os 15 cm, contabilizando 5,72 segundos.

Ao modo que a folha foi sendo deslocada em 15 cm por 5,72 segundos, a serragem foi sendo despejada na folha de papel, resultando em 3,929 gramas. Porém, para isso o diâmetro de saída do bocal foi alterado para 4 cm, já que com 3 cm o combustível sólido entupiu na saída do bocal. Com os dados de massa e tempo obtidos no teste, foi possível calcular

a vazão mássica aproximada obtida, resultando em 0,69 g/s. Além disso, 15 cm percorridos em 5,72 segundos, resultam em uma velocidade média da esteira de 2,62 cm/s.

3.3. Adaptações de projeto

- Geometria do funil

Inicialmente o funil foi projetado pensando em um semicone, porém, posteriormente, se alterou a geometria para um cone com 360°, tendo em vista que a quantidade de material que cabe neste é maior. Além disso, acredita-se que o semicone, por ter ângulo somente em 180°, poderia ter uma condição dificultada de escoabilidade da serragem, facilitando o entupimento do funil. Ademais, o sistema de fixação e sustentação do mesmo foi otimizado, de modo que o suporte forneça mais estabilidade ao funil, além de permitir ajuste de altura sem utilização de bases de fixação comerciais.

- Dimmer

Um dimmer foi adicionado ao projeto para controlar a tensão do circuito, sendo possível, então, reduzir a velocidade da esteira e controlar a vazão de combustível sólido entregue pela esteira.

- Suporte adicional e capa protetiva para o motor

Para reduzir vibrações e o impacto do peso do motor na estrutura, foi incluído no projeto um suporte adicional para o motor. Além disso, uma borracha de baixa espessura foi adicionada em baixo de cada apoio da esteira, o que auxiliou a reduzir a vibração da esteira durante o funcionamento da mesa, garantindo maior estabilidade no transporte do combustível sólido. Ademais, visando proteger a estrutura interna do motor e reduzir o ruído, foi desenvolvida uma capa protetora para o mesmo.

- Rolamento

Inicialmente o eixo da esteira em que se acopla a engrenagem movida foi projetado apenas com bucha de latão visando evitar o desgaste do acrílico devido à rotação do eixo. Porém, em testes foi possível observar que a esteira só girava com o dimmer em aproximadamente 50 %, mostrando a dificuldade de acionamento do motor considerando o atrito do eixo com a bucha. Nesse sentido, foram adicionados dois rolamentos a este eixo, sendo cada um fixo em uma das placas laterais, resultando em mais leveza no movimento, o que solucionou a dificuldade anteriormente exposta.

- Barra roscada

Visando manter as placas laterais na devida posição sem tender a fechar ou abrir na parte superior, bem como evitar vibração excessiva dessas placas, duas barras roscadas foram adicionadas à esteira, fixas de um lado ao outro da mesma por intermédio de furos nas placas laterais e buchas.

3.4. Projeto conceitual final

Com base em cálculos e testes preliminares, o projeto conceitual da esteira foi finalizado sendo este composto por trinta e duas peças, incluindo funil, correia transportadora, esticadores, rolamentos, placas laterais e outros.

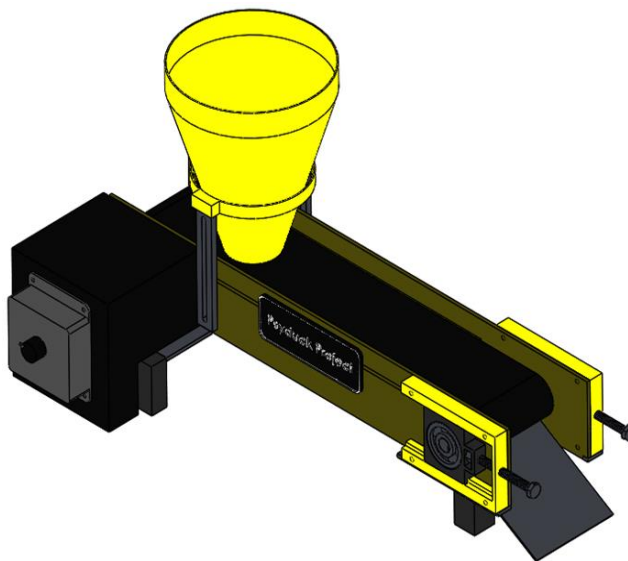


Figura 7. Projeto conceitual final

Tendo o projeto conceitual finalizado, as peças foram produzidas por manufatura aditiva e corte a laser, sendo possível visualizar na Figura 8 a esteira final desenvolvida.

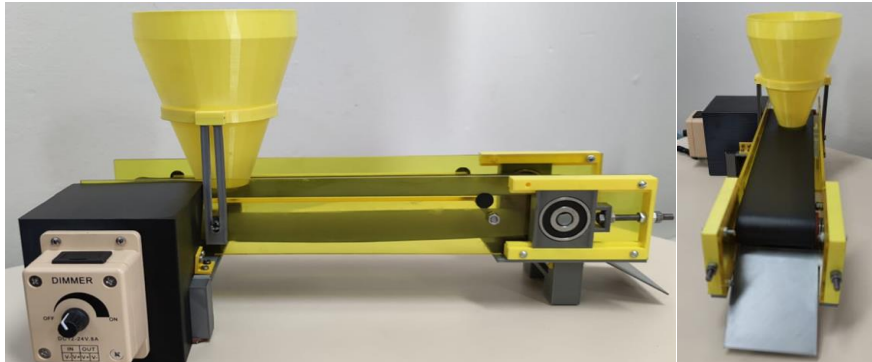


Figura 8. Protótipo

3.5. Simulação

Para compreensão do efeito das cargas envolvidas no projeto da esteira, foram realizadas simulações de análise de tensão deformação aplicando a Von-Misses. No primeiro caso simulado, foi aplicado ao eixo (\varnothing 10 mm), fixo ao rolo (\varnothing 30 mm) e acoplado ao motor, 306,4 gf.cm de torque (torque máximo do motor). Os valores de tensão Von-Misses obtidos foram de 1,523 KPa, 190 KPa e 252 KPa para os casos com tamanho de elemento de, respectivamente, 10, 7,5 e 3, enquanto que de deslocamento foram de 3,86 μ m, 3,93 μ m e 4,06 μ m, na mesma ordem. A placa base do motor, ilustrada na Figura 9, foi o segundo caso simulado, sendo aplicada uma carga fixa de 49,05 N perpendicular à placa (peso do motor). Os valores resultantes de tensão Von-Misses foram de 944 KPa, 1115 KPa para os casos com tamanho de elemento de, respectivamente, 7 e 4, enquanto que de deslocamento foram de 0,216 mm e 0,221 mm.

Como os elementos analisados estão devidamente apoiados, esses resultados de deslocamento não tendem a ocorrer de modo tão expressivo, evidenciando a importância de uma estrutura reforçada e bem projetada. Ademais, ambas as peças foram construídas por MA em PLA, o qual, segundo Silva (2019), para peças produzidas por MA com preenchimento de 100 % apresenta tensão de escoamento máxima de 75 MPa e módulo de elasticidade de 13,595 Mpa.

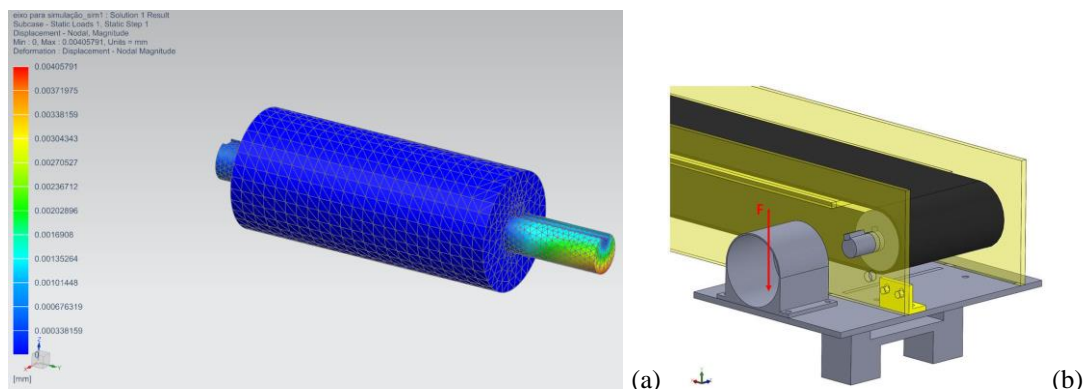


Figura 9. Simulação de carga fixa aplicada sendo (a) a massa do motor sendo considerada como a força principal atuante e (b) o resultado de deslocamento do rolo preso ao eixo quando submetido a um torque de 306,4 gf.cm

3.6. Validação

Após as fases de projeto conceitual inicial, adaptações de projeto, projeto final e montagem do protótipo, experimentos práticos foram realizados para validar o funcionamento da esteira e a relação de vazão entregue. Desse modo, com o dimmer posicionado em cerca de 10% da capacidade de rotação do motor, se obteve 4,7 g/s de vazão mássica com a esteira se movendo linearmente a 21,3 cm/s (obtido experimentalmente por meio de software de imagem). Fazendo uma relação direta desse 4,7 g/s com os valores de vazão mássica e velocidade encontrados no Teste Preliminar, observa-se que a velocidade semi teórica da esteira seria de 17,8 cm, valor este bem próximo ao valor real. Um desvio se deu devido a fatores não considerados nos cálculos, tais como atrito entre os diversos componentes da esteira e características reológicas da serragem. Ademais, o valor de vazão mássica final obtido foi maior se comparado ao do Teste Preliminar

devido ao torque mínimo do motor para conseguir manter a esteira em funcionamento. Desse modo, se observa que as considerações e cálculos feitos com base no teste preliminar foram de fato efetivos no protótipo da esteira, contribuindo para o projeto e bom funcionamento da mesma.

4. CONCLUSÕES

A esteira transportadora é um equipamento com ampla aplicação industrial, sendo de extrema relevância que os engenheiros conheçam e entendam o funcionamento das mesmas. Nesse sentido, o projeto em questão foi de grande relevância, já que trouxe conhecimentos importantes como a relevância do sistema de redução, dimmer, rolamento, esticador, cálculos e simulações envolvidas. Ademais, a vazão mássica final entregue foi de fato muito semelhante à calculada por meio do teste preliminar, se mostrando este um método efetivo para utilizar como base no projeto de protótipos de esteiras rolantes. Desse modo, se faz possível a construção de esteiras rolantes que transportam combustível sólido na vazão desejada. Para trabalhos futuros sugere-se a experimentação com motores que permitam menores velocidades de transporte e, conseqüentemente, menores vazões volumétricas de combustível. Além disso, para que se obtenha um cálculo preliminar ainda mais preciso de vazão mássica, também sugere-se considerar outros fatores importantes tais como o atrito entre os diversos componentes da esteira e as características reológicas da serragem.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville por ceder laboratórios e materiais para o desenvolvimento do projeto da esteira.

6. REFERÊNCIAS

- BASTOS, N. A. Projeto de correias transportadoras: um estudo computacional de comparação dos métodos cema e prático. [s. l.], v. 3, p. 358–370, 2014.
- LUÍS, A. et al. Esteira Transportadora. [s. l.], 2016.
- RAPOSO, F. L. Q. et al. Aproveitamento de biomassa resultante da serragem e painagem da madeira em Moçambique. 35th SENAFOR, [s. l.], p. 1–27, 2015. Available at: <http://www.cbcm-metalforming.com/publicacoes/2015/PA04.pdf>
- RICHARD G. BUDYNAS, J. K. N. Elementos de máquinas - Shigley 10º Ed.pdf. 10. ed. Nova York: [s. n.], 2016.
- NETO, H. F. Análise de parâmetros e eficiência de corte para configuração inicial de uma máquina a laser. [s. l.], 2019.
- NORTON, R. L. Projeto de Máquinas - 4ed. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- QUIRINO, E. M. Avaliação experimental de corpos de prova de pla gerados por manufatura aditiva e recomendações sobre a aplicação em dispositivos assistivos. [s. l.], 2020.
- RICHARD G. BUDYNAS, J. K. N. Elementos de máquinas - Shigley 10º Ed.pdf. 10. ed. Nova York: [s. n.], 2016.
- SILVA, F. L. da. Comissionamento e Estudo dos materiais PLA e ABS processado através da manufatura aditiva. Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, [s. l.], p. 1–33, 2019. Available at: http://www.fatecsorocaba.edu.br/iniciacao/RELAToRIO_FELIPE_LOPES.pdf
- TULLIO, F. B. M.; MACHADO, L. M. B. Ampliação e aprofundamento de conhecimentos nas áreas das engenharias. In: ATENA (org.). [S. l.: s. n.], 2020. p. 208–239.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.