

Projeto de uma Bancada Instrumentada para Avaliação de Ferramenta de Corte Rotativa para Preparação de Emenda de Correias^{*}

Luiz Guilherme Dias de Barros^{*,†} Luan Fernandes Santos^{*,†}
Philip von Pritzelwitz[†] Gustavo Medeiros Freitas[‡]

^{*} Programa de Pós-Graduação em Instrumentação, Controle e Automação de Processos de Mineração - Universidade Federal de Ouro Preto, MG - Brasil

(luiz.barros, luan.santos)@pq.itv.org

[†] Instituto Tecnológico Vale, Ouro Preto, MG - Brasil
philip.pritzelwitz@itv.org

[‡] Universidade Federal de Minas Gerais, MG - Brasil
gustavomfreitas@ufmg.br

Abstract: Conveyor belts play an essential role in mining, making the belt splicing a critical point in the maintenance process. Nowadays, this procedure is done manually and can last up to 48 hours. A critical factor is the operator's exposure to risks while performing the task. Also, splicing quality depends directly on the maintenance team's expertise. To improve the process, the Instituto Tecnológico Vale (ITV), together with Vale, proposed an automatic system for conveyor belt splicing. In the project's current stage, we propose a conceptual study of a cutting tool for removing the belt cover, which could be attached to a robotic arm. We developed a test bench, which will help to define optimal operating parameters for the cutting tool to maximize the volume of rubber removed and minimize the time spent during the operation.

Resumo: Os transportadores de correias são equipamentos essenciais na mineração, o que faz da emenda de correias um ponto crítico na manutenção destes. Atualmente o procedimento de emenda leva em média 48 horas para ser realizado. Outro fator importante é que ao realizar tal tarefa os operadores estão expostos a riscos e a qualidade da emenda, que está diretamente ligada a vida útil desta, depende da experiência da equipe de manutenção. Pensando em melhorar o processo, o Instituto Tecnológico Vale e a Vale iniciaram um projeto para realizar a emenda de correias de forma automatizada. Na etapa atual do projeto foi proposto o estudo de uma ferramenta de corte para remoção da cobertura da correia, que possa ser acoplada a um braço manipulador. Como o procedimento é complexo e as forças a serem suportadas pelo manipulador são desconhecidas, uma bancada de ensaios instrumentada foi desenvolvida para mapear os esforços e assim ajudar na seleção de um robô industrial adequado. A bancada será utilizada em ensaios de remoção de borracha da correia, possibilitando alterar a velocidade dos motores e a profundidade de corte, visando encontrar parâmetros ótimos de operação para maximizar o volume removido e minimizar o tempo gasto na tarefa.

Keywords: Industrial Equipment Design, Instrumented Test Bench, Automated Maintenance, Belt Splicing, Mining.

Palavras-chaves: Projeto de Equipamento Industrial, Bancada de Testes Instrumentada, Manutenção Automatizada, Emenda de Correias, Mineração.

1. INTRODUÇÃO

Os transportadores de correias são sistemas amplamente utilizados no transporte de materiais devido a sua versatilidade, confiabilidade, baixo custo por tonelada de material transportado quando comparado a outros métodos,

e sua capacidade de movimentar uma grande variedade de materiais, desde materiais a granel a caixas e sacos cheios (CEMA, 2007; McGuire, 2010), sendo comumente empregados nas plantas de mineração e desempenhando um papel importante dentro destas.

A Vale é a maior mineradora do Brasil e possui aproximadamente 2000 transportadores em operação. Este equipamento é crucial às operações pois grande parte do transporte de material é realizado por meio dele, desde a lavra ao carregamento de navios.

^{*} Este trabalho foi parcialmente financiado pela Vale S.A. e Instituto Tecnológico Vale (ITV), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001, e Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Com a intensa utilização, as correias sofrem avarias e desgaste abrasivo devido ao impacto com o minério, abrasão com rolos defeituosos, desalinhamentos da correia, descarga dos chutes fora do centro da correia, dentre outros motivos. Uma falha no transportador, além de gerar custos elevados para a empresa, pode causar acidentes, inclusive com riscos aos operadores.

A equipe de manutenção monitora constantemente os transportadores e realiza procedimentos de reparo e emenda nas correias a fim de evitar acidentes e paradas não programadas. O processo de emenda de correias é realizado de forma manual e pode levar até 48 horas, mobilizando uma grande quantidade de trabalhadores e a qualidade da emenda, que reflete diretamente na vida útil da correia, depende quase exclusivamente da habilidade e experiência da equipe de manutenção.

Além dos problemas citados anteriormente, as condições ergonômicas desfavoráveis ao trabalhador no processo é um fator importante a ser considerado, bem como os riscos a que os operadores estão expostos ao realizar este procedimento, incluindo a utilização de materiais cortantes.

Pensando nisso, o Instituto Tecnológico Vale (ITV) iniciou um projeto em parceria com a equipe de Excelência Portuária da Vale S.A. para realizar a emenda de correias de forma automatizada, buscando uma diminuição dos custos e do tempo necessário para a confecção da emenda, um aumento na segurança da operação, além de garantir a padronização e qualidade do procedimento.

O projeto consiste em desenvolver uma solução modular que possa ser posicionada ao lado do transportador. Essa plataforma contém dois braços manipuladores que se movimentam sobre trilhos para realização da emenda de forma automatizada. A plataforma sugerida pode ser observada na Figura 1. Um vídeo das tarefas simuladas está disponível online ¹.

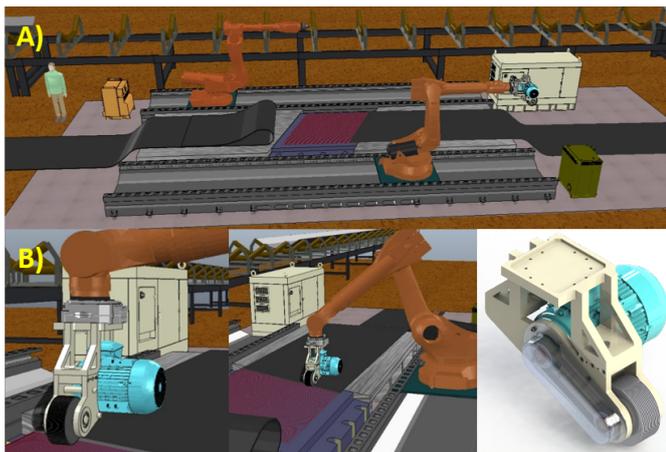


Figura 1. a) Plataforma de emenda automatizada proposta, e b) detalhe da ferramenta de corte.

Para validação da solução e construção do equipamento em escala industrial, ensaios de bancada são realizados para definir parâmetros de operação e entender peculiaridades das atividades específicas do procedimento.

Em uma etapa anterior deste projeto foi proposta a realização da modelagem externa e interna da correia, obtendo a largura e altura da correia, e o posicionamento interno dos cabos de aço (Rodrigues et al., 2019). Esses dados são utilizados como referência no processo de remoção da cobertura de borracha da correia.

Na etapa atual, é proposta a construção de uma bancada de ensaios instrumentada que servirá para realização de estudos conceituais que visam avaliar uma ferramenta de corte rotativa utilizada na recapagem de pneus para remoção da camada de borracha da correia. Apesar da bancada ser utilizada para ensaios em laboratório, seu projeto foi constituído seguindo normas e padrões utilizados por equipamentos industriais.

Através da construção dessa bancada é esperado mapear as forças a que o sistema robótico estará submetido ao realizar o corte, auxiliando assim na seleção de um braço manipulador para realizar todo o procedimento de emenda de forma automática, e definir parâmetros de operação que maximizem o volume de borracha removido, diminuindo o tempo de procedimento, e mantendo os esforços apresentados em um limite aceitável pelo processo. Estes parâmetros serão obtidos através de ensaios onde as velocidades dos motores e a profundidade de corte são variadas para cortes na borracha.

O objetivo deste artigo é apresentar o projeto mecânico, elétrico e de instrumentação da bancada, bem como sua fabricação, montagem e testes de conceito iniciais, para validar a utilização da ferramenta de corte rotativa durante a preparação da emenda de correias de forma automatizada.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2 é apresentado o procedimento de emenda manual. A Seção 3 comenta sobre alguns trabalhos relacionados a inspeção e monitoramento de transportadores e emenda de correias. Já na Seção 4 é descrito o projeto do equipamento que será utilizado para os ensaios. Na Seção 5 são apresentados alguns problemas encontrados na fabricação e montagem do equipamento e por fim, as conclusões e sugestões para trabalhos futuros são discutidos na Seção 6.

2. PROCEDIMENTO DE EMENDA MANUAL

Atualmente o procedimento de emenda é realizado de forma manual e apresenta grandes desafios e riscos as pessoas envolvidas. Para um melhor entendimento dos problemas enfrentados, abaixo é descrito de forma sucinta tal procedimento, adaptado do documento técnico da VALER (s.d.).

A Figura 2.a ilustra o processo de marcação e definição das dimensões da emenda, como o viés, que é calculado com inclinação de 20° em relação a linha base e define a área não removível da emenda.

A etapa de remoção da camada superior da correia é dividida em duas partes: o corte na linha que define o viés (Figura 2.b) e a remoção da camada em si, que é puxada com o auxílio de uma garra enquanto é cortada com a faca olfa (Figura 2.c).

A remoção da borracha entre os cabos de aço é iniciada no passo apresentado na Figura 2.d, cortando com a faca

¹ <https://youtu.be/m2crepoe9Fk>

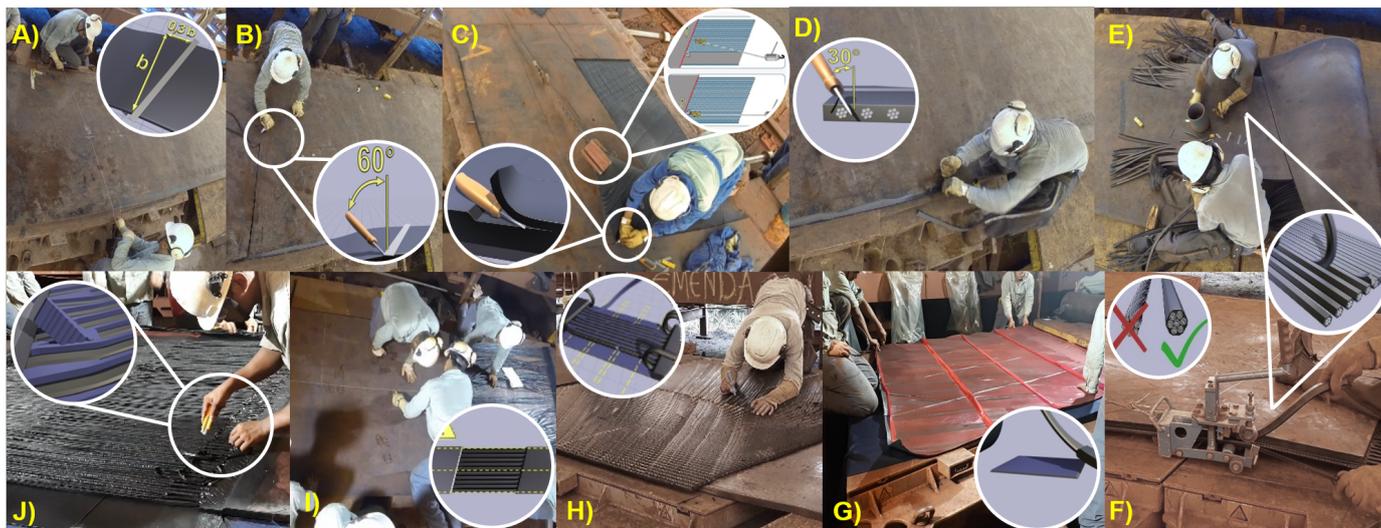


Figura 2. Etapas do procedimento manual de emenda de correias.

olfa inclinada em 30° , e é finalizada com a etapa de filetagem, que consiste em separar os cabos, que pode ser feita removendo a borracha entre eles com a faca olfa (Figura 2.e) ou com um filetador, equipamento próprio para este fim (Figura 2.f). O operador deve estar atento que, em ambos os métodos, a borracha na superfície cabos de aço não pode ser completamente removida, deixando uma camada de aproximadamente 3mm que auxiliará na melhor adesão dos cabos com a borracha na etapa de vulcanização.

Finalizando a etapa de preparação, é iniciada a montagem da emenda para vulcanização, sendo apresentado na Figura 2.g. A prensa de vulcanização que está posicionada entre as duas partes da plataforma de realização da emenda é forrada com TNT ou tergal, e a camada inferior de borracha (manta inferior) da correia é posicionada sobre esta. Em seguida uma camada de uma borracha com Shore menor (borracha de ligação) é colocada sobre a manta inferior para que os cabos de aço sejam posicionados.

Os cabos de aço são marcados (Figura 2.h) antes do filetagem e cortados nesta etapa de acordo com tamanhos definidos pelo número de estágios do projeto de emenda. A emenda pode conter dois ou mais estágios, e essa definição está relacionada com a quantidade de tamanhos diferentes de cabos existentes na emenda.

Feito isso, os dois lados da correia são colocados sobre o conjunto montado acima da prensa, de forma que os centros e laterais dos dois lados estejam alinhados (Figura 2.i). Em seguida os cabos são dispostos de forma intercalada; uma camada de cola é aplicada e os espaços vazios entre eles preenchido com borracha de ligação (comumente chamado de macarrão), conforme ilustrado na Figura 2.j.

Após preencher todos os espaços com macarrão, é colocado uma camada de borracha de ligação e a cobertura superior da correia. O último passo é a vulcanização, que usualmente é realizada à temperatura de 145°C , pressão mínima de 10 Kg/cm^2 e máxima de 14 Kg/cm^2 , e tempo de 3 minutos a cada 1 mm de espessura da correia.

Ao final do processo de vulcanização, a prensa é mantida à pressão de 12 Kg/cm^2 até que a temperatura seja menor que 100°C , e só após isso a pressão deve ser aliviada gradativamente e a prensa aberta.

3. SOLUÇÕES EXISTENTES PARA INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE TRANSPORTADORES E EMENDA DE CORREIAS

Ao pesquisar na literatura sobre transportadores de correias, é possível encontrar diversos estudos e pesquisas relacionadas a inspeção, monitoramento e até mesmo substituição de componentes.

Santos et al. (2019) propõe automatizar a inspeção de transportadores de correia utilizando técnicas de inteligência artificial, treinando um classificador de padrões por meio de Redes Neurais Convolucionais a partir de imagens RGB para identificar a aglomeração de sujeira nas estruturas. Os resultados obtidos demonstram uma acurácia de classificação variando entre 81,8% e 95,45% durante os testes realizados.

Também buscando facilitar inspeções nos transportadores, Netto (2019) apresentou um estudo para tentar resolver o problema de monitoramento, propondo um método de visão computacional baseado em luz estruturada para detectar defeitos em correias transportadoras.

Outra solução apresentada em (Garcia et al., 2019) propõe a utilização de um dispositivo robótico móvel articulado com braço manipulador para a inspeção de correias transportadoras através de imagens coloridas e térmicas, informações de áudio e vibrações medidas no transportador.

Se tratando de substituição de componentes, um dos principais dispositivos disponíveis no mercado é o *Robotic Idler Replacement*, desenvolvido pela Scott da Nova Zelândia para a substituição de roletes. O equipamento, composto por um braço manipulador robótico e ferramentas auxiliares, é montado em um caminhão e emprega sensores para varrer a estrutura intermediária, longarina e correia do transportador, utilizando essas informações para posi-

cionar uma unidade de elevação sob a correia, e em seguida realizar a troca do rolete (Scott, 2020).

Outro equipamento com a mesma finalidade é o *Splider*, da empresa australiana Sandpit Innovation. Para substituir o rolete, esse dispositivo utiliza um conjunto de braços de elevação capazes de levantar uma correia carregada, um robô industrial instalado numa base giratória, e unidades de potência hidráulica e elétrica embarcadas num veículo que se locomove em trilhos (Sandpit, 2020).

Já para o caso específico da emenda de correias transportadoras, não são encontradas muitas referências bibliográficas na literatura. O estudo de parâmetros para realização de tal procedimento de forma automatizada se torna relevante visto que as emendas são utilizadas como forma de redução de custos dentro das operações para correção de falhas. Tais iniciativas são utilizadas como forma de reduzir o tempo e a mão-de-obra necessária.

A emenda geralmente é o ponto mais fraco da correia. Entretanto, Küsel (2009) defende que uma emenda realizada de maneira correta pode ser extremamente resistente. Segundo ele, a hipótese foi verificada após a investigação de um trágico acidente em uma mina subterrânea de Cobre da América do Sul, onde um colapso levou ao rompimento de uma correia que tinha força de ruptura de 10.000KN.

Para auxiliar na investigação do colapso, a emenda mais próxima do rompimento foi removida e enviada para análise em laboratório, onde foi verificada a mesma eficiência dinâmica dos testes realizados na fase de projeto. Mesmo tendo sido realizada em condições não controladas, a emenda não sofreu avarias causadas pela tensão extrema durante o colapso. Ao analisar o rompimento, também foi constatado que este aconteceu a vários metros de distância da emenda mais próxima.

Em relação aos altos custos associados ao procedimento de emenda, Jurdziak et al. (2019) apresentam uma análise dos valores gastos na substituição e emenda de correias transportadoras com base na durabilidade destes componentes. O estudo confirma que tal parâmetro é de importância fundamental para estimar os custos anuais destinados às correias e suas emendas. Além disso, os autores compararam a os custos relacionados a emendas adesivas e vulcanizadas, conforme ilustrado na Figura 3.

A Figura 3 apresenta as porcentagens de valores associados à substituição e emenda de correias, com respeito ao custo de 10km de correia instalada. No gráfico à esquerda, é possível observar que a emenda vulcanizada representa quase 9% do valor total gasto. Já no caso de emendas adesivas (gráfico à direita), este valor é ainda maior, correspondendo a 15% do custo total.

Devido à grande importância dos transportadores de correias na mineração, pesquisadores tem estudado outras soluções para melhorar o procedimento de emenda. Um exemplo é o trabalho desenvolvido por Zarembo et al. (2017), que propõe a utilização de tecnologias de jato d'água durante a preparação da emenda para a remoção da camada superior e limpeza dos cabos de aço. Tal estudo apresentou resultados promissores e possivelmente estudos similares serão desenvolvidos numa próxima etapa deste projeto.

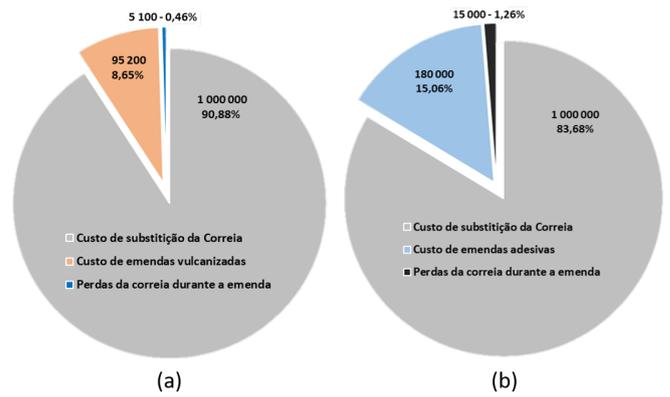


Figura 3. a) Composição dos custos associados a 10km de correia instalada, considerando emendas (a) vulcanizadas e (b) adesivas. Fonte: Adaptado de Jurdziak et al. (2019).

4. PROJETO DA BANCADA DE TESTES

Esta seção apresenta o projeto mecânico, elétrico e de instrumentação da bancada para teste de corte de borracha com uma ferramenta rotativa em laboratório. Este equipamento foi projetado como um robô cartesiano seguindo normas e padrões de equipamentos industriais.

A bancada de ensaios possui 3 graus de liberdade, onde 2 graus são ajustados manualmente, e o terceiro movimento é automatizado através do comando de um motor.

4.1 Projeto Mecânico

O projeto mecânico foi desenvolvido com base no equipamento utilizado para raspagem de borracha² no processo de recapagem, onde um motor realiza o giro e a ferramenta de corte é acionada por outro motor enquanto é empurrada contra a capa do pneu (Ver Figura 4).

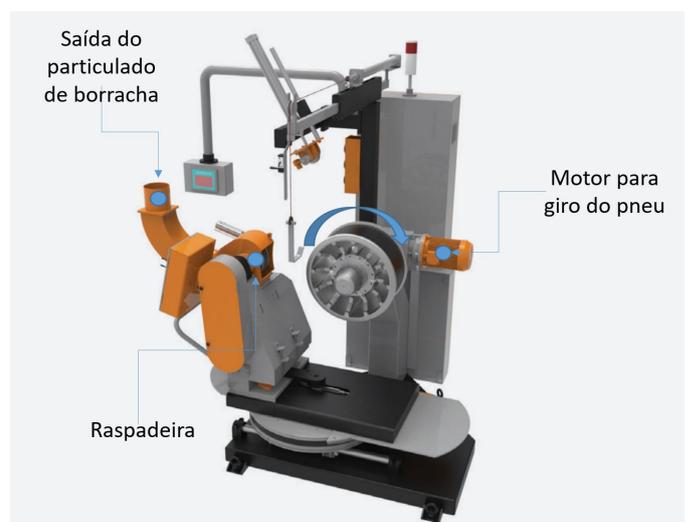


Figura 4. Equipamento para raspagem no processo de recapagem de pneus. Fonte: Adaptado Elgirubber.

² <http://www.elgirubber.com/Portuguese/assets/3-raspadora-bf-6-series.pdf>

No equipamento desenvolvido para remoção de borracha da correia, o giro do pneu foi substituído pelo avanço linear da mesa onde a amostra de correia é fixada, e a ferramenta de corte é acionada por outro motor. Os componentes utilizados e a representação de movimento da mesa são apresentados na Figura 5.

Os principais componentes mecânicos instalados na bancada são uma faca rotativa utilizada na recapagem de pneus e dois motores assíncronos. A máquina também conta com uma proteção em policarbonato visando atender exigências da NR-12³ e um coletor de pó para recolhimento de particulados de borracha.

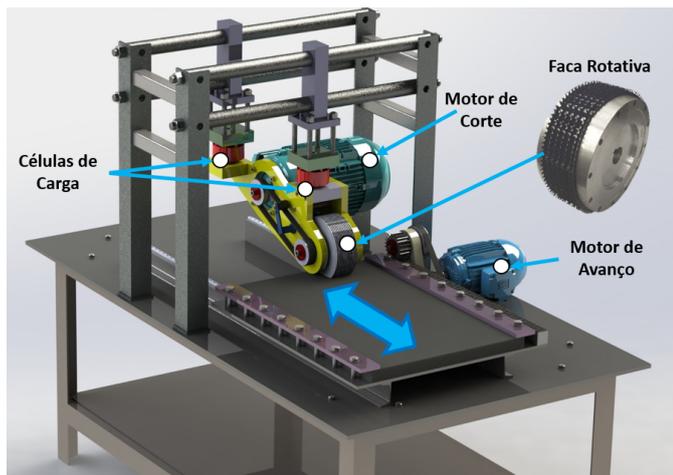


Figura 5. Figura representativa do projeto da bancada de laboratório para desbaste de borracha.

Para realizar o corte de borracha, foi escolhido um conjunto de serra ASTRO II com 28 facas (Figura 5), devido a sua ampla empregabilidade na recapagem apresentando uma boa eficiência no trabalho com pneus.

O acionamento da faca é realizado por um motor através de polias e correias sincronizadoras do tipo HTD com passo 8M da Gates. A conversão do giro do pneu para o movimento linear da mesa móvel é feita com o conjunto pinhão-cremalheira.

O motor de 15 cv é responsável por girar a ferramenta de corte, e o motor de 1 cv por realizar o movimento linear da mesa móvel, e suas especificações técnicas são apresentadas na Tabela 1. A potência dos motores utilizados foi definida de acordo com o equipamento de recapagem, que é equipado com motores bem similares aos selecionados.

4.2 Projeto Elétrico e de Instrumentação

Os equipamentos utilizados para a instrumentação e aquisição de dados são dois inversores frequência, células de carga, conversores de sinais e uma placa de aquisição.

Os inversores de frequência escolhidos são de modelo WEG CFW500, um para motor o de 1 cv e outro para o motor de 15 cv. Estes inversores foram selecionados por permitirem o controle de velocidade e torque dos motores, função para compensação de escorregamento devido a cargas aplicadas

³ <https://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-menu/sst-normatizacao/sst-nr-portugues?view=default>

Tabela 1. Descrição técnica dos motores.

Motor	Corte	Avanço
Modelo	WEG W22 IR3 Premium	
Potência	15 cv	1 cv
Número de Polos	2	4
Rotação Síncrona	3600 rpm	1800 rpm
Alimentação	Trifásica 220V	

no eixo, além de apresentar funções de CLP através do recurso SoftPLC (integrado), que facilita a programação e aquisição de dados⁴.

Estes inversores também proporcionam ao usuário as opções de controle vetorial (VVW) ou escalar (V/F), ambos programáveis de acordo com a aplicação. No modo vetorial (VVW) a operação é otimizada para o motor em uso, obtendo um melhor desempenho em termos de torque de regulação de velocidade; o modo escalar (V/F) é recomendado para aplicações mais simples como o acionamento da maioria das bombas e ventiladores, que através da regulação da curva V/F dos parâmetros por aproximação de curva quadrática da relação V/F, é possível reduzir as perdas no motor e no inversor⁴.

O projeto elétrico do equipamento foi desenvolvido atendendo às recomendações da NR-10³ para maior segurança durante os ensaios, possuindo botão de emergência e lógica que não permite a operação com a porta do painel aberta. O painel elétrico da máquina finalizado é apresentado na Figura 6.



Figura 6. Painel elétrico do equipamento desenvolvido.

As células de carga são do modelo N-400 fabricadas pela Transtec, de tração-compressão com capacidade de 10 KN (1 ton) e sensibilidade de 2 mV/V. As células foram

⁴ <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hc4/hd3/WEG-cfw500-manual-de-programacao-10001469555-1.1x-manual-portugues-br.pdf>

selecionadas por serem capazes de medir valores julgados suficientes durante o projeto do equipamento.

Para calibração das células de carga, foi necessário realizar primeiro a regulagem dos conversores de sinal. Com a célula ligada e sem carga aplicada, o zero foi ajustado até que a tensão apresentada no software fosse bem próxima de zero. Em seguida foi aplicada uma carga de 800kg e o *span* regulado até a saída apresentar algo próximo de 8V. Como o conversor de sinal tem saída de 0 a 10V e a capacidade de carga da célula é de 1 tonelada, com essa regulagem fica definido que quando a célula medir sua capacidade máxima, terá como retorno o valor de 10V.

Com os conversores regulados, foi realizada a curva de calibração da célula. Sem carga aplicada, foi feita a aquisição dos valores retornados no software SignalExpress, e em seguida foi sendo aplicado um diferencial de 100kg até atingir o valor de 800kg no marcador da prensa. O procedimento de aquisição foi repetido para cada valor, gerando a curva de calibração apresentada na Figura 7.

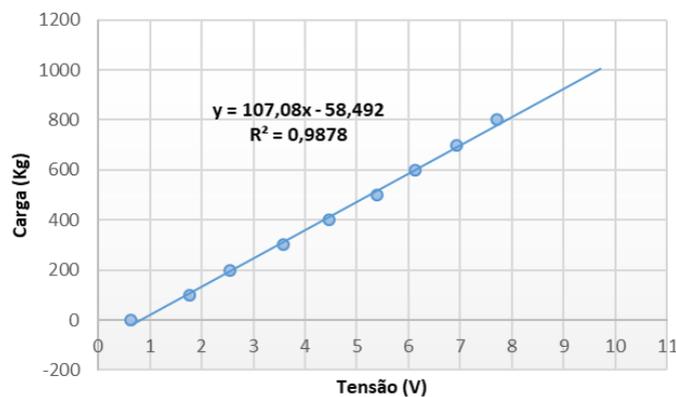


Figura 7. Curva de calibração da célula de carga realizada em laboratório.

A aquisição de dados é feita com uma placa da National Instruments modelo USB-6009 conectada a uma estação de trabalho através do software LabVIEW SignalExpress, que permite a aquisição, análise e apresentação dos dados de diversos dispositivos e instrumentos de aquisição de forma rápida e sem a necessidade de programação⁵. Cada célula de carga é conectada a um conversor de sinal modelo LC4200 da Incon Eletrônica, com entrada de 0 a 20 mV, saída de 0 a 10V e alimentação de 24V, que por sua vez é conectado a placa de aquisição. O esquema de instrumentação da bancada é apresentado na Figura 8.

A aquisição dos dados de corrente e velocidade dos motores durante os ensaios é feita através da coleta dos dados de saída dos inversores de frequência pela placa de aquisição da National Instruments.

5. FABRICAÇÃO, MONTAGEM E ENSAIOS PRELIMINARES

As peças do equipamento foram fabricadas em aço ASTM A-36, com exceção dos tirantes de suporte do conjunto raspador, que são fabricados em Aço 1045 com uma camada de cromo-duro retificado. A proteção tem estrutura

⁵ <https://www.ni.com/pt-br/support/downloads/software-products/download.signalexpress.html#322415>

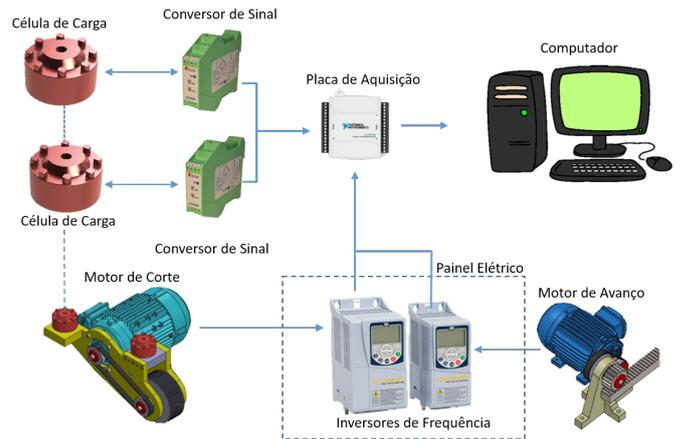


Figura 8. Fluxograma de instrumentação do equipamento.

também em aço ASTM A-36 com placas de policarbonato. A Figura 9 apresenta algumas peças da bancada durante a fabricação.



Figura 9. Peças do equipamento durante a fabricação.

Durante a construção do equipamento, foram verificadas algumas inadequações, exigindo a adaptação do projeto original no meio do processo de fabricação. O suporte do conjunto raspador, que inicialmente era uma peça única, passou a ser composto por duas peças unidas com parafusos. O projeto e o suporte após adaptações são apresentados na Figura 10.

Outro problema observado foi relacionado aos tirantes de suporte do conjunto raspador. O projeto solicitava tirantes com camada de cromo-duro retificado, especificados de acordo com os diâmetros comerciais para garantir as tolerâncias necessárias. Porém, durante a fabricação do equipamento, foram colocados tirantes nitretados. Estes tirantes acarretaram num batimento maior que o projetado, impedindo a movimentação horizontal do conjunto raspador, e por isso tiveram que ser substituídos pelos solicitados inicialmente.

Após a montagem do equipamento, foram realizados cortes na correia para verificar o correto funcionamento da bancada de ensaios e ferramenta de corte. Durante a realização dos ensaios, foi observado que o equipamento lança muitos

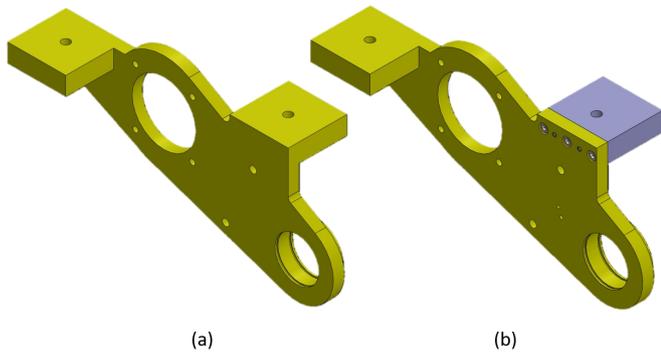


Figura 10. a) Suporte do conjunto do raspador projetado, e b) adaptado.

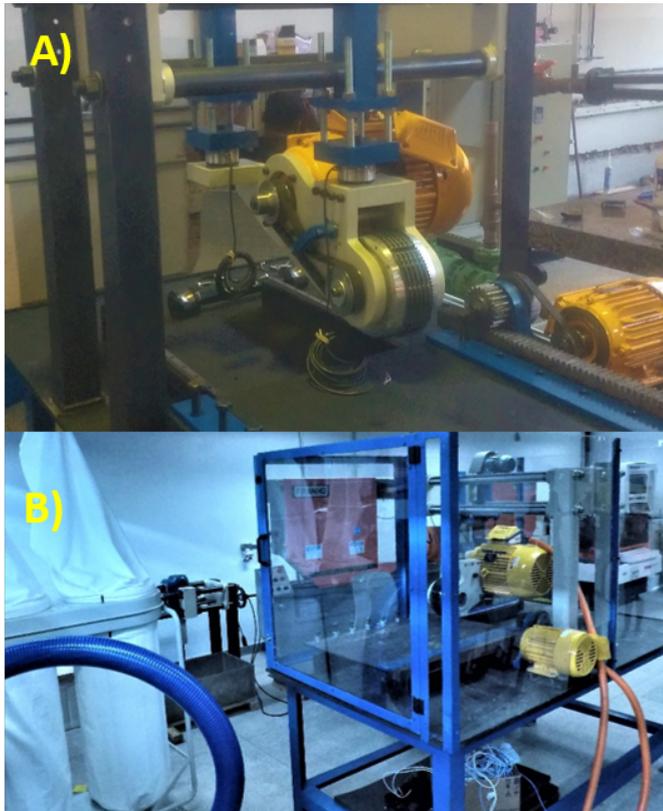


Figura 11. a) Bancada de ensaios antes da instalação do coletor de pó, e b) após adaptações necessárias.

particulados de borracha no ambiente, e a exposição a esse material pode causar riscos ao trabalhador no laboratório e ao meio ambiente. Na Figura 11.a é possível observar a bancada antes da adaptação do coletor de pó, e na Figura 11.b é apresentada a bancada após a finalização da montagem com a proteção em policarbonato já instalada.

Finalizadas as adaptações mecânicas, o sistema de aquisição de dados foi instalado no equipamento e um novo teste para verificar o seu correto funcionamento foi realizado. As Figuras 12.a e 12.b ilustram o funcionamento da bancada durante os testes de validação da ferramenta e do sistema de aquisição. Um vídeo destes ensaios está disponível online¹.

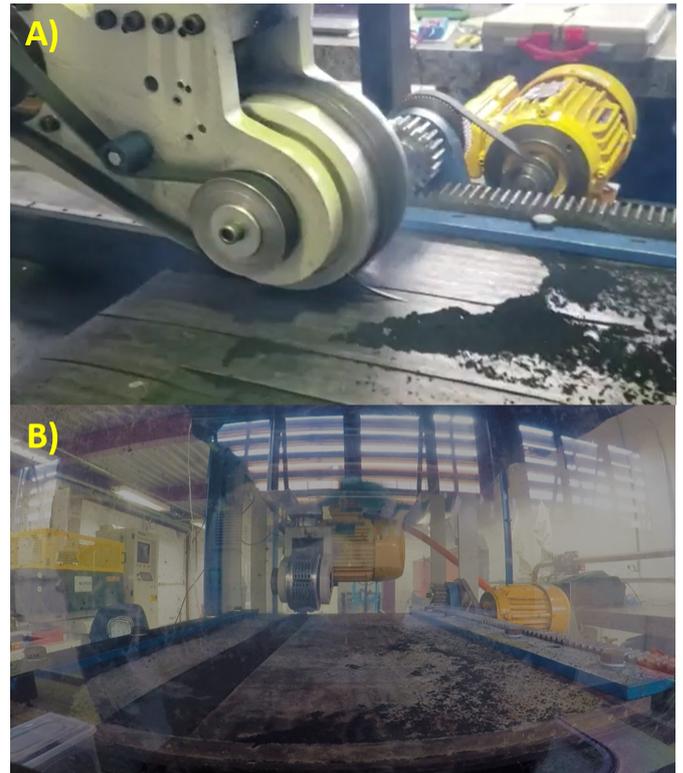


Figura 12. a) Equipamento durante os testes iniciais, e b) durante os testes de validação do sistema de aquisição após adaptação.

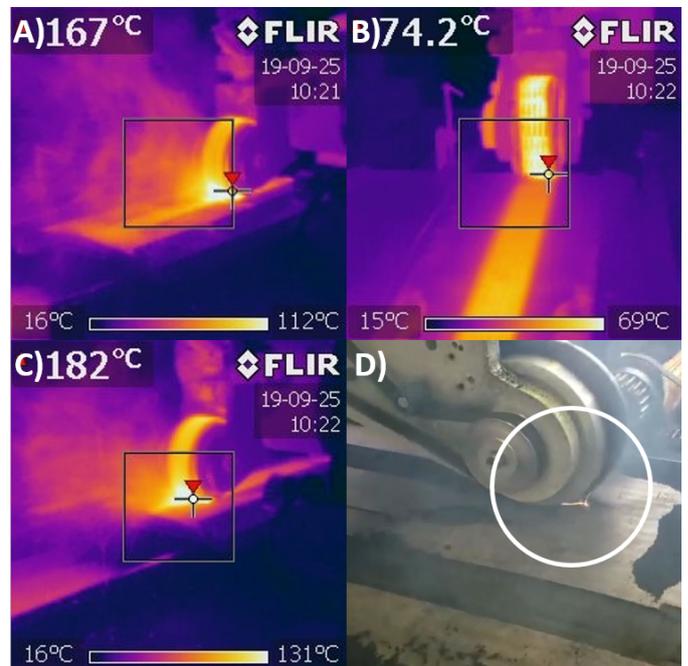


Figura 13. a) Temperatura durante o corte, b) após o corte, c) máxima temperatura, e d) ferramenta atritando com os cabos de aço.

Nos testes de validação do equipamento, as temperaturas geradas na ferramenta e na superfície da correia durante o corte foram medidas com uma câmera térmica FLIR. Ao analisar as imagens, é possível perceber que a ferramenta

está sujeita a maiores temperaturas que a superfície da correia. Um excesso de temperatura pode danificar a borracha da correia, e os valores corretos são difíceis de estimar; neste sentido, um sistema de monitoramento de temperatura em tempo real está sendo desenvolvido para auxiliar na análise da influência da temperatura na qualidade final do processo. Na Figura 13.a é possível observar a temperatura durante o corte, e na Figura 13.b após o corte.

A Figura 13.c apresenta a maior temperatura atingida durante o ensaio, devido ao atrito da faca rotativa com os cabos de aço internos. Este atrito fica evidenciado pela faísca em destaque na Figura 13.d.

6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo foi proposta a construção de uma bancada instrumentada para avaliação e testes de conceito de uma ferramenta rotativa a ser utilizada na remoção da camada de borracha de correias transportadoras durante o processo automatizado de preparação da emenda.

Durante testes iniciais realizados, a bancada e o sistema de aquisição de dados funcionaram como o esperado. Atualmente o equipamento se encontra funcional e disponível para a realização dos estudos com a ferramenta de corte.

É esperado que em todos os projetos de engenharia de equipamentos industriais, os componentes possam divergir do projeto original durante a fabricação e montagem, seja por erros do fabricante ou pequenos detalhes que não foram considerados a priori, havendo assim a necessidade de adaptação. Na construção da bancada, apesar da supervisão direta, diversas modificações precisaram ser realizadas no decorrer do processo. Mesmo assim, tais alterações não comprometeram o conceito de funcionamento da bancada.

Os trabalhos futuros serão focados na realização dos testes de corte obedecendo a parâmetros pré-determinados para validação da ferramenta como método aplicável à remoção da camada de borracha da correia. Variando a velocidade dos motores e a profundidade de corte, é esperado levantar curvas de operação que permitam maximizar o volume de borracha removido, diminuindo o tempo necessário para a realização do procedimento. Essas curvas também irão auxiliar no mapeamento dos esforços envolvidos no processo, e desta forma possibilitar a seleção de manipuladores robóticos com *payload* e alcance adequados para realização da emenda de forma automatizada.

É desejado avaliar a influência da temperatura gerada durante o corte na degradação da borracha da correia e na qualidade da emenda, visto que a temperatura no teste inicial de corte foi superior à temperatura de vulcanização. Também é esperado analisar a importância dos parâmetros de operação no aumento do gradiente de temperatura.

Por fim, além da ferramenta de corte rotativa, também serão estudadas outras estratégias, como jato d'água para desbaste e corte da correia na etapa de preparação da emenda.

REFERÊNCIAS

CEMA, C.E.M.A. (2007). *Belt Conveyor for Bulk Materials*. 6. Engineering Conference, Naples, Florida.

- Garcia, G., Rocha, F., Torre, M., Serrantola, W., Lizarralde, F., Franca, A., Pessin, G., and Freitas, G. (2019). ROSI: A novel robotic method for belt conveyor structures inspection. In *2019 19th International Conference on Advanced Robotics (ICAR)*. IEEE. doi: 10.1109/icar46387.2019.8981561. URL <https://doi.org/10.1109/icar46387.2019.8981561>.
- Jurdziak, L., Bajda, M., and Blazej, R. (2019). Estimation of purchase and replacement costs of conveyor belts and their splices in an underground mine based on their durability. In Jurdziak et al. (2019). DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/221/1/012099>.
- Küsel, B. (2009). Steel-cord conveyor belt splices - more than tough enough. *Engineering and Mining Journal*, 210(8), 84-85.
- McGuire, P.M. (2010). *Conveyors - Application, Selection, and Integration*. Industrial Innovation Series. CRC Press, New York.
- Netto, G.G. (2019). *Método de Visão Computacional Baseado em Laser para Monitoramento de defeitos em correias transportadoras*. Master's thesis, Universidade Federal de Ouro Preto / Instituto Tecnológico Vale.
- Rodrigues, G.B., Domingues, J.D., da Silva, P.C., Ferraz, A.C., Gaigher, G., de Andrade, J.I., von Pritzelwitz, P., and Freitas, G. (2019). Estudo e testes conceituais de um sistema automatizado para emenda de correias transportadoras. In *Anais do 14º Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*. Galoa. doi:10.17648/sbai-2019-111485. URL <https://doi.org/10.17648/sbai-2019-111485>.
- Sandpit, S.I. (2020). Spidler. URL <https://spidler.com.au/>.
- Santos, A.A., Rocha, F.A.S., Azpúrua, H., da Rocha Reis, A.J., and Guimarães, F.G. (2019). Sistema automático para inspeção visual de transportadores de correias. In *14th Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente - SBAI*.
- Scott, S.A. (2020). Robotic idler replacement (ric). URL <https://www.scottautomation.com/>.
- VALER (s.d.). *Emenda de Correias Cabo de Aço - Trilha Técnica: Mecânica | Porto*. EDUCAÇÃO VALE.
- Zaremba, D., Heitzmann, P., Overmeyer, L., Hillerns, L., and Hassel, T. (2017). Automatable splicing method for steel cord conveyor belts - evaluation of water jetting as a preparation process. *Journal of Mechanical Engineering*, (63), 590-596.