

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

**JAQUELINE NEVES DO NASCIMENTO ARAUJO  
LUCAS BAUERMANN DO PRADO**

**CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UM DISPOSITIVO PARA ANÁLISE DE ADERÊNCIA POR  
DOBRAMENTO EM REVESTIMENTO ASPERGIDO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2019**

JAQUELINE NEVES DO NASCIMENTO ARAUJO  
LUCAS BAUERMANN DO PRADO

**CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UM DISPOSITIVO PARA ANÁLISE DE  
ADERÊNCIA POR DOBRAMENTO EM REVESTIMENTO ASPERGIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Dr. Valdir Celestino da Silva

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### Construção e Validação de um Dispositivo para Análise de Aderência por Dobramento em Revestimento Aspergido

Jaqueline Neves do Nascimento Araujo

Lucas Bauermann do Prado

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 26/11/2019 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

---

Profa. Dra. Maria Nalu Verona Gomes  
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Mecânica)

---

Prof. Dr. Sergio Luiz Ribas Pessa  
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Mecânica)

---

Prof. Dr. Valdir Celestino da Silva  
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Mecânica)  
Orientador

---

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

## RESUMO

NASCIMENTO, Jaqueline; PRADO, Lucas. Construção e validação de um dispositivo para análise de aderência por dobramento em revestimento aspergido. 2019. 117 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Esta pesquisa apresenta o projeto e construção de um dispositivo para ensaio de dobramento para o estudo e análise da aderência da camada de revestimento depositada por aspersão térmica em chapas dobradas. O revestimento em alumínio foi aplicado sob a forma de pó sobre o substrato pelo processo de aspersão térmica por chama oxiacetilênica. O ensaio para a análise da aderência segue as normas técnicas PETROBRAS N-2568 (2011) e MIL-STD-2138 A (1992). Os corpos de prova foram fabricados e preparados com limpeza superficial e pré-aquecimento, analisou-se a influência desses parâmetros na adesão do revestimento no substrato. Essa pesquisa tem como objetivo validar esse dispositivo, para que o mesmo possa ser utilizado em ensaios de dobramento no laboratório da UTFPR campus Pato Branco. Para elaboração desse trabalho foram utilizados conceitos da ciência dos materiais, processos de fabricação mecânica e projeto de componentes mecânicos como aspersão térmica, tratamentos térmicos, soldagem, usinagem, corte a disco, a plasma e desenho técnico. Todos os componentes presentes nesse dispositivo foram projetados de acordo com a disponibilidade do material e processo, afim de serem facilmente reproduzidos.

**Palavras-chave:** Aspersão Térmica. Aderência. Revestimentos em alumínio. Ensaio de dobramento.

## ABSTRACT

NASCIMENTO, Jaqueline; PRADO, Lucas. Build and validate a device to analyze the adherence of a thermal sprayed layer by bending. 2019. 117 f. Final Paper – Mechanical engineering course, Federal university of technology - Paraná. Pato Branco, 2019.

This research presents the design and construction of a bending test device, for the study and analysis of the adhesion of a thermally sprayed coating layer to steel test plates. The aluminum coating was applied as a powder to the substrate by the oxyacetylene flame thermal spray process. The test for adherence was done according to the following regulatory standards: PETROBRAS N-2568 (2011) and MIL-STD-2138 A (1992), the test plates were manufactured and prepared with surface cleaning and preheating - the influence of such processes in the adhesion of the coating to the substrate was analyzed. This research aims to validate this device, so that it can be used in folding tests in the university laboratory. The device was developed by utilizing concepts from material science, design of mechanical components and mechanical manufacturing processes such as thermal spraying, heat treatment, welding, machining, plasma cutting and technical drawing. All components present in this device are designed according to commercial material and processes availability so that they can be easily reproduced.

**Keywords:** Thermal Spray. Adhesion. Aluminum coating. Bending test.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de deposição por aspersão térmica. ....	15
Figura 2 - Classificação dos processos por AT. ....	16
Figura 3 - Velocidade de impacto média das partículas. ....	17
Figura 4 - Esquemático de um revestimento aspergido termicamente. ....	17
Figura 5 - Equipamento para aspersão térmica por combustão. ....	18
Figura 6 - Tocha para aspersão térmica de pó a chama. ....	19
Figura 7 - Tocha para aspersão térmica por chama. ....	20
Figura 8 - Pistola de deposição HVOF com combustível gasoso. ....	21
Figura 9 - Pistola de deposição HVOF com combustível líquido. ....	22
Figura 10 - Bico da Pistola para Arco Elétrico. ....	23
Figura 11 - Sistema de aspersão a plasma. ....	24
Figura 12 - Comparação entre processos Arco a Plasma Transferido PTA e PAW. ....	25
Figura 13 - Ilustração de uma tocha de aspersão por plasma. ....	26
Figura 14 - Graus de Oxidação. ....	32
Figura 15 - Parâmetros de rugosidade. ....	34
Figura 16 - Estrutura típica de um revestimento aspergido. ....	36
Figura 17 - Ilustração da ancoragem mecânica das partículas à superfície do substrato. ....	39
Figura 18 - Aderência de revestimentos de NiCrAl em função da espessura. ....	40
Figura 19 - Relação da aderência em função da temperatura do substrato. ....	40
Figura 20 - Arranjo básico de um ensaio de tração. ....	42
Figura 21 - Esquema do procedimento alternativo para ensaio de tração. ....	42
Figura 22 - Teste por riscamento. ....	43
Figura 23 - Teste por choque a laser. ....	44
Figura 24 - Equipamento de dobramento. ....	45
Figura 25 - Modelagem 3D do dispositivo para ensaio de dobramento. ....	47
Figura 26 - Esquema para o cálculo de dobramento. ....	48
Figura 27 - Dimensões do rolamento. ....	49
Figura 28 - Dimensões mínimas e máximas do rolamento. ....	49
Figura 29 - Tarugo para fabricação do mandril. ....	51
Figura 30 - Equipamento CNC do laboratório. ....	52
Figura 31 - Torno convencional utilizado na usinagem dos eixos. ....	53

Figura 32 - Eixos preparados para tratamento térmico. ....	54
Figura 33 - Forno Mufla.....	55
Figura 34 - Equipamento para ensaio de dureza HRC.....	55
Figura 35 - Dispositivo de dobramento em fase de montagem. ....	56
Figura 36 - Corpo de prova para ensaio de dobramento.....	57
Figura 37 - Rugosímetro digital. ....	57
Figura 38 - Pistola de aspersão térmica Rototec.....	58
Figura 39 - Aplicação por aspersão térmica chama pó. ....	59
Figura 40 - Micrômetro externo digital.....	60
Figura 41 - Critério de avaliação visual em corpos de prova.....	61
Figura 42 - Vista explodida dos componentes do dispositivo.....	62
Figura 43 - Modelagem 3D do mandril. ....	63
Figura 44 - Modelagem 3D dos eixos.....	63
Figura 45 - Placas laterais.....	64
Figura 46 - Modelagem base inferior.....	65
Figura 47 - Base lateral. ....	65
Figura 48 – Placas para rolamento e Mandril.....	66
Figura 49 - Eixos após tratamento térmico.....	66
Figura 50 - Dispositivo desenvolvido para ensaio de dobramento. ....	67
Figura 51 - Corpo de prova após lixamento. ....	68
Figura 52 - Corpos de prova aspergidos. ....	69
Figura 53 - Ensaio de dobramento dos CP. ....	70
Figura 54 - Corpos de prova ensaiados. ....	70
Figura 55 - Corpos de prova reprovados.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperatura das fontes de calor.....	16
Tabela 2 - Parâmetros utilizados nos processos de aspensão térmica. ....	27
Tabela 3 - Revestimentos produzidos por aspensão térmica para aplicações petroquímicas.....	27
Tabela 4 - Características de abrasivos para jateamento. ....	31
Tabela 5 - Valores de Ra para comprimentos mínimos de amostragem.....	34
Tabela 6 - Critérios de avaliação dos ensaios de dobramento para aprovação das camadas.....	45
Tabela 7 - Materiais selecionado para os componentes. ....	50
Tabela 8 - Processos de fabricação dos componentes.....	51
Tabela 9 - Parâmetros de Usinagem CNC.....	52
Tabela 10 - Parâmetros de usinagem eixos.....	53
Tabela 11 - Tabela de parâmetros utilizados no tratamento térmico.....	54
Tabela 12 - Parâmetros utilizados no processo por deposição.....	58
Tabela 13 - Critérios para avaliação de espessura do revestimento.....	60
Tabela 14 - Planilha de custos para construção do dispositivo.....	67
Tabela 15 - Rugosidade do Substrato.....	68
Tabela 16 - Temperaturas após aspensão térmica.....	69



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.2 OBJETIVOS .....	13
1.2.1 Objetivo Principal .....	13
1.2.2 Objetivos Específicos .....	13
1.3 JUSTIFICATIVA .....	13
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	14
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 ASPERSÃO TÉRMICA (AT).....	15
2.1.1 Processo de aspersão térmica a chama oxiacetilênica (Flame Spray – FS)....	18
2.1.1.1 Aspersão Térmica a Chama Utilizando Pó.....	19
2.1.1.2 Aspersão Térmica a Chama Utilizando Arame.....	20
2.1.2 Aspersão térmica por Alta Velocidade HVOF ( <i>High Velocity Oxy-Fuel</i> ).....	21
2.1.3 Aspersão Térmica Por Arco Elétrico - ASP ( <i>Arc Spray Process</i> ) .....	22
2.1.4 Aspersão Térmica por Plasma - PS ( <i>Plasma Spray</i> ).....	23
2.1.3.1 Processo arco a plasma transferido – PTA ( <i>Plasma Transferred Arc</i> ) .....	24
2.1.3.2 Processo arco a plasma não transferido – APS ( <i>Air Plasma Spraying</i> ) .....	25
2.2 PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO .....	28
2.2.1 Limpeza da Superfície.....	28
2.2.3 Preaquecimento .....	35
2.3 PROPRIEDADES DOS REVESTIMENTOS.....	35
2.3.1 Porosidade .....	36
2.3.2 Óxidos .....	37
2.3.3 Microtrincas .....	38
2.3.4 Aderência .....	38
2.3.4.1 Medição da aderência .....	41
2.4 ALUMÍNIO .....	46

<b>3 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)</b> .....	<b>47</b>
3.1 DIMENSIONAMENTO DO DISPOSITIVO.....	47
3.2 REQUISITOS DO PROJETO.....	47
3.2.1 Seleção de Materiais.....	50
3.3 FABRICAÇÃO DOS COMPONENTES.....	50
3.3.1 Processos de Fabricação.....	51
3.3.1.1 Usinagem.....	51
3.3.1.2 Tratamento Térmico.....	54
3.3.1.4 Corte e dobramento.....	56
3.3.2 Montagem.....	56
3.4 PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO.....	57
3.4.1 Limpeza do substrato.....	57
3.5 DEPOSIÇÃO DO ALUMINIO POR AT.....	58
3.6 CARACTERIZAÇÃO DO REVESTIMENTO.....	59
3.6.1 Espessura do Revestimento.....	59
3.6.1 Aderência do revestimento.....	60
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>62</b>
4.1 PROJETO DO DISPOSITIVO.....	62
4.2 FABRICAÇÃO E MONTAGEM DO DISPOSITIVO.....	66
4.3 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DOS REVESTIMENTOS.....	68
4.3.1 Rugosidade e espessura do revestimento.....	68
4.3.2 Análise da aderência.....	69
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>74</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de revestimentos protetores inicialmente foi aplicada para proteção de conjuntos e componentes mecânicos contra a corrosão. Com o avanço de pesquisas no desenvolvimento de novos materiais, atualmente os revestimentos são utilizados também para elevar a resistência ao desgaste, a corrosão, como isolamento térmico e elétrico e contra incompatibilidades químicas e biológicas (PAREDES, 2009).

O processo de aspersão térmica consiste no aquecimento, através de uma pistola de aspersão, do material na forma de pó, arame ou vareta até o ponto de fusão. Logo após as partículas se fundirem, são pulverizadas com ar comprimido ou gás inerte, e por impacto, são ancoradas mecanicamente ao substrato formando o revestimento. Uma série de materiais podem ser usados como revestimento, tais como, metais, vidros, compósitos, compostos intermetálicos, cerâmicos, plásticos orgânicos, etc.

A aspersão térmica (AT) é basicamente caracterizada pela forma com que a geração de energia térmica é transferida ao pó ou arame, proveniente de dois principais grupos, combustão de misturas de gases e aquecimento dos gases por reações elétricas. As características dos revestimentos dependem de algumas variáveis, tais como: processo utilizado, distância de aplicação, ângulo, velocidade do fluxo, pressão e gás utilizado, distribuição de tamanho de partículas, além das características do substrato como material, temperatura de pré-aquecimento, rugosidade e limpeza (LIMA; TREVISAN, 2007).

Segundo Paredes (1998) a resistência mecânica de um revestimento depende da aderência entre a camada e substrato. A ligação entre as partículas é fundamental para garantir a aderência e qualidade do revestimento, afim de evitar falhas, como craqueamento (rachaduras na camada aspergida) e descolagem (descolamento da camada do substrato), o que pode afetar a integridade e segurança da estrutura do revestimento. Para medir a aderência, segundo a literatura, existem diversos testes destrutivos e não destrutivos. As normas da Petrobrás N-2568 (2011) e MIL-STD-2138 A (1992) regulamentam o processo de metalização por aspersão térmica, equipamento, preparação do substrato, medição da aderência critérios de avaliação para a aderência de camadas depositadas por AT.

Na utilização da AT com a finalidade de obter camadas resistentes contra a corrosão em atmosfera marinha, vários estudos realizados confirmam a superioridade dos revestimentos de Al em relação aos de Zn, podendo-se citar entre eles, os realizados pelo *American Welding Society* (AWS) (PAREDES, 1998).

O alumínio geralmente apresenta elevada resistência à corrosão em meios neutros, aquosos ou secos. Peças e componentes de alumínio são utilizados em larga escala na indústria onde existe a necessidade de materiais resistentes, leves e inertes (BARONI, 2013). De acordo com PAREDES, BUCHINELLI e PIZZA (1999), as melhores propriedades do revestimento em alumínio, tais como, maior aderência e menor porosidade, podem ser alcançadas através de processos de maior energia, como a Aspersão Térmica por arco elétrico (ASP) ou a chama oxiacetilênica de alta velocidade (HVOF).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal deste trabalho é construir e validar um dispositivo portátil de ensaio por dobramento afim de analisar a aderência de revestimentos aplicados por aspensão térmica.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, este trabalho pretende:

- Dimensionar e modelar o dispositivo utilizando um software de modelagem 3D.
- Construir o dispositivo e corpos de prova através de processo de fabricação disponíveis nos laboratórios de soldagem e usinagem no campus Pato Branco;
- Preparar a superfície do corpo de prova para receber o revestimento, realizando uma limpeza na superfície seguida de um preaquecimento no substrato;
- Depositar o revestimento de alumínio pelo processo Aspensão térmica por chama oxiacetilênica (*Flame Spray*) no corpo de prova;
- Ensaiar os corpos de prova revestidos no equipamento construído e analisar a aderência da camada depositada usando os parâmetros da norma da Petrobrás N-2568 (2011) e MIL-STD-2138 (1992).

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A aspensão térmica é um processo versátil e possui muitas vantagens em relação a outros processos de deposição de revestimentos, é amplamente aplicado na proteção de componentes contra desgaste abrasivo, erosivo, fadiga superficial e corrosão. Ao longo dos anos essa tecnologia tem evoluído, e se tornou um importante segmento em indústrias petrolíferas, que trabalham em meios altamente corrosivos e abrasivos (LIMA; TREVISAN, 2007).

Este trabalho surgiu da necessidade do laboratório da UTFPR campus Pato Branco obter um equipamento de dobramento para realizar este ensaio, afim de analisar a aderência das camadas revestidas por AT.

Após uma pesquisa de mercado não foi possível encontrar nenhuma máquina a venda comercialmente que atendesse as necessidades do laboratório, tanto em design quanto em preço. Foi verificado que a construção da máquina poderia ser feita a um baixo custo, e ao mesmo tempo atendendo a todos os requisitos estabelecidos pelo laboratório.

Foi decidido então realizar um projeto, utilizando materiais facilmente obtidos e métodos possíveis em praticamente todos os centros de ensino, para que qualquer universidade ou laboratório pudesse replicar e realizar a construção de um equipamento similar atendendo as normativas técnicas existentes.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho está dividido em cinco etapas. Na primeira etapa, introdução, objetivos e justificativa. Na segunda etapa, a revisão bibliográfica, onde será abordado a definição, tipos, parâmetros e características do processo por aspensão térmica e revestimentos, base do estudo presente nesse trabalho. Na terceira etapa a metodologia empregada, materiais e métodos utilizados. Na quarta etapa, os resultados experimentais do ensaio e na quinta etapa, a conclusão do trabalho.

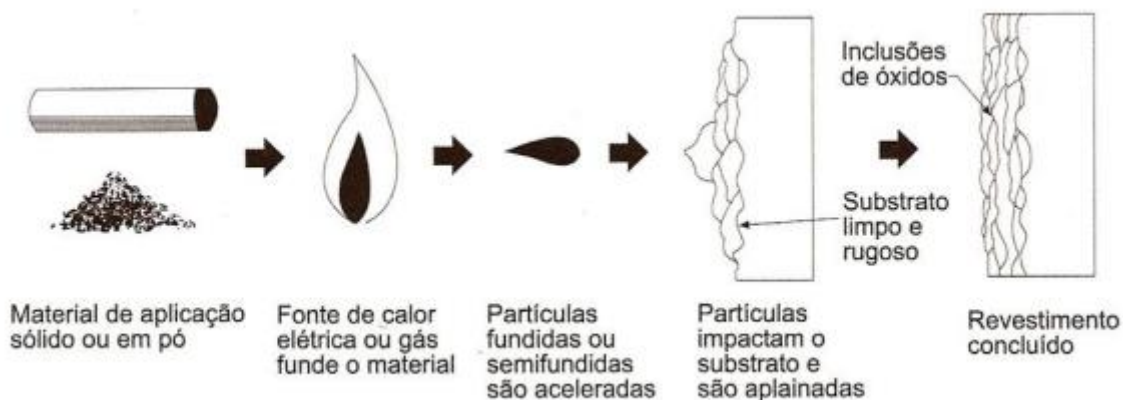
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ASPERSÃO TÉRMICA (AT)

Aspersão Térmica é uma série de processos onde materiais em condição fundida ou semifundida são depositados sobre um substrato previamente preparado, formando um revestimento aspergido (PERALDI et al. 1998). Segundo a literatura, o material de deposição, metálico ou não metálico, pode ser fornecido na forma de pó, corsão, arame ou vareta. Atualmente uma gama de materiais pode ser utilizada como revestimento, tais como, óxidos, materiais cerâmicos, metais e suas ligas, carbonetos.

Os materiais sólidos são aquecidos através da pistola de aspersão, onde se fundem e em seguida são acelerados por um gás comprimido, essas partículas fundidas são pulverizadas em direção a superfície do substrato onde colidem e se tornam aplainadas. Após o resfriamento as partículas conformadas se aderem nas irregularidades da superfície, constituindo uma estrutura lamelar (LIMA; TREVISAN, 2007). O processo de Aspersão Térmica pode ser representado pela figura 1.

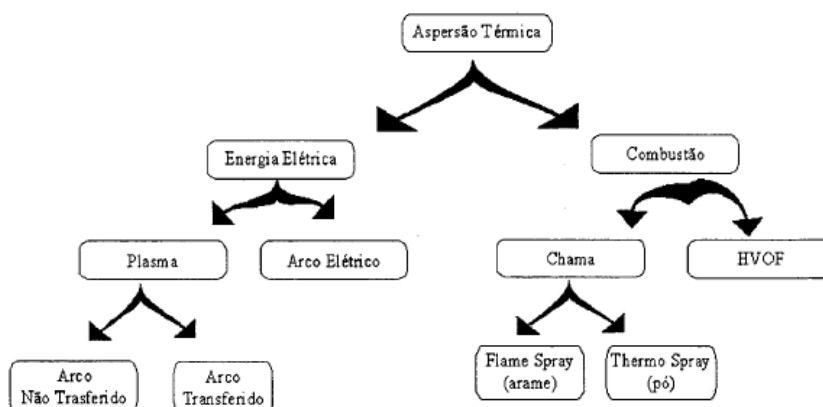
**Figura 1 - Esquema de deposição por aspersão térmica.**



Fonte: Lima e Trevisan (2007).

Os processos de aspersão variam de acordo com o tipo de material de deposição (arames, pós, varetas ou cordões flexíveis), ao método de aquecimento (combustão ou eletricidade) do mesmo, e ao método de aceleração das partículas sobre o substrato (ar comprimido ou gás inerte), sendo assim a classificação dos processos por Aspersão Térmica pode ser representada pelo fluxograma a seguir:

**Figura 2 - Classificação dos processos por AT.**



**Fonte: Paredes (1998).**

Os revestimentos aplicados pelo processo de Aspersão Térmica, são formados por impactos sucessivos e a interligação entre as panquecas. Uma das características mais importantes para o ancoramento das partículas do revestimento no substrato é a rugosidade. (OLIVIO, 2012).

A variação de temperatura da chama ou do arco, a velocidade das partículas, a taxa de deposição e as condições da preparação do substrato alteram as características do revestimento obtido (SHUCHARSKI, 2012).

Segundo Marques (2003) a estrutura dos revestimentos aspergidos é semelhante a natureza lamelar, mas pode apresentar características diferentes em função do processo utilizado, dos parâmetros, técnica e material usado. A tabela 1 mostra a relação entre os gases utilizados nos processos por aspersão e a temperatura da fonte de calor utilizada. A figura 3 relaciona o processo de aspersão utilizado com a velocidade das partículas no impacto.

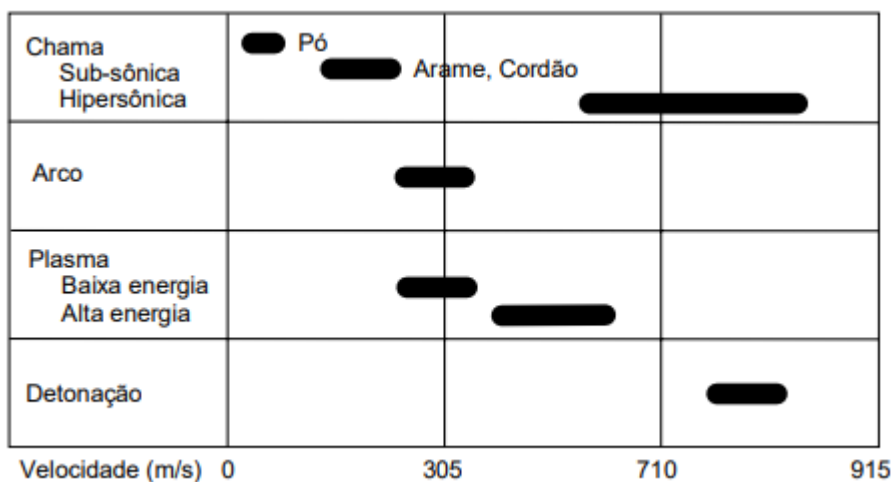
**Tabela 1 - Temperatura das fontes de calor.**

Fonte	Temperatura °C
Propano + oxigênio	2640
Gás Natural + oxigênio	2735
Hidrogênio + oxigênio	2690
Acetileno + oxigênio	3100
Arco e plasma	2200 - 8300

**Fonte: Adaptado de Marques (2003).**



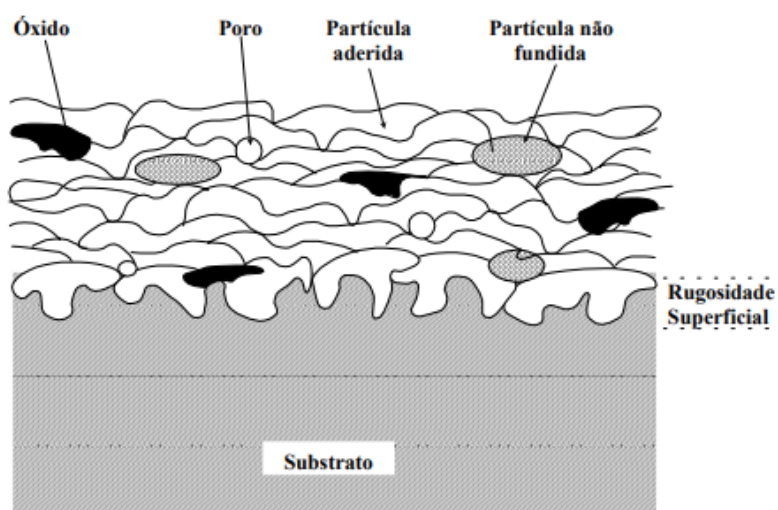
**Figura 3 - Velocidade de impacto média das partículas.**



Fonte: Marques (2003).

Revestimentos metálicos são frágeis e tendem a ter uma porosidade elevada, com uma dureza diferente do material original (Marques, 2003). Segundo Berndt et al (2004) os metais aspergidos termicamente (Figura 4) são mais duros que os metais que os originaram, devido principalmente a inclusões de óxidos formadas durante o processo de AT. Eles também são menos dúcteis por causa da porosidade e dureza associada ao processo.

**Figura 4 - Esquemático de um revestimento aspergido termicamente.**



Fonte: Marques (2003).

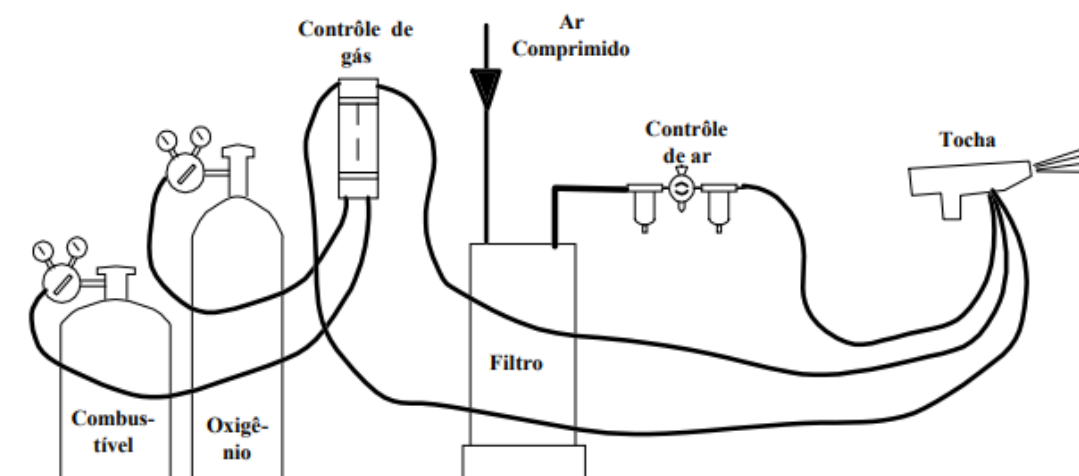
### 2.1.1 Processo de aspersão térmica a chama oxiacetilênica (Flame Spray – FS)

Esta técnica utiliza o calor gerado pela combustão de uma mistura de gases (oxigênio-acetileno ou oxigênio-propano) para fundir o material de deposição. Devido à alta temperatura da chama oxigênio-acetileno, o acetileno é o gás combustível mais utilizado pelo processo de aspersão à chama (MENEZES, 2007).

De acordo com Marques (2003) qualquer substância que se funda e não sublima a temperaturas inferiores a 2760 °C pode ser aspergido por esse processo. Os materiais aplicados podem ser metais e ligas na forma de cordão, na forma de pó ou arames, ou materiais cerâmicos na forma de cordão, vareta ou pó.

Na figura 5 são mostrados os componentes básicos de um equipamento de AT, que essencialmente segue o equipamento desenvolvido por Schoop (inventor da aspersão térmica). A mistura dos gases no bico da pistola produz a combustão, que permite apenas fundir o material e não é utilizada para transferir as partículas contra o substrato (PAREDES,2009). O gás entra axialmente, enquanto o material é introduzido axialmente ou radialmente à tocha. O material é fundido na chama e acelerado em relação ao substrato (SANTOS, 2008).

**Figura 5 - Equipamento para aspersão térmica por combustão.**



Fonte: Marques (2003).

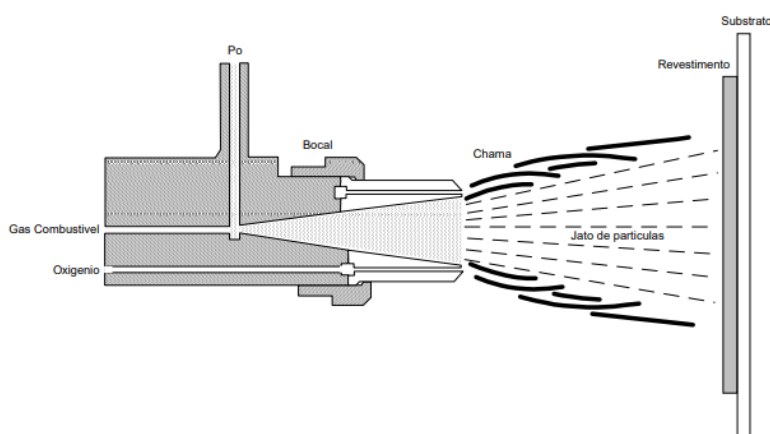
### 2.1.1.1 Aspersão Térmica a Chama Utilizando Pó

Quando o revestimento é alimentado sob a forma de pó, a chama é utilizada tanto para fundir o material quanto para impulsioná-la ao substrato, desta forma, não é necessário o uso de ar comprimido. Contudo, isso ocasiona baixa aderência e alta porosidade no revestimento devido as baixas velocidades de transferência das partículas. Para melhorar o processo, tem-se utilizado ar comprimido para acelerar as partículas fundidas e reduzir a temperatura da periferia da chama (LIMA; TREVISAN. 2007).

A figura 6 mostra uma tocha para aspersão de pó por chama. O pó que pode ser armazenado em um recipiente acoplado a tocha, é arrastado, através do gás combustível, para a mistura de gases em chama, onde é fundido e acelerado em direção ao substrato.

Em todos os processos de aspersão térmica, a taxa de deposição do pó está relacionada a estrutura e eficiência de deposição do revestimento. Se o material é aquecido inadequadamente, as partículas não serão completamente fundidas e a eficiência de deposição cai rapidamente. Se a taxa de alimentação for muito baixa, uma certa quantidade de pó pode se oxidar, resultando em deterioração do revestimento e elevação dos custos (MARQUES, 2003).

**Figura 6 - Tocha para aspersão térmica de pó a chama.**

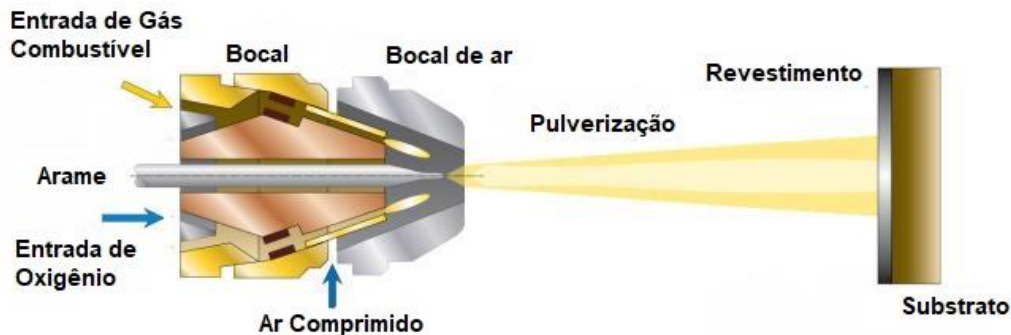


**Fonte: Marques (2003).**

### 2.1.1.2 Aspersão Térmica a Chama Utilizando Arame

O processo chama-aramé utiliza também gás combustível e oxigênio, no entanto, o que modifica neste processo é o consumível (aramé ou vareta) e a pistola de aspersão (Figura 7). Neste processo a chama funde o arame ou vareta, por conseguinte, é atomizado pelo jato de ar comprimido, de forma a aspergir um fluxo de partículas que são propelidas no substrato (PAWLOWSKI, 2008).

**Figura 7 - Tocha para aspersão térmica por chama.**



Fonte: Adaptado de Metco (2016).

O material a ser aspergido é inserido por roletes alimentadores na parte superior da tocha. Estes podem ser tracionados por um motor elétrico ou pneumático, ou por uma turbina a ar. O material é alimentado através de um bocal, onde é fundido por chama de gás combustível, concêntrica a este (MARQUES, 2003).

Segundo PAREDES (2009) devido a configuração do bocal, o fluxo de ar comprimido lançado sobre as partículas fundidas faz com que haja pulverização com maior velocidade (energia cinética) até o substrato. Esta energia pode ser aumentada pelo ar comprimido de duas maneiras: distribuição de gases combustíveis ao redor do arame para uma fusão uniforme e assegurar o tempo suficiente de permanência do arame na chama para uma fusão eficiente, mesmo utilizando-se velocidades do ar comprimido elevadas.

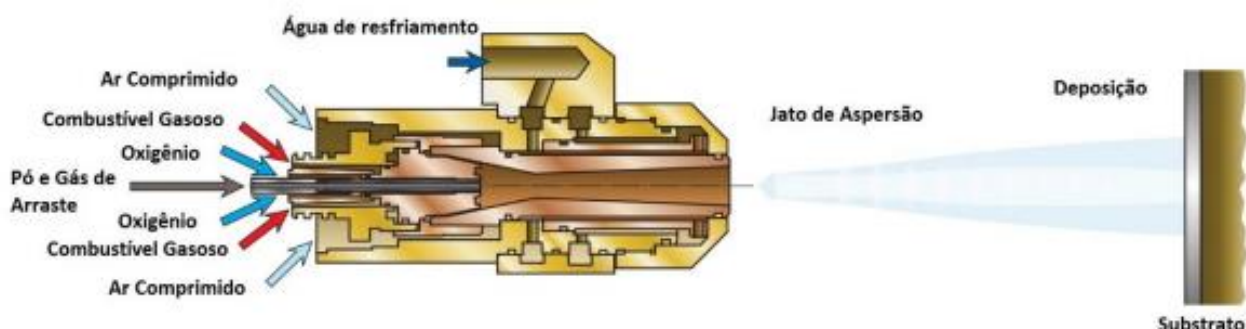
### 2.1.2 Aspersão térmica por Alta Velocidade HVOF (*High Velocity Oxy-Fuel*)

Esse processo foi desenvolvido no início dos anos oitenta e surgiu como alternativa aos processos a chama convencional (FS), em aplicações onde fossem necessários revestimentos mais densos e com menores níveis de poros e óxidos (SUCHARSKI, 2012).

No método, queima-se gás combustível com oxigênio a alta pressão, gerando-se um jato de alta velocidade. Usualmente é utilizado como combustível o propano, o propileno ou o hidrogênio. A mistura é queimada em uma câmara de combustão, sendo os produtos dessa queima liberados, se expandindo através de um bocal, onde as velocidades do gás se tornam supersônicas. O material do revestimento é introduzido, normalmente, axialmente ao bocal, sendo aquecido e acelerado para fora do mesmo. A câmara e o bocal são resfriados a água (SANTOS, 2008).

Para o processo de aspersão térmica HVOF com combustível gasoso (Figura 8), a mistura de oxigênio e combustível ocorre previamente à entrada na câmara de combustão, o que origina uma queima mais uniforme e estável. O material em forma de pó, é inserido com a presença de um gás de arraste, geralmente, o argônio ou nitrogênio são utilizados. (LAMANA, 2017).

**Figura 8 - Pistola de deposição HVOF com combustível gasoso.**

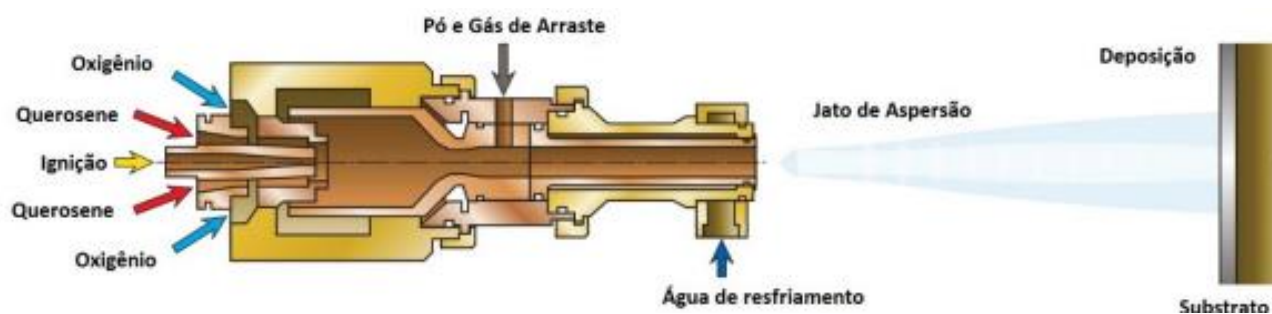


Fonte: Lamana (2017).

O processo de deposição HVOF com combustível líquido (Figura 9) é bastante similar ao processo com combustível gasoso, porém é utilizado quando se necessita de uma maior eficiência no fluxo de massa de combustível à câmara de combustão. Para este sistema, o material de deposição em forma de pó é introduzido

de maneira radial na pistola e, ao contrário do processo com combustível gasoso, a injeção do material ocorre posteriormente à combustão (LAMANA, 2017).

**Figura 9 - Pistola de deposição HVOF com combustível líquido.**



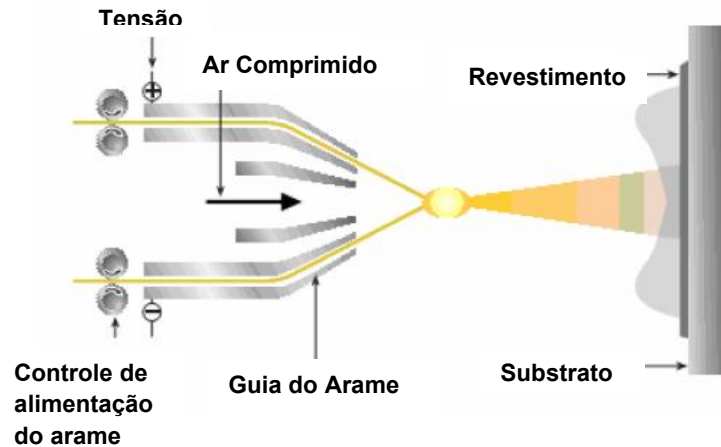
Fonte: Lamana (2017).

### 2.1.3 Aspersão Térmica Por Arco Elétrico - ASP (*Arc Spray Process*)

O processo de Aspersão Térmica conhecido como ASP (*Arc Spray Process* – Processo de aspersão a arco), também é conhecido como processo arco arame. Este processo utiliza um arco elétrico como fonte de calor para fundir dois arames de material de deposição que chegam até o bico da pistola para se encontrar em um ponto em que é formada uma névoa de gás atomizante. O arco é obtido por diferença de potencial, até o ponto de encontro os arames estão isolados um do outro e, na faixa de 18 a 40 volts, que funde as pontas dos arames eletrodos. Um jato de gás é dirigido através da zona do arco, destaca o material fundido e projeta as partículas atomizadas sobre o substrato (PAREDES,2009).

No sistema, o arco elétrico é formado pelo contato e curto circuito de dois arames metálicos que conduzem à fusão do consumível. Em seguida, o ar comprimido atomiza o metal fundido, de forma a aspergir em alta velocidade contra o substrato (SILVA, 2017). A figura 10 apresenta o equipamento para aspersão térmica por arco elétrico.

**Figura 10 - Bico da Pistola para Arco Elétrico.**



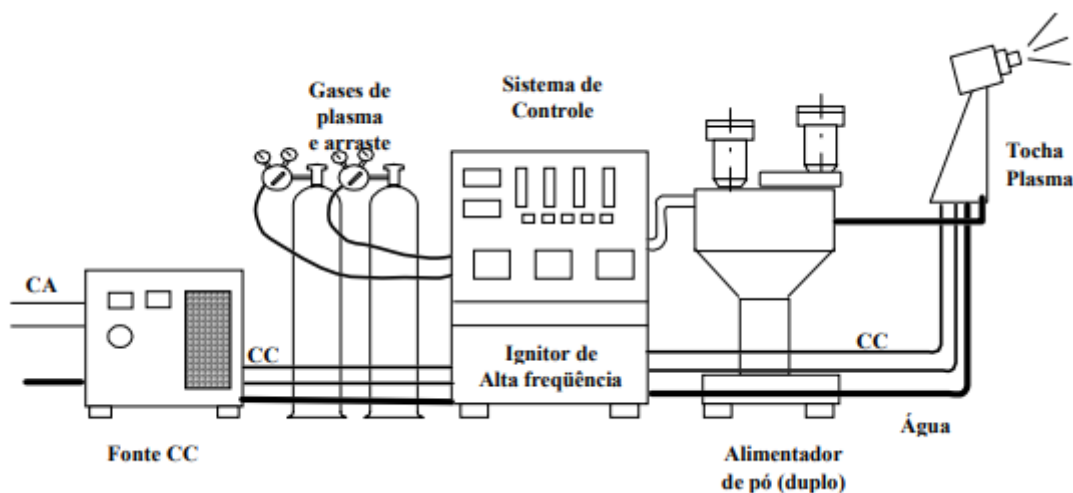
Fonte: Silva (2008).

O processo por arco elétrico apresenta taxas de deposição mais altas que outros processos por aspersão. Os fatores que influenciam esta taxa são a corrente e a velocidade de alimentação de arame, que dependem do equipamento usado. O comprimento do arco e o tamanho das gotículas tendem a aumentar com a elevação da diferença de potencial entre os arames (MARQUES, 2003).

#### 2.1.4 Aspersão Térmica por Plasma - PS (*Plasma Spray*)

A necessidade de se utilizar um processo à plasma, surgiu quando materiais oxi-carbetos e oxi-cerâmicos, que necessitam de temperaturas elevadas, não eram atendidos através dos processos mais usuais. Neste processo (Figura 11) o plasma é obtido mediante a um arco elétrico que se forma no bico da pistola e o gás do plasma se transforma em um jato de plasma ao sair deste bocal. Neste jato são injetadas partículas de pó que se fundem e atingem a peça de trabalho em alta velocidade, produzindo assim uma superfície com alto grau de aderência (OLIVIO, 2012).

Figura 11 - Sistema de aspersão a plasma.



Fonte: Marques (2003).

### 2.1.3.1 Processo arco a plasma transferido – PTA (*Plasma Transfered Arc*)

O sistema de arco transferido é o mais comum. O arco piloto se abre entre o eletrodo e o bocal, e flui do eletrodo para a peça, quando a tocha é afastada da peça, o arco é transferido e se extingue.

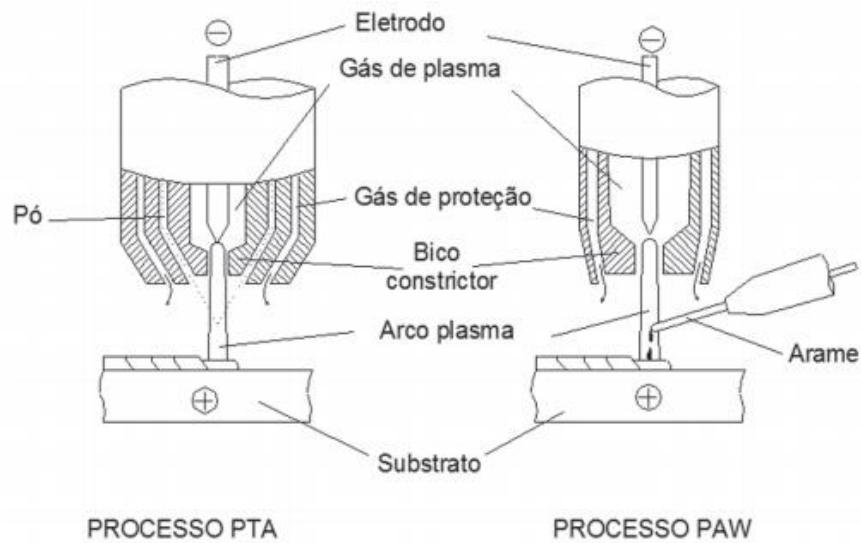
Uma característica deste processo, a ligação do revestimento ao substrato é metalúrgica, podendo ocorrer uma fusão do substrato na faixa de 10%, diferenciando da soldagem, assim o aquecimento e a fusão superficial provocam alterações de microestrutura. Uma limitação é que o material do substrato tem que ser um material condutor e que possa suportar alguma deformação (PAREDES, 2009).

O processo arco transferido produz um revestimento que possui alta densidade e alta taxa de deposição com grandes espessuras por passe, utilizando apenas 5% da energia necessária pelo processo de arco não transferido (PAREDES, 2009). Este processo é utilizado em grande escala no endurecimento de equipamentos agrícolas e de mineração e sistemas mecanizados.

O processo de soldagem a Plasma de Arco Transferido que utiliza metal de adição na forma de arame é chamado de PAW (*Plasma Arc Welding*) e quando o processo de soldagem utiliza pó como material de adição, o processo é usualmente chamado de PTA (*Plasma Transferred Arc*) a figura 12 ilustra essa diferença (DIAZ; DUTRA; D'OLIVEIRA, 2010).



**Figura 12 - Comparação entre processos Arco a Plasma Transferido PTA e PAW.**



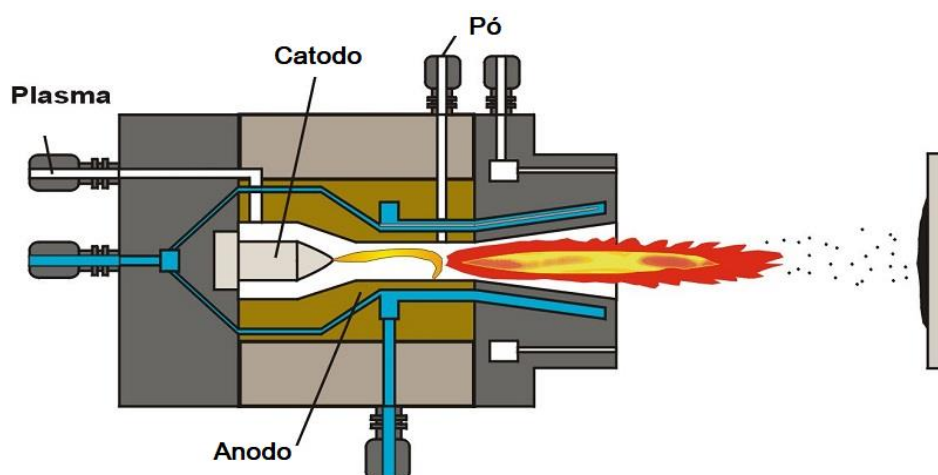
**Fonte: Diaz, Dutra e D'Oliveira (2010).**

#### 2.1.3.2 Processo arco a plasma não transferido – APS (*Air Plasma Spraying*)

No sistema por arco não transferido, o arco é constringido entre um eletrodo de tungstênio coaxialmente alinhado em um bocal de constrição. A zona central do plasma é constituída pelo gás inerte ionizado (argônio ou nitrogênio) envolvido por um ou mais gases inertes de proteção (argônio, hélio, hidrogênio, nitrogênio ou mistura) (MENEZES, 2007).

O pó é alimentado no plasma, fundido e acelerado em direção ao substrato por um jato de alta velocidade (MARQUES, 2003). A energia, temperatura e velocidade do jato de plasma são controladas pelo tipo de bocal constritor, intensidade da corrente elétrica, composição da mistura de gases e taxa de fluxo de gás de plasma (PAREDES, 2009). A figura 13 mostra o processo:

Figura 13 - Ilustração de uma tocha de aspersão por plasma.



Fonte: Adaptado de RG Plasma (2019).

O tamanho e a morfologia das partículas de pó afetam consideravelmente sua taxa de aquecimento e aceleração, sendo assim, a eficácia e a qualidade do revestimento. Quanto menor a partícula, maior eficiência da deposição. Esta técnica é bastante utilizada na aplicação de revestimentos duros de ligas de cobalto, usados na indústria aeronáutica.

Devido a temperatura alcançada, possui a vantagem de depositar praticamente qualquer material, embora pouco calor seja introduzido na superfície a ser revestida, porém, é um equipamento de alto custo inicial, complexo em termos de operação e de pouca mobilidade (MENEZES, 2007).

A tabela 2 apresenta o comparativo de alguns dos principais parâmetros nos processos de aspersão térmica vistos até agora, que podem ser utilizados para caracterizar as diferenças entre eles.

**Tabela 2 - Parâmetros utilizados nos processos de aspersão térmica.**

Processos	Vazão de gases (m³/h)	Temperatura média de chama (°C)	Velocidade de impacto das partículas (m/s)	Aderência relativa (1 a 10)	Custo relativo (1 a 10)	Teor de óxidos (%)
Chama (Pó)	11	2200	30	3	3	6
Chama (Arame)	71	2800	180	4	3	4
Arco elétrico (Arame)	71	5500	240	6	1	0.5 - 3
Plasma	4.2	5500	240	6	5	0.5 - 1
Detonação	11	3900	910	8	10	0.1
HVOF	28-57	3100	610 - 1060	8	5	0.2

Fonte: Thorpe, 1993 (Adaptado de Paredes, 2009).

A tabela 3 apresenta aplicações para revestimentos para alguns equipamentos, a técnica de aspersão utilizada, a finalidade e o tipo do revestimento.

**Tabela 3 - Revestimentos produzidos por aspersão térmica para aplicações petroquímicas.**

Componente	Aplicação	Técnica utilizada	Tipo de revestimento
Válvula esfera	Desgaste / corrosão	HVOF	Carbeto de tungstênio
Válvula gaveta	Desgaste / corrosão	HVOF	Carbeto de tungstênio
Haste de êmbolo	Desgaste	Chama convencional	Óxido de cromo
Plataformas de petróleo	Corrosão	Chama convencional	Alumínio
Carcaça de bombas	Restauração dimensional	Arco elétrico	Alumínio-bronze
Cilindros de compressores	Restauração dimensional	Arco elétrico	Aço inoxidável 420
Tanques de processamento	Corrosão	Chama convencional	Alumínio

Fonte: Menezes (2007).

## 2.2 PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO

A resistência mecânica de um revestimento aspergido depende da aderência entre a camada e o substrato, bem como da coesão entre as partículas depositadas. Considerando que o principal mecanismo de aderência do substrato é o ancoramento mecânico, é de extrema importância que as superfícies que irão receber a camada de revestimento estejam preparadas adequadamente. A qualidade do ancoramento interfere diretamente na adesão da camada revestida (LIMA; TREVISAN, 2007).

A preparação da superfície é a etapa mais crítica, pois a adesão do revestimento está diretamente relacionada a limpeza e rugosidade da superfície do substrato. Os fatores que influenciam na preparação e adesão do revestimento são:

- Limpeza;
- Texturização;
- Preaquecimento.

### 2.2.1 Limpeza da Superfície

Para se obter uma maior aderência do revestimento ao substrato, é necessário eliminar todos os contaminantes e impurezas presentes na superfície (LIMA; TREVISAN, 2007). O trabalho de limpeza consiste em eliminar todas as impurezas sólidas, líquidas ou pastosas, como carepa de laminação e óxidos provenientes de tratamentos térmicos (SILVA, 1981).

Devido as exigências de controle de qualidade, existem uma série de padrões de limpeza. Para atender essas exigências, surgiu a necessidade de desenvolvimento de normas internacionais que permitem especificações precisas. A norma mais importante é a sueca SIS-05 5900/1967 "*Pictorial Surface Preparation Standards for Painting Steel Surfaces*", que estabelece por padrões fotográficos, os graus de oxidação da peça e os graus de limpeza que essa peça pode ser submetida, que podem ser comparados visualmente.

Os processos de limpeza podem ser divididos em duas categorias:

- Química;
- Mecânica.

### 2.2.1.1 Limpeza Química

Segundo Lima e Trevisan (2007) a limpeza química é subdividida em três categorias:

- Detergência;
- Desengraxamento;
- Decapagem ácida.

#### Detergência

É um meio bastante efetivos para remoção de óleo, pó, graxa e partículas de metal soltas na superfície. Para formação de emulsões e solubilização, utiliza-se uma solução de limpeza alcalina que desengraxa a superfície, que pode ser auxiliada por ar comprimido ou jateamento e/ou por circulação de bomba. A composição e a natureza dos compostos de limpeza alcalina variam de acordo com o material (LIMA; TREVISAN, 2007; OLIVEIRA, 2012).

Para que haja detergência, alguns parâmetros devem ser analisados, tais como, concentração, tempo, temperatura e agitação, para que as impurezas fiquem em suspensão na solução de limpeza devido ao elevado potencial elétrico entre solução e superfície metálica.

#### Desengraxamento

O desengraxamento é utilizado onde existem óleos de natureza simples ou graxas com grau de contaminação leve. A remoção é realizada por solventes a quente, normalmente são utilizados hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos, hidrocarbonetos clorados por cetonas, alcoóis e fenóis. O custo na utilização de solventes é relativamente alto, e não há remoção completa, os resíduos permanecentes após a evaporação, na maioria das vezes são inflamáveis. (LIMA; TREVISAN, 2007).

## Decapagem ácida

É uma ferramenta poderosa na remoção da camada de carepas de laminação, camada de óxido, hidróxidos e outros compostos produzidos pela corrosão, porém é necessário observar a ativação química da superfície ou a possível fragilização por hidrogênio (OLIVEIRA, 2012). O ideal é que o reagente remova as impurezas sem atacar a superfície do substrato. O processo de decapagem é realizado após o desengraxe.

Segundo Lima e Trevisan (2007) os principais ácidos utilizados na decapagem são: ácido sulfúrico comercial (concentração de 5 a 25% em peso), ácido clorídrico comercial (25 a 50% em volume), ácido fosfórico comercial (15 a 40% em peso). Para evitar a corrosão após a decapagem, é necessária uma passivação afim de neutralizar os efeitos do banho ácido, em seguida, uma secagem com ar quente.

### 2.2.1.2 Limpeza Mecânica

Os padrões de limpeza na AT são alcançados através dos processos de jateamento abrasivo. O uso de partículas abrasivas de materiais (granalhas de aço e ferro, óxido de alumínio, entre outros) em um equipamento (jateamento por centrifugação ou por pressão) que as projetam até a superfície é o método mais eficiente de limpeza (PAREDES, 1998).

Os abrasivos devem ser selecionados de acordo com o tipo, tamanho e material do substrato, afim de evitar distorções ou mudanças dimensionais e contaminação da superfície (LIMA; TREVISAN, 2007). A tabela 4 resume algumas características dos abrasivos para jateamento.

Tabela 4 - Características de abrasivos para jateamento.

Meio abrasivo	Origem	Principal componente químico	Forma	Densidade (g/cc)	Perda %*	Dureza Rockwell C
Aço coquilhado	Fabricado	Ferro	Angular	7,65	0	100
Ferro coquilhado	Fabricado	Ferro	Angular	7,40	8	97
Óxido de alumínio virgem	Fabricado	Alumínio	Cúbico	3,8	24	76
Óxido alumínio reciclado	Fabricado	Alumínio	Cúbico	3,76	34	66
Granalha	Natural	Ferro silíccio	Cúbico	4,09	46	54
Escória mineral	Fabricado	Sílica, Alumínio e Ferro	Cúbico	2,79	61	39
Areia silicosa	Natural	Sílica	Cúbico	2,61	77	23
Areia silicosa	Natural	Sílica	Angular	2,63	90	10
Carbeto de silício	Fabricado	Carbeto de silício	Blocos	3,81	57	43
Areia comum	Natural	Sílica	Angular	2,62	84	16
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantidade da amostra reduzida a um tamanho inaceitável num teste de jateamento padrão</li> </ul>						

Fonte: Paredes (2009), adaptado de Marques (2003).

A norma SIS 055900/67 estabelece quatro padrões para estados iniciais das superfícies padronizando os graus de oxidação que elas apresentam, da mesma forma, estabelece quatro graus de preparação com jateamento abrasivo para cada padrão de estado inicial (Figura 14).

Graus de oxidação:

- **A:** Substrato de aço sem corrosão, com carepa de laminação ainda intacta;
- **B:** Substrato de aço com início de corrosão e destacamento da carepa de laminação;
- **C:** Substrato de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão ou possa ser removida por raspagem, com pouca formação de cavidades visíveis;
- **D:** Substrato de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão e com grande formação de cavidades visíveis.

Graus de Limpeza:

- **Sa 1:** Jateamento ligeiro - quando a superfície foi rapidamente atingida pelo jato;
- **Sa 2:** Jateamento comercial - quando o jateamento foi mais cuidadoso, removendo carepas, ferrugem e incrustações, podendo apresentar ligeiros resíduos visíveis em menos de 1/3 da superfície;
- **Sa 2 1/2:** Jateamento ao metal quase branco - quando o jato for bastante demorado removendo mais de 95% das contaminações visíveis e apresentar a cor cinza claro;
- **Sa 3:** Jateamento ao metal quase branco - quando a superfície apresentar 100% de limpeza.

Figura 14 - Graus de Oxidação.

Graus de Corrosão	Graus de Limpeza			
	Sa1	Sa2	Sa2 1/2	Sa3
A				
B				
C				
D				

Fonte: Norma SIS 055900/67.



O jateamento abrasivo apresenta vantagens sobre os outros processos de limpeza, no quesito poluentes, como geração de vapores e dejetos industriais. Por outro lado, necessita de equipamento custoso, quando se trata de peças de grande porte.

No Brasil é proibido a utilização de areia como material abrasivo, pois causa sérios danos a trabalhadores expostos a poeira resultante do processo (PAREDES, 2009).

### 2.2.2 Texturização

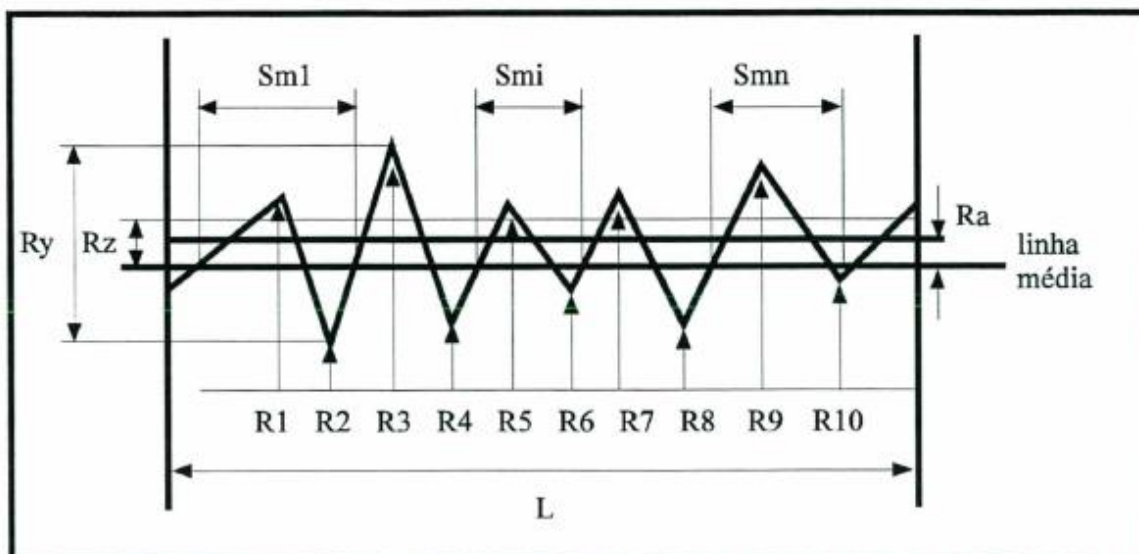
As superfícies precisam sofrer texturização antes da aplicação do revestimento. Geralmente, esta já é conseguida com o jateamento, porém é necessário ressaltar que a texturização é uma etapa importante, pois é um dos principais requisitos para uma boa aderência do revestimento. A rugosidade é necessária para melhorar as forças de adesão entre o revestimento e o substrato (LIMA; TREVISAN, 2007).

De acordo com Paredes (1998) a medição da rugosidade se enquadra em dois sistemas, sistema da envolvente e sistema da linha média. No Brasil é adotado o sistema da linha média através da norma NBR ISO 6405:1988 ABNT. As medições tomam como base medidas verticais, medidas horizontais e medidas proporcionais. Dentre das medidas da profundidade da rugosidade temos:

- Desvio médio aritmético  $R_a$ ;
- Altura das irregularidades de 10 pontos  $R_z$ ;
- Altura máxima das irregularidades  $R_y$ .
- Nas medições horizontais temos o espaçamento médio das irregularidades -  $S_m$

Na Aspersão térmica são utilizadas principalmente as medidas  $R_y$  e  $S_m$  (figura 15).

Figura 15 - Parâmetros de rugosidade.



Fonte: Adaptado de Paredes (1998).

A norma PETROBRÁS N 2568 (2011) recomenda uma rugosidade  $R_y$  da superfície jateada deve estar entre 75  $\mu\text{m}$  a 120  $\mu\text{m}$ . Devem ser realizadas três medidas de rugosidade a cada 10  $\text{m}^2$  de área jateada contínua. Cada medida deve abranger cinco medições em uma área de 200 mm x 200 mm; sendo uma medição no centro geométrico e outras quatro medições em cada diagonal da área.

A tabela 5 exhibe valores recomendados pela norma ABNT NBR 6405 de faixas de perfil de rugosidade ( $R_a$ ) em função do comprimento mínimo de amostragem.

Tabela 5 - Valores de  $R_a$  para comprimentos mínimos de amostragem.

Rugosidade $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Comprimento mínimo de amostragem (mm)
$0 = R_a \leq 0,3$	0,2
$0,3 < R_a \leq 3,0$	0,8
$R_a > 3,0$	2,5

Fonte: Norma NBR 6405 (1980).

### 2.2.3 Preaquecimento

O preaquecimento do substrato tem como objetivo proporcionar a queima e volatilização de graxas, óleos e umidade retida junto a superfície do metal a ser revestido. Esse aquecimento pode ser feito pela própria pistola de AT. O procedimento de preaquecimento reduz as tensões internas, que também influenciam na aderência da camada do revestimento. Quando as partículas se chocam com o substrato há um resfriamento muito rápido, acompanhado da contração do material depositado. O substrato absorve o impacto das partículas (energia cinética) e a energia transferida pela fonte de calor, por sua vez dilata-se (por estar frio) e em função disso ocorrem tensões contrárias na interface substrato-camada, que podem ser reduzidas e melhor distribuídas através do preaquecimento (MARANHO, 2006; PAREDES, 1998).

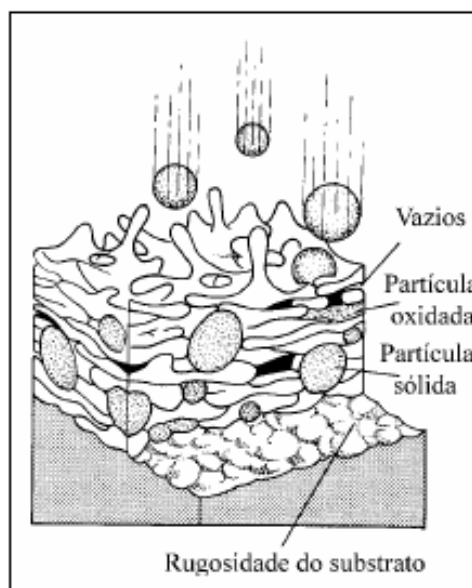
## 2.3 PROPRIEDADES DOS REVESTIMENTOS

A qualidade dos revestimentos produzidos por AT depende de uma série de parâmetros, dentre eles, material, distribuição dos tamanhos das partículas a serem aspergidas, velocidade do fluxo, velocidade de solidificação, temperatura, rugosidade e limpeza (LIMA; TREVISAN, 2007).

Os revestimentos aspergidos são formados por várias camadas de gotículas do material fundido ou semifundido, que se achatam e solidificam após impacto com o substrato, formando uma macroestrutura conhecida como estrutura lamelar. Com o impacto das partículas aquecidas e aceleradas sobre o substrato, estas se aplainam na forma de pequenas panquecas. Ao incidirem sobre o substrato, essas pequenas panquecas se resfriam a uma velocidade extremamente alta e se ancoram mecanicamente nas irregularidades da superfície.

Uma estrutura típica de revestimentos aspergidos é constituída de lamelas do material aspergido entremeada de inclusões de óxidos, microtrincas, partículas sólidas e porosidade. De maneira esquemática, a figura 16 apresenta a estrutura típica de um revestimento produzido por aspersão térmica e seus principais defeitos. A propriedades do revestimento está relacionada a quantidade desses defeitos (LIMA; TREVISAN, 2007).

**Figura 16 - Estrutura típica de um revestimento aspergido.**



**Fonte: Lima e Trevisan (2007).**

### 2.3.1 Porosidade

A porosidade consiste em cavidades isoladas e de poros interconectados. É importante ressaltar que, através da aspersão térmica, obtêm-se revestimentos com porosidade variável, normalmente considerada inerente a estes processos. É comum depósitos aspergidos apresentarem uma faixa de porosidade de 20%. A quantidade de poros nos revestimentos depende da natureza do material e do processo de aspersão (PAREDES, 1998; LIMA; TREVISAN, 2007).

MARANHO (2006) sugere que existem dois tipos de poros: poros finos formados dentro das lamelas e poros grosseiros, formados entre lamela/substrato e lamela/lamela. Quando as partículas não são completamente fundidas, os poros grosseiros são mais frequentes

Os poros finos são característicos das estruturas dos revestimentos aspergidos e não são eliminados completamente variando os processos. Em alguns casos, pode se reduzir esse efeito utilizando baixa pressão e maior velocidade das partículas (LIMA; TREVISAN, 2007).

A porosidade afeta diretamente propriedades físicas como condutividade elétrica e térmica, diminui a coesão das camadas e sua aderência ao substrato, podendo consistir tanto em cavidades isoladas quanto em cavidades interconectadas, dando acesso à penetração de líquido e gases existentes nos interstícios entre

lamela/lamela e / ou lamela substrato, o que é indesejável em revestimentos que visam a proteção contra a corrosão (LIMA; TREVISAN, 2007; MENEZES, 2007).

Maiores distâncias de aplicação de partículas aspergidas termicamente, uma menor granulometria do pó, resultam em maiores valores de porosidades. Baixas temperaturas e/ou baixas velocidades de impacto, assim como partículas grandes, tendem a aumentar a porosidade. (MARANHO, 2006).

A análise da porosidade é de grande importância, pois através da área de percentual de porosidade é possível monitorar o efeito das variáveis de parâmetros de aspersão e a adequação de um revestimento para a sua finalidade pretendida. O objetivo de um ensaio é obter parâmetros que possibilitam prever o tempo de vida útil de um componente ou o comportamento de determinado material durante o tempo de vida útil do mesmo.

Os métodos de ensaio abrangem procedimentos para a realização de classificações de porosidade em amostras metalográficas de revestimentos termo estimulados preparados em conformidade com o Guia E1920, por comparação direta com imagens padrão e através da utilização de equipamento de análise de imagens (ASTM E 2109, 2007).

### 2.3.2 Óxidos

As camadas de óxidos superficiais em metais podem ser formadas por diversos fatores. Segundo PAREDES (1998) a formação de óxidos está relacionada com a atmosfera pela qual são transferidas e depositadas as partículas fundidas ou superaquecidas no bico das pistolas de cada processo de AT.

As principais fontes de oxidação são:

- Gás de transporte, geralmente ar comprimido (FS, ASP);
- Atmosfera ambiente, que envolve a zona de transferência das partículas;
- Partículas e/ou camadas já ancoradas ao substrato e que ficam expostas ao ar do meio ambiente após deslocamento da pistola.

A presença de óxido eleva o atrito entre partícula líquida e substrato, que pode ocasionar o aprisionamento da partícula durante a solidificação. Inclusões de óxidos em revestimento metálicos podem aumentar a dureza do revestimento tornando quebradiço, as inclusões são diferenciadas por apresentar fases escuras e alongadas que podem ser observadas na seção transversal do revestimento. A

porcentagem do teor de óxido vai influenciar na qualidade do revestimento, podendo diminuir a sua força coesiva do revestimento no substrato e interlamelar (LIMA; TREVISAN, 2007; PAREDES, 2009).

### 2.3.3 Microtrincas

Microtrincas são comumente encontradas em revestimentos aspergidos, porém, somente são aceitáveis em revestimentos cerâmicos e se localizam perpendicularmente as lamelas depositadas fazendo com que o material aumente sua capacidade de deformação e a resistência a fadiga. São formadas devido a tensões produzidas pela restrição a contração térmica de lamelas vizinhas, pelo material adjacente, no resfriamento durante a solidificação.

E isto normalmente não ocorre em materiais metálicos por que eles apresentam a característica de escoar plasticamente acomodando as deformações térmicas (LIMA; TREVISAN, 2007; PAREDES, 2009).

Devido as tensões geradas durante os processos de AT, os revestimentos que possuem óxidos, possuem microtrincas que tendem a diminuir o desempenho e a segurança dos revestimentos. Essa falha pode ser minimizada com a aplicação de tratamentos após a deposição (MARANHÃO, 2006).

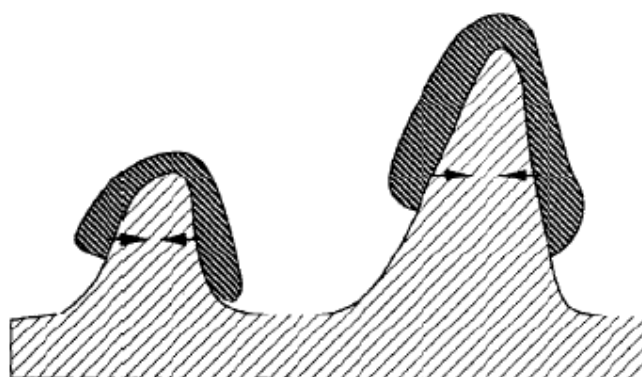
### 2.3.4 Aderência

A resistência mecânica de um revestimento efetuado por AT depende da aderência entre a camada e o substrato, bem como da coesão entre as partículas depositadas. As lamelas do revestimento ancoram-se mecanicamente a rugosidade do substrato (figura 17) devido as forças resultantes de contração do líquido durante a solidificação (Lima et al, 2007).

O componente lamelar do revestimento aspergido é oriundo da deformação plástica e do resfriamento ocorridos no impacto das partículas fundidas ou semifundidas sobre o substrato, sendo que essas lamelas se mantêm aderidas ao substrato ou coesas entre si por ação de forças de origem mecânica, química ou de origem física (VÁZ, 2011). A aderência é, uma combinação destes três mecanismos. Quando do impacto das partículas aquecidas e aceleradas contra o substrato, essas

se achatam numa forma lenticular, resfriam-se rapidamente e ancoram-se mecanicamente nas irregularidades da superfície (PAREDES, 1998).

**Figura 17 - Ilustração da ancoragem mecânica das partículas à superfície do substrato.**



Fonte: Powlowski (2008).

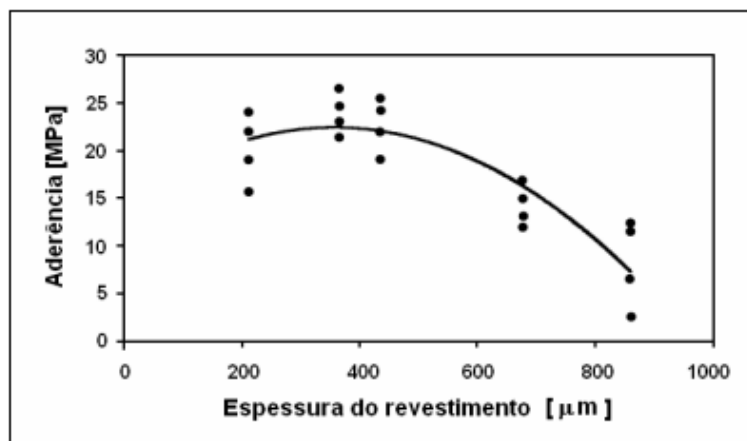
A Interação física entre os átomos das lamelas/substrato resulta na ação das forças de Van der Waals, que só ocorre se o contato a nível atômico, cerca de 5 nm (LIMA; TREVISAN, 2007). Para evitar esse tipo de ligação fraca, é de suma importância realizar a limpeza de forma eficaz da superfície do substrato, para que o contato, entre partícula e substrato, seja o melhor possível.

Metalurgicamente, pode haver a difusão de elementos de liga das lamelas para o substrato ou vice-versa, ou reação química lamela/lamela. A interação química – metalúrgica pode ocorrer em menor ou maior grau, dependendo do calor fornecido da partícula para o substrato e natureza do material. Podendo haver fusão localizada e difusão atômica com formação de soluções sólidas, compostos intermetálicos, caracterizando o mecanismo de aderência. Esse tipo de compostos químicos entre partículas e substratos resulta em ligações muito fortes (Lima et al, 2007).

A espessura do revestimento também influencia na aderência, GODOY et al determinou através de ensaios de tração regulamentados pela norma ASTM C 633 - 79 (*Standard Test Method for Adhesion Or Cohesive Strength of Flame-Sprayed Coatings*). O revestimento de NiCrAl foi aplicado pelo processo de aspersão a plasma (*Plasma Spray*) sobre o substrato em aço carbono AISI 1020. Os resultados podem ser analisados no gráfico (Figura 18) que mostra a aderência em função da espessura

do revestimento. Segundo os autores, foi observada uma relação inversa entre a aderência e tensões residuais na interface do revestimento/substrato.

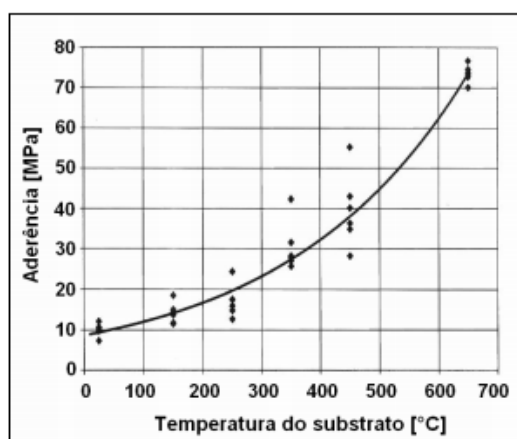
**Figura 18 - Aderência de revestimentos de NiCrAl em função da espessura.**



Fonte: Adaptada de GODOY et al (2002).

Segundo Lima e Trevisan (2007) existe a relação da aderência em função da temperatura, e que a temperatura do substrato afeta a uniformidade e a densidade do revestimento. Revestimentos aplicados sobre um substrato preaquecido apresentam menor porosidade e ausência de vazios na interface substrato/revestimento, logo, os revestimentos possuem maior densidade (MARANHO, 2006). A figura 19 mostra a relação da aderência em função da temperatura:

**Figura 19 - Relação da aderência em função da temperatura do substrato.**



Fonte: Adaptado de Planche et al (2003).



### 2.3.4.1 Medição da aderência

Podemos observar que a ligação entre partículas e substratos é fundamental para garantir a qualidade do revestimento. Craqueamento e descolagem do revestimento do substrato são dois tipos principais falha comuns. Conseqüentemente, a avaliação da integridade da estrutura dos revestimentos é importante, para garantir a segurança e confiabilidade de materiais revestidos (AZIZPOUR et al, 2012). Para este propósito, existe uma grande diversidade de testes destrutivos e não destrutivos para a análise de aderência dos revestimentos, tais como, teste de aderência à tração (TAT), testes baseados na mecânica de fraturas (*Double Cantilever Beam* (DCB), ensaios de flexão e teste de entalhe) e outros métodos, como o teste de descamamento (*T-Peel Test*), o teste por riscamento e o teste de choque a laser (PALOWSKI, 2008).

- Aderência pelo ensaio de tração (T. A. T.)

A aderência é medida como a força necessária para separar o revestimento do substrato, e esta ideia reforça a importância da preparação do substrato na adesão do revestimento (PAREDES, 2009). O método mais comumente usado é o ensaio de tração baseado na norma ASTM C633, este método determina o grau de aderência (força de adesão) de um revestimento a um substrato ou a força de coesão do revestimento em uma tensão normal à superfície (AZIZPOUR et al, 2012).

Para a aplicação da força trativa é necessário a utilização de adesivo apropriado entre a face revestida do corpo-de-prova e a face de um corpo extrator (Figura 20). Para que o ensaio tenha validade, a resistência do adesivo deve ser no mínimo igual à aderência entre o revestimento e o substrato que se pretende medir (MENEZES, 2007).

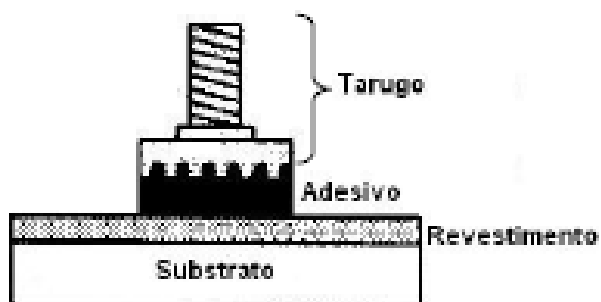
Para aplicação da carga de tração, montagem do revestimento e acessórios, não deve permitir carga excêntrica ou momento de flexão para a amostra. O auto alinhamento é muitas vezes fornecido pelo fabricante como parte integrante da máquina de teste. A figura 20 mostra um arranjo básico de tração e a figura 21 aparelho alternativo (ASTM C633 - 79, 1993).

A resistência à tração, se dá através da divisão da carga máxima aplicada em ruptura pela área da seção transversal. A força de adesão do revestimento é dada se a falha ocorrer apenas na interface revestimento-substrato (PALOWSKI, 2008).

Segundo Paredes (1998) Os tipos de ruptura que podem ocorrer após o ensaio de tração são os seguintes:

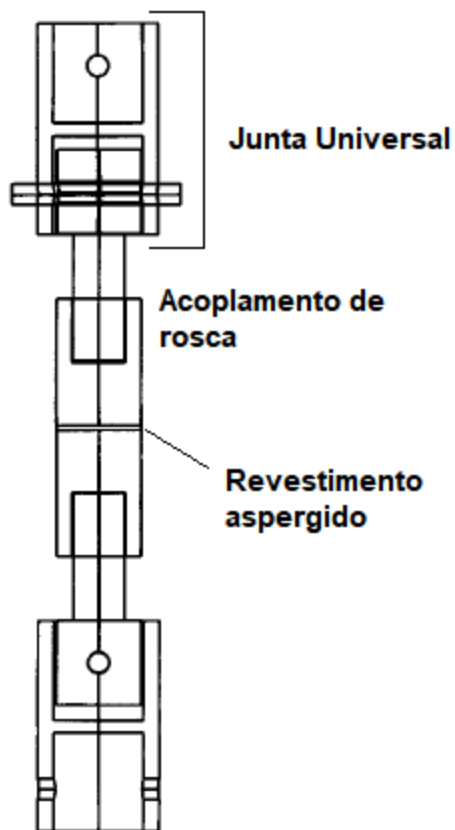
- Ruptura na camada (falha por coesão);
- Ruptura na interface revestimento/substrato (falha de aderência)
- Ruptura combinada: no adesivo - por coesão - por aderência (ruptura no adesivo).

Figura 20 - Arranjo básico de um ensaio de tração.



Fonte: Menezes (2007).

Figura 21 - Esquema do procedimento alternativo para ensaio de tração.

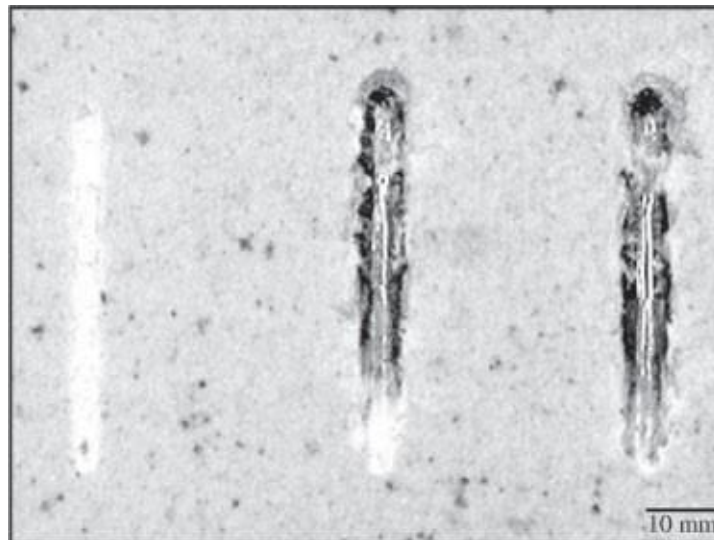


Fonte: Adaptado de ASTM C633 - 79 (1993).

- Teste Por Riscamento

É um teste utilizado para avaliação da adesão de revestimentos. Consiste em arrastar um penetrador, hemisférico ou piramidal, através da superfície dos revestida, aplicando-se uma força normal a esta superfície com uma aplicação de carga progressiva, até que o destacamento do revestimento aconteça (figura 22). Este método foi utilizado por Heavens e Collins em 1952, para o estudo de filmes metálicos depositados sobre vidro. (GONÇALVES, 2012).

**Figura 22 - Teste por riscamento.**

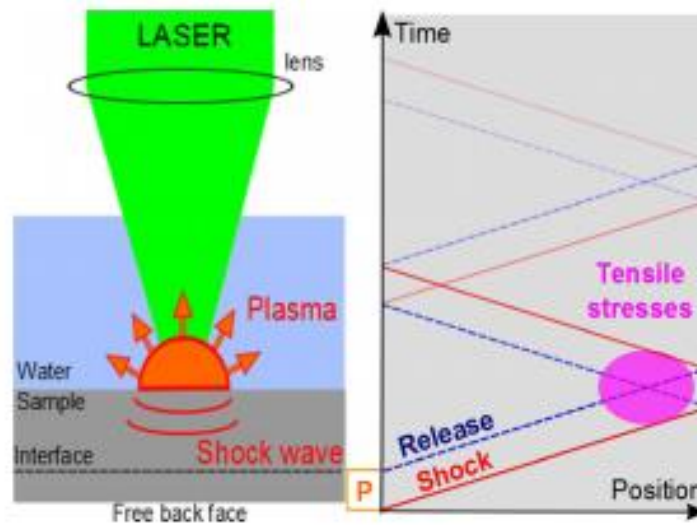


**Fonte: Veloso et al (2002).**

- Teste de Choque a Laser ( LASAT)

O laser shock adhesion test (LASAT) é uma técnica que consiste em focar um feixe de laser pulsante em um alvo em baixo d'água, criando uma camada de plasma que se expande gerando uma onda de choque que resulta em um alta tensão de tração no corpo de prova, essa solicitação permite avaliar a resistencia de união da camada dinamica da camada aspensão térmica (figura 23).

Figura 23 - Teste por choque a laser.



Fonte: Courapied et al. (2000).

- Aderência pelo ensaio de dobramento

O ensaio de dobramento indica maior ou menor aderência ao substrato fornecendo um comparativo da ductilidade da camada de revestimento. A metodologia do ensaio segue estritamente as normas MIL-STD-2138 (1992) A e Petrobras N-2568 (2011). O ensaio é realizado em um dispositivo portátil (Figura 24) com um mandril de 13 mm, a face oposta a revestida do CP deve estar em contato com o mandril. O corpo-de-prova deve ser dobrado até atingir 180°. Devem ser utilizados cinco corpos-de-prova para cada esquema de metalização com as seguintes dimensões: 75 mm x 50 mm x 1,25 mm, tais corpos-de-prova devem ser revestidos numa de suas faces mais largas com espessura de revestimento acima do mínimo (PETROBRAS N-2568, 2011).

**Figura 24 - Equipamento de dobramento.**



**Fonte: PETROBRÁS N-2568 (2011).**

A força de adesão do revestimento metalizado nos corpos de prova deve ser 10,3 MPa ou maior e a resistência média do revestimento metalizado nos CP deve ser igual ou maior a 13,8 Mpa (MIL-STD-2138 A, 1992).

Para critério de avaliação o corpo de prova não pode ter indícios de trincamento grosseiro ou descolamento do revestimento. Trincas finas e curtas ou “rabo de peixe” na região próxima ao dobramento são permitidas. A camada é considerada reprovada quando pode se remover a camada pela incisão de uma lâmina de faca ou canivete junto às trincas existentes após o ensaio (PETROBRAS N2568, 2011). Na tabela 6 estão os critérios de avaliação requeridos para as camadas do revestimento.

**Tabela 6 - Critérios de avaliação dos ensaios de dobramento para aprovação das camadas.**

<b>Condição</b>	<b>Aparência da superfície</b>
Ideal	Sem micro trincas ou micro trincas superficiais
Marginal	Contém micro trincas, sem desgarramento ou deslocamento da camada
Rejeitada	Contém trincas e fendas com desgarramento e deslocamento da camada

**Fonte: PETROBRAS N-2568 (2011).**

## 2.4 ALUMÍNIO

Segundo CALLISTER (2002) o alumínio e suas ligas são caracterizados por uma relativa baixa densidade de  $2.7 \text{ g/cm}^3$ , cerca de um terço da densidade do aço, boa condutividade térmica, elétrica e excelente resistência a corrosão em ambientes comuns. Possui uma estrutura cubica de face centrada (CFC) que propicia ductilidade mesmo a baixas temperaturas e uma baixa temperatura de fusão de apenas  $660 \text{ }^\circ\text{C}$ .

O Alumínio é comumente utilizado em aplicações que se beneficiam da sua elevada resistência específica e resistência a corrosão, qualidade essencial na indústria aeronáutica e aeroespacial. CALLISTER (2002). Novas ligas podem propiciar propriedades ainda melhores, materiais como titânio e magnésio podem formar ligas com até  $2.5 \text{ g/cm}^3$  ou propiciar maior resistência a fadiga e melhora da tenacidade

As propriedades do alumínio tornam ele um excelente material para aplicação por aspensão térmica, tendo uma maior aderência e menor porosidade que outros materiais, podendo ser aplicado por vários processos como o arco elétrico (ASP) a chama oxiacetilênica (FS) e chama de elevada velocidade (HVOF), os melhores resultado são obtidos com a maior energia dos métodos HVOF e o ASP, porém o método mais simples FS ainda é capaz de atingir bons resultados CORTÉS (1998), BERNECCKI (1992), KREYE (1990).

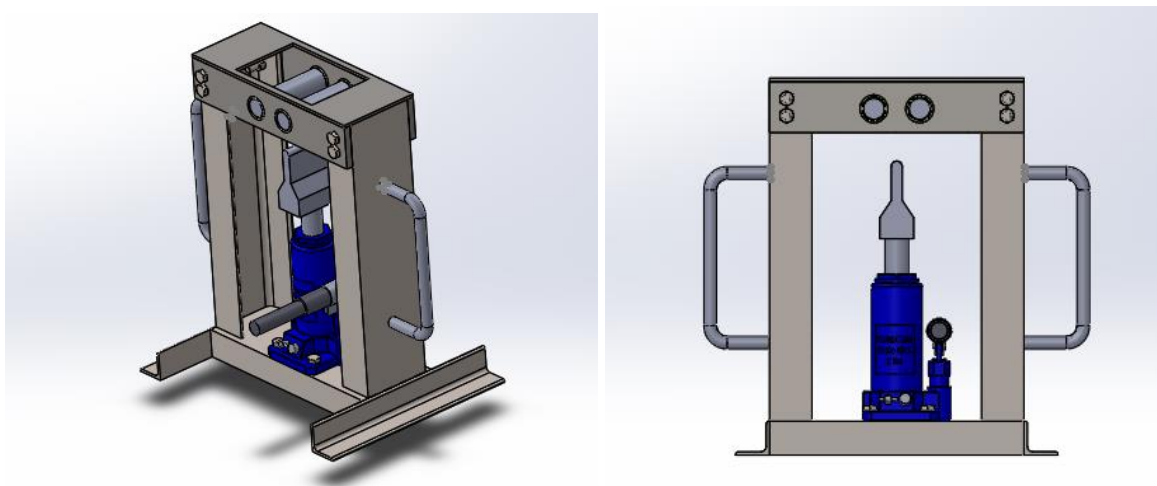
Segundo PAREDES (2006) quando aplicado em pó pelo processo de flame spray powder (FS) a proteção contra a corrosão acontece devido a oxidação de uma fina camada superficial que forma óxido de alumínio (alumina). Por esse motivo o alumínio é usado em várias ligas para obter proteção.

### 3 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)

#### 3.1 DIMENSIONAMENTO DO DISPOSITIVO

O dispositivo (Figura 25) foi dimensionado utilizando parâmetros da norma PETROBRAS N-2568 (2011) e baseado no dispositivo utilizado por PAREDES (1998). O modelamento em 3D foi realizado no software SolidWorks 2015.

**Figura 25 - Modelagem 3D do dispositivo para ensaio de dobramento.**



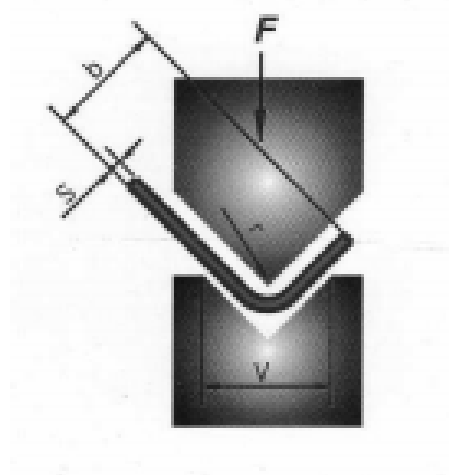
Fonte: Autoria própria (2019).

#### 3.2 REQUISITOS DO PROJETO

Os seguintes requisitos devem ser atendidos para funcionamento do equipamento:

- **Macaco hidráulico:** O equipamento foi selecionado afim de atender as especificações exigidas, com base em cálculos de força de dobramento em toneladas pela equação (1). O esquema a seguir (Figura 26) mostra como é calculada a força de dobramento. Para a escolha do macaco também foi levado em consideração o custo e disponibilidade de compra.

Figura 26 - Esquema para o cálculo de dobramento.



Fonte: Catálogo Pressas Hidráulicas Videira (2019).

$$F = \frac{2 \cdot S^2 \cdot T}{1,4 \cdot V} \quad (1)$$

Onde S é a espessura em mm da chapa, T a tensão de ruptura em kgf/mm<sup>2</sup> e V a abertura em mm da chapa. Realizando o cálculo para chapas de espessura de 2 mm e uma tensão de ruptura para o aço 1020 de 40 kgf/mm<sup>2</sup>, a força de dobramento é de 4,2 toneladas. Porém, não foi encontrado em lojas locais macaco de 5 toneladas, por isso optou-se por utilizar um com 6 toneladas.

O macaco é do tipo garrafa e possui curso de 135 mm e altura total de 370 mm, as dimensões da base são 89 mm x 99 mm. Os demais componentes do dispositivo foram dimensionados conforme a norma PETROBRAS N-2568 (2011) e levando em consideração o curso do macaco.

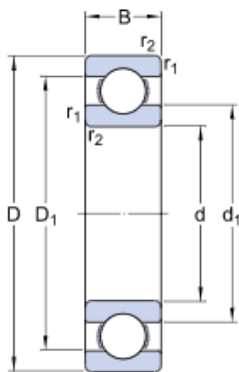
- **Mandril:** Deve possuir um diâmetro de 13 mm (norma PETROBRAS N-2568, 2011). A base deve possuir uma área de 50mm x 75 mm para que haja fixação na haste do macaco. O mandril será fabricado a partir de um tarugo em aço SAE 1020 com resistência à tração de 450 Mpa e um limite de escoamento de 345 Mpa, cedido pela empresa Fersul.
- **Eixos:** Os eixos foram fabricados a partir de uma barra com 32 mm de diâmetro (PAREDES, 1998). Devido ao contato direto com o revestimento durante o dobramento, o material selecionado foi um aço médio carbono. O aço SAE 1045 possui uma resistência à tração de 585 Mpa e módulo de elasticidade de



190 GPa. Para alívio de tensões, foi realizado tratamento térmico de tempera e revenimento.

- **Rolamentos:** O rolamento 6805 foi selecionado com base nos diâmetros externos dos eixos. O rolamento rígido de esferas, blindado e com 25 mm de diâmetro de furo, possui diâmetro externo de 37 mm e 7 mm de espessura. Possui uma carga dinâmica de 4,36 KN e estática de 2,6 KN. As figuras 27 e 28 mostram as especificações dos rolamentos selecionados.

**Figura 27 - Dimensões do rolamento.**

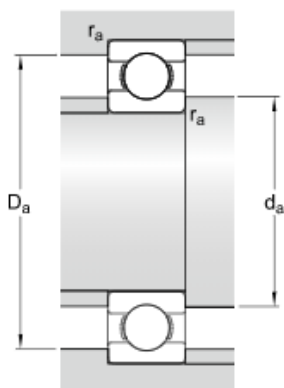


d	25	mm
D	37	mm
B	7	mm
d <sub>1</sub>	≈ 28.5	mm
D <sub>1</sub>	≈ 33.15	mm
D <sub>2</sub>	≈ 34.2	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 0.6	mm

Fonte: Catálogo interativo SKF rolamentos (2019).

Para o encosto do rolamento o eixo deve possuir no mínimo 27 mm de diâmetro, para atender essa especificação foi realizado um rebaixo no eixo.

**Figura 28 - Dimensões mínimas e máximas do rolamento.**



d <sub>a</sub>	min. 27	mm
D <sub>a</sub>	max. 35	mm
r <sub>a</sub>	max. 0.3	mm

Fonte: Catálogo interativo SKF rolamentos (2019).

- **Placas:** As placas foram fabricadas em chapas de aço SAE 1020 devido a disponibilidade de compra. As dimensões estipuladas devem atender os rolamentos selecionados.
- **Bases:** As bases laterais e inferior, foram fabricadas a partir de perfis U cedidos pela empresa Sartori Pré-Moldados e Estruturas Metálicas.

### 3.2.1 Seleção de Materiais

Os materiais para a construção do dispositivo foram selecionados devido a solicitação do componente e facilidade de obtenção do material. A seguir a tabela 7 mostra a escolha do material para cada componente.

**Tabela 7 - Materiais selecionado para os componentes.**

<b>Componente</b>	<b>Material</b>
Base Inferior	Perfil U 120 mm x 50 mm x 3,25 mm SAE 1020
Bases Laterais	Perfil U 100 mm x 40 mm x 2,25 mm SAE 1020
Placas laterais	Chapa 10 mm SAE 1020
Alças	Barra redonda 10mm
Mandril	ASTM A-36
Corpo de Prova	Chapa 1,25 mm SAE 1020
Cantoneiras	1/8 x 2" galvanizada
Eixos	Barra trefilada redonda 32 mm SAE 1045
Parafusos e Porcas	M10 sextavados

**Fonte: Autoria própria (2019).**

### 3.3 FABRICAÇÃO DOS COMPONENTES

Os processos de fabricação (tabela 8) foram selecionados de acordo com a disponibilidade dos laboratórios do Campus Pato Branco.

**Tabela 8 - Processos de fabricação dos componentes.**

<b>Componente</b>	<b>Processo de fabricação</b>
Base Inferior	Corte
Bases Laterais	Corte
Placas laterais	Usinagem
Alças	Dobramento
Mandril	Usinagem
Corpo de Prova	Corte
Cantoneiras	Corte
Eixos	Usinagem/Tratamento térmico
Parafusos e Porcas	

**Fonte: Autoria própria (2019).**

### 3.3.1 Processos de Fabricação

#### 3.3.1.1 Usinagem

Para fabricação do mandril foi utilizado um tarugo retangular em aço SAE 1020 de dimensões 95 mm x 75 mm x 50 mm cedido pela empresa FERSUL Usinagem (figura 29). As Placas laterais foram fabricadas a partir de uma chapa retangular de dimensões 120 mm x 60 mm x 10 mm.

**Figura 29 - Tarugo para fabricação do mandril.**



**Fonte: Autoria própria (2019).**

O mandril e as placas laterais foram reproduzidos no software SolidCam 2016, onde se obteve o código para programação da máquina CNC. Ambos foram usinados no torno CNC marca e modelo VEKER CVK-800 disponível no laboratório de usinagem do campus Pato Branco (figura 30). Para a fabricação das peças foi utilizado uma fresa de topo de metal duro com 3 insertos de 20 mm e os parâmetros de usinagem estão descritos na tabela 9.

**Tabela 9 - Parâmetros de Usinagem CNC.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Mandril</b>	<b>Placas Laterais</b>
Profundidade de corte ( $A_p$ )	1 mm	0,25 mm
Velocidade corte ( $V_c$ )	125,6 mm/min	75,4 mm/min
Velocidade avanço ( $V_f$ )	100 mm/min	420 mm/min

Fonte: Aatoria própria (2019).

**Figura 30 - Equipamento CNC do laboratório.**



Fonte: Aatoria Própria (2019).

Os eixos foram usinados no torno convencional marca e modelo TORMAX 20 (Figura 31) disponível no laboratório de usinagem do campus Pato Branco, utilizando um inserto triangular. A seguir a tabela 10, onde estão especificados os parâmetros utilizados na usinagem dos eixos.

**Tabela 10 - Parâmetros de usinagem eixos.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Eixos</b>
Profundidade de corte ( $A_p$ )	0,5 mm
Velocidade corte ( $V_c$ )	110 mm/min
Velocidade avanço ( $V_f$ )	0,07 mm/min

**Fonte: Aatoria própria (2019).**

**Figura 31 - Torno convencional utilizado na usinagem dos eixos.**



**Fonte: Aatoria própria (2019).**

### 3.3.1.2 Tratamento Térmico

Para o tratamento térmico dos eixos, foram utilizados dois processos, têmpera e revenimento, para alívio de tensões decorrentes de processos de fabricação. Os processos foram realizados no laboratório de soldagem do campus Pato Branco. As temperaturas utilizadas foram estipuladas para a têmpera do aço 1045 e o resfriamento a óleo foi escolhido para evitar deformação, as muflas (figura 33) foram pré-aquecidas.

Após o tratamento térmico foi realizada uma limpeza das peças com uma escova de aço. A figura 32 mostra os eixos preparados para o tratamento térmico. A tabela 11 apresenta os parâmetros utilizados no tratamento térmico dos eixos.

**Tabela 11 - Tabela de parâmetros utilizados no tratamento térmico.**

Processo	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Equipamento	Resfriamento
Têmpera	840	40	Mufla	Óleo
Revenimento	250	120	Mufla	Ar

**Fonte: autoria própria (2019).**

**Figura 32 - Eixos preparados para tratamento térmico.**



**Fonte: Autoria própria (2019).**

**Figura 33 - Forno Mufla.**



**Fonte: Autoria própria (2019).**

Logo após o tratamento térmico foi realizado a dureza superficial no equipamento para ensaio de dureza HRC, durômetro, da marca DIGIMESS (figura 34).

**Figura 34 - Equipamento para ensaio de dureza HRC.**



**Fonte: Autoria própria (2019).**

### 3.3.1.4 Corte e dobramento

As bases laterais, base inferior e cantoneiras foram cortadas com uma serra de corte e alças dobradas na dobradeira. A empresa Sartori Pré-Moldados e Estruturas metálicas disponibilizou o material e as ferramentas para o corte e dobramento desses componentes.

### 3.3.2 Montagem

A primeira etapa da montagem foi parafusar as placas laterais, com os rolamentos acoplados, nas bases laterais, em seguida, os eixos foram alinhados e encaixados nas placas. A união da base inferior, bases laterais e cantoneiras utilizou-se a máquina de solda Mig da marca e modelo SolMig 250 disponível no campus Pato Branco no laboratório de soldagem.

O mandril foi fixado no macaco hidráulico e para a fixação do macaco na base inferior foram utilizados cantoneiras e parafusos. O macaco foi o último componente a ser fixado para que houvesse perfeito alinhamento do mandril entre os eixos. A figura 35 mostra o equipamento em fase de montagem, onde o macaco é elevado para alinhar o mandril.

**Figura 35 - Dispositivo de dobramento em fase de montagem.**



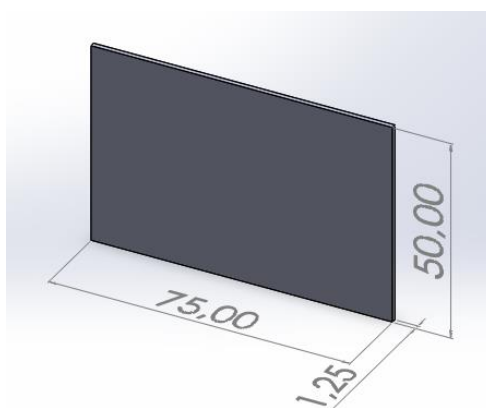
**Fonte: Aatoria própria (2019).**



### 3.4 PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO

Para fabricação dos corpos de prova foram utilizados 20 chapas de aço SAE 1020 com 75 mm x 50 mm x 1,25 mm (figura 36). As chapas foram cortadas na guilhotina.

**Figura 36 - Corpo de prova para ensaio de dobramento.**



Fonte: Autoria própria (2019).

#### 3.4.1 Limpeza do substrato

Foi realizada uma limpeza mecânica no substrato com lixa 80 #, afim de eliminar impurezas e obter rugosidade na superfície do substrato para melhor a ligação entre partículas revestimento/substrato. Para a medição da rugosidade utilizou-se um rugosímetro da marca TIME e modelo TR-220 (Figura 37) disponível no laboratório de metrologia mecânica no campus Pato Branco. Foram realizadas 7 medições da rugosidade média ( $R_a$ ) e rugosidade máxima ( $R_y$ ).

**Figura 37 - Rugosímetro digital.**



Fonte: Autoria própria (2019).

### 3.5 DEPOSIÇÃO DO ALUMÍNIO POR AT

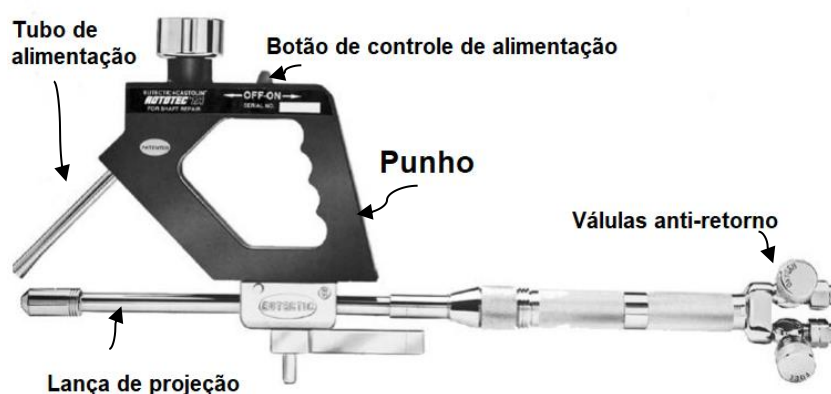
O processo de deposição por FS (*Flame Spray*) foi realizado no laboratório de soldagem do campus Pato branco utilizando o equipamento Rototec. A figura 38 mostra o detalhamento do equipamento. O revestimento de alumínio foi utilizado na forma de pó e o tamanho das partículas variavam entre 75 e 150 microns. Os parâmetros usados na aspersão seguiram o manual do fabricante do equipamento (tabela 12).

**Tabela 12 - Parâmetros utilizados no processo por deposição.**

Parâmetros utilizados no processo de AT	
Variável	Valor aproximado
Pressão do Oxigênio	1,4 bar
Pressão Acetileno	0,55 bar
Velocidade de deslocamento da pistola	15 cm/s
Número de passes	3 passes
Taxa de Alimentação	1 g/s

Fonte: Adaptado do manual Rototec (2019).

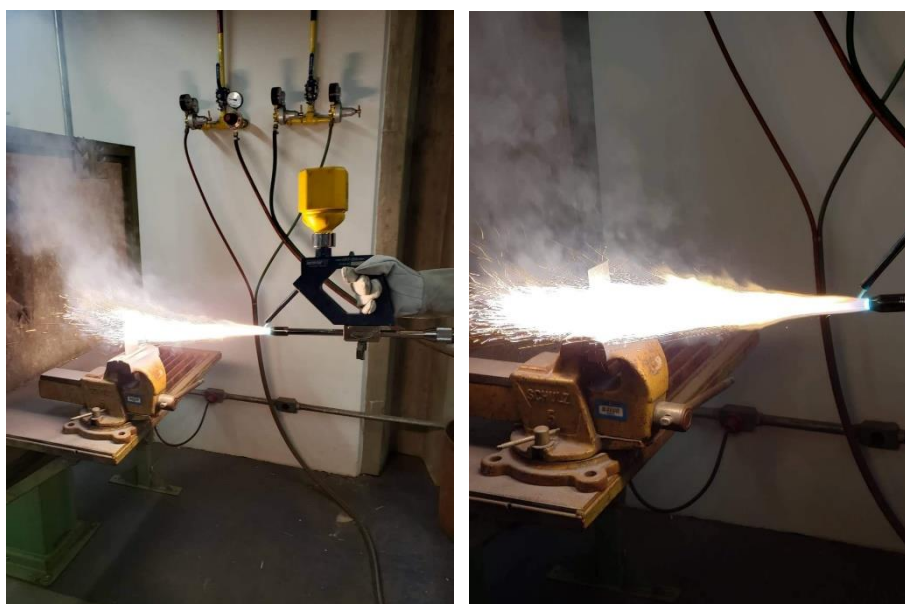
**Figura 38 - Pistola de aspersão térmica Rototec.**



Fonte: Adaptado do manual Rototec (2019).

O preaquecimento foi realizado com a mesma pistola utilizada na deposição. Utilizou-se 20 corpos de provas, 5 corpos de prova (CP) para cada temperatura de preaquecimento, 60°C, 90°C e 120°C e temperatura ambiente. A temperatura era controlada por um termostato. O corpo de prova foi fixado em uma morsa para realizar a aplicação do revestimento. A figura 39 mostra a aplicação do revestimento em alumínio sob o substrato.

**Figura 39 - Aplicação por aspersion térmica chama pó.**



**Fonte: Aatoria própria (2019).**

## 3.6 CARACTERIZAÇÃO DO REVESTIMENTO

### 3.6.1 Espessura do Revestimento

A espessura do revestimento foi medida por um micrômetro externo digital marca Insize modelo IP54 (figura 40) com resolução de 0,001mm disponível no laboratório de metrologia do campus Pato Branco. O procedimento foi realizado através de uma raspagem na camada do revestimento do corpo de prova aspergido. O critério utilizado para avaliar a espessura é de acordo com a norma da PETROBRAS N-2568 (2011) (tabela 13).

**Figura 40 - Micrômetro externo digital.**



Fonte: Autoria própria (2019).

**Tabela 13 - Critérios para avaliação de espessura do revestimento.**

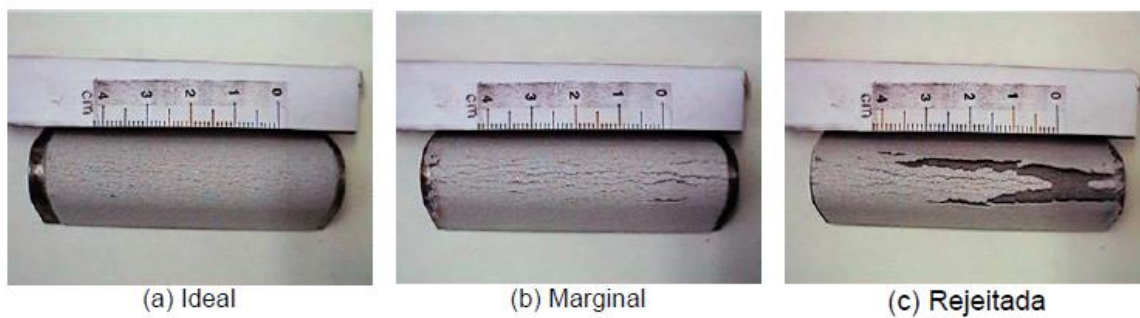
<b>Critério</b>	<b>Espessura do material aspergido (<math>\mu\text{m}</math>) alumínio - zinco - ligas de zinco (85Zn15Al) - aços inoxidáveis</b>
Reprovado	< 225
Aprovado	225 - 400
Sujeito ao teste da faca (ver Nota)	400 - 500
Reprovado	> 500

Fonte: PETROBRÁS N-2568 (2011).

### 3.6.1 Aderência do revestimento

Para a análise de aderência por dobramento foi utilizada a norma PETROBRAS N-2568 - Revestimentos Metálicos por Aspersão Térmica. O ensaio de foi realizado no dispositivo projetado e fabricado. Os corpos de provas aspergidos foram dobrados em um ângulo de 180°. A análise do revestimento é realizada visualmente. A figura 41 apresenta os critérios utilizados para avaliação da aderência segundo a norma PETROBRAS N-2568 (2011).

**Figura 41 - Critério de avaliação visual em corpos de prova.**



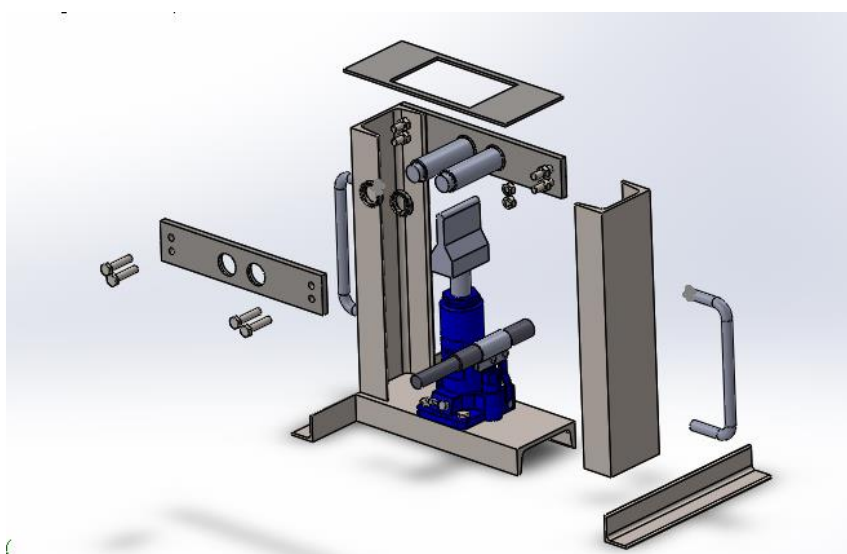
**Fonte: PETROBRAS N-2568 (2011).**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 PROJETO DO DISPOSITIVO

A figura 42 mostra os componentes selecionados para fabricação do dispositivo. O detalhamento do dispositivo e dos componentes estão disponíveis nos apêndices.

**Figura 42 - Vista explodida dos componentes do dispositivo.**

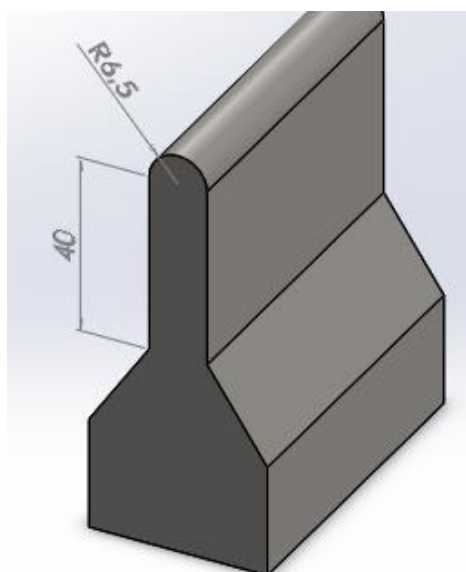


Fonte: Autoria própria (2019)

(1)

**Mandril** – Segundo a norma PETROBRAS N-2568 (2011) o ensaio deve ser executado com um mandril de 13 mm de diâmetro. As dimensões da base do mandril (Figura 43) foram estimadas em 50 mm x 75 mm para que haja estabilidade durante o ensaio. A altura do mandril, 90 mm, foi estipulada para que a parte mais estreita do componente não sofresse deformação.

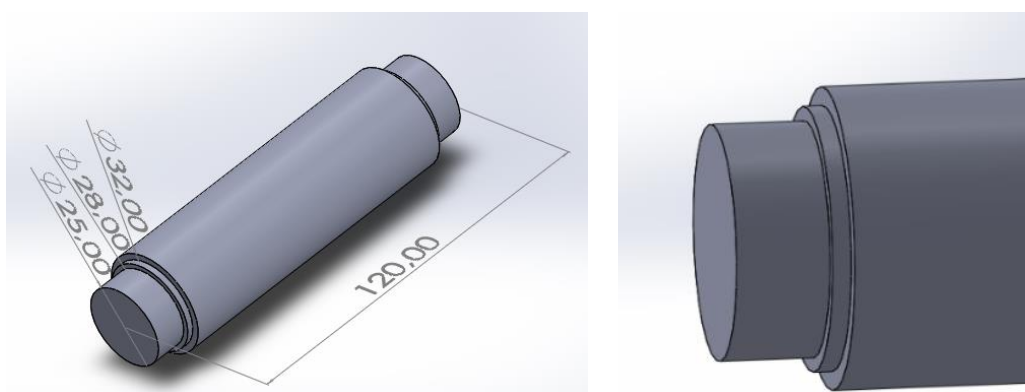
**Figura 43 - Modelagem 3D do mandril.**



Fonte: A autoria própria (2019).

**Eixos** - Os eixos, segundo Paredes (1998), devem possuir um diâmetro de 32mm e segundo a norma PETROBRAS (2011) a distância entre os centros dos eixos deve ser de 54mm. O eixo deve medir no mínimo 75 mm, para que o corpo de prova possa ser dobrado longitudinalmente. Para encaixe dos rolamentos, os eixos foram superestimados, sendo assim, o comprimento total dos eixos foi de 120 mm. Os eixos possuem 2 rebaiços, um rebaixo de 2 mm com 28 mm de diâmetro para fixação dos rolamentos e evitar movimento axial dos mesmos e outro rebaixo de 10 mm com 25 mm de diâmetro para o acoplamento dos rolamentos. A figura 44 mostra o desenho em 3D do eixo e o detalhamento dos rebaiços no eixo.

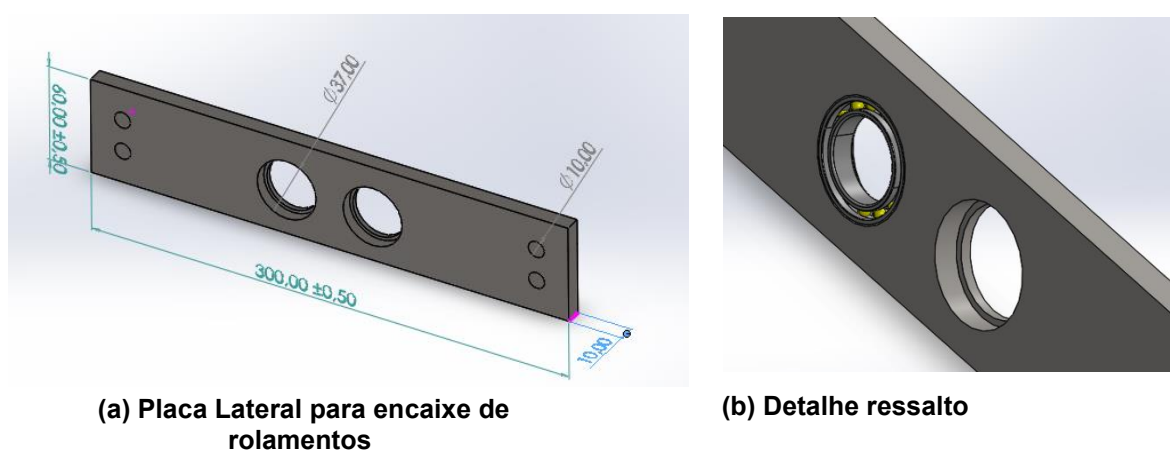
**Figura 44 - Modelagem 3D dos eixos.**



Fonte: A autoria própria (2019).

**Placas Laterais** – As chapas laterais foram projetadas como mancais para abrigar os rolamentos, e para aumentar a rigidez do dispositivo. Possuem 300 mm de comprimento por 60 mm de altura e 10 mm de espessura, pois os rolamentos possuem uma largura de 7mm. As Placas contam com dois furos centrais de 42 mm de diâmetro para encaixe dos rolamentos e um ressalto de 3mm para evitar movimento axial dos mesmos (Figura 45a). Optou-se como forma de fixação da chapa, no dispositivo, através de parafusos M10, afim de facilitar a troca e manutenção de rolamentos, sendo assim, foram realizados 4 furos de 10 mm de diâmetro em cada chapa. A figura 45b mostra o detalhe do ressalto para fixação do rolamento.

**Figura 45 - Placas laterais.**

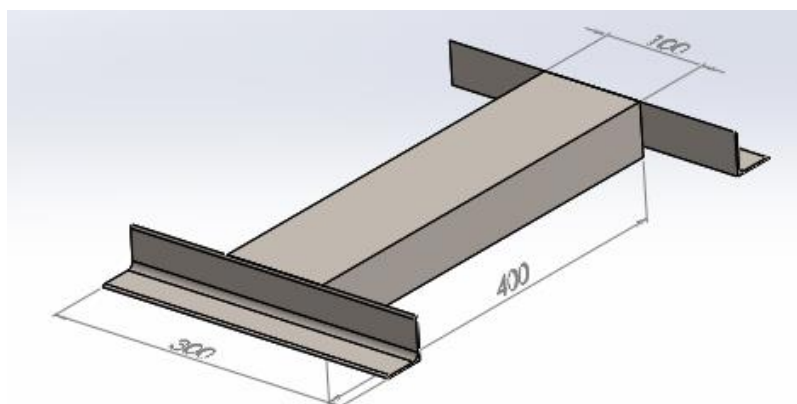


**Fonte: Autoria própria (2019).**

**Base inferior** – Para a base inferior, utilizou uma chapa de perfil U com 120 mm de altura do perfil, 50mm de largura do perfil, 3,25 mm de espessura da alma e 400 mm de comprimento para que o macaco fique estável na base. A figura 46 mostra a o desenho 3D da base inferior soldada em cantoneiras de bases iguais 40 mm x 40 mm x 2 mm com 300 mm de comprimento para estabilidade do dispositivo.



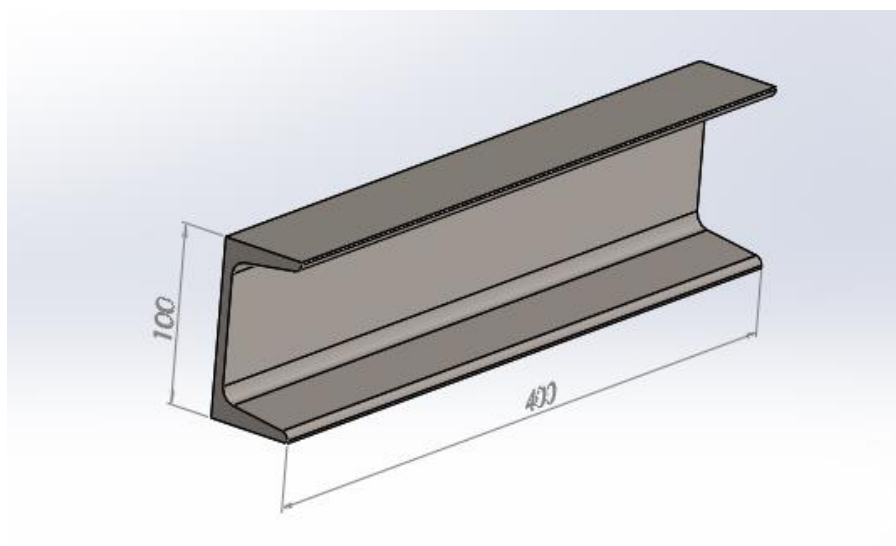
Figura 46 - Modelagem base inferior.



Fonte: Autoria própria (2019).

**Bases Laterais** – A chapa lateral foi projetada com uma altura de 400 mm de comprimento devido ao curso do macaco com o mandril fixado. A Chapa é em perfil U com 100 mm de altura do perfil, 40 mm de largura, 2,25 mm de espessura da alma. A seguir a figura 47 mostra a base lateral do dispositivo.

Figura 47 - Base lateral.

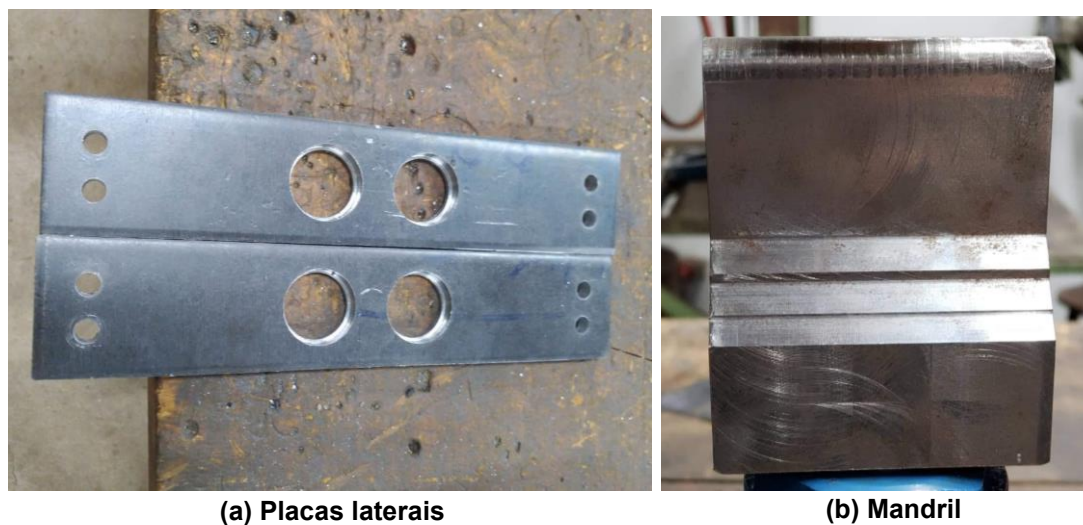


Fonte: Autoria própria (2019).

## 4.2 FABRICAÇÃO E MONTAGEM DO DISPOSITIVO

A figura 48 mostra as placas e o mandril já usinados, apesar da usinagem CNC não ser a mais indicada para o mandril, devido à complexidade da peça, o componente obteve o diâmetro necessário para o dobramento das chapas.

**Figura 48 – Placas para rolamento e Mandril.**



Fonte: Autoria própria (2019).

No tratamento térmico dos eixos (figura 49) a dureza superficial ficou em torno 20 HRC, o que está bem abaixo do esperado, uma possível causa é o tempo de revenimento.

**Figura 49 - Eixos após tratamento térmico.**



Fonte: Autoria própria (2019).

Na montagem do dispositivo notaram-se alguns problemas na soldagem das bases laterais na base inferior, devido a espessura do material, não foi possível realizar um cordão de solda uniforme, pois havia risco de furar a peça. Os demais componentes foram montados com êxito. A figura 50 mostra o dispositivo desenvolvido já pronto para execução do ensaio e a tabela 14 apresenta o custo total de construção do dispositivo.

**Figura 50 - Dispositivo desenvolvido para ensaio de dobramento.**



Fonte: Autoria própria (2019).

**Tabela 14 - Planilha de custos para construção do dispositivo.**

<b>Item</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Macaco hidráulico	130
Placas laterais e corpos de prova	60
Eixos e rolamentos	80
Lixas, Tinta e parafusos	30
<b>TOTAL</b>	<b>300</b>

Fonte: Autoria própria (2019).

### 4.3 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DOS REVESTIMENTOS

#### 4.3.1 Rugosidade e espessura do revestimento

Verificou-se a rugosidade do corpo de prova pós lixamento (figura 51) através da média das medidas realizadas (tabela 15). A rugosidade média ( $R_a$ ) ficou em torno de  $0,717 \mu\text{m}$  e Rugosidade máxima ( $R_y$ )  $6,28 \mu\text{m}$ . O lixamento foi realizado com intuito de eliminar impurezas e melhorar o ancoramento das partículas aspergidas.

**Figura 51 - Corpo de prova após lixamento.**



Fonte: Autoria própria (2019).

**Tabela 15 - Rugosidade do Substrato.**

Perfil de rugosidade ( $R_a$ ) ( $\mu\text{m}$ )	Rugosidade máxima ( $R_y$ ) ( $\mu\text{m}$ )
0,760	5,078
0,528	4,101
0,861	8,671
0,784	6,210
0,778	7,734
0,670	5,507
0,640	6,699
<b>Média</b>	<b>0,717</b>
	<b>6,285</b>

Fonte: Autoria própria (2019).

A figura 52 mostra os corpos de provas já aspergidos, é possível observar visualmente uma camada de revestimento uniforme. Após medição, constatou-se que a espessura do revestimento ficou entre 250 e 350  $\mu\text{m}$ , o que está de acordo com o padrão estabelecido pela norma PETROBRÁS N-2568 (2011) (tabela 13).

**Figura 52 - Corpos de prova aspergidos.**



**Fonte: Autoria própria (2019).**

#### 4.3.2 Análise da aderência

Logo após a deposição do revestimento, foram realizadas medições da temperatura do substrato. A tabela 16 apresenta as temperaturas antes e após deposição do alumínio, para as 3 temperaturas de preaquecimento e temperatura ambiente (TA).

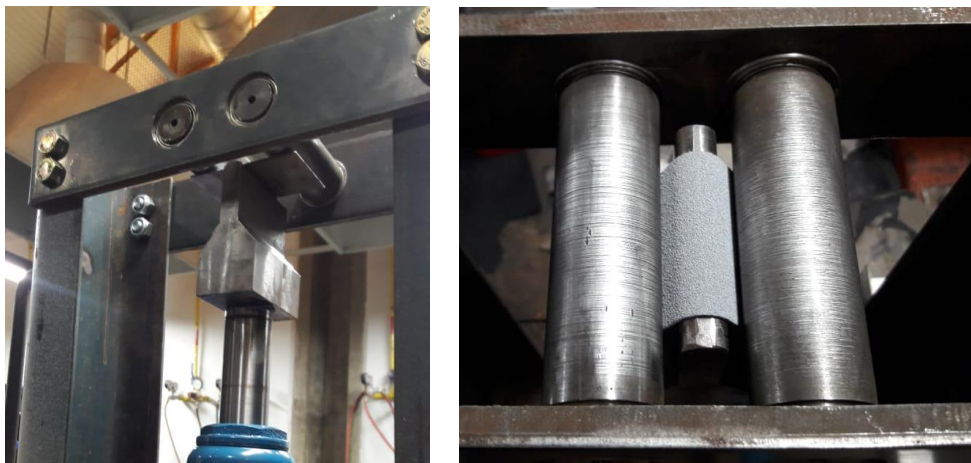
**Tabela 16 - Temperaturas após aspersão térmica.**

TEMPERATURA DE PRAQUECIMENTO (°C)	TEMPERATURA LOGO APÓS DEPOSIÇÃO DO REVESTIMENTO (°C)				
33 (TA)	250	235	242	190	195
60	225	265	190	230	230
90	245	190	244	215	232
120	315	282	270	232	285

**Fonte: Autoria própria (2019).**

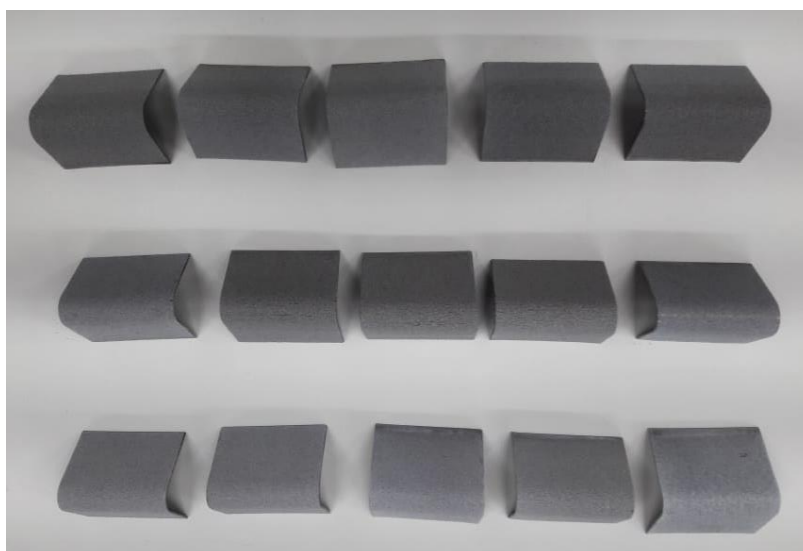
A figura 53 mostra o ensaio de dobramento das amostras sendo realizado no dispositivo projetado, e na figura 54, os corpos de prova já ensaiados. 18 das 20 amostras foram aprovadas conforme critérios da norma PETROBRAS N-2568 (2011).

**Figura 53 - Ensaio de dobramento dos CP.**



**Fonte: Autoria própria (2019).**

**Figura 54 - Corpos de prova ensaiados.**



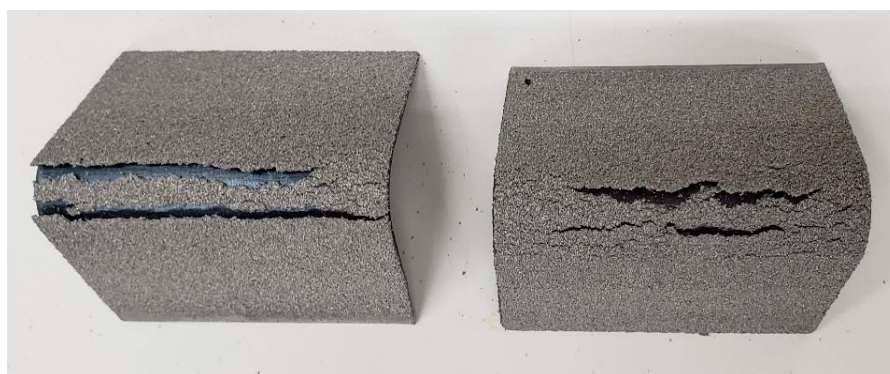
**Fonte: Autoria própria (2019).**

Os resultados obtidos são conforme o esperado para o alumínio, que devido à alta ductilidade e ao seu baixo índice de porosidade quando aspergido, apresenta uma boa resistência ao teste de dobramento, a deposição de outros materiais sem pré-aquecimento possivelmente não teria resultados tão positivos.

Devido ao baixo ponto de fusão do alumínio, a diferença de temperatura partícula/substrato é menor, sendo assim, a partícula possui uma forma mais regular devido ao resfriamento mais uniforme.

A figura 55 apresenta os 2 corpos de prova que apresentaram falha e foram reprovados por apresentarem o deslocamento do revestimento. Ambos foram preaquecidos a 60°C.

**Figura 55 - Corpos de prova reprovados.**



**Fonte: Autoria própria (2019).**

As amostras aprovadas obtiveram resultados ideais no ensaio, podemos concluir que uma das prováveis causas da rejeição dos dois corpos de prova, foram resultantes de erros de aplicação. Como o método utilizado foi manual não foi possível controlar a distância de aplicação com precisão. Além disso, as partículas de alumínio, as quais eram relativamente grandes, podem não ter fundido completamente durante o processo de aspersão chama pó utilizado.

A falha dos corpos de prova resultaram de uma não aderência da camada aspergida com o substrato, ou seja um deslocamento com pouco craquelamento como a pressão do ar e o ângulo de aplicação foram similares podemos inferir que a distância de aspersão foi um dos possíveis causadores, um dos parâmetros do qual não tínhamos perfeito controle, e que afeta consideravelmente a temperatura em que as partículas atingem o substrato, oxidação e subsequentemente aderência.

## 5 CONCLUSÃO

O dispositivo de análise de aderência obteve êxito no seu funcionamento, pois as chapas ensaiadas obtiveram o ângulo determinado pela norma PETROBRAS N-2568 (2011), permitindo uma análise experimental de corpos de prova aspergidos termicamente.

Os resultados do ensaio foram considerados ideais, pois foram aprovadas 90% das amostras segundo critérios de avaliação das normas PETROBRÁS N 2568 (2011) e MIL-STD-2138 A (1992). Porém, o dispositivo não foi considerado validado devido à falta de padrões físicos (chapas aspergidas considerada aprovadas) para comparação. Conclui-se que as amostras reprovadas, se deram devido erros experimentais. O manejo da pistola de aspersão no momento da aplicação do revestimento e a distância de aplicação interferem no resultado da aplicação do revestimento. O manuseio do corpo de prova antes da aplicação e o tamanho da partícula do material utilizado como revestimento também influenciam no erro experimental.

O cumprimento do cronograma foi crucial para o desenvolvimento do dispositivo, pois houveram impasses durante a elaboração e fabricação do mesmo. A aquisição do material para fabricação dos componentes foi umas das etapas mais difíceis, pois não havia no mercado chapas e barras do tamanho dimensionado no projeto. Algumas mudanças no projeto inicial foram necessárias para atender as especificações dos componentes. Mesmo com vários problemas foi possível a construção do dispositivo com baixo custo e utilizando os recursos disponíveis nos laboratórios do curso de engenharia mecânica do campus Pato Branco.

O equipamento ficará disponível no laboratório de ensaios do campus Pato Branco para futuros ensaios na área de aspersão térmica. Algumas sugestões para trabalhos futuros com base nessa pesquisa são:

- Análise de aderência por dobramento utilizando outros tipos de revestimento, como aço e materiais cerâmicos;
- Análise de aderência por dobramento utilizando outros processos por aspersão térmica;
- Análise de microestrutura da camada de revestimento aspergido utilizando ensaio de dobramento;



- Análise da porosidade em relação a aderência por dobramento de revestimentos aspergidos.

## REFERÊNCIAS

- ASTM E 2109, **Test Methods for Determining Area Percentage Porosity in Thermal Sprayed Coatings**, 8p. 2007
- AZIZPOUR M. J., MAJD H. M., JALALI M., FASIHI H. **Adhesion Strength Evaluation Methods in Thermally Sprayed Coatings**. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, 2012.
- BARONI, L. F. S. **Utilização de alumínio recoberto por aspersão térmica em tubulação de condensadores evaporativos**. São Carlos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 2013.
- BERNDT, C. C., BERNECKI, T., et al, **Handbook of Thermal Spray Technology**, ASM International, 2004.
- CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. LTC, v. 8ª Edição, 2011.
- COURAPIED, D. KROMER, R. BERTHE, L. PEYRE, P. **Laser Adhesion Test for Thermal Sprayed Coating Textured Surface by Laser**. Journal of laser applications vol 28, 2016.
- DÍAZ, V. V., DUTRA, J. C., D'OLIVEIRA, A. S. C. M. **Deposição por plasma com arco transferido Soldagem**. Insp. São Paulo, Vol. 15, No. 1, p.041-051, 2010.
- LAMANA, Murilo S. **Influência do Processo de Deposição HVOF com Combustível Líquido e Gasoso na Resistência ao Desgaste de Revestimentos de Carboneto de Tungstênio com Diferentes Teores de Cobalto**. 113p. Tese (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.
- LIMA, Carlos C.; TREVISAN, Roseana. **Aspersão Térmica: Fundamentos e Aplicação**. 2 ed. São Paulo: Artliber Editora, 2007.
- MARANHO, O. **Aspersão Térmica de Ferro Fundido Branco Multicomponente**. 2006. 188p. Tese (doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2006.
- MARQUES, Paulo V. **Aspersão Térmica**. Infosolda. 2003. 16 p.
- MENEZES, Dayanne D. **Avaliação da resistência a corrosão de revestimentos de alumínio aplicados pelas técnicas de arco elétrico e chama convencional, em meio cloreto**. 177p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

- METCO, O. **An introduction to thermal spray**. 6. ed. Switzerland: Oerlikon Metco, 2016a, 24 p.
- NORMA ABNT NBR ISO 6405:1988. **Rugosidade: Método do perfil**, 6p. 1988.
- NORMA ASTM C 633 – 79 (Reapproved). **Standard Test Method for Adhesion Or Cohesive Strength of Flame-Sprayed Coatings**. 1993, 10p.
- NORMA MIL-STD-2138 A - **Metal Sprayed coatings for Corrosion Protection Aboard Naval Ships**. 1992, 40p.
- NORMA PETROBRAS N-2568. **Revestimentos Metálicos por Aspersão Térmica**. 2011. 49p.
- NORMA SWEDISH STANDARD SIS 0559900 /1967 (Stockolm: Korrosions-institutet). 1967.
- OLIVEIRA, Antônio R. **Corrosão e tratamento de superfície**. Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia. Belém 2012.104p. Apostila.
- OLIVIO, E. F. T. **Avaliação de Ligas de NI-AL Utilizadas como Revestimento Estáveis a Altas Temperaturas Depositadas por Aspersão Térmica à Chama Pó**. 97p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- PAREDES, Ramón S. C. **Aspersão Térmica**. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Mecânica. Curitiba, 2009. 102 p. Apostila.
- PAREDES, Ramón S. C. **Estudo De Revestimentos de Alumínio Depositados por Três Processos de Aspersão Térmica para a Proteção do Aço Contra Corrosão Marinha**. 266 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
- PAREDES, Ramón S. C., PIZA, M.T., BUSCHINELLI, A. J. **Propriedades dos Revestimentos de Alumínio Depositados por Aspersão Térmica**. Curitiba, 1999.
- PAWLOWSKI, Lech. **The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings**. Second Edition, 2008.
- PERALDI, R., MONCEAU, D., MALIE, A., PIERAGGi, B. **Proceedings of the Fifteenth Thermal Spray Conference, Nice**. France, ASM International, 1998. 1561.
- SANTOS, A. O.; **Estudo da Resistência à Corrosão em Aço e Revestimentos Visando à Aplicação Em Hastes de Bombeio De Petróleo**. Aracaju. Dissertação de Mestrado. Universidade Tiradentes, 2008.

SILVA, Antonio da. **Estudo de Revestimento com a Liga Stellite 6 no Substrato de Alumínio 6351-t6 por Aspersão Térmica Chama-Pó**. 112p. Tese (Mestrado) – Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SILVA, Paulo Furtado da. **Introdução à Corrosão e Proteção das Superfícies Metálicas**. Belo Horizonte: Imprensa Universitária da UFMG, 1981.

SKF ROLAMENTOS. **Catálogo Interativo SKF**. Disponível em <<https://www.skf.com/br/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html>> acesso em: 16 de setembro de 2019.

SUCHARSKI, G. B. **Deposição De Revestimentos Tipo Barreira Térmica Por Aspersão Térmica**. 165 p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

GONÇALVES, Fernando. **Caracterização do Revestimentos de Titânia aplicado por aspersão térmica a plasma em liga ti-6Al-4V para aplicação de implantes**. 116 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

VELOSO, Guilherme. ALVES, heleno rocha. BRANCO, José Roberto tavares. **Effects of Isothermal Treatment on Microstructure and Scratch Test Behavior of Plasma Sprayed Zirconia Coatings**. Materials research, Vol 7, Nº 1, 195-202, 2004.

## APÉNDICES

## APÊNDICE A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

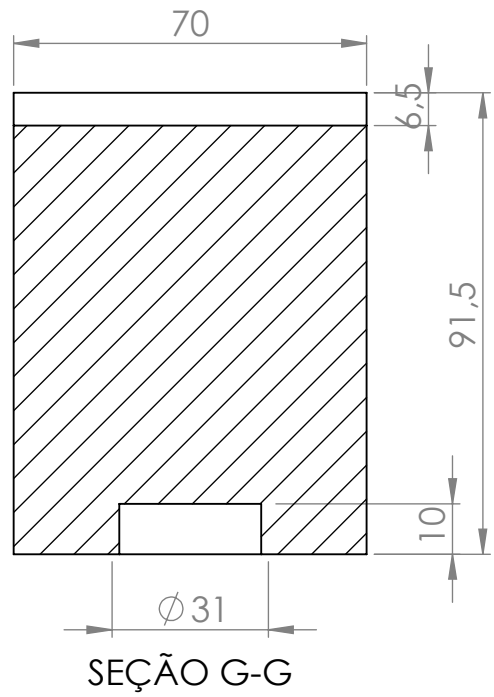
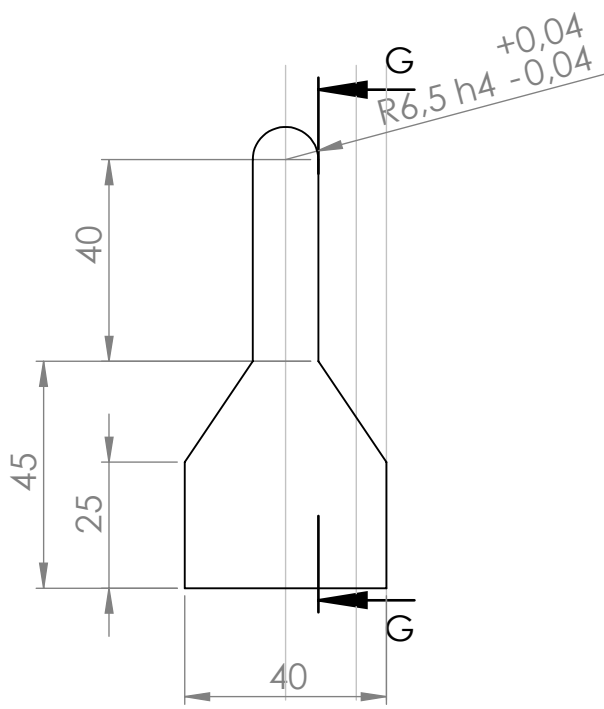
C

B

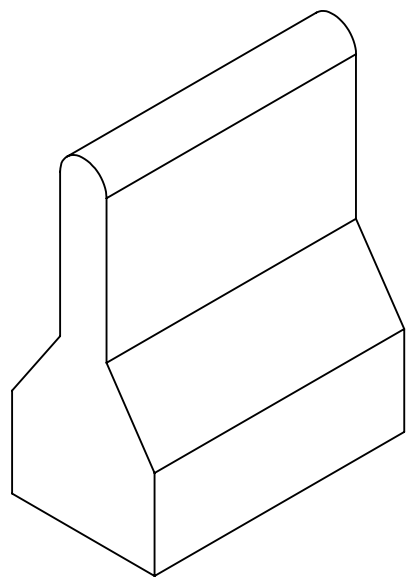
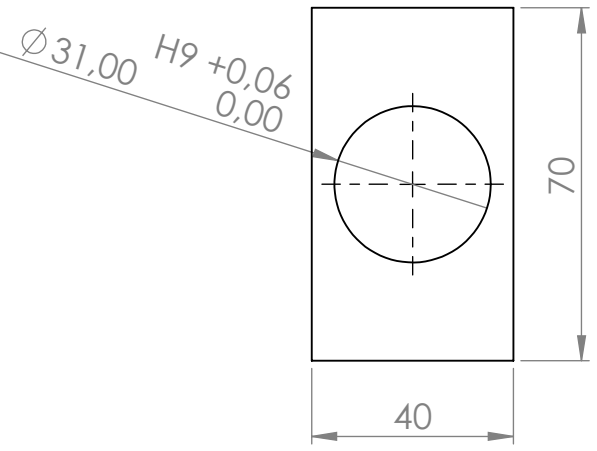
B

A

A



SEÇÃO G-G



Tarugo 100mmx50mmx75mm		ACABAMENTO: 	REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS	NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO	REVISÃO
				Dimensões em milímetros	
NOME		DATA		 UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ	
DESEN. Jaqueline Nascimento		16/09/2019			
VERIF.					
APROV.					
MANUF.					
QUALID		MATERIAL: Aço SAE 1020		TÍTULO: MANDRIL	
		PESO:		ESCALA:1:1.5	
				FOLHA 1 DE 1	

4

3

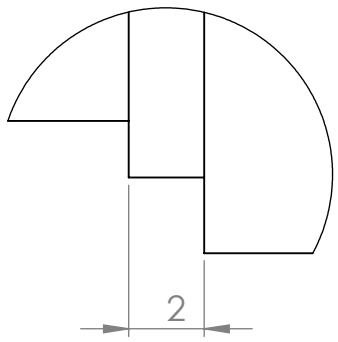
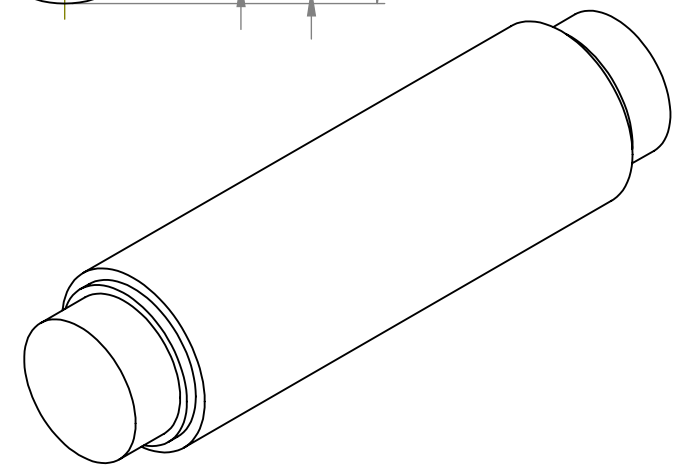
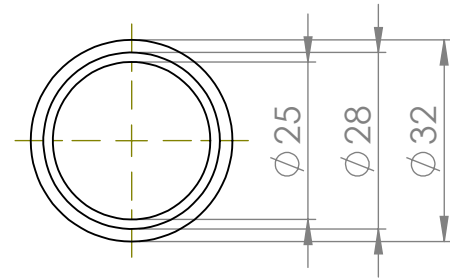
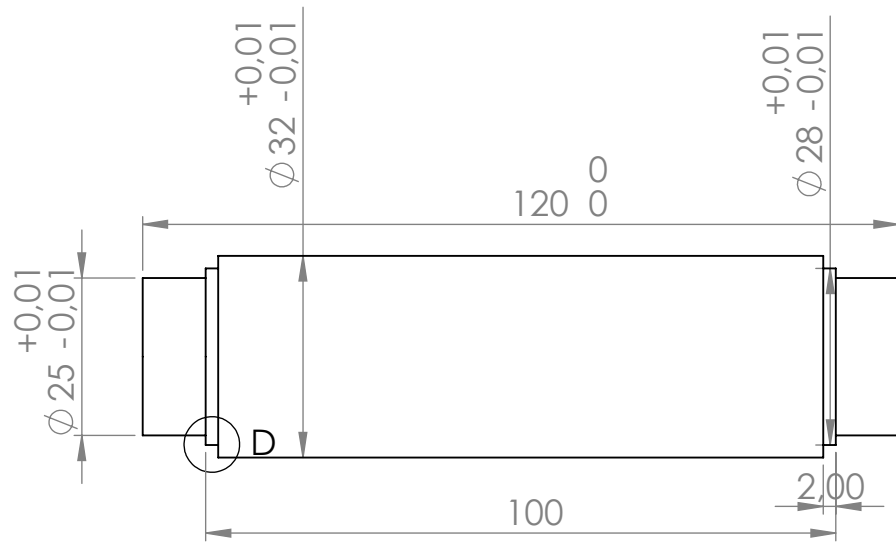
2

1

A

## APÊNDICE B





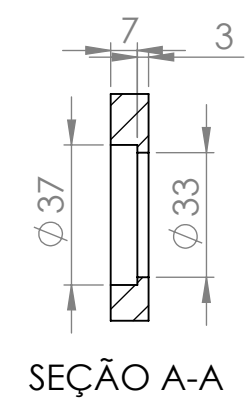
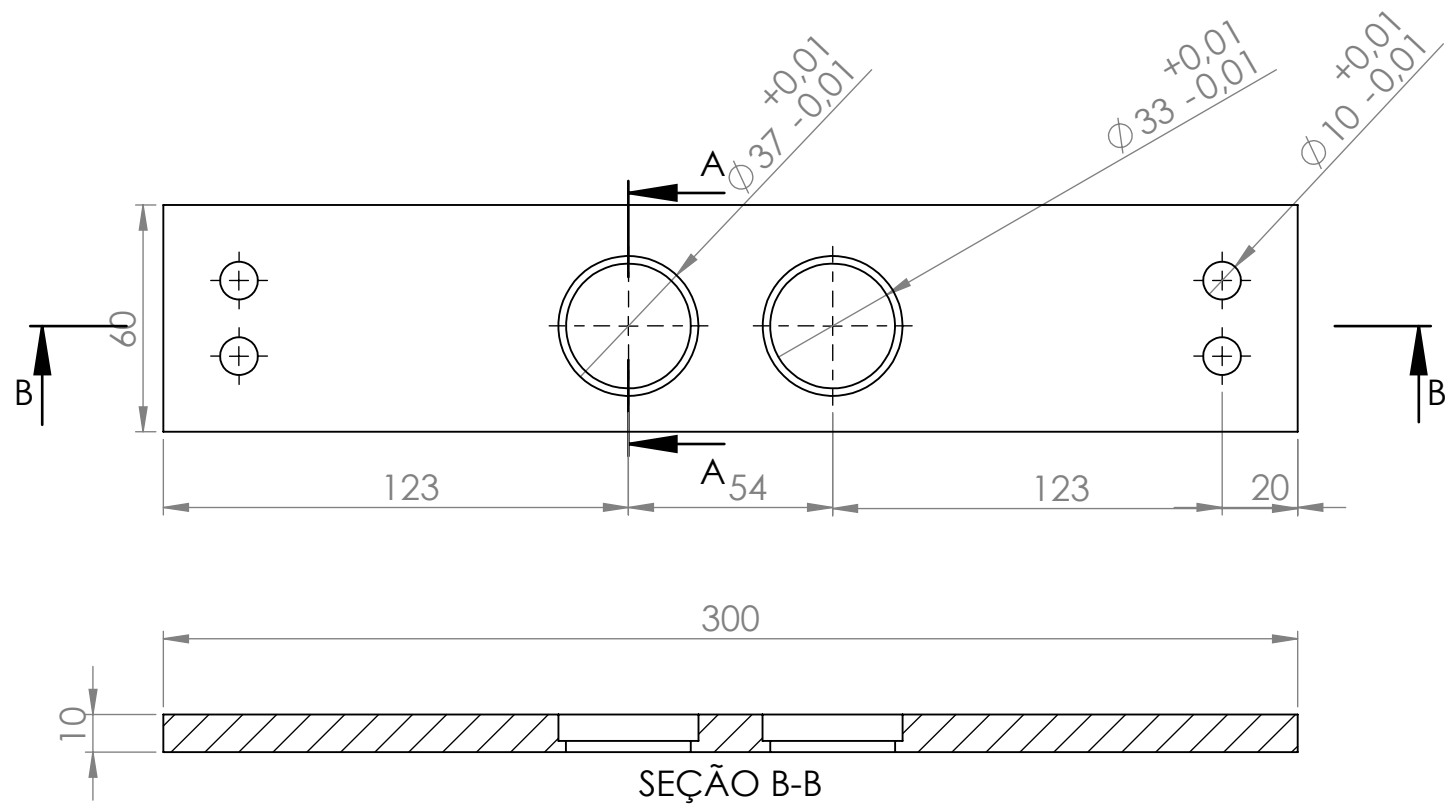
DETALHE D  
ESCALA 5 : 1

Barra redonda $\phi 1.5/16''$		ACABAMENTO: 	REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS	NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO	REVISÃO
				Dimensões em milímetros	
DESEN.	Jaqueline Nascimento	DATA	16/09/2019	 UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ	
VERIF.					
APROV.					
MANUF.					
QUALID					
			MATERIAL: Aço SAE 1045	TÍTULO: Eixo de apoio	A4
			PESO:	ESCALA: 1:1.2	FOLHA 1 DE 1

## APÊNDICE C

6 5 4 3 2 1

D  
C  
B  
A



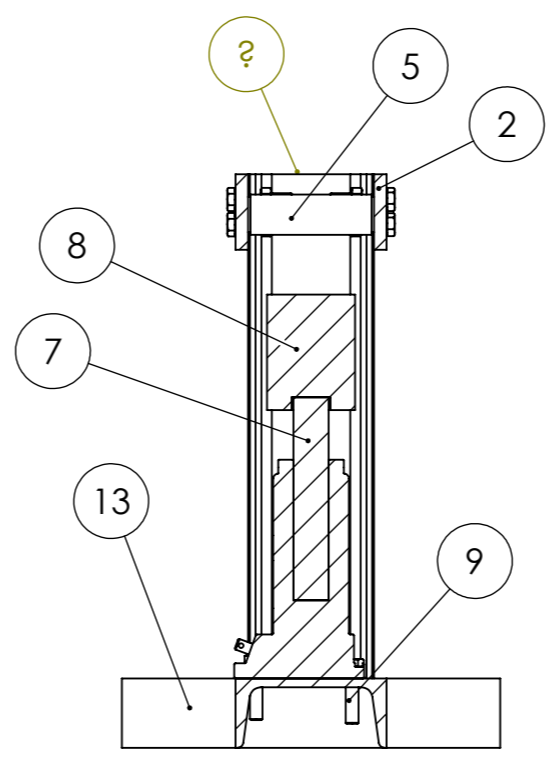
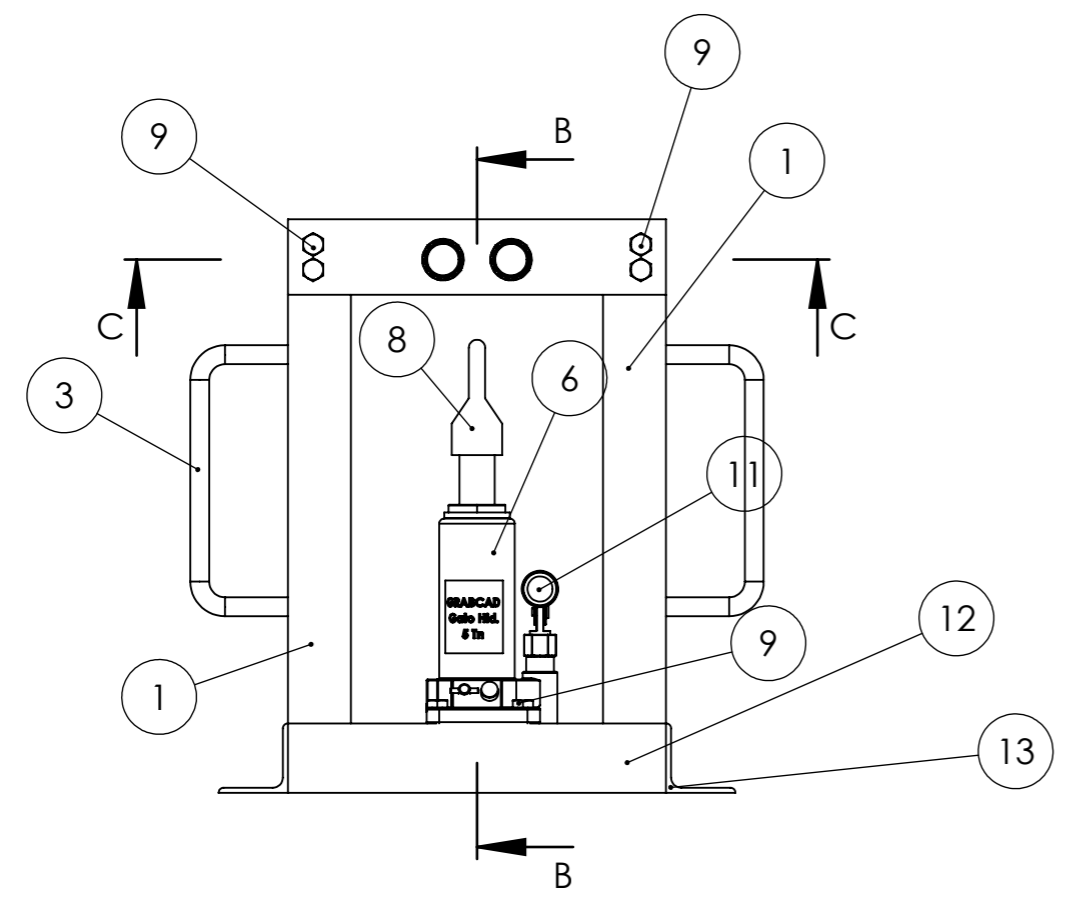
Chapa Fina 3/16"		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
Dimensões em milímetros									
DESEN.		NOME		DATA		 <b>UTFPR</b> UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ			
VERIF.		Lucas Prado		16/09/2019					
APROV.									
MANUF.									
QUALID.									
				MATERIAL:		TÍTULO:		A4	
				Aço SAE 1020		Flange			
				PESO:		ESCALA: 1:2		FOLHA 1 DE 1	

6 5 4 3 2 1

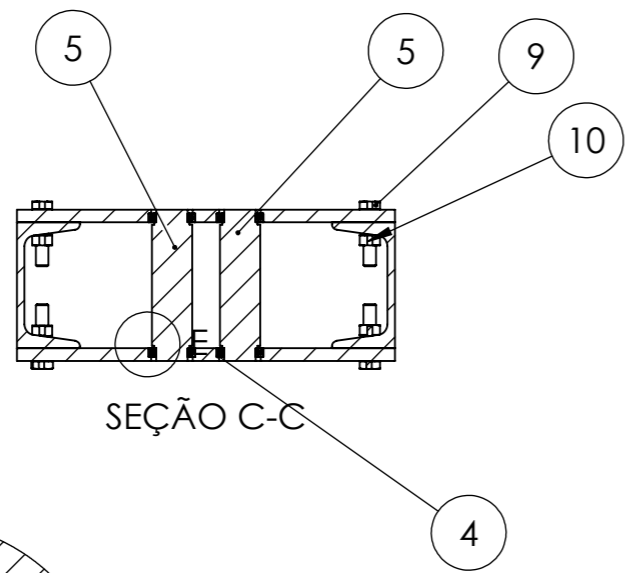
D  
C  
B  
A

## APÊNDICE D

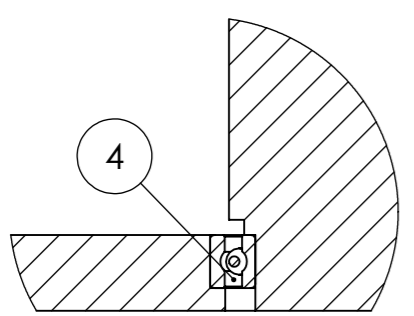
8 7 6 5 4 3 2 1



SEÇÃO B-B

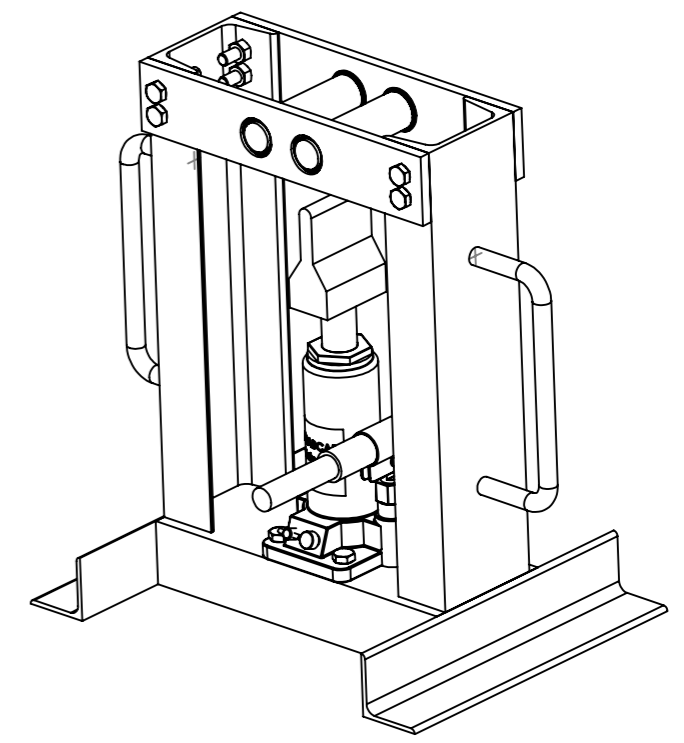


SEÇÃO C-C



DETALHE E  
ESCALA 1:1

TABELA DE COMPONENTES			
ITEM	QTDE	COMPONENTE	MATERIAL
1	2	Base Lateral	U120x40x3.25 SAE 1020
2	2	Flange	SAE 1020
3	2	Alças	SAE 1020
4	4	Rolamento	SKF 61805
5	2	Eixo	SAE 1045
6,7	1	Macaco Hidraulico	6TON
8	1	Mandril	SAE 1020
9	12	Parafuso	M10
10	12	Porca	M10
11	1	Base Superior	SAE 1020
12	1	Alavanca Macaco	
13	1	Base Inferior	U120x40x2.25 SAE 1020
14	2	Cantoneiras	L 40x40x2 SAE 1020



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO: 	REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS	NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO	REVISÃO
NOME	DATA				
DESEN. Jaqueline Nascimento	16/09/2019				
VERIF.					
APROV.					
MANUF.					
QUALID		MATERIAL: AÇO SAE 1020 AÇO SAE 1045	TÍTULO: Dispositivo para ensaio de dobramento	A3	
PESO:			ESCALA:1:6	FOLHA 1 DE 1	

8 7 6 5 4 3 2 1