

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS  
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**DOUGLAS DANTAS**

**SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA SECADORES HORIZONTAIS  
ROTATIVOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA**

**2017**

**DOUGLAS DANTAS**

**SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA SECADORES HORIZONTAIS  
ROTATIVOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr. Silvia Midori Higa  
Co-Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr. Suzan Aline Casarin

**LONDRINA**

**2017**



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

**Douglas Dantas**

### **Seleção de Materiais para Secadores Horizontais Rotativos**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no dia 17 de novembro de 2017 como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof<sup>a</sup> Dr. Amadeu Lombardi Neto  
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica/ DAMEC)

---

Prof<sup>o</sup>. Diego Ruben Martin  
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais/ DAEMA)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Silvia Midori Higa  
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais/ DAEMA)

---

Prof. Dr. Fabiano Moreno Peres  
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)  
Coordenador do Curso de Engenharia de Materiais

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.”

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus, que me deu energia e benefícios para concluir este trabalho e todas etapas da graduação. Como também, meus pais por todo apoio, amor, carinho e estarem do meu lado mesmo nas horas mais difíceis durante essa jornada, além de acreditarem nos meus sonhos e conquistas.

A todos meus familiares, por sempre acompanhar os meus passos dando apoio a mim e meus pais.

Aos amigos, por todo apoio, companheirismo, parceria durante a graduação e realização deste trabalho. Certamente nossa convivência tantos anos influenciou na minha personalidade.

A grande amiga e orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr. Silvia Midori, por todo apoio, orientação, dedicação. Certamente suas análises minuciosas e sugestões foram de grande valia para conclusão desse trabalho.

A amiga e Co orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr. Suzan Casarin, por toda disposição, dedicação ao auxiliar na realização do trabalho.

Ao amigo e Prof<sup>o</sup>. Diego Ruben, por além da participação da banca de defesa, se dispor no auxílio para realização de análises.

Ao Prof<sup>o</sup> Amadeu Neto, por também auxiliar nas dúvidas durante o trabalho e participação da banca de defesa.

A todos professores do DAEMA pelo ensino e dedicação, contribuindo muito para minha formação.

“Ajuntei todas as pedras que vieram sobre mim.  
Levantei uma escada muito alta e no alto subi.”  
(Cora Coralina)

## RESUMO

DANTAS, D. **Seleção de Materiais para Secadores Horizontais Rotativos**. 2017. 61f. Defesa do trabalho de conclusão de curso – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2017.

Devido ao elevado consumo e produção de grãos no Brasil e no mundo, é necessário um bom beneficiamento para manter a boa qualidade dos grãos. O beneficiamento consiste de várias etapas, e uma delas é a secagem dos grãos. A secagem pode ser natural ou artificial, sendo que para a artificial, utiliza-se um secador horizontal rotativo. Esse equipamento possui uma câmara de secagem e dentro dessa, alguns componentes, sendo a fabricação realizada em chapas de aço SAE 1010. Esse material deve ser capaz de suportar a resistência ao desgaste, boas propriedades mecânicas para não falhar em funcionamento. O consumo elevado de matéria prima para produção do secador horizontal rotativo faz com que o valor final desse produto seja alto, e então se torna necessário a busca por redução de custos para manter a competitividade no mercado. Através de análises para seleção de materiais, é possível buscar a redução de custos, como também, o material mais apropriado para determinada aplicação. Dessa forma, foram realizadas análises para redução de custo no componente da câmara de secagem, através da diminuição de peso do material já utilizado ou possível substituição de material. O componente escolhido foram as chapas de revestimento da câmara de secagem, por ser o componente de maior custo para produção do secador. Para análise do revestimento foram realizadas as etapas de seleção de materiais (tradução, triagem, classificação e documentação) seguindo o método de Ashby. As análises se limitaram aos aços de baixo carbono, devido aos requisitos do componente e também pela triagem por similaridade. Assim, foi possível determinar dois aços de baixo teor de carbono, SAE 1010 e aço SAE 1020, para a etapa de documentação, pois esses corresponderam aos critérios estabelecidos ao decorrer das análises. No entanto, pela a análise foi possível concluir que o aço SAE 1010, já utilizado para a fabricação, continua sendo uma boa opção para fabricação dos revestimentos da câmara de secagem.

**Palavra-chave:** Secador. SAE 1010. Seleção de materiais. Diagramas de Ashby.

## ABSTRACT

DANTAS, D. **Selection Materials Horizontal Rotary Dryers**. 2017. 61f. Defense of the work of conclusion of course - Academic Department of Materials Engineering, Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2017.

Due to the high consumption and production of grains in Brazil and in the world, a good processing is necessary to maintain the good quality of the grains. The processing consists of several steps, and one of them is the drying of the grains. The drying can be natural or artificial, and for the artificial one, a horizontal rotary dryer is used. This equipment has a drying chamber and inside of it, some components, are made of SAE 1010 steel sheets. This material must be able to withstand the wear resistance, good mechanical properties to not fail in operation. The high consumption of raw material for the production of the horizontal rotary dryer causes the final value of this product to be high, and then it becomes necessary the search for cost reduction to maintain the competitiveness in the market. Through analysis for material selection, it is possible to seek cost reduction as well as the most appropriate material for a certain application. Thus, analyzes were performed for cost reduction in the drying chamber component, by reducing the weight of the material already used or possibly replacing the material. The chosen component was the coating plates of the drying chamber, for being the highest cost component for the dryer's production. For coating analysis, the material selection steps (translation, sorting, classification and documentation) were carried out following Ashby's method. The analyzes were limited to low carbon steels, due to the component requirements and also by similarity screening. After all, it was possible to determine two low carbon steels for the documentation stage, SAE 1010 and SAE 1020 steel, because these ones corresponded to the criteria established during the analysis. However, by analysis, it was possible to conclude that the SAE 1010 steel, already used for the manufacture, remains a good option for manufacturing the coatings of the drying chamber.

**Keywords:** Dryer. SAE 1010. Materials selection. Ashby diagrams.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Secador rotativo horizontal – Calli do Brasil .....	18
<b>Figura 2</b> - Esquema secador rotativo horizontal.....	19
<b>Figura 3</b> - Chapa Metálica perfurada SAE 1010. ....	20
<b>Figura 4</b> - Câmara de Secagem do secador rotativo. ....	21
<b>Figura 5</b> - Tubo interno da câmara de ar, formato estrelar. ....	22
<b>Figura 6</b> - Discos principais e flange da câmara de ar.....	23
<b>Figura 7</b> - Processo de Perfuração das chapas. ....	24
<b>Figura 8</b> - Microestrutura de um aço baixo carbono (~0,2% C). ....	26
<b>Figura 9</b> - Microestrutura aço SAE 1010 laminado. ....	28
<b>Figura 10</b> - Diagrama de materiais globais - Módulo de Young (GPa) x Densidade (kg/m <sup>3</sup> ). ....	32
<b>Figura 11</b> - Fluxograma das etapas do projeto. ....	33
<b>Figura 12</b> -Diagrama de metais e ligas - Módulo de Young (GPa) x Densidade (kg/m <sup>3</sup> ). ....	39
<b>Figura 13</b> - Diagrama região dos aços de baixo teor de carbono - Módulo de Young (GPa) x Densidade (kg/m <sup>3</sup> ).....	41
<b>Figura 14</b> - Diagrama da região dos aços de baixo teor de carbono - Módulo de Young (GPa) x Densidade (kg/m <sup>3</sup> ).....	42
<b>Figura 15</b> - Diagrama da região dos aços de baixo teor de carbono - Resistência à Tração (Mpa) x Tenacidade à Fratura (Mpa.m <sup>0,5</sup> ). ....	43
<b>Figura 16</b> - Resistência à Tração (Mpa) x Dureza Vickers (HV). ....	44
<b>Figura 17</b> - Módulo de Cisalhamento (GPa) x Densidade (kg/m <sup>3</sup> ). ....	45
<b>Figura 18</b> - Módulo de Young (GPa) x Densidade (kg/m <sup>3</sup> ).....	46
<b>Figura 19</b> - Resistência ao Escoamento (Mpa) x Densidade (kg/m <sup>3</sup> ).....	47
<b>Figura 20</b> - Diagrama Preço (BRL/kg) x Densidade (kg/m <sup>3</sup> ). ....	48



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Composição Química Aço SAE 1010 em % mássica. ....	27
<b>Tabela 2</b> - Propriedades aço SAE 1010 laminado.....	27
<b>Tabela 3</b> - Guia de tradução para chapas de revestimento da câmara de secagem.....	36
<b>Tabela 4</b> – Propriedades do aço SAE 1010 e aços de baixo teor de carbono. .	38

## **LISTA DE SIGLAS**

BRL Código da moeda real brasileira

CES Cambridge Engineering Selector

MIG Metal Inert Gas

SAE Society of Automotive Engineers

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	15
<b>3 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>16</b>
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
4.1 SECAGEM DE GRÃOS.....	17
4.2 SECADOR HORIZONTAL ROTATIVO.....	18
4.2.1 COMPONENTES DE UM SECADOR ROTATIVO HORIZONTAL .....	19
4.2.2 CONSTRUÇÃO DO SECADOR ROTATIVO PELA EMPRESA CALLI DO BRASIL.....	23
4.3 MATERIAIS METÁLICOS.....	24
4.3.1 AÇOS-CARBONO .....	25
4.3.1.1 AÇOS SAE 1010 .....	27
4.4 SELEÇÃO DE MATERIAIS .....	30
<b>5 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO DE PESQUISA .....</b>	<b>32</b>
5.1 DETERMINAÇÃO DO COMPONENTE PARA REALIZAR SELEÇÃO DE MATERIAIS .....	33
5.2 SELEÇÃO DE MATERIAIS .....	34
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>36</b>
6.1 TRADUÇÃO.....	36
6.2 TRIAGEM .....	37
6.2.1 TRIAGEM POR SIMILARIDADE .....	38
6.2.2 TRIAGEM POR ANÁLISE .....	39
6.3 CLASSIFICAÇÃO .....	49

6.4 DOCUMENTAÇÃO.....	49
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>8 SUGESTÃO PARATRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>54</b>
<b>9 CRONOGRAMA.....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE A – LEVANTAMENTO DE CUSTOS CA CÂMARA DE SECAGEM</b> <b>.....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Devido ao consumo de grãos ser muito elevado tanto no Brasil quanto no restante do mundo, é constante a busca de melhores condições de beneficiamento dos grãos, para se ter uma boa qualidade do produto. Para isso, são utilizados maquinários que executam a etapa de beneficiamento, fazendo com que o tempo do processo seja reduzido e ao mesmo tempo, sejam fornecidas melhores condições para garantir a qualidade do grão.

Uma das etapas de beneficiamento é a secagem, sendo feita tanto naturalmente em terreiros ou artificialmente, com a utilização de secadores de grãos como de café, milho, soja, pimenta do reino, feijão, entre outros.

A secagem no terreiro depende de muitos fatores, como do clima de cada região e dos tipos de terreiros nos quais se realizam a secagem. Assim, a utilização do secador se torna vantajosa por não depender desses fatores e ainda, traz benefícios de se fazer uma secagem mais rápida e uniforme, além de atuar paralelamente na limpeza dos grãos.

Entretanto, o secador horizontal rotativo possui um elevado custo de aquisição. Dessa forma, para que a maioria dos produtores de grãos possa utilizar os secadores no beneficiamento dos seus cereais, o custo-benefício desses equipamentos deve ser alto. O melhor custo-benefício além de trazer vantagens para produtores de grãos, é também proveitoso para a empresa que fabrica o secador horizontal rotativo.

O secador é composto de uma fornalha, para fornecer o calor de secagem; de câmara de secagem, na qual é depositada a massa de grãos a ser secos; de uma turbina que transporta o calor para a câmara; de uma esteira que tem a função de levar os grãos até a entrada da câmara, entre outros.

A câmara é fabricada com chapas de aço, devido as propriedades mecânicas, resistência ao desgaste, soldabilidade, formabilidade, entre outras características que este material possui, satisfazendo as condições de trabalho do secador. Entretanto, as chapas utilizadas possuem em torno de 4 mm de espessura, que traz um maior peso ao secador, e conseqüentemente um maior custo.

Com a meta de se prosperar num mercado competitivo, muita atenção deve ser dada ao processo de projeto, que talvez seja a melhor maneira de uma empresa buscar subsídios para possuir diferenciais e estar à frente dos concorrentes, além de ter um

melhor planejamento para produção de equipamentos, onde os custos podem ser reduzidos.

A seleção de materiais, além de ser uma das tarefas mais importantes e complexas do processo de projeto, é um ponto fundamental para a inovação tecnológica e conseqüentemente, a conservação da competitividade das empresas.

Dessa forma, esse trabalho buscou alcançar a redução de custos do secador horizontal rotativo, através de seleção de materiais, seguindo a metodologia de Ashby, que determina que o processo de análise seja realizado seguindo quatro etapas cruciais que são: tradução, triagem, classificação e documentação.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O principal objetivo desse trabalho foi obter um melhor custo-benefício para a produção de um secador horizontal rotativo.

### 2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Como objetivo específico foi estabelecido:

- Análise de uma possível substituição de materiais das chapas que revestem a câmara de secagem de um secador horizontal rotativo, por meio de seleção dos materiais.

### 3 JUSTIFICATIVA

A justificativa desse projeto é aumentar a competitividade de mercado de um maquinário para beneficiamento de grãos, o secador horizontal rotativo, com a diminuição do custo de fabricação, tornando-o mais atraente para produtores em menor escala. Uma vez que quando utilizado, substituindo a secagem natural, reduz variáveis como o tipo de clima e de terreno, que influem diretamente na qualidade dos grãos, e ainda, aumenta a produtividade do processo de beneficiamento.

Estudos baseados nas ferramentas de seleção de materiais podem ser utilizados não só para equipamentos de beneficiamento para grãos, como no desenvolvimento de novos equipamentos e utilitários do dia a dia, quando se busca melhor eficiência em determinadas propriedades, como aumento de resistência, redução de peso ou até mesmo, redução de custo, entre outros parâmetros. Conseguindo através das ferramentas, selecionar o material mais adequado, com melhores características para o desempenho de sua função no projeto, levando em consideração seus requisitos, objetivos e restrições pré-determinadas.



## **4 REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste tópico serão discutidos os principais conceitos e informações relacionados ao tema deste trabalho.

### **4.1 SECAGEM DE GRÃOS**

A secagem em produtos agrícolas é feita desde os primórdios da civilização, porém antes não havia tantas preocupações com armazenagem e qualidade de café e cereais (DALPASQUALE, 1984).

Para que esses produtos possam chegar ao consumidor e ter a qualidade necessária os cuidados devem começar durante o cultivo e ir além até o seu processamento e beneficiamento. Para isso é necessário que passem por algumas etapas como: limpeza, processamento, lavagem, separação, secagem e beneficiamento (MIORI, 2016).

O processo de secagem pode ser realizado em terreiros, sendo uma secagem natural ou então feito através de secagem artificial por meio de secadores com fornalha de fogo direto ou queimador de gás (fogo indireto, aquecedor elétrico ou vapor).

Além de melhorar a qualidade, a secagem artificial permite que a colheita seja feita antecipadamente, pois nos secadores os produtos vão atingir o teor de umidade correto para armazenamento e beneficiamento adequados, se tornando um processo muito importante no café e cereais de alta qualidade (BAUDET et al., 1999).

A secagem natural desses produtos depende de muitos fatores, como a região do país, uma vez que existe regiões mais quentes nas quais o ponto de secagem pode ser ultrapassado, outras mais frias onde o produto demora mais ou até mesmo não atinge a secagem eficiente, o tipo de terreiro onde é feita a secagem, que pode ser de cimento ou lama, podendo ocasionar contaminações aos grãos (NOGUEIRA & ROBERTO, 2005).

Devido a essas dificuldades de se fazer a secagem naturalmente, surgiu a necessidade de desenvolver os secadores artificiais, pois esses possuem vantagens em não depender das condições climáticas da região e também por fazer a secagem em um menor espaço de tempo, sendo o mais utilizado o secador horizontal rotativo, mostrado na Figura 1.

**Figura 1 - Secador rotativo horizontal da empresa Calli do Brasil**



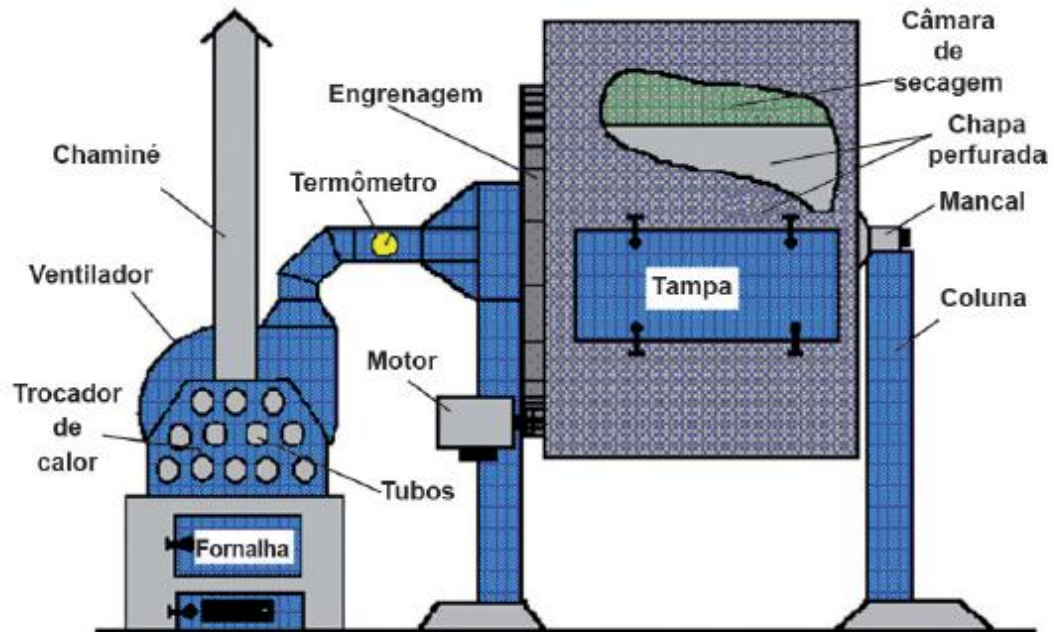
Fonte: Repositório Digital – Calli do Brasil (2016).

## **4.2 SECADOR HORIZONTAL ROTATIVO**

O secador horizontal rotativo é ideal para produtores de pequeno, médio e grande porte, recebendo os grãos diretamente da roça ou do lavador, propiciando uma secagem rápida e uniforme. Esse tipo de secador é aplicado a secagem de grãos como cacau, soja, pimenta do reino, entre outros.

O secador é composto por um cilindro tubular horizontal que gira em torno do seu eixo longitudinal a uma determinada velocidade angular, que varia de acordo com o fabricante, secando o produto em bateladas. Também pode ser utilizado como pré-secador. Internamente é constituído de um sistema de distribuição de ar formado pela tubulação e câmara de distribuição que é composta de chapas perfuradas alternadas. O ar é injetado nessa câmara, atravessando a massa do produto à ser seco. O sistema do secador rotativo horizontal é mostrado na Figura 2 (SILVA, LOPES, VITOR, & DONZELES, 2014).

Figura 2 - Esquema secador rotativo horizontal



Fonte: SILVA, J. *et al.* (2014).

Algumas vantagens do secador horizontal rotativo estão em facilitar a limpeza, além de apresentar uma boa uniformidade de secagem e rapidez do processo, o que não se consegue na secagem natural. Porém, o que dificulta sua introdução no mercado é seu alto custo, devido ao investimento em obras como o barracão próprio para o secador. Assim produtores de pequeno porte preferem não investir na tecnologia, e mantem ainda a secagem em terreiros.

#### 4.2.1 COMPONENTES DE UM SECADOR ROTATIVO HORIZONTAL

Existem vários componentes para um secador rotativo, como a fornalha para fornecer calor, a turbina para inserir o ar de secagem, a câmara de secagem, entre outros. Entretanto o enfoque deste trabalho está voltado para a câmara de secagem e alguns componentes em seu interior.

Na câmara de secagem é depositado a massa de produto a ser seca. A quantidade de massa depositada é elevada, podendo variar de 75 sacas (4500 kg) à 260 sacas (15600 kg), assim os componentes e a própria câmara devem possuir boas propriedades como resistência ao desgaste e mecânica, como também boa tenacidade a fratura, para não falhar em funcionamento.

A câmara de secagem é fabricada por chapas metálicas perfuradas que a revestem, em geral de aço SAE 1010, como visto na Figura 3. A perfuração é feita para que se tenha a saída de ar durante a secagem, afim de não se acumular ar quente na câmara provocando superaquecimento, danificando qualidade dos grãos a serem secos.

**Figura 3 - Chapa metálica perfurada SAE 1010**



**Fonte: Autoria própria.**

Na Figura 4 é possível visualizar melhor a câmara de secagem com as chapas perfuradas que a revestem.

**Figura 4 - Câmara de Secagem do secador rotativo**



**Fonte: Autoria Própria.**

Internamente a câmara possui um tubo central perfurado, que é revestido a partir de chapas perfuradas e não perfuradas, também em aço SAE 1010. Esse tubo funciona como um difusor de ar, tendo um formato estrelar, sendo as chapas posicionadas de forma alternada nessa estrela, contendo elementos com formato semelhante ao de uma pá, afim de revolver o produto durante a secagem, esse esquema pode ser visto na Figura 5.

**Figura 5 - Tubo interno da câmara de ar, formato estrelar**



**Fonte: Aatoria Própria.**

Como a câmara de ar trabalha em rotações, sua parte exterior deve conter mancais de bronzina ou rolamentos, apoiados por colunas de sustentações, permitindo assim o giro do cilindro secador. Os mancais de bronzina, são acoplados a um flange feito em ferro fundido cinzento, esses flanges por sua vez estão ligados aos discos principais que fecham a câmara de ar, como pode ser visto na Figura 6.

**Figura 6 - Discos principais e flange da câmara de ar**



**Fonte: Autoria própria.**

#### **4.2.2 CONSTRUÇÃO DO SECADOR ROTATIVO PELA EMPRESA CALLI DO BRASIL**

A empresa Calli do Brasil recebe as chapas de aço SAE 1010 e realiza todo processo de conformação, dispondo para isso de tornos, corte por plasma, dobras, soldas, entre outros.

Após o recebimento das chapas metálicas conforme as especificações, algumas chapas passam pelo processo de perfuração, na própria empresa, como pode ser visto na Figura 7.

**Figura 7 - Processo de Perfuração das chapas**



**Fonte: Aatoria própria.**

Após perfuração, as chapas que irão revestir o secador passam pelo processo de calandragem. Assim obtendo chapas perfuradas e calandradas, é feita a união dessas por solda *Metal Inert Gas* (MIG) em um anel também composto por aço.

O tubo estrelar é constituído de chapas que são calandradas, e as chapas que dão o formato estrelar são dobradas em formato de “v”, seguido pelo processo de corte afim de adquirir tamanho adequado da mesma. As chapas são unidas ao tubo também por soldas MIG. As pás acopladas ao tubo são cortadas, dobradas e então unidas por solda ao tubo estrelar.

A empresa adquire os discos principais e cantoneiras de reforços já prontos, sendo apenas necessário fazer a soldagem dos mesmos, como também o flange é adquirida de acordo com especificações da empresa.

### **4.3 MATERIAIS METÁLICOS**

Os materiais metálicos possuem uma vasta gama de aplicações na engenharia, e na maioria das vezes são padronizados por especificações que fixam constituintes básicos e as características e propriedades fundamentais.



Eles são divididos em ferrosos e não ferrosos, e na primeira classe estão os materiais de interesse nesse capítulo, os aços, e ainda dentro dessa classe de aços estão aços de baixa liga.

#### **4.3.1 AÇOS-CARBONO**

Os aços-carbono são ligas de ferro-carbono com teor inferior a 2% de carbono, além de alguns elementos residuais com menores teores, como enxofre, silício, fósforo entre outros (NUNES & KREISCHER, 2010) .

Os aços podem ser classificados por sua composição, processo de acabamento ou forma do produto acabado, entretanto a mais utilizada seria a de composição química.

Nesse sistema os aços são nomeados por quatro números que indicam que o aço é apenas aço ao carbono ou em outros elementos como molibdênio, enxofre, esses seriam indicados pelos dois primeiros números e os dois últimos fornece a porcentagem de carbono presentes nesse aço (CHIAVERINI, 1990).

Os aços carbono podem ser divididos em duas classes tanto aços de alta liga quanto de baixa liga. Dentro daqueles de alta liga se encontram os aços inoxidáveis e aços ferramentas, e os de baixa liga possuem uma variedade sendo divididos em aços de baixo, médio e alto teor de carbono.

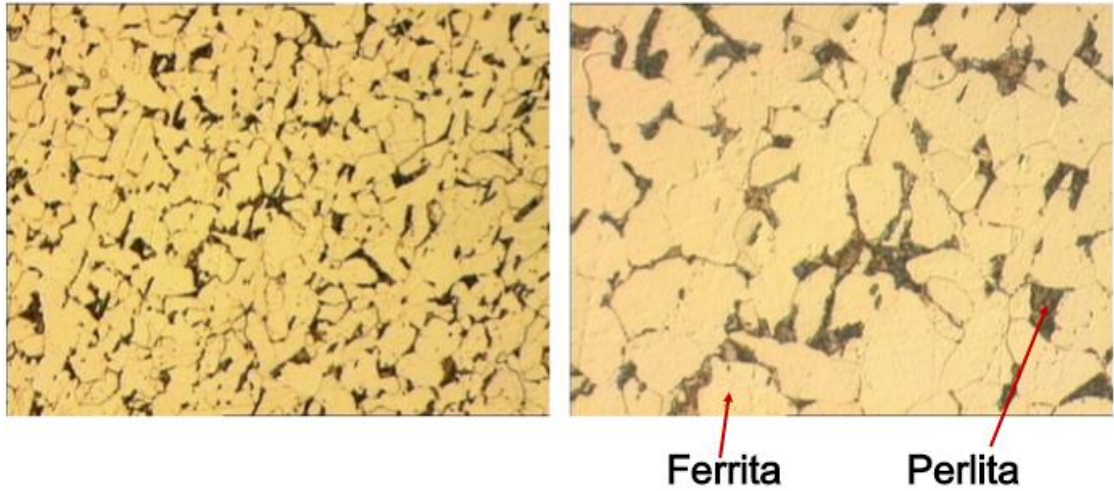
Neste trabalho o interesse está nos aços de baixo carbono, que normalmente possuem menos de 0,25% de carbono. Possuem excelente ductilidade e tenacidade, além de ótima usinabilidade e soldabilidade (NUNES & KREISCHER, 2010).

Os aços de baixo carbono normalmente se destinam a produtos planos como folhas, tiras ou chapas, que são destinados a conformação mecânica antes da aplicação, e então para que esses aços resistam as condições submetidas deve satisfazer alguns aspectos como a formabilidade, além do custo (SILVA & MEI, 2006).

As propriedades do aço dependem muito da microestrutura e também da composição química desse. Nos aços o elemento de maior teor, é o carbono, e quanto maior teor desse elemento melhores a propriedades relativas a resistência mecânica, como limite de resistência a tração e a dureza, entretanto isso diminui a tenacidade e ductilidade (NETO, 2015).

Conseqüentemente a microestrutura irá depender dessa composição química, sendo os principais constituintes dos aços de baixo carbono a ferrita e perlita, como representado na Figura 8. A perlita se apresenta em menor quantidade e quanto menor o teor de carbono, menor será a presença dessa na microestrutura.

**Figura 8 - Microestrutura de um aço baixo carbono (~0,2% C)**



**Fonte: CARVALHO (2011).**

A ferrita possui estrutura de grãos poligonais irregulares, conferindo baixa dureza e resistência a tração, entretanto boa resistência ao choque e elevado alongamento. A perlita é composta por lamelas justapostas de ferrita e cementita, possuindo uma dureza intermediária entre esses dois constituintes, microscopicamente aparece como regiões mais escuras (COLPAERT, 1965).

A microestrutura também é dependente de fatores como estado ou condição de trabalho do aço, velocidade de resfriamento, pois essas condições irão afetar significativamente em aspectos como tamanho de grão, inclusões, segregações, entre outros, que também iriam afetar nas propriedades do aço (CHIAVERINI, 1990).

#### 4.3.1.1 AÇOS SAE 1010

O aço SAE 1010 é um aço baixo carbono, como já visto, e sua composição típica é mostrada na Tabela 1.

**Tabela 1 - Composição Química Aço SAE 1010 em % mássica**

% C	% Mn	% Si	% Al
0,08 – 0,11	0,35 – 0,5	0 – 0,02	0,015 – 0,045

**Fonte: Repositório Digital – Arcelor Mittal (2017).**

Quando laminado o aço SAE 1010 possui propriedades compatíveis as da Tabela 2.

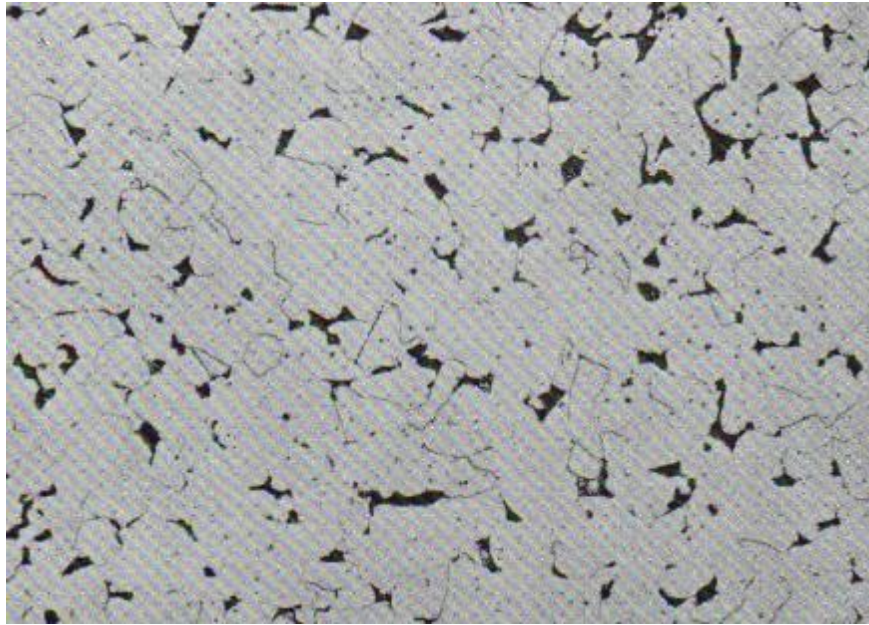
**Tabela 2 - Propriedades aço SAE 1010 laminado**

Limite de Resistência a Tração (MPa)	Limite de Escoamento (MPa)	Alongamento Percentual (%)	Dureza Brinell (HB)
~320	~180	~28	~95

**Fonte: Repositório Digital – Arcelor Mittal (2017).**

A microestrutura típica do SAE 1010 laminado é rica em ferrita contando também com a presença de perlita, como pode ser observada na Figura 9. Nota-se que a Figura 9 assemelha-se a Figura 8, pois essas microestruturas são típicas de aços de baixo carbono.

**Figura 9 - Microestrutura aço SAE 1010 laminado**



**Fonte: COLPAERT (1965).**

Existem vários cuidados a serem tomados, devido ao processo de conformação desse aço. Ele deve possuir uma boa formabilidade, pois irá passar por dobramento e calandragem, processos nos quais deve ser especificado se será longitudinal ou transversal, devido a anisotropia desse tipo de material ser elevada em decorrência do processo de produção (SILVA & MEI, 2006).

Os aços SAE 1010 conferem uma boa tenacidade e bom limite de escoamento devido aos vários processos desenvolvidos para o refinamento dos seus grãos, e isso ocorre até mesmo durante a laminação desse material. (SILVA & MEI, 2006)

O material com predomínio de ferrita em sua microestrutura terá baixa dureza, já que essa fase contém grãos mais grosseiros, o que gera pouca resistência a deformação durante sua conformação. Com o objetivo de elevar propriedades como a dureza, tenacidade e limite de escoamento é necessário que seja realizado o refinamento dos grãos, pois quanto menores, maior será o número de barreiras para o movimento de discordâncias e escorregamento de planos.

Esses aços também possuem uma boa soldabilidade devido ao fato de diminuir o carbono equivalente, fator que também minimiza a formação de martensita e controla

a evolução da microestrutura da zona afetada pelo calor, mediante ao controle cuidadoso do teor de microligas e do carbono e nitrogênio presentes, capazes de reprecipitar na zona afetada pelo calor, reduzindo a tenacidade (SILVA & MEI, 2006).

Outra propriedade importante a ser discutida é a resistência ao desgaste, pois na função que exercem no secador rotativo, as chapas de revestimento feitas em aço SAE 1010 ficam diretamente em contato com grãos, assim as chapas podem sofrer desgaste, devido ao choque e atrito entre grãos e chapa metálica. Portanto, a resistência ao desgaste se torna uma propriedade relevante para chapa do aço SAE 1010.

O desgaste é um dano que ocorre na superfície do material, resultando em remoção ou impregnação de material, devido ao contato com movimento relativo com outra superfície ou com outras substâncias, que podem ser sólidas, líquidas ou gasosas. Assim, corre o risco de criar tensões inesperadas ocasionando uma falha por algum esforço dinâmico (BAPTISTA & NASCIMENTO, 2009).

Existem três tipos de desgastes, o desgaste metálico, o desgaste abrasivo e por erosão quando um metal se desgasta contra um líquido ou vapor. No entanto o tipo explorado no trabalho será o desgaste abrasivo devido ao secador rotativo ter um contato com grãos, que causa esse tipo de desgaste.

O desgaste abrasivo ocorre quando partículas não metálicas entram em contato com superfícies metálicas, acompanhada de forte pressão, ocasionando a retirada do metal (BAPTISTA & NASCIMENTO, 2009).

Também pode ser relacionado ao efeito que o calor produzido devido ao atrito entre superfícies em movimento, assim o calor causaria como que uma soldagem de partículas metálicas, e que devido à pressão e movimento essas são arrancadas deixando vazios na forma de depressões que contribuem para o desgaste. Por outro lado, a temperatura envolvida pode diminuir a dureza e a resistência do metal e facilitar a oxidação ou algum ataque químico, tornando a superfície mais suscetível ao desgaste (COUTINHO, 1992).

Assim para que um metal seja resistente ao desgaste sua dureza deve ser elevada e sua microestrutura deve possuir as fases de perlita, bainita, austenita entre outras com elevados teores de carbono, pois essas oferecem maior ancoragem dos carbonetos (BAPTISTA & NASCIMENTO, 2009).

Entretanto, considerando a redução de custo, uma outra forma de se conseguir resistência ao desgaste, é elevar a dureza, sem que tenha um alto teor de carbono, através do refinamento seus grãos como discutido acima.

Além da dureza, também devem ser consideradas a resistência mecânica e tenacidade, pois quanto mais elevadas, mais difícil o arrancamento de partículas metálicas, entretanto a dureza é o principal fator pois dela depende o início do desgaste.

Para que a dureza seja melhorada nesse tipo de aço é necessário que se realize trabalho a frio, para assim se ter menores grãos em sua estrutura, como também a realização de tratamentos térmicos ou aplicação de revestimentos superficiais.

#### **4.4 SELEÇÃO DE MATERIAIS**

Projetos desenvolvidos na engenharia dependem de materiais que são conformados, unidos e acabados por alguns processos. Assim, a seleção de materiais se torna interessante em todas as etapas de um projeto, dos esboços até as definições das especificações do produto (ASHBY, 2012).

As ferramentas de seleção de materiais desempenham um papel importante em cada etapa do projeto. Com o decorrer de cada etapa, os dados dos materiais vão se aprimorando e sendo mais refinados, possibilitando um afinamento da diversa gama de materiais existentes no início do projeto, chegando ao fim com apenas aqueles materiais de melhor interesse e aqueles que não favoreceram os critérios estabelecidos são excluídos (ASHBY, 2012).

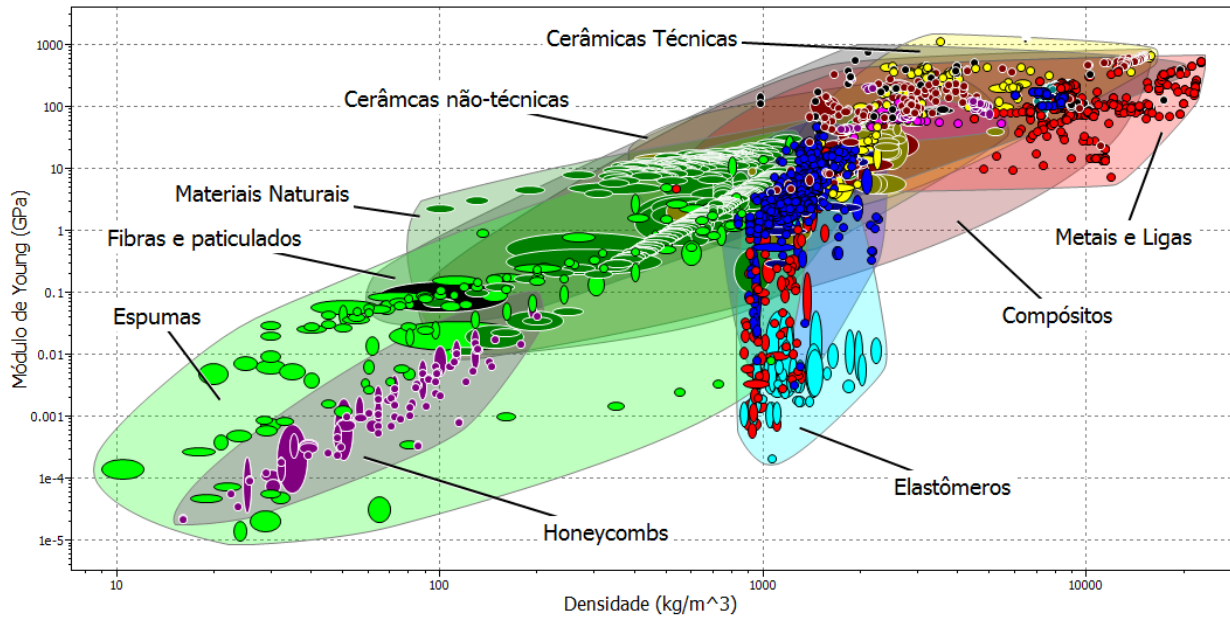
A seleção de materiais envolve quatro etapas básicas, sendo na primeira etapa (tradução) necessário traduzir os requisitos específicos de materiais e processos do projeto. Seguidamente, é interessante que se realize o processo de triagem para excluir aqueles materiais que não atendem as especificações da tradução. A terceira etapa ocorre por meio da classificação dos materiais e processos que restaram das etapas anteriores. Nesta etapa, são identificados aqueles de maior potencial. E por fim, é realizada a documentação para identificar informações de apoio sobre esses materiais classificados. Nessa etapa são determinados os pontos fracos, pontos fortes, história do material (ASHBY, 2012).

Além dos procedimentos acima citados, para que os caminhos de seleção de materiais sejam realizados da melhor forma, existem também ferramentas para auxílio na seleção de materiais. Essas ferramentas variam desde simples catálogos até softwares com sistema de busca multicritérios.

Um desses softwares é o CES EduPack (*Cambridge Engineering Selector*), no qual é possível se plotar os mapas de propriedades dos materiais, essas que são diversas como: densidade, módulo de elasticidade, dureza, propriedades mecânicas, ópticas, entre outras.

Um exemplo de diagrama plotado no software CES EduPack, pode ser visto na Figura 10, onde se tem um diagrama de Módulo de Young x Densidade, considerando todos os materiais globais. Dessa forma, à medida que se avançam as etapas de análises, e seguindo os requisitos do projeto a quantidade de materiais vai se restringindo, até que se tenha o mínimo de candidatos possíveis.

**Figura 10 - Diagrama de materiais globais - Módulo de Young (GPa) x Densidade (kg/m<sup>3</sup>)**



Fonte: Autoria própria.

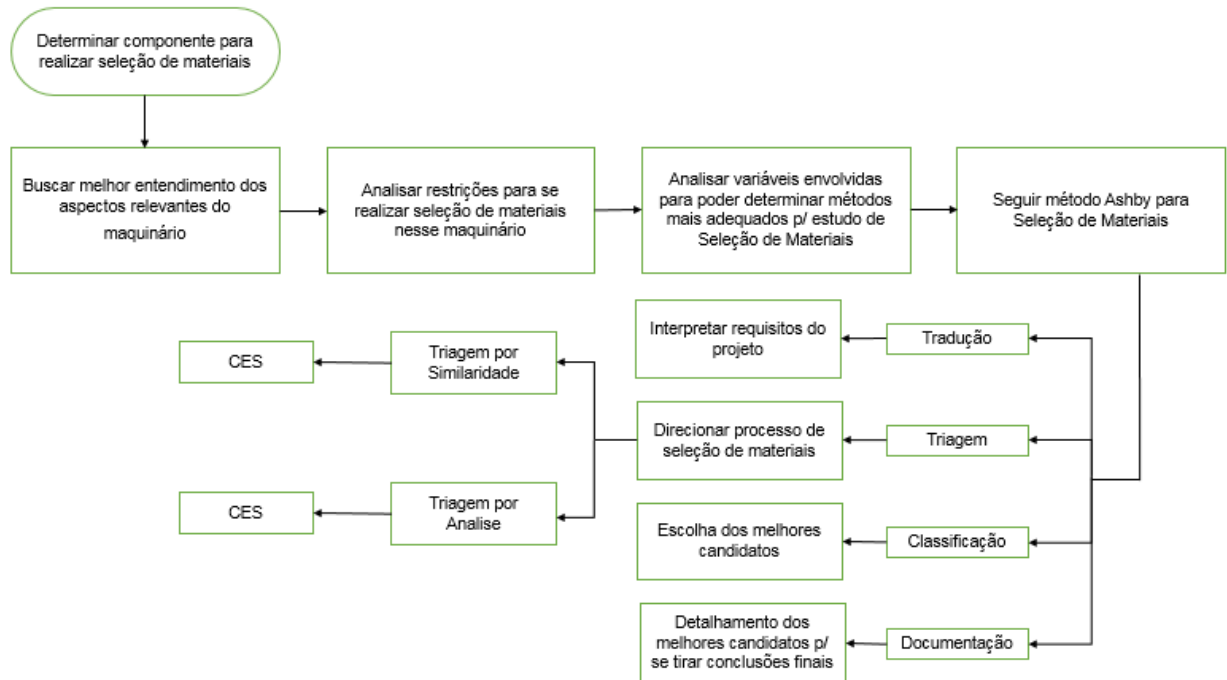
## 5 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO DE PESQUISA

Nesta seção é apresentado procedimento metodológico para se realizar a seleção de materiais em um componente do secador horizontal rotativo, bem como os procedimentos utilizados para aplicação da metodologia e ferramenta escolhida no estudo de redução de custos do equipamento.

As etapas que foram executadas para realização do projeto de seleção de materiais para o componente do secador horizontal rotativo são mostradas no fluxograma (Figura 11).



**Figura 11 - Fluxograma das etapas do projeto**



Fonte: Autoria Própria.

## 5.1 DETERMINAÇÃO DO COMPONENTE PARA REALIZAR SELEÇÃO DE MATERIAIS

Como já mencionado, o secador rotativo é composto por diversos componentes, onde há uma variação de materiais utilizados, como também seu processo de obtenção. Por essa razão, para a escolha dos componentes a serem estudados neste trabalho, foi realizado um cálculo de custos de cada um dos componentes, sendo o critério adotado, o componente que apresentasse maior custo. Com isso, uma possível substituição de material do componente escolhido pode resultar na redução de custo do maquinário.

Dessa forma, as chapas de revestimento da câmara de secagem foram dentre os componentes os que apresentaram maior custo para o maquinário. As informações referentes ao cálculo dos custos encontram-se no Apêndice A.

## 5.2 SELEÇÃO DE MATERIAIS

Ao pensar em redução de custos de algum produto, existem diversas variáveis a serem analisadas, como os processos utilizados para fabricação, materiais utilizados, custos dos materiais, custos dos processos, viabilidade de processos, propriedades que o produto e materiais devem ter para suprir os requisitos do projeto, entre outras.

Para auxílio da análise dessas variáveis, existem alguns métodos que visam facilitar as decisões dos engenheiros nesse processo. Nesse trabalho, será abordado a metodologia de Ashby baseado nos mapas de propriedades mecânicas.

Como citado no capítulo quatro, a metodologia de Ashby envolve determinadas etapas básicas para se estabelecer candidatos para uma dada aplicação, essas são: tradução, triagem, classificação e documentação. Seguindo essas etapas, é possível identificar materiais candidatos que sanam os requisitos do projeto, além de avaliar o melhor custo-benefício para aplicação no projeto.

Na etapa de tradução foi criado o guia de tradução, onde foram estabelecidos os requisitos, funções, restrições do componente. O guia de tradução foi feito para que facilitasse a etapa posterior, que é a triagem.

Com base nos requisitos de projeto estabelecidos na etapa de tradução e nas propriedades dos materiais já utilizados para essa aplicação, a etapa de triagem então foi realizada por similaridade e por análise, em conjunto.

Para se realizar a análise por similaridade, foi determinado o material já utilizado nas chapas de revestimento da câmara de secagem, e então foi feito um levantamento das propriedades desse material. Seguidamente, realizou-se a plotagem dos diagramas de Ashby, com o auxílio do software CES EduPack. Os diagramas foram plotados de acordo com as necessidades de análise de redução de custos do componente do secador, sendo assim necessário plotar diversos diagramas para se ter uma análise mais precisa.

Posteriormente, foi realizada a classificação de possíveis materiais candidatos para a aplicação no componente. A classificação dos candidatos foi feita em função da redução de custos, assim foram escolhidos materiais que cumpram os requisitos do projeto.

Por fim, na etapa de documentação foi realizado uma análise mais a fundo dos materiais resultantes das etapas anteriores, com base no comportamento desses em relação ao objetivo do projeto, que é a redução de custos do componente.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo serão apresentados os resultados obtidos através dos procedimentos realizados.

### 6.1 TRADUÇÃO

Nesta etapa foi envolvida a interpretação dos requisitos de projeto e conseqüentemente, a expressão dos mesmos em atributos dos materiais. Assim, para auxiliar nessa etapa, foi feito o guia de tradução para as chapas de revestimento da câmara de secagem, que pode ser visto na Tabela 3.

**Tabela 3 - Guia de tradução para chapas de revestimento da câmara de secagem**

Atributos	Requisitos
<b>Função</b>	Revestir o corpo da câmara de secagem.
<b>Restrições Absolutas</b>	Ter resistência ao desgaste, rigidez específica, formabilidade, tenacidade à fratura, comprimento e largura especificados.
<b>Objetivo</b>	Minimizar a massa ou substituição de matéria prima para reduzir custos de fabricação.
<b>Variável Livre</b>	Materiais utilizados, desde que seja aço de baixo carbono e a espessura da chapa.

Fonte: Autoria própria.

O guia de tradução traz uma melhor objetividade e direcionamento do projeto e procedimentos que vão ser realizados, em questões relevantes para seleção de materiais, pois nele se consegue resumir todas as informações necessárias para o projeto, como a função do componente, as restrições que devem ser levadas em consideração para que satisfaça a aplicação, o objetivo do trabalho e o que pode ser modificado, que são as variáveis livres.

Para a construção do guia de tradução, foi necessário um melhor entendimento do equipamento. Essa busca por maiores informações do componente foi realizada com equipes interdisciplinares, para que fosse possível buscar as informações e requisitos necessários do componente, como também propiciar uma troca de ideias, que consequentemente contribui para o melhor desenvolvimento do projeto e eficiência nesta etapa.

Após o melhor entendimento, foi analisado os requisitos do projeto, determinando as restrições em questão de propriedades que o material utilizado deve conter para ser utilizado como revestimento da câmara de secagem, como também as restrições dimensionais do componente.

## **6.2 TRIAGEM**

Considerando as etapas realizadas no processo de seleção de materiais, a triagem é o ponto crucial, pois as outras etapas servem para estabelecer os dados de entrada ou para processar os dados de saída obtidos aqui.

Existem diversas maneiras de se realizar a etapa de triagem em um projeto como a triagem por inspiração, por similaridade, por análise, entre outras. Entretanto, neste trabalho, foram abordados os métodos de triagem por similaridade e por análise.

Esses métodos foram determinados devido à dificuldade de encontrar estudos realizados no setor de secadores rotativos, não sendo possível determinar os parâmetros desse equipamento em uso. Dessa forma, a melhor opção, foi realizar uma análise trabalhando com base nos materiais já utilizados para fabricação desse tipo de equipamento, pois esses possuem a quase completa combinação de atributos que atendem os requisitos do projeto, deixando a dúvida apenas em relação aos custos.

### 6.2.1 TRIAGEM POR SIMILARIDADE

Em vista do que foi dito no item 6.2, a triagem por similaridade foi utilizada como base para o método de triagem por análise.

Com base em uma pesquisa realizada com alguns fabricantes desse equipamento, além da Calli do Brasil, é possível dizer que todos eles utilizam como principal material os aços de baixo carbono. Mais especificadamente na empresa Calli do Brasil é utilizado aço SAE 1010.

Isso se dá ao fato desse grupo de aço apresentar propriedades relevantes para essa aplicação, como boa soldabilidade, boa formabilidade quando se trata de processos de calandragem, dobra, entre outros. Além de manter suas propriedades como tenacidade a fratura, após o processo de perfuração que ocorre na empresa, não permitindo que o componente falhe em uso.

A Tabela 4 apresenta os dados genéricos dos aços de baixo carbono e do aço SAE 1010.

**Tabela 4 – Propriedades do aço SAE 1010 e aços de baixo teor de carbono**

Material	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Limite de Escoamento (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Dureza Vickers (HV)	Tenacidade à fratura (MPa. $\sqrt{m}$ )	Módulo de Cisalhamento (GPa)
<b>SAE1010</b>	7870	~180	210	108	43 - 69	79
<b>Aço de baixo carbono</b>	7800 - 7900	~350	205 - 215	98 - 170	-	76 - 84

Fonte: Repositório Digital – Arcelor Mittal (2017).

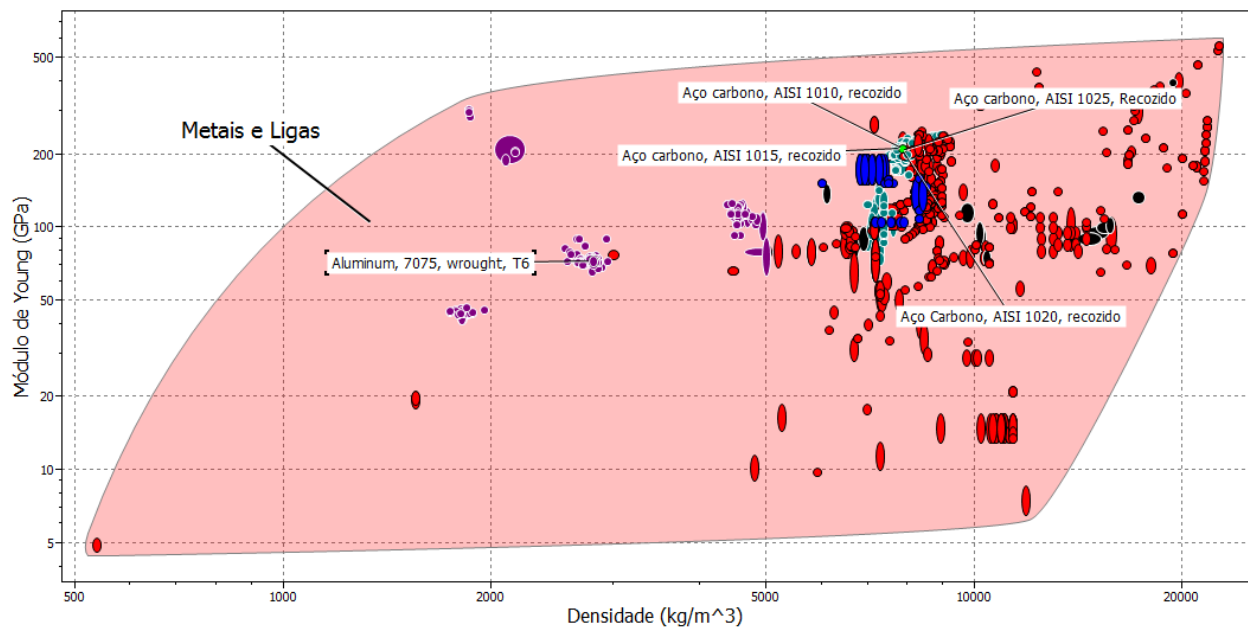
O princípio do método de similaridade é buscar por materiais que tenham características parecidas aos materiais já utilizados, entretanto, que tenha alguma propriedade de interesse em relação aos tradicionais, que no caso é buscado um melhor custo.

As propriedades e materiais apresentados neste tópico servirão como referência para o próximo passo, onde será feita a busca por similaridade na triagem por análise.

## 6.2.2 TRIAGEM POR ANÁLISE

O software CES Edupack possui um vasto banco de dados de materiais, propriedades e processos que podem ser analisadas. Entretanto, devido aos requisitos do projeto e processos envolvidos para a produção desse equipamento, o foco será nos materiais metálicos. Assim, foi plotado um diagrama de Módulo de Young x Densidade de todos os metais globais, que pode ser conferido na Figura 12.

**Figura 12 -Diagrama de metais e ligas - Módulo de Young (GPa) x Densidade (kg/m<sup>3</sup>)**



**Fonte: Aatoria própria.**

A partir do diagrama obtido, nota-se a diversidade de materiais metálicos que o banco de dados do software nos fornece, como alumínio, aços de baixo teor de carbono e assim, quanto mais explorado, maior a quantidade de opções de materiais metálicos pode ser encontrado.

Entretanto, na etapa de triagem por similaridade, foi determinado que os mais materiais adequados são os aços de baixo teor de carbono, os que já são utilizados para essa aplicação. Dessa forma, para seguir corretamente as etapas do processo de seleção de materiais, é necessário restringir as análises a essa classe de aços.

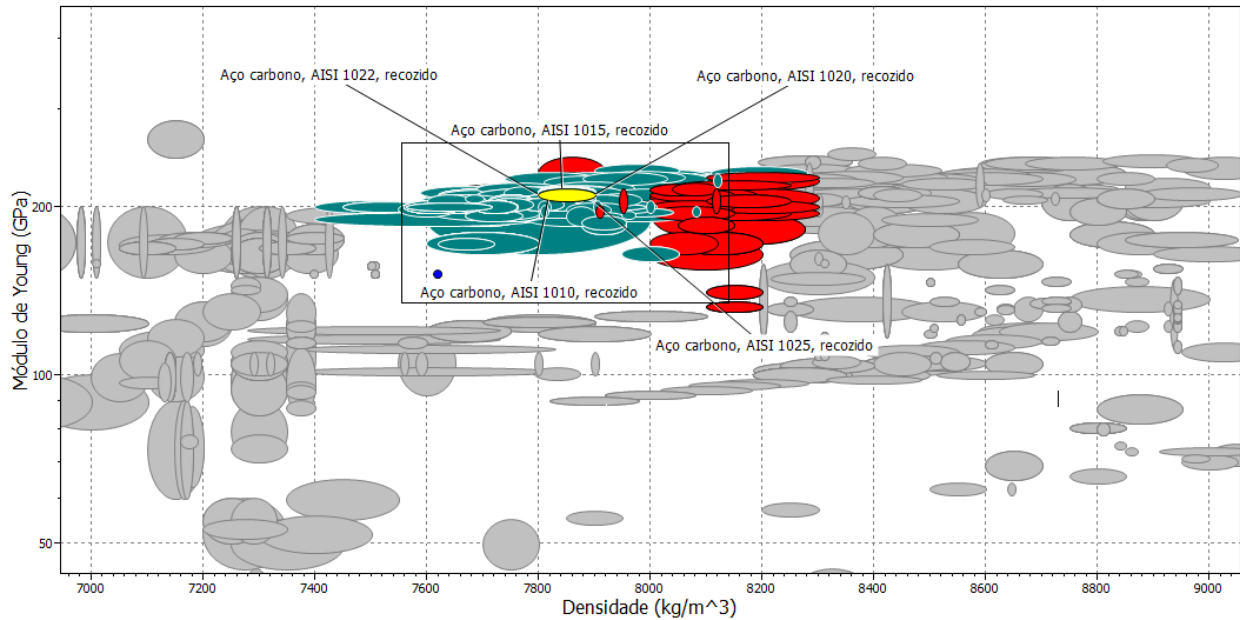
Como a chapa de revestimento da câmara de secagem é um componente que passa por processos de soldagem, torna-se indispensável considerar que nem todos os metais possuem a característica de ter boa soldabilidade. Na maioria dos casos, o processo de soldagem envolve o uso de calor e/ou deformação plástica, resultando em uma estrutura metalúrgica diferente do metal base. As soldas podem também apresentar descontinuidades como vazios, trincas, inclusão de material, etc (MODENESI, 2011).

Esse fato faz com que, em função da soldabilidade, os materiais de interesse fiquem limitado aos aços de baixo carbono, pois são materiais facilmente soldáveis por qualquer processo de soldagem a arco, gás ou resistência, sem necessidade de tratamentos térmicos antes da soldagem ou até mesmo depois, como ocorre em aços de médio e alto teor de carbono (MODENESI, 2011).

Por essas razões, foi gerado um diagrama de Módulo de Young x Densidade, destacando a região do aço SAE 1010, que pode ser conferido na Figura 13.



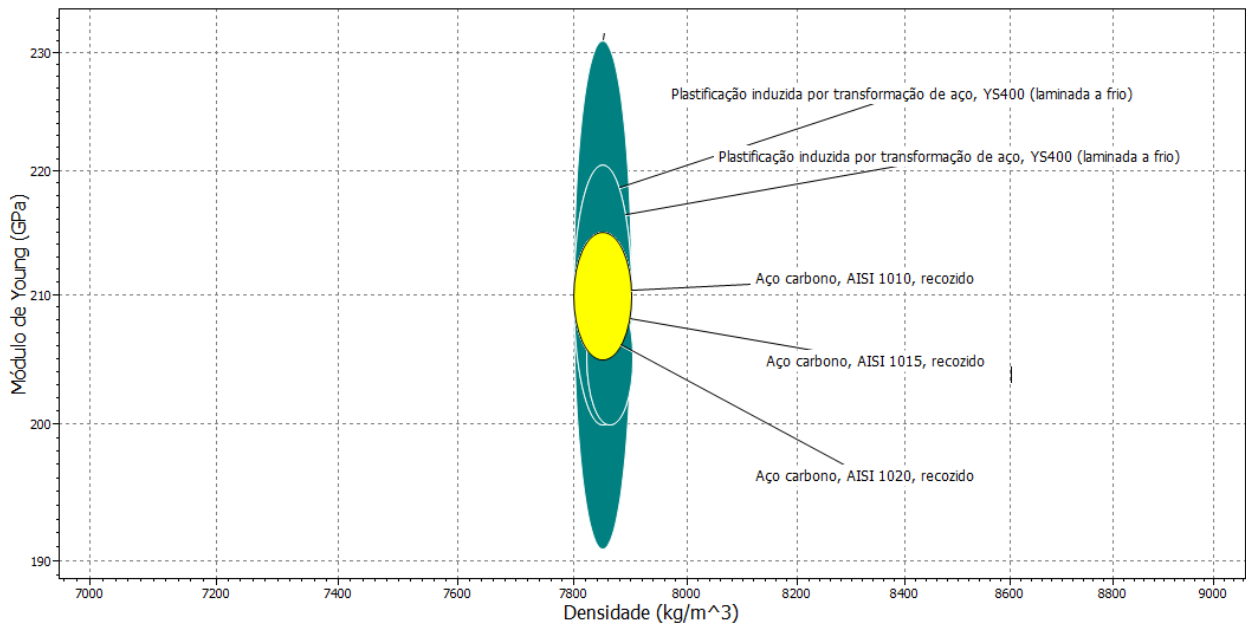
**Figura 13 - Diagrama região dos aços de baixo teor de carbono - Módulo de Young (GPa) x Densidade (kg/m<sup>3</sup>)**



**Fonte: Autoria própria.**

A partir desse diagrama, é possível observar que na região que corresponde ao aço SAE 1010 também possui uma vasta faixa de materiais bem próximos a este, que podem ou não ter propriedades parecidas com a do aço SAE 1010, sendo assim, são opções que poderiam ser avaliadas nos próximos passos da análise. Entretanto, como já discutido acima, pelo fato de já se utilizar aços de baixo teor de carbono, e os requisitos limitar o trabalho com aços de baixo teor de carbono, as análises serão feitas somente com esses materiais, assim foi plotado um diagrama (Módulo de Young x Densidade) apenas da região dos aços de baixo carbono, que pode ser conferido na Figura 14.

**Figura 14 - Diagrama da região dos aços de baixo teor de carbono - Módulo de Young (GPa) x Densidade (kg/m<sup>3</sup>)**



**Fonte: Autoria própria.**

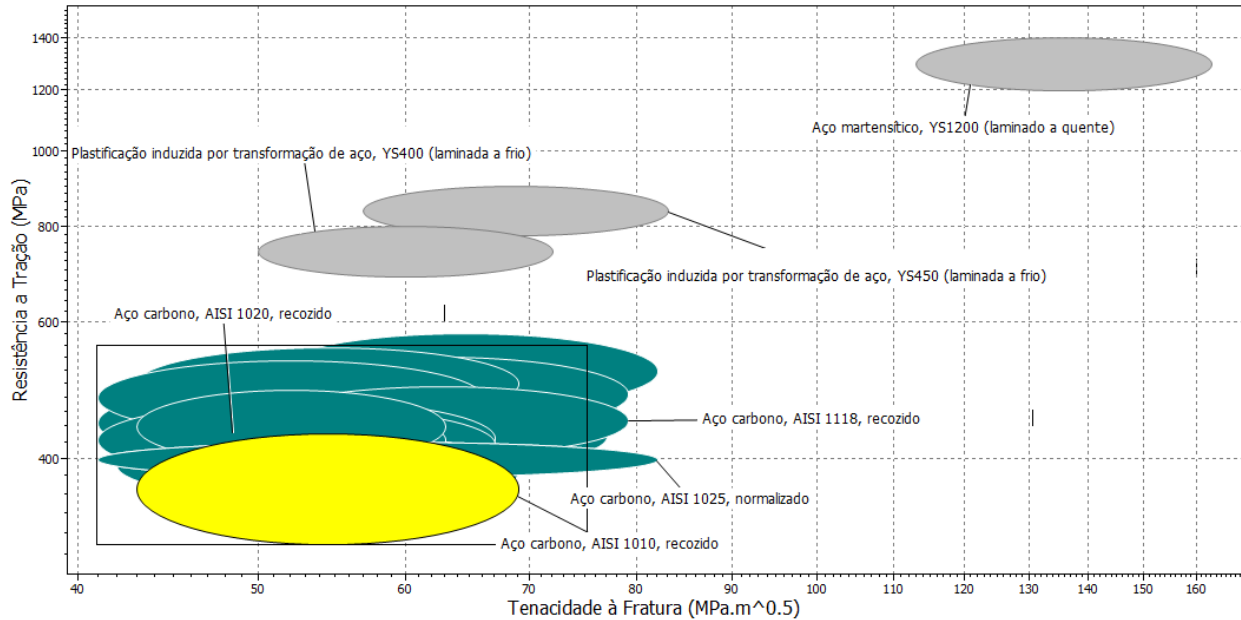
Nota-se que os requisitos do guia de tradução e a triagem por similaridade auxiliaram bastante no estreitamento dos dados iniciais, onde se consegue chegar apenas a uma pequena faixa de material para poder realizar as análises para uma possível substituição de material nas chapas de revestimento que compõe a câmara de secagem do secador horizontal rotativo.

As chapas de revestimento da câmara de secagem devem ser perfuradas para que haja um controle da temperatura interna do equipamento, não causando assim o superaquecimento dos grãos, o que poderia comprometer a qualidade dos mesmos.

Quando se realiza a perfuração nas chapas de aços, essas sofrem deformação e os locais das perfurações se tornam pontos concentradores de tensão. Dessa forma, é necessário que as chapas de aço para aplicação em revestimento da câmara de secagem tenham uma boa tenacidade à fratura, para que ocorra escoamento antes da fratura para que durante o processo de perfuração ou mesmo em uso, o componente não falhe.

Para analisar esse requisito foi gerado o diagrama de Resistência a Tração x Tenacidade à Fratura, que pode ser verificado na Figura 15.

**Figura 15 - Diagrama da região dos aços de baixo teor de carbono - Resistência à Tração (Mpa) x Tenacidade à Fratura (Mpa.m<sup>0,5</sup>)**



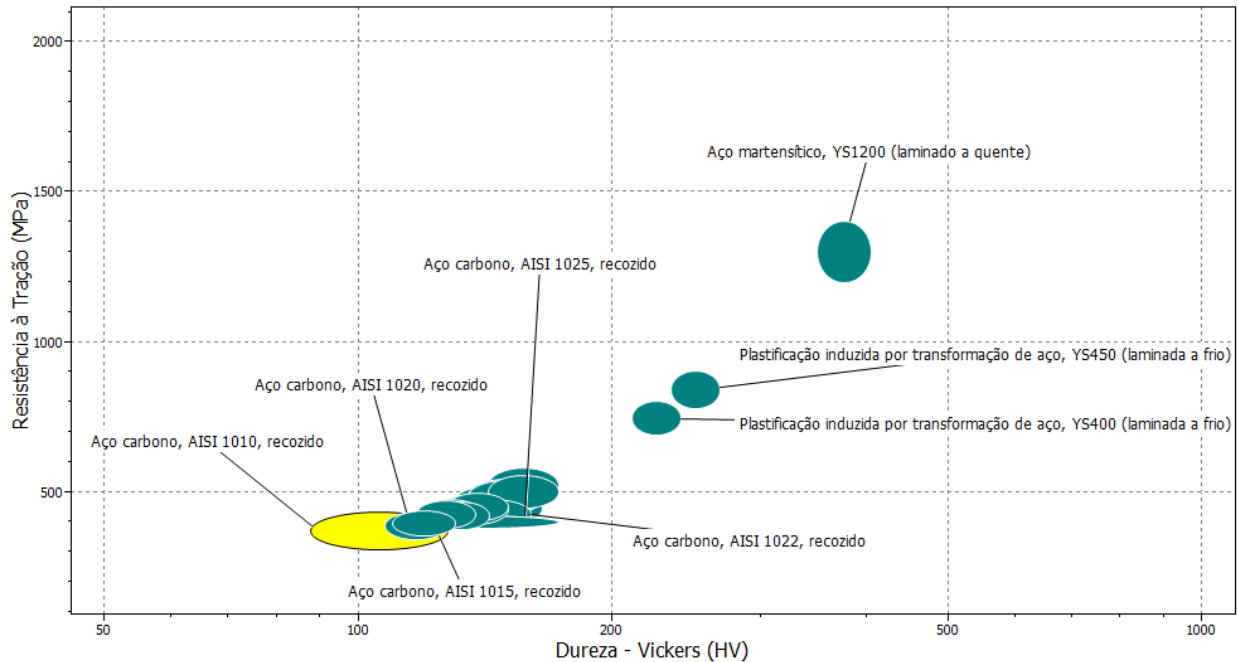
**Fonte: Autoria Própria.**

Analisando o diagrama da Figura 15, onde a área do quadrado limita os valores estabelecidos na triagem por similaridade ( $43 - 69 \text{ MPa} \cdot \sqrt{m}$ ), é possível notar que os aços de baixo carbono estão quase todos na mesma faixa de valores, exceto o aço martensítico. Isso mostra que os aços na região marcada são resistentes e ao mesmo tempo tenazes, cumprindo um dos requisitos determinado no guia de tradução. Como o aço martensítico está fora da faixa de valores determinados, ele é descartado das próximas análises, restando os aços que estão dentro da área do quadrado.

O processo de calandragem gera esforços de tração nas chapas de revestimento da câmara de secagem. Consequentemente, é gerada uma deformação no material e assim, se torna necessário a avaliação da dureza em relação ao limite de resistência a tração, para que após as chapas serem calandradas, essas permaneçam com boas propriedades de dureza, não permitindo que ocorra desgaste no material quando estiver em contato com os grãos.

Essa análise pode ser feita através do diagrama de Resistência a Tração x Dureza Vickers, presente na Figura 16.

**Figura 16 - Resistência à Tração (Mpa) x Dureza Vickers (HV)**



**Fonte: Autoria Própria.**

A faixa de dureza Vickers determinada na etapa de triagem por similaridade é de 98 – 170 HV. Nota-se no diagrama, que o aço martensítico e a plastificação induzida por transformação de aço estão presentes na faixa de 200 – 400 HV. Portanto, fora da faixa de dureza pré-determinada, podendo ser excluídos das próximas análises.

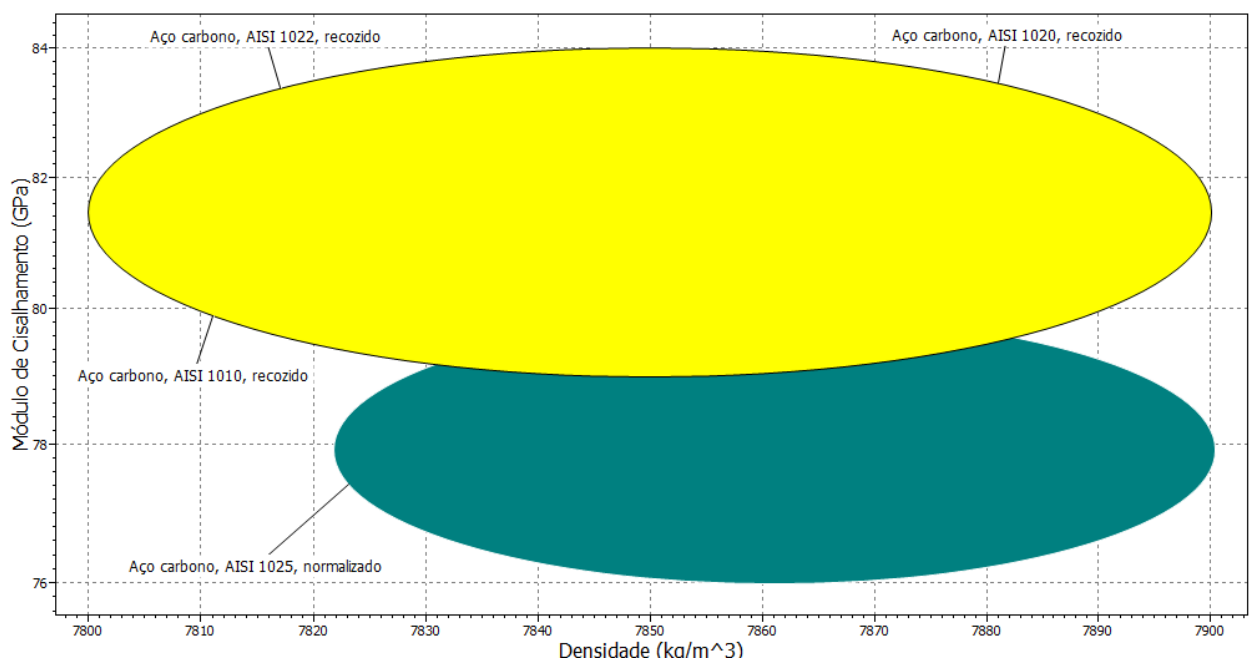
Uma das formas para redução de custos, é a redução de massa no componente. A tentativa para isso é realizada através da diminuição da espessura, que hoje normalmente, para fabricação do revestimento da câmara de secagem são chapas de 4mm. Entretanto, ao diminuir a massa das chapas ocorre perda de algumas propriedades como rigidez, resistência ao desgaste, resistência mecânica, entre outras. Com isso, é relevante que se analise essas propriedades com a redução de peso.

Quando duas superfícies entram em contato há atrito, que pode promover o desgaste. Por essa razão, uma boa resistência ao desgaste é um importante requisito

determinado no guia de tradução, pois em uso, as chapas de revestimento da câmara de secagem estão em contato com grãos, causando atrito nas chapas, permitindo com isso, fiquem susceptíveis ao desgaste.

Dessa forma, para a análise do desgaste em função da redução de pesos foi plotado um diagrama de Módulo de Cisalhamento x Densidade, presente na Figura 17.

**Figura 17 - Módulo de Cisalhamento (GPa) x Densidade (kg/m<sup>3</sup>)**



**Fonte: Autoria Própria.**

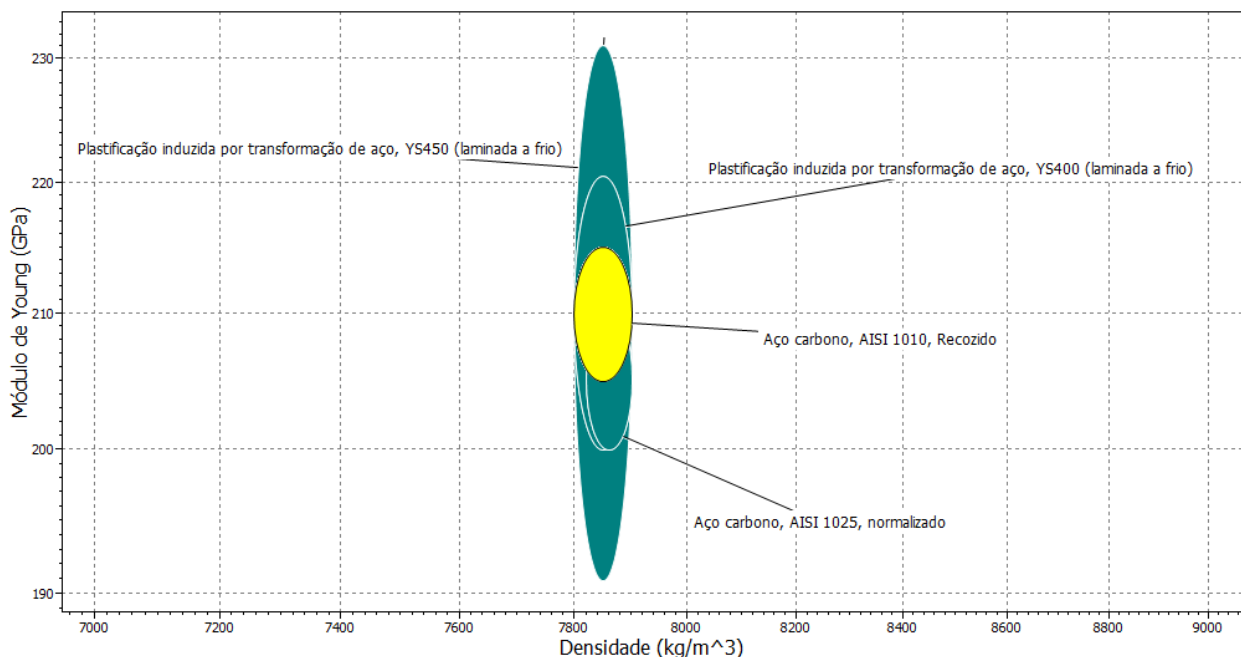
É possível notar no diagrama que, novamente, os aços restantes possuem valores muito próximos. Dessa forma, por esse diagrama não é possível excluir ou escolher nenhum material, devido ao fato de estarem todos muito próximos. Entretanto, pode-se afirmar que os aços da região superior do gráfico possuem maior módulo de cisalhamento com a diminuição da densidade. Apesar do aço AISI 1025 estar abaixo do gráfico, ainda está presente na área do quadrado que limita o módulo de cisalhamento determinado na triagem por similaridade, portanto, não pode ser excluído.

Outro ponto relevante é o módulo elástico ou módulo de Young, onde é possível determinar a rigidez do material. Para reduzir a massa das chapas de revestimento da

câmara de secagem, é de interesse que a rigidez do material não seja diminuída, para não ter problemas com flexão do componente em uso, como também durante a fabricação, pois como dito acima, as chapas passam por processo de perfuração que conseqüentemente causa uma deformação nas chapas. Dessa forma, se a rigidez for baixa, diminuirá a capacidade da chapa se deformação do material, sendo possível ocorrer um rompimento durante conformação ou uso. A rigidez também pode implicar no processo de calandragem, pelo mesmo fato de ocorrer deformação do material.

Para analisar a capacidade de redução de peso em função da rigidez do material, foi utilizado novamente o diagrama de Módulo de Young x Densidade, presente na Figura 18.

**Figura 18 - Módulo de Young (GPa) x Densidade (kg/m<sup>3</sup>)**



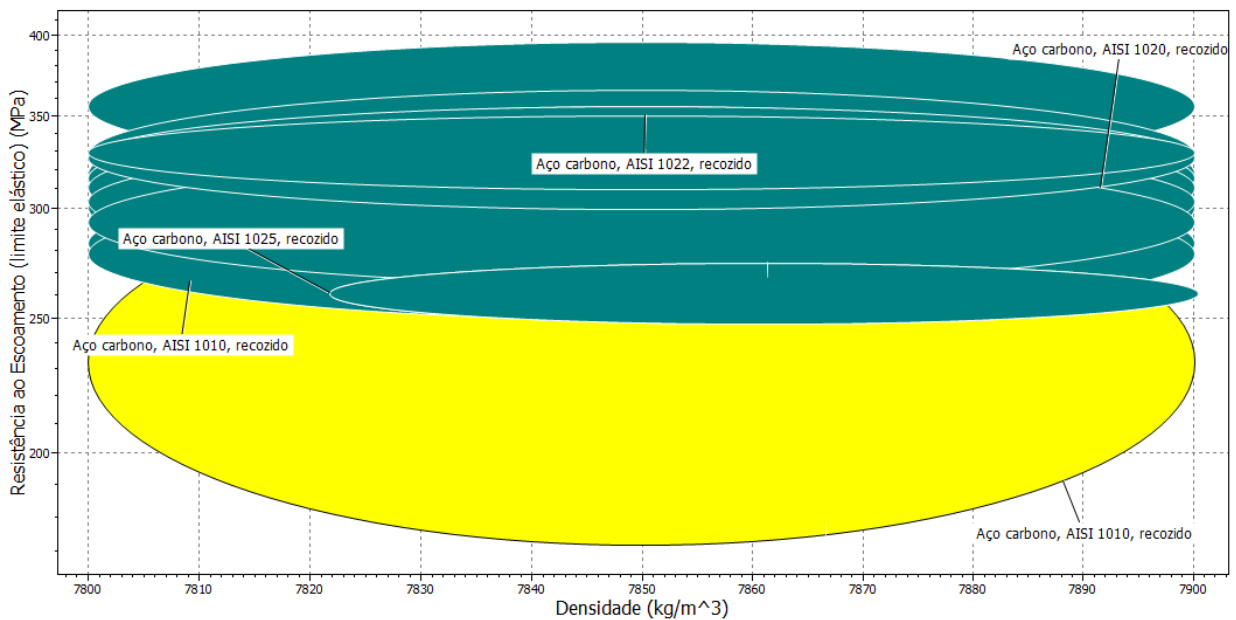
**Fonte: Autoria Própria.**

É possível notar no diagrama que ainda não existe nenhuma possibilidade de descartar algum dos aços presentes, apenas a plastificação por transformação de aço que não satisfaz o requisito presente na Figura 16, os demais estão com valores próximos

à faixa determinados na Tabela 4, sendo a faixa para densidade de 7800-7900 kg/m<sup>3</sup> e módulo de elasticidade 205 – 215 GPa.

Outra possibilidade de analisar a rigidez do material com a diminuição de peso é plotando um diagrama de Resistência ao Escoamento x Densidade, presente na Figura 19.

**Figura 19 - Resistência ao Escoamento (Mpa) x Densidade (kg/m<sup>3</sup>)**

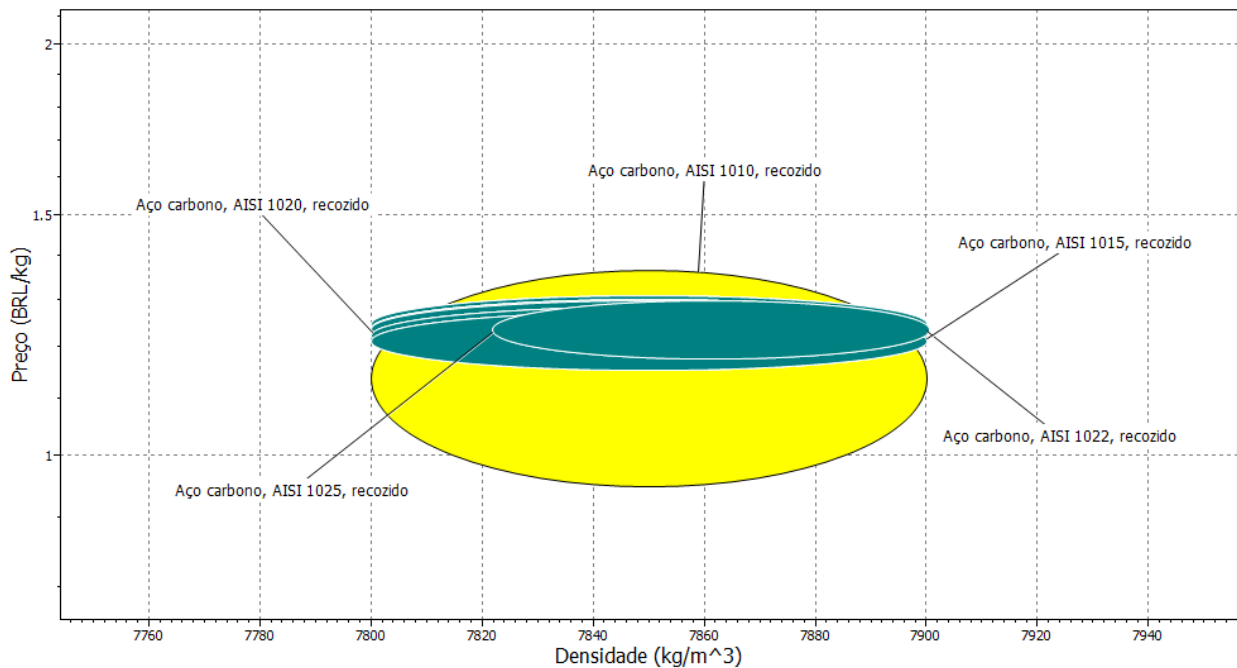


**Fonte: Autoria Própria.**

A resistência ao escoamento do aço pode variar em função da especificação ou norma, espessura, tratamento térmico, entre outros fatores. Como a tentativa de redução de custo desse trabalho é talvez diminuir a espessura do material, o diagrama da Figura 18, permite a análise da diminuição de peso (densidade) do material em função do limite de escoamento. Através do diagrama, é possível notar que, com a diminuição de peso de aços de baixo carbono, o limite de resistência ao escoamento não sofre grandes alterações. Sendo assim, através desse diagrama também não é possível realizar a exclusão de nenhum material, pois todos eles atendem a faixa determinada para o limite de escoamento e com a diminuição da densidade, permanece sem alterações nos valores.

Até o presente momento, os aços AISI 1010, AISI 1015, AISI 1020, AISI 1022 e AISI 1025 estão cumprindo todos os requisitos analisados. Em vista disso, pode-se afirmar que qualquer um desses materiais se fossem escolhidos cumpriria os requisitos de propriedades requerida para as chapas de revestimento da câmara de secagem. Todavia, um dos fatores determinantes para a escolha de material é o custo, sendo necessário a análise de custo em relação ao menor peso do material. Para isso foi plotado um diagrama de Custos x Densidade, presente na Figura 20.

**Figura 20 - Diagrama Preço (BRL/kg) x Densidade (kg/m<sup>3</sup>)**



**Fonte: Autoria Própria.**

Nota-se que os valores para os aços restantes estão muito próximos, não podendo ser escolhido e nem excluído nenhum desses para as próximas análises, que é a etapa de classificação. Vale ressaltar, que o software CES EduPack utilizado para a plotagem dos gráficos é uma versão gratuita de 2011, assim, os preços não estão atualizados com os dias de hoje.



### 6.3 CLASSIFICAÇÃO

Nessa etapa serão identificados, dentre os materiais que passaram pelas etapas de triagem, os que podem fazer melhor o serviço, tendo-se como base os requisitos de projeto.

Com base nas análises realizadas nos diagramas, a quantidade de materiais que restaram foram poucas, restando apenas os aços AISI 1010, AISI 1015, AISI 1020, AISI 1022 e AISI 1025, onde todos iriam satisfazer os requisitos de propriedades do projeto, alguns com melhores desempenhos, outros com menores. Como por exemplo, na Figura 17, pode ser observado que o aço AISI 1010 é o que possui menor resistência ao escoamento, porém, diminuindo a densidade a essa resistência não sofreria elevadas alterações, fazendo com que seja possível o uso desse material para essa aplicação.

Como restaram poucos materiais para classificação e todos esses com propriedades muito próximas satisfazendo os requisitos, foi necessário estabelecer um critério para escolha dos materiais para etapa de documentação. Esse critério está envolvido na facilidade de se encontrar no mercado a disponibilidade para compra desses aços.

Para isso, foi feita uma pesquisa com o Departamento de compras da empresa Calli do Brasil. O responsável pelo Departamento de compras informou que aços como AISI 1022 e AISI 1025 são mais difíceis de serem adquiridos em chapa laminada por empresas fornecedoras de aços. Já os outros são aços encontrados com mais facilidade, principalmente os aços AISI 1010 e AISI 1020.

Dessa forma, para etapa de documentação foram selecionados os aços AISI 1010, AISI 1015 e AISI 1020.

### 6.4 DOCUMENTAÇÃO

Os resultados das etapas anteriores podem ser resumidos a uma lista de três candidatos possíveis para a fabricação dos revestimentos da câmara de secagem. Aqui esses serão avaliados de forma mais detalhada para embasar uma escolha final.

Para realização dessa etapa, foram feitas avaliações dos candidatos nos quesitos de aplicações, características de processos de fabricações, entre outros.

O aço AISI 1010, também chamado de AISI 1010, é um aço de uso geral muito utilizado em indústrias agrícolas, indústria de máquinas/equipamentos e para fins estruturais. Possui excelente soldabilidade e conformabilidade, sendo de fácil manipulação usando qualquer método convencional de calandragem, dobras, corte em plasmas ou guilhotinas, por ser uma liga bem dúctil. É possível realizar trabalho a frio no aço SAE 1010 usando qualquer método tradicional. Entretanto, caso haja um excesso de trabalho a frio, é recomendado que se realize um alívio de tensões.

O aço SAE 1015 ou AISI 1015, é um aço também com excelentes características de conformabilidade e soldabilidade. Também é um aço utilizado para trabalho a frio, bem como, para peças forjadas. Como possui um pouco mais de teor de carbono do que o aço SAE 1010, possui algumas vantagens em questão de resistência a tração, limite de escoamento, módulo de elasticidade, entre outras. Mesmo com melhores propriedades, não é tão encontrado no mercado para aquisição como o aço SAE 1010.

O aço SAE 1020 ou AISI 1020, é um dos aços mais comumente utilizado pois possui excelente relação custo-benefício comparado aos aços com maior teor de ligas. É muito empregado nas indústrias automobilísticas, agrícolas e de máquinas/equipamentos na forma de engrenagens, virabrequins, eixos, pinos, tubos, entre outros. Também é um aço de fácil conformação, bastando utilizar métodos convencionais. O aço SAE 1010 também pode ser conformado por trabalho a frio por qualquer método tradicional, juntamente com alívio de tensões em caso de elevado grau de encruamento.

Visando melhorar a etapa de documentação, foi pesquisado com o Departamento de compras da empresa Calli do Brasil, e os valores obtidos foi de 2,95 BRL/kg para o aço SAE 1010, 3,26 BRL/kg para o aço SAE 1015 e 4,25 BRL/kg para o aço SAE 1020.

Baseando-se nessas informações é possível dizer que esses aços possuem características também parecidas, como a conformabilidade, boa soldabilidade, capaz de ser realizado trabalho a frio com processos simples, entre outras características. O fato de se encontrar mais comumente chapas de aços SAE 1010 e SAE 1020 no mercado de vendas de aços, tornam esses aços mais propensos a serem utilizados.

Entretanto, como o custo (BRL/kg) das chapas de aço SAE 1020 são mais elevados, talvez não seria a melhor opção. Para fazer essa afirmação, deveria ser realizado um cálculo de quantos kg de chapa laminada de aço SAE 1020 seria necessário para produzir esse revestimento da câmara de secagem, pois devido ao aço SAE 1020 possuir melhores propriedades que o aço SAE 1010, talvez não seria necessário utilizar chapas de 4mm de espessura.

O presente trabalho focou apenas no quesito redução de peso e custo, que de fato são dois objetivos conflitantes, pois materiais que produzem componentes com menor peso, geralmente possuem maior custo. O custo é de muita importância em qualquer tipo de projeto, porém, vem se dando muita importância nos dias de hoje para redução de massa, pois através disso, tem-se uma maior eficiência de motores, componentes não tão robustos e conseqüentemente, maior facilidade para produção de equipamentos.

Pode-se concluir que, para uma escolha final de material para o revestimento da câmara de secagem, seria necessário realizar outros procedimentos, como a análise no projeto industrial, onde se realiza o detalhamento do processo de fabricação do componente. Após essa análise do processo de fabricação, seria necessário selecionar os materiais que mais se adequam aos processos que os componentes são submetidos para fabricação. Dessa maneira, a análise para uma possível substituição de material ficaria mais completa.

## 7 CONCLUSÃO

A utilização de ferramentas para seleção de materiais em secadores rotativos permitiu um melhor entendimento de funcionamento e processo de fabricação desse tipo de equipamento. Como também, permitiu um melhor entendimento de como correlacionar as propriedades dos materiais com determinada aplicação, e como é de extrema importância que antes do processo de fabricação, se realize projetos para serem analisadas as melhores formas de processo e escolha de materiais.

Foi possível ter conhecimento do quanto a metodologia de Ashby é importante para um projeto, incentivando engenheiros e projetistas a considerar a ampla gama de oportunidades e inovação que os materiais proporcionam.

No decorrer de trabalho houve dificuldades para as análises, devido ao fato de ainda não se ter uma determinação dos parâmetros desse equipamento em uso. Dessa forma, foi necessário optar por um caminho alternativo, onde se realiza a seleção de materiais a partir de comparações com materiais já utilizados para chapas de revestimento da câmara de secagem.

A dificuldade de não se ter os parâmetros em uso desse equipamento, deixaram o trabalho mais limitado pois restringiu apenas a utilização de aços de baixo carbono. Se houvesse dados mais específicos, o conteúdo dos diagramas plotados poderiam ser mais explorados, permitindo um estudo em relação a uma maior gama de materiais.

No entanto, a combinação da triagem por similaridade e triagem por análise, mostrou ser eficiente, pois além de determinar um possível material a ser utilizado, que é o aço SAE 1020, trouxe a confirmação que o aço SAE 1010 já utilizado para fazer a fabricação é um material eficiente.

O aço SAE 1015 também se tornou propenso a uso devido suas propriedades próximas as dos aços SAE 1010 e SAE 1015, mas como é um material mais difícil de ser encontrado para venda na forma de chapa laminada foi descartado, mas há possibilidades desse componente ser fabricado com esse aço caso se obtenha a chapa laminada de aço SAE 1015.

Em vista de custo, o aço SAE 1010 se apresentou menor custo (BRL/kg), porém não deixa a possibilidade de uso do aço SAE 1020, pois ele possui propriedades mais

elevadas do que o aço SAE 1010, mesmo que a diferença seja pouca, deve ser considerada, e devido a isso, pode ser que fabricando o revestimento da câmara de secagem com aço SAE 1020, consiga-se diminuir a espessura da chapa por razão de suas propriedades serem melhores. Mas isso só poderia ser determinado após uma análise mais completa em relação aos processos envolvidos para fabricação do componente e se esse tipo de aço pode passar por esses processos.

## 8 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos estudos realizados e nas conclusões obtidas, sugere-se no futuro sejam realizados os seguintes trabalhos:

- Análise de seleção de materiais para as chapas de revestimento da câmara de secagem, sobre os processos permitidos para os materiais relacionando com os processos utilizados para produção do componente;
- Análise de seleção de materiais e processos para os outros componentes do secador horizontal rotativo, como os anéis de encosto dos revestimentos, no tubo interno estrelar da câmara de secagem, no flange, na engrenagem, entre outros componentes.
- Realizar a parametrização das propriedades em uso do secador rotativo, através de Análise de Elementos Finitos, onde por método computacional é possível analisar as condições de uso do equipamento.

## 9 CRONOGRAMA

ATIVIDADES	Ago/ 16	Set/ 16	Out/ 16	Nov/ 16	Dez/ 16	Jan/ 17	Fev/ 17	Mar/ 17	Abr/ 17	Mai/ 17	Jun/ 17	Jul/ 17	Ago/ 17	Set/ 17	Out/ 17	Nov/ 17
Escolha do Tema	X															
Visita a Empresa	X															
Revisão de Literatura	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	x
Elaboração do TCC1	X	X														
Revisão do TCC1	X	X	X													
Apresentação do TCC1				X												
Análise de Seleção de Materiais							X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Análise dos resultados obtidos															X	X
Elaboração do TCC 2														X	X	X
Revisão do TCC2														X	X	X
Apresentação do TCC 2																X

Quadro 1 - Cronograma de atividades.

## REFERÊNCIAS

ASHBY, M. F. *et al.* **Materiais: engenharia, ciência, processamento e projeto.** Tradução da 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

ARCELORMITTAL. **Handbook** - Disponível-site ArcelorMittal. Disponível em: < <http://brasil.arcelormittal.com.br/>> Acesso em agosto de 2016.

BAUDET, L., VILLELA, F. A., CAVARIANI, C. **Princípios de secagem.** Revista Seed News, Pelotas-RS, n 10, p. 20-27, 1999. Disponível em: < <http://www.seednews.inf.br>> Acesso em abril de 2017.

BAPTISTA, A. L., & NASCIMENTO, I. d. (s.d.). **REVESTIMENTOS DUROS RESISTENTES AO DESGASTE DEPOSITADOS POR SOLDAGEM UTILIZADOS NA RECUPERAÇÃO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS.** Rio Comprido, RJ, Brasil. Disponível em: < <http://www.spectru.com.br>> Acesso em agosto de 2016.

CALLI DO BRASIL. **Produtos.** Disponível em: <[www.callidobrasil.com/produtos](http://www.callidobrasil.com/produtos)> Acesso em setembro de 2016.

CARVALHO, A. **Introdução a Ciência dos Materiais: Diagrama Ferro-Carbono.** [Projeção Visual]. 25 Diapositivos: color. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/LukasSeize/diagrama-de-ferro-carbono>>. Acesso em Agosto de 2017.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos.** 7ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Metais (ABM), 2005. 599p.

COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns.** 4ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2008. 637p.

COUTINHO, C. B. **Materiais Metálicos para Engenharia.** 2ª ed. São Paulo: Editora Fund Christiano Ottoni Ufmg, SP. 1992. 405p.

DALPASQUALE, V. A. **Secagem em altas temperaturas.** Viçosa: Editora Cetreinar, 1989. 29p.



FRANCKLIN, A. R. **Um Breve Estudo sobre Ferro Fundido Nodular**. 23f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Curso de Graduação em Tecnologia em Produção Siderúrgica, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.

MIORI, Larissa. **Casa do Produtor Rural ESALQ/USP**. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/cprural/boapratica/mostra/88/processamento-e-beneficiamento-de-cafe.html>. Acesso em agosto de 2016.

MODENESI, P. J. **Soldabilidade de Algumas Ligas Metálicas**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2011. 27p. Disponível em: <<http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/soldabilidade.pdf>> Acesso em outubro 2017

NETO, O. S. **Influencia Carbono Conformabilidade**. 21f. Curso de Graduação em Engenharia Mecânica (Artigo) - UDESC, Florianópolis, SC, 2015.

NUNES, L. d., & KREISCHER, A. T. **Introdução à Metalurgia e aos Materiais Metálicos**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 450p.

SILVA, A. L., & MEI, P. R. **Aços e Ligas Especiais** 2º ed. São Paulo: Eletrometal S. A. Metais Especiais, 1988. 528p.

SILVA, J. *et al.* **Secador Rotativo Intermitente: Projeto, Construção e Uso**. Brasília, DF: Embrapa, 15p (Embrapa. Comunicado Técnico,5), 2014.

SILVEIRA, R. **Revestimento Superficial em Componente Fundido de Máquina Agrícola**. 2004. 63f. Mestrado em Engenharia (Tese) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.

VERARDI, C. A. **Fundação Joaquim Nabuco**. [S.]: Fundação Basilio, 2016. Disponível em: <<http://basilio.fundaj.gov.br>> Acesso em Agosto de 2017.

## APÊNDICE A – LEVANTAMENTO DE CUSTOS CA CÂMARA DE SECAGEM

Levantamento de custos para os componentes da câmara de secagem.

Peça	Material	Quantidade	Área	Peso Por Peça (kg)	Peso Total (kg)	Valor do Material	IPI	Valor IPI	ICMS - Créd.	Valor Créd. ICMS	Valor no Secador
<b>Tirador de Amostra</b>	Chapa #18	2	0,10 m <sup>2</sup>	0,048	0,096	R\$ 3,08	5%	R\$ 0,01	12%	R\$ 0,04	R\$ 0,35
<b>Tirador de Amostra/ Reforço Transv.</b>	Chapa #18	2	0,01 m <sup>2</sup>	0,048	0,096	R\$ 3,08	5%	R\$ 0,01	12%	R\$ 0,04	R\$ 0,35
<b>Proteção Pinhão – Suporte Inf</b>	Chapa #14	1	0,01 m <sup>2</sup>	0,16	0,16	R\$ 3,31	5%	R\$ 0,03	12%	R\$ 0,06	R\$ 0,62
<b>Suporte Capa da Correia Inf</b>	Ferro Chato 1x3/16	2	0,24 M.L	0,114	0,228	R\$ 3,24	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,09	R\$ 0,83
<b>Prensador de Graxa</b>	Chapa # 1/8"	1	0,01	0,24	0,24	R\$ 3,27	5%	R\$ 0,04	12%	R\$ 0,09	R\$ 0,92
<b>Proteção Pinhão – Suporte Sup</b>	Ferro Chato 1.3/16	1	0,36 M.L	0,342	0,342	R\$ 2,50	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,10	R\$ 0,96
<b>Pegador da Rosca</b>	Ferro Redondo 3/8	1	0,20 M.L	0,112	0,112	R\$ 8,18	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,11	R\$ 1,03
<b>Tirador de Amostra/Registro</b>	Chapa # 18	1	0,02	0,32	0,32	R\$ 3,08	5%	R\$ 0,05	12%	R\$ 0,12	R\$ 1,15
<b>Suporte Correia Sup.</b>	Ferro Chato 1x3/16	1	0,36 M.L	0,3342	0,3342	R\$ 3,24	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,13	R\$ 1,21
<b>Tampa Engrenagem</b>	Chapa #3/16"	1	0,0095 m <sup>2</sup>	0,361	0,361	R\$ 3,20	5%	R\$ 0,06	12%	R\$ 0,14	R\$ 1,35
<b>Tampa Eixo Trazeiro</b>	Chapa #3/16"	1	0,0096 m <sup>2</sup>	0,364	0,364	R\$ 3,20	5%	R\$ 0,06	12%	R\$ 0,14	R\$ 1,36
<b>Rosca S/ Fim</b>	Aço 1020	1	0,30 M. L	0,168	0,168	R\$ 8,18	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,16	R\$ 1,54
<b>Trava Porta/Pino</b>	Ferro Redondo 3/8	20	1,06 M.L	0,0302	0,604	R\$ 2,69	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,19	R\$ 1,82
<b>Tampa da Engraxadeira</b>	Chapa # 1/8"	1	0,02	0,48	0,48	R\$ 3,27	5%	R\$ 0,08	12%	R\$ 0,19	R\$ 1,84

<b>Parafuso 3/8 x 1,5" e Porca</b>	Parafuso	4	-	-	-	R\$ 0,67	10 %	R\$ 0,77	12%	R\$ 0,79	R\$ 2,22
<b>Arruela do Pinhão</b>	Chapa 5/16"	1	0,008 m <sup>2</sup>	0,9	0,9	R\$ 2,59	5%	R\$ 0,12	12%	R\$ 0,28	R\$ 2,73
<b>Orelha Capa Cubo Maior</b>	Chapa # 1/8"	4	0,03 m <sup>2</sup>	0,18	0,72	R\$ 3,27	5%	R\$ 0,12	12%	R\$ 0,28	R\$ 2,75
<b>Sapata Capa Cubo Maior</b>	Chapa # 1/8"	2	0,04 m <sup>2</sup>	0,48	0,96	R\$ 3,27	5%	R\$ 0,16	12%	R\$ 0,38	R\$ 3,67
<b>Unha da Trava Rápida</b>	Ferro Redondo 1.1/4	10	0,70 M.L	0,0889	0,889	R\$ 4,15	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,44	R\$ 4,13
<b>Proteção do Pinhão</b>	Chapa #16	1	0,08 m <sup>2</sup>	0,96	0,96	R\$ 3,75	5%	R\$ 0,18	12%	R\$ 0,43	R\$ 4,21
<b>Meia Lua Capa Cubo Maior</b>	Ferro Chato 1.1/2x1/8	2	1,5 M.L	0,652	1,304	R\$ 3,00	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,47	R\$ 4,38
<b>Lastro da Trava Rápida</b>	Ferro Chato 2"x1/4	10	0,50 M.L	0,1265	1,265	R\$ 3,20	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,49	R\$ 4,53
<b>Parafuso 1/2 x 1.1/4" e Porca</b>	Parafuso	3	-	-	-	R\$ 1,44	10 %	R\$ 1,54	12%	R\$ 1,56	R\$ 4,54
<b>Trava Porta/ Lateral</b>	Ferro Chato 1x3/16	20	2 M.L	0,095	1,9	R\$ 2,50	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,57	R\$ 5,32
<b>Reforço Esparramador Metade</b>	Ferro Redondo 3/8	8	0,0273 m <sup>2</sup>	0,224	1,792	R\$ 2,69	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,58	R\$ 5,40
<b>Tirador de amostra/Anel</b>	Tubo Preto	1	0,02 M.L	0,653	0,653	R\$ 7,77	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,61	R\$ 5,68
<b>Reforço Esparramador Inteiro</b>	Ferro Redondo 3/8	4	0,0675 m <sup>2</sup>	0,5375	2,15	R\$ 2,69	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,69	R\$ 6,48
<b>Trava Porta/ Cabo</b>	Ferro Redondo 1/2	10	2,5 M.L	0,2485	2,485	R\$ 2,70	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,81	R\$ 7,51
<b>Anel Cubo Maior</b>	Ferro Chato 1.1/2 x 3/16	1	1,5 M.L	2,13	2,13	R\$ 3,17	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 0,81	R\$ 7,56
<b>Parafuso 5/8 x 2,5" e Porca</b>	Parafuso	3	-	-	-	R\$ 2,56	10 %	R\$ 2,66	12%	R\$ 2,68	R\$ 7,89
<b>Anel Tudo 190</b>	Chapa #14	1	0,16 m <sup>2</sup>	2,56	2,56	R\$ 3,31	5%	R\$ 0,42	12%	R\$ 1,02	R\$ 9,91
<b>Anel Tudo 340</b>	Chapa #14	1	0,16 m <sup>2</sup>	2,56	2,56	R\$ 3,31	5%	R\$ 0,42	12%	R\$ 1,02	R\$ 9,91
<b>Capa do Cubo</b>	Chapa # 1/8"	1	0,13 m <sup>2</sup>	3,12	3,12	R\$ 3,27	5%	R\$ 0,51	12%	R\$ 1,22	R\$ 11,94

<b>Flange da Capa do Cubo</b>	Chapa # 3/8"	1	0,30 M.L	4,07	4,07	R\$ 3,00	5%	R\$ 0,61	12%	R\$ 1,47	R\$ 14,29
<b>Anel Tudo 240</b>	Chapa #14	2	0,32 m <sup>2</sup>	2,56	5,12	R\$ 3,31	5%	R\$ 0,85	12%	R\$ 2,03	R\$ 19,83
<b>Anel Tudo 290</b>	Chapa #14	2	0,16 m <sup>2</sup>	2,57	5,14	R\$ 3,31	5%	R\$ 0,85	12%	R\$ 2,04	R\$ 19,91
<b>Parafuso 3/8 x 4" e Porca</b>	Parafuso	15	-	-	-	R\$ 6,74	10 %	R\$ 6,84	12%	R\$ 6,86	R\$ 20,43
<b>Parafuso 1/2 x 4" e Porca</b>	Parafuso	8	-	-	-	R\$ 7,03	10 %	R\$ 7,13	12%	R\$ 7,15	R\$ 21,32
<b>Trava Porta/ Rolete</b>	Ferro Redondo 1.1/4	20	0,84	0,261	5,22	R\$ 4,15	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 2,60	R\$ 24,26
<b>Capa da Correia</b>	Chapa # 18	1	0,84 m <sup>2</sup>	8,068	8,068	R\$ 3,14	5%	R\$ 1,27	12%	R\$ 3,04	R\$ 29,64
<b>Parafuso 5/8 x 4,5" e Porca</b>	Parafuso	8	-	-	-	R\$ 10,46	10 %	R\$ 10,56	12%	R\$ 10,58	R\$ 31,61
<b>Batente Horizontal Menor</b>	Ferro Chato 2"x1/4	4	3,78 M. L	2,39	9,56	R\$ 3,20	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 3,67	R\$ 34,26
<b>Porta – Batente Horizontal menor</b>	Ferro Chato 2 .1/4	4	3,78 M.L	2,391	9,564	R\$ 3,20	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 3,67	R\$ 34,28
<b>Reforço Palhetas</b>	Ferro Redondo 3/8	32	19,2 M.L	0,3584	11,4688	R\$ 2,69	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 3,70	R\$ 34,55
<b>Porta – Batente Vertical</b>	Ferro Chato 2 .1/4	10	4 M.L	1,012	10,12	R\$ 3,20	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 3,89	R\$ 36,27
<b>Gonzo das dobradiças</b>	Ferro Redondo 1.1/4	30	1,26 M. L	0,261	7,83	R\$ 4,15	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 3,90	R\$ 36,39
<b>Suporte Esparramador</b>	Cantoneira 1.1/2x3/16	8	5,12 M.L	1,728	13,824	R\$ 2,50	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 4,15	R\$ 38,71
<b>Bronzina cubo Maior</b>	Chapa #1/2"	1	0,15 m <sup>2</sup>	14,7	14,7	R\$ 2,26	5%	R\$ 1,66	12%	R\$ 3,99	R\$ 38,87
<b>Batente Vertical</b>	Ferro Chato 2"x1/4	10	4,50 M. L	1,138	11,38	R\$ 3,20	<b>Ise nto</b>	<b>R\$ 0,00</b>	12%	R\$ 4,37	R\$ 40,79
<b>Lateral Entrada de Ar – Reforço Interno</b>	Chapa # 3/8"	8	0,18 m <sup>2</sup>	1,675	13,4	R\$ 3,00	5%	R\$ 2,01	12%	R\$ 4,82	R\$ 47,03
<b>Esparramador Menor</b>	Chapa # 14	4	0,8 M.L	3,2	12,8	R\$ 3,31	5%	R\$ 2,12	12%	R\$ 5,08	R\$ 49,57
<b>Porta Secador Menor</b>	Chapa #16	2	0,95 m <sup>2</sup>	5,7	11,4	R\$ 3,75	5%	R\$ 2,14	12%	R\$ 5,13	R\$ 50,02

<b>Porta – Batente Horizontal Maior</b>	Ferro Chato 2 .1/4	6	6 M.L	2,53	15,18	R\$ 3,20	Ise nto	R\$ 0,00	12%	R\$ 5,83	R\$ 54,41
<b>Batente Horizontal Maior</b>	Ferro Chato 2"x1/4	6	6,15 M. L	2,593	15,558	R\$ 3,20	Ise nto	R\$ 0,00	12%	R\$ 5,97	R\$ 55,76
<b>Parafuso 3/4 x 3,5" e Porca</b>	Parafuso	12	-	-	-	R\$ 19,36	10 %	R\$ 19,46	12%	R\$ 19,48	R\$ 58,29
<b>Lateral Entrada de Ar – Cantoneira</b>	Cantoneira 2"x 3/16	8	-----	2,855	22,84	R\$ 2,75	Ise nto	R\$ 0,00	12%	R\$ 7,54	R\$ 70,35
<b>Lateral Mancal Seco</b>	Cantoneira 2"x 3/16	8	----	2,855	22,84	R\$ 2,75	Ise nto	R\$ 0,00	12%	R\$ 7,54	R\$ 70,35
<b>Chapa externa do Cubo</b>	Chapa # 3/8"	1	0,27 m <sup>2</sup>	20,11	20,11	R\$ 3,20	5%	R\$ 3,22	12%	R\$ 7,72	R\$ 75,29
<b>Arco de Encosto Lateral</b>	Cantoneira 1.1/4 x 3/16	2	13,51 M.L	14,99	29,98	R\$ 2,25	Ise nto	R\$ 0,00	12%	R\$ 8,09	R\$ 75,55
<b>Porta Secador Maior</b>	Chapa #16	3	1,5 m <sup>2</sup>	6	18	R\$ 3,75	5%	R\$ 3,38	12%	R\$ 8,10	R\$ 78,98
<b>Parafuso 5/8 x 2,5" e Porca</b>	Parafuso	32	-	-	-	26,8032	10 %	R\$ 26,90	12%	R\$ 26,92	R\$ 80,63
<b>Capa do Corpo Menor</b>	Chapa # 18	5	1,85 m <sup>2</sup>	4,44	22,2	R\$ 3,14	5%	R\$ 3,49	12%	R\$ 8,36	R\$ 81,56
<b>Tubo Difusor</b>	Chapa #16	5	1,95 m <sup>2</sup>	4,68	23,4	R\$ 3,75	5%	R\$ 4,39	12%	R\$ 10,53	R\$ 102,67
<b>Tubo Engraxadeira</b>	-----	1	0,25 m <sup>2</sup>	1,5	1,5	R\$ 51,66	Ise nto	R\$ 0,00	12%	R\$ 9,30	R\$ 138,45
<b>Chapa de Encosto do Cubo Estrela</b>	Chapa # 5/16"	1	0,73 m <sup>2</sup>	45,786	45,786	R\$ 2,59	5%	R\$ 5,93	12%	R\$ 14,23	R\$ 138,75
<b>Chapa Encosto Cubo Fundo</b>	Chapa # 5/16	1	0,73 m <sup>2</sup>	45,786	45,786	R\$ 2,59	5%	R\$ 5,93	12%	R\$ 14,23	R\$ 138,75
<b>Rolamento Rolete duplo</b>	Aço	1	-----	4	4	R\$ 94,77	Ise nto	R\$ 0,00	12%	R\$ 45,49	R\$ 140,26
<b>Mancal cubo menor</b>	Ferro Fundido	1	-----	17,4	17,4	R\$ 6,88	10 %	R\$ 11,97	12%	R\$ 14,37	R\$ 146,05
<b>Eixo do Mancal Menor</b>	Aço 1020	1	0,30 M. L	-----	-----	R\$ 158,80	Ise nto	R\$ 0,00	12%	R\$ 0,00	R\$ 158,80
<b>Esparramador Maior</b>	Chapa # 14	8	3,2 M.L	6,4	51,2	R\$ 3,31	5%	R\$ 8,47	12%	R\$ 20,34	R\$ 198,28
<b>Arco de Encosto Central</b>	Perfil T 1.1/2 x 1/4	4	27,02 M. L	19,32	77,28	R\$ 3,57	Ise nto	R\$ 0,00	12%	R\$ 33,08	R\$ 308,76
<b>Palhetas</b>	Chapa #16	32	10,56 m <sup>2</sup>	3,96	126,72	R\$ 3,75	5%	R\$ 23,76	12%	R\$ 57,02	R\$ 555,98

<b>Lateral Entrada de Ar Cubo Maior</b>	Chapa # 3/16"	1	4,9 m <sup>2</sup>	186,2	186,2	R\$ 3,20	5%	R\$ 29,79	12%	R\$ 71,50	R\$ 697,13
<b>Lateral Mancal Seco cubo menor</b>	Chapa # 3/16	1	4,9 m <sup>2</sup>	186,2	186,2	R\$ 3,20	5%	R\$ 29,79	12%	R\$ 71,50	R\$ 697,13
<b>Mancal Cubo Maior</b>	Ferro Fundido	1	-----	95	95	R\$ 6,88	10 %	R\$ 65,36	12%	R\$ 78,43	R\$ 797,39
<b>Cubo Maior</b>	Ferro Fundido	1	-----	143	143	R\$ 6,52	10 %	R\$ 93,24	12%	R\$ 111,88	R\$ 1.137,48
<b>Lateral Estrela</b>	Chapa #14	12	19,50 m <sup>2</sup>	26	312	R\$ 3,31	5%	R\$ 51,64	12%	R\$ 123,93	R\$ 1.208,28
<b>Cubo Menor</b>	Ferro Fundido	1	-----	171,5	171,5	R\$ 6,55	10 %	R\$ 112,3 3	12%	R\$ 134,80	R\$ 1.370,46
<b>Chapa do Corpo Maior</b>	<b>Chapa # 08</b>	<b>10</b>	<b>30 m<sup>2</sup></b>	<b>36</b>	<b>360</b>	<b>R\$ 3,75</b>	<b>5%</b>	<b>R\$ 67,50</b>	<b>12%</b>	<b>R\$ 162,00</b>	<b>R\$ 1.579,50</b>