



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**BRUNO VENEZIANO**

**Instrumentação da esteira dupla de roletes posicionada na saída  
do fundidor de tiras para o arraste contínuo da tira metálica**

Ilha Solteira

2021



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**BRUNO VENEZIANO**

## **Instrumentação da esteira dupla de roletes posicionada na saída do fundidor de tiras para o arraste contínuo da tira metálica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia, da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de Ilha Solteira, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Antônio de Pádua Lima Filho

Ilha Solteira

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

V458i Veneziano, Bruno.  
Instrumentação da esteira dupla de roletes posicionada na saída do fundidor de tiras para o arraste contínuo da tira metálica / Bruno Veneziano. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021  
52 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2021

Orientador: Antônio de Pádua Lima Filho  
Inclui bibliografia

1. Fundidor de tiras. 2. Esteira transportadora de roletes. 3. Transmissão de movimento. 4. Motor elétrico trifásico.

  
Raiane da Silva Santos

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

TÍTULO: Instrumentação da esteira dupla de roletes posicionada na saída do fundidor de tiras para o arraste contínuo da tira metálica.

ALUNO:

Bruno Veneziano RA: 152054138

ORIENTADOR: Prof. Antonio de Pádua Lima Filho

**Aprovado (x) - Reprovado ( ) pela Comissão Examinadora**

Comissão Examinadora:

*A. P. Lima-Filho.*

---

Prof. Antonio de Pádua Lima Filho  
*Presidente (Orientador)*

*M. A. Bazani*

---

Prof. Márcio Antonio Bazani

*Lucas Veronez Goulart Ferreira*

---

MSc. Lucas Veronez Goulart Ferreira

*Bruno Veneziano*

---

Aluno: Bruno Veneziano

Ilha Solteira (SP), 20 de setembro de 2021.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer meus pais Lucia Elena Sardi Veneziano e Edson Luís Veneziano, por todos os sacrifícios que tiveram de fazer para me dar condições de chegar aonde estou hoje. Muito obrigado por todo o amor, confiança, ajuda e paciência que tiveram comigo durante todos esses anos. Sem tudo isso, com certeza não seria possível me tornar a pessoa que tornei.

Agradeço também à Kássia Jordany Sousa Pereira, minha amada noiva e companheira de muitos anos. Graças a ela tenho mais motivos para me manter focado em nossos objetivos e continuar a ser uma pessoa melhor e mais empenhada a cada dia. Muito obrigado pelos momentos de calma e amor, que me trouxeram a paz e a consciência necessárias para continuar manter de pé nesta luta que é a vida. Somente você sabe o quanto eu te amo e o tamanho da minha gratidão por você.

Quero agradecer também ao meu orientador Prof. Dr. Antônio de Pádua Lima Filho por toda a paciência, disponibilidade e atenção que teve comigo durante a execução deste trabalho. Agradeço ao senhor pela forma rica em que me passou conhecimento, sempre mantendo sua dedicação, humildade e respeito, característicos de sua pessoa.

Agradeço à Equipe de colaboradores da Unitra, empresa a qual eu tenho orgulho de fazer parte. Agradeço principalmente ao Ênio Coelho pela oportunidade dada a mim e por toda a confiança dada a mim. Sou grato pelos seus ensinamentos e por me mostrar que aplicações utópicas podem se tornar realidade com a força de vontade necessária. Agradeço também a Pedro G. Coelho pela amizade inesperada em um momento novo da minha vida, me fazendo ganhar um irmão não de sangue, mas do destino. Transmito também meus agradecimentos a todos os outros colaboradores da empresa pelos conhecimentos técnicos passados a mim, que foram de grande serventia para a execução deste trabalho.

Agradeço ao técnico Diego de Alcântara por toda sua experiência, disponibilidade, agilidade e paciência, elementos que tornaram possível a execução deste trabalho da forma como foi. Suas ideias, sempre muito práticas, me ajudaram a ter a clareza necessária para aplicar os conhecimentos obtidos durante a graduação.

Sinceros agradecimentos ao Rodrigo Alessandro Nunes de Oliveira, pesquisador junto ao Departamento de Engenharia Elétrica da UNESP-Campus de Ilha Solteira pelas contribuições relevantes ao projeto.

Por fim, agradeço ao corpo docente da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP por todo o conhecimento e sabedoria que foram passados ao longo desses anos. Sem eles, eu não poderia estar apto a ser o profissional capacitado como estou hoje. Sou muito grato também a entidade “UNESP”, a qual pertencço com muito orgulho e me comprometo em, sempre que possível, trazer oportunidades e compartilhar os frutos que serão colhidos ao longo de minha carreira profissional.

## RESUMO

O trabalho tem como objetivo a instalação de um motor elétrico trifásico de 1 cv para acionar uma esteira dupla com 14 roletes. A transmissão da esteira é feita por correia. Assim, a saída da tira solidificada na saída do fundidor de tiras é garantida. Tanto a velocidade superficial dos cilindros do fundidor de tiras como a dos roletes são controladas por dois inversores de frequência WEG CFW 08. O motor elétrico de 1 cv é provido de uma polia de 80 mm que aciona uma outra polia de 250 mm acoplada no mecanismo da esteira. Este acoplamento foi feito pela usinagem de uma bucha posicionada no interior da polia de 250 mm. A polia é posicionada no eixo de transmissão da esteira de roletes com uma bucha a qual é fixada por uma chaveta e um pino cilíndrico que garante o acoplamento do conjunto. A entrada da tira solidificada entre os roletes é feita por um funil construído para direcionar a tira solidificada da saída do fundidor. O motor elétrico trifásico de 1 cv foi fixado na parede lateral do fundidor de tiras para facilitar o acoplamento com a esteira transportadora através de uma correia de 1 m suficiente para acionar o mecanismo da esteira de esteira de roletes. Um botão de emergência fornece a segurança para o movimento do conjunto instalada ao mecanismo da esteira de roletes. A montagem como descrita anteriormente possibilitou a aquisição de dados para obter a relação da frequência do inversor com as velocidades superficiais dos roletes da esteira e dos cilindros do fundidor de tiras. Isto tornou possível sincronizar essas velocidades superficiais, fator fundamental para o funcionamento do fundidor de tiras.

**Palavras-chave:** Fundidor de tiras. Motor elétrico trifásico. Inversor de frequência.

## **ABSTRACT**

The work aims to install a 1 hp three-phase electric motor to drive a double belt with 14 rollers. The conveyor belt is conveyed by belt. Thus, the exit of the solidified strip at the exit of the caster is guaranteed. Both the surface speed of the caster cylinders and the rollers are controlled by two WEG CFW 08 frequency inverters. The 1 hp electric motor is equipped with an 80 mm pulley that drives another 250 mm pulley coupled to the belt mechanism. This coupling was made by machining a bushing positioned inside the 250 mm pulley. The pulley is positioned on the roller belt drive shaft with a bushing that is fixed by a key and a cylindrical pin that ensures the coupling of the set. Entry of the solidified strip between the rollers is made by a funnel constructed to direct the solidified strip out of the caster. The 1 cv three-phase electric motor was attached to the sidewall of the strip caster to facilitate coupling with the conveyor belt via a 1000mm belt long enough to drive the roller conveyor belt mechanism. An emergency button provides safety for movement of the assembly installed on the moving walkway mechanism. The setup described above made it possible to acquire data to obtain the relationship between the frequency of the inverter and the surface speeds of the belt rollers and the strip caster rollers. This made it possible to synchronize these superficial speeds, a fundamental factor for the functioning of the strip launcher.

**Key words:** Strip caster. Three-phase electric motor. Frequency inverters.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Aplicação de roletes nos fundidores de tira Bessemer.....	12
<b>Figura 2</b> – Processo de fabricação de tiras metálicas pelo equipamento de Hazelett.....	13
<b>Figura 3</b> – Comparação do lingotamento contínuo de placas grossas, finas e tiras.....	14
<b>Figura 4</b> – Arraste da tira solidificada com o auxílio de dois cilindros cintados.....	14
<b>Figura 5</b> – Representação esquemática da solidificação ocorrendo entre os rolos: (a) solidificação da liga M-Alloy; (b) Solidificação da liga S-Alloy.....	15
<b>Figura 6</b> – Representação esquemática do MDBRC e do (MDBRC + CS), respectivamente: (a) MDBRC; (b) (MDBRC + CS).....	16
<b>Figura 7</b> – Fabricação de tiras metálicas em nosso Laboratório.....	16
<b>Figura 8</b> – Evolução do <i>Strip Casting</i> em nosso Laboratório. Protótipo inicial (a); intermediário (b) e atual (c).....	17
<b>Figura 9</b> – Vista explodida de um motor elétrico trifásico.....	18
<b>Figura 10</b> – Diagrama esquemático representando a base do motor elétrico trifásico.....	20
<b>Figura 11</b> – Tacômetro usado para aferência de rotações.....	21
<b>Figura 12</b> – Fundidor de tiras antes das modificações aplicadas.....	22
<b>Figura 13</b> – Base desenvolvida para a fixação do motor no fundidor de tiras.....	24
<b>Figura 14</b> – Motor elétrico fixado na parede do fundidor de tiras.....	24
<b>Figura 15</b> – (a) Vista isométrica do funil direcionador; (b) Vista superior do funil, indicando suas dimensões.....	25
<b>Figura 16</b> – (a) Detalhe da instalação do funil direcionador na esteira de roletes; (b) Vista traseira do funil instalado.....	26
<b>Figura 17</b> – Polia de 250 mm utilizada no sistema de transmissão.....	27
<b>Figura 18</b> – Correia Continental A059 utilizada no sistema de transmissão.....	28
<b>Figura 19</b> – Bucha com parte do tarugo não-usinado, antes do processo de corte.....	29
<b>Figura 20</b> – (a) Vista lateral da bucha em seu estágio final; (b) Vista frontal da bucha após acabamento.....	30
<b>Figura 21</b> – Chaveta após as alterações aplicadas.....	31
<b>Figura 22</b> – Pino cilíndrico utilizado no acoplamento.....	31

<b>Figura 23</b> – (a) Vista explodida do conjunto de acoplamento; (b) Vista em corte do conjunto de acoplamento.....	<b>32</b>
<b>Figura 24</b> – Detalhe do canal aberto na ponta do eixo da esteira de roletes.....	<b>33</b>
<b>Figura 25</b> – Sistema acoplado no eixo da esteira dupla de roletes.....	<b>33</b>
<b>Figura 26</b> – Representação da relação entre o movimento das polias.....	<b>34</b>
<b>Figura 27</b> – Polia de 80 mm, acoplada no eixo do motor elétrico trifásico.....	<b>35</b>
<b>Figura 28</b> – Sistema de transmissão montado com a correia.....	<b>35</b>
<b>Figura 29</b> – Inversor de frequência WEG CFW 08 instalado.....	<b>36</b>
<b>Figura 30</b> – Botão de emergência utilizado no sistema de emergência.....	<b>37</b>
<b>Figura 31</b> – Contator elétrico utilizado no sistema de emergência.....	<b>37</b>
<b>Figura 32</b> – Diagrama representando a ligação elétrica realizada.....	<b>38</b>
<b>Figura 33</b> – (a) Inversor de Frequência WEG CFW 08 e contator elétrico fixados na parede lateral do fundidor de tiras; (b) Botão de emergência fixado na superfície de um apoio da junta hidráulica.....	<b>39</b>
<b>Figura 34</b> – Curva de calibração para o inversor de frequência dos cilindros do fundidor de tiras.....	<b>44</b>
<b>Figura 35</b> – Curva de calibração para o inversor de frequência dos roletes da esteira.....	<b>45</b>
<b>Figura 36</b> – Plotagem da Equação 3 para os cilindros do fundidor de tiras.....	<b>46</b>
<b>Figura 37</b> – Plotagem da Equação 4 para os roletes da esteira transportadora.....	<b>47</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Rotações aferidas nos cilindros do fundidor de tiras.....	<b>40</b>
<b>Tabela 2</b> – Rotações medidas nos roletes da esteira transportadora.....	<b>41</b>
<b>Tabela 3</b> – Rotações médias com os respectivos desvios padrão e erros estimados para os cilindros do fundidor de tiras.....	<b>42</b>
<b>Tabela 4</b> – Rotações médias com os respectivos desvios padrão e erros estimados para os roletes da esteira transportadora.....	<b>42</b>
<b>Tabela 5</b> – Dados para o cálculo das velocidades superficiais dos cilindros e dos roletes...	<b>43</b>
<b>Tabela 6</b> – Velocidades superficiais determinadas para os cilindros do fundidor de tiras.....	<b>43</b>
<b>Tabela 7</b> – Velocidades superficiais determinadas para os roletes da esteira.....	<b>44</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Saída da tira metálica do fundidor de tira .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>Motores elétricos trifásicos e sistema de segurança .....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>Base do motor .....</b>	<b>23</b>
<b>5.2</b>	<b>Funil direcionador .....</b>	<b>25</b>
<b>5.3</b>	<b>Sistema de transmissão e acoplamento .....</b>	<b>27</b>
<b>5.4</b>	<b>Inversor de frequência e sistema de segurança .....</b>	<b>36</b>
<b>5.5</b>	<b>Sincronização das velocidades superficiais .....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O controle da saída da tira solidificada na saída do fundidor de tiras é fundamental para obter uma linha contínua de fabricação. Como resultado, o mecanismo de acionamento da esteira transportadora de roletes [1] desenvolvido neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), pode tornar esta tecnologia competitiva com os processos tradicionais de fabricação de tiras metálicas. É conhecido na literatura que o fundidor de tiras produz um material perto das dimensões finais do produto sem necessitar de posterior deformação plástica.

O processamento de tiras metálicas a partir do estado líquido pode ser feito empregando laminadores de dois cilindros [2] e por esteira dupla metálica para materiais não ferrosos de médio e baixo ponto de fusão, por exemplo, ligas de alumínio e zinco, respectivamente [3-4]. No início dessa tecnologia, o metal ou a liga metálica no estado líquido é vazado diretamente para um bocal acoplado junto aos cilindros dispostos na posição vertical [5]. Em nosso Laboratório é utilizado um “Tundish”, panela intermediária que funciona como um distribuidor, o qual funciona como um controle estático do processo. Uma calha de resfriamento posicionada na saída do “Tundish” possibilita a sobrevivência do embrião da liga metálica vazada no estado líquido, através do superresfriamento térmico. Esta lama metálica alimenta o bocal acoplado aos cilindros para produzir a tira metálica pelo fundidor de tiras.

Como resultado, a menor temperatura da lama metálica em relação ao estado líquido agride menos os cilindros do fundidor de tiras quando se emprega ligas de alumínio, por exemplo. Em nosso Laboratório, os cilindros são feitos em aço ao carbono comum refrigerado internamente por um líquido composto de 1 parte de óleo para 9 partes de água numa vazão aproximada de 0,2 l/s. Dessa forma, o material é conformado no estado semissólido gastando menor quantidade de energia para produzir a tira metálica e a refrigeração interna dos cilindros reduz a oxidação/desgaste deles.

Em geral, os processos de produção de tiras metálicas no estado semissólido são classificados: 1. Cilindro Único (*Single Roll*); 2. Cilindro Duplo (*Twin Roll*); e 3. Cilindros cintados que será descrito abaixo. Os cilindros duplos podem ser posicionados de forma vertical e horizontal dependendo da saída da tira do fundidor de tiras: 1. Vertical (cilindro na posição vertical); e 2. Horizontal (cilindro na posição horizontal).

Este trabalho tem a função de acionar uma esteira de roletes transportadora posicionada na saída do Fundidor de Tiras em nosso Laboratório por um motor elétrico trifásico de 1 cv através de polias e correia de 1 m de perímetro. Esta esteira transportadora é formada por roletes sobrepostos que no interior passa a tira metálica. Dessa forma, a esteira é importante para apoiar a tira metálica superaquecida que pode apresentar fragilidade a quente ao final do processamento. Eventualmente, em trabalhos futuros, a tira metálica poderá ser encaminhada à laminação a quente numa outra cadeia de laminação.

Naturalmente, é fundamental que a velocidade superficial dos roletes da esteira transportadora tenha a mesma velocidade superficial dos cilindros do fundidor de tiras. Este trabalho mostra a forma de execução da instrumentação da esteira transportadora de roletes por um motor elétrico trifásico 1 cv, com um sistema de roldanas acionadas por polia e a velocidade controlada por um inversor de frequência WEG CFW 08.

Este trabalho é dividido da seguinte forma: 1.) O Objetivo do trabalho é apresentado na Seção 2; 2.) Na Seção 3, é feita uma breve revisão da fundição contínua de tiras metálicas obtidas no fundidor de tiras com o apoio da tira solidificada; 3.) O Estudo do funcionamento do motor elétrico trifásico de 1 cv com a forma de transmissão por polia é apresentado na Seção 4; 4.) O inversor de frequência acoplado ao motor elétrico e a necessidade da chave de emergência é apresentada na Seção 5; 5.) Na Seção 6, o Procedimento Experimental é apresentado; 6.) Na Seção 7, é apresentado o resultado e discussão do funcionamento da esteira transportadora; 7.) A Conclusão do trabalho é feita na Seção 8; e 8.) Finaliza com as Referências Bibliográficas.

## **2. OBJETIVOS**

Este trabalho tem como objetivo fundamental o desenvolvimento de um sistema de transmissão por meio de polia/correia controlado por um inversor de frequência WEG CFW 08 que controla um motor elétrico trifásico de 1 cv.

Os objetivos específicos para chegar a tal fim foram:

1. Desenvolver uma base para fixar o motor elétrico trifásico de 1 cv na parede da estrutura lateral do fundidor de tiras. Esta base necessita de um curso para deslocar o motor de forma a tensionar a correia de transmissão;

2. Posicionar a esteira de roletes na saída do fundidor de tiras com a instalação de um funil para direcionar a tira fabricada entre os roletes;
3. Instalar, em conjunto com o motor elétrico trifásico de 1 cv, um inversor de frequência WEG CFW 08 para controlar a velocidade superficial dos roletes da esteira. A instalação de um sistema de parada de emergência, por meio do acionamento de um botão do tipo botoeira, para cortar a rotação do motor quando necessário.
4. Com as melhorias realizadas no sistema, almeja-se também abrir portas para futuras pesquisas e trabalhos com o objetivo de aperfeiçoar cada vez mais o conjunto relacionado a fundição de tiras (fundidor de tiras, esteira de roletes, sistema de transmissão e sistema de resfriamento da tira metálica na saída do fundidor de tiras).

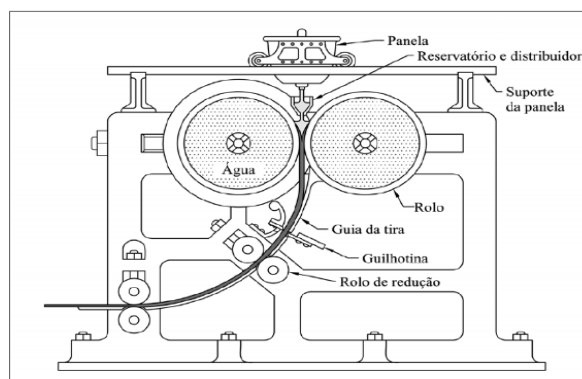
### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um estudo do recolhimento da tira metálica do fundidor de tiras é feito no item a seguir.

#### 3.1. SAÍDA DA TIRA METÁLICA DO FUNDIDOR DE TIRA

A Figura 1 ilustra o fundidor de tira desenvolvido em 1857 e patenteado por Bessemer [5]. Os cilindros eram internamente refrigerados a água e com apoio para a tira solidificada quando da sua saída do equipamento. Este apoio funciona como uma guia para direcionar a tira para uma posterior conformação. A tira deixa o equipamento na posição vertical. Por isso, é atribuído que os cilindros estão na posição vertical. Devido aos desafios do Sir Henry Bessemer em melhorar o seu conversor para a produção de aço, esta pesquisa foi abandonada. Na época, a tecnologia existente não proporcionava o avanço necessário nessa pesquisa: auxílio computacional, metalurgia avançada e limitação de processos na fabricação.

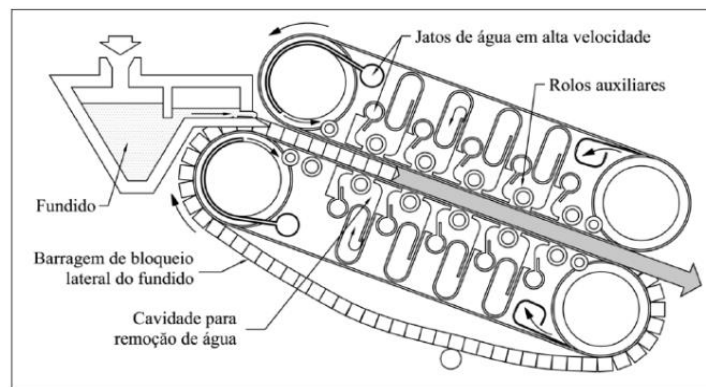
**Figura 1 – Aplicação de roletes nos fundidores de tira Bessemer.**



Fonte: [5].

A Figura 2 ilustra o processo Hazelett [3] desenvolvido praticamente 100 anos após o equipamento de Bessemer como descrito anteriormente. Neste processo uma cinta metálica atua como uma barreira lateral para manter a largura da tira metálica durante a fabricação. Tanto pelo processo Bessemer como Hazelett a liga metálica é vazada diretamente do estado líquido, ou seja, não têm a presença de um superresfriamento térmico para a sobrevivência do embrião. Nos dias atuais, mais de 100 máquinas Hazelett estão em operação em vários países para a fabricação de ligas metálicas de baixo ponto de fusão, como as ligas de alumínio [3]. Assim, mesmo com severa refrigeração, o processo Hazelett não é aplicado na fabricação de ligas ferrosas ou de maior ponto de fusão, pois a cinta metálica poderá ser danificada.

**Figura 2 – Processo de fabricação de tiras metálicas pelo equipamento de Hazelett.**



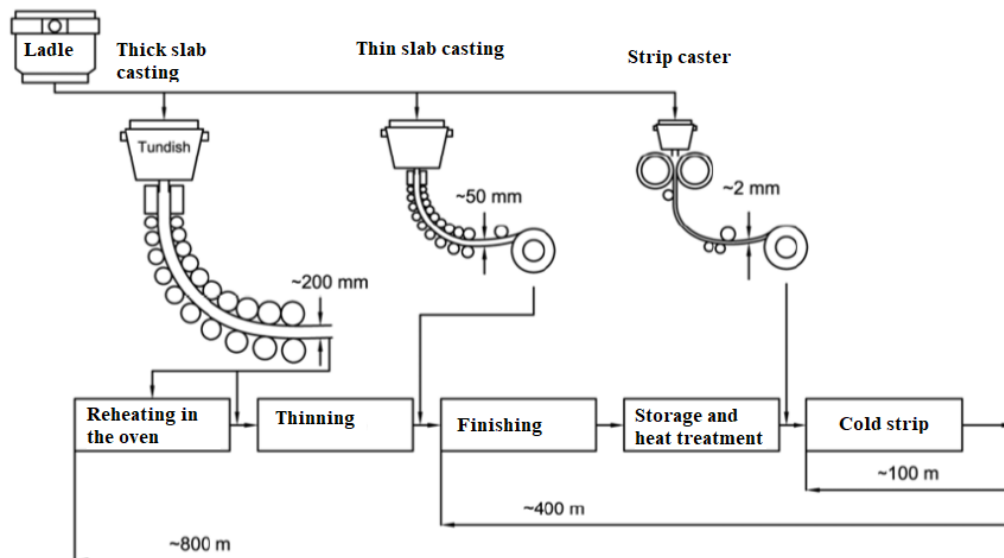
**Fonte:** [3].

A fundição contínua é empregada na fabricação de produtos semiacabados tanto de aço como de não ferrosos para posterior conformação mecânica, laminação a quente. A Figura 3 ilustra a produção de placas grossas e finas. Observa-se a ação dos cilindros de apoio na fundição contínua de placas grossas e finas. Neste trabalho, é feita o controle do movimento da esteira transportador na saída do fundidor de tiras em nosso Laboratório. Realmente, o fundidor de tiras é altamente competitivo em relação ao lingotamento contínuo, pois já obtém a tira metálica na forma final.

No Brasil, a Companhia Brasileira de Alumínio/Votorantim Metais (CBA) opera com duas instalações JUMBO 3CM em escala industrial (Lingotamento Contínuo entre Cilindros) que foram entregues em julho de 2001 [1]. A instalação na CBA pode produzir bobinas de fundição de ligas de alumínio (1XXX, 3XXX, 5XXX, 7XXX e 8XXX) para relaminação [6].

Fisher et. al. [7] citam que o processo CASTRIP® é o primeiro método comprovado comercialmente para fundição direta de chapas de aço finas com baixo teor de carbono. A Nucor instalou a primeira unidade de produção CASTRIP em 2002 na fábrica de Crawfordsville, IN.

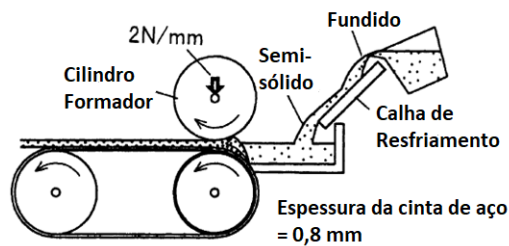
**Figura 3 – Comparação do lingotamento contínuo de placas grossas, finas e tiras.**



Fonte: CARPENTER, 2004, TSUKIGAHORA et al., 1993.

A Figura 4 ilustra o apoio da tira metálica pelo cilindro inferior na saída do fundidor de tira desenvolvido por Haga [2]. Esta cinta metálica feita em aço garante o apoio da tira na saída do fundidor de tiras. Uma eventual aderência da tira no cilindro inferior pode ser evitada pelo arrasto do material semissólido conformado entre os dois cilindros.

**Figura 4 – Arraste da tira solidificada com o auxílio de dois cilindros cintados.**



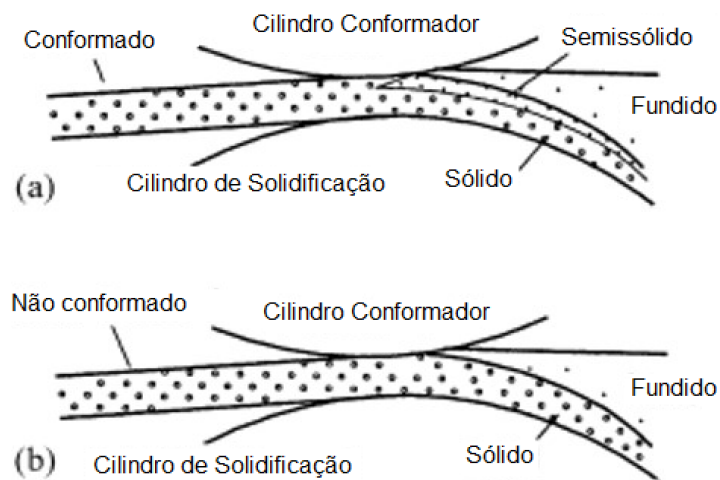
Fonte: [2].

Haga [2] cita que o processo *twin roll* apresenta diversas vantagens na fundição de tiras de ligas de alumínio, como: 1 – Rápida solidificação; 2 – Fabricação direta das tiras logo após a fundição; e 3 - Baixo custo do equipamento.

No processo de *Melt drag twin-roll caster* (MDTRC), ocorre um arrasto do material semissólido, Figura 4. Isto é necessário para a fabricação de tiras fundidas de material semissólido (“M-Alloy”) de ligas de alumínio em altas velocidades como será analisado posteriormente para serem conformadas pelo cilindro superior, como indica a Figura 5 (a).

No caso da fabricação de tiras fundidas de alumínio do tipo *Skin* (“S-Alloy”), a superfície da tira no estado semissólido sofre conformação entre cilindros, Figura 5 (b). Para as tiras fundidas do tipo *M-Alloy*, a parcela semissólida se localiza no topo da camada solidificada da tira, como a Figura 5 (a) ressalta. Em contrapartida, na fundição de tiras do tipo *S-Alloy*, a camada semissólida pode ser conformada com a aplicação de uma pequena força de separação, deixando-a muito fina ou inexistente, como mostra a Figura 5 (b).

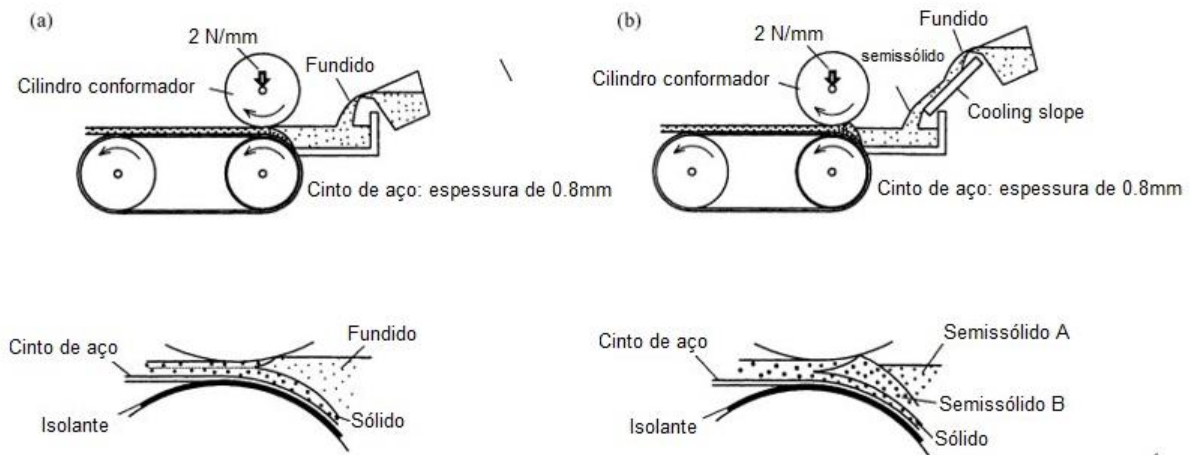
**Figura 5 – Representação esquemática da solidificação ocorrendo entre os rolos: (a) solidificação da liga M-Alloy; (b) Solidificação da liga S-Alloy**



**Fonte:** Traduzido de Haga, T. [2].

O processo de *Melt drag belt-roll caster* (MDBRC) foi desenvolvido a fim de fundir tiras de alumínio de ligas *S-alloy* com a utilização de um cinto de aço, Figura 4. O cilindro inferior, onde o cinto é posicionado, fica revestido com isolante térmico para o funcionamento contínuo do fundidor de tiras, como indica a Figura 6.

**Figura 6 – Representação esquemática do MDBRC e do (MDBRC + CS), respectivamente: (a) MDBRC; (b) (MDBRC + CS)**



**Fonte:** Traduzido de Haga, T. [2].

Concluindo seu trabalho, Haga indica que a utilização do “MDBRC + CS” é útil para fundição de tiras de alumínio de ligas *M-alloy* por causa da velocidade de fabricação da tira, chegando a 90 m/min. No caso do processo (MDBRC + CS), sua utilidade é dada para fundir tiras de alumínio de ligas *S-alloy*, com velocidades de processamento inferiores, chegando a 20 m/min.

O equipamento instrumentado neste trabalho é apresentado com esteira transportadora dupla de roletes, utilizada para extrair a tira solidificada do laminador e evitar a interrupção do fluxo da tira durante o processamento, Figura 7.

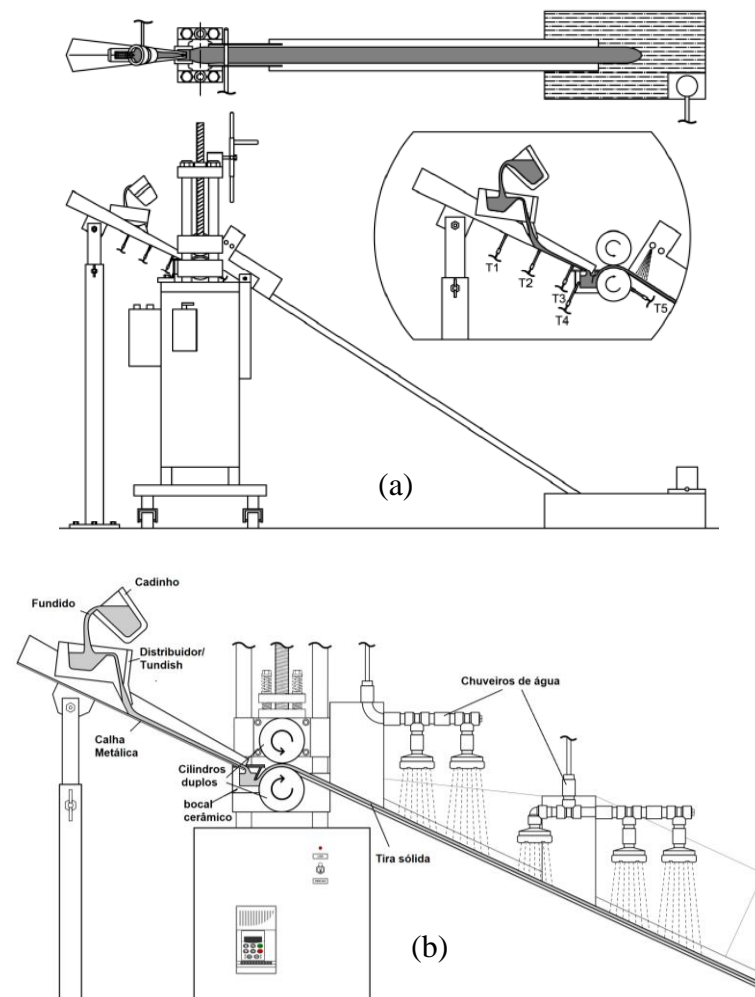
**Figura 7 – Fabricação de tiras metálicas em nosso Laboratório.**

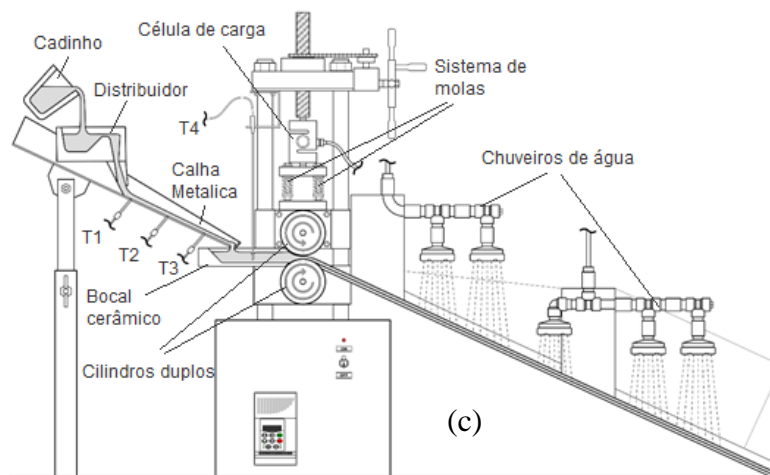


**Fonte:** Próprio Grupo de Pesquisa.

A Figura 8 representa a evolução do fundidor desenvolvido em nosso laboratório. Este *protótipo* é constituído de: 1.) Um distribuidor (Tundish); 2.) Uma calha metálica com inclinação regulável (*Cooling Slope*); 3. Bocal cerâmico; 4. Cilindros duplos ou único (*Twin ou Single Roll*); e 5. Sistema de refrigeração da tira metálica produzida.

**Figura 8 – Evolução do *Strip Casting* em nosso Laboratório. Protótipo inicial (a); intermediário (b) e atual (c).**



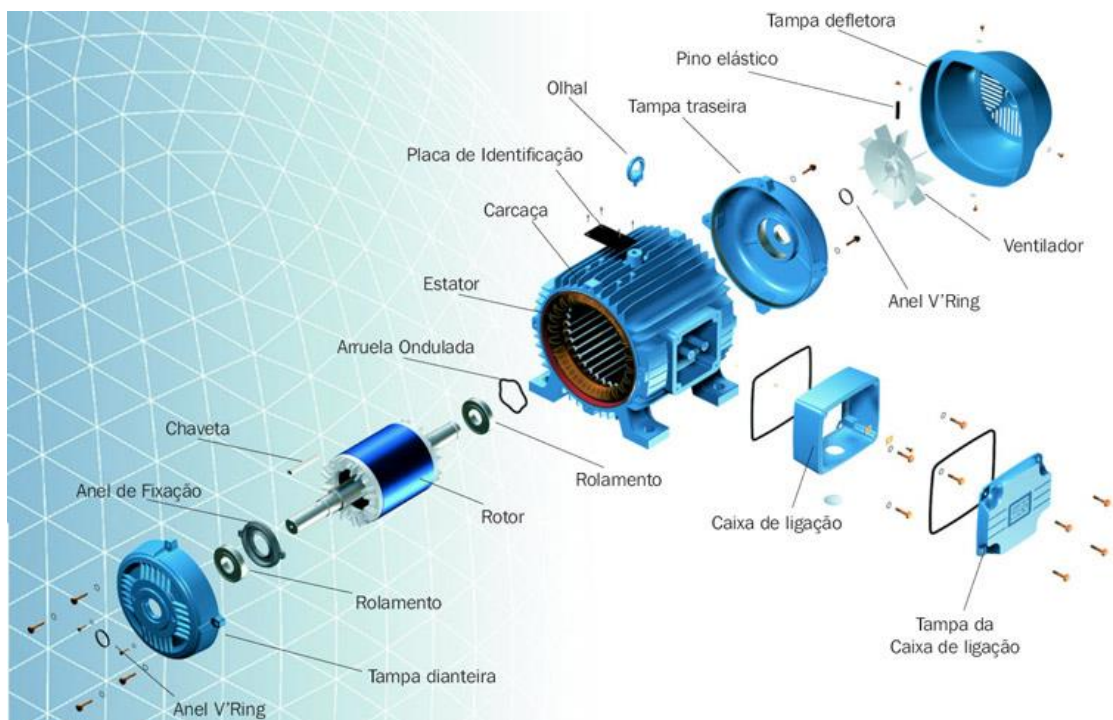


**Fonte:** (a) adaptado de YAMASAKI, Márcio Iuji [8]; (b) adaptado de OLIVEIRA, Pedro Barbosa Neto [9];  
(c) adaptado de FERREIRA, Lucas Veronez Goulart [10].

### 3.2 MOTORES ELÉTRICOS TRIFÁSICOS E SISTEMA DE SEGURANÇA

O motor elétrico trifásico é uma máquina que tem como função converter energia elétrica em energia mecânica através da rotação de um eixo. Ele é composto principalmente por três elementos: a carcaça, o rotor e o estator. Estes elementos podem ser vistos na Figura 9, ilustrando também a existência de diversos componentes.

**Figura 9 – Vista explodida de um motor elétrico trifásico.**



**Fonte:** [11].

Quando ligado na frequência da rede elétrica, no Brasil 60 Hz, as bobinas existentes no estator gerarão um campo eletromagnético. O rotor, que está apoiado em dois mancais, irá girar no sentido de rotação do campo em velocidade síncrona. Isto faz com que o eixo existente na extremidade externa do rotor gira em conjunto com o rotor.

Ao ligar um motor diretamente na rede elétrica ele irá funcionar em sua rotação nominal. No caso, para um motor de 4 polos, a rotação nominal é 1750 RPM. Assim, para diminuir esta rotação, é necessário instalar um inversor de frequência entre o motor elétrico trifásico e a rede elétrica. Este equipamento, como seu nome diz, faz com que seja possível variar a frequência de rede submetida ao motor trifásico, variando sua velocidade de rotação.

O inversor de frequência traz várias vantagens ao sistema elétrico em que é utilizado. Entre elas podemos citar a sua fácil instalação, em que após sua configuração, é necessário somente conectar os terminais do motor e ligar o inversor na rede elétrica. Além disso, ele funciona como mecanismo de proteção para diminuir a incidência de choques elétricos no operador, pois o motor elétrico é acionado pelo inversor de frequência que é isolado eletricamente.

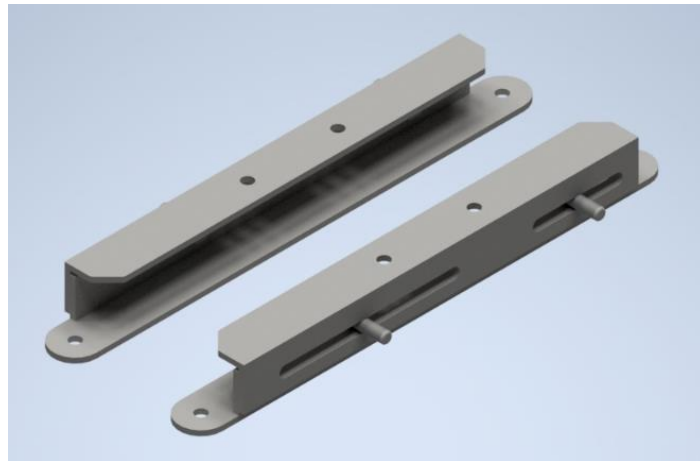
Em conjunto com o motor elétrico trifásico e inversor de frequência, é importante instalar um botão de emergência para a segurança do operador e do equipamento. A Seção 12.56 da norma NR -12 [12] sobre Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos indica a necessidade do mecanismo de parada de emergência. O botão de emergência funciona desligando o acionamento do equipamento em que é instalado. Assim, em caso de emergência, tem-se uma fonte confiável de segurança para interromper o funcionamento da máquina sem prejudicá-la e sem gerar danos ao operador e a máquina.

#### **4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

Para construir a base que fixa o motor elétrico trifásico de 1 cv na parede lateral do conjunto do fundidor de tiras, foram empregadas cantoneiras de aço com abas iguais as quais foram feitos furos e canais-guia por meio de processo de fresamento, como será analisado posteriormente. Nestas guias foram soldados parafusos por meio do procedimento de soldagem por eletrodo revestido E 7018, de forma a permitir a movimentação do motor elétrico ao longo do canal-guia. Assim, a correia pode ser

tensionada entre o motor e esteira transportadora de roletes. Na Figura 10, temos o esquema feito através do software *Inventor Autodesk* disponível na versão para estudante do conjunto desenvolvido para montar a base do motor.

**Figura 10 – Diagrama esquemático representando a base do motor elétrico trifásico.**



**Fonte: Autor.**

No motor elétrico trifásico, foi acoplado no eixo uma polia de 80 mm e uma outra polia com diâmetro de 250 mm no eixo que aciona a esteira de roletes. Assim, aumenta o torque para o acionamento da esteira. Realmente, aumenta a relação de redução entre a polia motora (saída do motor/80 mm) e a polia posicionada na esteira de 250 mm de diâmetro. A bucha feita em aço baixo carbono utilizada para acoplar a polia de 250 mm na esteira foi fabricada por usinagem, como será visto posteriormente na Seção de Resultados.

Esta bucha passou também por processo de fresamento para abrir um rasgo de chaveta, pelo qual, com a utilização de uma chaveta, foi feito o acoplamento da bucha na polia garantido a sua fixação. O conjunto formado pela polia de 250 mm e a bucha foi acoplado no eixo da esteira através de um pino passante embutido na chaveta e na bucha, com sua extremidade travando o eixo através de um canal aberto nele como será analisado na próxima Seção.

Um funil direcionador foi desenvolvido para guiar a tira fundida para a garganta da esteira de roletes ao sair do fundidor de tiras. Este funil ficou localizado entre o fundidor de tiras e a esteira de roletes e foi fixado por parafusos na esteira.

Com o motor elétrico trifásico de 1 cv posicionado com a polia acoplada na esteira, foi feita a instalação de um inversor de frequências com o intuito de regular e controlar a rotação do motor que move a esteira e sincronizar a velocidade superficial dos roletes com a velocidade dos cilindros do fundidor de tiras. Juntamente com o inversor, foi instalado um botão de emergência em conjunto com um contator, assegurando ao operador uma parada de emergência em caso de eventuais falhas no sistema. Tanto o inversor quanto o botão de emergência foram fixados por meio de aparafusamento nas paredes laterais da estrutura do fundidor de tiras garantido a estética na montagem.

Por fim, foram feitos testes para determinar as curvas de calibração que relacionam a velocidade superficial dos roletes da esteira e dos cilindros do fundidor cada um com as frequências indicadas nos respectivos inversores de frequência. A finalidade deste ensaio é tornar possível a sincronização das velocidades superficiais dos cilindros e dos roletes, condição fundamental para realizar a fundição de tiras de forma adequada. O ensaio foi feito com a aferência das rotações por meio de um tacômetro digital, do modelo INSTRUTHERM TDR-100, como indicado na Figura 11.

**Figura 11 – Tacômetro usado para aferência de rotações**



**Fonte: Autor.**

A partir das rotações medidas e dos diâmetros dos roletes, cilindros e polias foi possível determinar as velocidades superficiais deles. Foram feitas 3 medidas rotações (RPM) para 4 frequências (Hz) diferentes, a fim de obter valores médios para cada caso.

Finalmente, foram determinadas as curvas, possibilitando a sincronização das velocidades superficiais. As retas e equações foram determinadas a partir da análise de dados e funções disponíveis no software *Excel*.

As facilidades do Laboratório da Oficina Mecânica do bloco de Materiais e Processos de Fabricação (M1) e a colaboração do técnico Diego de Alcântara, que auxiliou em toda a execução deste Trabalho de Conclusão de Curso, permitiram a montagem dos equipamentos neste Trabalho de Conclusão de Curso junto a UNESP – Campus de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 12, verifica-se o conjunto do fundidor de tiras antes da execução das melhorias aplicadas durante este trabalho.

**Figura 12 – Fundidor de tiras antes das modificações aplicadas.**



**Fonte: Autor.**

Nas seções a seguir serão descritos os procedimentos executados para viabilizar a aplicação das melhorias propostas.

### 5.1. BASE DO MOTOR

Para a fabricação da base do motor foram utilizadas 4 cantoneiras de abas iguais de especificações 1.3/4" x 1/4" com dimensões:

$$L = 1.3/4'' (44,45 \text{ mm});$$

$$e = 1/4'' (6,35 \text{ mm}).$$

$$C = 400,0 \text{ mm};$$

onde,

L – largura da aba das cantoneiras;

C – comprimento entre as extremidades das cantoneiras;

e – espessura da alma das cantoneiras.

As cantoneiras fixadas na parede do fundidor de tiras possuíam rasgos pré-existentes feitos por processo de fresamento com curso de 190 mm, que foram usados para tensionar a correia. O tensionamento da correia é feito ao puxar o motor para baixo, até atingir a tensão necessária.

Para guiar a parte que fixa o motor elétrico trifásico de 1 cv nas cantoneiras da parede do fundidor de tiras, foram soldados, por meio de processo por eletrodo revestido E 7018, 4 parafusos M10 com a parte roscada voltada para fora, de forma que fosse possível a instalação de porcas para travar o motor na posição adequada.

Por fim, a parede lateral do fundidor de tiras passou por processo de furação com o uso de furadeira de mão e foram utilizados parafusos e porcas para fixar a base do motor elétrico trifásico. A Figura 13 mostra o resultado obtido para a base desenvolvida e fixada na parede do fundidor de tiras.

**Figura 13 – Base desenvolvida para a fixação do motor elétrico trifásico de 1 cv no fundidor de tiras.**



**Fonte: Autor.**

Na Figura 14, temos a base em conjunto com o motor elétrico trifásico de 1 cv fixados na parede lateral do fundidor de tiras.

**Figura 14 – Motor elétrico fixado na parede do fundidor de tiras.**



**Fonte: Autor.**

## 5.2 FUNIL DIRECIONADOR

Um funil direcionador foi confeccionado para guiar a tira na saída dos cilindros do fundidor de tiras para a entrada da esteira dupla de roletes. Para isto, foram escolhidas duas espessuras de chapa de aço carbono para serem empregadas em sua produção: chapa de 3/16" (4,76 mm) e chapa #14 (2 mm).

A chapa de 3/16" foi usada para fabricar o funil propriamente dito, enquanto a chapa #14 foi usada para fazer a haste que fixa o funil na superfície superior da esteira dupla de roletes.

Na fabricação do funil utilizou-se uma tira da chapa 3/16" com largura de 30 mm, que foi dobrada, na dobradeira hidráulica, em formato "U". Outra tira da chapa 3/16" foi cortada com serra manual na medida do tamanho entre as abas do "U". Após estes dois passos, a tira de 3/16" serrada manualmente foi soldada por processo eletrodo revestido E 7018 entre as abas do "U" da outra tira, aplicando a inclinação necessária para tangenciar a superfície do cilindro superior do fundidor de tiras.

Por fim, duas tiras de chapa #14 passaram por processo de furação na furadeira de bancada para abrir os furos que fixam as hastes do funil na esteira dupla de roletes e foram soldadas no funil fabricado em chapa 3/16", finalizando a confecção deste conjunto. Nas Figuras 15 (a) e (b), temos detalhes do funil fabricado e de suas dimensões finais.

**Figura 15 – (a) Vista isométrica do funil direcionador; (b) Vista superior do funil, indicando suas dimensões.**



**(a)**



(b)

Fonte: Autor.

As Figuras 16 (a) e (b) mostram detalhes da instalação do funil na parte superior da esteira dupla de roletes, salientando a fixação por aparafusamento.

**Figura 16 – (a) Detalhe da instalação do funil direcionador na esteira de roletes;  
(b) Vista traseira do funil instalado.**



(a)



(b)

Fonte: Autor.

### 5.3 SISTEMA DE TRANSMISSÃO E ACOPLAMENTO

#### 5.3.1 SISTEMA DE ACOPLAMENTO

Na Figura 17, é mostrada a polia de 250 mm de diâmetro utilizada para realizar a transmissão de movimento para a esteira transportadora de roletes.

**Figura 17 – Polia de 250 mm utilizada no sistema de transmissão.**



Fonte: Autor.

A correia utilizada é do modelo A059 da fabricante Continental de 1000 mm de perímetro. Esta correia é mostrada na Figura 18.

**Figura 18 – Correia Continental A059 utilizada no sistema de transmissão.**



**Fonte: Autor.**

O acoplamento da polia de 250 mm no eixo da esteira dupla de roletes foi feito com a utilização dos seguintes componentes:

- Bucha de aço carbono 1020;
- Chaveta de aço carbono 1020;
- Pino cilíndrico de aço carbono 1020.

A bucha foi fabricada a partir de um tarugo, passando por processo de usinagem, corte e fresamento. O processo de usinagem foi necessário para deixar o diâmetro externo da bucha igual ao diâmetro interno da polia de 250 mm. A usinagem foi necessária para fazer o furo interno com diâmetro igual ao do eixo da esteira de roletes. Assim, após a usinagem, a bucha ficou com diâmetro externo de 28 mm e interno de 9,6 mm.

O processo de fresamento foi necessário para abrir o rasgo de chaveta utilizado no acoplamento. O processo consistiu em fresar um canal de 8 mm de largura ao longo de todo o comprimento da bucha. A profundidade do rasgo de chaveta foi de 3 mm.

Após isto, aplicou-se um corte com serra manual na bucha, para deixá-la com o comprimento adequado para caber dentro da polia de 250 mm. A Figura 19 mostra a bucha após o processo de usinagem e antes do processo de corte.

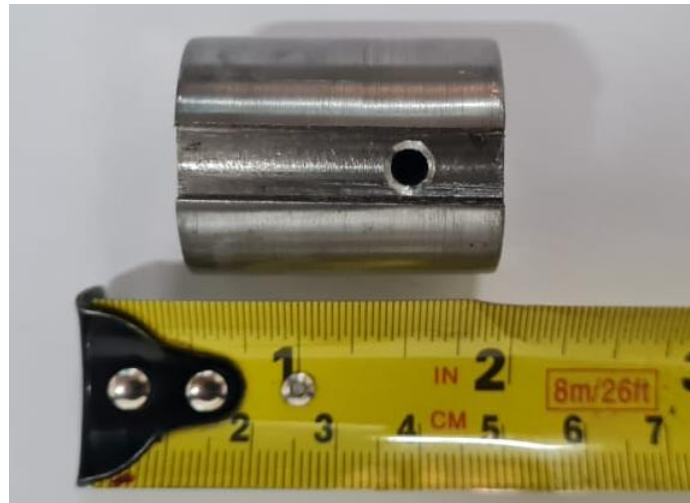
**Figura 19 – Bucha com parte do tarugo não-usinado, antes do processo de corte.**



**Fonte: Autor.**

Com a finalização do corte, a bucha ficou com comprimento de 35 mm. Por fim, foi feito um furo de 4 mm com furadeira de bancada no rasgo de chaveta, para que o pino pudesse passar por dentro da bucha. Desta forma, as Figuras 20 (a) e (b) indicam o formato final da bucha com as dimensões citadas anteriormente em duas vistas.

**Figura 20 – (a) Vista lateral da bucha em seu estágio final; (b) Vista frontal da bucha após acabamento.**



**(a)**



**(b)**

**Fonte: Autor.**

A chaveta utilizada passou por processo de corte com serra manual e furação com furadeira de bancada. O corte foi necessário para deixar a chaveta com o comprimento de 35 mm, mesmo comprimento da bucha. A furação foi feita para abrir um furo de 4 mm, por onde o pino passa para fazer o acoplamento no eixo. Na Figura 21, temos o formato final da chaveta com 8 mm de largura, 6 mm de altura e 35 mm de comprimento.

**Figura 21 – Chaveta após as alterações aplicadas.**



Fonte: Autor.

O pino cilíndrico de 4 mm de diâmetro passou somente por processo de corte com serra manual para deixá-lo com o comprimento adequado para ficar embutido na chaveta e na bucha, sendo acoplado no canal do eixo da esteira dupla de roletes. Desta forma, comprimento final do pino foi de 15 mm. Na Figura 22, é mostrado o pino cilíndrico após o processo de corte que foi utilizado para fazer o acoplamento.

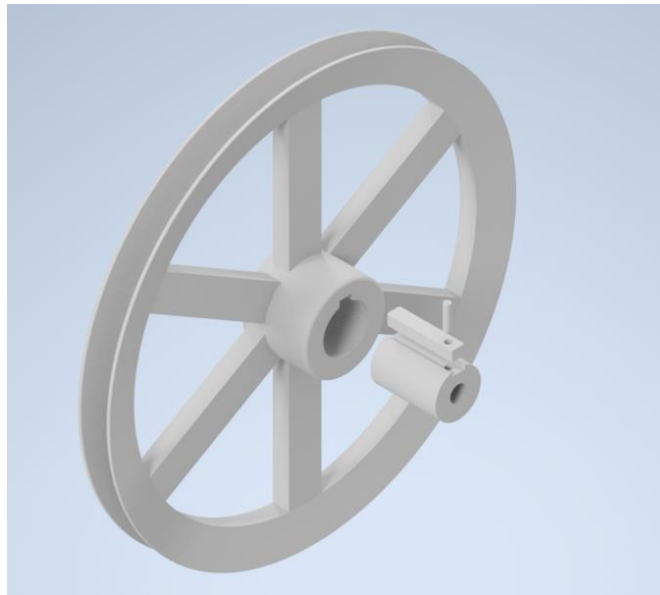
**Figura 22 – Pino cilíndrico utilizado no acoplamento.**



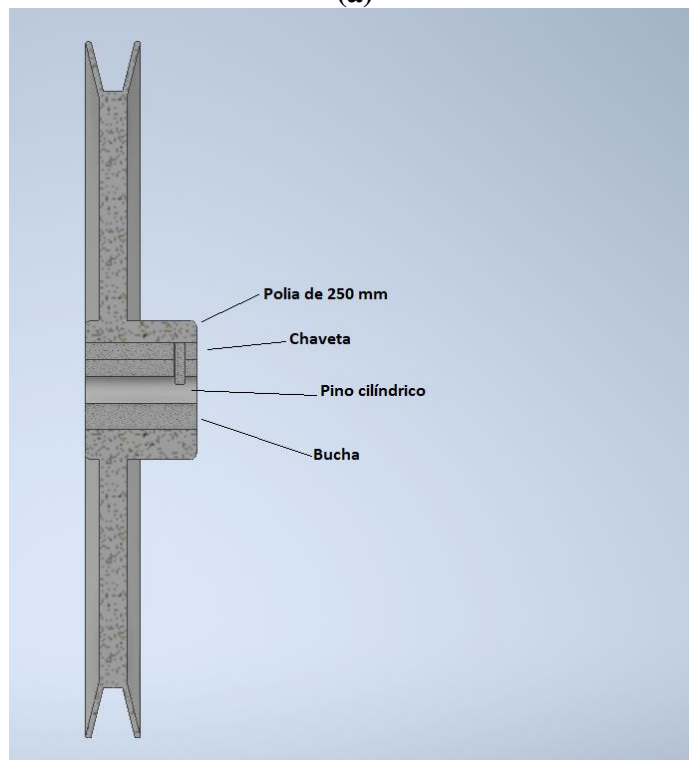
Fonte: Autor.

Assim, nas Figuras 23 (a) e (b) podemos ver a modelagem da vista explodida e em corte do conjunto formado pela polia de 250 mm, bucha, chaveta e pino.

**Figura 23 – (a) Vista explodida do conjunto de acoplamento; (b) Vista em corte do conjunto de acoplamento.**



**(a)**



**(b)**

**Fonte: Autor.**

Foi feito um canal com uma furadeira de mão na ponta do eixo da esteira dupla de roletes para o acoplamento do pino. Este canal pode ser visto na Figura 24.

**Figura 24 – Detalhe do canal aberto na ponta do eixo da esteira de roletes.**



**Fonte: Autor.**

Desta forma, na Figura 25 temos o sistema acoplado no eixo da esteira dupla de roletes.

**Figura 25 – Sistema acoplado no eixo da esteira dupla de roletes.**

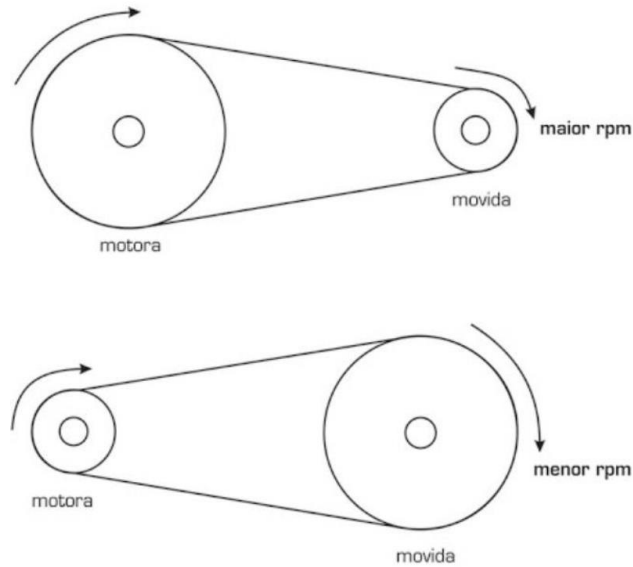


**Fonte: Autor.**

### 5.3.2 SISTEMA DE TRANSMISSÃO

O sistema de transmissão utilizado é o de polia/correia. Ele consiste em duas polias interligadas por uma correia, Figura 26. Esta correia gera o atrito requerido para que a polia motora transmita o movimento até a polia movida.

**Figura 26 – Representação da relação entre o movimento das polias.**



**Fonte: [13].**

Em nosso caso, como a polia movida é maior que a motora, na transmissão haverá uma queda no RPM e um aumento de torque na polia movida. A relação entre as rotações das duas polias é dada pela Equação 1.

$$n_{movida} = \frac{d}{D} \times n_{motora} \quad (1)$$

Onde,

$d$  – diâmetro da polia motora (80 mm);

$D$  – diâmetro da polia movida (250 mm);

$n_{movida}$  – rotação da polia movida [RPM];

$n_{motora}$  – rotação da polia motora [RPM].

A relação de redução entre as duas polias é de  $\frac{d}{D} = 0,32$ . Assim, a rotação da polia de 250 mm é 0,32 vezes menor que a da polia de 80 mm. Após o tensionamento da correia, a distância entre centros das polias foi de 510 mm.

As Figuras 27 e 28 mostram respectivamente a polia de 80 mm e o conjunto após a instalação da correia de 1000 mm de perímetro.

**Figura 27 – Polia de 80 mm, acoplada no eixo do motor elétrico trifásico.**



Fonte: Autor.

**Figura 28 – Sistema de transmissão montado com a correia.**



Fonte: Autor.

#### 5.4 INVERSOR DE FREQUÊNCIA E SISTEMA DE SEGURANÇA

O inversor de frequência selecionado para fazer a sincronização das velocidades superficiais dos cilindros do fundidor de tiras com os roletes da esteira foi um WEG CFW 08, indicado pela Figura 29.

**Figura 29 – Inversor de frequência WEG CFW 08 instalado.**



Fonte: Autor.

O inversor de frequência trifásico WEG CFW 08 é adequado para aplicações em motores elétricos trifásicos de 1 cv, podendo trabalhar em rede bifásica ou trifásica. Neste trabalho foi aplicada a rede bifásica (220 V).

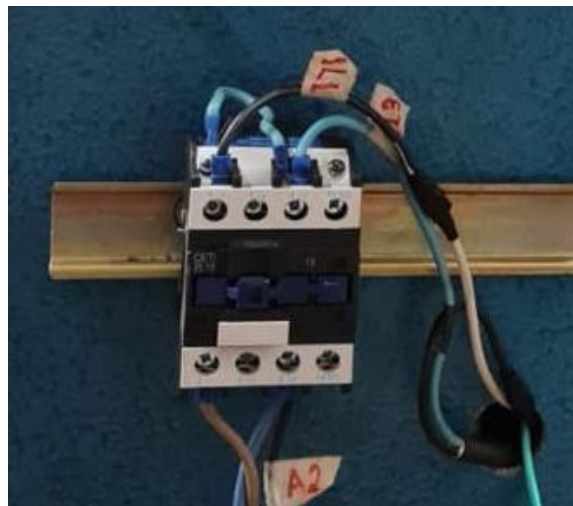
Foi determinado também a instalação de um sistema de emergência para desligar o motor elétrico caso haja necessidade, conforme a norma NR-12 de Segurança no Trabalho e em Máquinas e Equipamentos [12]. Este sistema é composto por um botão de emergência do tipo “botoeira” e um contator elétrico, que tem como função fazer o acionamento e proteção do sistema. Nas Figuras 30 e 31, temos respectivamente os modelos de botão de emergência e contator elétrico utilizados.

**Figura 30 – Botão de emergência utilizado no sistema de emergência.**



Fonte: Autor

**Figura 31 – Contator elétrico utilizado no sistema de emergência.**

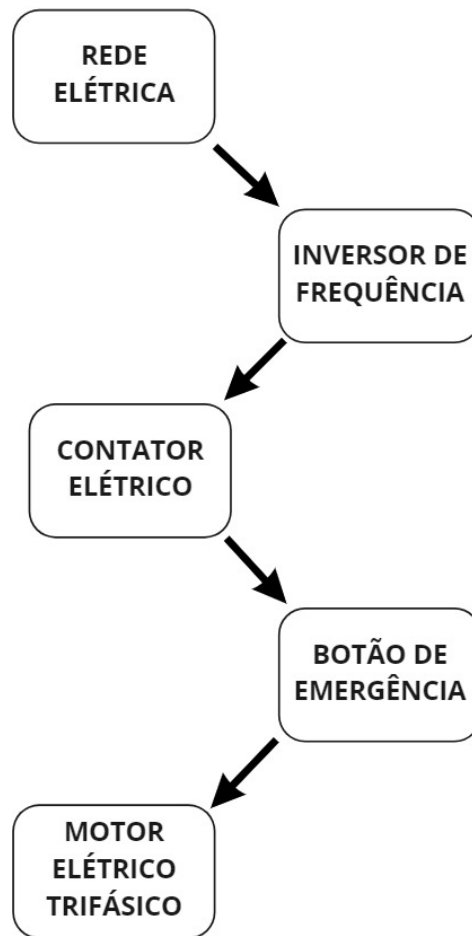


Fonte: Autor

Para a fixação do inversor de frequência trifásico, botão de emergência e contator foi necessário fazer o circuito de ligações até o motor utilizada. Esta tarefa foi realizada pelo profissional em manutenção de motores elétricos Leandro Palombos, em sua Oficina Palombos Enrolamentos em Ilha Solteira.

A ligação do circuito elétrico do sistema de segurança em conjunto com o motor elétrico trifásico e o inversor de frequência foi feito como mostra o diagrama presente na Figura 32.

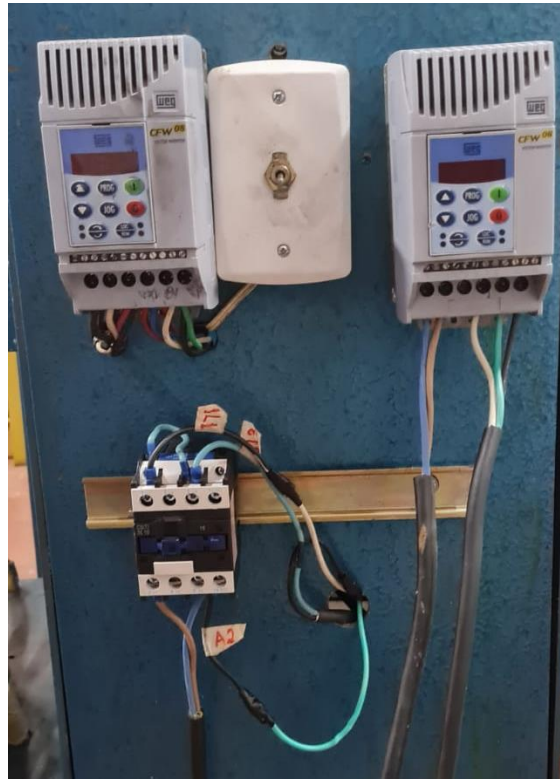
**Figura 32 – Diagrama representando a ligação elétrica realizada.**



**Fonte: Autor.**

Após a finalização da instalação elétrica foram fixados o inversor de frequência trifásico, o botão de emergência e o contador elétrico. Todos os três componentes foram fixados nas paredes laterais do fundidor de tiras por aparafusamento, com o uso de furadeira de mão, brocas e serras-copo para a abertura dos furos. O resultado obtido para a fixação dos componentes elétricos está presente na Figura 33 (a) e (b).

**Figura 33 – (a) Inversor de Frequência WEG CFW 08 e contator elétrico fixados na parede lateral do fundidor de tiras; (b) Botão de emergência fixado na superfície de um apoio da junta hidráulica.**



**(a)**



**(b)**

Fonte: Autor.

## 5.5 SINCRONIZAÇÃO DAS VELOCIDADES SUPERFICIAIS

Para sincronizar as velocidades superficiais dos cilindros do fundidor de tiras com as dos roletes da esteira, foi feito um ensaio para medição de rotações. Este ensaio consistiu em aferir 3 vezes a rotação nos cilindros e nos roletes (RPM) para 4 valores de referência indicados em cada um dos dois inversores de frequência WEG CFW 08. As medidas de rotação foram feitas com o uso de um tacômetro digital do modelo INSTRUTHERM TDR-100 como descrito anteriormente e estão dispostas nas Tabelas 1 e 2.

Na Tabela 1, temos na primeira coluna temos os valores de referência mostrados no inversor de frequência do fundidor de tiras e na segunda coluna as rotações medidas pelo tacômetro na superfície dos cilindros.

**Tabela 1. Rotações aferidas nos cilindros do fundidor de tiras.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Rotação (RPM)</b>
	30,2
40	31,8
	30,6
	34,8
45	34,6
	35,5
	38,6
50	38,4
	39,0
	42,1
55	41,6
	42,5

**Fonte: Autor.**

Na Tabela 2, temos à esquerda os valores de referência mostrados no inversor de frequência da esteira de dupla de roletes e à direita as rotações medidas pelo tacômetro na superfície dos roletes.

**Tabela 2. Rotações medidas nos roletes da esteira transportadora.**

Frequência (Hz)	Rotação (RPM)
	122,9
15	124,0
	122,9
	140,0
17	139,1
	139,7
	157,1
19	156,8
	157,1
	173,7
21	174,5
	173,8

Fonte: Autor.

As rotações médias dos cilindros do fundidor de tiras e dos roletes da esteira transportadora encontram-se respectivamente nas Tabelas 3 e 4. Estas Tabelas apresentam também os desvios padrão amostrais e os erros estimados com confiabilidade de 90%, calculados por meio das Equações 2 e 3 [14].

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Em que,

s – Desvio padrão da amostra analisada;

n – Número de elementos da amostra (n = 3);

$x_i$  – Elemento  $i$  da amostra;

$\bar{x}$  – Média dos elementos da amostra.

$$\Delta x = \pm t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Onde,

$\Delta x$  – Intervalo de confiança ou erro estimado da variável analisada;

$t_{\alpha/2}$  – Coeficiente de confiança;

s – Desvio padrão da amostra analisada;

n – Número de elementos da amostra.

Para confiabilidade de 90% e *graus de liberdade* =  $n - 1 = 2$ ,  $t_{\alpha/2} = 2,92$ .

**Tabela 3. Rotações médias com os respectivos desvios padrão e erros estimados para os cilindros do fundidor de tiras.**

Frequência (Hz)	s	Rotação Média (RPM) com erro estimado
40	0,8	30,9 ± 1,3
45	0,5	35,0 ± 0,8
50	0,3	38,7 ± 0,5
55	0,5	42,1 ± 0,8

Fonte: Autor.

**Tabela 4. Rotações médias com os respectivos desvios padrão e erros estimados para os roletes da esteira transportadora.**

Frequência (Hz)	s	Rotação Média (RPM) com erro estimado
15	0,6	123,3 ± 1,0
17	0,5	139,6 ± 0,8
19	0,2	157,0 ± 0,3
21	0,4	174,0 ± 0,7

Fonte: Autor.

Com os dados presentes na Tabela 5, foi possível determinar as velocidades superficiais dos roletes da esteira dupla e dos cilindros do fundidor de tiras.

**Tabela 5. Dados para o cálculo das velocidades superficiais dos cilindros e dos roletes.**

<b>Diâmetro médio dos cilindros</b>	117,7 mm
<b>Diâmetro médio dos roletes</b>	23,9 mm

**Fonte: Autor.**

Para a determinação das velocidades superficiais dos roletes e cilindros, foi utilizada a Equação 4 [15] que converte a rotação em Hz dos componentes para m/s.

$$V = \pi D f \quad (4)$$

Em que,

V – Velocidade superficial [m/s];

D – Diâmetro do componente analisado [mm];

f – Frequência de rotação em Hz do componente.

Desta forma, primeiramente converteu-se as rotações médias apresentadas nas Tabelas 3 e 4 para Hz, dividindo seu valor por 60 e então a Equação 4 foi aplicada. Como resultado temos as velocidades superficiais dos roletes da esteira dupla e dos cilindros do fundidor de tiras nas Tabelas 6 e 7 respectivamente.

**Tabela 6. Velocidades superficiais determinadas para os cilindros do fundidor de tiras.**

<b>f (Hz)</b>	<b>f (Hz) - Cilindros</b>	<b>Velocidade Superficial Média dos cilindros (m/s)</b>
40	0,52	0,19
45	0,58	0,22
50	0,65	0,24
55	0,70	0,26

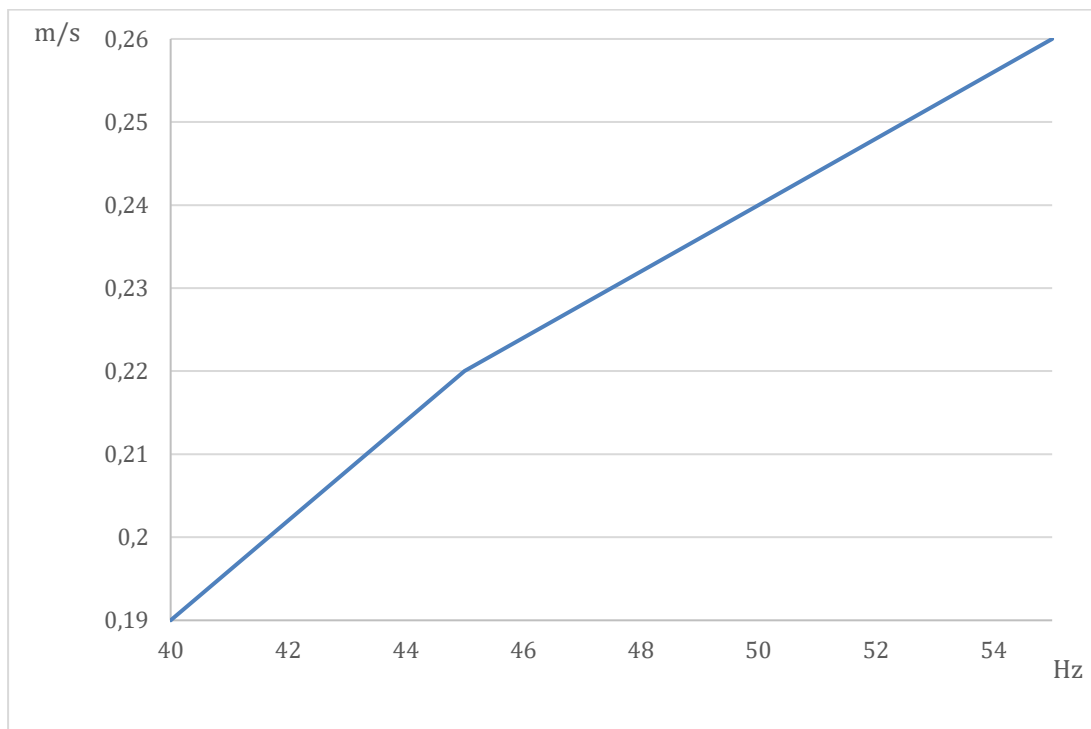
**Fonte: Autor.**

**Tabela 7. Velocidades superficiais determinadas para os roletes da esteira.**

<b>f (Hz)</b>	<b>f (Hz) - Roletes</b>	<b>Velocidade Superficial - Roletes (m/s)</b>
15	2,1	0,15
17	2,3	0,18
19	2,6	0,20
21	2,9	0,22

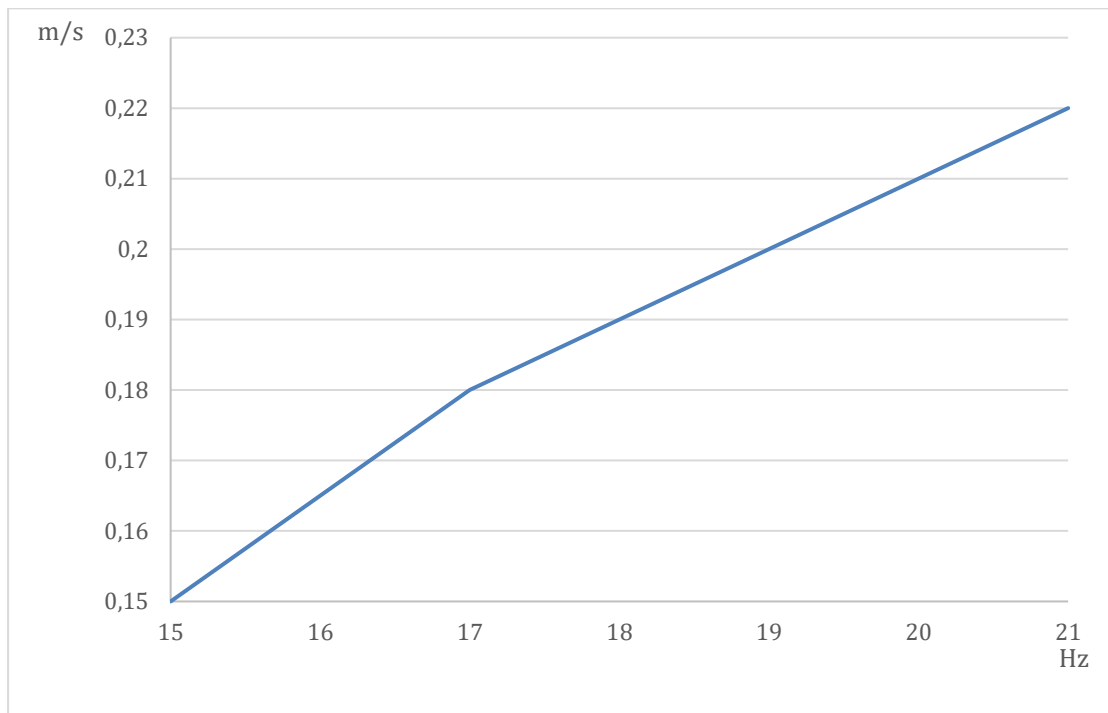
**Fonte: Autor.**

Com isso, foram utilizados os pontos obtidos para levantar as curvas de calibração dos dois inversores de frequência trifásicos WEG CFW 08. As Figuras 34 e 35 mostram as curvas obtidas para os cilindros do fundidor de tiras e roletes da esteira. Nestas curvas o eixo das abcissas mostra a frequência em Hz indicada no inversor de frequência de cada caso, enquanto o eixo das ordenadas mostra as velocidades superficiais.

**Figura 34 – Curva de calibração para o inversor de frequência dos cilindros do fundidor de tiras.**

**Fonte: Autor.**

**Figura 35 – Curva de calibração para o inversor de frequência dos roletes da esteira.**



Fonte: Autor.

Devido a semelhança das duas curvas de calibração com retas, para sincronizar as velocidades superficiais dos roletes da esteira transportadora com a dos cilindros do fundidor de tiras, utilizaremos uma aproximação das curvas para equações lineares. Assim, as Equações 5 e 6 relacionam as frequências de referência dos inversores de frequência com as velocidades superficiais.

Para os cilindros do fundidor de tiras:

$$V_{SC} = 0,0046 f_{IC} - 0,009 \quad (5)$$

Em que,

$V_{SC}$  – Velocidade superficial dos cilindros do fundidor de tiras;

$f_{IC}$  – Frequência em Hz no inversor de frequência do fundidor de tiras.

Para os roletes da esteira transportadora:

$$V_{SR} = 0,0115 f_{IR} - 0,0195 \quad (6)$$

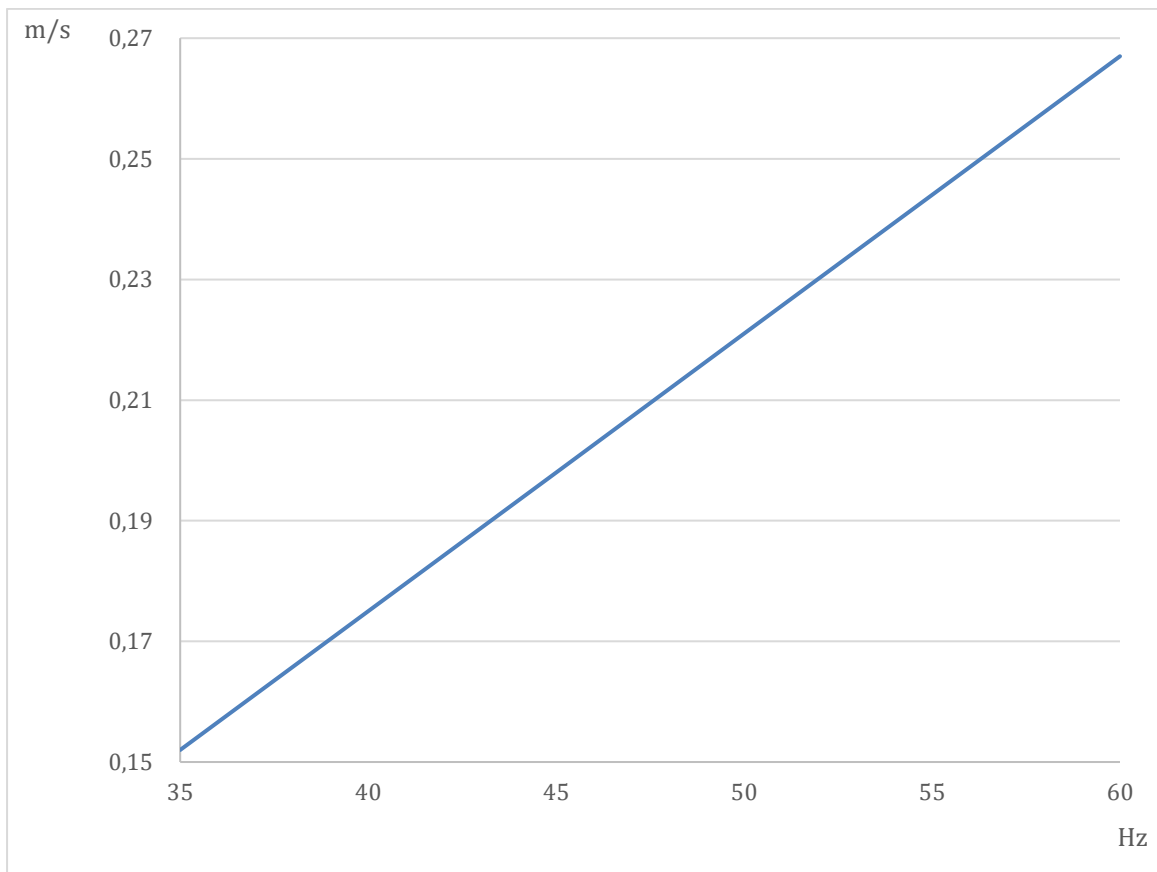
Sendo,

$V_{SR}$  – Velocidade superficial dos roletes da esteira transportadora;

$f_{IR}$  – Frequência em Hz no inversor de frequência da esteira dupla de roletes.

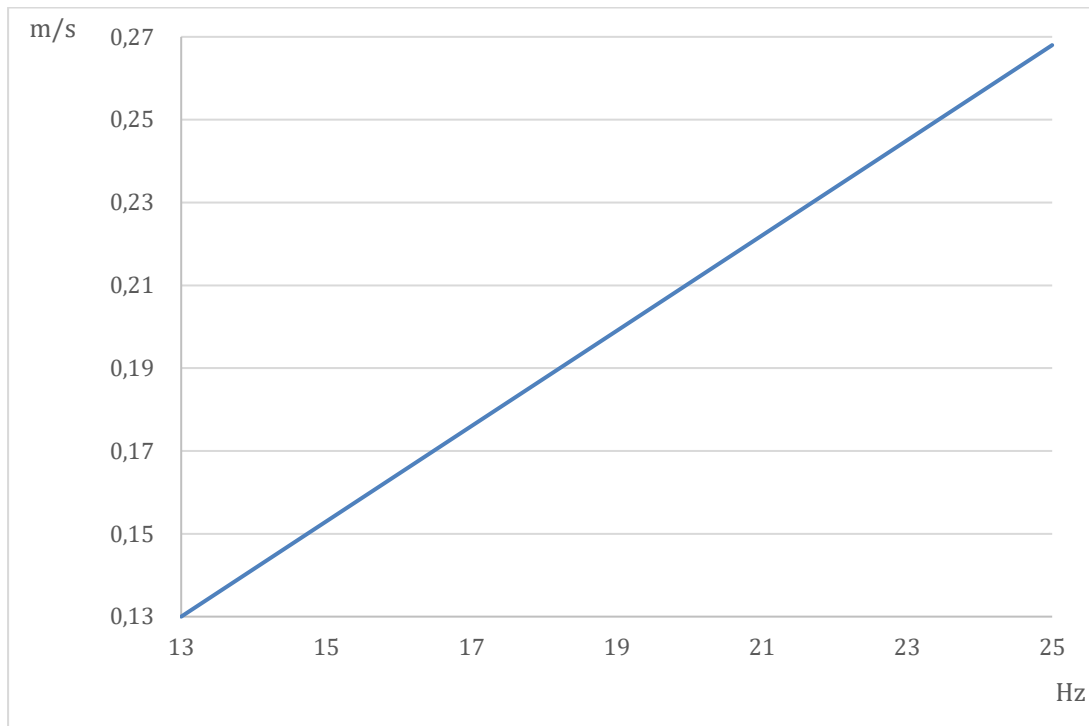
Foi feito a plotagem das Equações 3 e 4 para possibilitar a sincronização das velocidades superficiais dos roletes da esteira transportadora e dos cilindros do fundidor de tiras. As Figuras 36 e 37 mostram a plotagem das Equações de “Velocidade Superficial x Frequência” para os cilindros do strip caster e para os roletes da esteira transportadora dupla respectivamente.

**Figura 36 – Plotagem da Equação 3 para os cilindros do fundidor de tiras.**



**Fonte: Autor.**

**Figura 37 – Plotagem da Equação 4 para os roletes da esteira transportadora.**



**Fonte: Autor.**

Desta forma é possível sincronizar as duas velocidades superficiais e obter um bom resultado na fundição de tiras através do método tratado.

## 6. CONCLUSÃO

Assim, com a finalização das atividades propostas neste Trabalho de Conclusão de Curso, nota-se a relevância da junção das mais distintas áreas dentro do curso de graduação em engenharia mecânica. Na execução deste trabalho foi necessário utilizar os conhecimentos obtidos de forma sinérgica, desde estudos dinâmicos às análises voltadas para ciência dos materiais a fim de se obter êxito. Há ainda a percepção da possibilidade de se fabricar tiras metálicas em estado semiacabado mais baratas e de forma mais competitiva com os demais meios de fabricação disponíveis no mercado. A presença do técnico disponível para auxílio durante a execução do trabalho mostrou-se indispensável e sem suas ideias e sabedoria prática a execução teria se mostrado mais dificultosa do que foi. Além disso, futuramente há a ideia da instalação de um sistema de arrefecimento aprimorado para os cilindros do fundidor e para a tira solidificada passando pela esteira dupla de roletes, com o intuito de melhorar a qualidade das tiras fabricadas. Este fato abre portas para a continuidade das pesquisas com foco em melhorar o fundidor de tiras tratado aqui, proporcionando novos projetos para trabalhos de graduação, iniciações científicas e pesquisas de pós-graduação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARF, Gustavo H. S.. Esteira de roletes transportadora posicionada na saída do fundidor de tiras. Orientador: Prof. Dr. Antônio de Pádua Lima Filho. 2020. f TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, São Paulo. 2020;
- [2] HAGA, T. “Semi-Solid Roll Casting of Aluminum Alloy Strip by Melt Drag Twin Roll Caster.” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 111, no. 1-3, 2001, pp. 64–68., doi:10.1016/s0924-0136(01)00498-8;
- [3] HAZELETT, R. W. The present status of continuous casting between two moving belts. *AISE Year Book, U.S*, v.43, p.105-110, June 1966;
- [4] HAZELETT. Continuous Innovation. 2020. Information on <https://www.hazelett.com/>;
- [5] BESSEMER, H. US Patent no. 409,053, (1865) (LUITEN; BLOK, 2003, LUITEN, 1973);
- [6] MENET, P. Y.; BASSON, F.; MAIWALD, K.; CAYOL, R.; BOSH, M. Strip casting technology: a key to product quality, in: *Proceedings of the International Melt Quality Workshop, Madrid, 2001*, pp. 1-5. [2] Companhia Brasileira de Alumínio – CBA. Catálogo de produtos alumínio, São Paulo, 2017. Information on <http://www.aluminiocba.com.br/wp-content/uploads/2016/06/catalogo-16.pdf>;
- [7] FISHER JR., F.; SCHUEREN, M.; CAMPBELL, P.; BLEJDE, W.; MAHAPATRA, R. The Castrip Process: Commercialized Thin Strip Casting of Steel, *Proc. METEC Congress, 11–15 June 2007, Düsseldorf, Germany*;
- [8] YAMASAKI, Márcio Iuji. Fabricação e caracterização metalográfica e mecânica de tiras de ligas metálicas fundidas e tixolaminadas no estado semi-sólido de diferentes intervalos de solidificação. 2008. 298 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2008;
- [9] OLIVEIRA, Pedro Barbosa Neto. Processamento e propriedades de tiras metálicas fundidas da liga Al-Si A413 produzidas por reolaminação. 2019. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira;

- [10] FERREIRA, Lucas Veronez Goulart. Fabricação de tiras metálicas de alumínio por fundição contínua reciclando latas de alumínio para bebidas. 2020. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira;
- [11] Vista explodida de um motor elétrico. Roncatec. Disponível em: <http://www.roncatec.com.br/motor-eletrico-sp.html>. Acesso em 27 de ago. de 2021;
- [12] GOVERNO FEDERAL. NR – 12: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. 06 de jun. de 1978;
- [13] ÁREA TÉCNICA - Artigos e textos técnicos sobre os produtos ibr. Como se calcula a RPM em polias e engrenagens? Information on <http://www.redutoresibr.com.br/pt/Noticia/como-se-calcula-a-rpm-em-polias-e-engrenagens->;
- [14] SCHEAFFER, Richard L.; McCLAVE, James T. Probability and Statistics for Engineers. DUXBURY PRESS, 1990.
- [15] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física Volume 1. 9ª Ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012.