

PROPOSTA DE SIMULADOR DE CARGA PARA BANCADA DIDÁTICA DE TRANSPORTADOR DE CORREIA

Lis S. Moura, lis.moura@tucurui.ufpa.br¹
João L. L. Soares, soaresjoao974@gmail.com¹
Elton P. Souza, elton.souza@tucurui.ufpa.br¹
Walter S. Sousa, wss@ufpa.br¹
Alexandre L. A. Mesquita, alexmesq@ufpa.br¹
André L. A. Mesquita, adream@ufpa.br¹
Danilo S. Braga, danilo@dynamox.net²

¹Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia Mecânica. Av. Brasília, s/n - Vila Permanente - 68.455-901 – Tucuruí, PA

²Dynamox, Rd. SC 401, 600, St. Parque Tecnológico Alfa, Florianópolis - SC, 88.030-909.

Resumo. Este trabalho apresenta o processo de dimensionamento de um simulador de carga para o complemento de uma bancada didática de transportador de correia, na qual são realizadas medições de vibração para fins de manutenção preditiva usando métodos inteligentes de diagnóstico. A finalidade do simulador de carga é exercer uma força vertical na correia capaz de simular o material, especialmente minério de ferro, a ser transportado. Dessa forma, a bancada deve possuir regulagens que permitam a sua movimentação no sentido vertical, possibilitando assim a simulação da variação da carga na correia. Consequentemente, com o simulador de carga inserido na bancada, será possível realizar ensaios no transportador com carga simulada. E os estudos serão realizados partir da análise de identificação de defeitos em condições realísticas.

Palavras chave: Simulador de carga. Bancada didática. Transportador de correia. Manutenção preditiva.

Abstract. This work presents a design and manufacturing process for a load simulator to complement a belt conveyor didactic workbench, in which studies of vibration signals are carried out for predictive maintenance in rotating machines using machine learning methods. The purpose of the load simulator is to exert a vertical force on the belt capable of simulating the material, especially iron ore, to be conveyed. Therefore, the workbench must have adjustments that allow its movement in the vertical direction, thus enabling the simulation of load variation. With the load simulator installed on the workbench, it will be possible to obtain more accurate results for identifying defects based on the applied load

Keywords: load simulator, didactic workbench, belt conveyor, predictive maintenance.

1. INTRODUÇÃO

A relevância do desenvolvimento de estudos sobre transportadores de correia se deve ao fato de que, nos últimos anos, indústrias do ramo da mineração têm realizado modificações no transporte do material, substituindo caminhões fora-de-estrada por transportadores de correia. Essa ação, denominada de sistema truckless, apresenta vantagens como uma produção mais limpa, redução de custos operacionais e um aumento na segurança, já que o tráfego de caminhões é uma das principais fontes de acidentes nas indústrias mineradoras (Mendonça et al., 2016). Essa mudança ocorre devido à extração de recursos naturais causar impactos sociais e ambientais de longo prazo, o que leva a um grande desafio ambiental e à necessidade de seleção adequada das tecnologias disponíveis (Faria et al., 2009).

Diante do desenvolvimento de novas tecnologias que proporcionam o uso adequado dos recursos naturais, busca-se por descobertas tecnológicas para melhorar os processos, principalmente na fase de operações, na qual é fundamental exigir um processo rigoroso e sistemático de identificação de problemas. Portanto, existem oportunidades de inovação tecnológica em cada etapa do processo tanto socialmente quanto emocionalmente (Tuazon et al., 2012). A inovação tecnológica na indústria de minérios contribui em cada etapa, desde a exploração mineral, extração, processamento até as questões ambientais relacionadas à produção. Assim, cada vez mais são necessários equipamentos sensíveis e técnicas inovadoras (Upstill et al., 2006).

Além disso, no cenário da produção industrial, interrupções não planejadas e a redução da produção são fatores que devem ser analisados, para que o prejuízo gerado seja o menor possível. Para isso, costumam-se adotar técnicas de manutenção preditiva para corrigir uma fragilidade identificada antes que ocorra uma falha, a partir da observação de uma tendência, registrando-se e analisando-se em tempo real (Bandeira et al., 2010). A NBR 5462 (1994) define manutenção preventiva como todas as ações de manutenção realizadas antecipadamente ou de acordo com critérios estabelecidos em um plano de manutenção, com o objetivo de evitar que os equipamentos falhem e causem paradas no processo de produção.

Segundo Feres (2003), a manutenção preditiva desempenha um papel importante nas plantas industriais, quando consegue atender às duas prementes demandas do competitivo mercado dos dias atuais: redução de custos e garantia de disponibilidade. Paradas não programadas levam a um aumento do estoque de peças para manutenção e ao aumento de custos relacionados a intervenções de emergência e à redução da produção enquanto a máquina está em manutenção (Macário, 2006). Portanto, é necessário remonitorar as condições reais de funcionamento do equipamento e, com base em dados, elaborar uma ferramenta capaz de informar a vida útil dos componentes. Nesse contexto, a análise de vibração apresenta-se como um método eficiente na identificação de falhas em máquinas, uma vez que os parâmetros são definidos com base nas condições normais de operação do equipamento. Com a realização de aquisições periódicas dos sinais de vibração, é possível identificar de anomalias nos sinais característicos e, assim, diagnosticar determinada falha (Silva, 2012).

Tendo isso em vista, os estudos de aprendizado de máquina (machine learning) são grandes aliados da manutenção preditiva, uma vez que, a partir destes, são desenvolvidos modelos analíticos automatizados para ensinar sistemas a identificar padrões e definir as condições dos equipamentos e traçar diagnósticos eficientes. Segundo Rocha (2014), com a evolução tecnológica, softwares foram desenvolvidos a fim de facilitar os processos de análise e manutenção por vibração.

Garcia (2005) afirma que a análise de vibração é uma ferramenta poderosa de diagnóstico de problemas em máquinas e que o retorno dado pelo desenvolvimento de um programa de análise de vibração pode chegar de dez a cinquenta vezes o valor investido no primeiro ano de operação, justificando então a necessidade do estudo nesta área. Conforme essa necessidade, bancadas experimentais desempenham um papel importante no desenvolvimento desses estudos, já que a utilização de ferramentas didáticas fornece a oportunidade de verificar determinados efeitos apresentados pela teoria e fazer a aplicação desses conceitos em atividades práticas de forma correlacionada.

Segundo Amorim (2006), as bancadas didáticas experimentais são equipamentos indispensáveis em atividades de ensino de engenharia. Já segundo Lima (2012), os equipamentos didáticos para o ensino de engenharia disponíveis no mercado nacional são poucos, na maioria das vezes importados e muitas vezes extremamente caros. Dessa forma, é justificável a relevância de estudos voltados para elaboração e construção de bancadas didáticas para estudo de engenharia.

Diante dessa realidade, este trabalho apresenta uma metodologia de projeto para construção de uma bancada didática para análise de vibrações em transportadores de correia. O objetivo é a produção de um equipamento que possibilite o estudo em transportadores de correias com carga simulada, retratando um ambiente industrial com o auxílio desta bancada didático/experimental. Assim, criando um ambiente capaz de representar uma máquina em operação para serem desenvolvidos os estudos de diagnóstico de roletes de transportadores de correia por análise de vibrações com recursos de aprendizado de máquina.

2. CONCEPÇÃO DA BANCADA

A primeira etapa da concepção da bancada consistiu na identificação das necessidades e restrições do projeto. A primeira necessidade decorre do fato de que bancada didática do transportador de correia será utilizada para outros estudos, uma vez que o equipamento simulador de carga será construído para compor a bancada didática presente no Parque de Tecnologia do Lago de Tucuruí — TECNOLAGO, polo de promoção da inovação e parque de ciência e tecnologia originado a partir do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico de Engenharia — NDAE, onde são realizados estudos de diversas áreas de estudos de engenharia. Por conta disso, o equipamento de simulação de carga deve ser móvel para que possa ser facilmente inserido durante o período de realização dos ensaios de análise de vibração e, da mesma forma, ser retirado para serem realizados os demais estudos no transportador. Como o transportador de correia presente no laboratório ser o 11” A1 SLVE M004 R00 Imepel, com cavalete de ângulo em 45°, o projeto deve atender às suas dimensionalidades. Por esse motivo, o simulador de carga foi projetado com três rolos com ângulo de 45° entre os mesmos para realizar o contato direto com a correia para preenchê-la corretamente tal como realizaria o material.

A segunda necessidade refere-se à estrutura de fixação da bancada, uma vez que ela deve ter sua fixação no solo para ser possível atingir o melhor resultado de vibração, com o mínimo de alteração possível. Além disso, há certa limitação do espaço físico no qual o simulador de carga será colocado devido a outras estruturas presentes no local. Nesse contexto buscou-se que o equipamento seja compacto, com as mínimas dimensões possíveis.

Outra necessidade de projeto é conhecer a força que está sendo aplicada sobre a correia, uma vez que a mesma precisa ser compatível com as cargas que serão trabalhadas durante os ensaios. Por esse motivo, foi especificada uma célula de carga como transdutor da força juntamente com um indicador de pesagem.

À vista das necessidades do projeto, optou-se pela utilização de um parafuso de potência com um servomotor para aplicar a força sobre a correia, pois com este tipo de atuador é possível obter um melhor controle da velocidade de avanço, um baixo nível de vibração, mantendo a estabilidade e o torque necessário sobre o motor para a aplicação da carga.

3. PROJETO E DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES

Com base nas limitações, necessidades e premissas determinadas na concepção da bancada, foi desenvolvido o projeto em fases. A primeira consistiu na modelagem da estrutura principal e do parafuso de potência utilizando no software SolidWorks. Em seguida, foram modeladas as hastes e suportes secundários. Após isso, foi desenvolvida a estrutura de “cavelete invertido”, uma vez que a estrutura deve encaixar no cavelete da correia, que vai suportar os rolos de contato. Por fim, realizou-se a determinação e dimensionamento dos componentes de máquinas e instrumentos a serem adquiridos comercialmente.

O modelo da bancada proposto é composto por um servomotor para aplicação do torque para acionamento do parafuso de potência ligado ao acoplamento mandíbula. O servomotor é suportado por uma base móvel que se movimenta conforme o avanço do parafuso de potência. Esse movimento ocorre sob as hastes de movimentação. As hastes de movimentação do servomotor são soldadas em uma placa de apoio que é o apoio principal do equipamento. Esta placa de apoio é fixada às vigas de fixação ao solo. O parafuso de potência é guiado por duas hastes guias e empurram o cavelete duplo que suporta os rolos que entrarão em contato com a correia para pressioná-la simulando a carga. A geometria final da bancada pode ser observada na Fig. 1 e a lista com os principais componentes e suas respectivas funções está apresentada na Tab. 1.

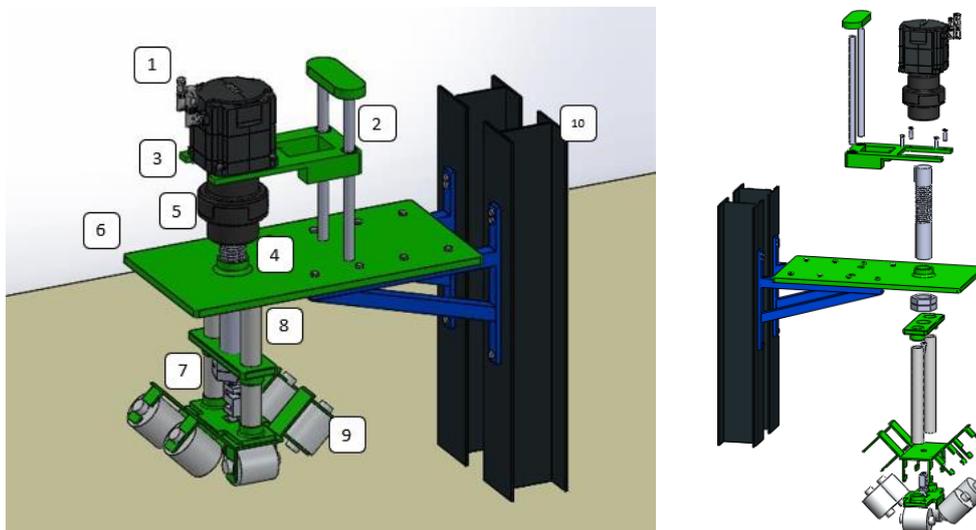


Figura 1. Simulador de Carga para Transportador de Correia vista isométrica e vista explodida (Autoria Própria)

Tabela 1. Componentes do Equipamento

Item	Componente	Descrição	Item	Componente	Descrição
1	Servomotor	Dispositivo de controle de posicionamento	6	Placa de Apoio	Sustentação do equipamento
2	Haste de Movimentação	Orientação do movimento vertical do servomotor	7	Célula de Carga	Sensor eletromecânico de força
3	Suporte servomotor	Sustentação do servomotor	8	Haste Guia	Orientação do parafuso de potência
4	Parafuso de potência	Elemento transmissor de força	9	Rolos de Contato com a Correia	Elemento de contato tensionador da correia
5	Acoplamento Mandíbula	Dispositivo de transmissão de movimento	10	Vigas de fixação no solo	Apoio Estrutural do equipamento

Para o dimensionamento do equipamento é necessário determinar as especificidades do parafuso de potência e então, dos demais componentes. Para isso, é preciso estimar a capacidade do transportador da bancada, levando em consideração a geometria da correia, que possui cavelete de três roletes com angulação de 45° e largura de 11”. Outro parâmetro

importante é a angulação de acomodação do material, que indica a quantidade de material transportado, sendo que a angulação estimada foi de 30° .

A Figura 2 apresenta a bancada completa do transportador de correia.

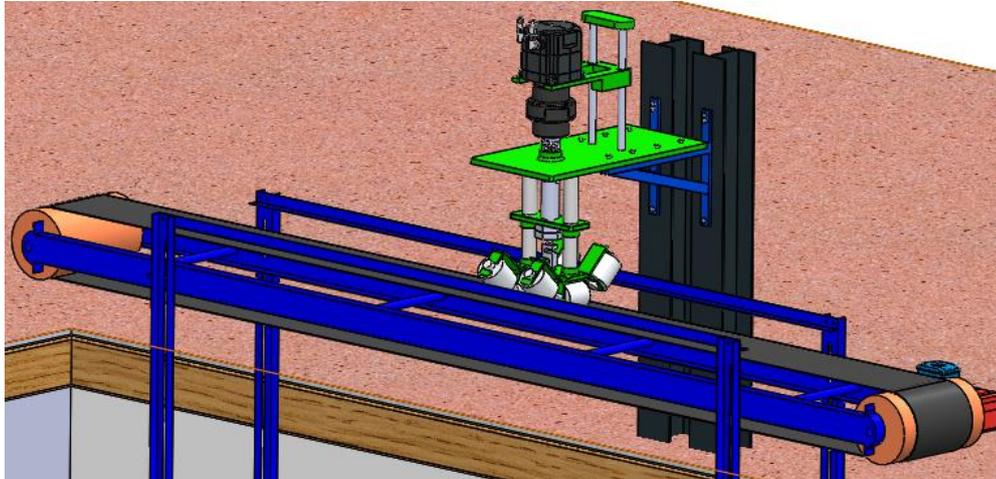


Figura 2. Bancada Didática de Transportador de Correia (Autoria Própria)

Com base no Manual de Transportadores de Correias Faço (1996), foi construída uma regressão para determinação da capacidade tabelada (C_{tabela}) em m^3/h a 1 m/s , que relaciona a largura da correia com o ângulo de abraçamento, para as condições de trabalho. Assim, a capacidade tabelada para as condições de trabalho determinada foi de $33,7\text{ t/m}^3$.

A Equação (1) representa a relação para cálculo da Capacidade volumétrica do transportador em m^3/h .

$$C = C_{tabela} \cdot V \cdot K \quad (1)$$

sendo V a velocidade do transportador e K o fator de correção da capacidade considerando o ângulo de abraçamento de 30° , que foram considerados $1,4\text{ m/s}$ e 1 , respectivamente. Assim, a capacidade volumétrica foi de $47,3\text{ m}^3/h$.

A Equação (2) apresenta o cálculo para determinação da Capacidade da carga Q em t/h .

$$Q = C \cdot \gamma \quad (2)$$

sendo γ o peso específico do material, que para o estudo foi considerado o material minério de ferro com $\gamma = 3,1\text{ t/m}^3$. Assim, a capacidade de carga é de $146,5\text{ t/h}$.

O cálculo do torque de subida do parafuso de potência é dado pela Eq. (3) (Norton, 2014).

$$T_s = \frac{P \cdot d_p}{2} \cdot \frac{(\mu \cdot \pi \cdot d_p + L \cdot \cos \alpha)}{(\pi \cdot d_p \cdot \cos \alpha - \mu \cdot L)} \quad (3)$$

sendo P a carga sobre o parafuso ($1397,57\text{ N}$), d_p o diâmetro primitivo do parafuso ($59,3\text{ mm}$), μ o coeficiente de atrito entre rosca e parafuso (padrão = $0,15 \pm 0,05$), L o avanço do parafuso ($8,458\text{ mm}$) e α o ângulo de hélice ($14,5^\circ$).

Na Equação (4) obtém-se o cálculo referente a condição de autotravamento do parafuso, condição necessária referente a estabilidade no parafuso de não avançar com peso próprio.

$$\mu \geq \tan \lambda \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

sendo λ o ângulo de avanço ($2,60^\circ$), observa-se que a condição de autotravamento é atendida e mantém uma fixação segura na posição desejada.

4. SELEÇÃO DOS COMPONENTES E PROCESSO DE FABRICAÇÃO

A escolha do material foi feita levando em consideração as necessidades e limitações do projeto, bem como a avaliação dos parâmetros como preço, facilidade de compra, facilidade de usinabilidade e soldagem. Com base nesses critérios, foi selecionado o ASTM A36 como material para as estruturas do equipamento, já que é amplamente utilizado para esse tipo de aplicação, possui grande disponibilidade no mercado e apresenta propriedades mecânicas bem delimitadas, o que é muito importante em projetos de responsabilidade. Já para as vigas de fixação no solo, optou-se pelo ASTM A572, devido

à necessidade de maior resistência e maior tenacidade neste componente. Além disso, esse componente deve garantir a permatência do equipamento na posição desejada, o que é possível para o ASTM A572 devido à sua alta tensão de escoamento. Para as hastes, escolheu-se o ASTM A570 Gr 36, uma vez que é necessária uma maior resistência nessa aplicação. Para os rolos de contato com a correia foi escolhido o alumínio. Essa escolha se dá principalmente ao fato de que a bancada será utilizada para estudo com material e o alumínio tem resistência a corrosão que ocorreria em decorrência do resto de material presente na correia.

Primeiramente, foi realizada uma lista detalhada dos materiais necessários para a fabricação das peças não comerciais. Em seguida, foi feito o orçamento destes materiais e dos componentes de máquina e instrumentos encontrados no mercado. Todos os componentes apresentaram disponibilidade para aquisição no mercado.

A Tabela 2 apresenta detalhadamente todos os materiais e peças utilizados na fabricação do equipamento projetado.

Tabela 2. Lista de materiais para a fabricação dos componentes estruturais

Materiais	Referência	Materiais	Referência
Chapa lisa	ASTM A36	Barra redonda	ASTM A36
	Espessura 19 mm Área 1000 X 6000 mm		Diâmetro 63,5 mm Cumprimento 380 mm
Barra redonda	ASTM A36	Barra redonda	ASTM A36
	Diâmetro externo 76,2 mm Cumprimento 30 mm		Diâmetro 25,4 mm Cumprimento 38 mm
Barra redonda	ASTM A36	Chapa lisa	ASTM A36
	Diâmetro externo 60,33 mm Cumprimento 30 mm		Espessura 6,3 mm Área 1000 X 6000 mm
2 unid. Vigas em Perfil	ASTM A572 Grau 50	Barra redonda	Alumínio
	W 150 X 22,5 (H) mm Cumprimento 2000 mm		Diâmetro externo 101,6 mm Cumprimento 840 mm
Porca M12	Espessura 2 mm	2 unid. Porcas Sextavadas	2,5"
Mão Francesa Reforçada Referência RT 2071	Carga: (700 kg ponta; 400Kg Distribuído)	14 unid. Parafusos com porca	M10
		4 unid. Parafuso com porca	½"
Chapa lisa	ASTM A36	Barra redonda	ASTM A36
	Espessura 12,5 mm Área 1000 X 6000 mm		Diâmetro externo 57,15 mm Cumprimento 50 mm
Tubo redondo vazado	ASTM A570 Gr 36	Tubo redondo vazado	ASTM A570 Gr 36
	Diâmetro externo 25 mm Espessura 1,2 mm Cumprimento 900 mm		Diâmetro externo 50 mm Espessura 4,75 mm Cumprimento 800 mm

A Tabela 3 mostra os componentes de máquinas e instrumentos a serem utilizados no equipamento.

Tabela 3. Componentes de máquinas e instrumentos

Componente (Quantidade)	Descrição / Especificação	Valor Unitário
Servo drive (1) + CLP (1)	Sistema de comando e controle de movimento / 750 W	R\$ 2.624,30
Servo motor (1)	Dispositivo de controle de posicionamento / 750 W	R\$ 910,00
Redutor planetário (1)	Dispositivo redutor velocidade / WPF080.5:1-C20807	R\$ 1.240,00
Acoplamento Mandíbula (1)	Dispositivo de transmissão de movimento / ADS-60-J	R\$ 270,20
Célula de Carga (1)	Sensor eletromecânico de força / SV-200 Alumínio	R\$ 686,00
Indicador de pesagem (1)	Indicador de pesagem digital / 3101CP	R\$ 2.660,35
Rolamento (4)	LM30 UU Fechado	R\$ 46,00
Castanha (1)	SFNUR 3210	R\$ 619,00
Mancal para fuso (2)	BK25	R\$ 680,00

Com a realização da listagem detalhada dos materiais necessários para fabricação estrutura da bancada, bem como dos componentes de máquinas e instrumentos, foi estimado o orçamento de R\$ 11.000,00 e R\$ 9.735,85, respectivamente.

Após a seleção dos materiais, foram definidos os processos de fabricação para a construção do simulador de carga. Para isso, foi elaborado um plano detalhado de fabricação que descreve os procedimentos a serem adotados para a construção do equipamento, levando em consideração as exigências do projeto.

Na Tabela 4 são expostos os processos para fabricação do equipamento segundo o plano de fabricação.

Tabela 4. Plano de fabricação do Simulador de Carga

Componente (Quantidade)	Material	Processos Necessários	Especificação
Placa de Guia (1)	ASTM A36, Chapa lisa (1000 x 6000 x 19 mm), Barra redonda (60,33 X 30 mm)	Corte, corte circular, desbaste e soldagem	400 x 780 mm 60 mm 10 mm
Cavalete Duplo (1)	ASTM A36, Barra redonda (60,33 x 30 mm)	Corte e Soldagem	100 x 40,7 mm 34,5 x 65mm 128,28 x 290 mm
Rolos de contato com a correia (6)	Alumínio, Barra redonda (101,6 x 840 mm)	Corte, usinagem e polimento	140 mm 20 x 35 mm
Suporte fixo (1)	ASTM A36, Chapa lisa (1000 x 6000 x 12,5 mm), Barra redonda (57,15 x 50 mm)	Corte, furação, fresamento de borda, desbaste e soldagem	280 x 140,02 mm 40 x 40 mm 20,69 x 82,5 mm 10 mm
Haste Guia (2)	ASTM A570 Gr 36, Tubo vazado (50 x 380 x 4,75 mm)	Corte, usinagem e soldagem	400 mm
Parafuso de Potência com rasgo de Chaveta (1)	ASTM A36, Barra redonda (63,5 x 380 mm)	Usinagem	rosca 1/3' chaveta 18 x 11 x 63,5 mm
Suporte Servomotor (1)	ASTM A36, Chapa lisa (1000 x 6000 x 19 mm)	Corte e furação	390 x 172, 6,48 x 40 mm
Haste De Movimentação do Servomotor (2)	ASTM A570 Gr 36, Tubo vazado (25 x 900 x 4,75 mm)	Corte, usinagem e soldagem	450 mm
Suporte Haste De Movimentação Servomotor (1)	ASTM A36, Chapa lisa (1000 x 6000 x 19 mm)	Corte, furação e soldagem	158 mm 40 mm

Após a montagem da estrutura do equipamento de simulação de carga, uma das próximas etapas consiste na elaboração do sistema de movimentação do equipamento. O servomotor é um componente importante que permite o controle da velocidade e a posição do parafuso de potência com alta precisão, garantindo que o mesmo se mova para realizar a pressão sob a correia, simulando a carga desejada.

Para implementar o controle do avanço do parafuso de potência por meio do servomotor, é necessário utilizar um sistema de controle de movimento. Esse sistema é realizado por um CLP (Controlador Lógico Programável), o qual pode ser programado com instruções específicas que permitem a leitura da posição atual do motor, cálculo da posição desejada com base em informações do sistema ou entrada do operador, definição da velocidade e direção de movimento do motor, controle da carga simulada e garantia da segurança do sistema.

A programação do CLP deve seguir os seguintes passos:

1. Início do Programa
2. Configuração das entradas e saídas do CLP, incluindo as entradas da posição do servomotor e saídas de controle da simulação da carga.
3. Iniciar as variáveis e setar os valores iniciais
4. Ler as entradas da posição atual do servomotor
5. Calcular a posição desejada com base no avanço e na carga simulada e a diferença entre a posição atual e a posição desejada do servomotor.
6. Definir a velocidade de movimento do servomotor com base na diferença de posição
7. Controlar o movimento do servomotor dentro dos limites de operação do sistema
8. Atualizar as saídas do sistema, incluindo a velocidade e a força na correia.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram desenvolvidos os procedimentos de dimensionamento e de fabricação de um equipamento simulador de carga para bancada didática de transportador de correia. A bancada de transportador de correia é utilizada para estudos de análise de vibração com técnicas de aprendizado de máquina para manutenção preditiva. Entretanto, até o momento, os estudos têm sido realizados sem a presença de carga na correia. A partir da construção do simulador de carga proposto, os estudos serão desenvolvidos com carregamento equivalente às condições de transporte reais de minério, possibilitando melhor controle das condições experimentais e representando condições equivalentes às de operação, o que é de suma importância para a confiabilidade dos resultados.

Até o momento a construção do equipamento encontra-se no estágio de aquisição de materiais e componentes e, portanto, ainda encontra-se no aguardo da chegada dos mesmos. Por esse motivo, ainda não foram obtidos dados experimentais para validar e comparar os resultados obtidos em ensaios sem carga simulada na correia. No entanto, o procedimento de fabricação e montagem do equipamento será iniciado o mais breve possível.

Entretanto, presente o estudo proporcionou a compreensão dos procedimentos de concepção e elaboração do projeto de um equipamento de simulação de carga para bancadas didático/experimentais de transportadores de correia. Também foi possível abordar a relevância de estudos relacionados ao desenvolvimento de bancadas didáticas para estudo de análise de vibrações mecânicas, visando à organização de planos de manutenção preditiva que se aproximem da realidade industrial. Sendo assim, espera-se que os procedimentos tratados no trabalho sirvam como referência para projetos futuros.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Dynamox e à Universidade Federal do Pará pelo suporte financeiro e disponibilidade de acesso às instalações, equipamentos e softwares para elaboração do projeto.

7. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 5462, 1994. *Confiabilidade e manutenibilidade – Terminologia*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.
- Amorim, M. J. 2006. *Desenvolvimento de bancada didático-experimental de baixo custo para aplicações em controle ativo de vibrações*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, Brasil.
- Bandeira, G., Abreu, G., Gianelli, R. 2010. *Vibração e ruído em manutenção preditiva*. Unesp, Bauru, Brasil.
- Faria, D.C., Souza, A. A. U. 2009. “Optimization of water networks in industrial processes”. *Journal of Clear Production*, Vol. 17, p. 857-862.
- Faço. 1996. *Manual de transportadores contínuos*. São Paulo, Publicação técnica. 3ª edição.
- Feres, P. 2003. “Monitoramento Contínuo Remoto Baseado em Internet”. In *do 7º Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos - COTEG2003*. Florianópolis, Brasil.
- Garcia, M. S. 2005. *Análise de defeitos em sistemas mecânicos rotativos a partir da monitoração de vibrações*. Dissertação de mestrado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia - COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.
- Lima, I. A. M. Nunes, A. N., Anflor C. T. M. 2012. “Projeto e construção de uma bancada para análise de vibração”. Congresso nacional de Engenharia Mecânica – CONEM2012. São Luís, Brasil.
- Mácaro, C.C.L., 2006. *Utilização de filtros adaptativos para detecção de falhas em mancais de rolamento*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Brasil.
- Mendonça, E. O., Pinheiro, K. A., Mesquita, A. L. A. 2016. “Sistema truckless e dimensionamento de transportadores de correia”. In *2º Congresso Amazônico de Meio ambiente & Energias Renováveis – CAMAER2016*. Belém, Brasil.
- Norton, R. L. 2003. *Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada*. 4ª ed. Bookman. Porto Alegre, Brasil.
- Rocha, D. L. 2014. *Análise de vibrações em equipamentos rotativos de uma indústria alimentícia*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Campo dos Goytacazes, Brasil.
- Silva, B.T.V., 2012. *Bancada para análise de vibração: Análise de falha em máquinas rotativas*. Dissertação de mestrado, Universidade de Taubaté. Taubaté, Brasil.
- Tuazon, D., Corder, G., Powell, M., & Ziemiński, M. 2012. “A practical and rigorous approach for the integration of sustainability principles into the decision-making processes at minerals processing operations”. *Minerals Engineering*, Vol. 29, p. 65-71.
- Upstill, G. & Hall, P. 2006. “Innovation in the Minerals Industry: Australia in a Global Context”. *Resources Policy*, Vol. 31, p. 137-145.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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