

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**CORY KASEMODEL DE ARAUJO FILHO**

**ANÁLISE E PROPOSTA DE READEQUAÇÃO NUM SISTEMA DE  
DESPOEIRAMENTO DE UM BRITADOR DE UMA SIDERÚRGICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2018**

**CORY KASEMODEL DE ARAUJO FILHO**

**ANÁLISE E PROPOSTA DE READEQUAÇÃO NUM SISTEMA DE  
DESPOEIRAMENTO DE UM BRITADOR DE UMA SIDERÚRGICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento Acadêmico de Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Melo Lima

**PONTA GROSSA**

**2018**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**ANÁLISE E PROPOSTA DE READEQUAÇÃO NUM SISTEMA DE  
DESPOEIRAMENTO DE UM BRITADOR DE UMA SIDERÚRGICA**

por

**CORY KASEMODEL DE ARAUJO FILHO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 27 de junho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Luiz Eduardo Melo Lima  
Orientador

Prof. Dr. Jhon Jairo Ramirez Behainne  
Membro Titular

Prof. Dr. Gilberto Zammar  
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares  
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho  
Coordenador do Curso

## RESUMO

ARAUJO FILHO, Cory Kasemodel de. **Análise e proposta de readequação num sistema de despoeiramento de um britador de uma siderúrgica.** 2018. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

No presente trabalho, foi realizada uma análise num sistema de despoeiramento de um britador que possui um desempenho abaixo do esperado. Tal sistema encontra-se instalado na empresa Maringá Ferro-Liga S.A., situada na cidade de Itapeva-SP. Nessa análise, foram identificados pontos no sistema de despoeiramento onde existem problemas de conservação, bem como componentes mal dimensionados. Utilizando um anemômetro, foram realizadas medições de velocidade nas tubulações, a fim de verificar se estavam dentro das faixas de valores recomendados. Além disso, foram calculados e comparados os valores de perdas de carga antes e depois das readequações propostas nesse sistema, utilizando recomendações para minimizar as perdas de carga em tubulações, captores e acessórios. Finalmente, foi calculada a potência de acionamento mínima necessária ao sistema. Adicionalmente, foi estimada também a quantidade máxima de pó coletado pelo sistema. Para os cálculos de perda de carga, foram utilizados os coeficientes de perda de carga tabelados dos acessórios e captores, as medições de velocidade nas tubulações (bem como valores recomendados), o fator de atrito da tubulação, a massa específica e a viscosidade dinâmica do ar. A partir da realização dessa análise, foi possível propor melhorias no sistema de despoeiramento, por meio de um dimensionamento mais adequado de seus componentes, verificando-se assim a possibilidade de um aumento da eficiência do sistema.

**Palavras-chave:** Despoeiramento. Perda de carga. Britador. Readequação.

## ABSTRACT

ARAUJO FILHO, Cory Kasemodel de. **Analysis and proposal of readjustment in a dedusting system of a crusher of a steel mill**. 2018. 50 p. Final Coursework (Bachelor's Degree in Mechanical Engineering) – Federal University of Technology – Paraná. Ponta Grossa, 2018.

In the present work, an analysis was performed on a dedusting system of a crusher that performs less than expected. This system is installed in the company Maringá Ferro-Liga S.A., located in the city of Itapeva-SP. In this analysis, points were identified in the dedusting system where there are conservation problems as well as poorly dimensioned components. Using an anemometer, velocity measurements were performed on the pipelines to verify if they were within the recommended ranges. In addition, load loss values were calculated and compared before and after the proposed adjustments in this system, using recommendations to minimize the load losses in pipelines, captors, and accessories. Finally, the minimum drive power required for the system was calculated. In addition, the maximum amount of dust collected by the system was also estimated. For load loss calculations, tabulated load loss coefficients of the accessories and captors, pipe velocity measurements (as well as recommended values), pipe friction factor, density and dynamic viscosity of air were used. Based on this analysis, it was possible to propose improvements in the dedusting system, by means of a more adequate dimensioning of its components, thus verifying the possibility of an increase in the system efficiency.

**Keywords:** Dedusting system. Pressure drop. Crusher. Readjustment.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplos de sistemas de ventilação: a) geral diluidora e b) local exaustora . . . . .	12
Figura 2 – Representação esquemática de um sistema de Ventilação Local Exaustora . . . . .	12
Figura 3 – Tipos de captores: a) enclausurado, b) cabine, c) externo e d) receptor	13
Figura 4 – Filtro de mangas: a) por disparo de ar comprimido e b) limpeza das mangas . . . . .	16
Figura 5 – Valor do coeficiente de perda $K$ para entradas sem utilização de captores e recomendação para projeto de derivações . . . . .	18
Figura 6 – Valor do coeficiente de perda $K$ para expansões, cotovelos circulares e derivações . . . . .	19
Figura 7 – Valor do coeficiente de perda $K$ para cotovelos, sem curvatura . . .	19
Figura 8 – Dimensões das partículas e sistema respiratório . . . . .	20
Figura 9 – Vista frontal do sistema de despoeiramento . . . . .	25
Figura 10 – Vista superior do sistema de despoeiramento . . . . .	25
Figura 11 – Vista frontal, lado esquerdo, do sistema de despoeiramento . . . . .	31
Figura 12 – Vista frontal, lado direito, do sistema de despoeiramento . . . . .	32
Figura 13 – Filtro de mangas, vista da parte de trás do sistema de despoeiramento	33
Figura 14 – Vista pós-filtro de mangas do sistema de despoeiramento . . . . .	34
Fotografia 1 – Sistema de despoeiramento . . . . .	26
Fotografia 2 – Problemas de conservação em vários pontos do sistema . . . . .	27
Fotografia 3 – Problemas do Captor C na correia transportadora . . . . .	27
Gráfico 1 – Diferenças entre os valores dos coeficientes de perda $K$ antes e depois das modificações propostas . . . . .	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Velocidades mínimas de escoamento em função da densidade da partícula . . . . .	14
Tabela 2 – Coeficiente de perda $K$ em função do ângulo de abertura $\alpha$ para válvulas do tipo borboleta . . . . .	20
Tabela 3 – Resultados de um teste granulométrico realizado . . . . .	21
Tabela 4 – Vazões volumétricas do sistema de despoeiramento . . . . .	28
Tabela 5 – Velocidades medidas e incertezas . . . . .	29
Tabela 6 – Coeficientes de perda $K$ antes e depois das modificações propostas	35
Tabela 7 – Perdas de carga antes e depois das modificações propostas . . . .	37
Tabela 8 – Potências de acionamento do exaustor antes e depois das modificações propostas . . . . .	37

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>8</b>
1.1	MOTIVAÇÃO . . . . .	9
1.2	OBJETIVOS . . . . .	9
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> . . . . .	<b>11</b>
2.1	VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA . . . . .	11
2.1.1	Captores . . . . .	13
2.1.2	Tubulação . . . . .	14
2.1.3	Válvulas do Tipo Borboleta . . . . .	15
2.1.4	Filtro . . . . .	15
2.1.5	Exaustor . . . . .	16
2.1.6	Perdas de Carga . . . . .	17
2.2	PROBLEMAS OCACIONADOS PELA POEIRA . . . . .	20
2.2.1	Impacto Ambiental . . . . .	21
2.2.2	Impacto Econômico . . . . .	22
2.3	ALGUNS ESTUDOS RELACIONADOS AO TEMA . . . . .	22
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> . . . . .	<b>24</b>
3.1	SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO . . . . .	24
3.1.1	Descrição do Sistema . . . . .	24
3.1.2	Problemas de Conservação . . . . .	26
3.1.3	Dados do Sistema . . . . .	28
3.2	MÉTODOS DE ANÁLISE E VERIFICAÇÃO . . . . .	28
3.3	PROPOSTAS PARA MELHORIA DO SISTEMA . . . . .	29
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> . . . . .	<b>30</b>
4.1	COMPARAÇÃO DOS VALORES DE PERDA DE CARGA . . . . .	30
4.1.1	Componentes do Sistema . . . . .	30
4.1.2	Perdas de Carga . . . . .	32
4.2	COMPARAÇÃO DOS VALORES DE POTÊNCIA DE ACIONAMENTO DO EXAUSTOR . . . . .	36
4.3	VALORES ESTIMADOS DE PÓ COLETADO . . . . .	38
4.3.1	Benefícios à Saúde dos Trabalhadores . . . . .	38
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> . . . . .	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>40</b>
	<b>APÊNDICES</b> . . . . .	<b>43</b>
	<b>APÊNDICE A – DESENHOS TÉCNICOS DOS COMPONENTES MODIFICADOS</b> . . . . .	<b>44</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A utilização dos metais foi e ainda é de extrema importância para o desenvolvimento das sociedades. Há milhares de anos, a técnica da fundição, ainda que de forma rudimentar, já era suficiente para produzir utensílios e artefatos mais eficazes para o cultivo agrícola, armas para prática da caça e ferramentas para coleta de madeira. O domínio dos metais influenciou disputas territoriais pelo controle de pastagens e áreas mais férteis (HISTORY CHANNEL, 2009).

Os primeiros metais a serem trabalhados foram o cobre, o estanho e o zinco, por terem baixo ponto de fusão, eram de fácil manuseio. Com o passar do tempo, a obtenção do estanho se tornou cada vez mais difícil e seu valor aumentou, dificultando a produção do bronze, fazendo com que essa liga fosse substituída pelo ferro, que era um elemento melhor e mais abundante (HISTORY CHANNEL, 2009).

Em aproximadamente 1500 a. C. se iniciou o uso do aço, uma liga de ferro e carbono, mais leve, maleável e forte que ferro, cobre e bronze. Esta liga tornou-se o material escolhido para fabricar armaduras, espadas e ferramentas, apesar dos ferreiros conseguirem produzir apenas pequenas quantidades dela e com dificuldade. Isso até metade do século XIX, quando a produção de aço foi revolucionada por “Henry Bessemer”, com um processo que se assemelha com os realizados atualmente, começando assim, a produção em escala industrial (HISTORY CHANNEL, 2009).

Atualmente, para obtenção do aço, são necessárias matérias primas como ferro-manganês e ferro-silício, produzidos em siderúrgicas. Em seu processo, é gerada uma grande quantidade de resíduos, como escória, gases resultantes da combustão no alto-forno e pó metálico gerado pela britagem do material fundido.

Um dos problemas encontrados neste tipo de indústria é o manuseio do material fundido. Os grandes blocos de minério metálico precisam passar por etapas de moagem, geralmente fazendo-se uso de um britador, que gera uma quantidade bastante significativa de pó metálico.

O pó metálico gerado neste tipo de indústria é prejudicial à saúde dos colaboradores, devido a sua capacidade de se dispersar no ar, podendo ser facilmente aspirado caso não sejam utilizados adequados Equipamentos de Proteção Individual (EPI). Também pode contaminar o solo e os mananciais aos arredores da empresa.

Outro aspecto importante está relacionado com a destinação do pó metálico coletado, como sua composição química é a mesma do produto final, o mesmo pode ser reintroduzido no processo, reduzindo custos com a matéria prima.

Outros tipos de indústrias possuem problema semelhante, por exemplo, as madeireiras. O manuseio da madeira gera resíduo como: pó, serragem e maravalha. Tais resíduos geralmente são eliminados manualmente, ocasionando transtornos, como esforços dos funcionários, poeira no ambiente de trabalho e incômodo à vizinhança da indústria (SILVA; GUERRA, 2012).

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Este estudo está baseado em um sistema de despoeiramento que coleta o pó metálico advindo da britagem do produto fundido no alto-forno. Tal sistema encontra-se instalado na empresa Maringá Ferro-Liga S.A., localizada em Itapeva-SP. Foram levados em consideração três motivos principais para realização deste trabalho.

O primeiro deles, readequar o sistema para que funcione de maneira satisfatória, para que assim seja possível reduzir a quantidade de pó metálico disperso e suspenso no ar, o que pode trazer prejuízos à saúde dos funcionários da empresa. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), 60% das doenças respiratórias agudas e 50% das doenças respiratórias crônicas estão associadas à exposição de poluentes atmosféricos. É fato que a redução dos poluentes implica na melhoria das condições de trabalho dos colaboradores.

Outro motivo está relacionado ao impacto ambiental. O pó metálico contamina o solo aos arredores do sistema, bem como o rio que margeia a fábrica, além de ser capaz de se dispersar no ar por muitos metros de distância do sistema.

E por último, sabendo-se que o pó metálico possui a mesma composição química do material que é fundido no alto-forno, é possível reintroduzi-lo no processo de fundição, trazendo uma redução de custos relacionados à matéria prima.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise das perdas de carga de um sistema de despoeiramento de um britador de uma siderúrgica.

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Analisar as condições atuais de operação do sistema de despoeiramento, bem como sua eficiência.
- Propor algumas readequações nos componentes do sistema de despoeiramento como tubulações, acessórios, enclausuramentos, filtro de mangas e exaustor, seguindo as recomendações de ventilação industrial.
- Projetar novos componentes do sistema de despoeiramento, para permitir a minimização das perdas de carga.
- Analisar de forma teórica a eficiência do sistema de despoeiramento, em virtude das propostas de readequação.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O termo “ventilação” significa “deslocamento de ar”, podendo ser realizado de forma natural ou mecânica, pela retirada ou fornecimento de ar, servindo para renovar o ar de um ambiente, controlar temperatura e umidade, bem como eliminar gases ou partículas nocivas, como fumos, poeiras, névoas, odores, etc. (MACINTYRE, 1990).

Para o funcionamento de um bom sistema de ventilação, é necessário identificar corretamente as técnicas de controle das correntes de ar, sendo tanto as introduzidas como as retiradas do local desejado, com objetivo de mantê-lo de acordo com as necessidades desejadas, sempre procurando utilizar o mínimo de energia possível (MACINTYRE, 1990).

A ventilação industrial não serve apenas para atender necessidades de fábricas, serve também para o controle de poluentes que possam ser lançados na atmosfera, contaminando o ar e prejudicando a saúde das pessoas e do meio ambiente.

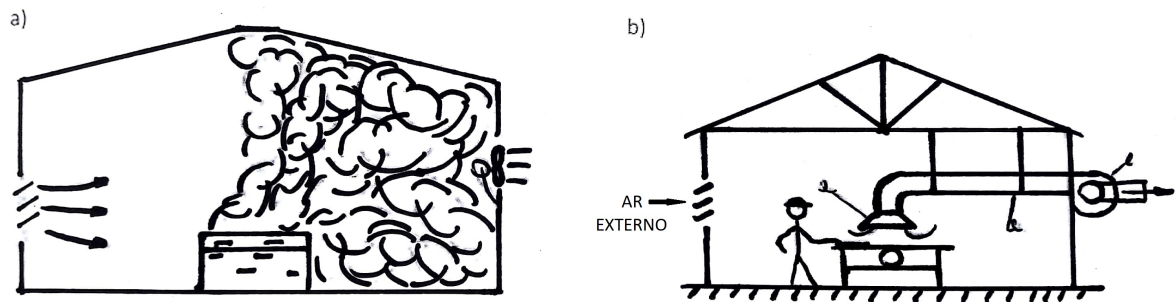
Em relação aos tipos de ventilação, encontram-se a Ventilação Geral (Natural ou Diluidora) e a Ventilação Local Exaustora. De acordo com Mesquita (2010), a Ventilação Geral Diluidora é um método que consiste em inserir ou retirar ar de um determinado ambiente, promovendo uma redução ou diluição de componentes nocivos do ar. Este tipo de ventilação deve ser usado quando a concentração dos poluentes no ar for baixa. O termo diluidora se refere ao fato de que a adição de ar no local tem função de diluir a concentração dos poluentes (LISBOA, 2007). Um exemplo de Ventilação Geral Diluidora pode ser visto na Figura 1a.

No caso de uma alta concentração de poluentes, utiliza-se a Ventilação Local Exaustora. Este tipo de ventilação tem como principal objetivo proteger a saúde do trabalhador, pois os poluentes são captados antes de dispersarem no ar, e antes que sejam aspirados pelo trabalhador (MESQUITA; GUIMARÃES; NEFUSSI, 1988). Um exemplo de Ventilação Local Exaustora pode ser visto na Figura 1b.

### 2.1 VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA

Um sistema de Ventilação Local Exaustora consiste em um conjunto de componentes principais como captores, tubulação, válvulas, filtros e exaustor. Tem por ob-

**Figura 1 – Exemplos de sistemas de ventilação: a) geral diluidora e b) local exaustora**



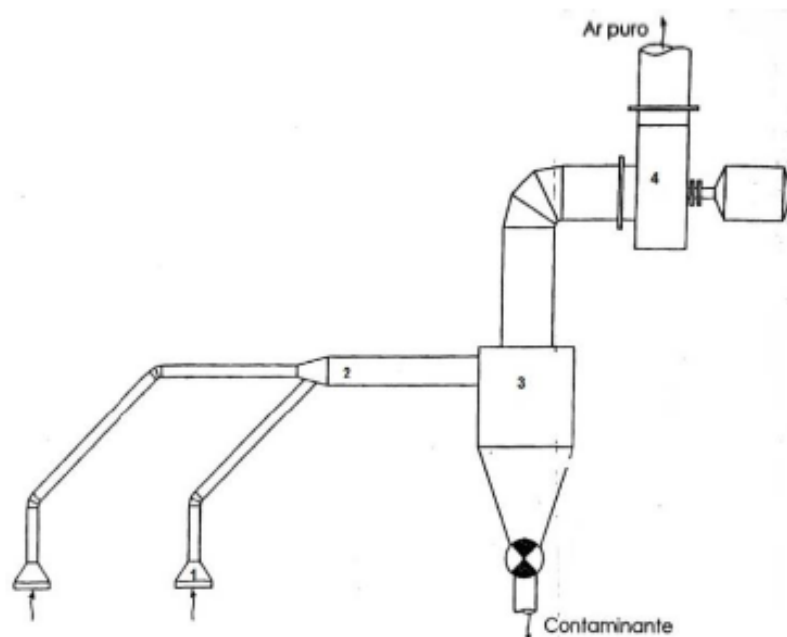
Fonte: Lisboa (2007)

jetivo o transporte do ar contaminado com poeira, conduzindo-o pela tubulação até um filtro que promoverá a separação do ar dos seus poluentes, coletando o contaminante. A energia mecânica é fornecida pelo exaustor, localizado após o filtro.

Entende-se por poeira, partículas sólidas em geral com diâmetros maiores que  $1 \mu\text{m}$ , que resultaram da desintegração mecânica de substâncias, podendo ser tanto orgânicas como inorgânicas, sendo obtidas pelo manuseio ou operações como trituração, detonação, peneiramento, etc. (MESQUITA; GUIMARÃES; NEFUSSI, 1988).

Na Figura 2, é apresentada uma representação esquemática de um sistema de Ventilação Local Exaustora, semelhante ao sistema de despoeiramento analisado no presente trabalho.

**Figura 2 – Representação esquemática de um sistema de Ventilação Local Exaustora**

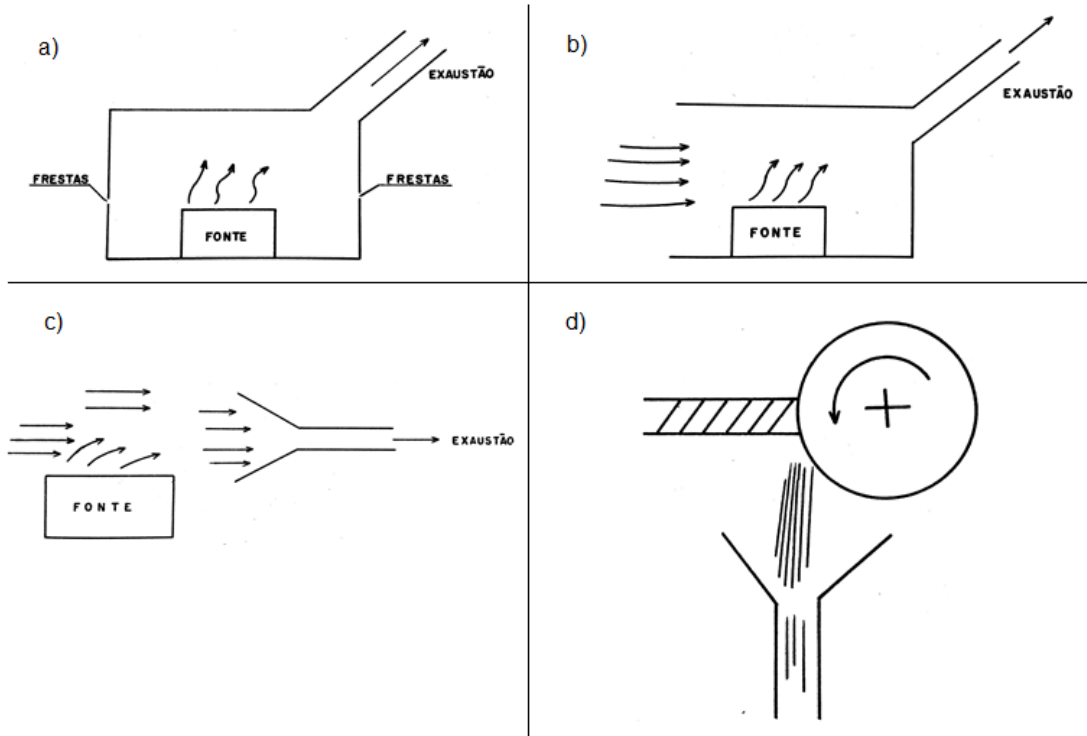


Fonte: Costa (2005)

### 2.1.1 Captores

Os captores são os dispositivos que correspondem ao ponto de entrada no sistema de ventilação, auxiliando o fluxo de gases a entrar na tubulação. Na Figura 3, são apresentados quatro tipos de captores:

**Figura 3 – Tipos de captores: a) enclausurado, b) cabine, c) externo e d) receptor**



**Fonte: Mesquita, Guimarães e Nefussi (1988)**

- a) Captores do tipo enclausurado – a fonte de poluentes fica no interior do captor, no qual todos os lados são fechados.
- b) Captores do tipo cabine – são semelhantes ao do tipo enclausurado, porém um de seus lados é aberto.
- c) Captores do tipo externo – ficam próximos à fonte de emissão de poluentes, em operações que não permitem que o processo seja enclausurado, e devem possuir uma dada vazão, tal que todos os poluentes sejam conduzidos pela corrente de ar.
- d) Captores do tipo receptor – são semelhantes ao do tipo externo, mas ficam estrategicamente posicionado de modo a receber o fluxo de poluentes, induzido pela própria operação.

### 2.1.2 Tubulação

A tubulação é o componente do sistema de Ventilação Local Exaustora responsável pelo transporte de ar contaminado, desde sua entrada até sua saída. Pode conter vários acessórios ao longo do sistema como derivações, expansões, curvas, etc.

Para se determinar o diâmetro de um trecho da tubulação é necessário conhecer a velocidade do escoamento na tubulação, bem como a vazão de cada captor pertencente à tubulação. A Tabela 1 mostra as velocidades mínimas para cada tipo de partícula a ser removida.

**Tabela 1 – Velocidades mínimas de escoamento em função da densidade da partícula**

Densidade da partícula	Exemplos	Velocidade mínima (m/s)
Baixa	Fumaça; fumos de óxidos de zinco e de alumínio; pó de algodão	10
Média	Cereais; pó de madeira, de plástico e de borracha	15
Média/alta	Fumos metálicos; poeira de jateamento de areia e de esmerilhamento	20
Alta	Fumos de chumbo; poeiras de fundição de ferro	25

Fonte: Lisboa (2007)

Com o valor mínimo da vazão volumétrica dos captores e a velocidade do escoamento já conhecida, a partir da equação da continuidade, considerando escoamento incompressível, é possível determinar o diâmetro da tubulação de acordo com a Equação (1):

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (1)$$

sendo  $D$  o diâmetro,  $Q$  a vazão volumétrica e  $V$  a velocidade.

Para o cálculo da incerteza proveniente do instrumento utilizado na medição da velocidade do ar nas tubulações, utilizou-se a Equação (2) (SANTOS, 2005):

$$IR = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

sendo IR a incerteza dos resultados,  $S$  o desvio padrão das leituras e  $n$  o número de leituras realizadas.

### 2.1.3 Válvulas do Tipo Borboleta

As válvulas são componentes geralmente instalados logo após os captadores, com objetivo de restringir e/ou controlar o fluxo de ar para assim realizar o balanceamento das diversas ramificações da tubulação, bem como para evitar altas e desnecessárias velocidades do fluxo, que aumentariam a perda de carga do sistema, assim, reduzindo a vazão total (MACINTYRE, 1990).

### 2.1.4 Filtro

Este componente do sistema é responsável pela separação do ar dos seus contaminantes. Os filtros podem ser de vários mecanismos diferentes e apresentam altas eficiências para uma ampla faixa de tamanho de partículas. O fluxo de gases passa por meios porosos, onde as partículas ficam retidas e depois são coletadas (MACINTYRE, 1990).

Um tipo de filtro muito comum utilizado na indústria é o de mangas, onde os elementos filtrantes são cilindros revestidos de panos, cujas características dependem da vazão de ar aspirado pelo sistema e do contaminante a ser separado do ar.

Em relação à limpeza do filtro, pode ser realizada pela raspagem manual das mangas saturadas, mecanicamente, por um vibrador acionado por motor elétrico ou por disparos de ar comprimido (MESQUITA; GUIMARÃES; NEFUSSI, 1988).

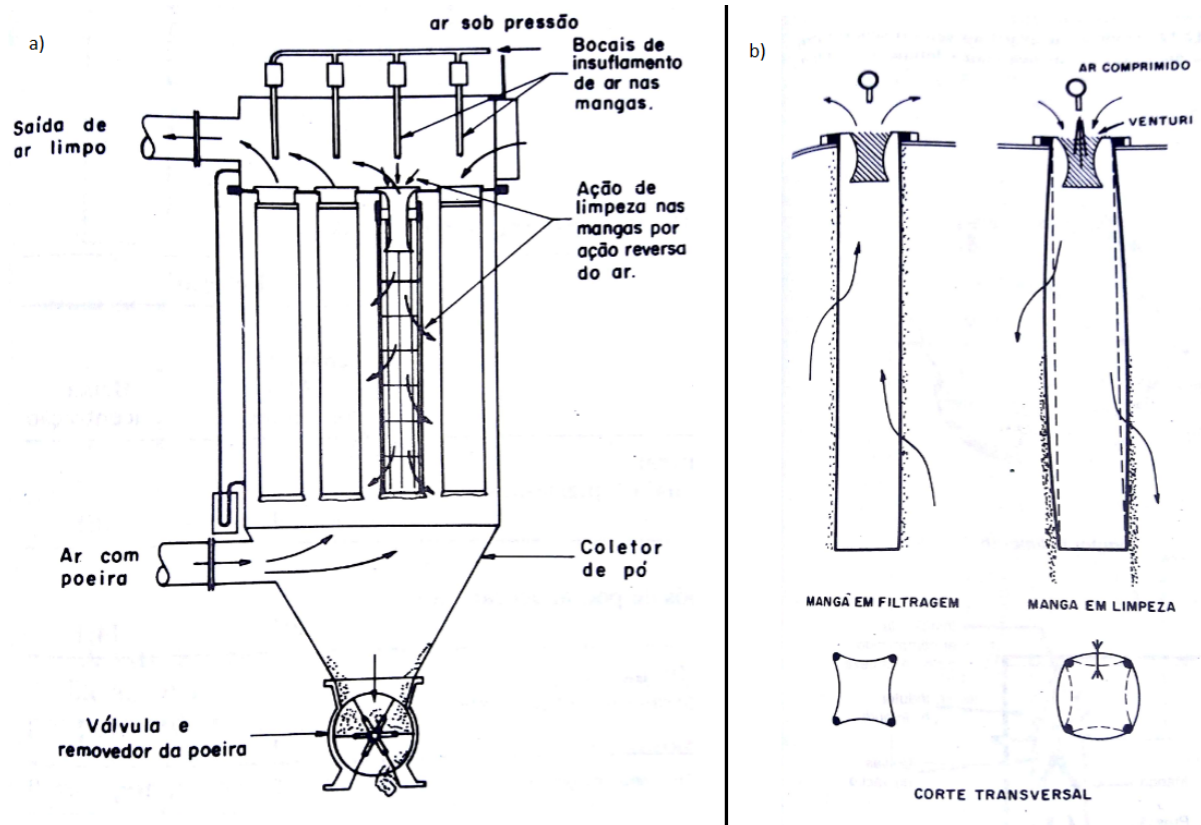
Quando o filtro possui um sistema automático de limpeza, são utilizados pressostatos que indicam o gradiente de pressão na entrada e saída do filtro. Quando esse gradiente chega a um valor máximo programado, o sistema de limpeza é ligado automaticamente, e desligado assim que o valor mínimo é atingido.

No caso do sistema de limpeza de filtro por disparos de ar comprimido, uma fileira de mangas é atingida por um forte disparo de ar, do seu interior ao exterior, fazendo com que o pó aglomerado na manga saia rapidamente, sendo coletado.

A Figura 4 apresenta um esquema de funcionamento do filtro de mangas por disparo de ar comprimido e um esquema de funcionamento da limpeza das mangas.



Figura 4 – Filtro de mangas: a) por disparo de ar comprimido e b) limpeza das mangas



Fonte: Macintyre (1990)

### 2.1.5 Exaustor

É o componente do sistema responsável por fornecer a energia necessária ao escoamento do ar, para que a ventilação seja efetuada de forma satisfatória. Para sistemas de despoejamento, são comumente utilizados os exaustores do tipo centrífugo, pois possuem características mais apropriadas que os outros.

Para se verificar a capacidade de um conjunto motriz de produzir um escoamento com as características desejadas, é preciso determinar a potência mínima de acionamento do exaustor, de acordo com a Equação (3) (BAZZO, 1995):

$$\dot{W} = \frac{\dot{m} \Delta P}{\eta \rho} \quad (3)$$

sendo  $\dot{W}$  a potência de acionamento,  $\dot{m}$  a vazão mássica dos gases aspirados,  $\Delta P$  a perda de carga a ser superada pelo exaustor,  $\eta$  a eficiência do exaustor e  $\rho$  a massa específica do ar.

### 2.1.6 Perdas de Carga

Para a realização deste estudo, é necessário calcular os valores das perdas de carga do sistema, que podem ser calculados a partir da Equação (4) (FOX; MCDONALD; PRITCHARD, 2009):

$$\sum \Delta P = \sum K \frac{\rho V^2}{2} \quad (4)$$

sendo  $\Delta P$  a perda de carga,  $V$  a velocidade do ar e  $K$  o coeficiente de perda.

Para se determinar a densidade do ar, utiliza-se a equação de estado de gás ideal, definida pela Equação (5):

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (5)$$

sendo  $P$  o valor da pressão atmosférica local,  $R$  a constante específica do ar e  $T$  é a temperatura absoluta.

O valor de  $K$  para tubulações em trecho reto deve ser calculado, já para acessórios como derivações, expansões, reduções, cotovelos, curvas, etc. pode ser obtido através de tabelas. Utiliza-se a Equação (6) para se obter  $K$  (FOX; MCDONALD; PRITCHARD, 2009):

$$K = f \frac{L}{D_h} \quad (6)$$

sendo  $f$  o fator de atrito da tubulação,  $L$  o comprimento do trecho da tubulação e  $D_h$  o diâmetro da tubulação.

Para os casos de tubulação de seção transversal retangular, pode-se determinar um diâmetro equivalente a partir da correlação empírica definida pela Equação (7) (MACINTYRE, 1990):

$$d_{equiv} = 1,3 \frac{(ab)^{0,625}}{(a+b)^{0,25}} \quad (7)$$

sendo  $d_{equiv}$  o diâmetro equivalente e  $a$  e  $b$  são os lados do retângulo.

Pode-se determinar o fator de atrito turbulento utilizando o diagrama de Moody, ou ainda pela equação explícita de Haaland (1983), dado pela Equação (8), conforme apresentado em Fox, McDonald e Pritchard (2009):

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -1,8 \log \left[ \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \quad (8)$$

sendo  $\varepsilon/D$  a rugosidade relativa e  $Re$  o número de Reynolds. Para determinar o fator de atrito turbulento é necessário se conhecer os valores do número de Reynolds e da rugosidade relativa da tubulação.

Por sua vez, o número de Reynolds é dado pela Equação (9):

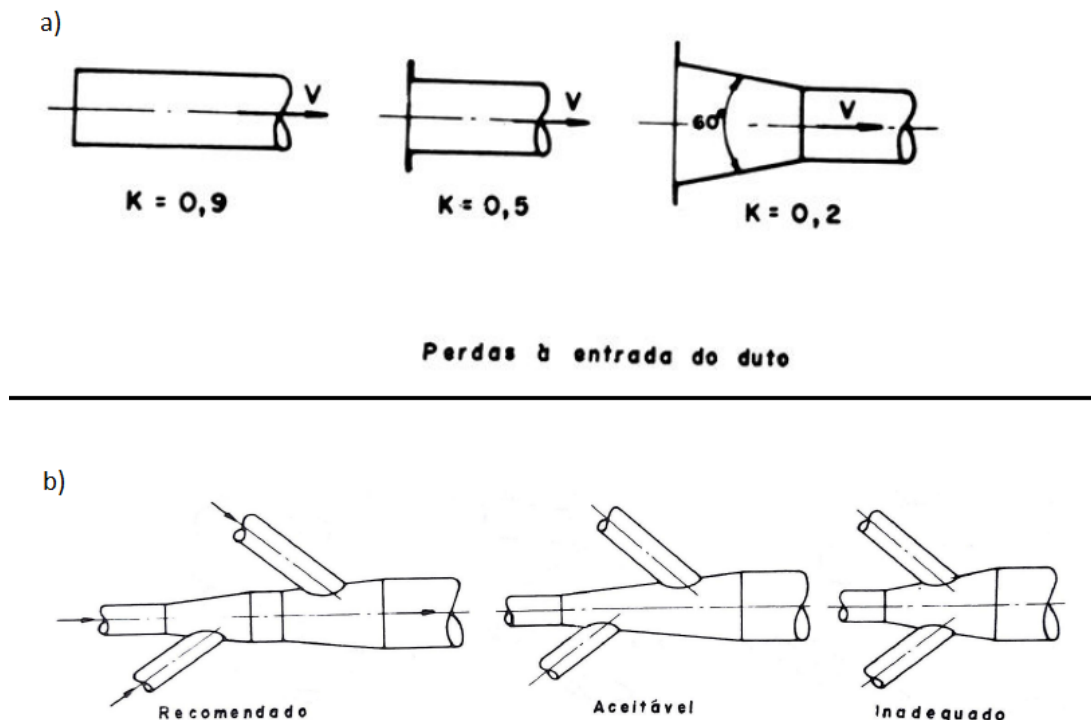
$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (9)$$

sendo  $\rho$  a densidade do ar,  $V$  a velocidade do ar,  $D$  o diâmetro da tubulação e  $\mu$  a viscosidade dinâmica do ar.

Para se obter o valor de  $K$  em acessórios, como cotovelos, expansões e derivações, é necessário consultar tabelas da literatura, como as que estão disponíveis em Macintyre (1990).

Na Figura 5a, apresenta-se a recomendação de entrada nos dutos sem utilização de captores, e na Figura 5b, apresenta-se a recomendação de derivações. No caso de derivações com mais de uma entrada, deve-se projetar uma derivação que cada entrada fique em uma expansão.

**Figura 5 – Valor do coeficiente de perda  $K$  para entradas sem utilização de captores e recomendação para projeto de derivações**



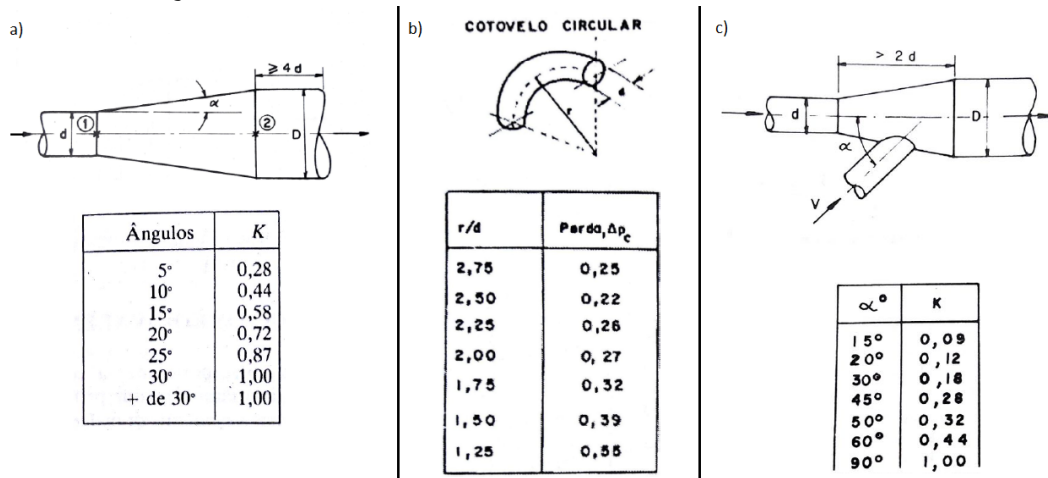
**Fonte: Macintyre (1990)**

Na Figura 6, tem-se expansões, cotovelos circulares e derivações com as seguintes recomendações:

- No caso de ser necessário utilizar expansões para variar o diâmetro da tubulação, deve-se projetar a expansão de modo mais suave possível.

- b) No caso de cotovelos com seção transversal circular, deve-se utilizar uma relação entre raio e diâmetro da curvatura  $r/d$  de 2,5 para que a perda de carga seja a menor possível.
- c) Para derivações, sempre que possível, deve-se utilizar um ângulo de entrada na expansão suave e fazer com que o comprimento da expansão seja de no mínimo o dobro do diâmetro da tubulação menor.

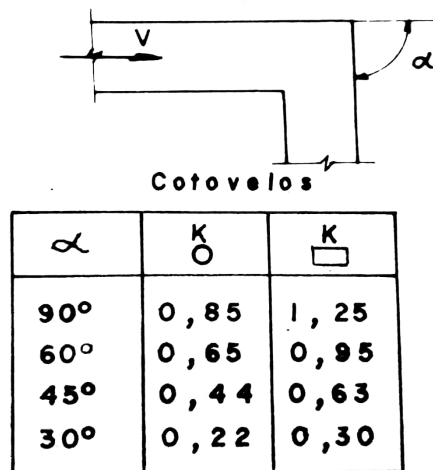
**Figura 6 – Valor do coeficiente de perda  $K$  para expansões, cotovelos circulares e derivações**



Fonte: Macintyre (1990)

Para cotovelos sem curvatura, é possível se obter o valor do coeficiente de perda  $K$  a partir da Figura 7.

**Figura 7 – Valor do coeficiente de perda  $K$  para cotovelos, sem curvatura**



Fonte: Macintyre (1990)

Para a perda de carga em válvulas do tipo borboleta, os coeficientes de perda  $K$  podem ser obtidos pela Tabela 2 de acordo com a ângulo de abertura da válvula  $\alpha$ .

**Tabela 2 – Coeficiente de perda  $K$  em função do ângulo de abertura  $\alpha$  para válvulas do tipo borboleta**

$\alpha$	5°	10°	15°	20°	30°	45°
$K$	0,24	0,52	0,90	1,54	3,91	18,70

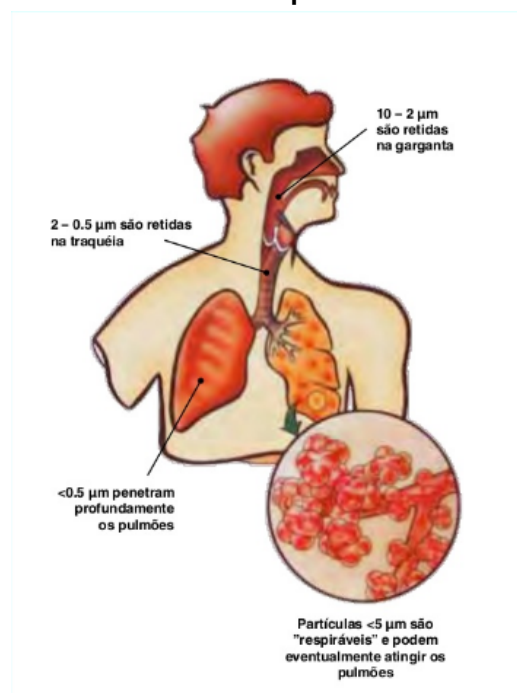
Fonte: Macintyre (1997)

## 2.2 PROBLEMAS OCACIONADOS PELA POEIRA

O sistema de despoeiramento analisado capta poeira de um processo de britagem, cujo material britado é o ferro-manganês. A poeira gerada é leve e fina, e pode se dispersar no ar rapidamente ao longo de muitos metros do local. Se não forem utilizados EPI's adequados nos arredores do processo, este pó pode ser facilmente aspirado, podendo causar nos colaboradores da empresa uma série de doenças como asma ocupacional, pneumoconioses por sílica e doenças neurológicas (MENDES, 2003).

Na Figura 8, é apresentada uma representação do sistema respiratório e o tamanho de partículas que por ele podem passar.

**Figura 8 – Dimensões das partículas e sistema respiratório**



Fonte: Nederman (2014)

Uma amostra do pó foi coletada no processo e um teste granulométrico foi realizado nos laboratórios da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus Itapeva, São Paulo. Os resultados deste teste encontram-se presente na Tabela 3.

**Tabela 3 – Resultados de um teste granulométrico realizado**

<b>Peneiras - Mesh</b>	<b>Abertura em <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Porcentagem em massa</b>
Retido na peneira de 100#	149	0,20%
Retido na peneira de 140#	105	0,85%
Retido na peneira de 325#	44	27,75%
Retido na peneira de 400#	37	54,78%
Passante na peneira de 400#	37	16,42%

**Fonte: Autoria própria**

Convertendo os valores da escala *Mesh* para uma escala em microns, tem-se que 54,78% da amostra possui granulometria média superior a 37  $\mu\text{m}$ , e que 16,42% apresentar valores inferiores a este. Ainda sim, existe uma parcela de pó com granulometria suficiente para atingir os pulmões.

Considerando que a composição da poeira contém dentre outras substâncias, especialmente sílica livre e o manganês, justifica-se uma ação na redução de emissão de poeira, considerando a prevenção da doença pneumoconiose-silicose, conhecida desde a antiguidade, causada pela inalação de poeiras contendo sílica livre cristalina, enfermidade tipicamente ocupacional. Nesta doença, ocorre ao longo do tempo, uma reação inflamatória pulmonar decorrente da inalação de poeiras com partículas de 2  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$ . A contínua exposição causa essas reações inflamatórias que vão culminar ao longo dos anos na doença silicose (MENDES, 2003).

Além da sílica livre, outro elemento contido na poeira é o manganês. No Brasil, é clássica a descrição de Parkinsonismo secundário devido à exposição ao manganês em trabalhadores de uma fundição de ferro-manganês (MENDES, 2003).

### 2.2.1 Impacto Ambiental

Além dos problemas de saúde, o pó metálico também contamina o solo aos arredores do sistema, e com as chuvas, faz com que chegue o contaminante até o rio que margeia a fábrica, podendo afetar a vida aquática.

Para os organismos aquáticos, os metais podem ser classificados em essenciais e não essenciais (LIMA, 2013). Segundo Corrêa (2006), os essenciais como cobre, ferro e zinco possuem funções biológicas conhecidas e fazem parte do me-

tabolismo desses organismos, porém dependendo da concentração podem se tornar tóxicos (KALAY; CANLI, 2000). Para os metais não essenciais, como cádmio, cromo, mercúrio, manganês, níquel e chumbo, não possuem funções biológicas conhecidas (LALL, 2000). Segundo Mangal (2001), ambos os tipos de metais, essenciais ou não, em altas concentrações, podem se tornar tóxicos. No caso da vida aquática, podem trazer problemas como baixa fertilidade, baixa taxa de crescimento e baixa imunidade, de acordo com Meneses (2008).

### 2.2.2 Impacto Econômico

Sabendo que o pó gerado pelo processo de britagem possui exatamente a mesma composição química do produto final, este poderia ser reintroduzido no processo, trazendo a empresa uma economia no uso de matérias primas.

## 2.3 ALGUNS ESTUDOS RELACIONADOS AO TEMA

Em outras indústrias ocorre um problema semelhante ao das siderúrgicas, como por exemplo, na madeireira. Muitas etapas do processo de beneficiamento da madeira gera uma grande quantidade de resíduos, como serragem, maravalha e cavaco, gerando transtornos no local de trabalho, pois a limpeza e o descarte desses resíduos é geralmente realizada manualmente (SILVA; GUERRA, 2012).

A instalação de um sistema de Ventilação Local Exaustora auxiliaria uma indústria desse tipo, pois não contaminaria o ambiente, eliminaria o processo de limpeza do local, deixando-o mais agradável, e reduziria o incomodo aos vizinhos. O material coletado pode ser reaproveitado posteriormente.

Para se projetar um sistema de ventilação, devem-se seguir as recomendações das captações e tubulações encontradas na literatura de ventilação industrial, para obter um bom desempenho, gastando o mínimo de energia. Neste contexto, Silva e Guerra (2012) idealizaram um sistema de Ventilação Local Exaustora em uma indústria madeireira, obedecendo todas as regras da engenharia para obter uma melhor eficiência no processo, reduzindo custos operacionais de limpeza e riscos à saúde.

Schirmer, Cortez e Kozak (2008) fizeram uma proposta de sistema em uma indústria moveleira utilizando as recomendações de projeto disponíveis no livro Venti-

lação Industrial de Macintyre (1990), para dimensionar um sistema de Ventilação Local Exaustora que fosse capaz de captar resíduos e poluentes no processo de fabricação de móveis.



### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados: uma descrição do sistema de despoeiramento analisado neste trabalho, os métodos para análise e verificação do seu desempenho, bem como a proposição de melhorias neste sistema de despoeiramento.

#### 3.1 SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO

Nesta seção são apresentados: a descrição do sistema de despoeiramento, os seus problemas de conservação e as suas características idealizadas de funcionamento.

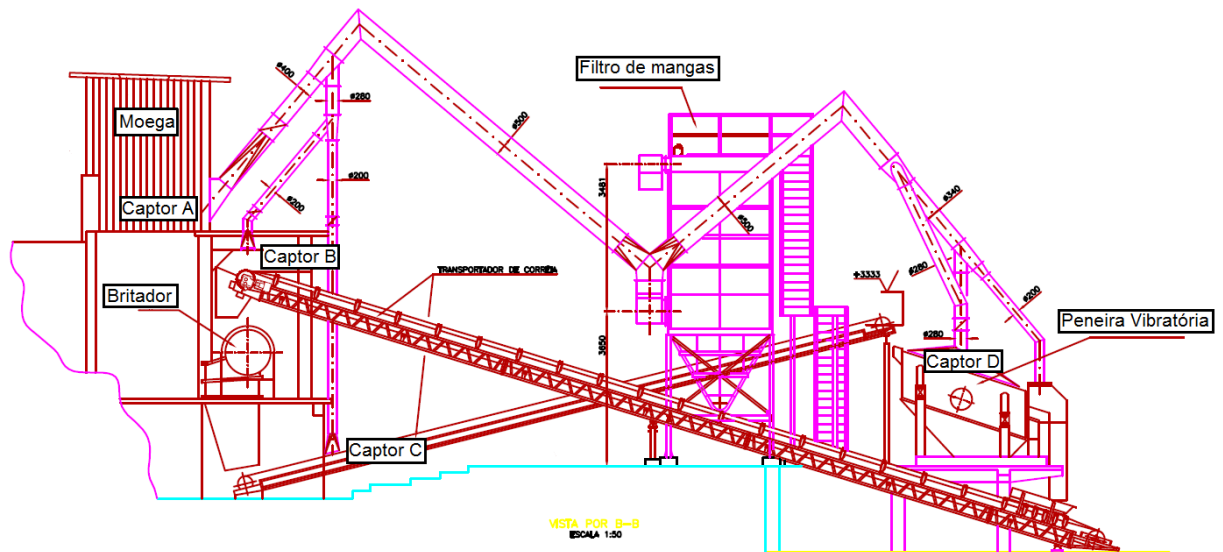
Tal sistema se encontra na empresa Maringá Ferro-Liga S.A., uma siderúrgica situada na cidade de Itapeva, no estado de São Paulo. A empresa, fundada em 1946, produz ligas de Manganês, a uma capacidade de oitenta mil toneladas ao ano.

O sistema de despoeiramento em questão foi instalado na fábrica em 2004, e funciona aproximadamente oito horas por dia, somente quando o sistema do britador está em funcionamento.

##### 3.1.1 Descrição do Sistema

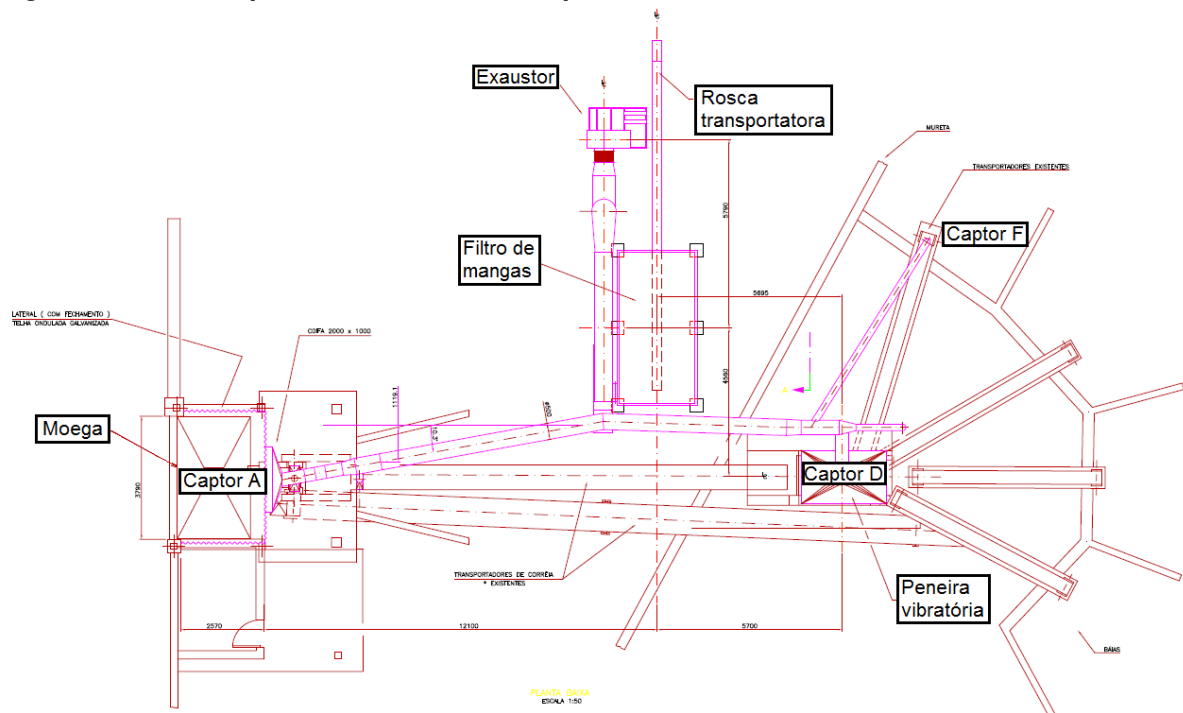
Para melhor entender o sistema, as Figuras 9 e 10 apresentam uma representação esquemática de seus componentes. O ponto de entrada do material no sistema de britador é pela Moega, posicionada acima do britador, onde se encontra o Captor A. Existe um ponto de captação logo acima do britador, o Captor B, porém atualmente encontra-se desativado, pois dificulta as constantes manutenções neste equipamento. O material que passa pelo britador, cai em uma esteira transportadora que o leva até a Peneira Vibratória. No começo desta esteira se encontra o Captor C. Devido a limitações físicas, tal captor não pode ser posicionado logo no local da queda do material, onde a geração de poeira é maior. Um posicionamento adequado mais próximo à fonte de poluentes se tornaria inconveniente para a manutenção do rolo da esteira transportadora. Logo acima da peneira vibratória, se encontra o Captor D, e apesar de não constar no desenho, existe um captor na parte inferior da Peneira Vibratória, denominado de Captor E.

**Figura 9 – Vista frontal do sistema de despoimento**



Fonte: Disponibilizado por Maringá Ferro-Liga S.A.

**Figura 10 – Vista superior do sistema de despoimento**

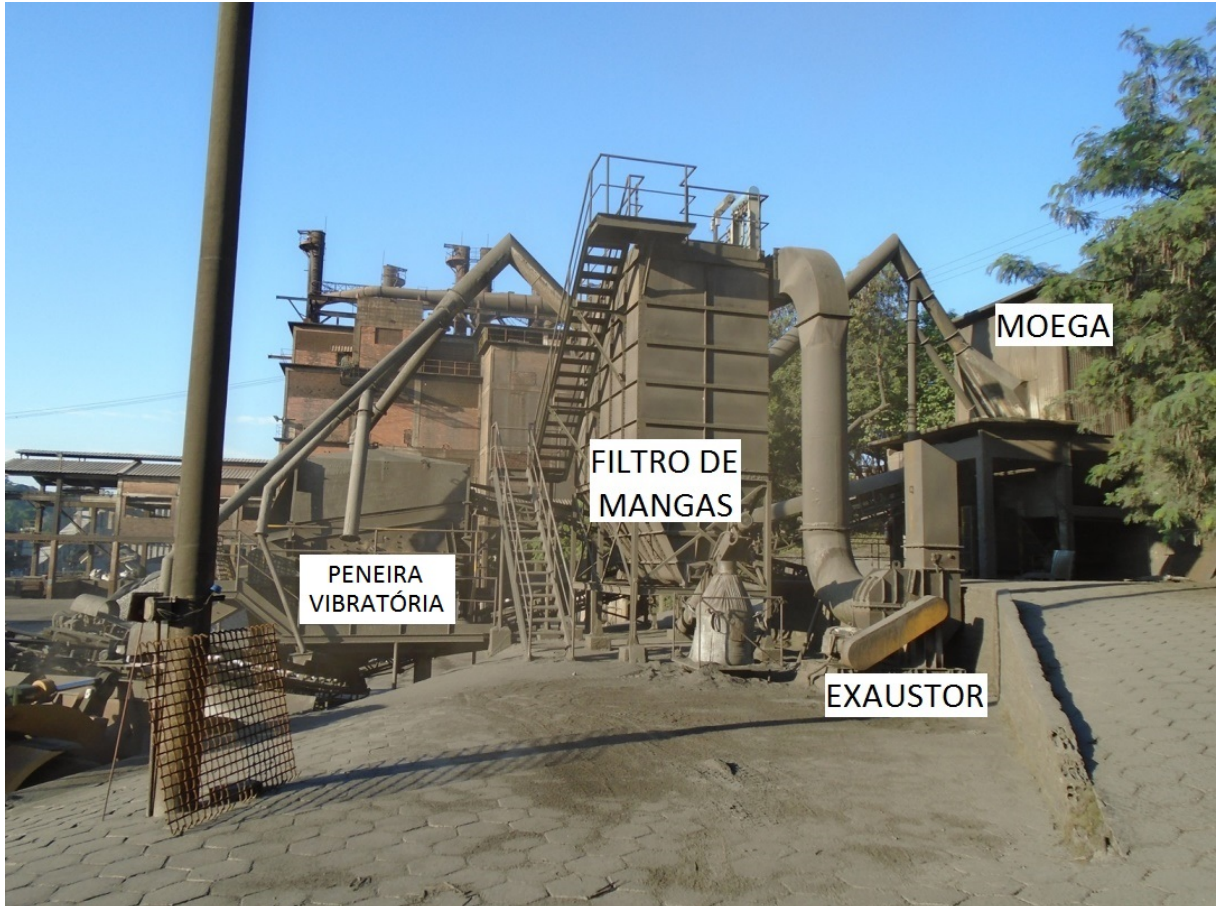


Fonte: Disponibilizado por Maringá Ferro-Liga S.A.

O Captor F se encontra no fim da esteira transportadora, que leva o material que se deposita ao fundo da Peneira Vibratória para uma baía de coleta. As tubulações dos captores convergem para um Filtro de Mangas, que coleta o pó metálico e o leva até um contêiner adequado, através de uma rosca transportadora. O sistema é equipado com um exaustor centrífugo, de pás voltadas para trás, movido por um motor elétrico da marca Weg de 60 cv.

A Fotografia 1 mostra uma visão da parte de trás do sistema. Ao centro da foto, pode-se ver o filtro de mangas, e conectado a ele, o exaustor. Ao lado direito da foto, a moega de abastecimento, e ao lado esquerdo, o britador.

**Fotografia 1 – Sistema de despoiramento**



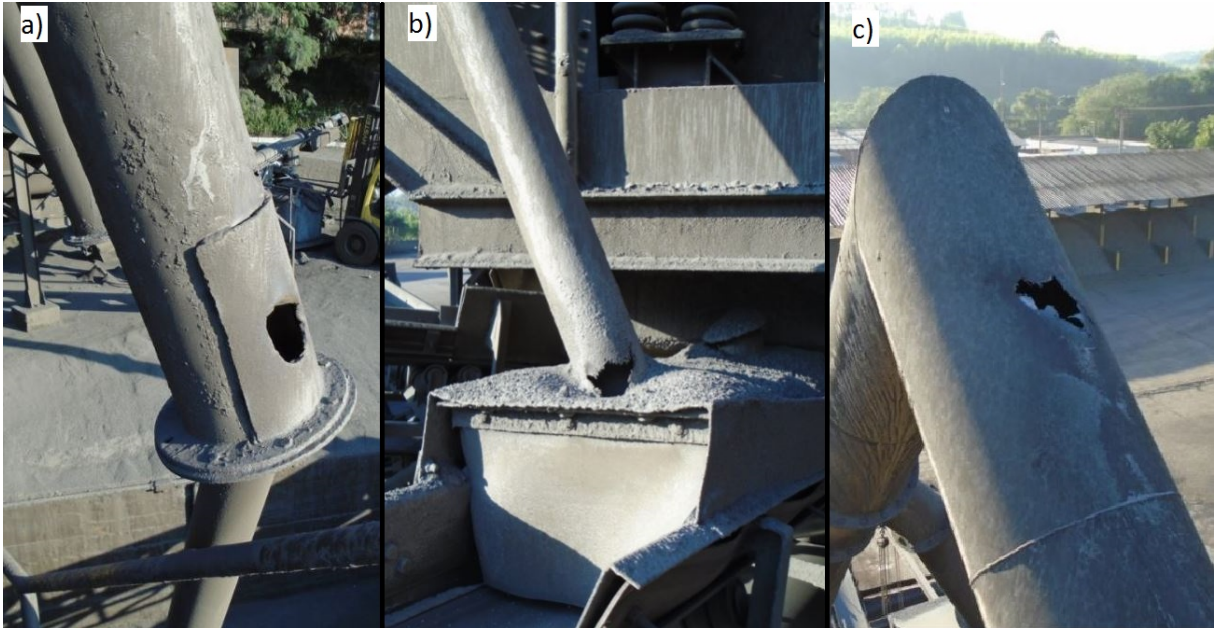
**Fonte: Autoria própria**

### 3.1.2 Problemas de Conservação

Alguns pontos no sistema como tubulações, vedações e captações necessitam de reparos, como pode ser visto na Fotografia 2:

- a) Parte da tubulação do Captor E apresenta um buraco, além da tubulação estar mal planejada.
- b) Captor E apresenta defeito na tubulação logo na saída do enclausuramento.
- c) Problema no trecho da tubulação que une a peneira vibratória e o filtro de mangas.

**Fotografia 2 – Problemas de conservação em vários pontos do sistema**



**Fonte: Autoria própria**

A Fotografia 3 mostra que o Captor C possui frestas muito grandes em relação à correia transportadora, reduzindo a vedação, permitindo que a poeira se espalhe com facilidade. Nota-se na parte inferior da correia, uma quantidade grande de poeira. Nota-se também, como discutido na subseção 3.1.1, as limitações físicas de instalação desse componente.

**Fotografia 3 – Problemas do Captor C na correia transportadora**



**Fonte: Autoria própria**

### 3.1.3 Dados do Sistema

Nesta subseção são apresentados os valores calculados para as vazões do sistema, considerados ideais para um funcionamento adequado.

De acordo com as características da tubulação existente, com a recomendação de uma velocidade mínima de escoamento de 25 m/s, de acordo com a Tabela 1, e considerando partículas de alta densidade, têm-se valores de vazão volumétrica total, calculados pela Equação (1), na Tabela 4. Portanto, a vazão máxima que deve ser fornecida pelo exaustor é de aproximadamente 8 m<sup>3</sup>/s.

**Tabela 4 – Vazões volumétricas do sistema de despoeiramento**

<b>Captor</b>	<b>Diâmetro (m)</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>	<b>Vazão volumétrica (m<sup>3</sup>/s)</b>
A	0,4	25	3,142
B	0,2	25	0,785
C	0,2	25	0,785
D	0,28	25	1,539
E	0,2	25	0,785
F	0,2	25	0,785
Total			7,822

**Fonte: Autoria própria**

## 3.2 MÉTODOS DE ANÁLISE E VERIFICAÇÃO

Para conferir se o sistema apresenta em suas tubulações as velocidades adequadas, foi utilizado um anemômetro digital portátil da marca Homis, modelo 223, disponível na empresa. Este equipamento de medição possui precisão de 0,1 m/s, e suas calibrações são realizadas anualmente. Esse medidor de velocidade foi posicionado na entrada dos captores, perpendicular ao fluxo, de maneira que não atrapalhasse o escoamento, e com a opção de registrar a maior velocidade medida. As medições foram realizadas com o sistema de britador e peneira vibratória ambos desligados, para não ter geração de poeira. Foram realizadas cinco medições em cada captor. As médias aritméticas de cada velocidade de captor encontram-se na Tabela 5, bem como as incertezas (desvio padrão), e vazões calculadas, lembrando que o Captor B, acima do britador, no momento está desativado.

Verifica-se que o sistema possui em todos os seus pontos, velocidades inferiores às recomendadas, de acordo com a Tabela 1. Para promover uma melhoria no

**Tabela 5 – Velocidades medidas e incertezas**

<b>Captor</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>	<b>Incerteza (m/s)</b>	<b>Diâmetro (m)</b>	<b>Vazão volumétrica (m<sup>3</sup>/s)</b>
A	5,9	0,03	0,4	0,741
B	0	0	0,2	0,000
C	22,6	0,08	0,2	0,710
D	22,4	0,06	0,28	1,379
E	12	0,07	0,2	0,377
F	15,4	0,06	0,2	0,483
Total				3,691

**Fonte: Autoria própria**

funcionamento do sistema, alguns de seus componentes necessitam de substituição, assim reduzindo as perdas de carga, e aumentando as vazões.

### 3.3 PROPOSTAS PARA MELHORIA DO SISTEMA

De acordo com as recomendações apresentadas no livro de Ventilação Industrial de Macintyre (1990), foram redesenhados alguns componentes do sistema, como cotovelos, reduções, derivações e entradas de captores, deste modo, permitindo a redução de suas perdas de carga.

Para expansões, de acordo com a Figura 6a, deve-se fazê-la de forma suave, isto é, utilizando o menor ângulo  $\alpha$  possível. Para cotovelos, recomenda-se utilizar uma relação de raio equivalente de 2,50, de acordo com a Figura 6b, pois é a configuração que apresenta menores perdas. Para derivações, de acordo com a Figura 6c, sempre que possível, utilizar um pequeno ângulo entre as tubulações, e de acordo com a Figura 5b, sempre conectar uma tubulação na derivação, em cada expansão.

Para os captores, deve-se desenhá-los de maneira que fiquem próximos da fonte de poluentes, sem interferir no processo produtivo e manutenção do maquinário, e que apresenta boa vedação, para que impeça a disseminação dos poluentes.

Os respectivos desenhos técnicos das propostas de modificações dos componentes do sistema de despoejamento, desenvolvidos em parceria com a equipe de projetos da Maringá Ferro-Liga S.A., são apresentados no Apêndice A.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os componentes do sistema que tiveram propostas de modificação, bem como os resultados dos cálculos das perdas de carga do sistema original e do sistema com as devidas modificações sugeridas no Capítulo 2.

### 4.1 COMPARAÇÃO DOS VALORES DE PERDA DE CARGA

Nesta seção é apresentada uma comparação entre as perdas de carga do sistema original e do sistema com as modificações propostas.

#### 4.1.1 Componentes do Sistema

Nesta subseção, são apresentados os nomes dos trechos dos componentes aos quais foram propostas modificações e que foram considerados nos cálculos de perda de carga do sistema.

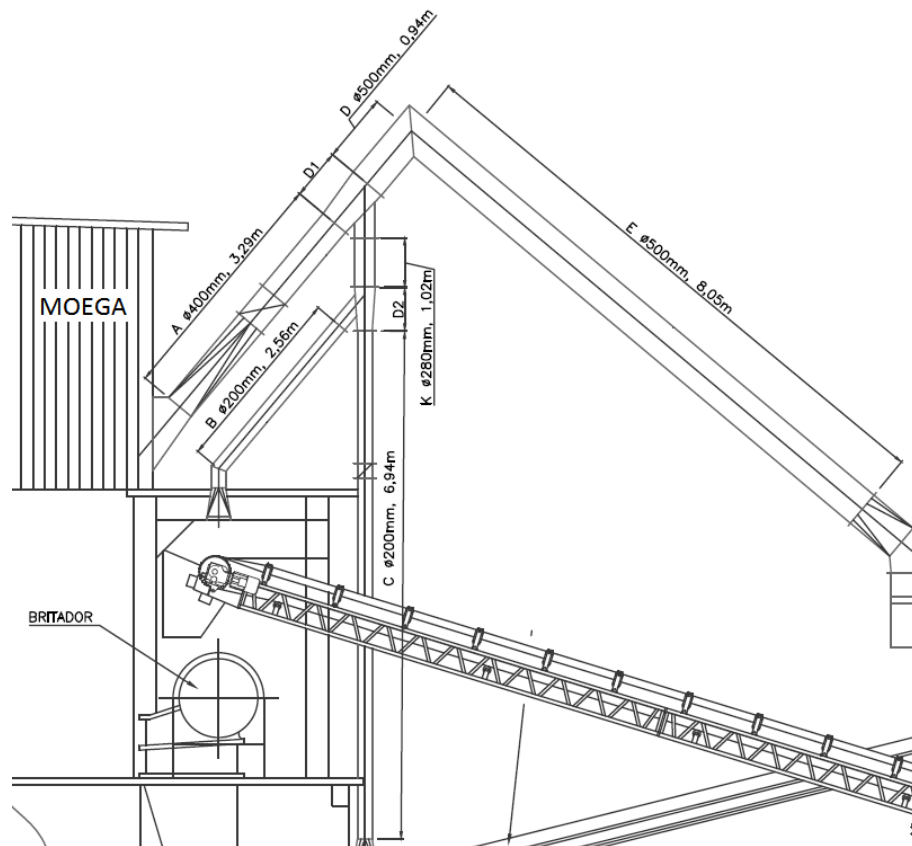
Em uma vista frontal do sistema, como mostrado na Figura 11, ao lado esquerdo do filtro de mangas, são denominados:

- Trecho 'A' – entre a aspiração da moega e a derivação 'D1'.
- Trecho 'B' – entre a aspiração do britador e a derivação 'D2'.
- Trecho 'C' – entre a aspiração da saída do britador e a derivação 'D2'.
- Trecho 'D' – entre a derivação 'D1' e o cotovelo '1'.
- Trecho 'E' – entre o cotovelo '1' e a entrada em 'Y' do filtro de mangas.

Agora para uma vista frontal, ao lado direito, como mostrado na Figura 12, tem-se os seguintes componentes:

- Trecho 'F' – entre a entrada em 'Y' do filtro de mangas e o cotovelo '2'.
- Cotovelo '2' – entre os trechos 'F' e 'G'.
- Derivação 'D3' – que une a entrada da peneira vibratória pelos trechos 'I' e 'L'.

**Figura 11 – Vista frontal, lado esquerdo, do sistema de despeiramento**



**Fonte: Disponibilizado por Maringá Ferro-Liga S.A.**

- Trecho 'L' – que une as derivações 'D3' e 'D4'.
- Trecho 'H' – atualmente apresenta uma modificação não mostrada no desenho, ligando a derivação 'D4' até uma captação próxima a esteira de fino abaixo da peneira vibratória.
- Trecho 'J' – apesar de não ser representado em nenhuma imagem, tem 6,46 m de comprimento e 200 mm de diâmetro, une a captação da baia de fino até a derivação 'D4'.

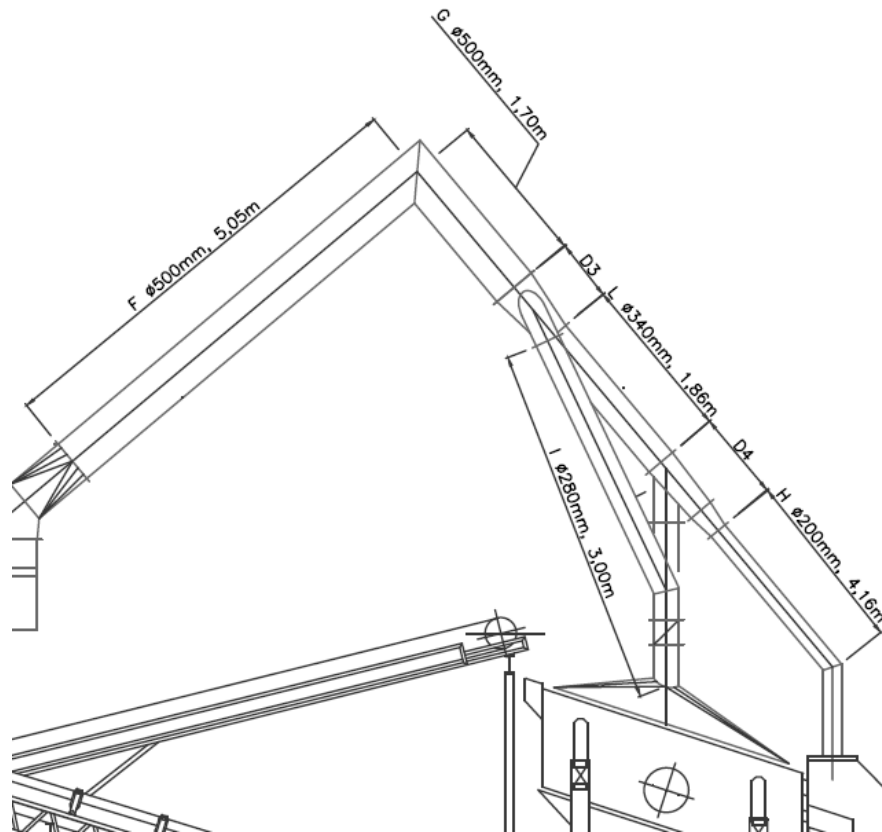
A vista da parte de trás do filtro de mangas, Figura 13, mostra as dimensões da tubulação de entrada e saída.

Por ultimo, uma vista da parte pós-filtro de mangas na Figura 14, apresenta:

- Curva '1' – à saída do filtro de mangas.
- Trecho 'B1' – unindo as curvas '1' e '2'.
- Curva '2' – na entrada do exaustor do sistema.



**Figura 12 – Vista frontal, lado direito, do sistema de despoeiramento**



**Fonte: Disponibilizado por Maringá Ferro-Liga S.A.**

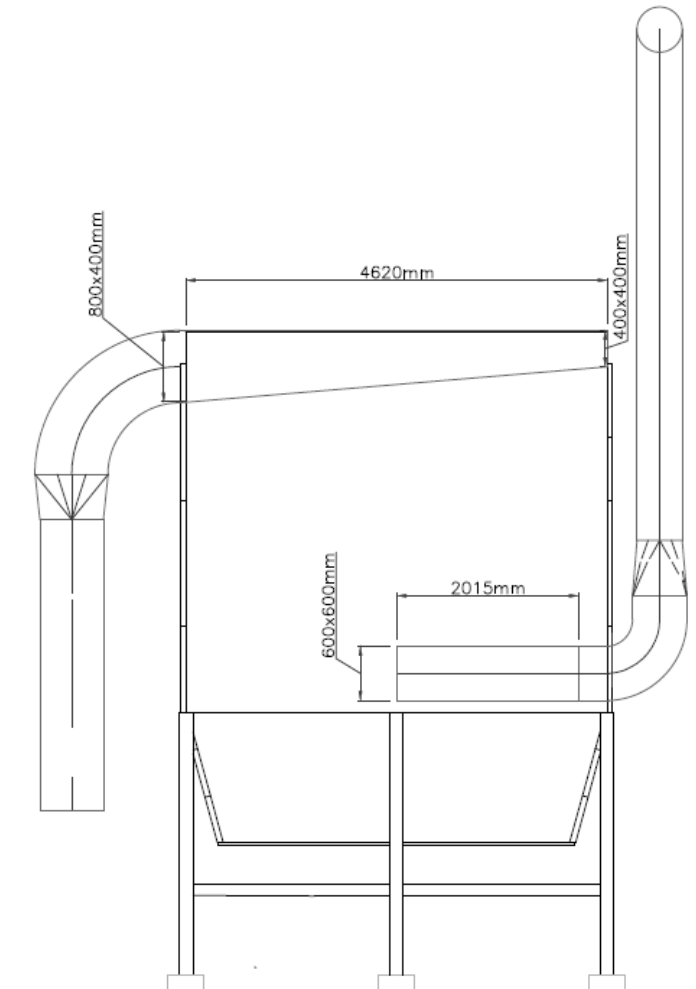
As tubulações que se encontram entre o filtro de mangas e o exaustor não sofreram propostas de modificação, porém, foram apresentadas, pois foram consideradas nos cálculos das perdas de carga.

#### 4.1.2 Perdas de Carga

Para fins de comparação do sistema original com a proposta de modificação, foram calculadas as perdas de carga, utilizando as fórmulas apresentadas no Capítulo 2. Para cada trecho da tubulação, foi determinado o número de Reynolds de acordo com a Equação (9), pois varia de acordo com o diâmetro e velocidade. Com os valores do número de Reynolds, foi determinado também o fator de atrito, para cada região do sistema, de acordo com a Equação (8).

Com todos os valores de fator de atrito, para cada região do sistema, é possível se obter os coeficientes de perda  $K$ , de acordo com a Equação (6), no caso de tubulação reta. Para acessórios, encontra-se os valores de  $K$  pelas Figura 5 e Figura 6. E, finalmente, com a Equação (4), as perdas de carga de cada componente.

**Figura 13 – Filtro de mangas, vista da parte de trás do sistema de despoeiramento**



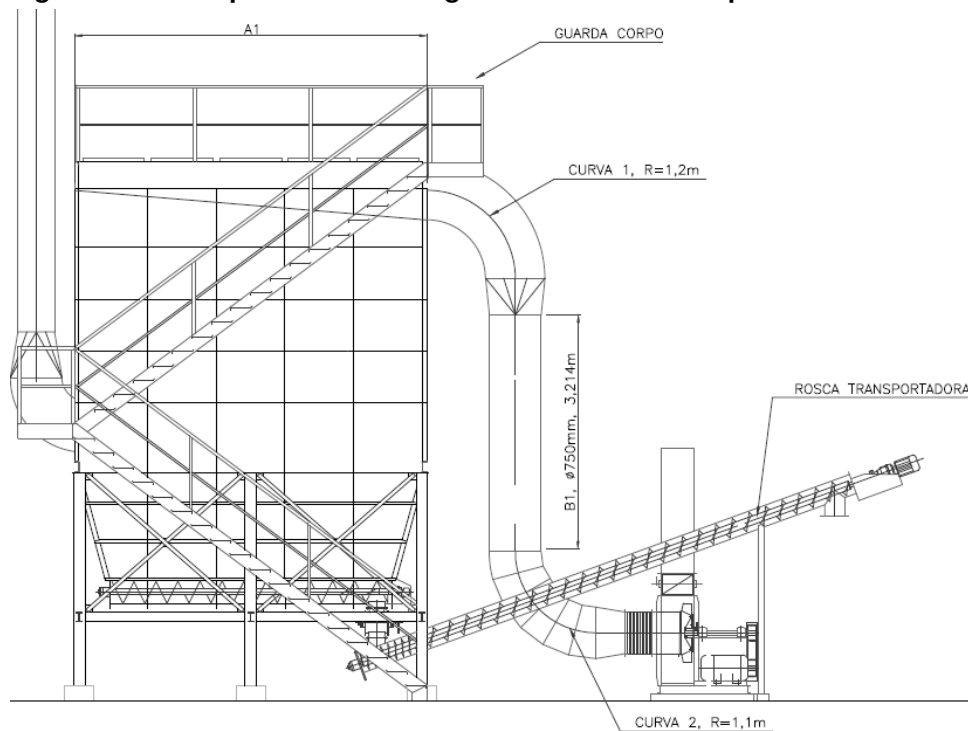
**Fonte: Disponibilizado por Maringá Ferro-Liga S.A.**

As perdas de carga foram calculadas considerando uma situação em que as velocidades das tubulações fossem todas iguais a 25 m/s, segundo a recomendação da Tabela 1, utilizando as fórmulas do Capítulo 2. Além disto, foram consideradas uma massa específica de  $1,081 \text{ kg/m}^3$  e uma viscosidade dinâmica de  $1,8544 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$ , para o ar a  $30^\circ\text{C}$ , bem como uma rugosidade relativa  $\varepsilon/D$  igual a 0,5.

Em relação a entrada do filtro de mangas, por ser caracterizada por uma seção transversal quadrada, de 600 mm, para cálculo do coeficiente de perda  $K$ , foi determinado um diâmetro médio, de acordo com a Equação (7).

A entrada do filtro de mangas foi considerada como uma expansão suave, devido não ter sido encontrado nenhum valor de  $K$  para este dispositivo. Como seu ângulo é suave e menor do que  $5^\circ$ , o coeficiente de perda  $K$  para esta parte do sistema foi considerado como igual a 0,28, segundo a Figura 6a.

**Figura 14 – Vista pós-filtro de mangas do sistema de despoeiramento**



**Fonte: Disponibilizado por Maringá Ferro-Liga S.A.**

No projeto, foi considerado que em todas as captações do sistema estão instaladas válvulas do tipo borboleta. Para os cálculos de perda de carga, considerou-se todas as válvulas totalmente abertas e, de acordo com a Tabela 2, o valor de  $K$  pode ser considerado desprezível, para um ângulo de  $0^\circ$ .

De acordo com estimativas realizadas pelo setor de manutenção da empresa no ano de 2016, o valor de perda de carga do filtro de mangas é de aproximadamente 1000 Pa.

Utilizando as recomendações de acordo com o Capítulo 2, foram propostas as modificações dos seguintes componentes:

- Cotovelos '1' e '2' – utilizando a recomendação da Figura 6b.
- Derivações '1', '3' e '4' – utilizando as recomendações da Figura 6c.
- Captores 'C' e 'E' – tiveram suas entradas suavizadas, de acordo com a Figura 5a.
- Trecho 'H' – foi redesenhado para substituir tubulações atualmente instaladas, teve seu comprimento reduzido.

As seguintes modificações na tubulação são consequências das propostas de modificação apresentadas:

- Trecho 'D' – devido ao cotovelo '1', deixa de existir.
- Trecho 'E' – devido ao cotovelo '1', fica mais curto.
- Trechos 'F' e 'G' – devido ao cotovelo '2', ficam mais curtos.
- Trecho 'L' – teve seu comprimento reduzido devido as derivações '3' e '4'.
- Trecho 'I' – teve seu comprimento aumentado devido as derivações '3' e '4'.

Os valores de  $K$  dos componentes do sistema que sofreram propostas de modificação são mostrados na Tabela 6.

**Tabela 6 – Coeficientes de perda  $K$  antes e depois das modificações propostas**

Componente	$K$		Diferença
	Antes	Depois	
Trecho D	0,033	0,000	0,033
Trecho E	0,279	0,239	0,040
Trecho F	0,175	0,133	0,042
Trecho G	0,059	0,015	0,044
Trecho H	0,377	0,256	0,121
Trecho I	0,190	0,305	-0,115
Trecho L	0,096	0,059	0,038
Derivação 1	0,500	0,250	0,250
Derivação 3	0,440	0,210	0,230
Derivação 4	0,250	0,180	0,070
Cotovelo 1	0,850	0,220	0,630
Cotovelo 2	0,850	0,220	0,630
Captor C	0,900	0,500	0,400
Captor E	0,900	0,500	0,400

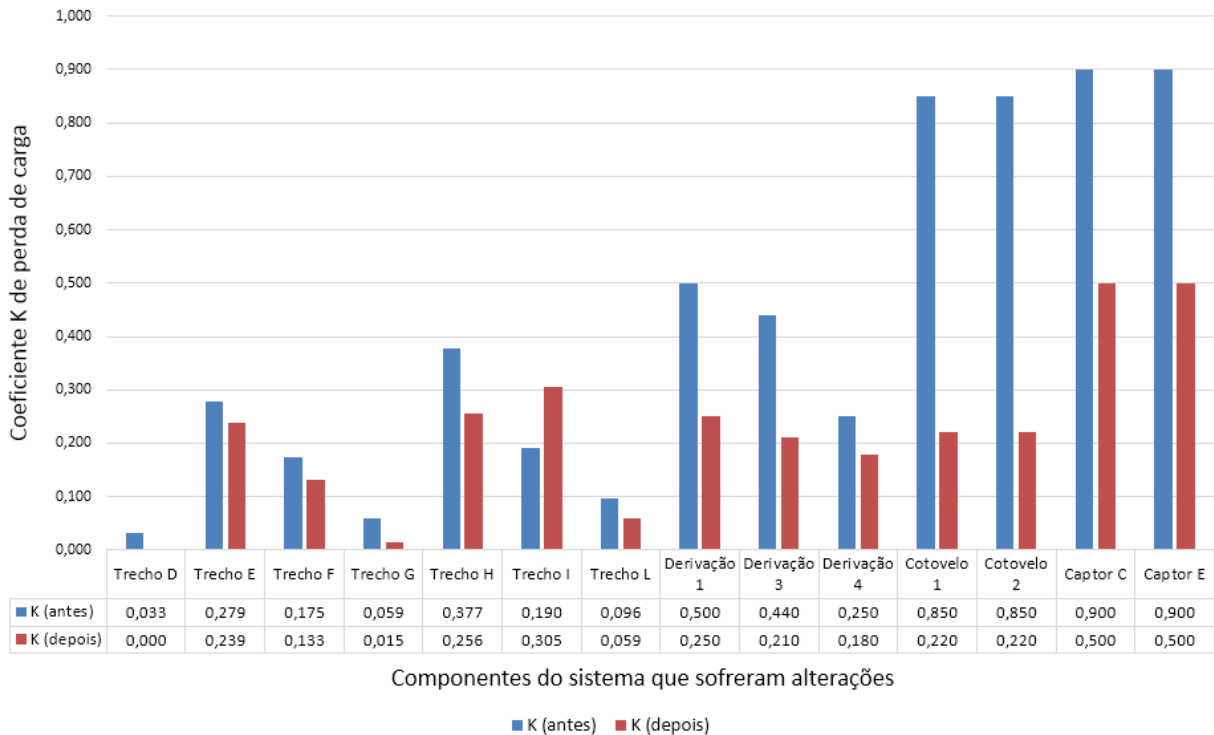
**Fonte: Autoria própria**

Observa-se na Tabela 6, uma significativa diferença no valor de  $K$  nos cotovelos '1' e '2' e nos captosres 'C' e 'E'. Para o trecho 'D', o valor de  $K$  é igual a zero, após as modificações propostas, pois o componente deixa de existir no sistema. O valor de  $K$  do trecho 'I' deve ter um incremento, pois seu comprimento foi aumentado.

No Gráfico 1, é possível visualizar as diferenças entre os valores dos coeficientes de perda  $K$  antes e depois das modificações propostas.

Segundo a Equação 4, para menores valores de  $K$ , obtém-se menores valores de perda de carga. Os valores de perda de carga do sistema original com velocidades medidas e recomendadas, os valores de perda de carga após as modificações

**Gráfico 1 – Diferenças entre os valores dos coeficientes de perda  $K$  antes e depois das modificações propostas**



**Fonte: Autoria própria**

propostas, assim como a diferença entre elas, são apresentados na Tabela 7. Nota-se uma diferença de aproximadamente 950 Pa a menos de perda de carga em relação ao sistema original, representando uma diferença de 20,25%, conforme Tabela 7.

#### 4.2 COMPARAÇÃO DOS VALORES DE POTÊNCIA DE ACIONAMENTO DO EXAUSTOR

De acordo com a Equação 3, é possível determinar a potência de acionamento do exaustor do sistema.

Considerando vazão de 7,822 m<sup>3</sup>/s, massa específica do ar de 1,082 kg/m<sup>3</sup> e considerando eficiência do exaustor de 85%, foram calculadas as potências de acionamento do exaustor antes e depois das modificações. Os valores de potência e suas diferenças são mostrados na Tabela 8.

Fazendo uma comparação com os valores de potência calculados para o exaustor, nota-se que são inferiores a 60 cv, ou seja, menores que a do exaustor existente no sistema. A potência do exaustor atualmente em operação é suficiente para fornecer a vazão necessária no sistema.

**Tabela 7 – Perdas de carga antes e depois das modificações propostas**

Componente	Perda de carga em Pa		Diferença em Pa	
	Antes		Depois	
	Vel. medida	Vel. recomendada		
Trecho A	2,69	48,53	48,53	0,00
Trecho B	0,00	78,30	78,30	0,00
Trecho C	173,92	212,25	212,25	0,00
Trecho D	0,96	11,00	0,00	11,00
Trecho E	8,23	94,23	80,86	13,38
Trecho F	9,10	59,12	44,81	14,31
Trecho G	3,06	19,90	5,20	14,70
Trecho H	29,31	127,23	86,34	40,89
Trecho I	51,58	64,24	103,06	-38,82
Trecho J	75,17	197,57	197,57	0,00
Trecho K	29,83	36,40	36,40	0,00
Trecho L	14,75	32,50	19,80	12,69
Derivação 1	69,20	168,90	84,45	84,45
Derivação 2	22,87	84,45	84,45	0,00
Derivação 3	30,40	148,63	70,94	77,69
Derivação 4	25,07	84,45	60,80	23,65
Cotovelo 1	44,18	287,13	74,31	212,81
Cotovelo 2	19,79	287,13	74,31	212,81
Trecho B1 (após filtro)	86,24	24,81	24,81	0,00
Curva 1	105,10	108,09	108,09	0,00
Curva 2	1000,00	131,74	131,74	0,00
Entrada do filtro	14,23	22,52	22,52	0,00
Saída do filtro	75,46	89,52	89,52	0,00
Filtro de mangas	161,70	1000,00	1000,00	0,00
Bifurcação em Y	7,49	202,68	202,68	0,00
Captor A (moega)	119,02	145,25	145,25	0,00
Captor C (abaixo britador)	33,47	304,02	168,90	135,12
Captor D (peneira)	115,66	145,25	145,25	0,00
Captor E (abaixo peneira)	244,07	304,02	168,90	135,12
Captor F (baia)	123,70	168,90	168,90	0,00
Total	2696,23	4688,74	3738,94	949,79

**Fonte: Autoria própria**

**Tabela 8 – Potências de acionamento do exaustor antes e depois das modificações propostas**

Potência de acionamento		Diferença
Antes	Depois	
43149,29 W	34408,52 W	8740,71 W
58,71 cv	46,81 cv	11,9 cv

**Fonte: Autoria própria**

Em termos econômicos, considerando um valor médio do custo de energia elétrica de 0,20 R\$/kWh (informação fornecida pela Maringá Ferro-Liga S.A.), uma operação de 8 horas diárias por 365 dias e 8740,71 W consumidos, calcula-se um valor de aproximadamente 5104 reais de energia elétrica em um ano.

### 4.3 VALORES ESTIMADOS DE PÓ COLETADO

Em relação à quantidade de pó coletado, considerando que a vazão original do sistema é de aproximadamente  $3,7 \text{ m}^3/\text{s}$  e que diariamente são coletados 2 toneladas de pó em 8 horas de operação, nestas mesmas condições, considerando uma vazão agora de  $7,8 \text{ m}^3/\text{s}$ , estima-se uma quantidade coletada de pó de 4,2 toneladas, um resultado significativo.

Para esta estimativa da quantidade de pó coletado, se faz necessário à substituição do modelo das mangas do filtro, pois atualmente utiliza-se um modelo de manga cilíndrico liso. Para aumentar a superfície de contato com o ar contaminado e conseguir assim coletar uma quantidade maior de pó, as mangas poderão ser substituídas por um modelo também cilíndrico, porém sanfonado. O tempo de disparo das mangas também deverá ser ajustado para as novas condições.

#### 4.3.1 Benefícios à Saúde dos Trabalhadores

Com respeito ao aspecto da saúde dos colaboradores da empresa, de acordo com os valores estimados de pó captado, em um dia de operação tem-se uma redução de 2,2 toneladas de contaminantes dispersos no ar em relação ao sistema original. De acordo com a Tabela 3, uma fração de 16,42% do pó analisado tem tamanho de partícula inferior a  $37 \mu\text{m}$ , ou seja, aproximadamente 361 kg de pó com granulometria inferior a esta, que poderia ser inalada, está sendo coletada pelo sistema.

## 5 CONCLUSÕES

A partir da realização deste estudo, foi possível propor uma readequação num sistema de despoeiramento de um britador de uma siderúrgica, a partir das informações a respeito das tubulações, captores e acessórios do sistema, visando o aumento de eficiência do mesmo. Em relação ao filtro de mangas, presente no sistema, a readequação deste depende da manutenção a ser realizada por uma empresa especializada neste tipo de equipamento. Além disso, devido a maior quantidade de contaminantes removidos no sistema após as propostas de modificação, torna-se necessário uma substituição do modelo das mangas e tipo de elemento filtrante. Uma reprogramação da temporização dos disparos de ar comprimido também deve ser realizada, sendo um ajuste de campo.

De acordo com as recomendações disponíveis na literatura para se reduzir as perdas de carga, juntamente com manutenção adequada dos equipamentos, podem ser obtidos valores satisfatórios para a vazão volumétrica de ar aspirado, a quantidade de contaminantes coletados e energia elétrica consumida, de modo a melhorar o desempenho do sistema. A manutenção do equipamento evita um desempenho indesejável, visto que entradas falsas de ar, cortinas dos captores em mal estado de conservação e modificações sem seguir os critérios recomendáveis, podem fazer com que o sistema disperse uma grande quantidade de pó.

Uma pequena parcela de pó metálico possui tamanho suficiente para penetrar no trato respiratório humano, caso não sejam utilizados EPI's adequados. Um aumento na quantidade de pó coletada pelo sistema oferece mais segurança à saúde dos colaboradores da empresa. Além disso, a redução do pó que chega ao rio que margeia a fábrica, carregados pelas chuvas, evita que concentrações de metais, podendo ser tóxicas, afetem a vida aquática neste rio.

Portanto, ao que diz respeito a qualidade do ambiente para com o colaborador da empresa, executando o projeto de acordo com as recomendações e mantendo-se uma manutenção adequada, é possível obter um ambiente de trabalho mais seguro para saúde do trabalhador e meio ambiente.



## REFERÊNCIAS

BAZZO, Edson. **Geração e distribuição de vapor**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 1995. v. 1. 216 p. Citado na página 16.

CORRÊA, Tatiana Lopez. **Bioacumulação de metais pesados em plantas nativas a partir de suas disponibilidades em rochas e sedimentos: o efeito na cadeia trófica**. 2006. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, 2006. Citado na página 21.

COSTA, Ennio Cruz da. **Ventilação**. 1. ed. [S.l.]: Edgard Blücher, 2005. Citado na página 12.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução a mecânica dos fluidos**. Rio de Janeiro: Grupo Gen / LTC, 2009. 728 p. Citado na página 17.

HAALAND, S. E. Simple and explicit formulas for the friction factor in turbulent pipe flow. **Journal of Fluids Engineering**, American Society of Mechanical Engineers – ASME, v. 105, n. 1, p. 89–90, 1983. The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway. Citado na página 17.

HISTORY CHANNEL. **O Melhor de Maravilhas Modernas: DVD 4 - A Sociedade do Metal**. 2009. 5 DVDs distribuídos pela Editora Multimídia Log On. Citado na página 8.

KALAY, Mustafa; CANLI, Mustafa. Elimination of essential (Cu, Zn) and non-essential (Cd, Pb) metals from tissues of a freshwater fish *Tilapia zilli*. **Turkish Journal of Zoology**, The Scientific and Technological Research Council of Turkey, v. 24, n. 4, p. 429–436, 2000. Citado na página 22.

LALL, Santosh P. Nutrition and health of fish. **Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola**, Mérida Yucatán, Mexico, p. 19–22, 2000. Citado na página 22.

LIMA, Daniel Padilha de. **Avaliação da contaminação por metais pesados na água e nos peixes da bacia do rio Cassiporé, estado do Amapá, Amazônia, Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, Macapá, 2013. Citado na página 21.

LISBOA, Henrique de Melo. Ventilação industrial. In: \_\_\_\_\_. **Controle da poluição atmosférica**. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2007. cap. 6, p. 1–63. Citado 3 vezes nas páginas 11, 12 e 14.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação industrial e controle da poluição**. Rio de Janeiro: Grupo Gen / LTC, 1990. v. 1. 403 p. Citado 8 vezes nas páginas 11, 15, 16, 17, 18, 19, 23 e 29.

\_\_\_\_\_. **Equipamentos industriais e de processo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Grupo Gen / LTC, 1997. v. 1. Citado na página 20.

MANGAL, Michael Jørn. **Assessing mercury contamination in the Amazon basin - 2001**. 2001. Disponível em: <<http://www.mangal.dk/mercury.pdf>>. Citado na página 22.

MENDES, René. **Patologia do trabalho**. 2. ed. [S.l.]: Atheneu, 2003. v. 2. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

MENESES, Thiago Silveira. **Fauna, pesca e contaminação por metais pesados em pescado de tubarões no litoral de Sergipe**. 2008. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tiradentes – UNIT, 2008. Citado na página 22.

MESQUITA, A. L. S.; GUIMARÃES, F. A.; NEFUSSI, N. **Engenharia de ventilação industrial**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb, 1988. 442 p. Citado 4 vezes nas páginas 11, 12, 13 e 15.

NEDERMAN. **Riscos e soluções para os fumos de solda**. 1. ed. [S.l.], 2014. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/cpalasio/riscos-e-solucoes-para-fumos-de-solda>>. Citado na página 20.

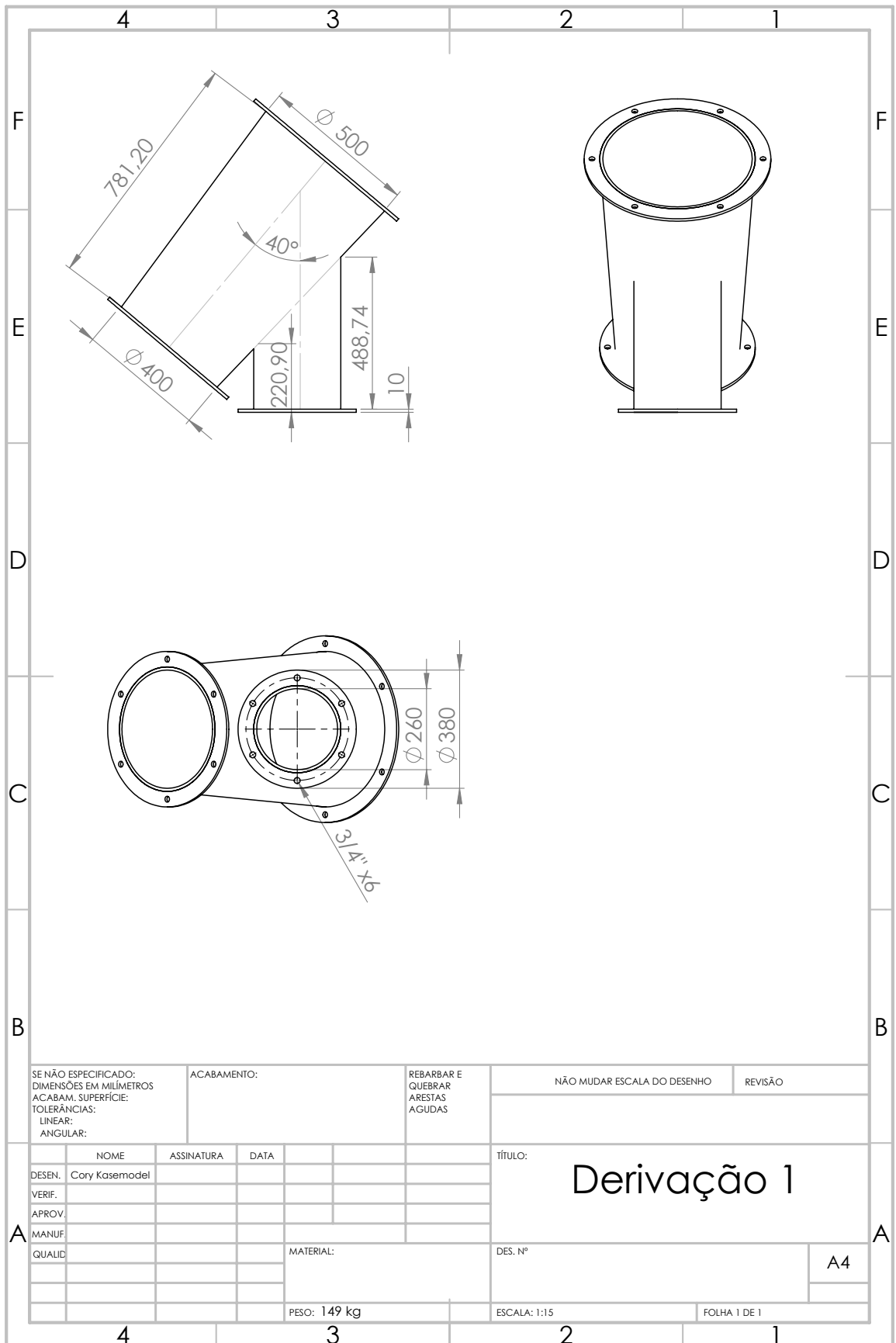
SANTOS, Irapuan. **Metrologia**. 3. ed. 2005. Apostila. Citado na página 14.

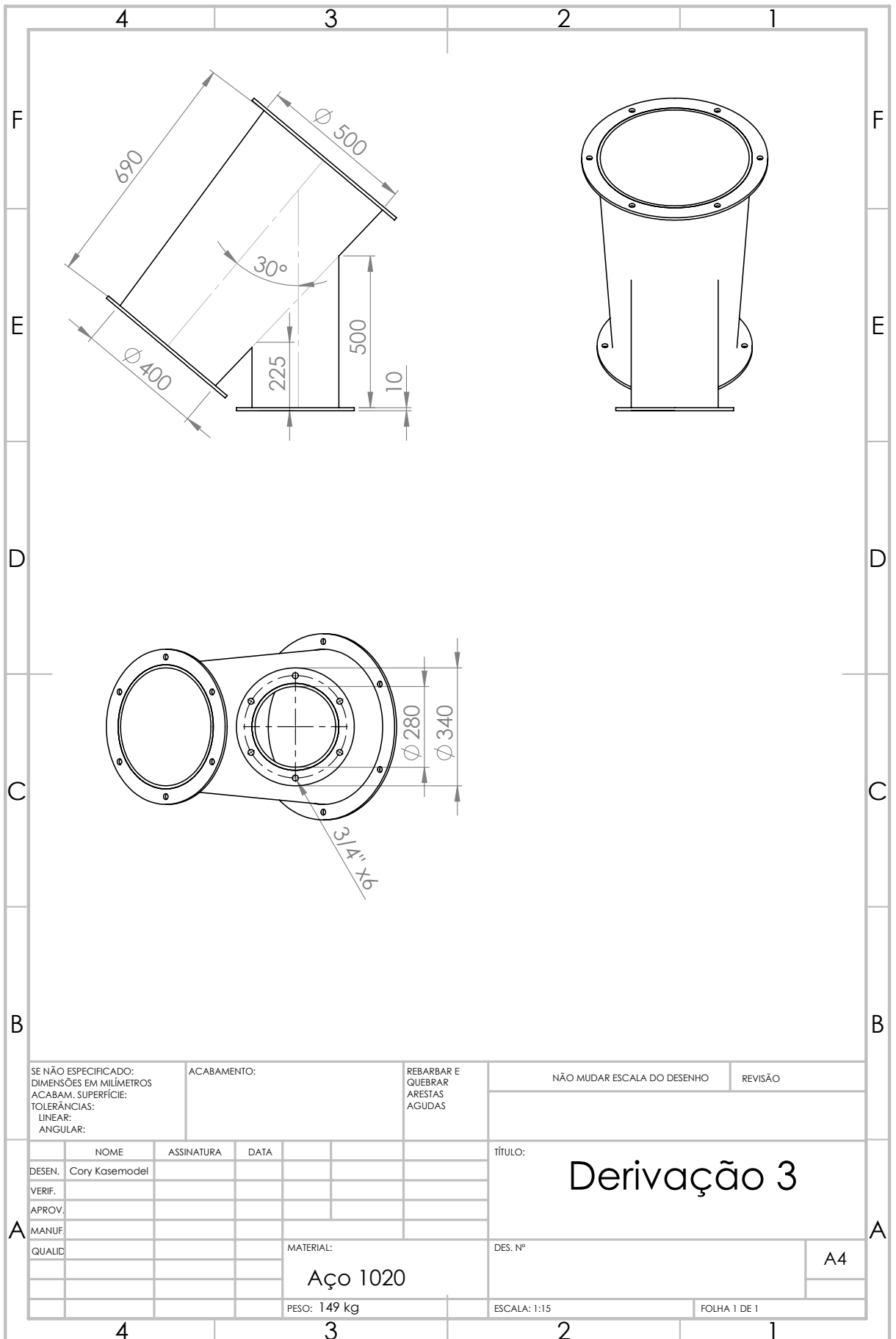
SCHIRMER, Waldir Nagel; CORTEZ, Alison Moura; KOZAK, Pedro Altamir. Ventilação industrial: uma ferramenta na gestão de resíduos atmosféricos em indústrias moveleiras – estudo de caso. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 2, n. 1, p. 1–15, 2008. Citado na página 22.

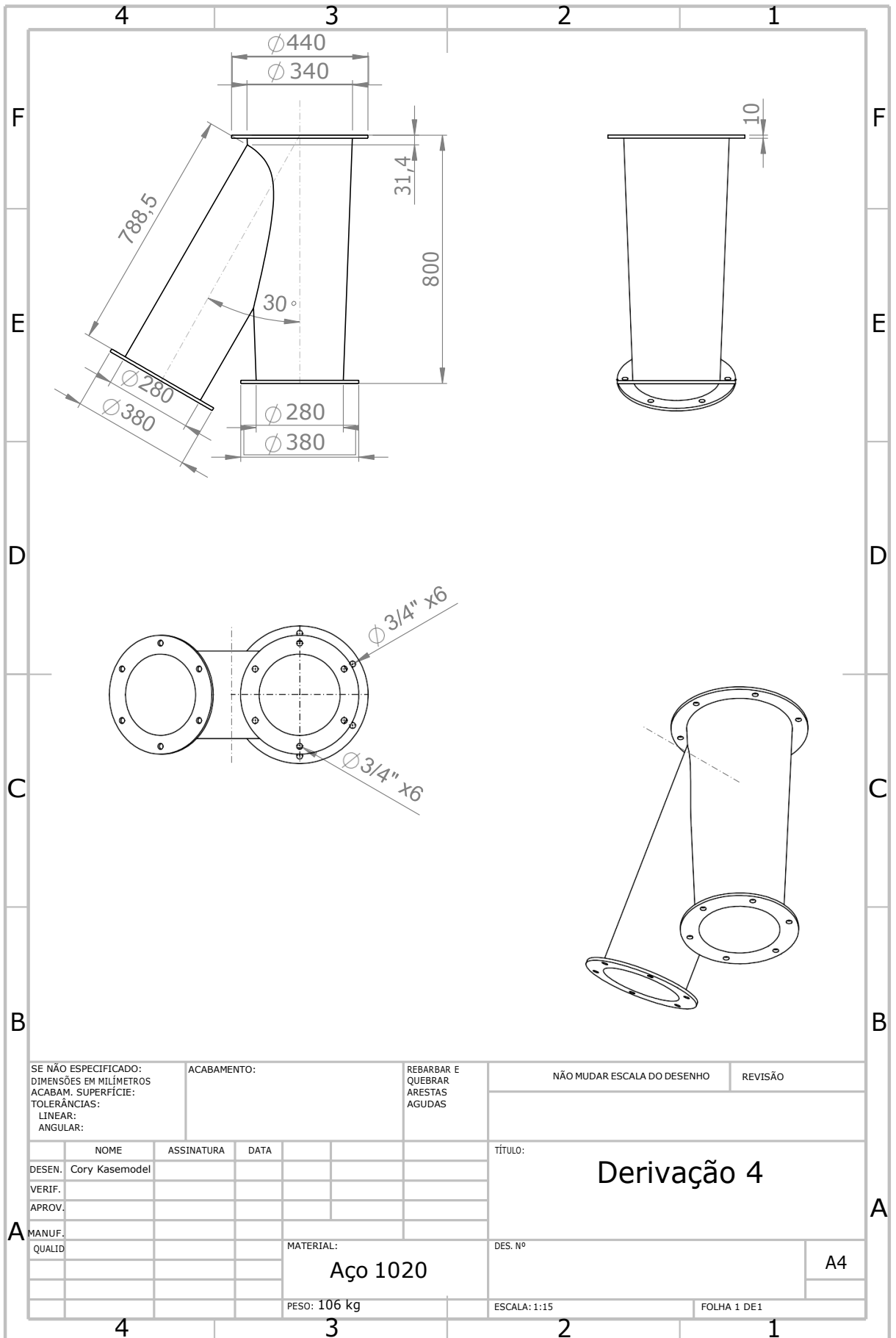
SILVA, Arlei Marques; GUERRA, Clever Jesus Zárate. Dimensionamento de sistema de ventilação exaustora para captação de serragem. **e-RAC**, v. 2, n. 1, p. 1–19, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 22.

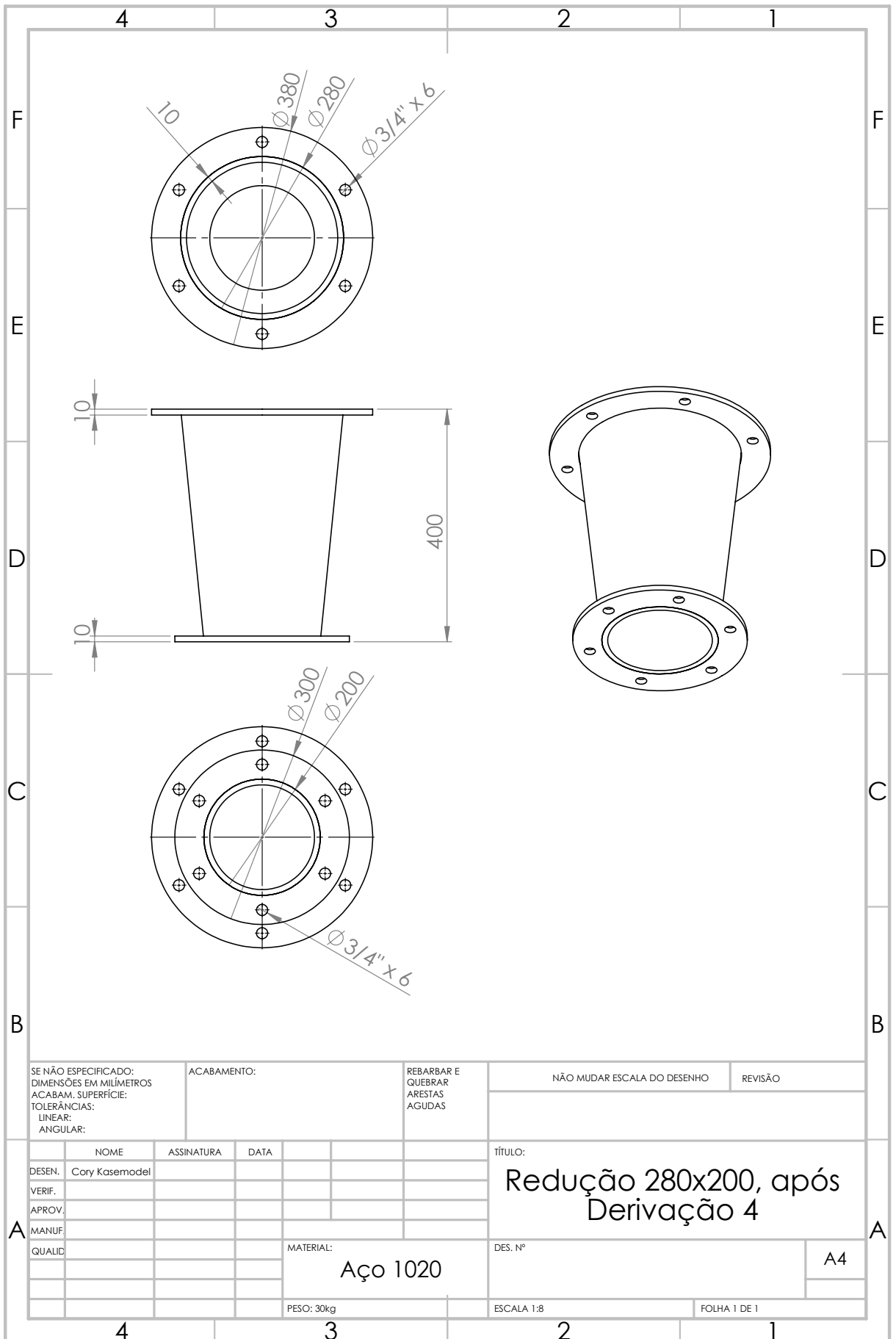
## APÊNDICES

APÊNDICE A – DESENHOS TÉCNICOS DOS COMPONENTES MODIFICADOS









SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAM. SUPERFÍCIE:  
TOLERÂNCIAS:  
LINEAR:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E  
QUEBRAR  
ARESTAS  
AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

	NOME	ASSINATURA	DATA
DESEN.	Cary Kasemodel		
VERIF.			
APROV.			
MANUF.			
QUALID.			

TÍTULO:  
**Redução 280x200, após  
Derivação 4**

MATERIAL:  
**Aço 1020**

DES. Nº

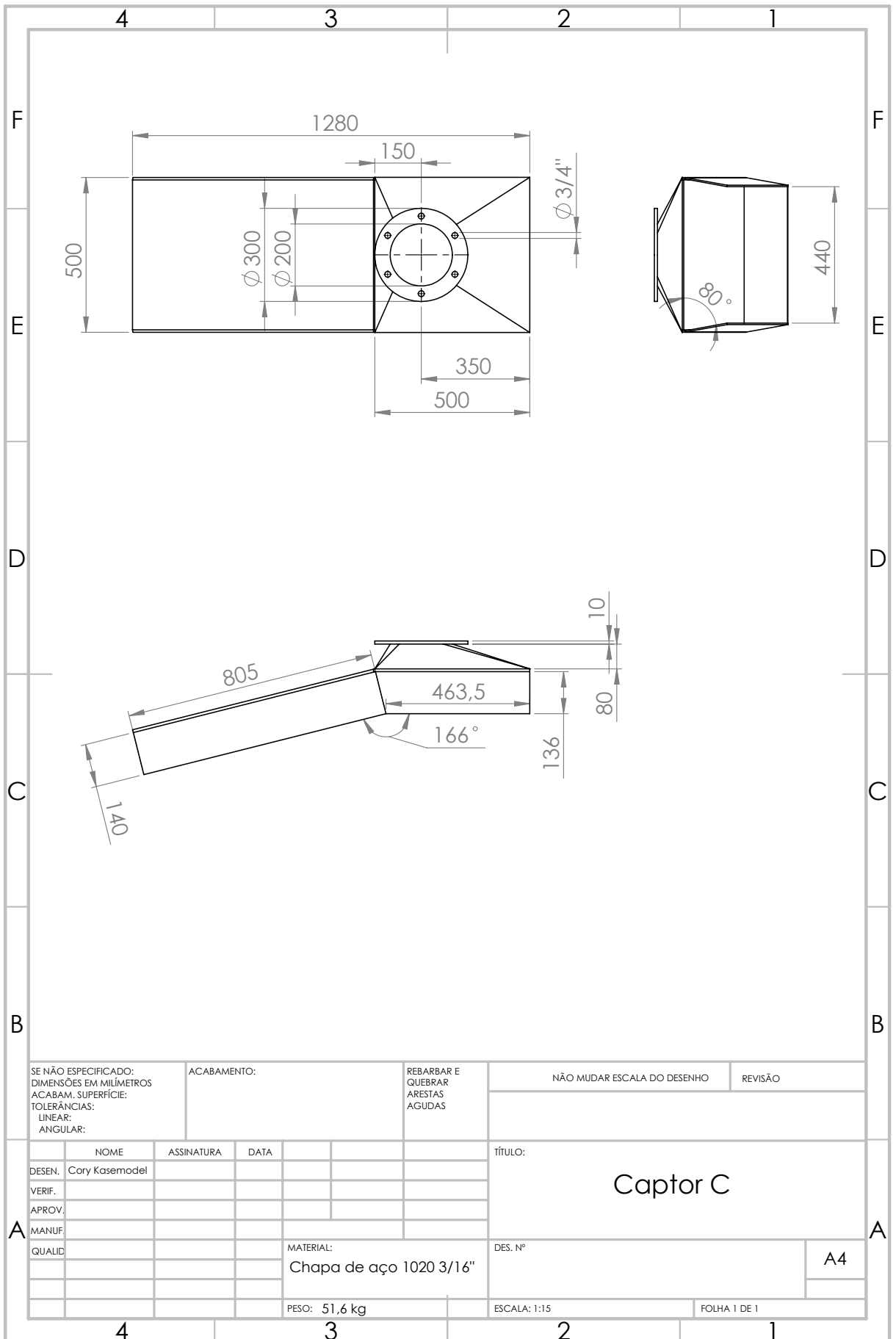
A4

PESO: 30kg

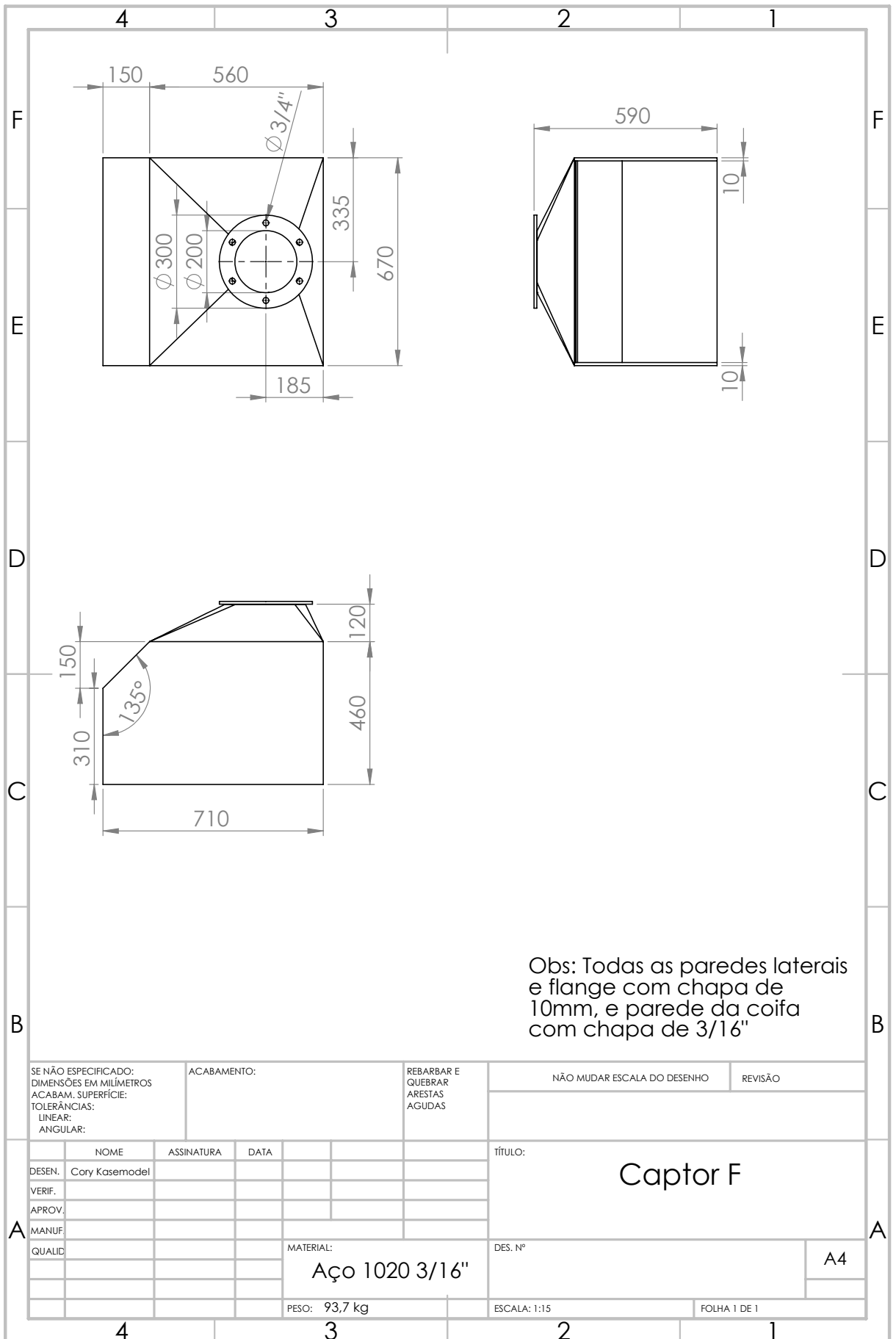
ESCALA 1:8

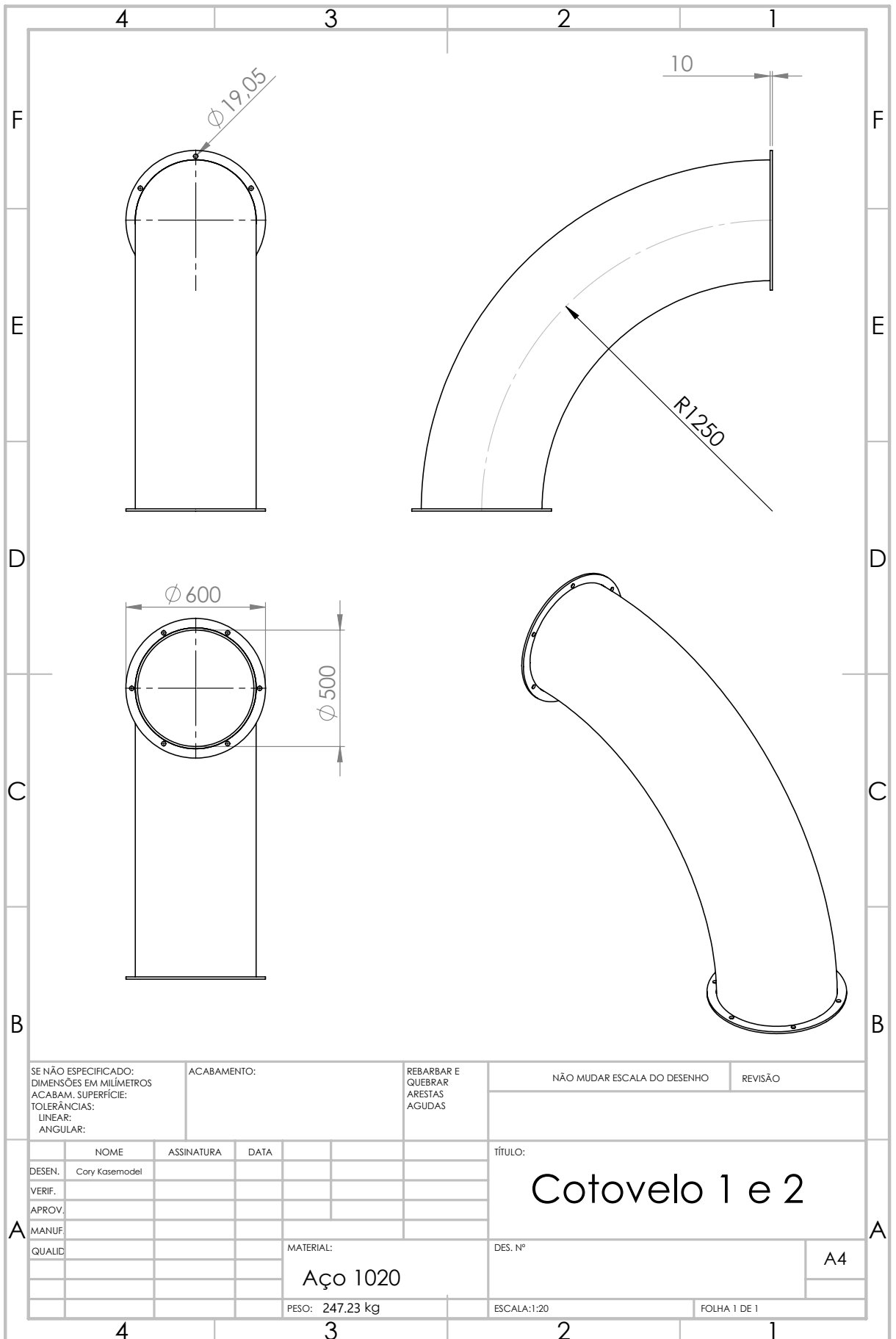
FOLHA 1 DE 1





SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:	REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS	NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO	REVISÃO
NOME	ASSINATURA	DATA		TÍTULO: <b>Captor C</b>	
DESEN. Cory Kasemodel					
VERIF.					
APROV.					
MANUF.					
QUALID.			MATERIAL: Chapa de aço 1020 3/16"	DES. Nº	A4
			PESO: 51,6 kg	ESCALA: 1:15	FOLHA 1 DE 1





SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAM. SUPERFÍCIE:  
TOLERÂNCIAS:  
LINEAR:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E  
QUEBRAR  
ARESTAS  
AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

	NOME	ASSINATURA	DATA
DESEN.	Cory Kasemodel		
VERIF.			
APROV.			
MANUF.			

TÍTULO:  
**Cotovelo 1 e 2**

MATERIAL:  
**Aço 1020**

DES. Nº

A4

PESO: 247.23 kg

ESCALA: 1:20

FOLHA 1 DE 1