

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS PATO BRANCO  
COMIN COORDENAÇÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL  
CURSO DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

Diego Augusto Boschi

Ivo José Ferreira de Moura

Marcos Conter

**Estudo e desenvolvimento de projeto para um sistema de reaproveitamento do ar aquecido nos fornos de fusão de alumínio.**

**PATO BRANCO**

**2011**

Diego Augusto Boschi  
Ivo José Ferreira de Moura  
Marcos Conter

**Estudo e desenvolvimento de projeto para um sistema de reaproveitamento do ar aquecido em fornos de fusão de alumínio.**

## **TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial, do curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Martinelli Jr.

**PATO BRANCO**

**2011**

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Diego Augusto Boschi  
Ivo José Ferreira de Moura  
Marcos Conter

### **Estudo e desenvolvimento de projeto para um sistema de reaproveitamento do ar aquecido em fornos de fusão de alumínio.**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em Manutenção Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, pela seguinte Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Luiz Carlos Martinelli Jr.  
Orientador

---

Prof. Dr. Sérgio Luís Ribas Pessa  
Primeiro Membro

---

Prof. MSc Valdir Celestino da Silva  
Segundo Membro

**Pato Branco, 2011**

Dedicamos este trabalho aos nossos pais, amigos, colegas de curso e de trabalho, professores e a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para o nosso desenvolvimento acadêmico, profissional e pessoal, colaborando prontamente para a elaboração e conclusão desta monografia.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus que nos concedeu força, coragem e determinação.

As nossas famílias pela compreensão ao longo desses três anos e meio, apoiando e acompanhando nossos passos nessa caminhada para alcançar os objetivos.

Aos professores que se empenharam na árdua tarefa de transmissão dos conhecimentos, aos colegas de curso e de trabalho que contribuíram com seus esforços para a realização das tarefas, ao nosso orientador, pelo empenho e dedicação.

A direção da empresa Alcast do Brasil Ltda. que possibilitou a oportunidade de realização e as condições para o desenvolvimento deste trabalho, abrindo suas portas e colaborando da melhor maneira possível.

## EPÍGRAFE

”Contemple o mundo com novo frescor, com os olhos de um principiante. Saber que você não sabe e estar disposto a admitir isso sem desculpas nem acanhamento é ser forte de verdade e preparar o terreno para aprender e progredir em qualquer atividade.”

Epitecto, A arte de viver.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Fornos de fusão de alumínio.....  | 9  |
| Figura 2 - Temperatura das paredes próximas à irradiação emitida pelos fornos....            | 10 |
| Figura 3 - Fluxo de gases do forno de fusão para a coifa.....                                | 11 |
| Figura 4 - Comportamento da temperatura nas saídas para exaustão da coifa.....               | 11 |
| Figura 5 - Energia em forma de calor na saída da coifa para a exaustão.....                  | 12 |
| Figura 6 - Captor tipo coifa comum ou clássica.....  | 15 |
| Figura 7 - Bocas de aspiração de ar.....   | 16 |
| Figura 8 - Formas de transmissão de calor por radiação e convecção nas paredes da coifa..... | 18 |
| Figura 9 - Radiação e convecção - Exemplos práticos.....                                     | 19 |
| Figura 10 - Layout de instalação.....  | 24 |
| Figura 11- Estudo inicial.....   | 26 |
| Figura12 - Temperaturas adotadas para simulação, baseando-se nas coifas existentes.....      | 27 |
| Figura 13 - Linhas de temperaturas.....  | 28 |
| Figura 14 - Linhas de velocidades.....   | 29 |
| Figura 15 - Linhas de pressão.....   | 30 |
| Figura 16 - Transições e curvas de saída da coifa para o sistema de exaustão.....            | 31 |
| Figura 17 - Estrutura da coifa (em cantoneira).....  | 31 |
| Figura 18 - Dimensões finais da coifa.....   | 32 |

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

|                |  |
|----------------|--|
| °C             | Graus Celsius (unidade de temperatura).              |
| cfm            | Pés cúbicos por minuto (unidade de medida de vazão). |
| #              | Número indicativo de espessura de chapa.             |
| ft             | Pés (unidade de medida de distância).                |
| T              | Temperatura.   |
| Pa             | Pascal [N/m <sup>2</sup> ] (unidade de pressão).     |
| ASTM           | American Society for Testing and Materials.          |
| BPF            | Óleo combustível com baixo ponto de fulgor.          |
| Flir ThermaCAM | Marca de câmera termográfica.                        |



## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>1.1. JUSTIFICATIVA.....</b>  | <b>13</b> |
| 1.1.1. Objetivo geral.....  | 13        |
| 1.1.2. Objetivos específicos.....                                     | 13        |
| <b>2. FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS.....</b>                                | <b>14</b> |
| 2.1. Captor.....  | 14        |
| 2.2. Tipos de coifas.....   | 15        |
| 2.3. Materiais de fabricação.....                                     | 17        |
| 2.4. Acabamento superficial.....                                      | 17        |
| <b>3. TRANSFERÊNCIAS DE CALOR.....</b>                                | <b>18</b> |
| 3.1. Transmissão de calor por meio de radiação.....                   | 18        |
| 3.2. Transmissão de calor por convecção.....                          | 19        |
| <b>4. PROJEÇÃO.....</b>   | <b>20</b> |
| <b>4.1. O que se pode fazer com o SolidWorks Flow Simulation.....</b> | <b>20</b> |
| 4.1.1. Análise de Transferência de calor.....                         | 20        |
| 4.1.2. Tipos de fluidos e fluxos.....                                 | 21        |
| 4.1.3. Configurações iniciais.....                                    | 21        |
| 4.1.4. Condições de limite.....                                       | 22        |
| 4.1.5. Entidades de caixa preta.....                                  | 22        |
| 4.1.6. Exibição de resultados.....                                    | 23        |
| <b>4.2. Processos para o desenvolvimento do projeto da coifa.....</b> | <b>23</b> |
| 4.2.1. Descrição das figuras (11 a 15).....                           | 25        |
| <b>4. CUSTOS.....</b>   | <b>33</b> |
| <b>5. CONCLUSÃO.....</b>  | <b>34</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BLIOGRÁFICAS.....</b>                                  | <b>35</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Há uma preocupação mundial quanto à utilização de combustíveis não renováveis. As empresas buscam ter uma melhor eficiência energética, reduzindo o consumo de combustível para uma mesma produção. A essas melhorias nomina-se aumento de produtividade.

Paralelo a isto, e na mesma proporção de preocupação mundial há a necessidade de se melhorar o ambiente de trabalho em muitas empresas e nos mais variados ramos de atuação.

A figura 1 mostra as instalações atuais, podem-se observar dois fornos de fusão, suas respectivas coifas, tubulações de exaustão, mais ao fundo, os exaustores responsáveis pela extração de calor do ambiente.



Figura 1 - Fornos de fusão de alumínio.

Com o auxílio de uma câmera termográfica (*Flir ThermoCAM*) obteve-se imagens onde demonstrou que o piso apresentava temperatura em torno dos 50°C, também alta temperatura nas paredes, como nos mostra a figura 2.

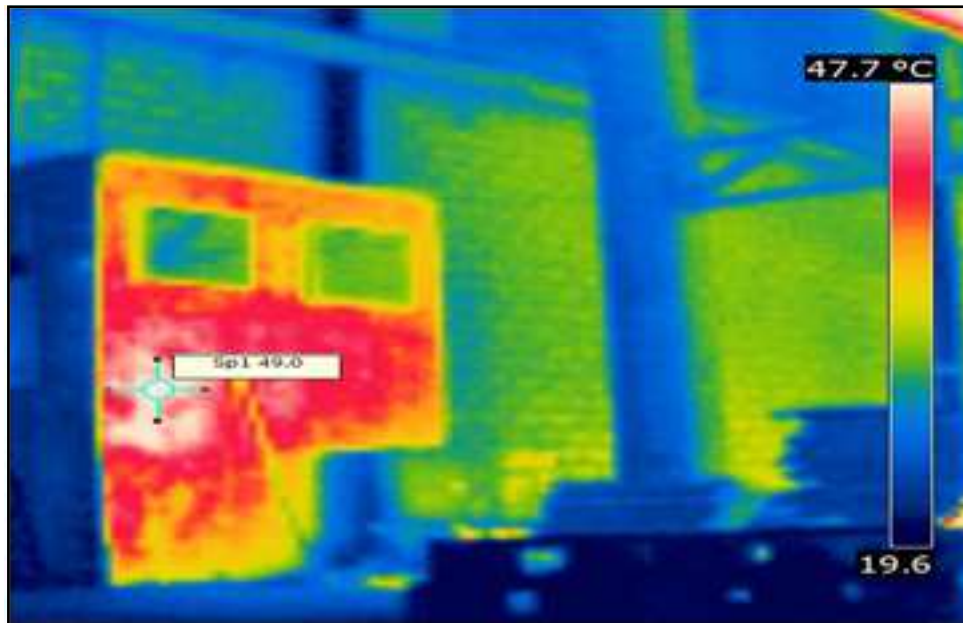


Figura 2 – Temperatura das paredes próximas à irradiação emitida pelos fornos.

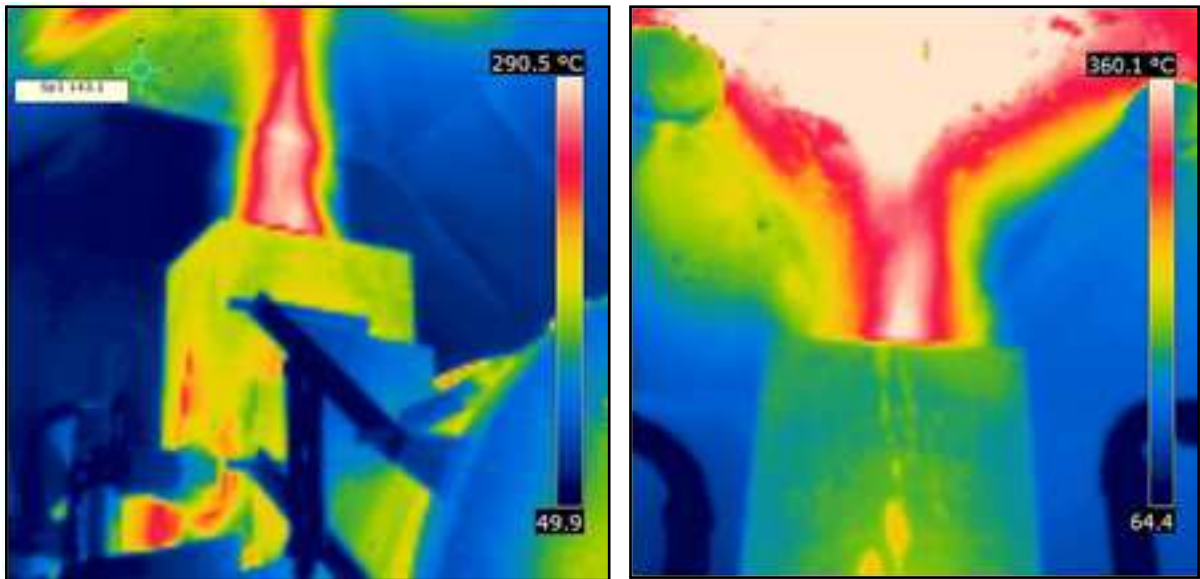
A empresa, onde se desenvolveu o trabalho, foi a Alcast Brasil Ltda., unidade matriz localizada na cidade de Francisco Beltrão- PR, que atua na área de fundição e laminação de alumínio.

O Trabalho de diplomação (TD) foi desenvolvido buscando-se criar um sistema para reaproveitamento do calor que possa ser interessante para a empresa como retorno financeiro e na forma de melhoria das condições no ambiente de trabalho, influenciando na redução de consumo de combustível utilizado no processo de fundição do alumínio e abrindo espaço para o desenvolvimento de estudos futuros.

No processo de fusão do alumínio, os fornos utilizam combustível fóssil (óleo BPF), esses fornos atingem 780°C em seu interior e mesmo com as paredes isoladas com material cerâmico, a superfície externa em chapa metálica, emite radiação de calor para o meio externo.

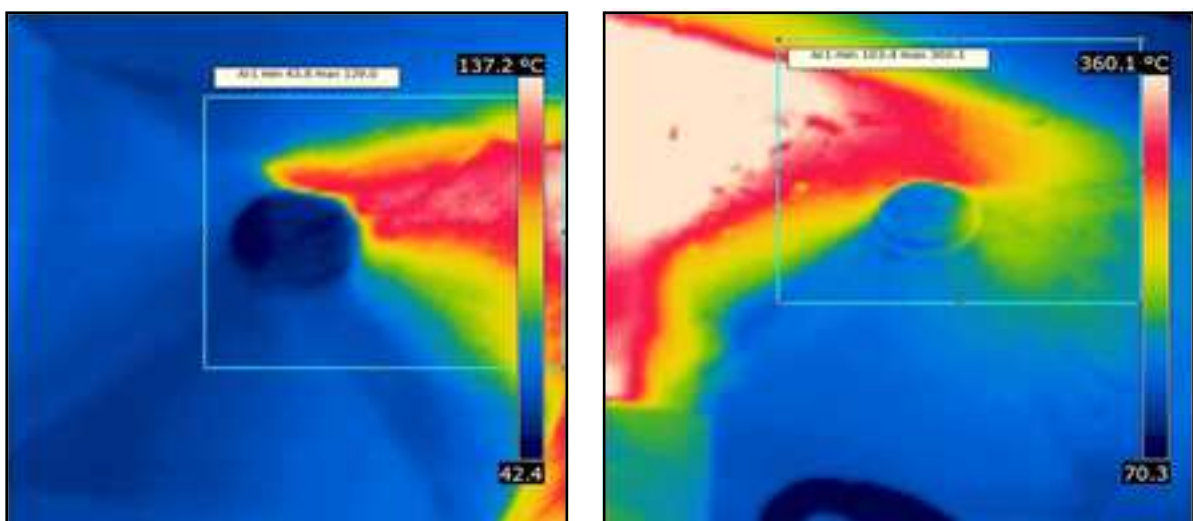
A grande massa de ar aquecido provém da chaminé, localizada na parte posterior a boca de alimentação do forno, ou seja, parte traseira do forno, essa chaminé faz uma ligação direta entre os gases no interior do forno e o meio externo.

Nas figuras 3a e 3b observa-se o fluxo de gases oriundos do forno que chegam à superfície interna da coifa. É o ponto que se registrou a maior temperatura.



Figuras 3a e 3b – Fluxo de gases do forno de fusão para a Coifa.

A temperatura máxima indicada na imagem (360°C) é devido à limitação da câmera termográfica utilizada. Pode-se observar nas figuras 4a e 4b que a temperatura não é constante em toda a parte superior, na saída da coifa para os dutos de exaustão, também não há temperatura uniforme em todo o corpo da coifa, como se pode verificar na Figura 12.



Figuras 4a e 4b - Comportamento da temperatura nas saídas para exaustão da coifa.

Sobre o forno há uma coifa interligada ao sistema de exaustão através de tubulação, onde os gases quentes são captados juntamente com resíduos provenientes do processo na forma de fumaça.

Os gases quentes arrastam consigo grande parte da energia gerada e rejeitada pelos fornos, inerente ao processo de fusão, porém, parte dessa energia fica no ambiente, por esse motivo são necessários ventiladores e exatores auxiliares (ver Figura 1), que tem a função de retirar essa massa de ar quente para a atmosfera, renovando o ar no ambiente de trabalho.

Na figura abaixo, pode-se observar a tubulação de saída para a exaustão, a energia em forma de calor que hoje é desperdiçada e que se pretende reutilizar.

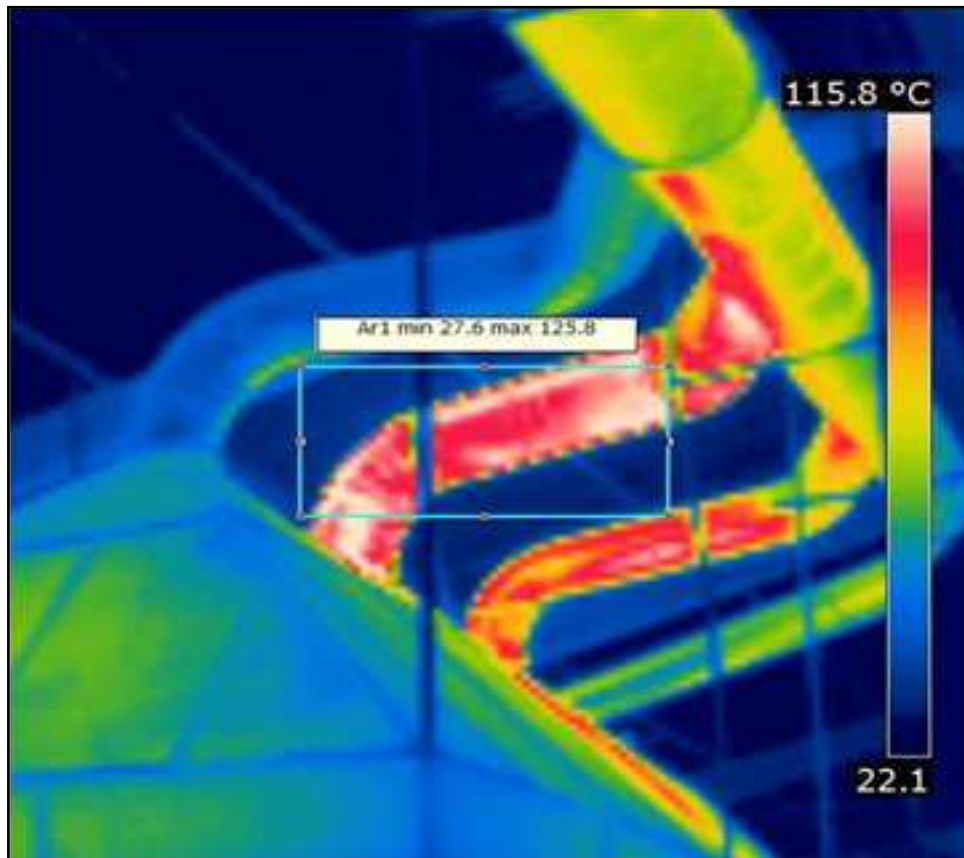


Figura 5 - Energia em forma de calor na saída da coifa para a exaustão.

## **1.1. JUSTIFICATIVA**

Na parte superior do prédio nota-se a existência de ventiladores e exaustores que e tem a função de criar uma corrente de ar, expulsando o máximo de ar quente possível para a atmosfera (Figura 1). Como resultado, há uma perda considerável de energia para a atmosfera, na forma de calor e elétrica, por consequência do acionamento de ventiladores e exaustores.

Entende-se que com o desenvolvimento de uma coifa especial, com paredes duplas, haverá menos calor sendo irradiado para o ambiente, pois o calor será arrastado por uma grande massa de ar, a mesma quantidade utilizada pelos queimadores, de maneira a isolar a parede externa, diminuindo a temperatura ambiente, que é uma das razões desse projeto. Com a utilização do ar aquecido no processo de queima do óleo BPF, pretende-se criar um sistema de combustão mais eficiente.

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Desenvolvimento do projeto de um equipamento que possa captar o máximo de calor possível, gerado através do processo de combustão e fusão do alumínio, e reaproveitá-lo no processo. Com a utilização desse sistema, possivelmente haverá menos calor sendo dissipado para o ambiente, diminuindo consideravelmente a sensação térmica. O ar aquecido, dependendo do volume e temperaturas disponíveis, poderá ser reaproveitado, além da sugestão principal a que se pretende destinar ou em várias etapas e/ou processos, como por exemplo:

- Aquecimento de matéria prima que segue para o forno;
- Aquecimento do óleo BPF a ser injetado no processo de queima.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

O produto final deste trabalho será o desenvolvimento do projeto de uma coifa semelhante às existentes, com a mesma função de captação dos resíduos na

forma de fumaça, porém com um diferencial, as paredes serão construídas com chapas duplas, projetadas para que o ar limpo (do ambiente) circule entre as chapas internas e externas entrando pela parte traseira inferior e sendo captada na parte superior traseira da coifa.

O ar será aquecido pelo contato com as chapas internas e externas que estão quentes, pretende-se direcionar esse ar aquecido para ser reaproveitado nos queimadores que promovem a mistura de ar + combustível.

Opta-se pelas aberturas, para entrada de captação do ar, na parte traseira da coifa porque há menor incidência da presença de fumaça e fuligem, oriundas do processo de combustão, estas permanecem, preferencialmente, na parte frontal do forno.

## **2. FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS**

### **2.1. Captor**

Segundo Macintyre (1990), captor é um dispositivo no qual, pela diferença de pressões entre o ar ambiente e o existente no captor, estabelece-se uma corrente para o interior do mesmo.

Para haver o escoamento é preciso que no interior do captor exista certa rarefação, isto é, um vácuo parcial ou depressão.

Devem ser consideradas duas velocidades:

- A velocidade de escoamento ao longo dos dutos;
- A velocidade segundo a qual o ar com as partículas, os vapores ou gases se deslocam do seu local de origem até serem sugadas pelo captor.

## 2.2. Tipos de Coifas

Segundo Macintyre (1990), a coifa comum só deverá ser utilizada se os produtos não forem tóxicos e os operadores não precisarem curvar-se sobre o tanque para desempenhar sua tarefa. Pode ser utilizada na indústria em mesas quentes, fervura de lavagens em tanques entre outros casos.

A vazão aspirada pelo captor é dada pela equação 1:

$$Q = 1,4.P.D.V \quad (1)$$

Sendo:

Q = Vazão aspirada [cfm].

P= perímetro do forno [ft].

V=velocidade de captura [ft/min].

D= altura da coifa acima do forno [ft].

A figura 6 mostra um captor tipo coifa:

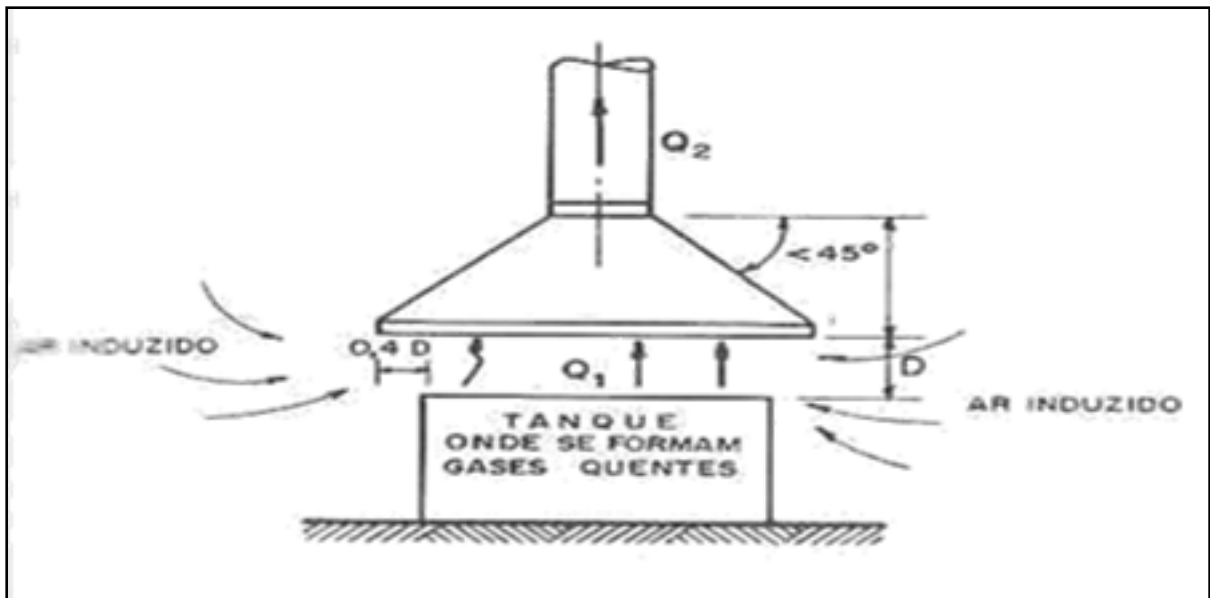


Figura 6 - Captor tipo coifa comum ou Clássica (canopy hoody).

Fonte: Macintyre (1990).



Quando a coifa fica acima de superfícies quentes, forma-se uma corrente ascensional de gases, ar, ou vapores quentes, e para que haja exaustão é necessário que a vazão aspirada pelo captor seja maior que a de ar quente, a fim de induzir o ar a entrar na coifa, ao invés de diluir os gases ou vapores que se pretende eliminar.

Segundo Macintyre, consideram-se dois casos:

- Coifas baixas, isto é, para  $D \leq 90$  cm.
- Coifas altas  $D \geq 90$  cm.

O captor tipo coifa colocado junto a um equipamento de um recinto realiza uma extração de ar ambiente de modo que de fora do recinto o ar irá penetrando por janelas e portas, à medida que vai sendo exaurido, estabelece-se no recinto, uma ventilação geral, poderá haver, em alguns casos, necessidade de uma instalação de exaustores localizados para poder retirar o calor ambiente.

O ar dirige-se para aboca de aspiração, vindo de todas as direções. As linhas traçadas normalmente a essas superfícies são as trajetórias ou “linhas de fluxo” de partículas, segundo o plano considerado. A figura 7 mostra que a velocidade de captura decresce com a distância da partícula em relação à boca de entrada do captor.

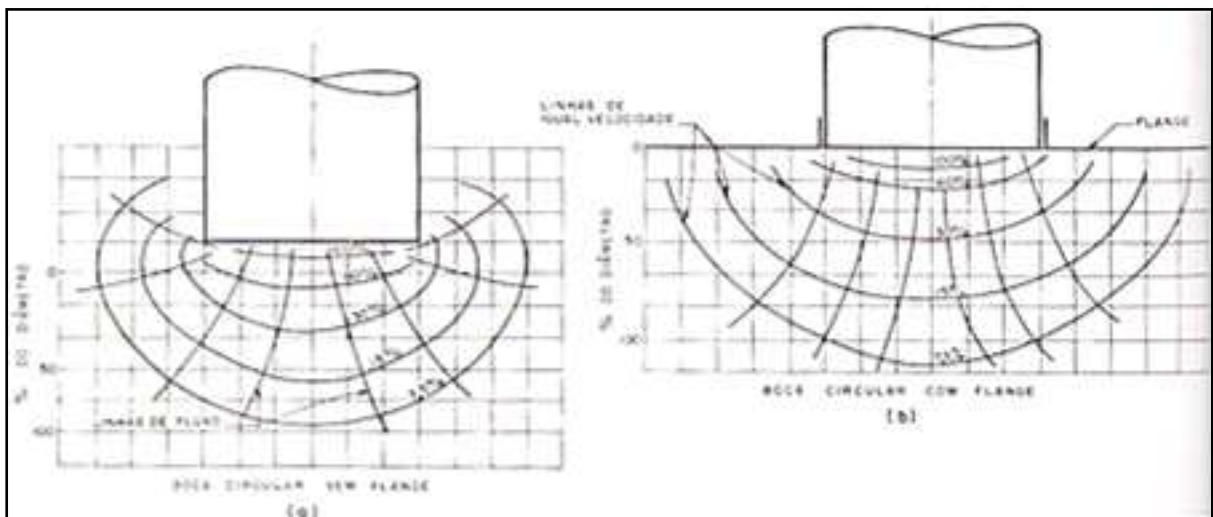


Figura 7 - Bocas de aspiração de ar.

Fonte: Macintyre (1990).

### **2.3. Materiais de fabricação**

Para a construção da coifa será utilizado aço carbono ASTM A-36. Optou-se pela utilização desse aço devido a este ser o aço mais utilizado na fabricação de chapas e perfis soldados ou laminados, especificados pela *ASTM*, por sua alta resistência a temperatura, custo e disponibilidade.

Quando se necessita de maior resistência mecânica à temperatura, o limite máximo de resistência para o aço carbono é alcançada na temperatura de 250°C. Acima de 400°C o limite de resistência diminui rapidamente com o aumento de temperatura. As deformações por fluência iniciam-se temperatura a partir de 370°C.

### **2.4. Acabamento superficial**

Para a pintura da coifa optou-se por tintas resistentes a temperaturas de 500 a 600°C, por ter maior capacidade de absorção de calor, a tinta *ATR-650* (sigla do produto da empresa Revestsul) é uma tinta monocomponente à base de resinas de silicone, pigmentos especiais, solventes e aditivos de ótima secagem e aderência, formando um filme com características estéticas, protetivas e anticorrosivas, sendo indicada para aplicação direta sobre metais ferrosos.

É uma tinta de alto desempenho, devido a sua ótima resistência ao calor para temperaturas de até 650°C, boa resistência química e mecânica. Esta tinta é muito utilizada na pintura de máquinas, estruturas e equipamentos que estarão sujeitos à alta temperatura.

Sugere-se que a superfícies internas da coifa sejam pintadas na cor preta e as externas, na cor alumínio.

A cor preta, em função de uma melhor absorção da radiação emanada do processo. A cor externa, alumínio, em função de padronização da empresa e por possibilitar melhor iluminação no setor.

### 3. TRANSFERÊNCIAS DE CALOR

Com o desenvolvimento da coifa especial, com paredes duplas, haverá aquecimento das chapas internas (coifa inferior), que serão aquecidas por convecção e radiação.

Na figura 8, observa-se que a coifa interna é aquecida pela radiação e gases (ar quente) proveniente do forno de alumínio. A coifa é aquecida ( $T_{\text{parede}}$ ), com temperatura elevada. O ar, ao escoar entre as chapas é aquecido por convecção.

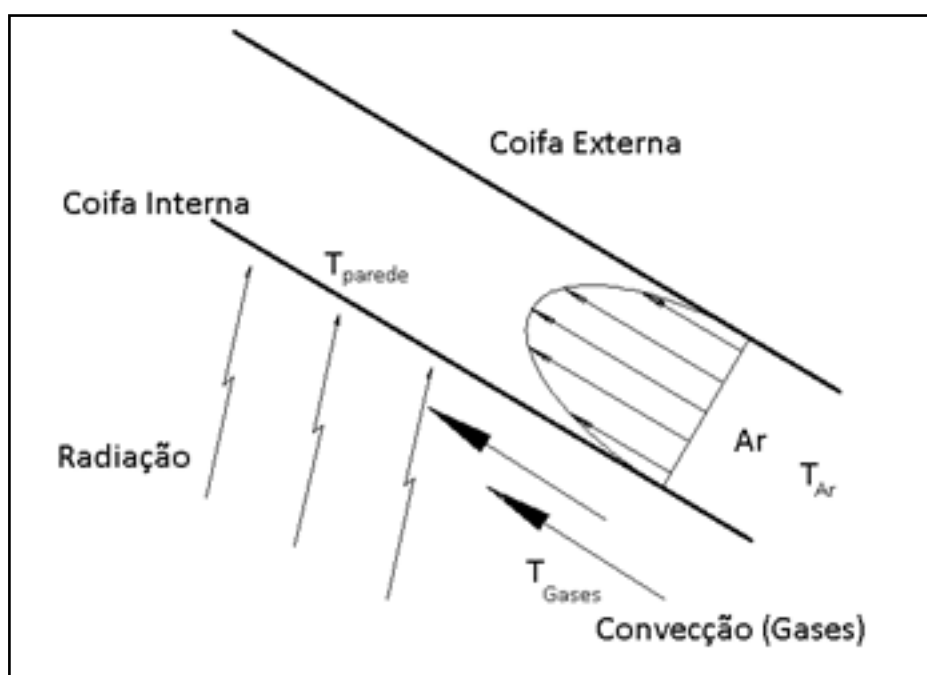


Figura 8 - Forma de transmissão de calor por radiação e convecção nas paredes da coifa.

#### 3.1. Transmissão de calor por meio de radiação

A propagação de calor por radiação é a emissão de calor como luz invisível. Estes raios viajam pelo ar até atingirem algum material que os absorva. Como resultado, o material receptor aquece.

Podem-se usar escudos de calor para prevenir a radiação do calor em determinadas direções. Caso aproximemos a mão de um material muito quente, como por exemplo, uma lâmpada de filamento ou uma fogueira, percebe-se a transferência de energia ocorrer por radiação (Figura 9).

### 3.2. Transmissão de calor por convecção

Nos gases e nos líquidos o calor se propaga principalmente por convecção, um processo de transferência de energia em que ocorre deslocamento de matéria de uma região para outra. Quando um líquido (ou gás) é aquecido, sua densidade diminui em relação à densidade das partes menos quentes.

O material aquecido sobe, deslocando o que está com temperatura menor. Esse deslocamento cria correntes no interior do líquido (ou do gás), denominadas correntes de convecção ou correntes térmicas.

Após a absorção da radiação, a chapa de aço aquecida, transmite calor para o ar que flui entre as chapas por convecção.

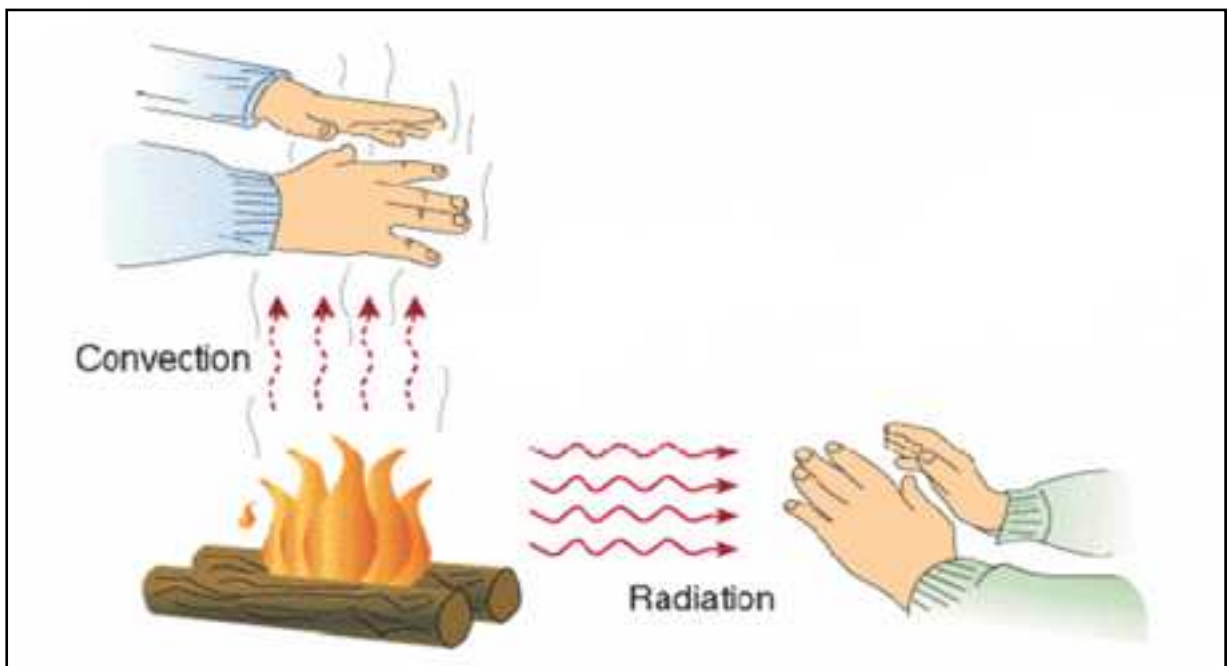


Figura 9 – Radiação e convecção - Exemplos práticos.

## 4. PROJEÇÃO

Na empresa existem dois sistemas similares em funcionamento, facilitando o projeto da coifa de parede dupla.

O fato de estarem em pleno funcionamento possibilitou a aquisição de dados por meio de uma câmera termográfica, dados estes colocados em um software para simulação, utilizou-se o software *Flow Works*, ferramenta do *Solid Works* para simulação de transferência de calor.

### 4.1. O que se pode fazer com o *SolidWorks Flow Simulation*

Com o produto *SolidWorks Flow Simulation* completo estão disponíveis as seguintes funcionalidades avançadas [*Help SolidWorks*].

#### 4.1.1. Análise de transferência de calor

- Calcular o fluxo de calor na aproximação de paredes adiabáticas ou em corpos sólidos.
- Especificar diferentes tipos de fontes de calor.
- Atribuir aos modelos uma ampla gama de materiais sólidos que são armazenados no banco de dados de engenharia.
- Definir seus próprios materiais, atribuindo valores às suas propriedades físicas, como condutividade térmica, capacidade de calor, etc.
- Calcular a transferência de calor por radiação. O banco de dados de engenharia contém superfícies radiativas, como *Blackbody Wall* (parede de corpo negro), *Whitebody Wall* (parede de corpo branco), *Grey Body* (corpo cinza) com um albedo arbitrário e uma ampla variedade de superfícies de materiais reais.

### 4.1.2. Tipos de fluidos e fluxos

- Analisar o fluxo de até dez fluidos de diferentes tipos (líquidos, gases/vapor, gases reais, líquidos não-newtonianos e líquidos compressíveis. O banco de dados contém inúmeros fluidos com propriedades predefinidas.
- Analisar um problema com múltiplos fluidos de diferentes tipos, contanto que você separe as áreas dos diferentes fluidos em subdomínios.
- Analisar a dissolução mútua dos fluidos. Os fluidos misturados precisam ser do mesmo tipo.
- Definir seus próprios fluidos.

### 4.1.3. Configurações iniciais

Antes de iniciar os cálculos, o *Flow Simulation* oferece configurações adicionais. Se você definir os valores da condição inicial próximos dos parâmetros antecipados finais, isso melhora o desempenho do cálculo.

- **Parâmetros iniciais do fluido.** Você pode definir estes parâmetros globalmente. Nas montagens você pode defini-los localmente, para uma submontagem ou peça individual.
  - Temperatura
  - Pressão
  - Velocidade do fluxo
  - Composição do fluido
- **Temperatura inicial.** Defina a temperatura inicial de um sólido.
- **Parâmetros iniciais da malha.** Defina os parâmetros adicionais que controlam como a análise resolve a interface sólido/fluido, faces curvas, canais estreitos, pequenos recursos sólidos, etc. Você pode aplicar estas configurações globalmente ou, nas montagens, a submontagens ou peças individuais.

#### 4.1.4. Condições de limite

Você pode definir as seguintes condições de limite.

##### Para entrada e saída:

- Volume da massa
- Volume do fluxo
- Velocidade
- Número de correspondência
- Pressão estática
- Pressão total
- Pressão ambiente
- Pressão da parede

##### Somente para entrada:

- Perfil de velocidade, turbulência ou vetor do fluxo
- Temperatura
- Composição (para montagens)
- Parâmetros de turbulência

#### 4.1.5. Entidades de caixa preta

Para reduzir o tempo de análise, o *Flow Simulation* contém várias "caixas pretas" pré-construídas. As caixas pretas contêm tabelas de parâmetros de entrada e saída integrais que são incluídas nos cálculos. O *Flow Simulation* não as resolve durante a análise.

- **Ventilador.** Um ventilador idealizado que está totalmente definido por sua curva de ventilação, o que significa que a dependência tabulada do fluxo do volume em função da queda de pressão. Você pode usar o ventilador na entrada, na saída ou internamente. O banco de dados contém curvas de ventilação para uma seleção de ventiladores industriais. Você pode também definir curvas de ventilação personalizadas.
- **Dissipador de calor.** Um ventilador idealizado combinado com o dissipador de calor. O *Flow Simulation* define o dissipador de calor pela curva de ventilação e a curva de resistência a calor.
- **Resfriador termoelétrico.** Um dispositivo de resfriamento *Peltier* idealizado definido pela diferença máxima de temperatura que ele pode obter.

#### 4.1.6. Exibição de resultados

O *Flow Simulation* contém os seguintes recursos para exibição dos resultados:

|                         |                      |  |
|-------------------------|----------------------|--|
| Plotagens               | Animações            | Estudos de partículas                    |
| Plotagens de perfil 3D  | Trajétórias de fluxo | Relatórios                               |
| Plotagens de corte      | Metas                | Parâmetros de ponto, superfície e volume |
| Plotagens de superfície | Superfícies ISO      |  |
| Plotagens XY            |                      |  |

Você pode também obter o valor final de qualquer parâmetro físico, incluindo vazão, queda de pressão etc., em um determinado ponto; ou o valor máximo, mínimo ou médio, ou ainda a média ponderada em uma superfície ou área de volume.

#### 4.2. Processos para o desenvolvimento do projeto da coifa

Na Figura 10, pode-se observar o desenho das instalações na empresa, onde foram tomadas todas as medidas tanto da parte civil (prédio), quanto da parte de equipamentos. A direita há os fornos de fusão existentes e a esquerda, as coifas a serem instaladas sobre os fornos de fusão.

Pode-se observar que os fornos de fusão tem a possibilidade de inclinar-se para a calha de transferência central, entre os fornos. Esse deslocamento foi considerado para se dimensionar a coifa.

Sobre a coifa há a Ponte Rolante, que por sua vez, desloca-se sobre as tubulações de exaustão, a condição de deslocamento transversal e longitudinal deve ser considerada e não pode haver interferência.

Na parte traseira da coifa há tubulação de exaustão, também sendo respeitado seu espaço.



Para todas as condições acima foram considerados os espaços de movimentação disponível, na ocasião da montagem do equipamento.

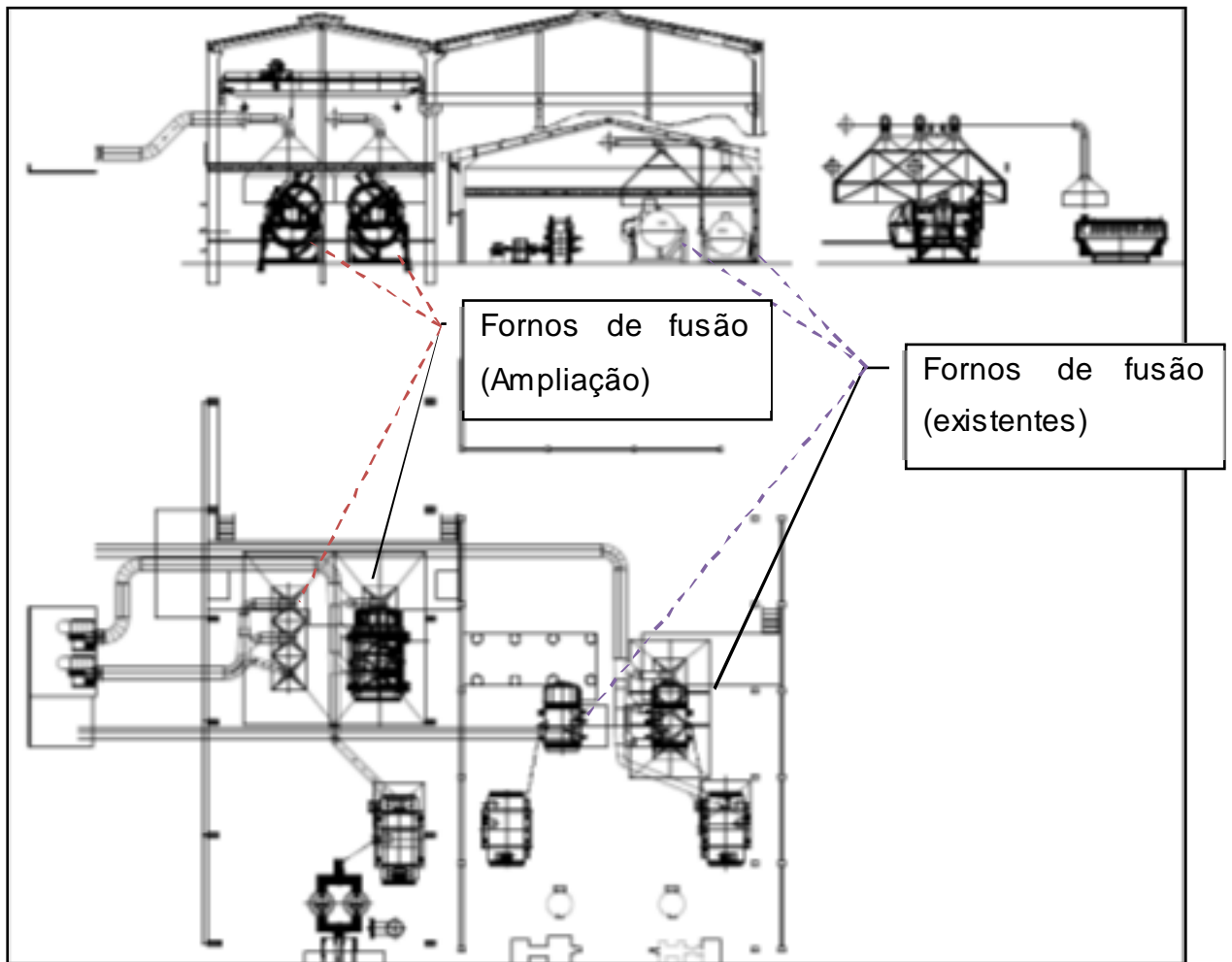


Figura10 - Layout de instalação (Planta, Elevação e Vista Lateral Esquerda).

#### 4.2.1. Descrição das figuras (11 a 15).

Na Figura 11, pode-se verificar a primeira proposta estudada.

Inicialmente o projeto da coifa seria executado com quatro saídas de ar aquecido, aproveitando as duas câmaras formadas na parte superior, porém, notou-se que as saídas posicionadas sobre a parte frontal do forno estavam com temperatura mais baixa e representaria menor eficiência na condução do calor até os ventiladores dos queimadores.

As Figuras 12 a 15 apresentam resultados da simulação realizada no software *Flow Works*.

Na Figura 12, podem-se verificar as temperaturas que foram consideradas nas chapas, levando-se em consideração o equipamento em operação, ou seja, com o forno em funcionamento.

As temperaturas indicadas referem-se às temperaturas das chapas das coifas existentes, tomadas “in loco”, com o auxílio da máquina termográfica.

Tomaram-se como base essas temperaturas para realizar as simulações no software *Flow Works*.

Foi possível simular, em função da vazão (2.000 m<sup>3</sup>/min), geometria, espaço disponível entre as paredes, localização das captações de ar, em qual temperatura, pressão e velocidade estará disponível o volume de ar mencionado.

Na Figura 13, apresenta-se a simulação de temperatura e fluxo de ar, com escala de temperatura ( $T_{max} = 100^{\circ}C$ ).

O fluxo normal do ar entre as paredes da coifa, levando-se em consideração apenas as janelas de entrada de ar, localizadas na parte traseira inferior da coifa.

Não foi considerado, nesta simulação, o deslocamento do ar aquecido pela radiação do forno nem por convecção (diferença de densidade – efeito chaminé).

Observa-se uma temperatura máxima (do ar) próxima de 100°C na parte mais elevada da estrutura da coifa.

A temperatura nos dutos de alimentação dos queimadores (resultado final) pode-se considerar aproximadamente 90°C.

Como a temperatura de entrada foi considerada 35°C, obteve-se um ganho de temperatura de 55°C para todo esse volume de ar.

Na Figura 15, pode-se verificar o comportamento da pressão entre as paredes da coifa e tubulação.

Verifica-se uma baixa queda de pressão, da ordem de 25,59 Pa, a qual não influencia de maneira significativa a eficiência dos ventiladores dos queimadores.

As chapas que foram utilizadas para a fabricação desta coifa são em aço carbono ASTM A-36 #14 (espessura 1,90mm), exceto as transições e curvas da tubulação de exaustão, que serão fabricadas em chapa #12 (2,65mm), conforme Figura 16.

Na estrutura de sustentação da carcaça será utilizada cantoneira em aço carbono ASTM A-36 1.1/4" x 1.1/4" x 1/8" (31,75 x 31,75 x 3,175 mm), devidamente jateadas e pintadas, preferencialmente com a mesma tinta de resistência a alta temperatura.

Na Figura 17 pode-se verificar o desenho da parte estrutural da coifa.

Na Figura 18, observam-se as dimensões principais para fabricação da coifa. As tubulações de saída para exaustão (3x) têm diâmetro 530 [mm]. As tubulações de saída de ar aquecido tem diâmetro de 200 [mm].

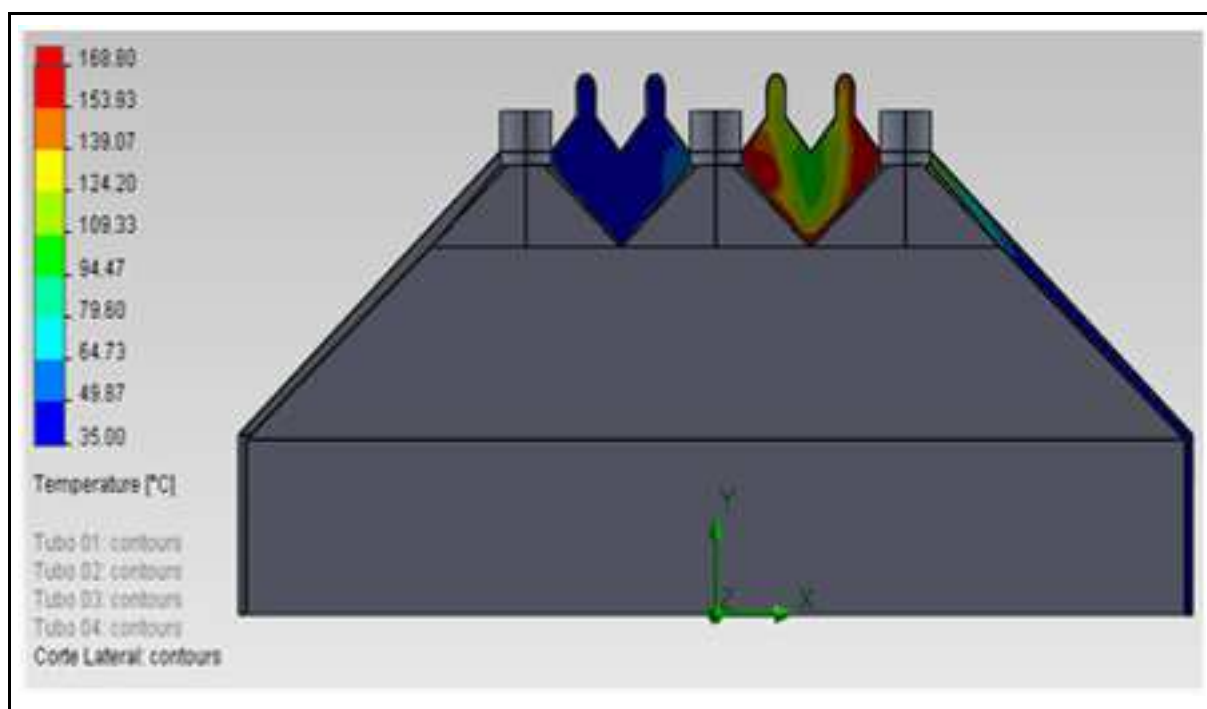


Figura 11 - Estudo inicial.

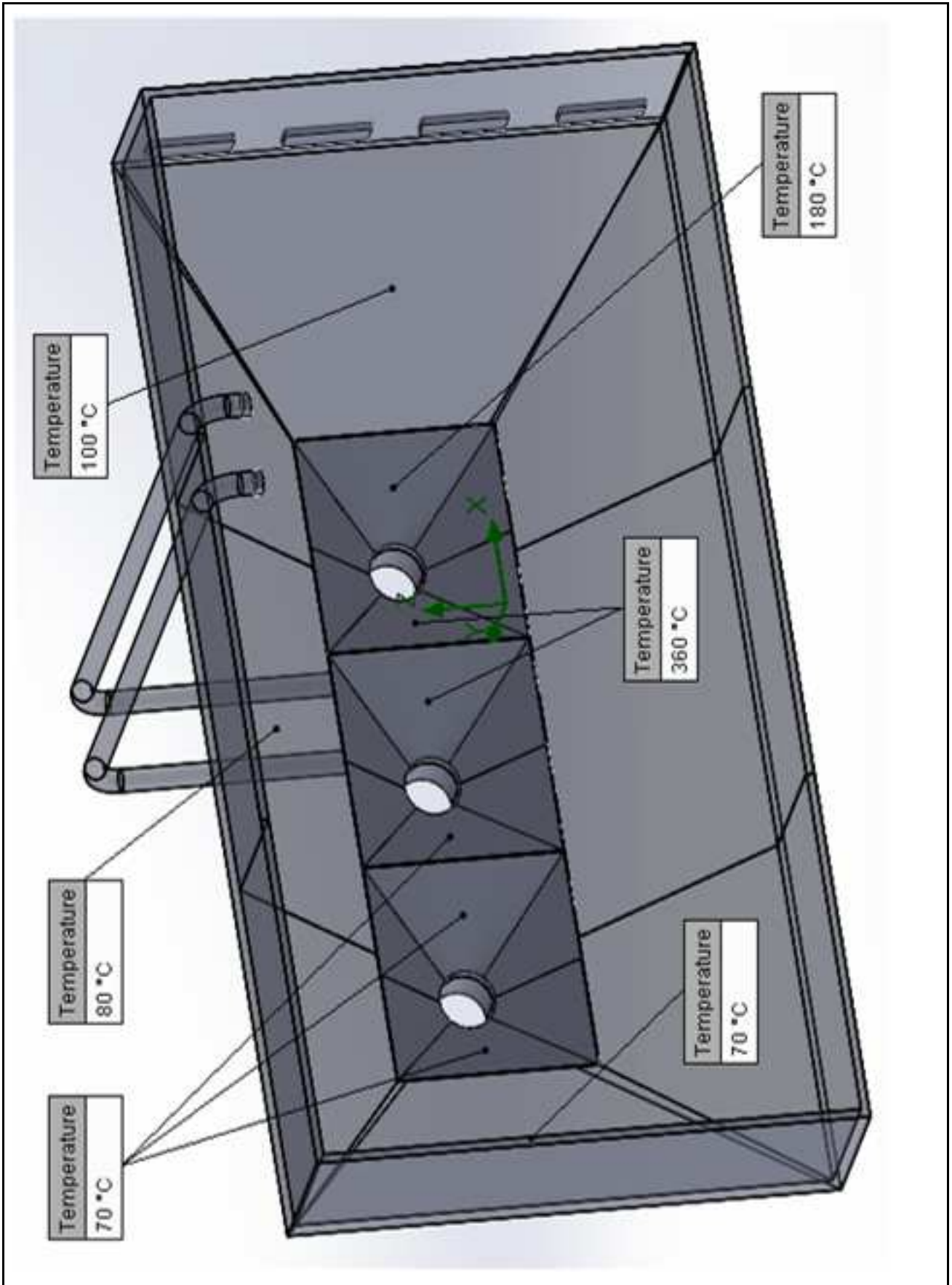


Figura 12 – Temperaturas adotadas para simulação, baseando-se nas coifas existentes.

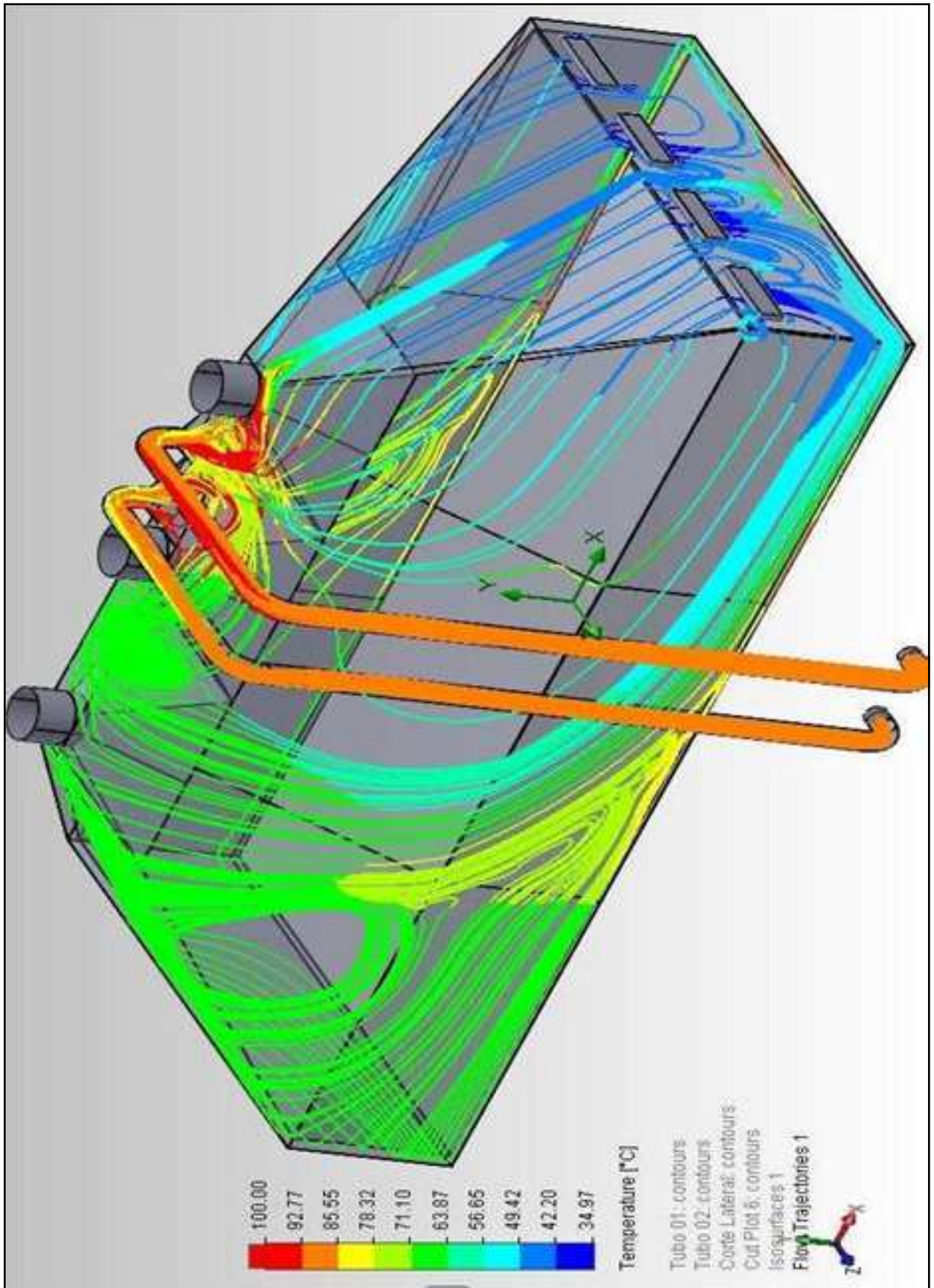


Figura 13 - Linhas de Temperaturas

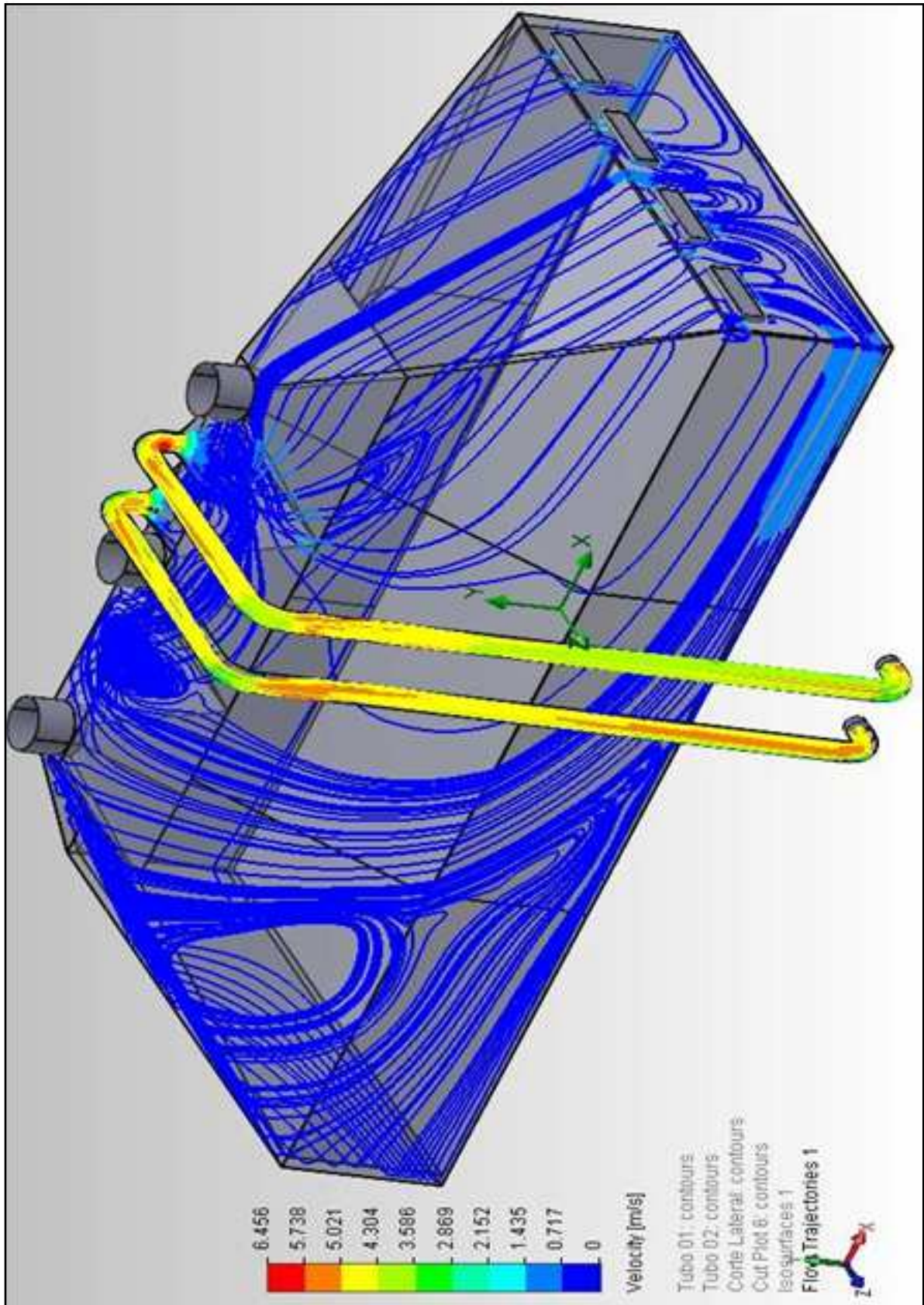


Figura 14 – Linhas de Velocidades

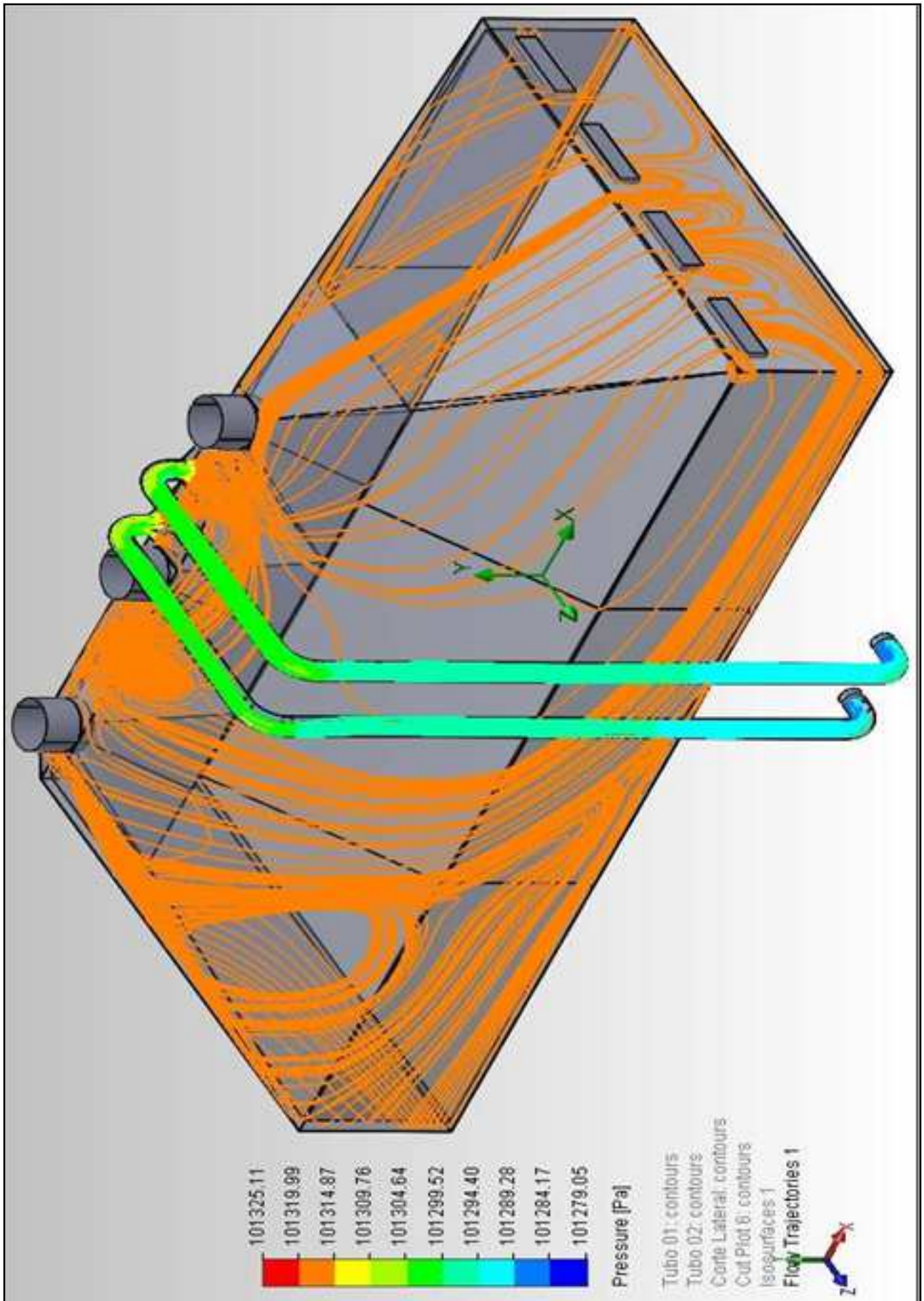


Figura15 – Linhas de Pressão.

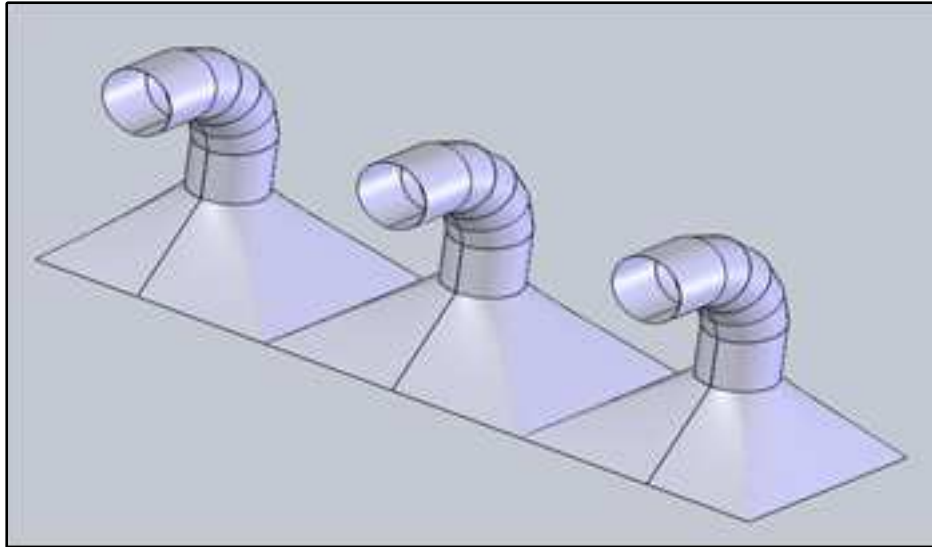


Figura 16 – Transições e curvas de saída da coifa para o sistema de exaustão.

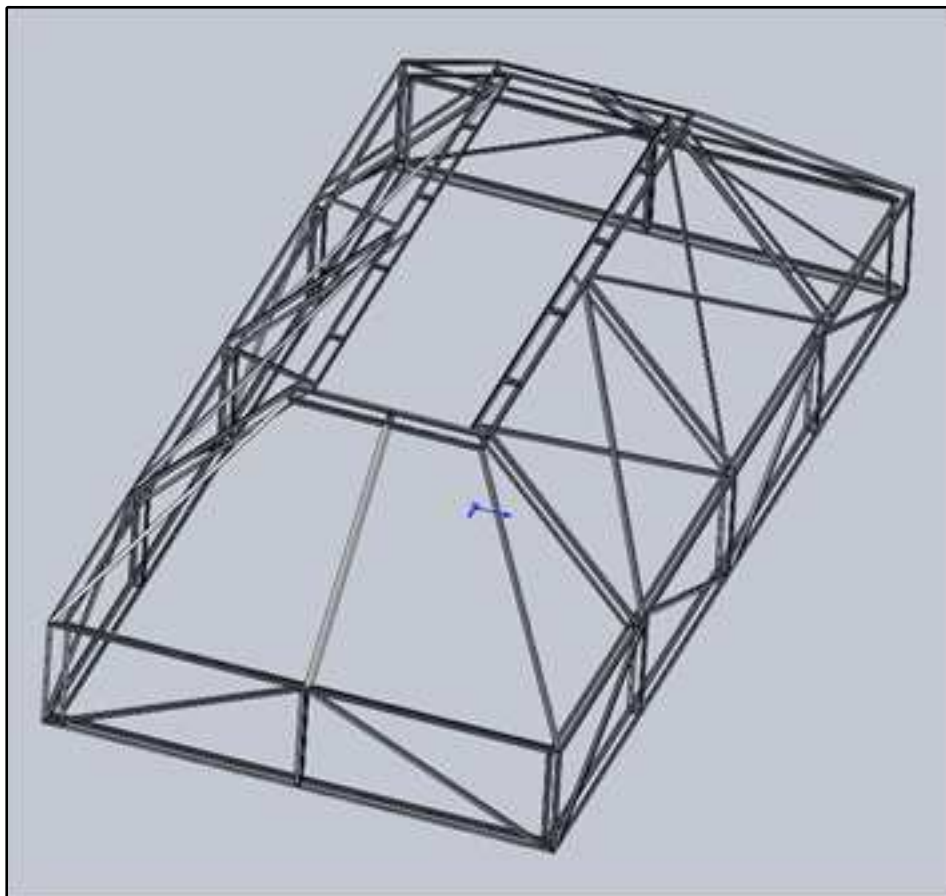


Figura 17 - Estrutura da coifa (em cantoneira).



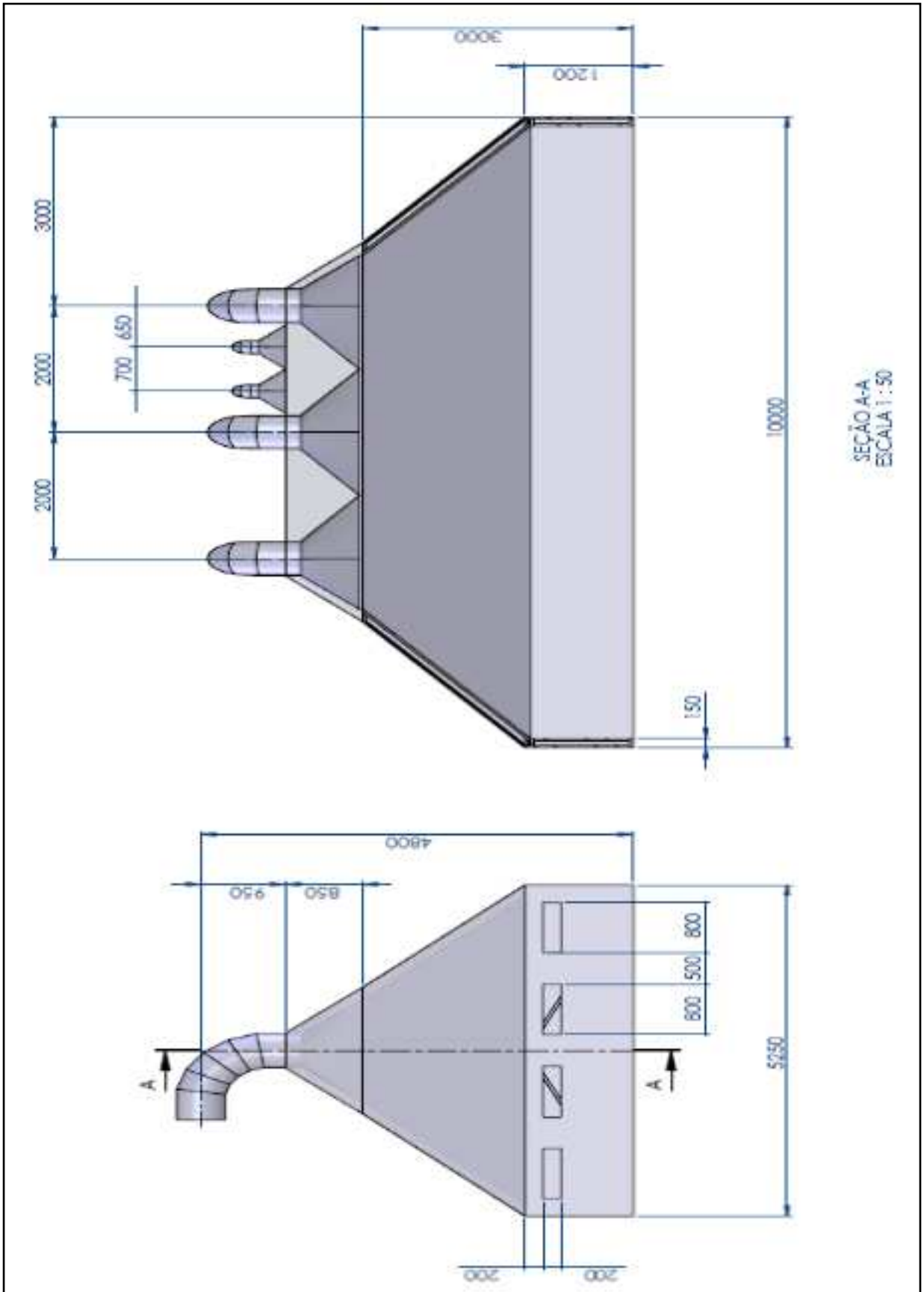


Figura 18 – Dimensões finais.

## 5. CUSTOS

| ITEM         | DESCRIÇÃO                  | QUANTIDADE | UNIDADE        | VALOR UNITÁRIO | VALOR TOTAL          |
|--------------|----------------------------|------------|----------------|----------------|----------------------|
| 1            | Chapas/cantoneiras         | 3900       | kg             | R\$ 3,00       | R\$ 11.700,00        |
| 2            | Tinta (Alta temperatura)   | 44         | galões [3,6 l] | R\$ 148,00     | R\$ 6.512,00         |
| 3            | Mão de obra (profissional) | 1          | mês            | R\$ 3.400,00   | R\$ 3.400,00         |
| 4            | Mão de obra (auxiliar)     | 1          | mês            | R\$ 1.360,00   | R\$ 1.360,00         |
| <b>TOTAL</b> |                            |            |                |                | <b>R\$ 22.972,00</b> |

A tabela com os custos acima, foi concebida, levando-se em consideração os seguintes parâmetros:

1 – A massa final da coifa (3.900 kg) é fornecida de acordo com o software (Solid Works) e o preço (R\$ 3,00/kg) é o valor médio, conforme as compras mais recentes realizadas pela empresa (Alcast do Brasil Ltda.).

2 – Conforme informações no site da empresa Revestsul, o rendimento médio da tinta resistente à alta temperatura é de 35 m<sup>2</sup>/galão (3,6 l) / demão. O software Solid Works também fornece a área da superfície (500 m<sup>2</sup>). Consideram-se três demãos nas paredes internas e externas da coifa, logo:  $((500 \times 3) / 35) = 43 + 1$ ; Total: 44 galões. O valor de R\$ 148,00 também é baseado na compra mais recente deste material.

3 – Considera-se o trabalho de um mês de mão de obra de um profissional, dividida entre os setores de Caldeiraria (Soldagem) e Pintura Industrial. Considera-se o salário mensal de R\$ 2.000,00 + 70% de encargos, totalizando R\$ 3.400,00 (Três mil e quatrocentos reais).

4 – Considera-se o trabalho de um mês de mão de obra de um auxiliar, dividida entre os setores de Caldeiraria (Soldagem) e Pintura Industrial. Considera-se o salário mensal de R\$ 800,00 + 70% de encargos, totalizando R\$ 1.360,00 (Um mil, trezentos e sessenta reais).

Valores de mão de obra supracitados, considerando-se que a empresa dispõe das condições em suas instalações.

Valores referenciados para fabricação de uma coifa.

## 6. CONCLUSÃO

Baseando-se na solicitação e necessidade da empresa, e dentro da oportunidade da pesquisa para respostas técnicas, estima-se que os objetivos propostos foram atingidos.

Não se pretende responder a todos os questionamentos sobre os processos de combustão e térmicos envolvidos junto aos fornos.

Supõe-se que algumas questões que possam vir a ser abordadas serão respondidas através de estudos específicos, onde se pode sugerir como temas para próximos Trabalhos de Diplomação ou empiricamente, através de medições e comparações, visto que há mais sistemas similares em operação.

Espera-se que o captor proposto contribua, não apenas para aqueles que estão diretamente envolvidos no processo e cujos resultados possam ser imediatos, porém, objetivou-se abordar uma possibilidade de uso racional de recursos não renováveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Macintyre, Archibald J; **Ventilação industrial e controle da poluição**. Rio de Janeiro. LTC, 2ª edição. 1990.

Bottrel Coutinho, C., 1938 – **Materiais Metálicos para Engenharia** – C. Bottrel Coutinho – Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.

Revestsul - <[http://www.revestsul.com.br/produto.php?id\\_produto=310](http://www.revestsul.com.br/produto.php?id_produto=310)>. Acessado em novembro/2011.

Help SolidWorks - <[http://help.solidworks.com/2011/portuguese-brazilian/SolidWorks/flopress/LegacyHelp/FloXpress/Topics/What\\_You\\_Can\\_Do\\_in\\_COSMOSFloWorks.htm?format=P](http://help.solidworks.com/2011/portuguese-brazilian/SolidWorks/flopress/LegacyHelp/FloXpress/Topics/What_You_Can_Do_in_COSMOSFloWorks.htm?format=P)>. Acessado em 12/2011.