

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA**

**PLANO DE MANUTENÇÃO DA TOCHA DE  
PLASMA DO “TÚNEL DE PLASMA”**

**Jefte da Silva Guimarães  
Felipe Rafael Santos de Araújo**

**Pindamonhangaba - SP  
2015**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA**

**PLANO DE MANUTENÇÃO DA TOCHA DE  
PLASMA DO “TÚNEL DE PLASMA”**

**Jefte da Silva Guimarães  
Felipe Rafael Santos de Araújo**

Monografia apresentada à Faculdade de  
Tecnologia de Pindamonhangaba para  
graduação, no Curso Superior de Tecnologia  
em Manutenção Industrial.

Área de Concentração: Manutenção Industrial

Orientador (a): Prof. Msc. Cristian Cley  
Paterniani Rita

Co-orientador (a): Prof. Msc. Carlos Eduardo  
Figueiredo dos Santos

**Pindamonhangaba - SP  
2015**

G963p Guimarães, Jefte da Silva.  
Plano de Manutenção da Tocha de Plasma do "Túnel de Plasma" / Jefte da Silva Guimarães; Felipe Rafael Santos de Araújo / FATEC Pindamonhangaba, 2015.  
99f.: il.; 30 cm.

Orientador Prof. Msc. Cristhian Cley Patterniani Rita  
Co-orientador Prof. Msc. Carlos Eduardo F. dos Santos  
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de  
Tecnologia de Pindamonhangaba. 2015

1. Tocha de Plasma. 2. Túnel de Plasma. 3. Planejamento.  
4. Inovação Tecnológica I. Guimarães, Jefte da Silva. II. Araújo,  
Felipe Rafael Santos de. III. Rita, Cristhian Cley Paterniani.  
IV. Santos, Carlos Eduardo Figueiredo dos. Título.

CDD 629

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA**

**TÍTULO DO TRABALHO**

**“PLANO DE MANUTENÇÃO DA TOCHA DE  
PLASMA DO TÚNEL DE PLASMA”**

**JEFTE DA SILVA GUIMARÃES**

**FELIPE RAFAEL SANTOS DE ARAÚJO**

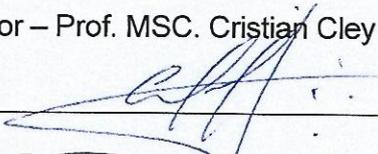
Monografia apresentada à Faculdade de  
Tecnologia de Pindamonhangaba, para  
graduação no Curso Superior de Tecnologia  
em Manutenção Industrial.

Comissão Examinadora



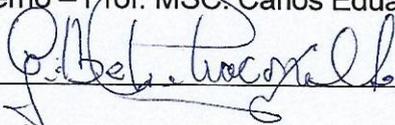
---

Orientador – Prof. MSC. Cristian Cley Paterniani Rita



---

Membro Interno – Prof. MSC. Carlos Eduardo Figueiredo dos Santos



---

Membro Externo – Prof. Dr. Gilberto Petraconi Filho

**Pindamonhangaba, 08, de Dezembro, 2015.**

## **DEDICATÓRIA DO GRADUANDO JEFTE**

Dedico primeiramente a Deus, pois sem Ele este sonho não seria possível, a minha esposa Andressa Guimarães que sempre esteve ao meu lado me apoiando e ajudando a caminhar e a minha mãe Maria Luiza que me educou e me ensinou a ser a pessoa que sou hoje. Dedico também aos meus sogros Cicero e Andrea que muito me ajudaram.

## **DEDICATÓRIA DO GRADUANDO FELIPE**

Aos meus amáveis pais Francisco e Silva que no decorrer da minha vida proporcionaram-me força e integridade para jamais desistir de lutar pelo meu sonho, além é claro de todo ensinamento que levarei comigo pelo resto de minha vida.

A Deus dedico o meu agradecimento maior, pois sem Ele nada seria possível.

## **AGRADECIMENTO DO GRADUANDO JEFTE**

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -CAPES, pela oportunidade concedida; ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, por ceder seus laboratórios para o desenvolvimento deste trabalho; ao Instituto de Estudos Avançados – IEAv, pelo apoio e conhecimento profissional adquiridos nestes anos de trabalho; a Agência Espacial Brasileira – AEB, pelo financiamento do projeto e pela confiança depositada; ao Instituto de Aeronáutica e Espaço – IAE, pelo apoio tecnológico oferecido e dedicado a este projeto; a Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba – FATEC PINDA, pelos conhecimentos e valores passados através de seus professores, funcionários e colegas de faculdade.

Agradeço ao meu orientador Prof. Msc. Cristian Cley Paterniani Rita pela oportunidade de participar deste projeto pelo apoio e dedicação em sua realização; ao meu co-orientador Prof. Msc. Carlos Eduardo Figueiredo dos Santos pelos conhecimentos passados e pelo tempo dedicado a este projeto; ao Prof. Dr. Gilberto Petraconi Filho chefe do Laboratório de Plasma e Processos, pela oportunidade concedida, pela confiança e tempo dedicados a este trabalho; a Dr. Valeria Serrano Faillace Oliveira Leite chefe de divisão no Instituto de Estudos Avançados – IEAv, que contribuiu de uma forma essencial para realização deste projeto e pelo imenso apoio concedido;

Agradeço ao colega de Iniciação Científica Renato Moura, pela amizade, companheirismo e conhecimento divididos na execução deste trabalho como também a contribuição na realização dos desenhos técnicos aqui apresentados;

Agradeço a minha esposa Andressa Fernanda Nascimento Guimarães, pois permaneceu ao meu lado me apoiando e auxiliando de uma forma a me dar forças para realizar este trabalho, nos momentos tranquilos e nos momentos difíceis; a minha mãe Maria Luiza Babosa, pela educação; pelo amor e carinho que nunca me faltaram, pelo seu apoio e confiança de que tudo daria certo; aos meus sogros Cicero Nascimento e Andrea Nascimento, que foram de grande importância para a realização deste sonho, e pela confiança depositada;

Agradeço ao Dr. Davi Neves pelo apoio fornecido, aos amigos e colegas de trabalho da SUTEC – Suporte Tecnológico do IEAv, no qual tive o privilégio de conviver nesses últimos anos podendo dividir experiências e adquirir novos conhecimentos; aos colegas de classe com os quais tive a oportunidade de conviver e aprender nesses anos letivos;

Agradeço a Deus por ter me sustentado e ajudado, pois tornou o impossível possível em minha vida, fazendo-me acreditar cada vez mais em sua imensa graça pois sem Ele nada teria se concretizado em minha vida.



## **AGRADECIMENTO DO GRADUANDO FELIPE**

Agradeço ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, por ceder seus laboratórios para o desenvolvimento deste trabalho; a Agência Espacial Brasileira – AEB, pelo financiamento do projeto e pela confiança depositada; ao Instituto de Aeronáutica e Espaço – IAE, pelo apoio tecnológico oferecido e dedicado a este projeto; a Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba – FATEC PINDA, pelos conhecimentos e valores passados através de seus professores, funcionários e colegas de faculdade.

Agradeço ao meu orientador Prof. Msc. Cristian Cley Paterniani Rita pela oportunidade de participar deste projeto, pelo apoio e dedicação em sua realização; ao meu co-orientador Prof. Msc. Carlos Eduardo Figueiredo dos Santos pelos conhecimentos passados e pelo tempo dedicado a este projeto; ao Prof. Dr. Gilberto Petraconi Filho chefe do Laboratório de Plasma e Processos, pela oportunidade concedida, pela confiança e tempo dedicados a este trabalho;

Agradeço a Deus e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho; aos meus pais Francisco e Silvia, que me ensinaram e me deram toda condição necessária para a conclusão desta faculdade e também me mostraram quão capaz eu sou; aos colegas de classe, com quem nesses anos de estudos tive a felicidade de conviver e aprender com eles.

Portanto, tudo que vós quereis que os homens  
vos façam, fazei-o vós também a eles (...)

*Mateus 7: 12*

GUIMARÃES, J. S.; ARAÚJO, F. R. S. **Plano de Manutenção da Tocha de Plasma do “Túnel de Plasma”**. 2015. 99p. Trabalho de Graduação (Curso de Manutenção Industrial). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2015.

## RESUMO

Os veículos espaciais necessitam de um revestimento térmico eficiente para que no processo de reentrada atmosférica sejam protegidos dos efeitos ablativos produzidos pelo atrito que estes sofrem quando em contato com a atmosfera de um determinado planeta, como exemplo a Terra. Tratando-se de um dispositivo que não pode sofrer danos em sua estrutura física, pois um pequeno erro na vedação térmica destes veículos pode colocar em risco toda a tripulação e equipamentos no seu interior, torna-se imprescindível a realização de testes de aquecimento térmico e simulações visando a obtenção das propriedades ablativas, térmicas e microestruturais dos materiais utilizados nos sistemas de proteção térmica. Estes testes são comumente realizados em Túneis de Plasmas, que de maneira simplificada simula o ambiente de reentrada, proporcionando resultados que possam auxiliar na tomada de decisões de projetos dessa grandeza. Basicamente, o túnel de plasma é um sistema composto por uma câmara de processos ou câmara de vácuo, um sistema de vácuo, sistema de refrigeração, sistema elétrico e um gerador de plasma (tocha de plasma). A função da tocha de plasma é fundamentalmente converter energia elétrica em energia térmica gerando jatos de plasmas com entalpias da ordem de grandeza de plasmas produzidos no corredor de reentrada atmosférica. Neste escopo, este trabalho visa a realização de um planejamento de manutenção da tocha de plasma de jato supersônico desenvolvida no ITA, de maneira que seja possível, por meio de implementação de planilhas de manutenção e agenda de utilização, facilitar o mapeamento e controle de desgastes de seus componentes.

Palavras-chave: Tocha de Plasma; Túnel de Plasma; Planejamento; Inovação; Tecnológica.

GUIMARÃES, J. S.; ARAÚJO, F. R. S. **Plannning of Maitenance of Plasma Torch of “Plasma Tunnel”**. 2015. 99p. Project Graduation (Industrial Maitenance course). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2015.

### **ABSTRACT**

Spacecraft need an efficient thermal barrier coating that provides protection against ablation effects caused by friction, when being in contact with the Earth's atmosphere, during the space flight phase of reentry. These devices must be free from damages in their structure, because a small failure in the heat sealing may cause hazards to its equipment and the crew. For this reason, thermal heating tests and simulations are required to obtain the ablative, thermal and microstructural properties of the materials used in the thermal protection systems. Such tests are commonly executed in Plasma Tunnels that have the capacity to represent real space flight atmospherical conditions of reentry and to provide valuable information of study. The system of plasma tunnel is made up of a processing chamber or a vacuum chamber, a vacuum system, a refrigeration system, an electrical system and a plasma generator (plasma torch). Essentially, the function of the torch is to convert electric energy into thermal energy, creating plasma jets with enthalpies of magnitude similar to the plasma produced in the atmospheric reentry corridor. Considering this scope, the purpose of this study is to create a maintenance plan of the supersonic jet plasma torch designed in ITA, by the implementation of a management system based on agenda and spreadsheets, in order to map out and control the abrasion of its components.

Keywords: Plasma torch, plasma tunnel, planning, innovation, technology.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Esquema básico de um túnel de plasma com seus diversos componentes .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2 - Vista aérea do túnel de plasma SCIROCCO .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3 - Classificação dos Plasmas .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 4 - Métodos usuais de estabilização de arco elétrico. (a) parede lisa de confinamento; (b) parede segmentada; (c) fluxo em vórtice de gás; (d) injeção de fluido através de parede porosa; (e) campo magnético; (f) turbulência por degrau.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 5 - Tipos de tochas de plasma.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 6 - Evolução das técnicas de manutenção. ....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 7 - Manutenção Preventiva .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 8 - Ilustração da formação de regiões de plasma durante a reentrada atmosférica de naves tripuladas como a Apollo, e de ogivas de mísseis balísticos. ....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 9 - Vista frontal do túnel de plasma (a); vista lateral do túnel de plasma (b). ....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 10 - Sistema de refrigeração da tocha de plasma. ....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 11 - Fonte de potência utilizada no túnel de plasma .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 12 - Vista do painel de controle (1), ao lado da câmara de vácuo (2), e das bombas de vácuo (3).....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 13 - Sistema de distribuição de gases.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 14 - Interface da agenda online.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 15 - “Tocha de Plasma” utilizada na Estação Experimental do Laboratório de Plasma e Processos do ITA – Túnel de Plasma.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 16 - Conjunto do Bocal Supersônico. ....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 17 - 1º passo para desmontagem da tocha de plasma. ....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 18 - 2º passo para desmontagem da tocha de plasma. ....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 19 - 3º passo para desmontagem da tocha de plasma. ....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 20 - 4º passo para desmontagem da tocha de plasma. ....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 21 - 5º passo para desmontagem. ....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 22 - 6º passo para desmontagem da tocha de plasma .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 23 - Subconjunto formado no 6º passo .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 24 - 7º passo para desmontagem da tocha de plasma. ....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 25 - 8º passo para desmontagem da tocha de plasma. ....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 26 - 9º passo para desmontagem da tocha de plasma. ....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 27 - 10º passo para desmontagem da tocha de plasma. ....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 28 - 11º passo para desmontagem da tocha de plasma. ....</b>	<b>54</b>

Figura 29 - Continuação do 11º passo para desmontagem da tocha de plasma .....	54
Figura 30 - 12º passo para desmontagem da tocha de plasma. ....	54
Figura 31 - 13º passo para desmontagem da tocha de plasma. ....	55
Figura 32 - Continuação do 13º passo para desmontagem da tocha de plasma. ....	55
Figura 33 - 14º passo para desmontagem da tocha de plasma. ....	56
Figura 34 - Desmontagem completa da tocha de plasma. ....	56
Figura 35 - 1º passo para desmontagem do bocal supersônico. ....	57
Figura 36 - 2º passo para desmontagem do bocal supersônico. ....	57
Figura 37 - 3º passo para desmontagem do bocal supersônico. ....	58
Figura 38 - 4º passo para desmontagem do bocal supersônico .....	58
Figura 39 - Continuação do 4º passo para desmontagem do bocal supersônico. ....	59
Figura 40 - 5º passo para desmontagem do bocal supersônico. ....	59
Figura 41 - 6º passo para desmontagem do bocal supersônico. ....	60
Figura 42 - 7º passo para desmontagem do bocal supersônico. ....	60
Figura 43 - 8º passo para desmontagem do bocal supersônico. ....	61
Figura 44 - Desmontagem completa do bocal supersônico. ....	61
Figura 45 - Alguns defeitos que podem ocorrer nos anéis. ....	62
Figura 46 - Componentes do 1º conjunto. ....	63
Figura 47 - Componentes do 2º conjunto .....	64
Figura 48 - Componentes do 3º conjunto. ....	65
Figura 49 - Componentes do 4º conjunto. ....	66
Figura 50 - Componentes do 5º conjunto .....	66
Figura 51 - Componentes do 6º conjunto. ....	67
Figura 52 - 1º passo para montagem da tocha de plasma. ....	69
Figura 53 - 2º Passo para montagem da tocha de plasma. ....	69
Figura 54 - 3º Passo para montagem da tocha de plasma. ....	70
Figura 55 - 4º passo para montagem da tocha de plasma. ....	70
Figura 56 - 5º passo para montagem da tocha de plasma. ....	71
Figura 57 - 6º passo para montagem da tocha de plasma. ....	71
Figura 58 - 7º passo para montagem da tocha de plasma. ....	72
Figura 59 - 8º passo para montagem da tocha de plasma. ....	72
Figura 60 - 9º passo para montagem da tocha de plasma. ....	73
Figura 61 - 10º passo para montagem da tocha de plasma. ....	73
Figura 62 - 11º passo para montagem da tocha de plasma. ....	74

<b>Figura 63 - 12º passo para montagem da tocha de plasma.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 64 - 13º passo para montagem da tocha de plasma.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 65 - 14º passo para montagem da tocha de plasma.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 66 - 15º passo para montagem da tocha de plasma.....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 67 - 16º passo para montagem da tocha de plasma.....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 68 - 1º passo para montagem do bocal supersônico.....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 69 - 2º passo para montagem do bocal supersônico.....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 70 - 3º passo para montagem do bocal supersônico.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 71 - 4º passo para montagem do bocal supersônico.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 72 - 5º passo para montagem do bocal supersônico.....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 73 - 6º passo para montagem do bocal supersônico.....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 74 - 7º passo para montagem do bocal supersônico.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 75 - 8º passo para montagem do bocal supersônico.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 76 - 9º passo para montagem do bocal supersônico.....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 77 - União da tocha ao seu conjunto de bocal supersônico.....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 78 - Fixação da tocha de plasma no túnel de plasma.....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 79 - Conexão das mangueiras de refrigeração e fechamento do túnel de plasma. .....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 80 - Ligação da parte elétrica e do sistema de refrigeração.....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 81 - Comparação de produtividade mensal.....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 82 - Manutenção X Utilização.....</b>	<b>87</b>

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 - Componentes da Tocha Geradora de Plasma.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabela 2 - Código dos componentes da tocha de plasma .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 3 - Componentes do conjunto do bocal supersônico.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabela 4 - Código de componentes do conjunto do bocal supersônico.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabela 5 - Anéis de vedação de borracha do tipo o’rings .....</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 6 - Representação do código de cores empregado.....</b>	<b>63</b>
<b>Tabela 7 - Pontos críticos do 1º conjunto.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabela 8 - Pontos críticos do 2º conjunto.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabela 9 - Pontos críticos do 3º Conjunto .....</b>	<b>65</b>
<b>Tabela 10 - Pontos críticos do 4º conjunto.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabela 11 - Pontos críticos do 5º conjunto.....</b>	<b>67</b>
<b>Tabela 12 - Pontos críticos do 6º conjunto.....</b>	<b>68</b>

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.</b>	<b>TÚNEL DE PLASMA .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.</b>	<b>O PLASMA E SUAS DEFINIÇÕES.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.1.</b>	<b>TOCHAS DE PLASMA .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.</b>	<b>A MANUTENÇÃO E SUAS VARIAÇÕES .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.1.</b>	<b>MANUTENÇÃO PREVENTIVA .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.2.</b>	<b>COMO OBTER DADOS.....</b>	<b>31</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA E COLETA DE DADOS.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.</b>	<b>ESTAÇÃO EXPERIMENTAL “CÂMARA DE VÁCUO” .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.1.</b>	<b>SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.2.</b>	<b>FONTE DE POTÊNCIA .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.3.</b>	<b>SISTEMA DE VÁCUO .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1.4.</b>	<b>SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE GASES .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.</b>	<b>GESTÃO DE CONTROLE DO TÚNEL DE PLASMA .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.1.</b>	<b>AGENDA ONLINE DE UTILIZAÇÃO DO TÚNEL DE PLASMA.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>FICHA DE UTILIZAÇÃO DO TÚNEL DE PLASMA.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3.</b>	<b>TOCHA GERADORA DE PLASMA .....</b>	<b>39</b>
<b>3.3.1.</b>	<b>CONJUNTO DO BOCAL SUPERSÔNICO.....</b>	<b>42</b>
<b>3.3.2.</b>	<b>SISTEMA DE VEDAÇÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>3.3.3.</b>	<b>OPERAÇÃO DA TOCHA DE PLASMA.....</b>	<b>46</b>
<b>3.4.</b>	<b>PLANO DE DESMONTAGEM DA TOCHA DE PLASMA .....</b>	<b>47</b>
<b>3.4.1.</b>	<b>ETAPAS PARA DESMONTAGEM DA TOCHA DE PLASMA .....</b>	<b>48</b>
<b>3.4.2.</b>	<b>ETAPAS DE DESMONTAGEM DO BOCAL SUPERSÔNICO .....</b>	<b>56</b>
<b>3.5.</b>	<b>PLANO DE MANUTENÇÃO DA TOCHA DE PLASMA .....</b>	<b>61</b>
<b>3.5.1.</b>	<b>MANUTENÇÃO DOS ANÉIS DE VEDAÇÃO TIPO O’RINGS.....</b>	<b>62</b>
<b>3.5.2.</b>	<b>MANUTENÇÃO DAS CONEXÕES HIDRÁULICAS.....</b>	<b>62</b>
<b>3.5.3.</b>	<b>MANUTENÇÃO DOS COMPONENTES DA TOCHA DE PLASMA .....</b>	<b>63</b>
<b>3.5.4.</b>	<b>CONTROLE DA MANUTENÇÃO .....</b>	<b>68</b>
<b>3.6.</b>	<b>PLANO DE MONTAGEM DA TOCHA DE PLASMA .....</b>	<b>68</b>
<b>3.6.1.</b>	<b>ETAPAS PARA MONTAGEM DA TOCHA DE PLASMA.....</b>	<b>69</b>

<b>3.6.2.</b>	<b>ETAPAS DE MONTAGEM DO BOCAL SUPERSÔNICO.....</b>	<b>77</b>
<b>3.6.3.</b>	<b>FIXAÇÃO DA TOCHA NO TÚNEL DE PLASMA .....</b>	<b>82</b>
<b>4.</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>84</b>
<b>4.1.</b>	<b>ANÁLISE DA GESTÃO DE CONTROLE DO TÚNEL DE PLASMA.....</b>	<b>84</b>
<b>4.1.1.</b>	<b>DADOS DA AGENDA ONLINE.....</b>	<b>84</b>
<b>4.1.2.</b>	<b>DADOS DA FICHA DE UTILIZAÇÃO DO TÚNEL DE PLASMA .....</b>	<b>85</b>
<b>4.2.</b>	<b>ANÁLISE DO PLANO DE DESMONTAGEM DA TOCHA DE PLASMA.....</b>	<b>85</b>
<b>4.3.</b>	<b>ANÁLISE DO PLANO DE MANUTENÇÃO DA TOCHA DE PLASMA.....</b>	<b>86</b>
<b>4.3.1.</b>	<b>DADOS DO CONTROLE DA MANUTENÇÃO .....</b>	<b>86</b>
<b>4.4.</b>	<b>ANÁLISE DO PLANO DE MONTAGEM DA TOCHA DE PLASMA .....</b>	<b>87</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>89</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>90</b>
	<b>APÊNDICE I – RELATÓRIO DE USO DO “TÚNEL DE PLASMA” .....</b>	<b>93</b>
	<b>APÊNDICE II – RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO .....</b>	<b>94</b>
	<b>APÊNDICE III – MONTAGEM GERAL DOS ANÉIS DE VEDAÇÃO .....</b>	<b>95</b>
	<b>APÊNDICE IV – FLUXOGRAMA DE DESMONTAGEM .....</b>	<b>96</b>
	<b>APÊNDICE V – FLUXOGRAMA DE MONTAGEM .....</b>	<b>97</b>
	<b>ANEXO I – START DO TÚNEL DE PLASMA .....</b>	<b>98</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os veículos espaciais necessitam de um revestimento térmico em toda a sua estrutura, para prevenir o aquecimento aero termodinâmico que ocorre quando em contato com a atmosfera. Este fenômeno pode ser compreendido pela ação da compressão atmosférica e a fricção do gás atmosférico na superfície do veículo espacial.

O sistema de proteção térmica de um veículo espacial tem por finalidade inibir a condução térmica para o interior do mesmo. Para isso são estudados diversos tipos de materiais que submetidos a condições pré determinadas possam fornecer as características de proteção necessária para a área desejada do veículo espacial tendo em vista, que cada parte da estrutura do mesmo reage de forma diferente com o aquecimento aero termodinâmico. Com isso cada material deve possuir capacidade térmica, durabilidade e massa determinada para cada tipo de aplicação e localização no veículo espacial, ou seja, maior durabilidade, alta capacidade térmica e alta resistência ao choque térmico e baixa condutividade térmica.

Para a realização destes estudos são utilizadas câmaras de vácuo capazes de simular as condições reais do material no momento de reentrada na atmosfera. Através destes estudos pode ser verificado os efeitos de perda de massa; propriedades tribológicas da superfície tratada; emissividade, condutividade térmica e também propriedades óticas.

Contudo estes equipamentos necessitam de um cuidado especial em relação a sua manutenção, pois estes podem ser divididos em diversas segmentações que formam um conjunto num todo, como por exemplo: bombas mecânicas, sistema de refrigeração, sistema de gás; tocha de plasma entre outros. A tocha de plasma pode ser considerada o equipamento de maior importância para a realização dos experimentos pois sem ela não haveria como agredir termicamente os componentes desejados, merecendo assim maior atenção em relação a manutenção devido as condições críticas de operação como elevadas temperaturas e elevadas correntes elétricas.

Este estudo surgiu da necessidade de se elaborar um procedimento de manutenção para a tocha de plasma após constatado a ausência de qualquer documentação do equipamento, dificultando sua utilização, reparos e possíveis alterações no projeto da tocha. A elaboração deste documento visa facilitar a interpretação para o usuário, como também garantir que a manutenção seja realizada de maneira adequada e otimizada.

## **1.1. OBJETIVOS**

Este trabalho tem como objetivo elaborar um plano de manutenção de uma tocha de plasmas instalada no interior da estação experimental do laboratório de plasma e processos do ITA (Túnel de Plasmas). Especificamente o trabalho visa um procedimento de montagem e desmontagem da tocha de plasma, bem como um procedimento de operação e manutenção da mesma. A metodologia envolve a construção de uma planilha de acompanhamento de funcionamento e utilização da tocha de plasma, facilitando com isso os procedimentos de operação e redução de desgastes de componentes de modo a garantir seu pleno funcionamento.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para uma melhor compreensão das informações e resultados apresentados neste estudo, realizou-se uma revisão bibliográfica onde são apresentados conceitos básicos sobre o túnel de plasma; física de plasmas; histórico da manutenção; e evolução da manutenção. Estes assuntos estão divididos nos tópicos que se apresentam na sequência.

### 2.1. TÚNEL DE PLASMA

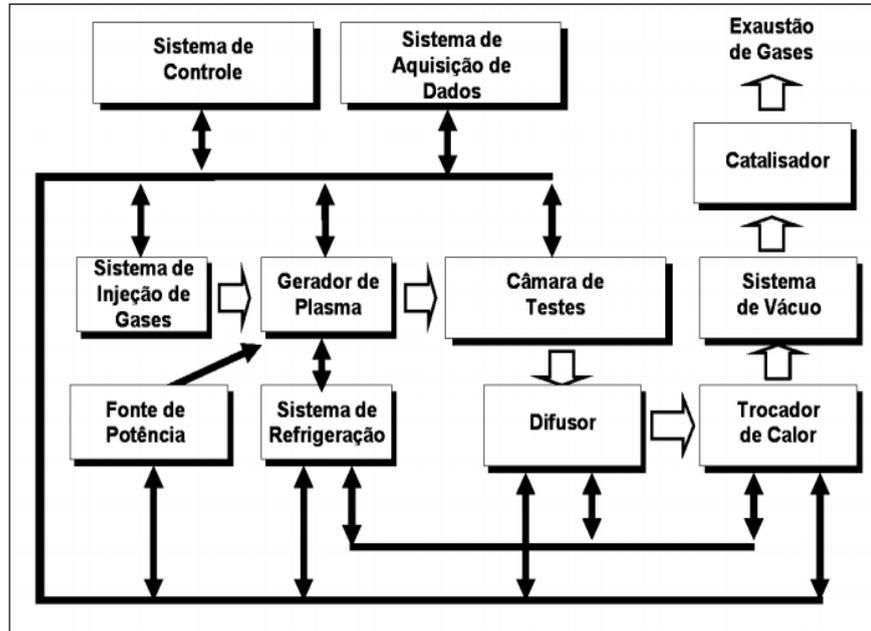
Túneis de Plasma foram desenvolvidos com o propósito de estudar os aspectos aerodinâmicos de um voo hipersônico e qualificar materiais usados em Sistema de Proteção Térmica, de forma a submeter uma amostra ou mockup a fluxos hipersônicos durante um espaço de tempo que seja suficiente para avaliar suas propriedades termodinâmicas. (SILVA,2009).

Segundo Ragsdale (1970) e Zhukov (2007) *apud* Silva (2009)<sup>1</sup> “Os primeiros túneis de plasma surgiram nos Estados Unidos e na extinta União Soviética, durante a corrida espacial, ainda nos anos cinquenta”. Não podemos afirmar qual é o componente principal de um túnel de plasma, pois se um deles vier a sofrer uma avaria, o mesmo comprometerá o funcionamento de todo o conjunto, entretanto podemos ressaltar que o gerador de plasma é um componente crítico deste sistema. (SILVA, 2009). A Figura 1 mostra a estrutura básica de um túnel de plasma.

---

<sup>1</sup> RAGSDALE, R. G.; LANZO, C. D. **Reentry Heating Experiments Using an Induction Heated Plasma**, Washington, DC: NASA, 1970. (TMX - 1978).  
ZHUKOV, M. F.; ZASYPKIN, I. M.; **Thermal Plasma Torches: Designs, Characteristics and Applications**, London: Cambridge International Science Publishing, 2007, 610p.

**Figura 1** - Esquema básico de um túnel de plasma com seus diversos componentes



Fonte: (SILVA, 2009)

Em sua grande maioria essas câmaras são construídas em formato cilíndrico e possuem janelas que são utilizadas para incorporação de sensores e sondas para realização de diagnósticos. São também construídas de aço de forma a seguirem as técnicas usuais para câmaras de vácuo. (SILVA, 2009).

Atualmente o maior túnel de plasma é denominado SCIROCCO, e está instalado no CIRA (Centro Italiano de Recerche Aerospziali), localizado na cidade de Cápua, Itália. A figura 2 retrata a vista aérea de suas instalações.

**Figura 2** - Vista aérea do túnel de plasma SCIROCCO



**Fonte:** (PURPURA, et al, 2008)

## 2.2. O PLASMA E SUAS DEFINIÇÕES

Uma definição geralmente conhecida sobre o plasma é a que caracteriza o plasma como sendo o quarto estado da matéria, desta forma temos o sólido como sendo a primeira, o líquido sendo a segunda, o estado gasoso sendo a terceira e como quarto estado se apresentaria o plasma. (BOULOS, 1994).

Segundo Boulos 1994:

O estado do plasma é frequentemente referenciado como o quarto estado da matéria na seguinte sequência: sólido, líquido, gasoso e *plasma*. Esta classificação como um estado da matéria é justificada pelo fato de que mais de 99% do universo conhecido está no estado de plasma. Um exemplo típico é o sol, cuja temperatura interior excede  $10^7\text{K}$ . O elevado teor de energia de um plasma comparado com o sólido, líquido, e gases comuns apresenta-se para um número importante de aplicações. (Grifo do autor; **tradução nossa**).

Além da definição apresentada acima, o plasma também pode ser apresentado como sendo um gás totalmente ou parcialmente ionizado, possuindo assim um número de partículas negativamente e positivamente carregadas de maneira uniforme, apresentando-se macroscopicamente neutro. Apesar da definição de Boulos afirmando que quase todo o universo está em estado de plasma, ele raramente é visto pelas pessoas no seu dia a dia,

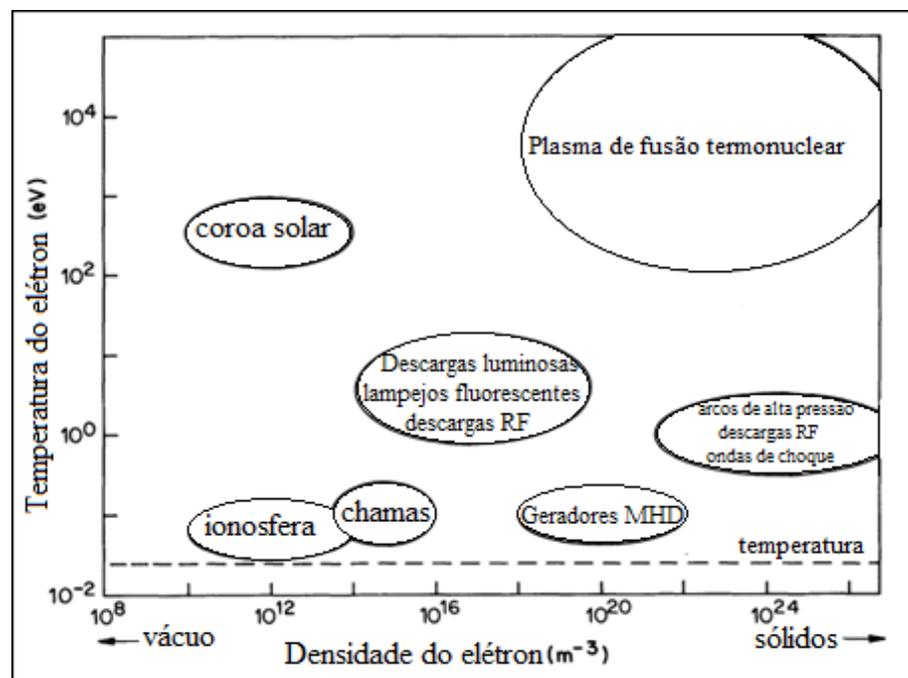
podendo ser vistos em sua grande maioria apenas nos laboratórios, entretanto o plasma também pode ser percebido nos relâmpagos e em aurora boreal (BOULOS, 1994).

Outra forma de se classificar o Plasma é diferenciando-o pela sua temperatura, desta forma temos o plasma de alta temperatura que são superiores a 50.000 K e o plasma de baixa temperatura, que possuem temperaturas inferiores 50.000 K. Ainda dentro do plasma de baixa temperatura pode se encontrar uma sub divisão que consiste em plasma frio térmico e não térmicos. Um exemplo de plasma frio não térmico são as lâmpadas fluorescentes utilizadas normalmente em nosso sistema de iluminação que foi citado por Silva (1993).

Um exemplo prático de plasma frio não térmico é encontrado nas lâmpadas fluorescentes utilizadas em sistemas de iluminação comuns. Nestas os elétrons possuem temperaturas de cerca de 20.000 K e as partículas pesadas (átomos, íons e moléculas) possuem temperaturas próximas a do ambiente. Devido à baixa densidade de elétrons livres e de sua pequena massa comparada à massa das partículas pesadas, a temperatura final de equilíbrio tende a ser muito mais próxima à temperatura desta.

Para que seja possível um melhor entendimento, da definição do plasma em relação a sua temperatura, é apresentado na figura 3 algumas temperaturas onde ocorrem o plasma termo nuclear; coroa solar entre outros.

**Figura 3 - Classificação dos Plasmas**



Fonte: (BOULOS, 1994 Tradução nossa)

### 2.2.1. TOCHAS DE PLASMA

Com o início da chamada corrida espacial no século XX, percebeu-se a necessidade de criação de novas tecnologias, que fossem capazes de simular a reentrada de naves espaciais na atmosfera, e voos supersônicos. Até então os métodos utilizados, para aquecer os gases, através da energia térmica liberada na combustão ou por meio do efeito Joule, não reproduziam as condições aerodinâmicas necessárias para obtenção de ensaios de regime permanente.

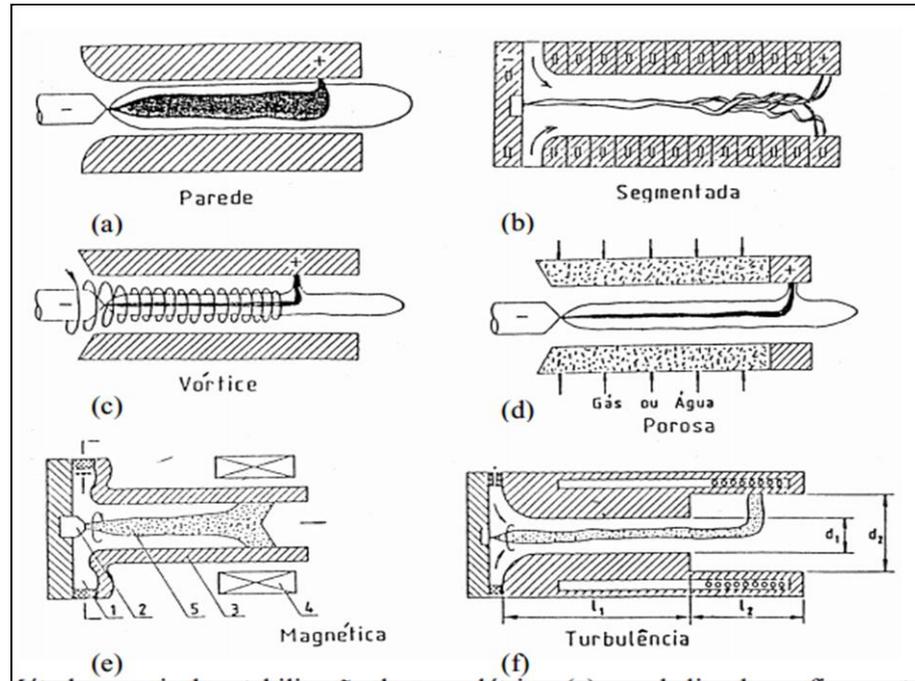
Com o objetivo de sanar as necessidades do desenvolvimento tecnológico do século XX, foram então criados os “Plasmatrons” mais conhecidos como Tochas de Plasma, que são dispositivos que possuem a finalidade de converter energia elétrica em energia térmica, por meio de uma descarga elétrica tipo arco. Podemos destacar que a eficiência térmica destas tochas está na faixa de 80% a 90%, podendo ainda atingir temperaturas da ordem de 3000K a 50.000K.

As Tochas de Plasma ou “Plasmatrons” podem ser classificadas por aspectos diferentes como pelo tipo de operação para qual elaborada e conforme o princípio básico de conversão de energia elétrica em energia térmica, como cita Barros (2008):

A classificação das tochas de plasma pode ser feita sob diferentes aspectos, entre eles pela maneira como o plasma é produzido: tochas arco elétrico com corrente contínua (DC), de arco elétrico com corrente alternada (AC), tochas de plasmas de rádio frequência (RF), de alta frequência (HF), de ultra-altas frequências (UHF ou micro-ondas). (sic).

Outra forma de se classificar as tochas de plasma consiste na estabilização do arco elétrico. Existem diversas maneiras de estabilização como por parede; por fluxo axial de gás; por fluxo em vórtice de gás; por parede segmentada; por injeção de fluido através da parede porosa; por injeção radial de gás; por turbulência; por corpo magnético. Através da estabilização é possível conseguir um funcionamento estável da tocha de plasma e esta pode contribuir para a diminuição da erosão dos eletrodos. A estabilização é o fato de submeter o arco elétrico a forças radiais e longitudinais de forma que o arco permaneça no centro do canal e nele continue caso sofra uma força contrária. A figura 4 retrata os diversos tipos de estabilização.

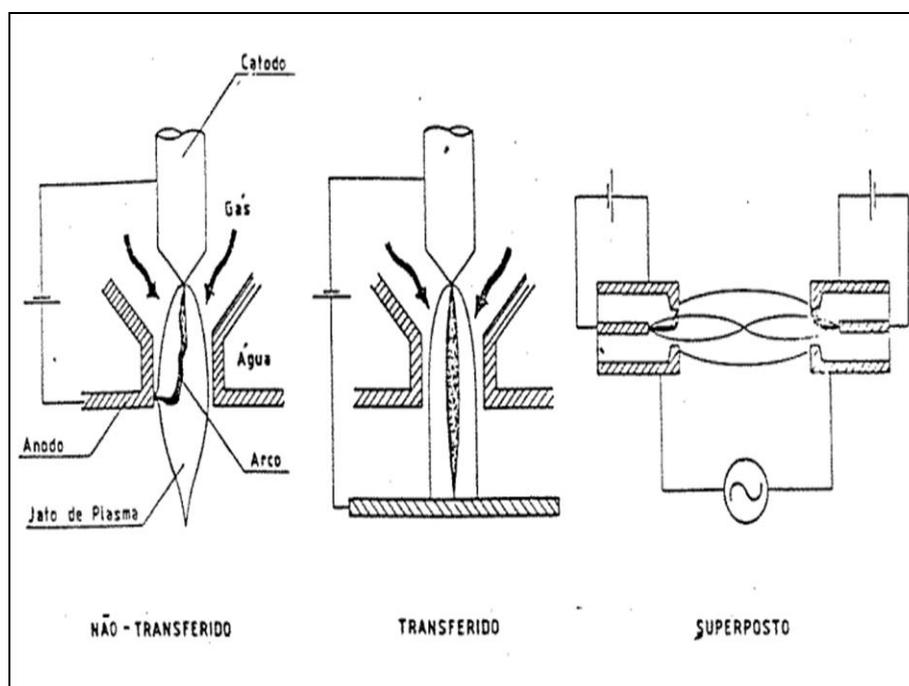
**Figura 4** - Métodos usuais de estabilização de arco elétrico. (a) parede lisa de confinamento; (b) parede segmentada; (c) fluxo em vórtice de gás; (d) injeção de fluido através de parede porosa; (e) campo magnético; (f) turbulência por degrau.



Fonte: (BARROS, 2008)

Atualmente as tochas de plasma estão tendo uma grande absorção pelo mercado de industrial deixando de ser usada apenas pelas áreas de pesquisa aeroespaciais e adentrando em outros setores industriais como tratamento térmicos de cerâmicas e metais; na aplicação de corte e solda de metais, na deposição de filmes para proteção contra corrosão e demais aplicações. Uma das vantagens da tocha de plasma é que com ela é possível o aquecimento de quaisquer gases, sejam eles neutros; oxidantes ou redutores. As tochas de plasma podem ser de três tipos, não transferido; transferido ou superposto como apresentado na figura 5.

**Figura 5 -** Tipos de tochas de plasma



**Fonte:** (SILVA, 1993)

Segundo Barros (2008) em uma tocha de arco transferido, o fluxo principal de corrente elétrica circula no espaço livre externo, entre a tocha de plasma e a peça metálica que está sendo trabalhada, são usadas normalmente em soldas, corte e fusão de metais. Em uma tocha de arco não transferido todo o fluxo de corrente elétrica circula entre os eletrodos internos que ficam dentro da tocha de plasma. Este tipo de tocha é normalmente utilizado na deposição de materiais e no aquecimento de gases para formação de jatos de plasma com altas velocidades.

### 2.3. A MANUTENÇÃO E SUAS VARIAÇÕES

Não se pode ao certo datar a existência da manutenção, pois se for analisado, o simples fato de um agricultor afiar sua ferramenta de trabalho para executar uma atividade determinada, já pode ser considerado uma manutenção de ferramentas de trabalho, e isto já vinha sendo praticado milhares de anos antes de Cristo. Assim pode-se dizer que a manutenção tem como objetivo manter os equipamentos em pleno funcionamento ou conserta-los quando houver algum tipo de avaria. Entretanto em uma definição mais técnica tem-se que a manutenção seria segundo Santos (2013) “Manter em perfeito estado de conservação e funcionamento: equipamento, acessórios e tudo o que está ligado ao setor fabril de uma indústria”, podemos ainda apresentar uma definição segundo Kardec (2002) que afirma o seguinte: “Manutenção pode ser definida como o conjunto das ações destinadas a manter ou

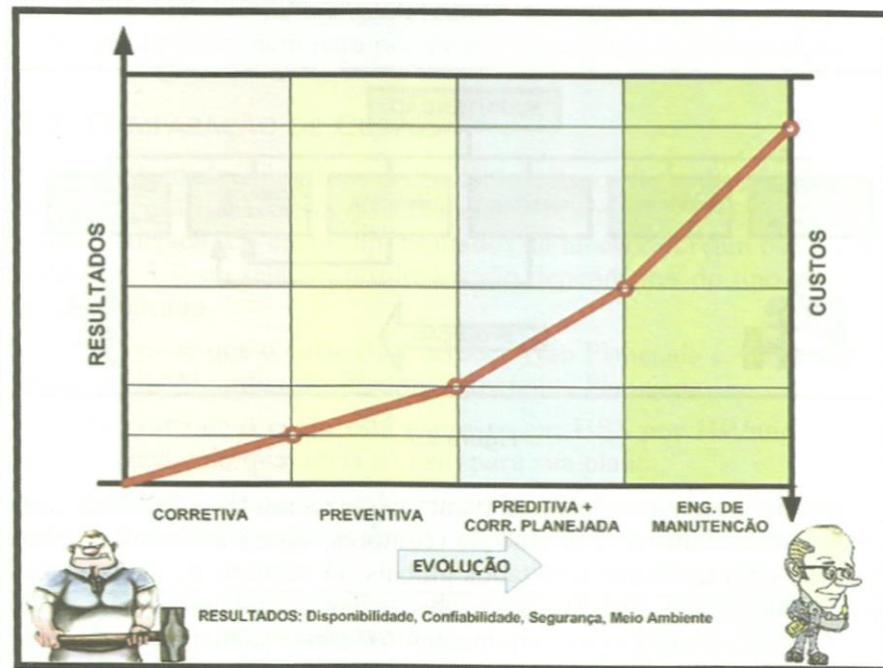
recolocar um componente, equipamento ou sistemas em um estado no qual suas funções podem ser cumpridas”.

Nos dias atuais com o advento da tecnologia e o crescimento de estudiosos voltados para a área de manutenção pode-se dividir a manutenção em algumas partes, dando a cada uma delas características e formas de execução diferenciadas. Podemos então citar as quatro mais importantes como sendo: Corretiva, Preventiva, Preditiva e TPM (Total Productive Maintenance). A primeira manutenção utilizada no meio industrial e que deu origem as manutenções subsequentes foi a manutenção corretiva, que consiste no simples fato de se consertar o que está quebrada sem se importar porque ele quebrou, em grande parte podemos observar o desuso desta prática de manutenção, tendo em vista que é um procedimento arriscado e também considerado incorreto por alguns autores como afirma Santos (2013) “Apesar de ser incorreto este tipo de manutenção, muitas empresas ainda a praticam, devido a inexistência de pessoas técnicas e qualificadas que provem sua ineficiência.”.

A manutenção preventiva por sua vez, proporciona realizar a manutenção de serviço ou equipamento através de uma forma mais controlada, visando obter parâmetros que venham prevenir que o mesmo venha quebrar antes do tempo estipulado, proporcionando uma maior conforto para a produção tendo em vista que uma linha de produção terá base para se organizar em relação as paradas de máquinas diferentemente do que ocorre na manutenção corretiva, que você não sabe o momento em o equipamento irá deixar de funcionar.

Na figura 6 verifica-se o desenvolvimento das técnicas de manutenção, de maneira a perceber que a manutenção vem evoluindo com o tempo e também com o crescimento da tecnologia.

**Figura 6** - Evolução das técnicas de manutenção.



**Fonte:** (KARDEC E NASCIF, 2013)

Pode-se ainda ressaltar que a manutenção teve um crescimento significativo com o surgimento da revolução industrial com a criação das máquinas a vapores e logo depois com a primeira e segunda guerra mundial que ocasionou uma diminuição da mão de obra nas indústrias, fazendo com que os empresários se preocupassem cada vez mais na diminuição de máquinas paradas por falta de manutenção.

### 2.3.1. MANUTENÇÃO PREVENTIVA

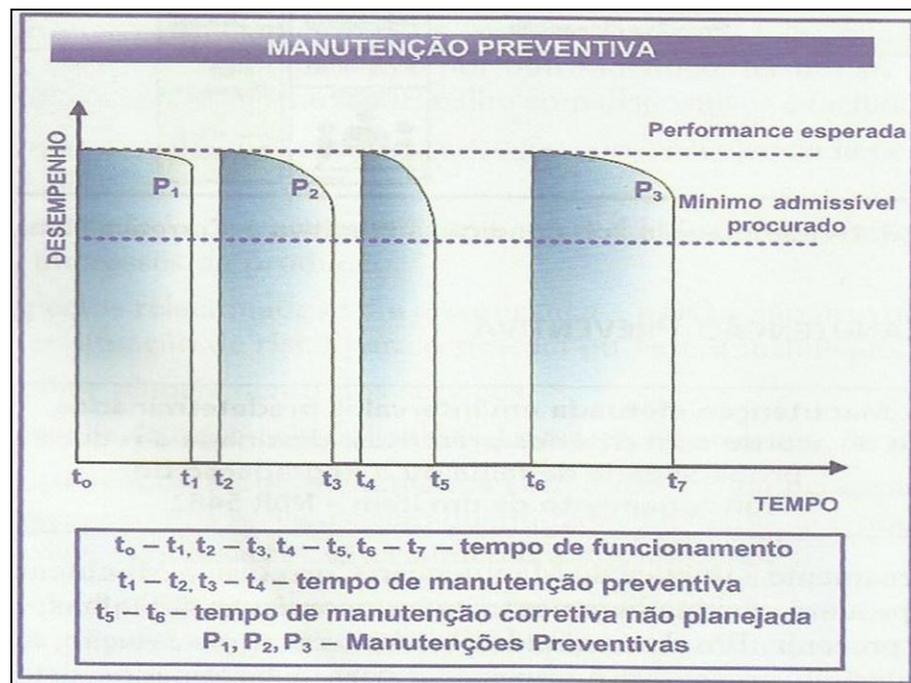
Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas através da norma (NBR-5462, 1994, p.7) a manutenção preventiva pode ser definida como sendo a “Manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”. Com isto pode ser interpretado que a manutenção preventiva tem o objetivo de evitar a ocorrência de falhas e interrupções no funcionamento de um determinado equipamento devido à quebra.

Diferentemente da manutenção corretiva, a manutenção preventiva vem com o objetivo de evitar a ocorrência de falhas nos equipamentos, em outras palavras procura prevenir essas ocorrências. Ressalta-se, porém, que mesmo com a aplicação da

manutenção preventiva ao longo da vida útil estimada de determinado equipamento, não se descarta a possibilidade de ocorrer uma falha entre o período de duas aplicações de preventiva. (KARDEC e NASCIF, 2013).

A figura 7 mostra as intervenções preventivas relacionando o desempenho em função do tempo, destacando a possibilidade de se ocorrer uma falha do intervalo da execução de duas manutenções preventivas.

**Figura 7 - Manutenção Preventiva**



Fonte: (KARDEC E NASCIF, 2013)

Em sua grande maioria as empresas fabricantes de equipamentos não fornecem juntamente com o mesmo, dados que são de vital importância para elaboração do plano de manutenção preventiva, além de outros fatos que também acabam interferindo na vida útil da máquina, como por exemplo: as condições de operação do equipamento; o ambiente onde ele foi instalado; entre outros. Com isto a definição da periodicidade e substituições devem ser determinadas para cada equipamento em particular, podendo, entretanto, ser utilizado parâmetro de outro equipamento que possua as mesmas características e condições de operacionalidade. (KARDEC e NASCIF, 2013).

A manutenção preventiva fornece dados que devem ser usados para a realização das medidas ou ações preventivas, dando base para o gerenciamento e controle da manutenção, controlando também o consumo de materiais para a realização da mesma.

Entretanto para execução deste método tem-se a necessidade de retirar o equipamento ou sistema de operação, dando margem a erros como: falhas humanas; falha de sobressalentes; contaminações introduzidas no sistema de óleo; danos durante partidas e paradas; e falhas dos procedimentos de manutenção. Mostrando assim que a não aplicação correta deste método de manutenção pode acarretar em consequências não desejadas. (KARDEC e NASCIF, 2013).

### **2.3.2. COMO OBTER DADOS.**

I - Tenha objetivos bem definidos.

Dados são um guia para nossas ações. Através de dados obtemos fatos pertinentes, e tomamos providências apropriadas baseadas em tais fatos. Antes de coletar dados, é de fundamental importância definir bem o que se pretende com eles. (KUME, 1993).

II – Qual é o seu propósito?

Uma vez que o objetivo da coleta de dados foi bem definido, os tipos de comparações a serem realizadas também são determinados e isto, por sua vez, identifica o tipo de dados que devem ser coletados. (KUME, 1993).

III- As medições são confiáveis?

Ainda que as amostras tenham sido coletadas de maneira apropriada, será feito um julgamento errado se a própria medição não for confiável. Por exemplo, inspeções realizadas por um certo inspetor mostraram uma fração defeituosa muito diferente da dos demais inspetores, e um cuidadoso exame posterior revelou que o equipamento de medição não era adequado. (KUME, 1993).

Segundo Kume (1993, p. 11)“No caso de uma inspeção sensorial, como a inspeção visual, diferenças devidas aos próprios inspetores são muito comuns. Este fato precisa ser levado em consideração quando da coleta e análise de dados.”

IV – Ache maneiras corretas para registrar os dados

Após ser realizada uma coleta de dados, vários métodos estatísticos são usados para analisá-los, de modo que os mesmos se tornem uma fonte de informação. Ao realizar uma coleta de dados, é importante dispô-los de forma clara para facilitar o entendimento e o

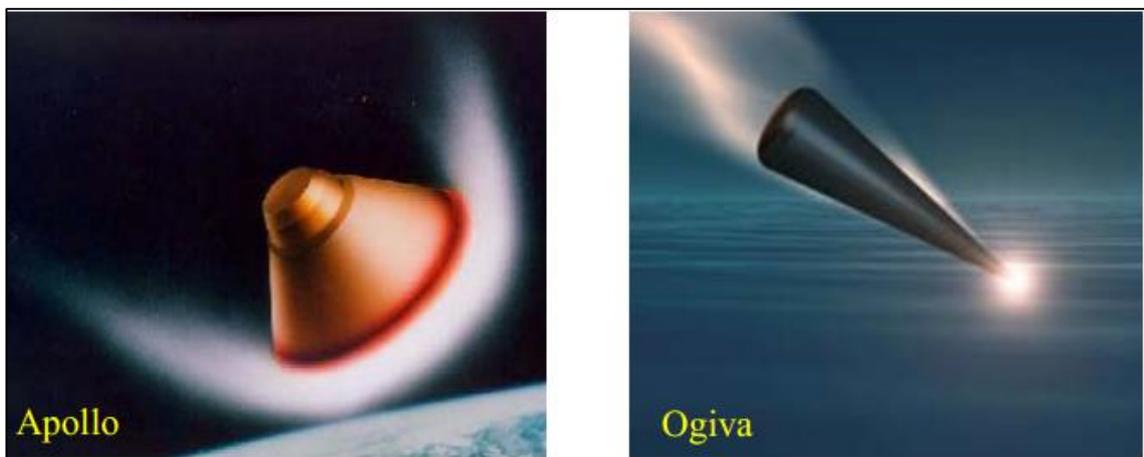
posterior tratamento. Em primeiro lugar, a sua origem precisa ser claramente registrada. Dados cuja origem não seja claramente conhecida, tornam-se inúteis.

Em segundo lugar, os dados precisam ser registrados de modo que eles possam ser facilmente utilizados. Se a intenção é de coletar dados de uma forma contínua, deve ser providenciada, de antemão, uma certa quantidade de folhas de registro padronizadas. (KUME, 1993).

### 3. METODOLOGIA E COLETA DE DADOS

A Tocha de Plasma a ser analisada neste trabalho se encontra no Instituto Tecnológico de Aeronáutica – (ITA) nas instalações do Laboratório de Plasma e Processos - LPP, acoplada no Túnel de Plasma apresentado anteriormente neste trabalho. Sua principal aplicação visa o desenvolvimento de materiais de barreira térmica empregados em veículos espaciais; satélites e outros que necessitem operar em atmosferas planetárias, como a Terra por exemplo. Estes veículos adentrarem a atmosfera sofrem aquecimento aerodinâmico geralmente em sua superfície, causado pela combinação da compressão atmosférica e da fricção do gás atmosférico atuante em sua superfície, como pode ser observado na figura 8.

**Figura 8** - Ilustração da formação de regiões de plasma durante a reentrada atmosférica de naves tripuladas como a Apollo, e de ogivas de mísseis balísticos.



**Fonte:** (BARROS, 2008)

Neste estudo apresenta-se um plano de manutenção para a tocha de plasma, e a elaboração de procedimentos de montagem e desmontagem da tocha de plasma. Por meio de ensaios práticos foram estipulados os tempos de reparo de cada componente da tocha de plasma. Neste contexto, foi elaborado um relatório de uso do “Túnel de Plasma”, como forma de garantir a confiabilidade do processo bem como a agenda de operacionalidade da tocha de plasma.

De forma a facilitar a compreensão deste estudo o dispositivo da Tocha de Plasma foi dividido em duas partes principais. A tocha geradora de plasma propriamente dita e o sistema de geração de jato supersônico (ou bocal supersônico) destacando-se a análise de cada componente sendo ele comercial ou de fabricação exclusiva.

### 3.1. ESTAÇÃO EXPERIMENTAL “CÂMARA DE VÁCUO”

O Túnel de Plasma aqui apresentado é o único em operação no Brasil, entretanto tem sua potência limitada pelas instalações elétricas do Departamento de Física do ITA em 50 KW, chega a gerar jatos de plasma na velocidade de Mach 4 (quatro vezes a velocidade do som), com um diâmetro em torno de 250 milímetros. O jato de plasma atinge níveis de entalpia específica de 10 MJ/Kg e temperaturas de jato de plasma na ordem de 3.000 K.

O túnel de plasma possui duas como acesso principal, de forma a facilitar sua abertura como também à colocação de peças a serem ensaiadas e posteriormente a retirada das mesmas. O mesmo possui algumas flanges tanto em suas portas como em suas laterais, com objetivo de atuarem como passadores de acesso a sensores de pressão; sensores de temperatura; espectrômetro de massa e demais instrumentos que venham ser necessários para aquisição de dados ou controle do ensaio que será realizado, como também para que possa ser acompanhado o funcionamento da tocha de plasma. A câmara é construída em aço de 15 mm, em formato cilíndrico com diâmetro de 1.500 mm e comprimento de 1.800 mm, e possui um volume de 3,2 m<sup>3</sup>. A figura 9(a) mostra a vista frontal do túnel de plasma e a figura 9(b) a vista lateral.

**Figura 9** - Vista frontal do túnel de plasma (a); vista lateral do túnel de plasma (b).



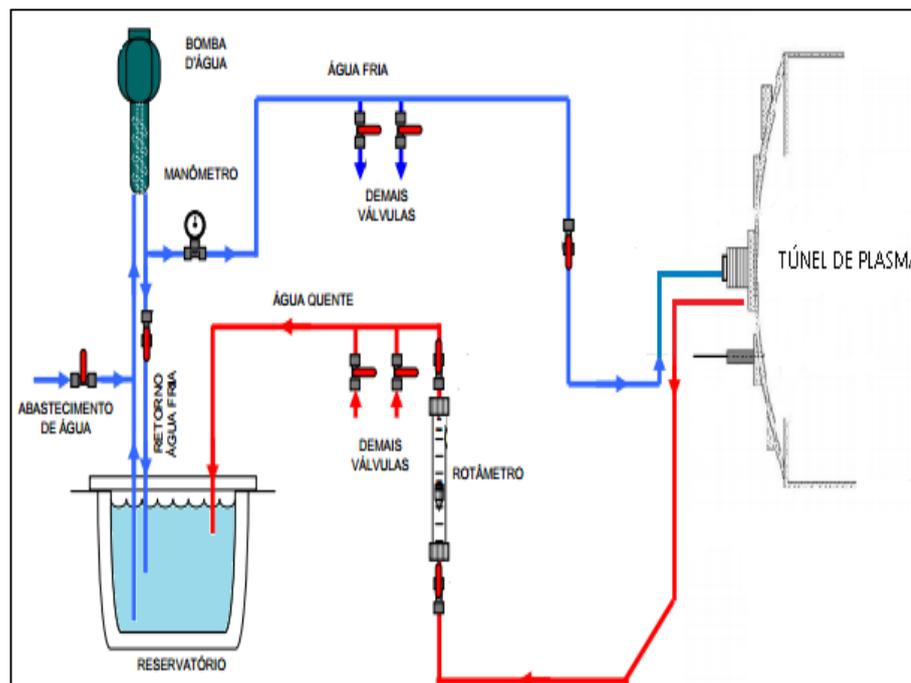
Fonte: (O AUTOR, 2015)

#### 3.1.1. SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

A refrigeração do túnel de plasma é realizada em circuito fechada por meio de um

tanque de água de abastecimento foi construído no próprio LPP, com capacidade de quatro mil litros de água. O mesmo é conectado ao túnel através de mangueiras com acopladores de engate rápido como também por canos comuns de ligação hidráulica. Como mostra a figura 10, a água circula pelo sistema através de uma bomba hidráulica que garante uma pressão na linha no limite de 10 Kgf/cm<sup>2</sup>. Ao circular pela tocha de plasma a diferença de temperatura na entrada e saída da mesma é utilizada para a determinação da entalpia média do gás. A água quente então retorna para o tanque passando antes por um rotômetro.

**Figura 10** - Sistema de refrigeração da tocha de plasma.



**Fonte:** (ADAPTADO DE SILVA, 2011)

. Um ponto relevante da refrigeração é que a água utilizada neste processo é a mesma fornecida pelo abastecimento comum, desta forma alguns componentes da tocha podem sofrer aceleração no processo de corrosão devido os produtos utilizados no tratamento da mesma.

### 3.1.2. FONTE DE POTÊNCIA

A fonte de potência utilizada no túnel de plasma foi desenvolvida pelo Dr. Edson de Aquino Barros, enquanto realizava seus estudos de materiais ablativos para sistema de

proteção térmica em seu trabalho de doutorado (BARROS,2008), sendo então aproveitada para uso no túnel de plasma e demais experimentos do LPP. A fonte de potência utiliza componentes do sistema de solda Superbantam 225 de fabricação da ESAB, é composto pela associação de três transformadores e uma unidade retificadora que utiliza diodos de potência. A tensão de saída com o circuito aberto é de 700 V<sub>DC</sub> e a corrente pode ser ajustável em uma faixa de 25 a 120 Amperes (SILVA, 2009). A fonte de potência pode ser retratada pela figura 11.

**Figura 11** - Fonte de potência utilizada no túnel de plasma



Fonte: (O AUTOR, 2015)

### 3.1.3. SISTEMA DE VÁCUO

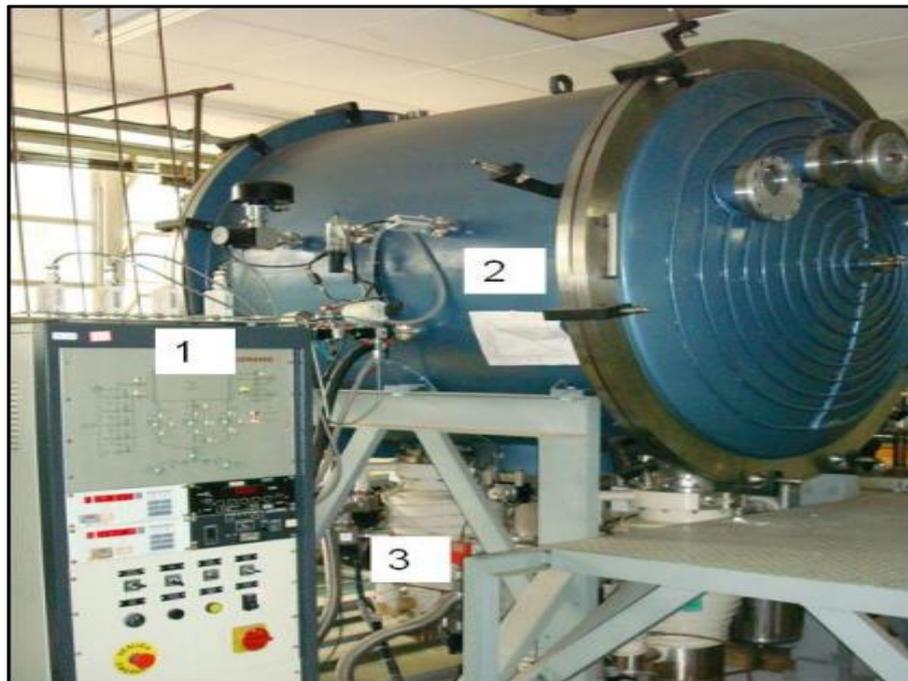
O sistema vácuo é composto por um conjunto de bombas, sensores de pressão e válvulas pneumáticas, que possibilitam garantir uma pressão que simule o ambiente de reentrada atmosférica.

O pré-vácuo é iniciado com o acionamento de duas bombas mecânicas E2M80, cada uma com capacidade para 80 m<sup>3</sup>/h. Após a realização do pré-vácuo é acionada uma bomba Roots EH- 500 com uma vazão de 500 m<sup>3</sup>/h mantendo uma pressão de fundo (ou residual) de 1,9X10<sup>-2</sup> mbar.

Todo esse sistema é controlado por um CLP (Controle Lógico Programável), que

possibilita o acionamento das válvulas pneumáticas no momento ideal de pressão. Todo esse conjunto pode ser observado na figura 11.

**Figura 12** - Vista do painel de controle (1), ao lado da câmara de vácuo (2), e das bombas de vácuo (3).

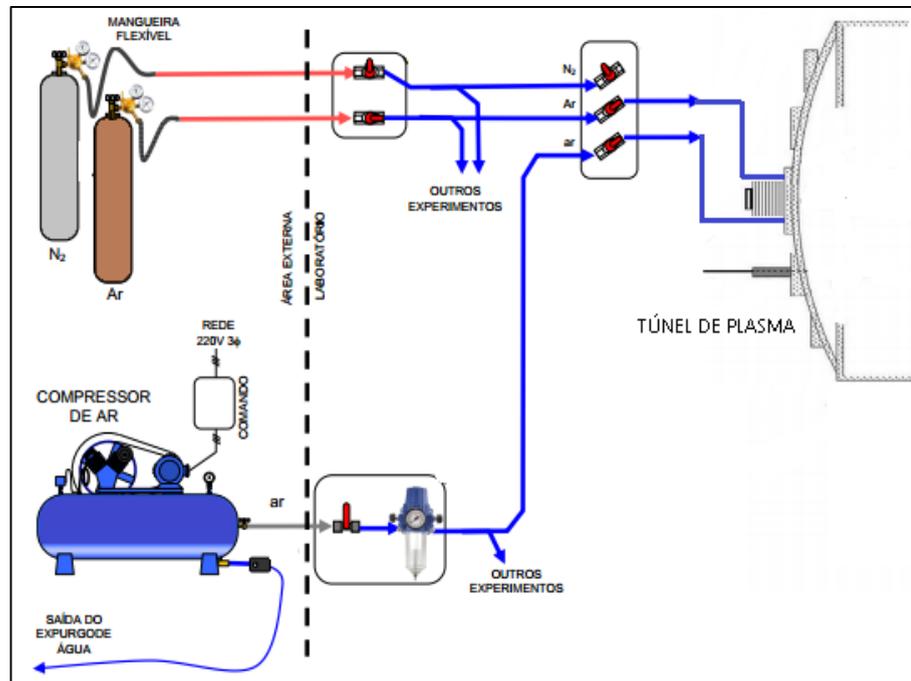


Fonte: (SILVA, 2009)

#### 3.1.4. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE GASES

O sistema de injeção de distribuição de ar comprimido utilizado no túnel de plasma possui um compressor de ar com uma capacidade de vazão de 1132 l/min, e um reservatório de 250 l, é capaz de fornecer uma pressão de 12 Kgf/cm<sup>2</sup> utilizado para gerar plasma ar. Também são utilizados outros tipos de gases como por exemplo nitrogênio e o argônio, armazenados em cilindros de 10 m<sup>3</sup>. A figura 13 ilustra um esquema do sistema de injeção e distribuição de gases.

**Figura 13** - Sistema de distribuição de gases



Fonte: (ADAPTADO DE SILVA, 2011)

### 3.2. GESTÃO DE CONTROLE DO TÚNEL DE PLASMA

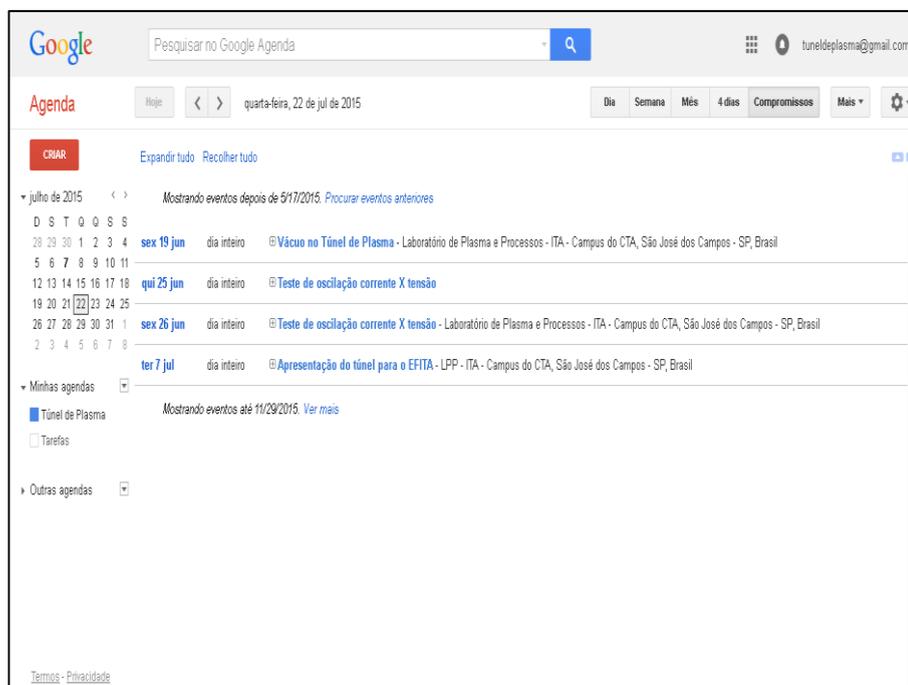
Para um melhor desempenho do acompanhamento do túnel de plasma juntamente com a tocha de plasma, faz-se necessário um controle mais preciso, que possa mostrar o tempo de utilização do equipamento, as equipes que utilizam o equipamento, dentro outras finalidades, formando assim um banco de dados a ser utilizado na manutenção do mesmo. Com esta finalidade foram adotadas duas medidas iniciais, que constam da ficha de utilização do equipamento, e da agenda online de utilização do mesmo.

#### 3.2.1. AGENDA ONLINE DE UTILIZAÇÃO DO TÚNEL DE PLASMA

Com objetivo de se ter um controle de uso do túnel de plasma juntamente com a tocha de plasma, foi elaborada uma agenda online, onde uma única pessoa fica responsável por controlar o agendamento da utilização do mesmo e as demais pessoas tem acesso de visualização da agenda. Para a elaboração desta agenda usou-se a uma ferramenta gratuita denominada google agenda, que pode ser facilmente acessada por qualquer pessoa. Esta medida faz-se necessária devido a utilização da fonte e do sistema

de refrigeração, tendo em vista que o LPP não possui apenas o túnel de plasma, mas possui também outras duas tochas de plasma, que se utilizam do mesmo sistema de fonte e sistema de refrigeração utilizado pelo túnel de plasma. A figura 14 representa uma das interfaces da agenda online utilizada neste trabalho.

**Figura 14 - Interface da agenda online.**



**Fonte:** (O AUTOR, 2015).

### 3.2.2. FICHA DE UTILIZAÇÃO DO TÚNEL DE PLASMA.

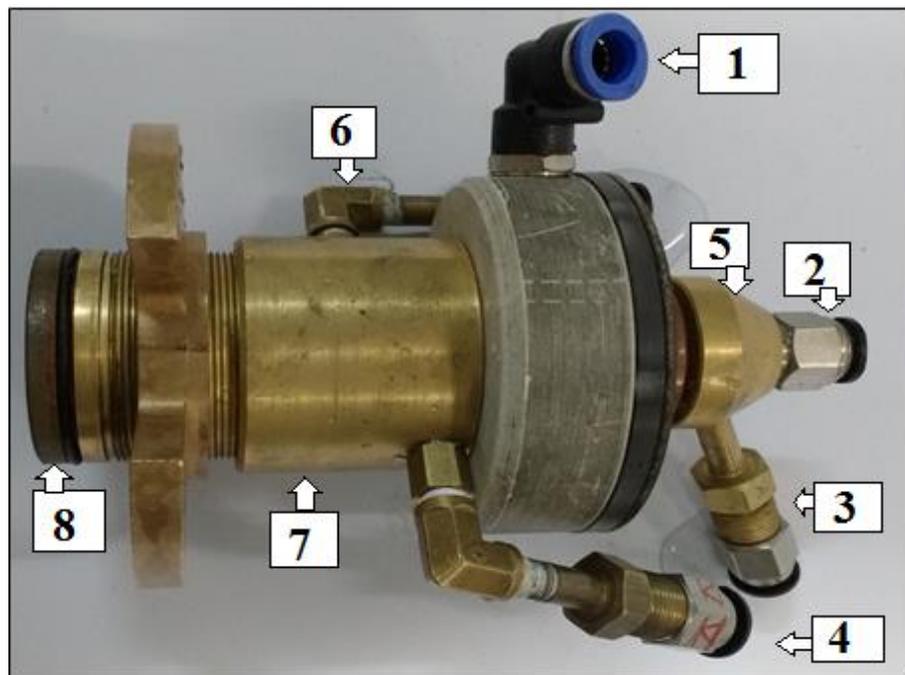
Com a finalidade de se obter uma controle mais adequado do que acontece com a tocha de plasma e com o túnel de plasma foi elaborada uma ficha de utilização do “túnel de plasma” onde o operador do equipamento se identifica, contabiliza a quantidade de vezes que a tocha foi utilizada para a realização de suas atividades, registra se ocorreu alguma anomalia com a tocha de plasma ou até mesmo com o túnel de plasma, e registra seus dados, para caso necessite, o operador de manutenção possa entrar em contato com o mesmo. O **apêndice I** representa a ficha de utilização instalada neste trabalho para realizar este controle.

### 3.3. TOCHA GERADORA DE PLASMA

A tocha geradora de plasma é o componente responsável pela geração do plasma,

através da disposição do cátodo e ânodo bem como o gás que será ionizado na aplicação. A figura 15 mostra a tocha geradora de plasma, analisada para este trabalho onde: (1) entrada de gás para câmara de vórtice; (2) entrada de água para refrigerar o catodo; (3) saída de água do catodo; (4) entrada de água para refrigerar o anodo; (5) catodo; (6) saída de água do anodo; (7) anodo; (8) saída do jato de plasma.

**Figura 15** - “Tocha de Plasma” utilizada na Estação Experimental do Laboratório de Plasma e Processos do ITA – Túnel de Plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Ao observar-se a imagem 15 verifica-se que a grande maioria dos componentes da tocha geradora de plasma são de materiais como o cobre e latão (liga de cobre), esses materiais são empregados, devido a sua capacidade de condução de eletricidade e sua capacidade de trabalhar com altas temperaturas considerando a sua estrutura cristalina. Esta afirmação se baseia no que diz Callister (2008) “A fase  $\beta$  possui uma estrutura cristalina ordenada CCC e é mais dura e mais resistente do que a fase  $\alpha$ ; conseqüentemente, as ligas  $\alpha + \beta$  são em geral, trabalhadas a quente”. Isto se dá pelo fato de que testes realizados com a tocha de plasma em funcionamento, chegaram a medir temperaturas superiores a 220°C.

Observa-se que a tocha geradora de plasma é composta por componentes comerciais, como também componentes que foram projetados especificamente para o seu funcionamento, tendo em vista que se tal componente vier a apresentar alguma avaria haverá a necessidade de uma nova fabricação do componente defeituoso, em contrapartida os

componentes comerciais podem ser adquiridos com mais facilidade.

Todo o processo de fabricação da tocha geradora de plasma consiste em um processo mecânico de retirada de material, mais conhecido como processo de usinagem mecânica, que consiste na remoção de cavaco da matéria prima para gerar a peça ou equipamento desejado (NBR 6175:2015). A tabela 1 nomeia cada componente da tocha geradora de plasma, ressaltando se seus componentes são de fabricação exclusiva ou se os mesmos são de aquisição comercial.

**Tabela 1 - Componentes da Tocha Geradora de Plasma**

<b>COMPONENTES</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>PEÇA</b>	<b>QUANT.</b>
<b>Flange</b>	Latão	N/C	1
<b>Corpo inferior de refrigeração do anodo</b>	Latão	N/C	1
<b>Camisa direcional</b>	Latão	N/C	1
<b>Anodo</b>	Cobre	N/C	1
<b>Corpo superior de refrigeração do ânodo</b>	Latão	N/C	1
<b>Câmara de Vórtice</b>	PVC - tubulação	N/C	1
<b>Indutor de Vórtice</b>	Latão	N/C	1
<b>Flange da câmara de vórtice</b>	Policarbonato	N/C	1
<b>Parafuso fenda cabeça chata M5 X 8</b>	Inox	C	6
<b>Suporte de ajuste da altura do catodo</b>	Cobre	N/C	1
<b>Cátodo-Eletrodo Plasma LPH 82-120</b>	Cobre	C	1
<b>Corpo de refrigeração do catodo</b>	Latão	N/C	1
<b>Adaptador macho/fêmea</b>	Latão	N/C	3
<b>Tubo de refrigeração direta do catodo</b>	Latão	N/C	1
<b>Conexão Hidráulica PC 12 – G02 – 0</b>	Aço inox	C	3
<b>Conexão pneumática</b>	Generic	C	1
<b>Cotovelo 90 ¼” NPT</b>	Latão	C	2
<b>Niple M10</b>	Latão	C	2

N/C – Não Comercial

C - Comercial

**Fonte:** (O AUTOR, 2015)

Com a catalogação dos componentes da tocha geradora de plasma, os mesmos receberam um código de componente afim de serem usados, na representação dos fluxogramas de montagem e desmontagem, facilitando assim a identificação de cada componente no processo de montagem e desmontagem.

Cada componente será representado por uma sigla seguida de um número, para a tocha geradora de plasma o número do componente seguirá o seguinte exemplo: **TGP – 00000**. Onde as iniciais *TGP* representam o nome “Tocha Geradora de Plasma”, e os números que seguem as iniciais representam a numeração do componente no conjunto completo da Tocha de Plasma. A tabela 2 representa cada componente da tocha geradora de plasma com

o seu respectivo código de componente.

**Tabela 2** - Código dos componentes da tocha de plasma

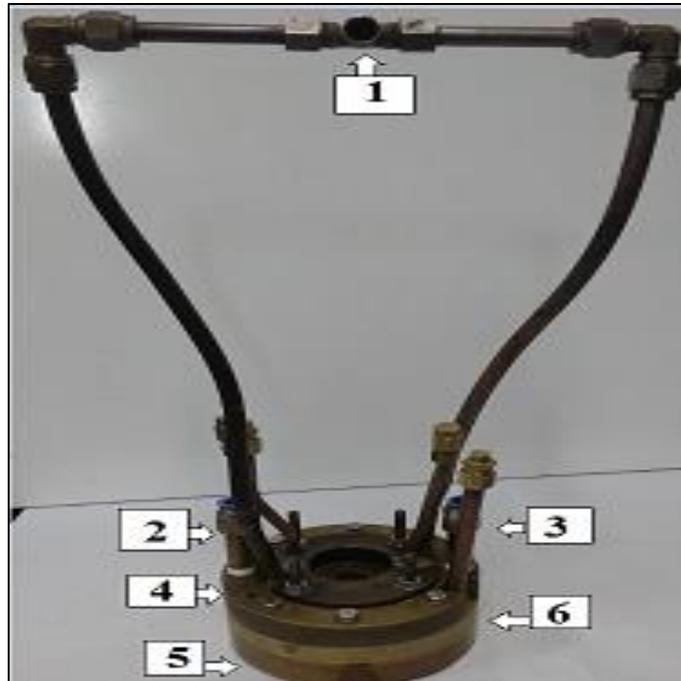
<b>COMPONENTES</b>	<b>Nº DE CÓDIGO</b>
<b>FLANGE</b>	TGP – 00001
<b>CORPO INFERIOR DE REFRIGERAÇÃO DO ANODO</b>	TGP – 00002
<b>CAMISA DIRECIONAL</b>	TGP – 00003
<b>ANODO</b>	TGP – 00004
<b>CORPO SUPERIOR DE REFRIGERAÇÃO DO ANODO</b>	TGP – 00005
<b>CÂMARA DE VÓRTICE</b>	TGP – 00006
<b>INDUTOR DE VÓRTICE</b>	TGP – 00007
<b>FLANGE DA CÂMARA DE VÓRTICE</b>	TGP – 00008
<b>PARAFUSO FENDA CABEÇA CHATA M5 X 8</b>	TGP – 00009
<b>SUORTE DE AJUSTE DE ALTURA DO CATODO</b>	TGP – 00010
<b>CATODO - ELETRODO PLASMA LPH 82-120</b>	TGP – 00011
<b>CORPO DE REFRIGERAÇÃO DO CATODO</b>	TGP – 00012
<b>ADAPTADOR MACHO/FÊMEA</b>	TGP – 00013
<b>TUBO DE REFRIGERAÇÃO DIRETA DO CATODO</b>	TGP – 00014
<b>CONEXÃO HIDRÁULICA PC 12- G02- 0</b>	TGP – 00015
<b>CONEXÃO PNEUMÁTICA</b>	TGP – 00016
<b>COTOVELO 90 ¼” NPT</b>	TGP – 00017
<b>NIPLE M10</b>	TGP – 00018

Fonte: (O AUTOR, 2015).

### 3.3.1. CONJUNTO DO BOCAL SUPERSÔNICO.

O conjunto do bocal supersônico da tocha de plasma, tem como finalidade, resfriar a tocha de plasma no momento de sua operação evitando assim falhas de funcionamento na mesma. O bocal supersônico tem como finalidade também recolher o plasma formada nas extremidades onde a temperatura é menor, deixando apenas o plasma formado no centro da tocha chegar ao processo final, isso se dá pelo bocal De Laval que é utilizado no conjunto de refrigeração. A figura 16 demonstra o conjunto do bocal supersônico sem a tocha de plasma onde: (1) sistema de exaustão da parte fria do plasma; (2) entrada de água para refrigeração das três câmaras; (3) saída de água da refrigeração das três câmaras; (4) primeira câmara (base superior); (5) terceira câmara (base inferior); (6) segunda câmara (dissipador principal).

**Figura 16** - Conjunto do Bocal Supersônico.



**Fonte:** (O AUTOR, 2015).

Os mesmos princípios adotados para a catalogação da tocha de plasma, serão adotados na catalogação do conjunto do bocal supersônico, com isto a tabela 3 apresenta cada componente utilizado neste conjunto, ressaltando se o mesmo é de aquisição comercial ou de fabricação exclusiva para este equipamento.

Tabela 3 - Componentes do conjunto do bocal supersônico.

COMPONENTES	MATERIAL	PEÇA	QUANT.
Base inferior	Latão	N/C	1
Nozzle	Cobre	N/C	1
Trocador de calor do nozzle	Latão	N/C	2
Tubo distribuidor entrada	Cobre	N/C	1
Dissipador principal	Latão	N/C	1
Dissipador central	Cobre	N/C	1
Tubo de resfriamento do dissipador principal	Cobre	C	2
Obturador para tubo Ø12	Latão	C	2
Trocador de calor	Latão	N/C	1
Base superior	Latão	N/C	1
Conexão especial para entrada e saída do dissipador	Latão	N/C	2
Flange de conexão da tocha geradora de plasma	Cobre	N/C	1
Tubo de escape de gases	Cobre	C	2
Parafuso cabeça sextavada M8 X 63	Aço inox	C	6
Arruela M8	Aço inox	C	10
Prisioneiro M8 X 57	Aço inox	C	4
Porca M8	Aço inox	C	4
Distribuidor de água saída	Cobre	N/C	1
Parafuso escareado M5 X 10	Aço inox	C	4
Pino Ø6 X 6,5	Aço inox	C	6
Pino Ø6 X 12	Aço inox	C	2

N/C – Não Comercial

C – Comercial

Fonte: (O AUTOR, 2015).

Com a catalogação dos componentes do conjunto do bocal supersônico da tocha geradora de plasma, um código de componente será colocado afim de serem usados, na representação dos fluxogramas de montagem e desmontagem do mesmo, facilitando assim a identificação de cada componente no processo de montagem e desmontagem.

Como o conjunto do bocal supersônico faz parte da tocha geradora de plasma será representado através do mesmo código que a tocha de plasma. Cada componente será representado por uma sigla seguida de um número, que seguirá o seguinte exemplo: **TGP – 00000**. Onde as iniciais *TGP* representam o nome “Tocha Geradora de Plasma”, e os números que seguem as iniciais representam a numeração do componente no conjunto completo da Tocha de Plasma. A tabela 4 traz os componentes do conjunto do bocal supersônico da tocha de plasma juntamente com os seus respectivos números de componentes.

**Tabela 4 - Código de componentes do conjunto do bocal supersônico**

<b>COMPONENTES</b>	<b>Nº DE CÓDIGO</b>
<b>BASE INFERIOR</b>	TGP - 00019
<b>NOZZLE</b>	TGP - 00020
<b>TROCADOR DE CALOR DO NOZZLE</b>	TGP - 00021
<b>TUBO DISTRIBUIDOR ENTRADA</b>	TGP - 00022
<b>DISSIPADOR PRINCIPAL</b>	TGP - 00023
<b>DISSIPADOR CENTRAL</b>	TGP - 00024
<b>TUBO DE RESFRIAMENTO DO DISSIPADOR PRINCIPAL</b>	TGP - 00025
<b>OBTURADOR PARA TUBO Ø12</b>	TGP - 00026
<b>TROCADOR DE CALOR</b>	TGP - 00027
<b>BASE SUPERIOR</b>	TGP - 00028
<b>CONEXÃO ESPECIAL PARA ENTRADA E SAÍDA DO DISSIPADOR</b>	TGP - 00029
<b>FLANGE DE CONEXÃO DA TOCHA GERADORA DE PLASMA</b>	TGP - 00030
<b>TUBO DE ESCAPE DE GASES</b>	TGP - 00031
<b>PARAFUSO CABEÇA SEXTAVADA M8 X 63</b>	TGP - 00032
<b>ARRUELA M8</b>	TGP - 00033
<b>PRISIONEIRO M8 X 57</b>	TGP - 00034
<b>PORCA M8</b>	TGP - 00035
<b>DISTRIBUIDOR DE ÁGUA SAÍDA</b>	TGP - 00036
<b>PARAFUSO ESCAREADO M5 X 10</b>	TGP - 00037
<b>PINO Ø6 X 6,5</b>	TGP - 00038
<b>PINO Ø6 X 12</b>	TGP - 00039

Fonte: (O AUTOR, 2015)

### 3.3.2. SISTEMA DE VEDAÇÕES

Para que não haja vazamento de fluido refrigerante na tocha de plasma, são utilizados anéis de vedação de borracha tipo O’rings, componentes estes que quando colocados nos alojamentos específicos, com a função de vedar os fluídos do sistema. A tabela 5 traz a relação geral dos anéis de vedação de borracha do tipo o’rings utilizados na tocha de plasma.

Tabela 5 - Anéis de vedação de borracha do tipo o' rings

Nº	CÓDIGO COMERCIAL	DIÂMETRO INTERNO	SECÇÃO	QUANTIDADE
01	1-050	133,07 mm	1,80	1
02	1-048	120,37 mm	1,80	2
03	1-042	82,27 mm	1,80	3
04	1-030	41,00 mm	1,80	2
05	1-013	10,82 mm	1,80	4
06	1-123	29,82 mm	2,65	2
07	1-034	53,70 mm	1,80	1
08	1-033	50,52 mm	1,80	1
09	1-138	53,64 mm	2,65	2
10	1-127	29,74 mm	3,55	1
11	1-147	67,95 mm	2,65	1
12	1-011	7,65 mm	1,80	1
13	1-114	15,54 mm	2,65	1

Fonte: (O AUTOR, 2015)

No **apêndice 2** pode ser verificado a posição de cada anel de vedação na montagem da tocha de plasma.

### 3.3.3. OPERAÇÃO DA TOCHA DE PLASMA

Respeitando-se os procedimentos de operação do túnel de plasma apresentado no **anexo I**, segue-se os procedimentos de operação da tocha de plasma conforme exposto a seguir.

#### 01º Passo (Sistema de vácuo)

- a) Verificação de líquido condensado na linha de ar comprimido;
- b) Abertura da válvula para inserir ar comprimido no sistema;
- c) Injetar ar comprimido no sistema: 7 a 8 Kgf/ cm<sup>2</sup> ou de 100 a 120 Psi;
- d) Inicialização do sistema de vácuo (na linha)
  - i. 1º estágio – bombas mecânicas (2 bombas E2M80 EDWARDS) até uma pressão de  $6,5 \times 10^{-2}$  mbar;
  - ii. 2º estágio – bombas Roots (1 bomba HT500), até uma pressão de  $1 \times 10^{-4}$  mbar;
- e) Abertura da câmara de vácuo (vácuo na câmara), pressão interna de  $1,9 \times 10^{-2}$  mbar.

#### 02º Passo (Sistema de refrigeração de água com circulação fechada dos

componentes da tocha de plasma: cátodo, ânodo, porta amostra e bocal)

- a) Ligar a bomba de circulação de água;
- b) Abertura das válvulas de injeção de água no sistema (cátodo, ânodo, porta amostra e bocal) até uma pressão de 10Kgf/cm<sup>2</sup> e vazão de 10L/min em todos os componentes.

### **3º Passo** (Operação da tocha de plasma)

- a) Conectar os cabos de alimentação (cátodo, ânodo) na fonte de alimentação;
- b) Injeção de ar comprimido na câmara de vórtice da tocha de plasma;
- c) Controle de vazão e pressão na injeção de ar comprimido na câmara de vórtice da tocha de plasma;
  - i. Pressão: 1,9 Kgf/ cm<sup>2</sup>
  - ii. Vazão: 16.000 L/h
- d) Pressão na saída do bocal de 1,5 Kgf/cm<sup>2</sup>
- e) Fechamento de fluxo de ar comprimido na entrada da câmara de vórtice da tocha de plasma, e esperar a estabilização de pressão na câmara de vácuo;
- f) Ignição no painel de alimentação de energia gerador de arco elétrico, concomitantemente abertura de entrada de fluxo de ar comprimido na câmara de vórtice bem como abertura da válvula de saída do bocal;
- g) Conferencia de parâmetros de operação da tocha de plasma;
  - i. Corrente: 90A – 130A;
  - ii. Tensão: 250V – 350V;
  - iii. Temperatura de saída de água do ânodo;
  - iv. Temperatura de saída de água do bocal.

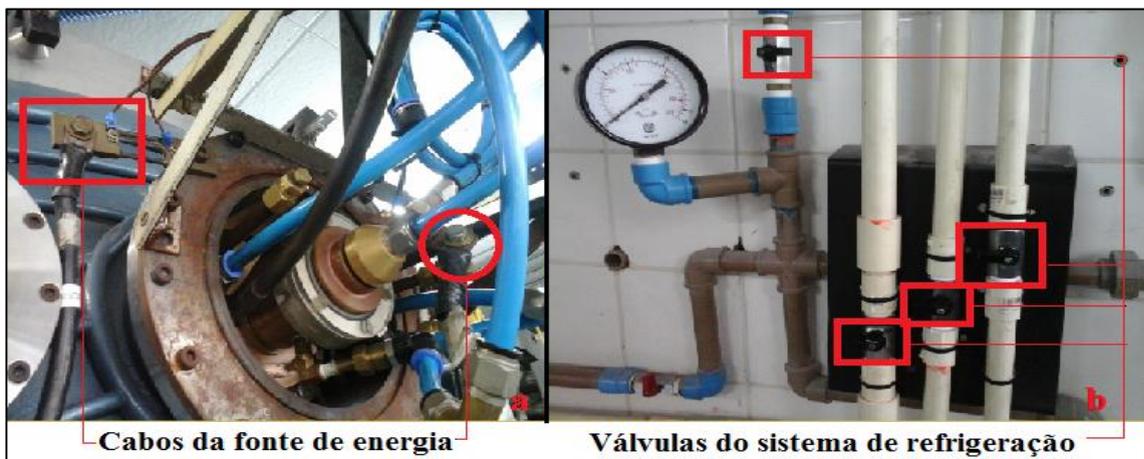
### **3.4. PLANO DE DESMONTAGEM DA TOCHA DE PLASMA**

Foi desenvolvido o plano de desmontagem da tocha de plasma, no intuito de auxiliar o operador de manutenção no que tange a manutenção da tocha de plasma, a proceder de forma correta no momento da desmontagem da mesma, evitando assim possíveis complicações no momento da desmontagem, como por exemplo: perda de componentes; quebra de componentes; dentre outros. A desmontagem da tocha de plasma é apresentada também no **apêndice IV**.

### 3.4.1. ETAPAS PARA DESMONTAGEM DA TOCHA DE PLASMA

**1º passo** - para iniciar a desmontagem da tocha de plasma, é proceder a verificação de que a tocha não esteja conectada a fonte de energia conforme a figura 17a, e verificar se válvulas do sistema de refrigeração de água estejam na posição fechada conforme a figura 17b de forma que não venha a ocorrer o vazamento de fluido refrigerante e para que não haja risco de choques elétricos.

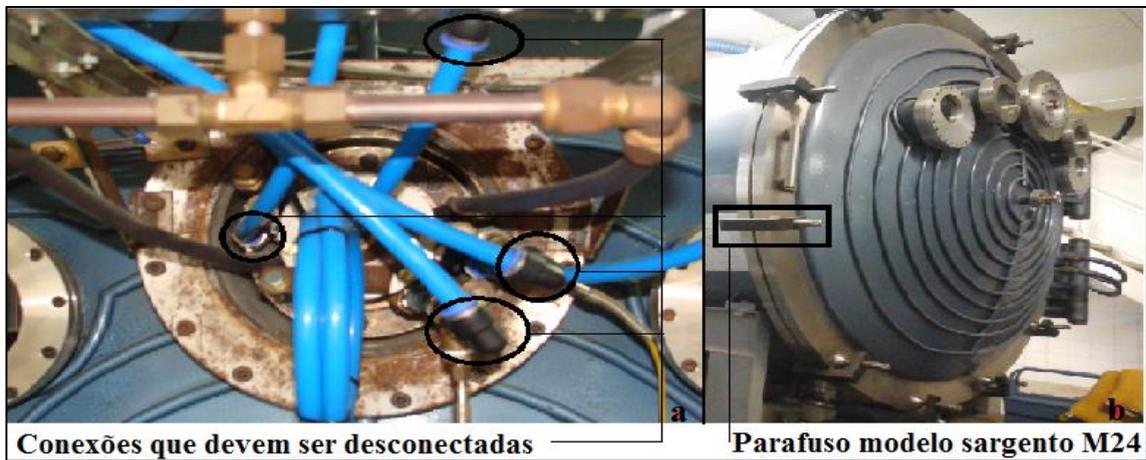
**Figura 17 - 1º passo** para desmontagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**2º passo** - representado pela figura 18(a, b), é identificado as conexões que devem ser desconectadas, conforme entrada e saída de fluido refrigerante da tocha de plasma figura 18(a), logo em seguida deve-se abrir a porta traseira do túnel de plasma figura 18(b), tendo em vista que junto à porta dianteira ficam acoplados alguns sistemas de controle da tocha. A porta traseira é fixada por parafusos de modelo sargento M24 figura 18(b).

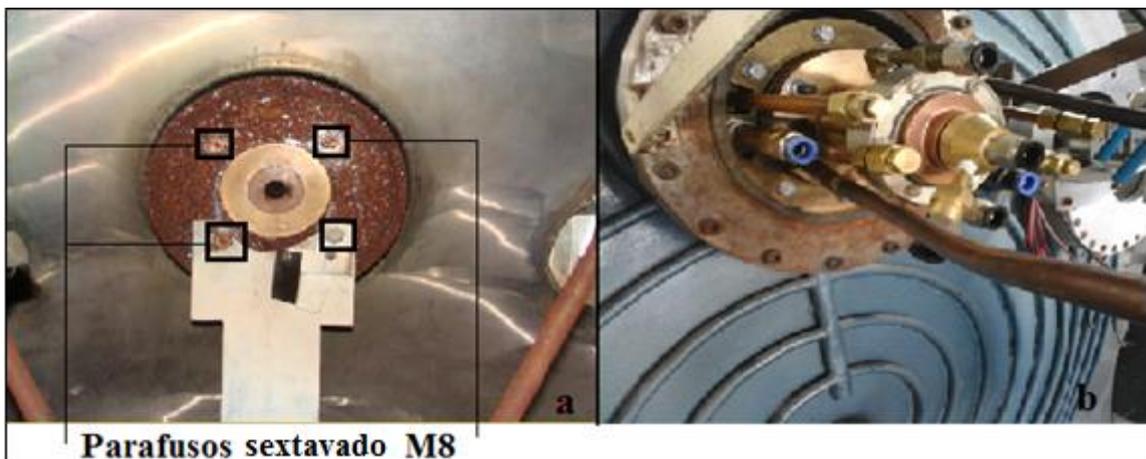
**Figura 18 - 2º passo para desmontagem da tocha de plasma.**



Fonte: (O AUTOR, 2015).

**3º passo** - demonstrado pela figura 19(a, b), deve-se soltar a tocha de plasma, que está fixada na parte interna do túnel de plasma por quatro parafusos sextavados M8 conforme a figura 19(a). Esta etapa deverá ser realizada por duas pessoas, tendo em vista que a fixação da tocha se dá na parte interna do túnel e a tocha fica disposta na parte externa, conforme figura 19(b). Observa-se ainda que quando a tocha for retirada do túnel deve-se se atentar ao anel de vedação 1-050 que fica na face da tocha com o túnel.

**Figura 19 - 3º passo para desmontagem da tocha de plasma.**



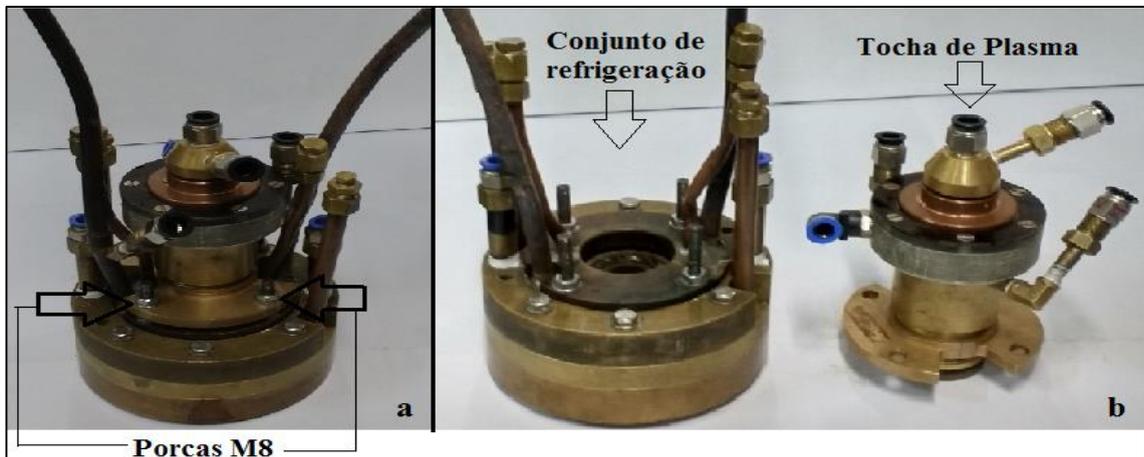
Fonte: (O AUTOR, 2015).

Após a retirada da tocha de dentro do túnel de plasma, deve-se posicioná-la em uma bancada para que desta forma seja possível dar prosseguimento as etapas de desmontagem da mesma.

**4º passo** - deve-se soltar as quatro porcas M 8 conforme a figura 20(a), que fixam a tocha junto ao seu sistema de refrigeração, de forma que se obtenha dois conjuntos, a

tocha geradora de plasma, e o conjunto de refrigeração da tocha, conforme a figura 20(b).

**Figura 20 - 4º passo para desmontagem da tocha de plasma.**

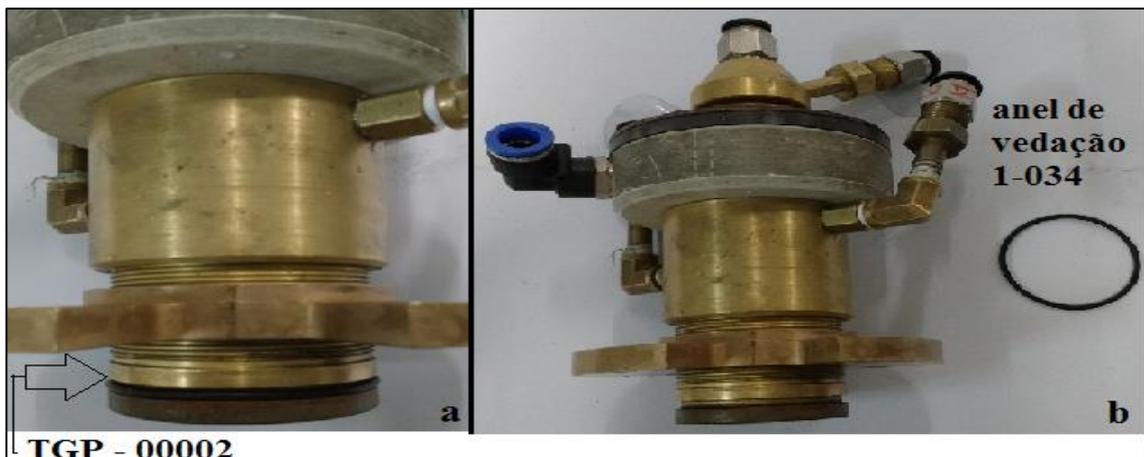


Fonte: (O AUTOR, 2015)

Após a realização do 4º passo, a desmontagem da tocha pode ser dividida em dois subconjuntos: a tocha geradora de plasma; e o conjunto de refrigeração da tocha, caso a desmontagem esteja sendo realizada por dois operadores, os dois subconjuntos podem ser desmontados em paralelos, caso a desmontagem esteja sendo realizada por um único operador, deve-se desmontar um subconjunto e posteriormente o outro. Entretanto neste plano de desmontagem será apresentada primeiramente a desmontagem da tocha geradora de plasma, e logo em seguida a desmontagem do seu conjunto de refrigeração.

**5º passo** - representado pela figura 21(a, b), deve-se retirar o anel de vedação 1-034 que fica alojado no componente TGP – 00002.

**Figura 21 - 5º passo para desmontagem.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**6º passo** - deve-se desrosquear o componente TGP – 00016, e logo em seguida

pode-se desrosquear o componente TGP – 00012, conforme figura 22.

**Figura 22 - 6º passo para desmontagem da tocha de plasma**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Ao ser realizado o **6º passo**, observa-se que ao retirar o componente TGP – 00012, formou-se um novo subconjunto, conforme a figura 23, que será então desmontado no **7º passo**.

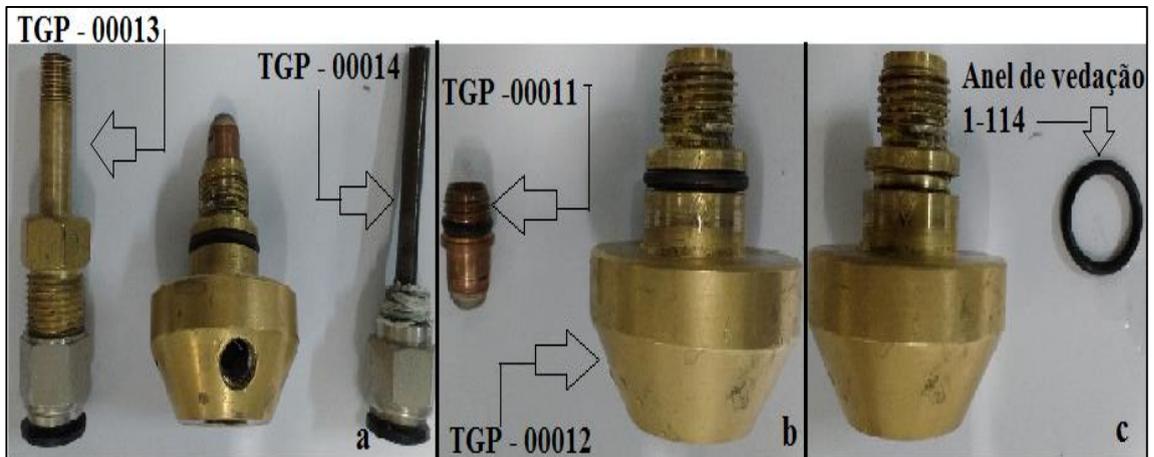
**Figura 23 - Subconjunto formado no 6º passo**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**7º passo** - pega-se o subconjunto formado conforme a figura 23 e desrosquei os componentes TGP – 00011; TGP – 00014; e TGP – 00013. Retire também o anel de vedação 1-114, que fica alojado no componente TGP – 00012, conforme a figura 24(a, b, c).

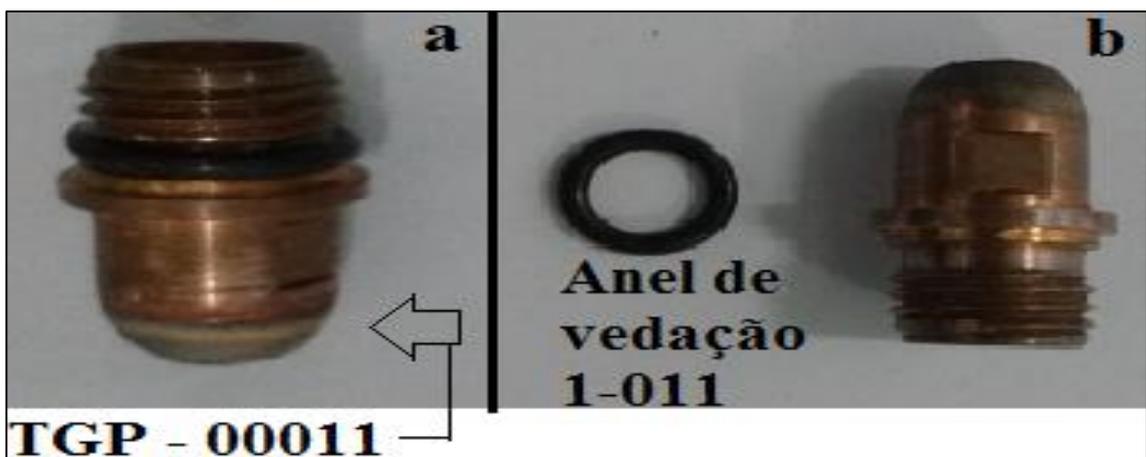
Figura 24 - 7º passo para desmontagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**8º passo** - representado pela figura 25(a, b), retira-se o anel de vedação 1-011, do componente TGP – 00011.

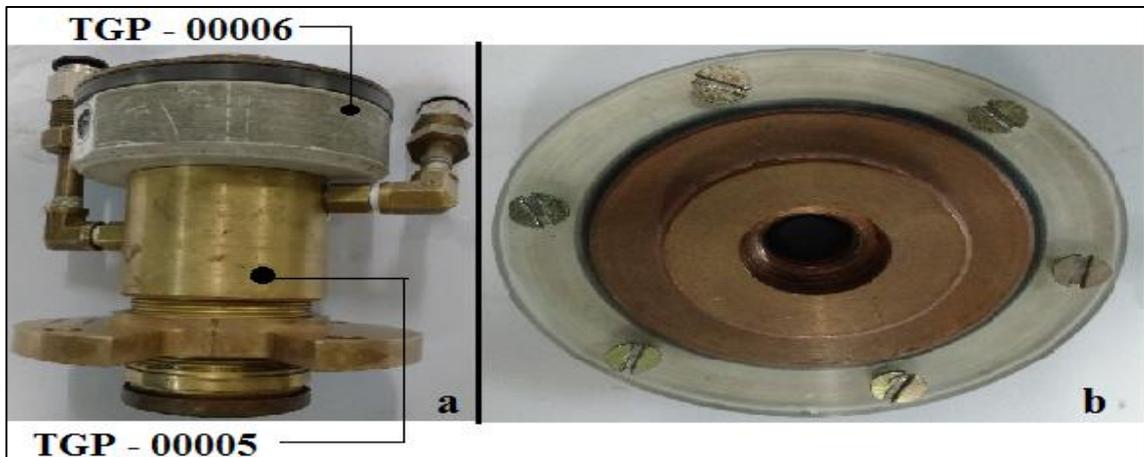
Figura 25 - 8º passo para desmontagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**9º passo** - deve-se desrosquear o componente TGP – 00006 do componente TGP - 00005 assim como mostra a figura 26(a, b).

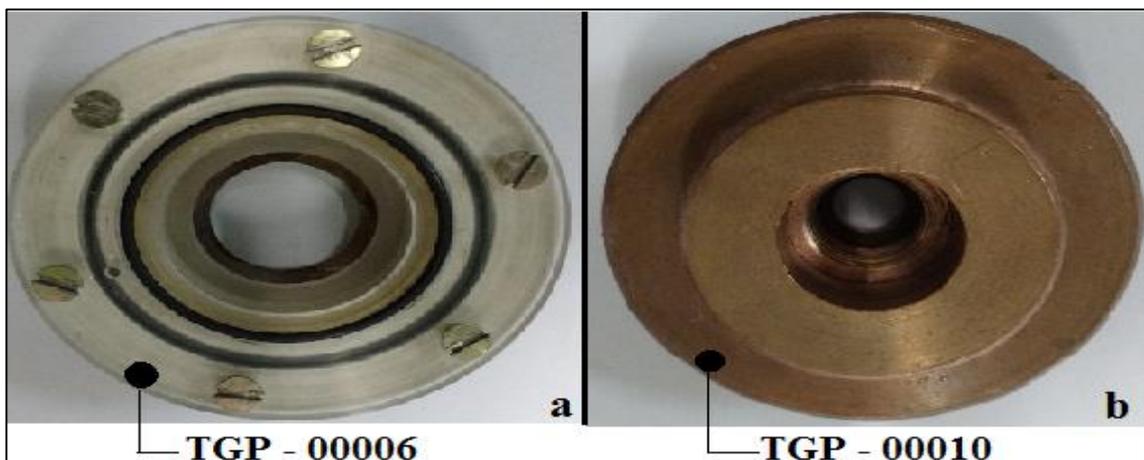
Figura 26 - 9º passo para desmontagem da tocha de plasma.



Fonte: O (AUTOR, 2015)

**10º passo** - representado pela figura 27(a, b), é necessário pegar o conjunto mostrado na figura 26(b) e desrosquear o componente TGP – 00010 do componente TGP – 00006. Observa-se por tanto, que após a realização desta etapa o componente TGP – 00006 ainda está acoplado a outros componentes.

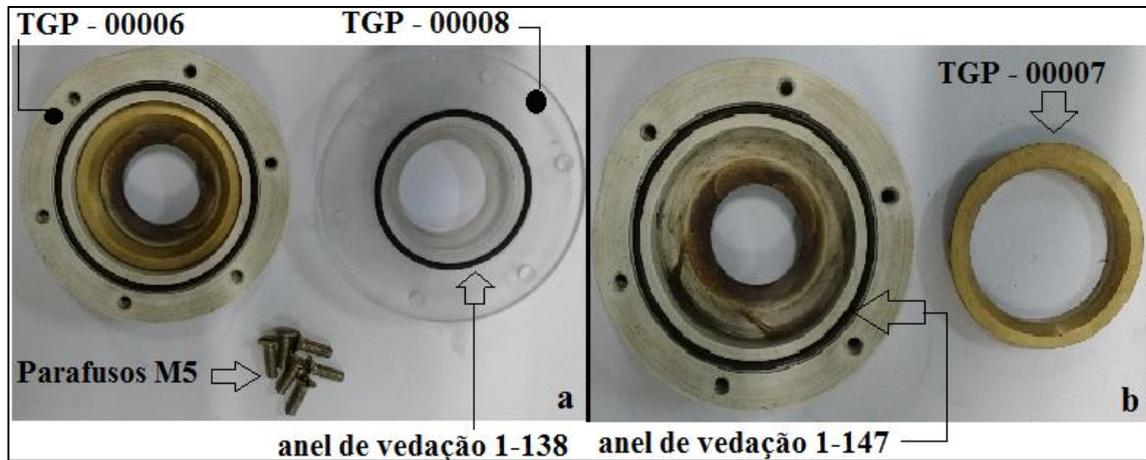
Figura 27 - 10º passo para desmontagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

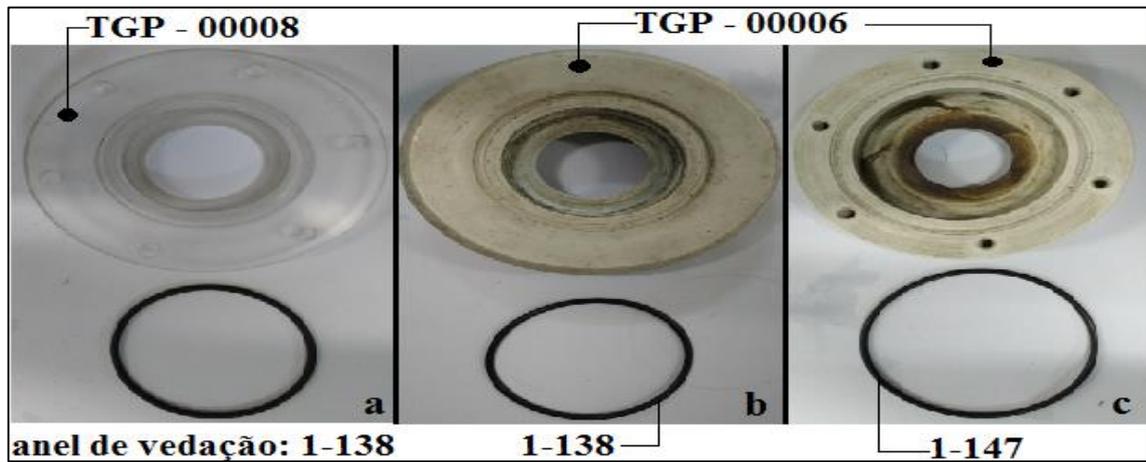
**11º passo** - pega-se o conjunto mostrado na figura 27(a), e retire o componente TGP – 00008 que está fixado ao mesmo através de seis parafusos fenda M5 x 14 conforme a figura 28(a), retira-se então o componente TGP – 00007 de dentro do componente TGP – 00006 conforme a figura 28(b), logo em seguida retira-se o anel de vedação 1-138 do componente TGP – 00008 conforme a figura 29(a), e os anéis de vedação 1-138, e 1-147 que ficam alojados no componente TGP – 00006 conforme a figura 29(b, c).

Figura 28 - 11º passo para desmontagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

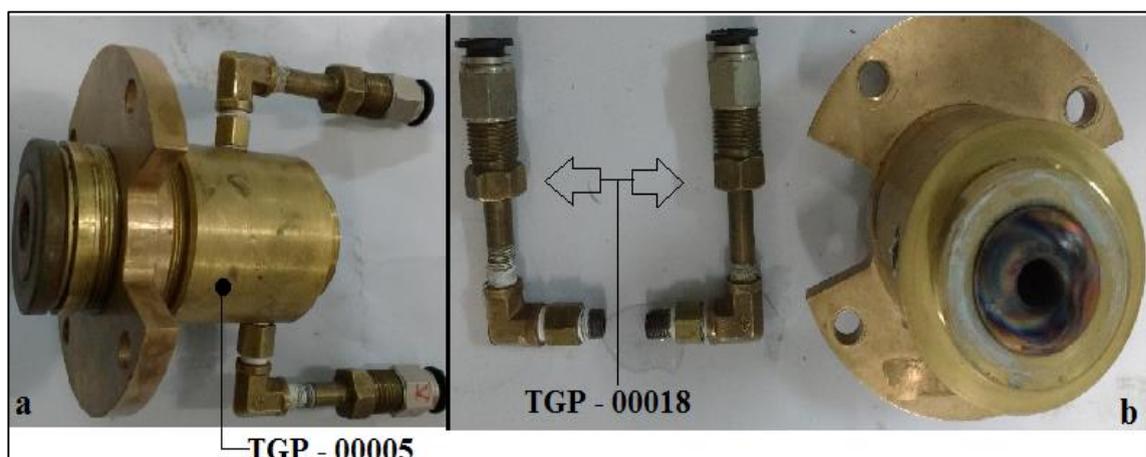
Figura 29 - Continuação do 11º passo para desmontagem da tocha de plasma



Fonte: (O AUTOR, 2015)

12º passo - representado pela figura 30(a, b), deve-se desrosquear os dois componentes TGP – 00018, que ficam na lateral do componente TGP – 00005.

Figura 30 - 12º passo para desmontagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015).

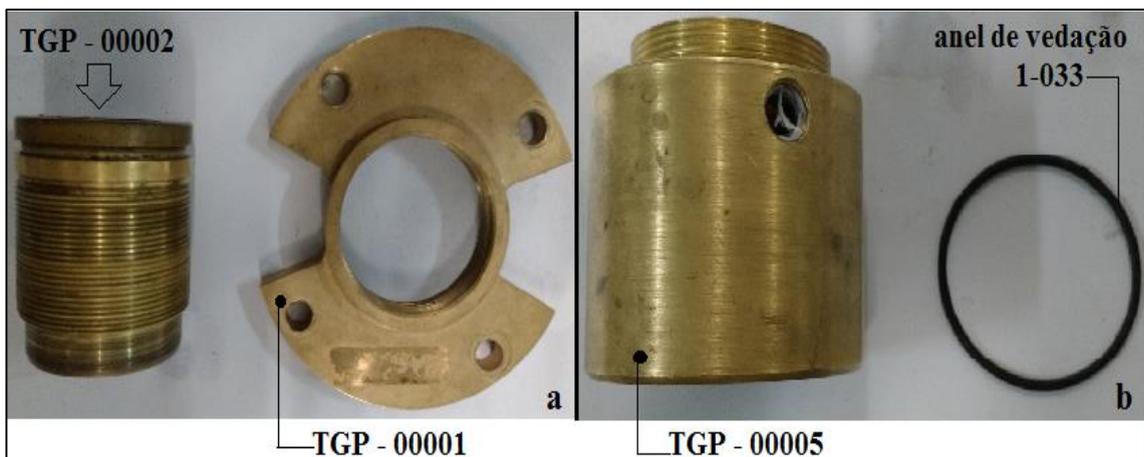
**13º passo** – deve-se desrosquear o componente TGP – 00005 do componente TGP – 00002 conforme a figura 31(a), logo em seguida retire o conjunto formado pelos componentes (TGP – 00003; TGP – 00004), que ficam dentro do componente TGP – 00002 conforme a figura 31(b), em seguida deve-se desrosquear o componente TGP – 00001 do componente TGP – 00002 conforme a figura 32(a), e retirar o anel de vedação 1-033 que fica alojado na cavidade do componente TGP – 00005 conforme a figura 32(b).

**Figura 31 - 13º passo** para desmontagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

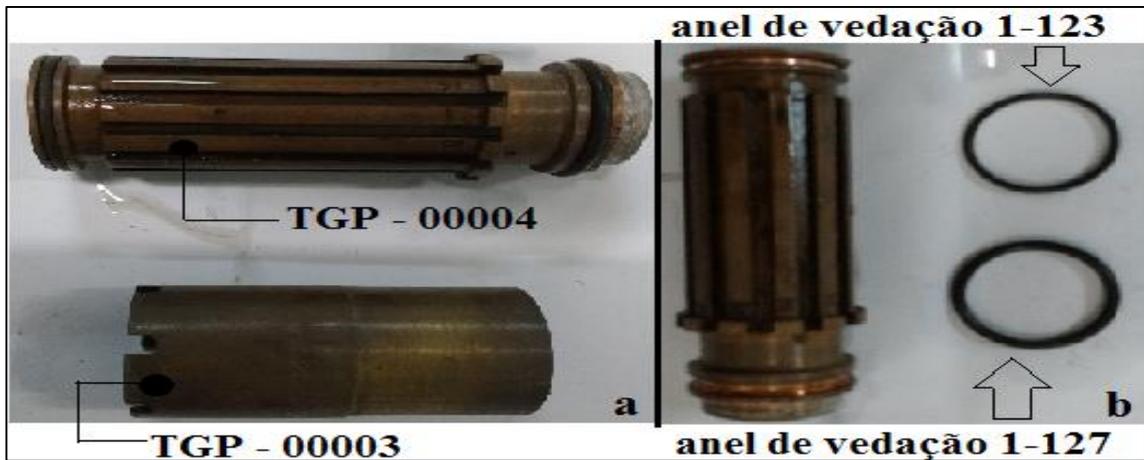
**Figura 32 - Continuação do 13º passo** para desmontagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**14º passo** – deve-se pegar o conjunto mostrado na figura 31(b), e então retirar o componente TGP – 00003 do componente TGP – 00004 conforma a figura 33(a), e em seguida retirar os anéis de vedação 1-127; e 1-123, do componente TGP – 00004 conforme a figura 33(b).

**Figura 33 - 14º passo para desmontagem da tocha de plasma.**



Fonte: (O AUTOR, 2015).

Após a realização do **14º passo** encerrasse a desmontagem da tocha de plasma ficando conforma a figura 34, e então inicia-se a desmontagem do conjunto de refrigeração da tocha.

**Figura 34 - Desmontagem completa da tocha de plasma.**



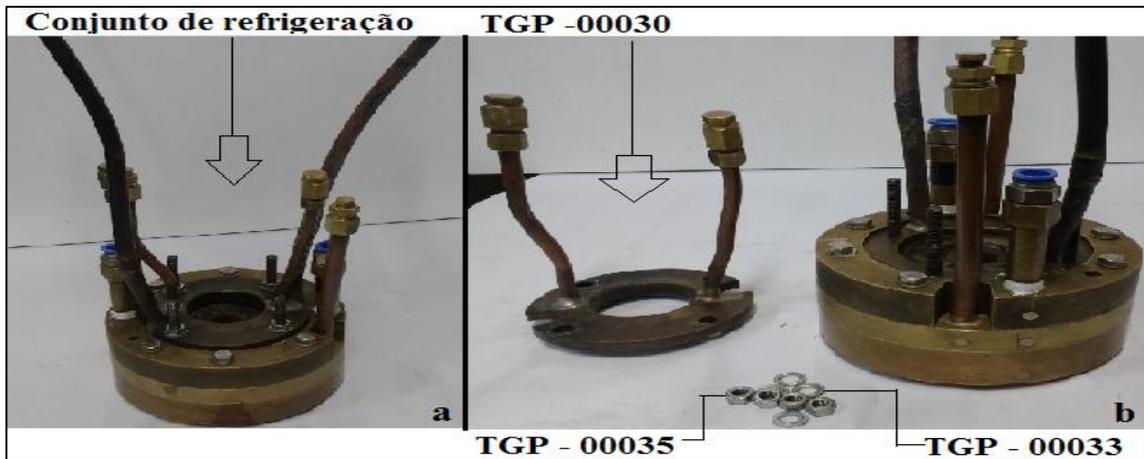
Fonte: (O AUTOR, 2015)

### 3.4.2. ETAPAS DE DESMONTAGEM DO BOCAL SUPERSÔNICO

**1º passo** - para desmontagem do conjunto do bocal supersônico da tocha, retire o componente TGP - 00030, que está fixado ao conjunto por meio dos componentes TGP –

00033 e TGP – 00035, conforme figura 35(a, b).

**Figura 35 - 1º passo para desmontagem do bocal supersônico.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**2º passo** – deve-se retirar o anel de vedação 1-042 que está no alojamento do componente TGP – 00030, conforme figura 36(a, b).

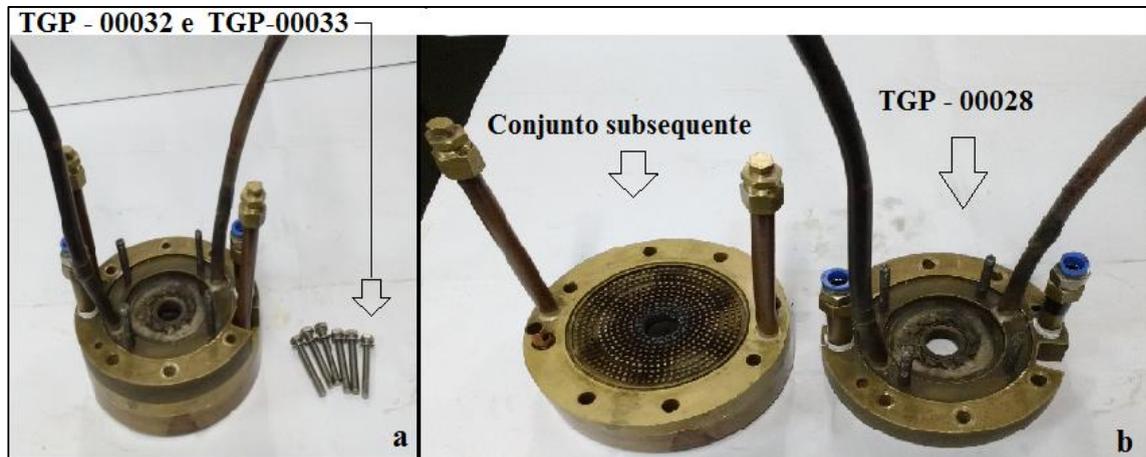
**Figura 36 - 2º passo para desmontagem do bocal supersônico.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**3º passo** – deve-se retirar os seis componentes TGP - 00032 e os seis componentes TGP – 00033 que prendem o restante do conjunto do bocal supersônico conforme figura 37(a), em seguida deve-se retirar o componente TGP - 00028 do conjunto subsequente, conforme figura 37(b).

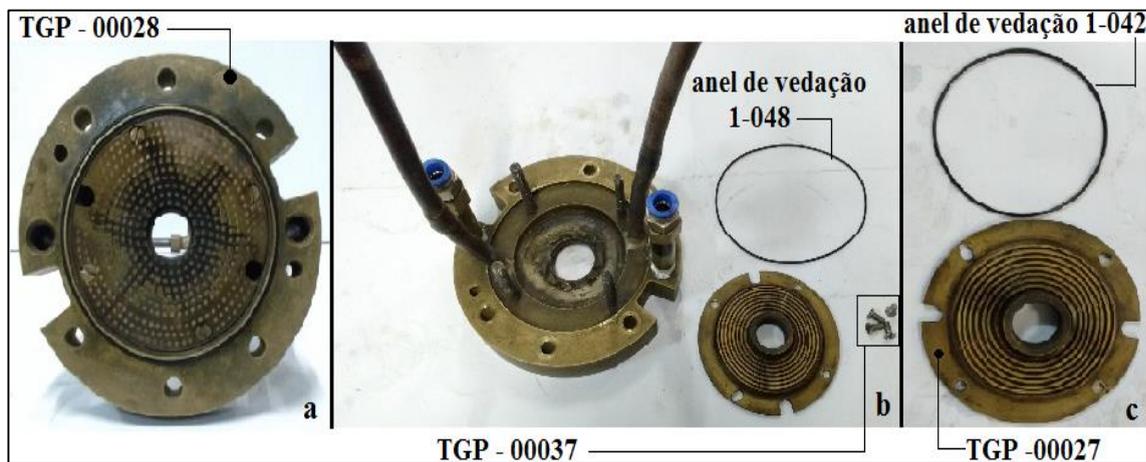
**Figura 37 - 3º passo para desmontagem do bocal supersônico.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

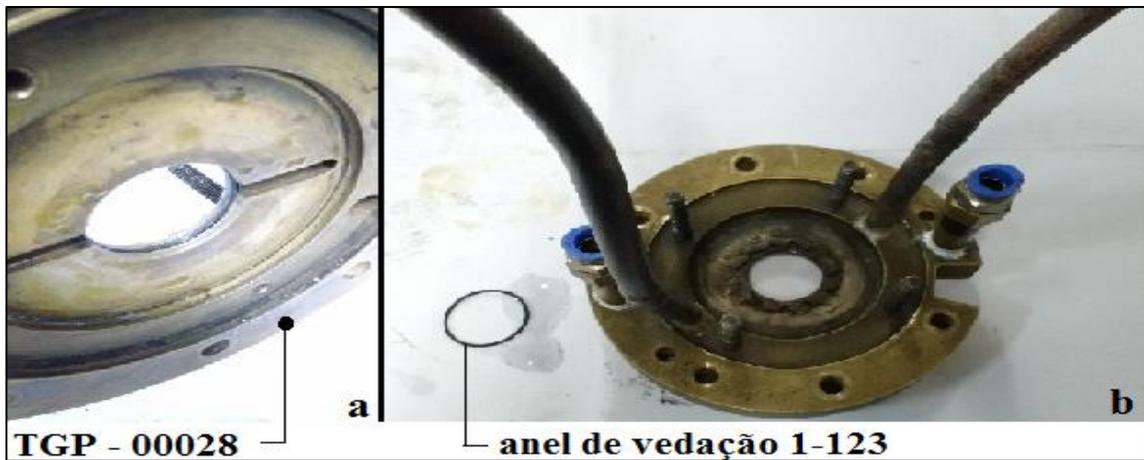
**4º passo** – deve-se retirar o anel de vedação 1-048 do componente TGP - 00028, em seguida deve-se soltar o componente TGP - 00027 que está fixado no mesmo através dos componentes TGP - 00037 conforme figura 38(a, b), depois disto deve-se retirar o anel de vedação 1-042 do componente TGP – 00027 conforme figura 38(c), em seguida deve-se retirar o anel de vedação 1-123 do componente TGP – 00028 conforme figura 39(a, b).

**Figura 38 - 4º passo para desmontagem do bocal supersônico**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

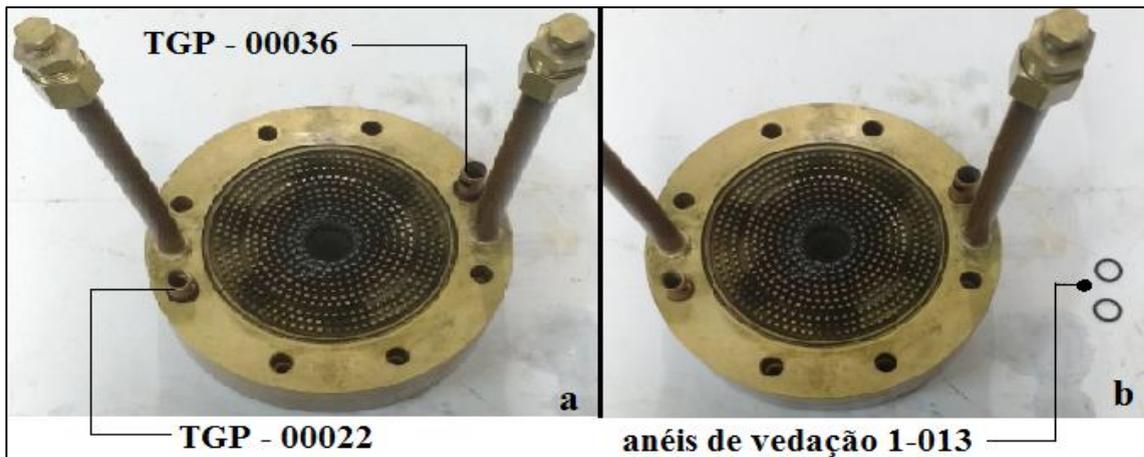
**Figura 39** - Continuação do 4º passo para desmontagem do bocal supersônico.



Fonte: (O AUTOR, 2015).

**5º passo** – deve-se pegar o conjunto subsequente mostrado na figura 37(b), e então deve-se retirar os anéis de vedação 1-013 dos componentes TGP – 00022 e TGP - 00036 conforme figura 40(a, b).

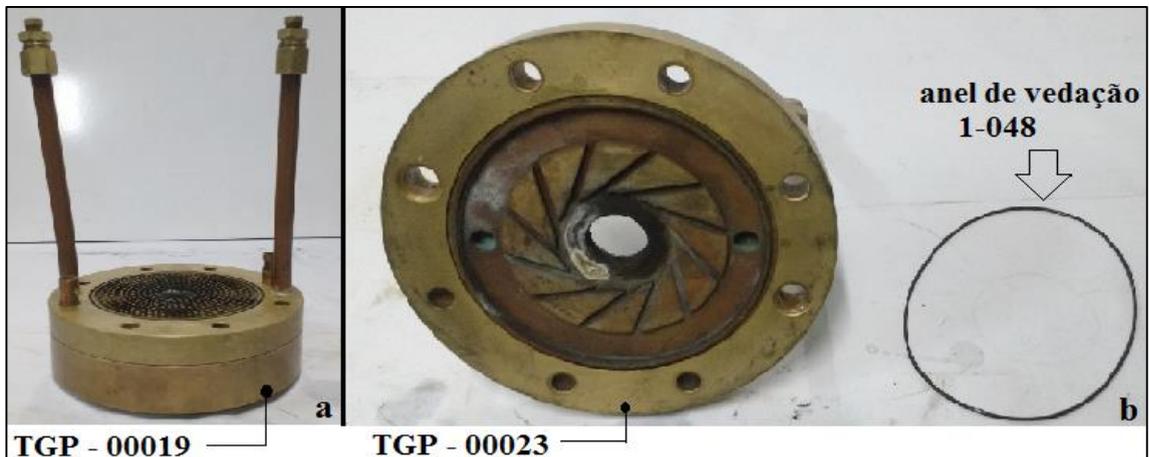
**Figura 40** - 5º passo para desmontagem do bocal supersônico.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**6º passo** – deve-se retirar o componente TGP – 00023 do componente TGP – 00019 conforme figura 41(a), em seguida deve-se retirar o anel de vedação 1-048 que fica alojado no mesmo conforme figura 41(b).

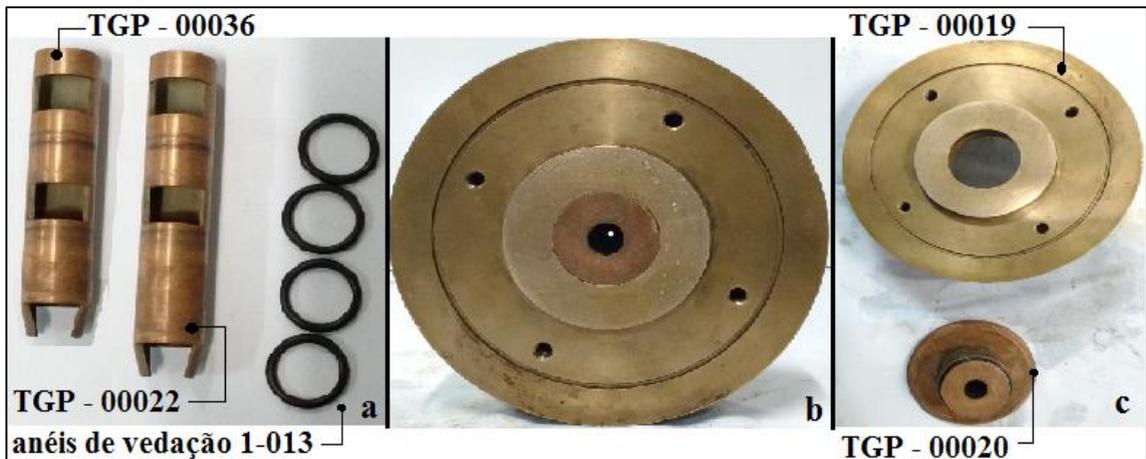
**Figura 41 - 6º passo para desmontagem do bocal supersônico.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**7º passo** – deve-se retirar os componentes TGP – 00022 e TGP – 00036 e os anéis de vedação 1-013 conforme figura 42(a), em seguida deve-se retirar o componente TGP – 00020 que fica alojado no componente TGP – 00019 conforme figura 42(b, c).

**Figura 42 - 7º passo para desmontagem do bocal supersônico.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**8º passo** – deve-se pegar o conjunto restante conforme figura 43(a) e retirar o anel de vedação 1-030 do componente TGP – 00020, em seguida deve-se retirar o anel de vedação 1-030 dos componentes TGP – 00021, soltando assim todos os componentes restantes conforme figura 43(b).

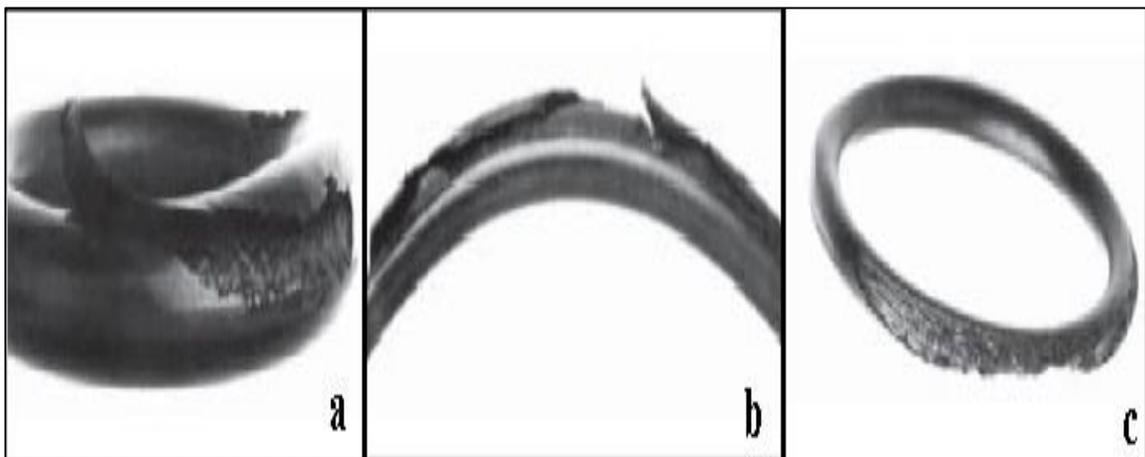


O plano de manutenção da tocha de plasma serve para identificar os pontos críticos existentes na tocha de plasma e alguns pontos referentes a estruturas físicas importantes para o seu funcionamento.

### 3.5.1. MANUTENÇÃO DOS ANÉIS DE VEDAÇÃO TIPO O'RINGS

Ao longo da montagem da tocha de plasma são utilizados 22 anéis de vedação tipo o'rings, que devem ter uma atenção especial, pois se alguns deles estiver com algum tipo de avaria ou dano, poderão acarretar no mal funcionamento da tocha de plasma. A figura 45(a, b, c) demonstra alguns tipos de defeitos que podem ocorrer com os anéis de vedação como: anel descascado conforme figura 45(a), anel extrudado conforme figura 45(b), e anel com mordeduras conforme figura 45(c).

**Figura 45** - Alguns defeitos que podem ocorrer nos anéis.



**Fonte:** (ADAPTADO DE PARKER, 1997).

Como nem todos os defeitos em anéis são de fácil interpretação, recomenda-se que no momento em que a tocha de plasma for desmontada, todos os anéis venham ser trocados, e todos os novos componentes devem ser lubrificados com graxa apropriada como exemplo a graxa DOW CORNING® (high vacuum grease).

### 3.5.2. MANUTENÇÃO DAS CONEXÕES HIDRÁULICAS

Para funcionar a refrigeração na tocha de plasma, são utilizadas ao todo seis conexões hidráulicas PC12-G02-0, que estão conectadas a entrada e saída de fluido refrigerante (água), estas conexões são de engate rápido e devem trabalhar a pressões

máximas positivas de 10 bar e pressões máximas negativas de -0,9 bar, a temperatura de trabalho deve estar compreendida entre 0~ 60°C. Estas conexões devem ser sempre verificadas tendo em vista que a tocha de plasma atinge temperaturas superiores a 60°C.

### 3.5.3. MANUTENÇÃO DOS COMPONENTES DA TOCHA DE PLASMA

A tocha de plasma será apresentada em forma de conjuntos segmentados, sendo analisado cada conjunto quanto a relevância de componentes críticos nele incluso. Para isto será adotado um código de cores, onde cada cor representa um grau de relevância dos componentes no conjunto apresentado. A tabela 6 demonstra as cores empregadas neste processo e o significado de cada uma delas, sendo o **verde** não crítico, o **amarelo** intermediário e o **vermelho** representando um componente crítico.

**Tabela 6** - Representação do código de cores empregado.

Sinalização de importância, para uso da manutenção.			
	NÃO CRÍTICO	INTERMEDIÁRIO	CRÍTICO

**Fonte:** O autor (2015)

A figura 46 apresenta os componentes do primeiro conjunto da tocha de plasma, e a tabela 7 indica os graus de relevância para verificação de cada componente, para os anéis de vedação segue-se as instruções do subitem 3.4.1, e para as conexões segue-se as recomendações do subitem 3.4.2.

**Figura 46** - Componentes do 1º conjunto.



**Fonte:** (O AUTOR, 2015)

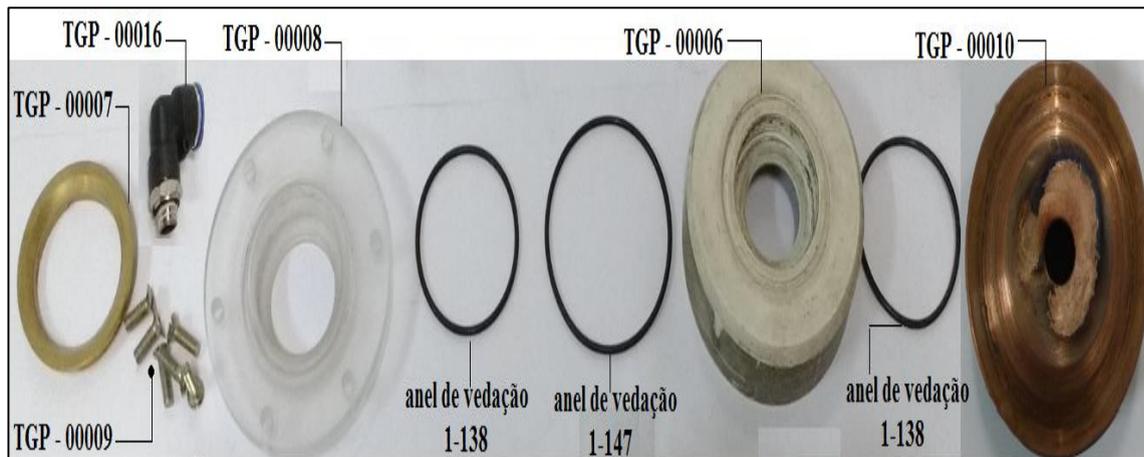
**Tabela 7 - Pontos críticos do 1º conjunto**

		
TGP – 00012	Anel de vedação 1-011	TGP – 00011
TGP – 00013	Anel de vedação 1-114	
TGP - 00014		

Fonte: (O AUTOR, 2015)

O componente TGP – 00011 é classificado como componente crítico pois o mesmo afeta diretamente a geração e a qualidade do plasma pela tocha de plasma.

A figura 47 apresenta os componentes do segundo conjunto da tocha de plasma, e a tabela 8 indica os graus de relevância para verificação de cada componente, para os anéis de vedação segue as instruções do subitem 3.4.1, e para as conexões segue as recomendações do subitem 3.4.2.

**Figura 47 - Componentes do 2º conjunto**

Fonte: (O AUTOR, 2015)

**Tabela 8 - Pontos críticos do 2º conjunto**

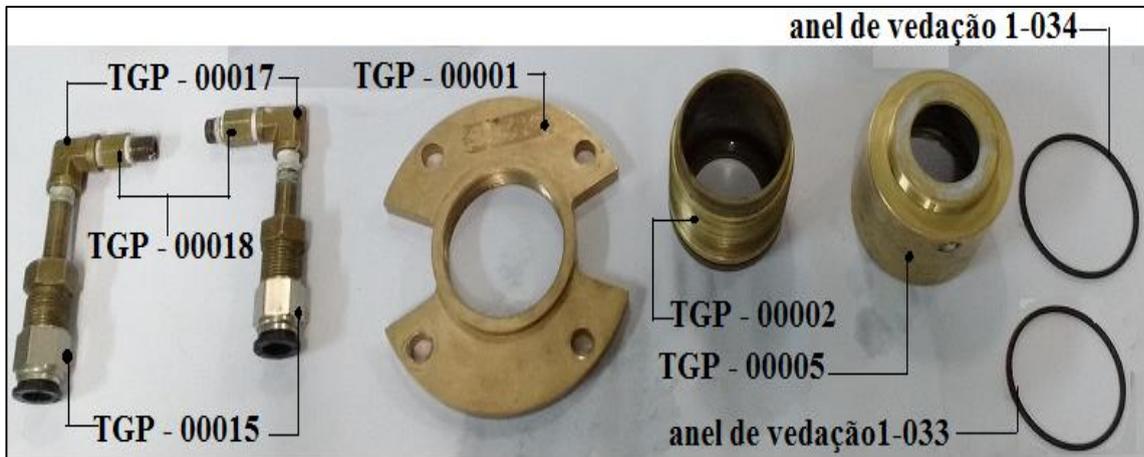
		
TGP – 00006	Anel de vedação 1-138 (x2)	Não aplicável
TGP – 00007	Anel de vedação 1-147	
TGP – 00009	TGP – 00008	
TGP – 00010	TGP – 00016	

Fonte: (O AUTOR, 2015)

A figura 48 apresenta os componentes do terceiro conjunto da tocha de plasma, e a tabela 9 indica os graus de relevância para verificação de cada componente, para os anéis de vedação segue as instruções do subitem 3.4.1, e para as conexões segue as

recomendações do subitem 3.4.2.

**Figura 48** - Componentes do 3º conjunto.



**Fonte:** (O AUTOR, 2015).

**Tabela 9** - Pontos críticos do 3º Conjunto

		
TGP – 00001	Anel de vedação 1-033	Não aplicável
TGP – 00002	Anel de vedação 1-034	
TGP – 00005	TGP – 00015	
TGP – 00017		
TGP - 00018		

**Fonte:** (O AUTOR, 2015)

A figura 49 apresenta o quarto conjunto da tocha de plasma, e a tabela 10 indica os graus de relevância para verificação de cada componente, para os anéis de vedação segue as instruções do subitem 3.4.1, e para as conexões segue as recomendações do subitem 3.4.2.

**Figura 49 - Componentes do 4º conjunto.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**Tabela 10 - Pontos críticos do 4º conjunto**

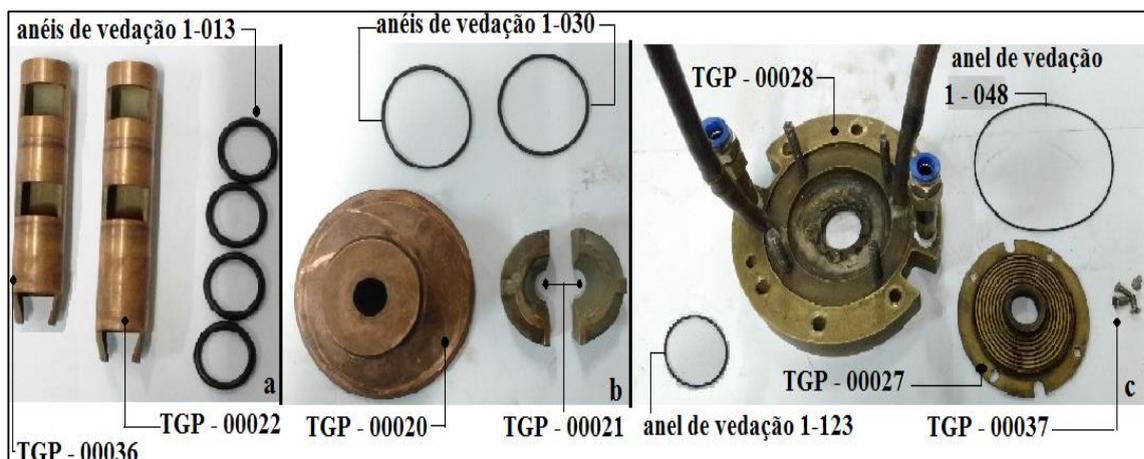
		
TGP – 00003	Anel de vedação 1-127 Anel de vedação 1-123	TGP – 00004

Fonte: (O AUTOR, 2015)

O componente TGP – 00004 é classificado como componente crítico pois o mesmo afeta diretamente a geração e a qualidade do plasma pela tocha de plasma.

A figura 50(a, b, c) apresenta o quinto conjunto da tocha de plasma, e a tabela 11 indica os graus de relevância para verificação de cada componente, para os anéis de vedação segue as instruções do subitem 3.4.1, e para as conexões segue as recomendações do subitem 3.4.2.

**Figura 50 - Componentes do 5º conjunto**



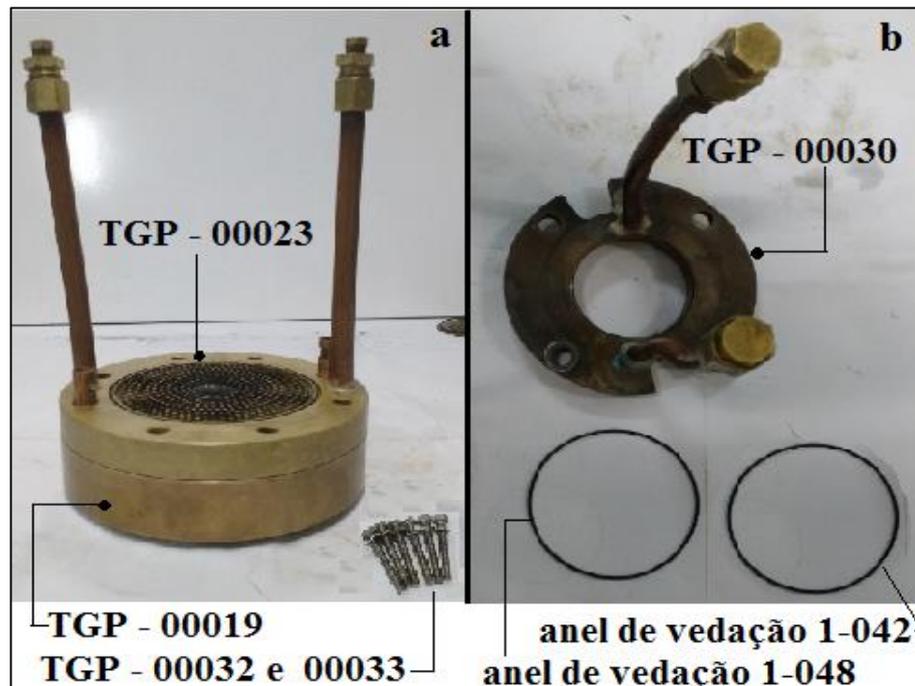
Fonte: (O AUTOR, 2015)

**Tabela 11 -** Pontos críticos do 5º conjunto

		
TGP – 00020	Anel de vedação 1-013 (x4)	Não aplicável
TGP – 00021	Anel de vedação 1-030 (x2)	
TGP – 00022	Anel de vedação 1-123	
TGP – 00027	Anel de vedação 1-148	
TGP – 00028		
TGP – 00036		
TGP – 00037		

Fonte: (O AUTOR, 2015)

A figura 51(a, b) apresenta o sexto conjunto da tocha de plasma, e a tabela 12 indica os graus de relevância para verificação de cada componente, para os anéis de vedação segue as instruções do subitem 3.4.1, e para as conexões segue as recomendações do subitem 3.4.2.

**Figura 51 -** Componentes do 6º conjunto.

Fonte: (O AUTOR, 2015)

**Tabela 12 -** Pontos críticos do 6º conjunto

		
TGP – 00019	Anel de vedação 1-042	Não aplicável
TGP – 00023	Anel de vedação 1-048	
TGP – 00030	Anel de vedação 1-050	
TGP – 00032	(anel de vedação que faceia a tocha e o túnel de plasma)	
TGP – 00033		

Fonte: (O AUTOR, 2015)

### 3.5.4. CONTROLE DA MANUTENÇÃO

Para a realização do controle da manutenção, elaborou-se uma ficha de uso de manutenção onde consta nome do operador que efetuou a manutenção; qual o defeito que a tocha de plasma apresentava; quais os componentes trocados ou quais medidas foram tomadas caso não tenha sido realizado a troca de nenhum componente; o dia em que ocorreu a manutenção. Este arquivo é apresentado no apêndice II, e será mantido no Laboratório de Plasma e Processos - LPP.

### 3.6. PLANO DE MONTAGEM DA TOCHA DE PLASMA

Será desenvolvido o plano de montagem da tocha de plasma, no intuito de auxiliar o operador de manutenção no que tange a manutenção da tocha de plasma, a proceder de forma correta no momento da montagem da mesma, evitando assim possíveis complicações no momento da montagem, como por exemplo: perda de componentes; quebra de componentes; dentre outros.

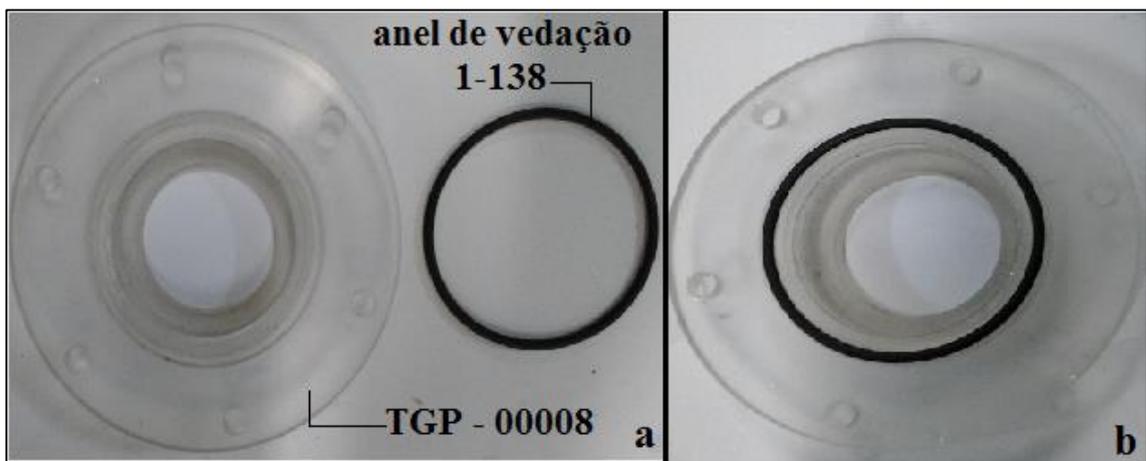
Para a realização da montagem da tocha de plasma, sugere-se que a mesma seja efetuada em uma mesa ou bancada de forma a facilitar este procedimento, nesta etapa deve-se se ter próximo a bancada todas as ferramentas necessárias para a montagem da tocha de plasma, como também todos os componentes da mesma. Caso a montagem esteja sendo realizada por dois operadores, a tocha geradora de plasma e o conjunto do bocal supersônico da tocha podem ser montados de forma paralela, no caso de se ter apenas um operador, monta-se primeiramente um conjunto e posteriormente o outro. Neste plano de montagem será apresentado primeiro a montagem da tocha geradora de plasma e logo em

seguida a montagem do conjunto do bocal supersônico da tocha. A montagem da tocha de plasma é apresentada a seguir.

### 3.6.1. ETAPAS PARA MONTAGEM DA TOCHA DE PLASMA

**1º passo** - para montagem da tocha de plasma, deve-se colocar o anel de vedação 1-138 no componente TGP – 00008, conforme figura 52(a, b).

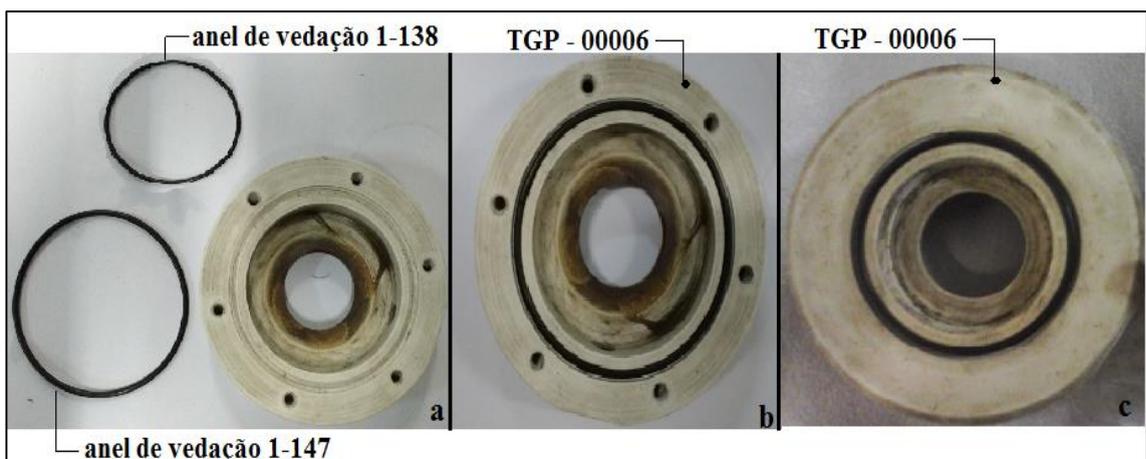
Figura 52 - 1º passo para montagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**2º passo** – deve-se pegar o anel de vedação 1-147 e 1-138 e o componente TGP – 00006 conforme figura 53(a), em seguida devesse colocar o anel de vedação 1-147 na cavidade do componente TGP – 00006 conforme figura 53(b), em seguida deve-se colocar o anel de vedação 1-138 na face oposta a anterior conforme figura 53(c).

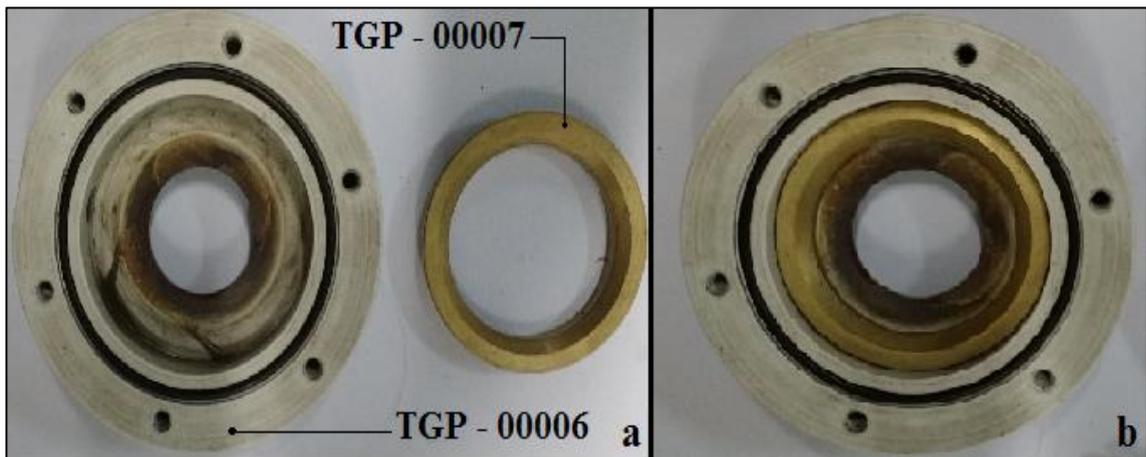
Figura 53 - 2º Passo para montagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**3º passo** – deve-se pegar o componente TGP – 00007 e colocar dentro do componente TGP – 00006, na face onde existem as furações com rosca conforme figura 54(a, b).

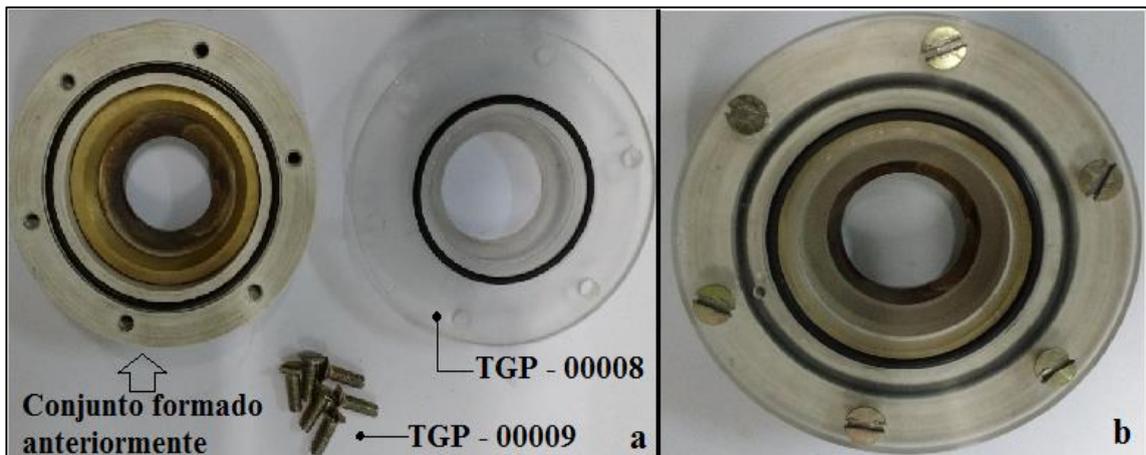
**Figura 54 - 3º Passo para montagem da tocha de plasma.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**4º passo** – deve-se pegar o conjunto formado no passo anterior conforme figura 54(b), e unir a ele o componente TGP – 00008 através do componente TGP – 00009 conforme figura 55(a, b).

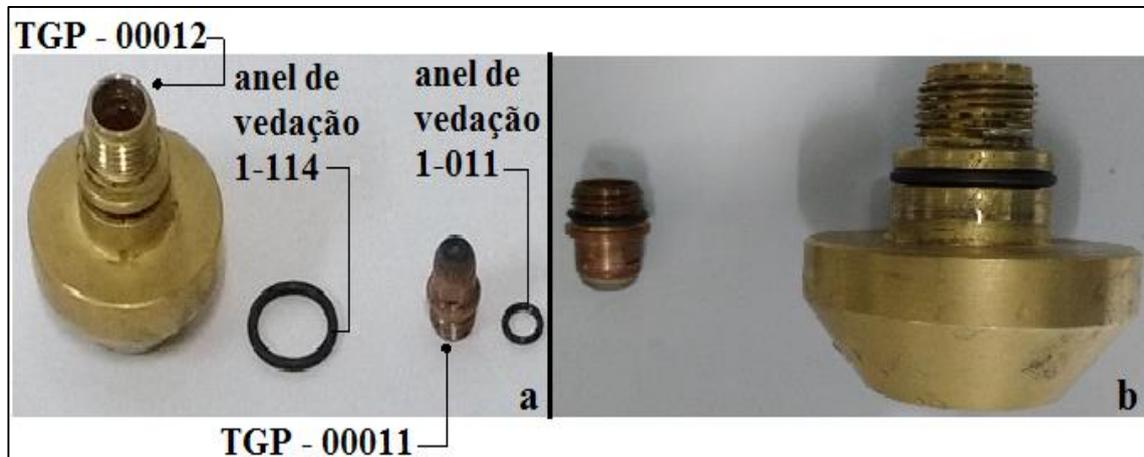
**Figura 55 - 4º passo para montagem da tocha de plasma.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**5º passo** – deve-se pegar os componentes TGP – 00011 e TGP – 00012 e os anéis de vedação 1-011 e 1-114 conforme figura 56(a), em seguida deve-se colocar o anel de vedação 1-011 no alojamento do componente TGP – 00011 e o anel de vedação 1-114 no alojamento do componente TGP – 00012 conforme figura 56(b).

Figura 56 - 5º passo para montagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**6º passo** – deve-se pegar o componente TGP – 00011 e o componente TGP – 00012 conforme figura 56(b), em seguida deve-se rosquear o componente TGP – 00011 no componente TGP – 00012 conforme figura 57.

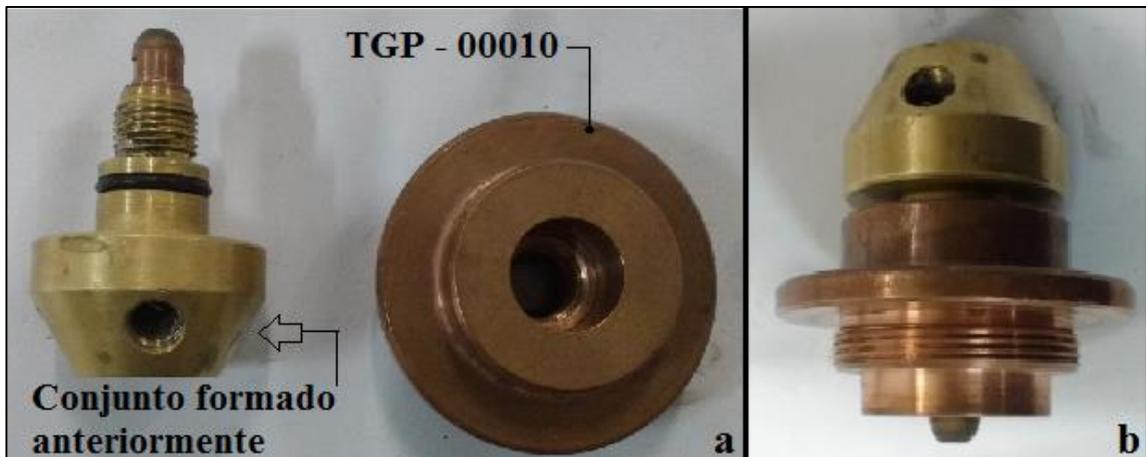
Figura 57 - 6º passo para montagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**7º passo** – deve-se pegar o conjunto formado no passo anterior conforme figura 58(a) e rosquear o componente TGP – 00010 conforme figura 58(b).

Figura 58 - 7º passo para montagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**8º passo** - pega-se o conjunto formado no passo anterior conforme figura 59(a) e rosqueio no componente TGP – 00008 conforme figura 59(b).

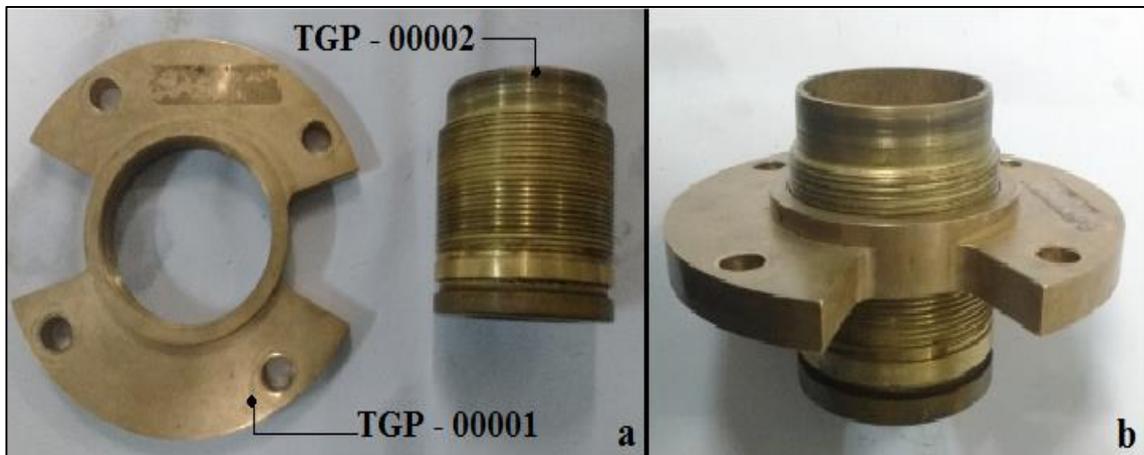
Figura 59 - 8º passo para montagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**9º passo** – deve-se pegar os componentes TGP – 00001 e TGP – 00002 conforme figura 60(a), em seguida deve-se rosquear o componente TGP – 00001 juntamente ao componente TGP – 00002 conforme figura 60(b).

**Figura 60 - 9º passo para montagem da tocha de plasma.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**10º passo** – deve-se pegar os componentes TGP – 00003 e TGP – 00004 juntamente com os anéis de vedação 1-127 e 1-123 conforme figura 61(a), em seguida deve-se colocar o anel de vedação 1-127 na cavidade superior do componente TGP – 00004, e o anel de vedação 1-123 na cavidade inferior do mesmo, em seguida deve-se colocar o componente TGP – 00004 dentro do componente TGP – 00003 conforme figura 61(b).

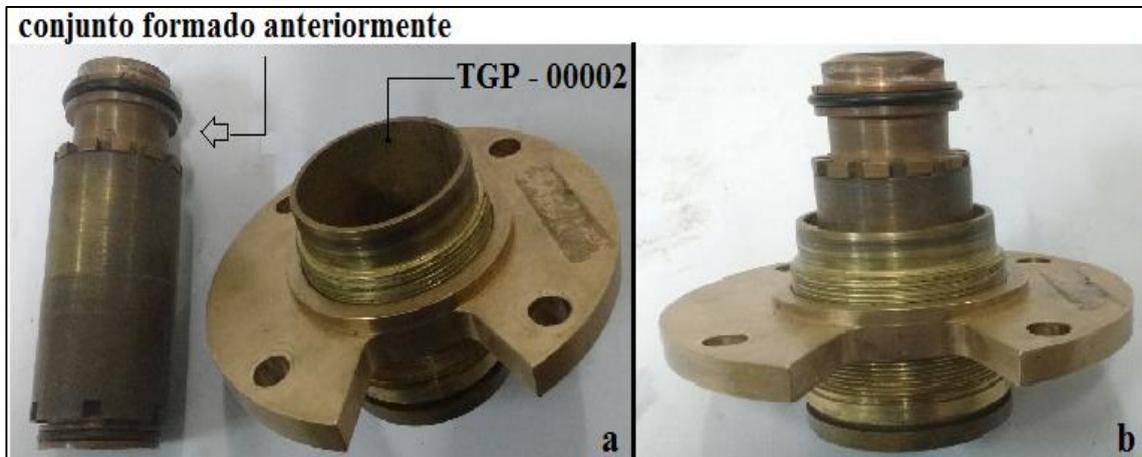
**Figura 61 - 10º passo para montagem da tocha de plasma.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**11º passo** - pega-se o conjunto formado no passo anterior conforme figura 62(a) e coloca-o dentro do componente TGP – 00002 conforme figura 62(b).

**Figura 62 - 11º passo para montagem da tocha de plasma.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**12º passo** – deve-se colocar o anel de vedação 1-033, na cavidade do componente TGP – 00005 conforme figura 63(a), em seguida devesse rosquear o mesmo no conjunto formado anteriormente conforme figura 63(b, c).

**Figura 63 - 12º passo para montagem da tocha de plasma.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**13º passo** – deve-se pegar o conjunto formado no passo anterior conforme figura 63(c), e os dois componentes TGP – 00018 conforme figura 64(a), em seguida deve-se rosquear os mesmos nas laterais do componente TGP – 00005 conforme figura 64(b).

**Figura 64 - 13º passo para montagem da tocha de plasma.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**14º passo** – deve-se pegar os componentes TGP – 00014 e TGP – 00013 conforme figura 65(a), e rosquear no componente TGP – 00012 conforme figura 65(b).

**Figura 65 - 14º passo para montagem da tocha de plasma.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**15º passo** – deve-se pegar o conjunto formado pelo passo anterior conforme figura 65(b), e rosquear no componente TGP – 00005, e em seguida deve-se rosquear o componente TGP – 00016 no componente TGP – 00006 conforme figura 66.

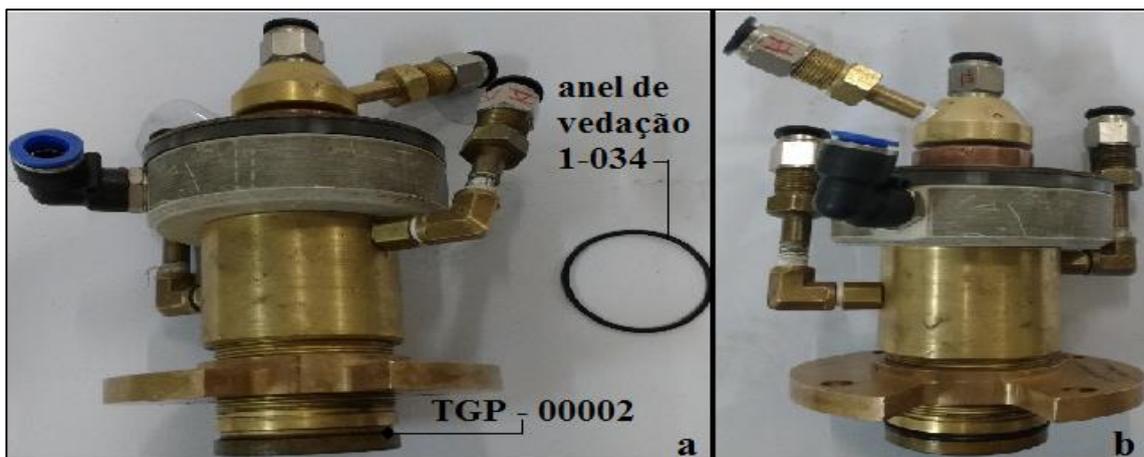
Figura 66 - 15º passo para montagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**16º passo** – deve-se pegar o anel de vedação 1-034 conforme figura 67(a) e colocar na cavidade do componente TGP – 00002, finalizando desta forma a montagem da tocha de plasma conforme figura 67(b).

Figura 67 - 16º passo para montagem da tocha de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Com a realização do **16º passo** finaliza-se então a montagem da tocha geradora de plasma faltam assim a montagem do bocal supersônico da tocha, e posteriormente a união destes dois conjuntos, completando assim a montagem final.

### 3.6.2. ETAPAS DE MONTAGEM DO BOCAL SUPERSÔNICO.

**1º passo** – deve-se pegar os componentes TGP – 00020 e TGP – 00021 juntamente com os dois anéis de vedação 1-030 conforme figura 68(a), em seguida deve-se utilizar os componentes TGP – 00021 para envolver o componente TGP – 00020, fixando-os com o anel de vedação 1-030, em seguida deve-se colocar o anel de vedação 1-030 na parte superior do componente TGP – 00020 conforme figura 68(b).

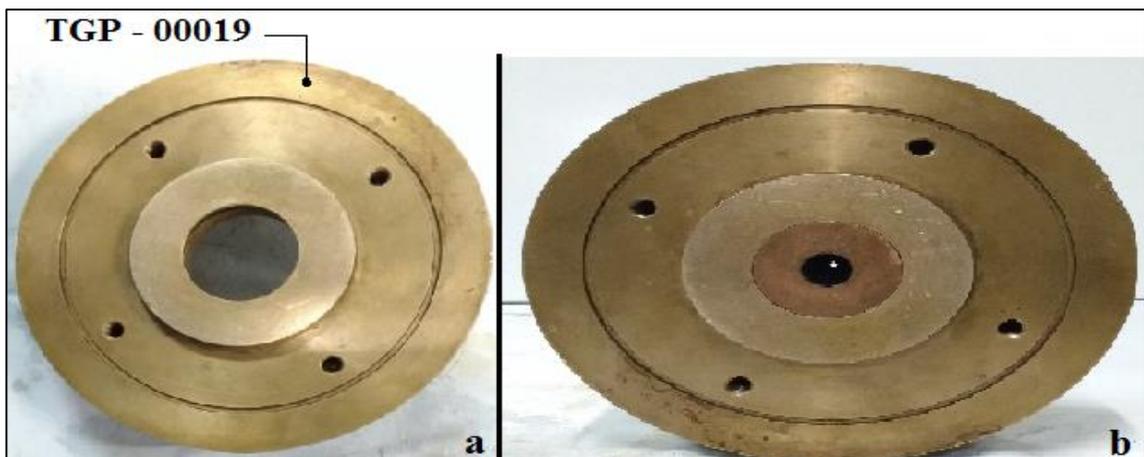
Figura 68 - 1º passo para montagem do bocal supersônico.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**2º passo** – deve-se pega o conjunto formado pelo passo anterior conforme figura 68(b) e o componente TGP – 00019 conforme figura 69(a), em seguida deve-se colocar o conjunto formado no passo anterior dentro do componente TGP – 00019 conforme figura 69(b).

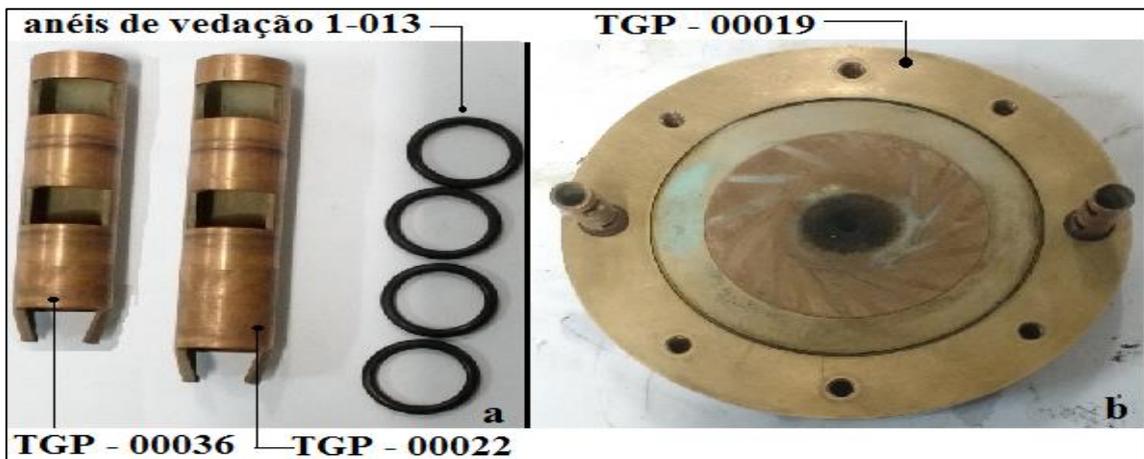
Figura 69 - 2º passo para montagem do bocal supersônico.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**3º passo** – deve-se pegar o conjunto formado no passo anterior conforme figura 69(b), juntamente com os componentes TGP – 00022 e TGP – 00036 e os dois anéis de vedação 1-013 conforme figura 70(a), em seguida deve-se colocar os componentes TGP – 00022 e TGP – 00036 no componente TGP – 00019 cada um com um anel de vedação 1-013 respectivamente, colocando-os nos furos compatíveis com seus diâmetros conforme figura 70(b).

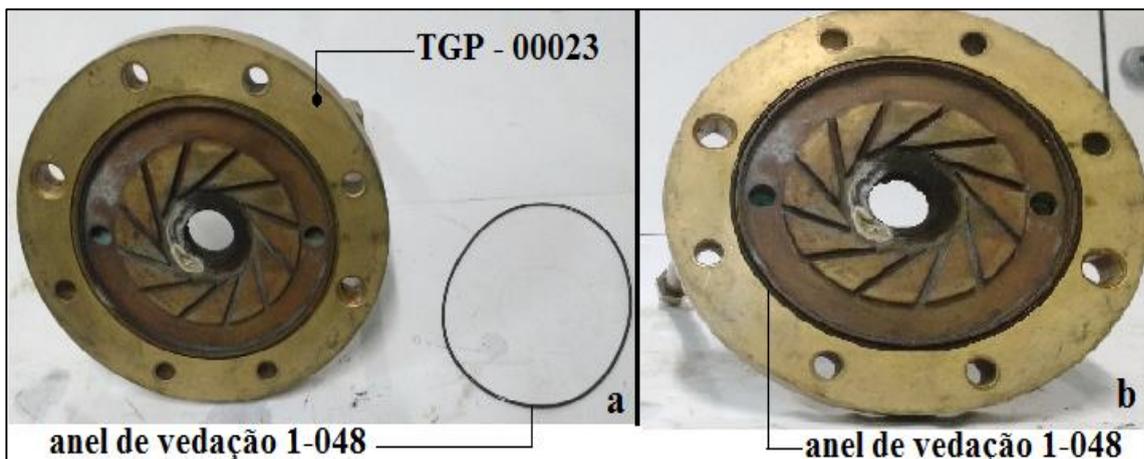
Figura 70 - 3º passo para montagem do bocal supersônico.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**4º passo** – deve-se colocar o anel de vedação 1-048 na cavidade do componente TGP – 00023 conforme figura 71(a, b).

Figura 71 - 4º passo para montagem do bocal supersônico.

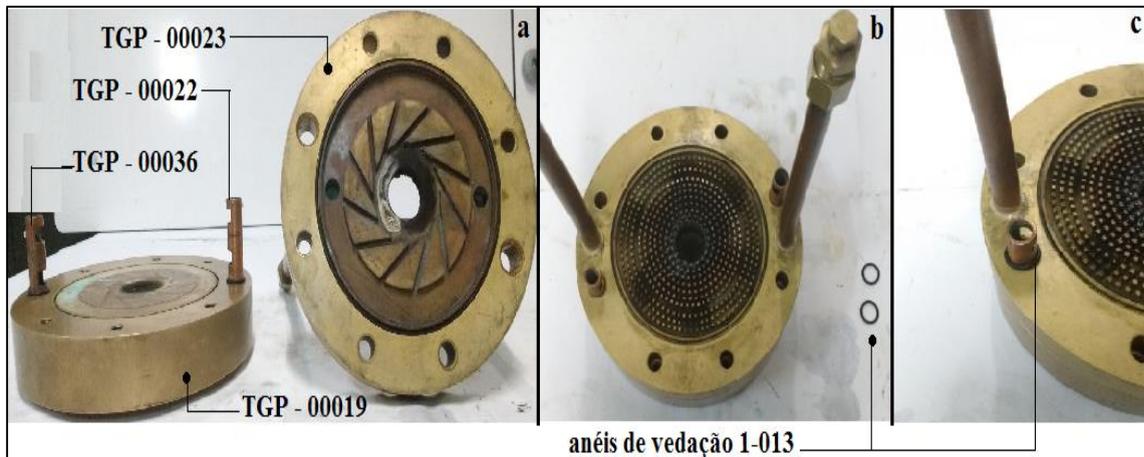


Fonte: (O AUTOR, 2015)

**5º passo** – deve-se pegar o componente TGP – 00023 e unir ao componente TGP – 00019 através dos componentes TGP – 00022 e TGP – 00036 conforme figura 72(a, b), em seguida deve-se colocar os anéis de vedação 1-013 nos componentes TGP – 00022 e

TGP – 00036 conforme figura 72(c).

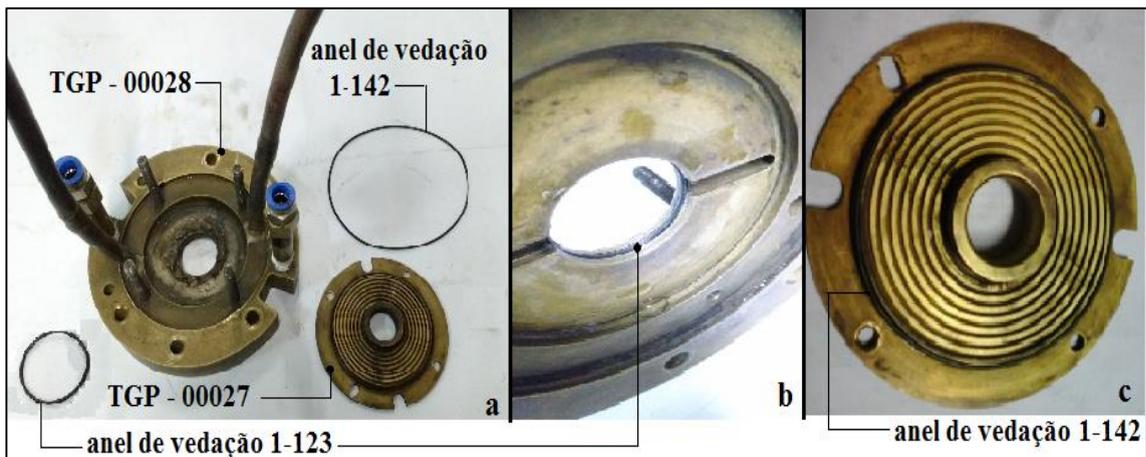
**Figura 72 - 5º passo para montagem do bocal supersônico.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**6º passo** – deve-se pegar os componentes TGP – 00028 e TGP – 00027 juntamente com os anéis de vedação 1-123 e 1-042 conforme figura 73(a), em seguida deve-se colocar o anel de vedação 1-023 na cavidade do componente TGP – 00028 conforme figura 73(b), em seguida deve-se colocar o anel de vedação 1-042 no componente TGP – 00027 conforme figura 73(c).

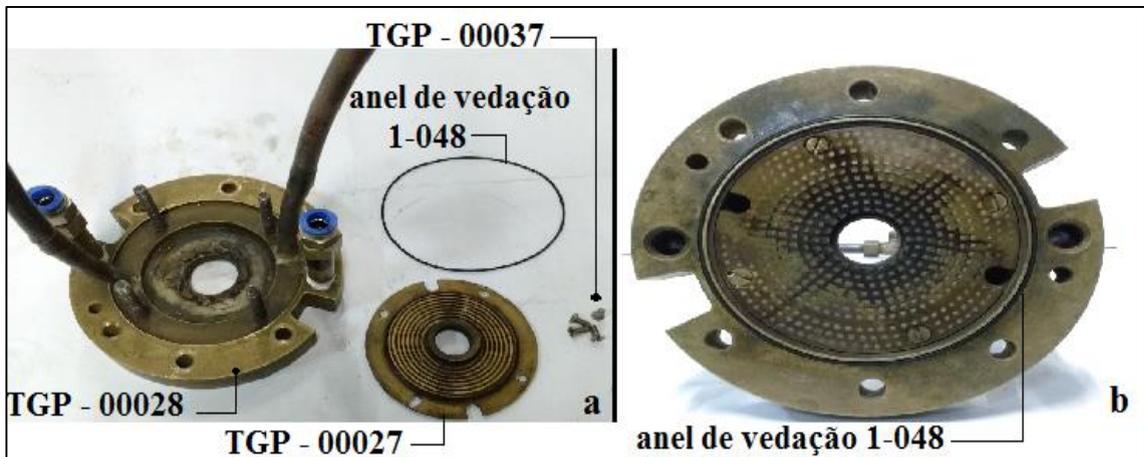
**Figura 73 - 6º passo para montagem do bocal supersônico.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**7º passo** – deve-se pegar os componentes TGP – 00027; TGP – 00028 e TGP – 00037 juntamente com o anel de vedação 1-048 conforme figura 74(a), em seguida deve-se fixar o componente TGP – 00027 ao componente TGP – 00028 através do componente TGP – 00037, e em seguida deve-se colocar o anel de vedação na cavidade do componente TGP – 00028 conforme figura 74(b).

Figura 74 - 7º passo para montagem do bocal supersônico.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**8º passo** – deve-se pegar os conjuntos formados nos passos anteriores conforme figuras 72(c) e 74(b), e uni-los um ao outro por intermédio dos componentes TGP – 00032 e TGP – 00033, conforme figura 75(a, b).

Figura 75 - 8º passo para montagem do bocal supersônico.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

**9º passo** – deve-se colocar o anel de vedação 1-042 na cavidade do componente TGP – 00030 conforme figura 76(a), em seguida deve-se pegar o componente TGP – 00030, e fixá-lo ao restante do conjunto, por meio dos componentes TGP – 00033 e TGP – 00035 conforme figura 76(b, c).

**Figura 76 - 9º passo para montagem do bocal supersônico.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Com a realização do **9º passo** finaliza-se a montagem do bocal supersônico da tocha, porém antes que a tocha seja acoplada, ambos os conjuntos devem passar por um teste de estanqueidade. Verificando assim a inexistência de vazamento de fluido refrigerante. No teste de estanqueidade, são conectadas as entradas e saídas de água no conjunto testado, mantendo a água circulando no mesmo a uma pressão de 10 Kgf/cm<sup>2</sup>, pressão máxima suportada pelas instalações hidráulicas do LPP.

Após ser realizado os testes de estanqueidade e ser verificado a ausência de qualquer vazamento, devesse unir a tocha de plasma ao seu conjunto de bocal supersônico por meio de quatro porcas M 8 conforme figura 77(a, b).

**Figura 77 - União da tocha ao seu conjunto de bocal supersônico.**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

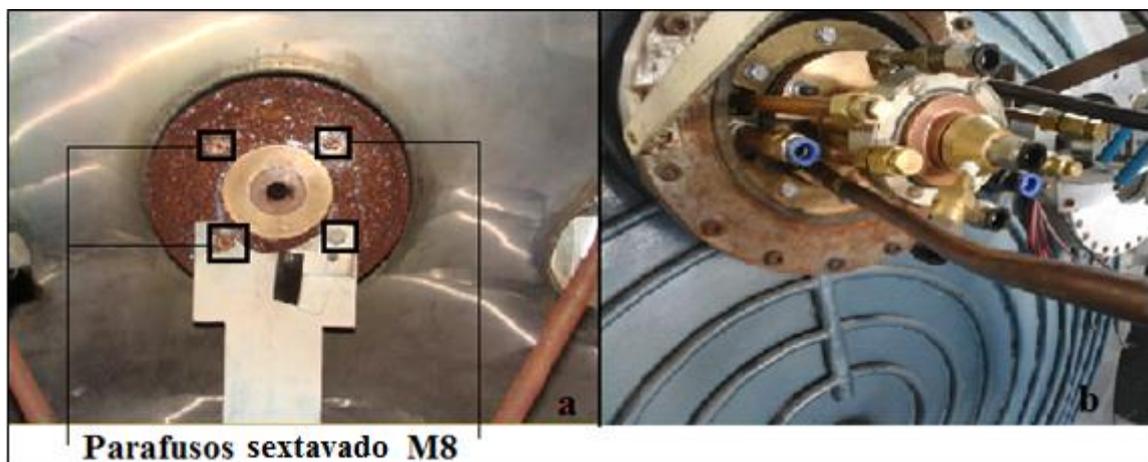
Após a montagem completa da tocha de plasma, a mesma está pronta para ser colocada no túnel de plasma, recomenda-se que esta operação seja realizada por dois

operadores, tendo em vista que a tocha fica exposta do lado de fora do túnel a sua fixação se dá através de quatro parafusos M8 na parte interna do túnel.

### 3.6.3. FIXAÇÃO DA TOCHA NO TÚNEL DE PLASMA

Para fixar a tocha de plasma no túnel de plasma deve primeiramente colocar o anel de vedação 1-050 na face da tocha que estará faceando o túnel de plasma, em seguida fixe a tocha na parte interna do túnel de plasma por quatro parafusos M8 conforme figura 78(a, b).

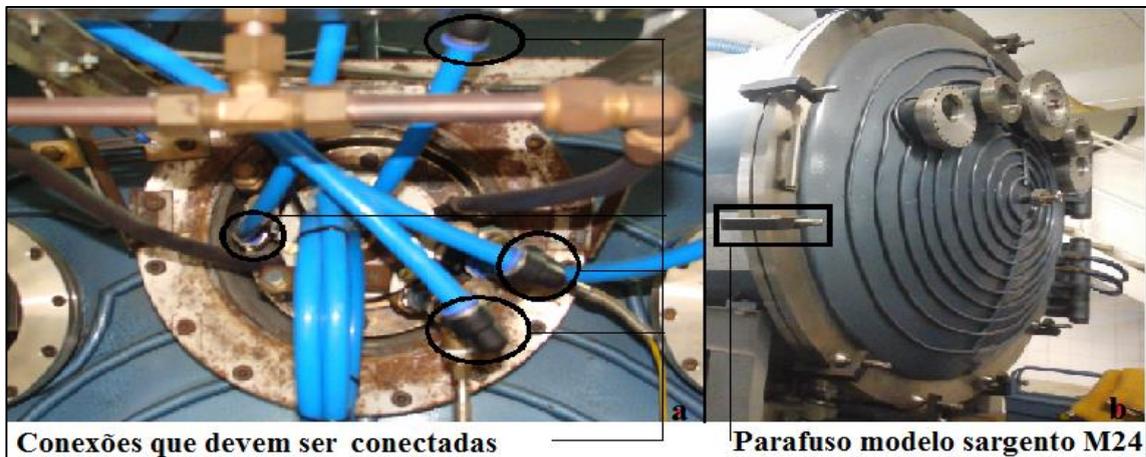
**Figura 78** - Fixação da tocha de plasma no túnel de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Após a fixação da tocha de plasma, deve-se conectar as mangueiras de refrigeração na tocha de plasma conforme figura 79(a), logo em seguida deve-se fechar a porta do túnel de plasma que é fixada por parafusos modelo sargento M24 conforme figura 79(b).

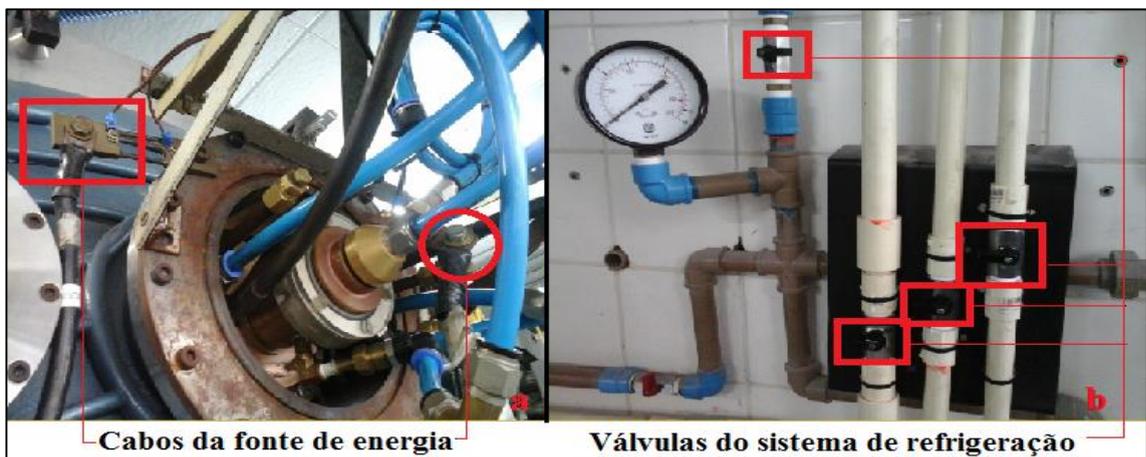
**Figura 79** - Conexão das mangueiras de refrigeração e fechamento do túnel de plasma.



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Após o fechamento do túnel de plasma deve-se ligar os cabos elétricos na tocha de plasma conforme figura 80(a), em seguida deve-se ligar o sistema de refrigeração, mantendo a pressão de trabalho em 10 Kgf/cm<sup>2</sup>, pressão máxima suportada pelas instalações hidráulicas do LPP conforme figura 80(b).

**Figura 80** - Ligação da parte elétrica e do sistema de refrigeração



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Após a realização desta etapa, espera-se o túnel de plasma estar com a pressão ideal de trabalho, e assim o equipamento estará apto para o uso, podendo assim realizar os testes necessários.

## **4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

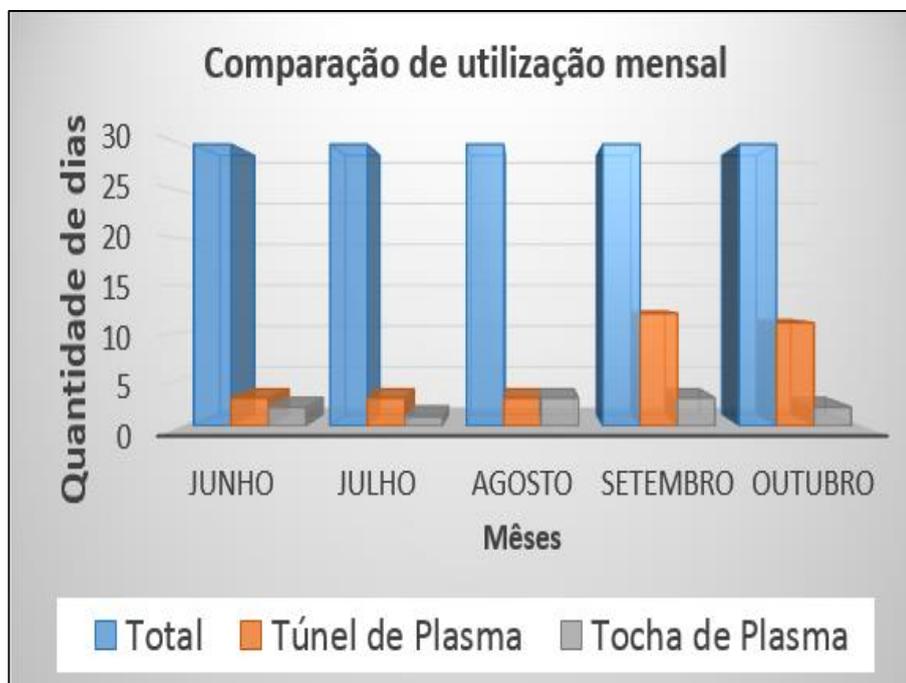
### **4.1. ANÁLISE DA GESTÃO DE CONTROLE DO TÚNEL DE PLASMA**

A implantação da gestão de controle do túnel de plasma, mostra-se importante e eficaz. Através dela é possível obter um controle mais específico do equipamento que está sendo utilizado “túnel de plasma; tocha de plasma”, sendo uma ferramenta de suma importância para a atuação da manutenção, gerando um banco de dados, dados estes que podem ser transformados em valores e controles estatísticos. Através da gestão de controle do túnel de plasma pode se elaborar a definição do tempo de manutenção para a tocha de plasma.

#### **4.1.1. DADOS DA AGENDA ONLINE**

Através da implementação da agenda online de trabalho do túnel de plasma, pode-se obter com mais clareza, o que realmente está acontecendo com a tocha de plasma e respectivamente com o túnel de plasma.

Esta ferramenta pode ser usada como fonte de coleta de dados, tendo em vista que nela se faz as anotações de todos os períodos em que o equipamento está sendo utilizado, com isto pode-se obter o tempo ocioso do equipamento como também o seu tempo produtivo real. Através destes dados podem ser direcionadas tarefas/trabalhos para serem realizados no mesmo completando assim o tempo ocioso do equipamento. Destacando também que com a utilização desta ferramenta pode-se ainda gerenciar e identificar os grupos que estarão utilizando o equipamento. O gráfico da figura 81 relaciona o tempo produtivo do tempo ocioso do equipamento.

**Figura 81** - Comparação de produtividade mensal

Fonte: (O AUTOR, 2015)

#### 4.1.2. DADOS DA FICHA DE UTILIZAÇÃO DO TÚNEL DE PLASMA

Com a implementação da ficha de utilização do túnel de plasma, é possível a obtenção de dados mais específicos em relação a tocha de plasma como por exemplo: tempo em que a tocha de plasma ficou ligada; tempo em que o túnel de plasma ficou ligado; quem é o operador que está manuseando o equipamento; identificação de anomalias na tocha de plasma e túnel de plasma; registro do operador para contatos futuros.

Com a utilização desta ferramenta pode ser avaliado a ocorrência de falhas no equipamento podendo desta forma ser alterado o plano de manutenção em relação ao mesmo, tem-se também um controle específico do tempo em que o túnel ficou em operação, e o tempo específico que a tocha ficou em operação tendo em vista que o fato de o túnel está ligado não representa que a tocha também estará ligada.

#### 4.2. ANÁLISE DO PLANO DE DESMONTAGEM DA TOCHA DE PLASMA

Através da implementação da metodologia de desmontagem da tocha de plasma, pretende-se mostrar ao operador a forma correta de se desmontar a tocha de plasma, com isto

pretende-se minimizar os danos causados no mesmo oriundos da falta de conhecimento do equipamento danos este que podem prejudicar o uso da tocha de plasma ou até mesmo inviabilizar o seu uso por um determinado tempo.

Com a determinação do plano de desmontagem, passa-se para o operador de manutenção a confiança do que se está sendo realizado, facilitando o contato do operador com o equipamento. Para isto além do plano de desmontagem apresentado, pode-se fazer uso também do fluxograma apresentado no apêndice IV, que demonstra de uma forma mais prática os passos de desmontagem da tocha de plasma para um operador que já tenha tido contatos anteriores com esta tocha de plasma.

### **4.3. ANÁLISE DO PLANO DE MANUTENÇÃO DA TOCHA DE PLASMA**

Com a aplicação do plano de manutenção, determina-se a manutenção dos componentes que estão dispostos em toda a montagem da tocha de plasma como: anéis de vedação e conexões hidráulicas, e faz-se saber através do código de cores implementado, o grau de importância de cada componente para o funcionamento deste equipamento, conduzindo desta forma o operador de manutenção a ter um cuidado especial no momento da verificação daqueles componentes que são mencionados como os mais críticos.

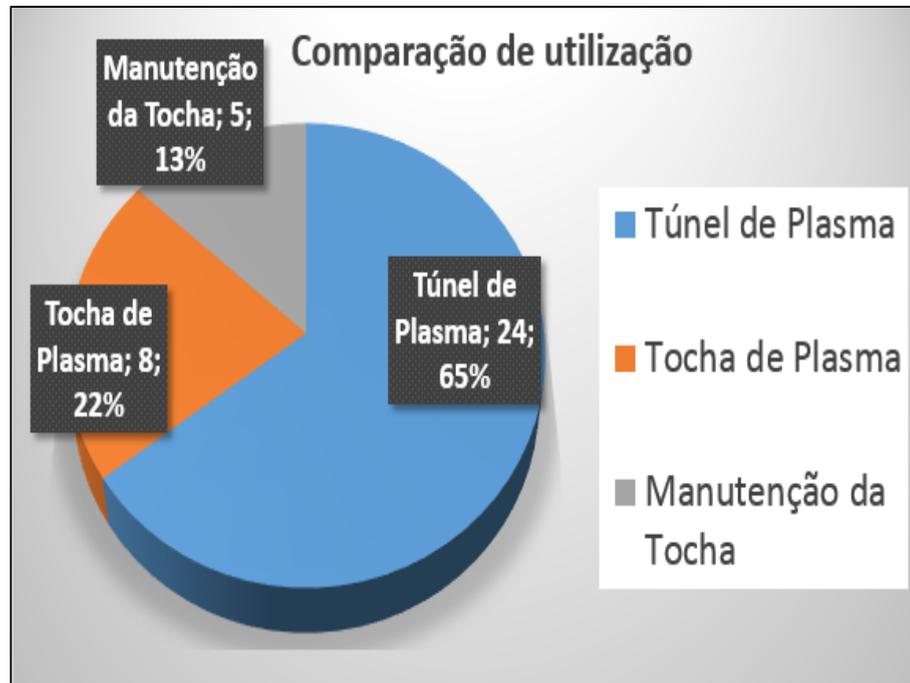
#### **4.3.1. DADOS DO CONTROLE DA MANUTENÇÃO**

Através da implementação da ficha de controle de manutenção, pode se obter dados de grande importância para a manutenção como: componentes que mais se danificam; número de ocorrências de manutenção; tempo em que o equipamento ficou inoperante devido a manutenção. Com estes dados em mãos pode ser elaborado um mapeamento do custo da manutenção da tocha de plasma, tendo em vista que será especificado quais componentes foram substituídos, sendo eles de aquisição no mercado ou de fabricação própria para a tocha de plasma.

Tendo os dados adquiridos como base tem-se a possibilidade de montar um estoque de componentes ou não para futuras substituições na tocha de plasma, podendo também se antecipar na aquisição de componentes que são mais difíceis de se encontrar no mercado, antecipando-se também no pedido de fabricação de componentes, que necessitam de um tempo maior para sua produção. A figura 82 relaciona a porcentagem de utilização da tocha

de plasma em relação ao túnel de plasma e as manutenções aplicadas.

**Figura 82 - Manutenção X Utilização**



Fonte: (O AUTOR, 2015)

#### 4.4. ANÁLISE DO PLANO DE MONTAGEM DA TOCHA DE PLASMA

Através da implementação da metodologia de montagem da tocha de plasma, pretende-se mostrar ao operador a forma correta de se montar a tocha de plasma, minimizando assim os danos causados no mesmo oriundos da falta de conhecimento do equipamento, danos este que podem prejudicar o uso da tocha de plasma ou até mesmo inviabilizar o seu uso por um determinado tempo.

Com a determinação do plano de montagem, passa-se para o operador de manutenção a confiança do que se está sendo realizado, facilitando o contato do operador com o equipamento. Para isto além do plano de montagem apresentado, pode-se fazer uso também do fluxograma apresentado no apêndice V, que demonstra de uma forma mais prática os passos de montagem da tocha de plasma para um operador que já tenha tido contatos anteriores com esta tocha de plasma.

O plano de montagem faz-se necessário também como ferramenta auxiliadora de que a tocha de plasma estará apta para o uso após a manutenção da mesma, tendo em vista que se a montagem for realizada de forma inadequada a tocha terá que passar por um novo

processo de desmontagem e verificação de possíveis danos no equipamento.

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um o plano de manutenção para aplicação na tocha de plasma acoplada ao túnel de plasma do Laboratório de Plasma e Processos – LPP do ITA, projetado para diminuir as ocorrências de falhas e melhorar a performance do conjunto estudado. O plano de manutenção, contribuiu para execução de um plano de montagem e desmontagem da tocha de plasma, padronização do sistema de operação, identificação dos componentes críticos, sistema de controle do túnel de plasma e da tocha de plasma e finalmente do sistema de controle para manutenção. Com esses dados em arquivo tem-se acesso a todos os elementos do projeto original permitindo assim, esclarecer sobre os aspectos de operacionalidade adequados destes dispositivos e facilitar a especificação de quaisquer componentes sejam de aquisição comercial ou de fabricação exclusiva.

O trabalho iniciado no Laboratório de Plasma e Processos – LPP com foco na tocha de plasma, abre a possibilidade para novos caminhos e trabalhos futuros dentre os quais citam-se: como aplicar os conceitos apresentados neste trabalho para gerar um plano de manutenção para o túnel de plasma; para o sistema de refrigeração; para o conjunto de bombas e para o sistema de fonte de potência; gerar um banco de dados através das planilhas de manutenção, para determinar a vida útil de cada componente sugerindo a sua substituição antes que ocorra uma falha e aplicar o sistema de controle do túnel de plasma para todo o Laboratório de Plasma e Processos – LPP.

## 6. REFERÊNCIAS

ABNT; **NBR-5462 Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ABNT; **NBR 6175:2015 Usinagem – Processos Mecânicos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015, 33p.

BARROS, E. A.; **Plasma térmico para ablação de materiais utilizados como escudo de proteção térmica em sistemas aeroespaciais**, São José dos Campos, 2008, 168p. Tese de Doutorado em Física e Química dos Materiais, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2008.

BOULOS, M. I.; PIERRE, F.; EMIL, P.; **Thermal Plasma: Fundamentals and Applications**. v 1. New York: Springer Science+Business Media, LLC, 1994. 452p.

CALLISTER, J. W. D.; **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 7ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008, 705p.

KARDEC, A.; LAFRAIA, J.; **Gestão Estratégica e Confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAN, 2002, 112p.

KARDEC, A.; NASCIF, J.; **Manutenção função estratégica**. 3ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras 2009.

KARDEC; A. P.; NASCIF; J. A.; **Manutenção Função Estratégica**. 2ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006, 341p.

KARDEC, A.; NASCIF, J.; **Manutenção Função Estratégica**. 4ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2013.

KUME, H.; **Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade**. São Paulo: Editora Gente, 1993.

MIAPRO; **Catálogo de produtos linha pneumática 2010**, Catálogo; Santo André: Miapro, 2010, 23p.

PARKER; **Manual de O’ring**, São Paulo: Parker Seals, 1997, 108 p.

PATERNIANI, C.C.R.; **Estudo de propriedades ablativas, térmicas e Microestruturais de**

**materiais compósitos Termoestruturais em Túnel de Plasma**, Pindamonhangaba: Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, 2014, 50p. Relatório Anual de Atividades em Regime de Jornal Integral: Pindamonhangaba, 2014.

PURPURA, C. et al. **Experimental Characterization of the CIRA Plasma Wind Tunnel SCIROCCO Test Section**. ACTA Astronautica, v. 62, p.410-421, Jan., 2008.

SANTOS, V. A. **Manual Prático da Manutenção Industrial**. 4.ed. São Paulo: Ícone, 2013. 301p.

SANTOS, V. A. **Prontuário para Manutenção Mecânica**. 1.ed. São Paulo: Ícone, 2010, 175p

SILVA, L. O. M.; **Automatização do Diagnostico de Tochas de Plasma**, Campinas, 1993, 124p. Tese de Mestrado, Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, 1993.

SILVA, R. J.; **Plasma Térmico para ablação de materiais utilizados como escudo de proteção térmica em sistemas aeroespaciais**. Tese de Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, 2011, 131p.

SILVA, W. G.; **Qualificação de Materiais Utilizados em Sistemas de Proteção Térmica para Veículos Espaciais**. Tese de Mestrado, Física de Plasma, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, 2009, 112p.

WERK-SCHOTT; **Linha de Conexões: Instantâneas em Polímero e Metálicos**. Catálogo, Mirassol: WERK –SCHOTT, sd, 16p.

ZHUKOV, M. F.; **Thermal Plasma Torches**, Cambridge Interscience Publising, Cambridge, UK, 2007. ISBN 978-1-904602-02-6.

## **GLOSSÁRIO**

**IEAv:** Instituto de Estudos Avançados

**IAE:** Instituto de Aeronáutica e Espaço

**ITA:** Instituto Tecnológico de Aeronáutica

**COMAR:** Comando da Aeronáutica

**LPP:** Laboratório de Plasma e Processos

**ABNT:** Associação Brasileira de Normas Técnicas

## APÊNDICE I – RELATÓRIO DE USO DO “TÚNEL DE PLASMA”

	Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA Laboratório de Plasma e Processos – LPP  <b>Relatório de uso do “Túnel de Plasma”</b>
---	---

Nome: _____				data __/__/__
Aluno Graduação <input type="checkbox"/>	Aluno Mestrado <input type="checkbox"/>	Aluno Doutorado <input type="checkbox"/>	Orientador <input type="checkbox"/>	Outros <input type="checkbox"/>
Horário que o Túnel foi ligado __:__:__		Horário que o Túnel foi desligado __:__:__		
Início da 1º amostra	__:__:__	Término da 1º amostra	__:__:__	
Início da 2º amostra	__:__:__	Término da 2º amostra	__:__:__	
Início da 3º amostra	__:__:__	Término da 3º amostra	__:__:__	
Início da 4º amostra	__:__:__	Término da 4º amostra	__:__:__	
Início da 5º amostra	__:__:__	Término da 5º amostra	__:__:__	
Início da 6º amostra	__:__:__	Término da 6º amostra	__:__:__	
Início da 7º amostra	__:__:__	Término da 7º amostra	__:__:__	
Início da 8º amostra	__:__:__	Término da 8º amostra	__:__:__	
Início da 9º amostra	__:__:__	Término da 9º amostra	__:__:__	
Início da 10º amostra	__:__:__	Término da 10º amostra	__:__:__	
Início da 11º amostra	__:__:__	Término da 11º amostra	__:__:__	
Início da 12º amostra	__:__:__	Término da 12º amostra	__:__:__	
Início da 13º amostra	__:__:__	Término da 13º amostra	__:__:__	
Início da 14º amostra	__:__:__	Término da 14º amostra	__:__:__	
Início da 15º amostra	__:__:__	Término da 15º amostra	__:__:__	
Início da 16º amostra	__:__:__	Término da 16º amostra	__:__:__	

Apresentou alguma avaria: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Se SIM quais as avarias apresentadas:
Dados para contatos posteriores
E-mail: _____ Telefone: ( ) - Ramal: _____

Responsável pela vistoria : _____ Data __/__/__
--

## APÊNDICE II – RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO

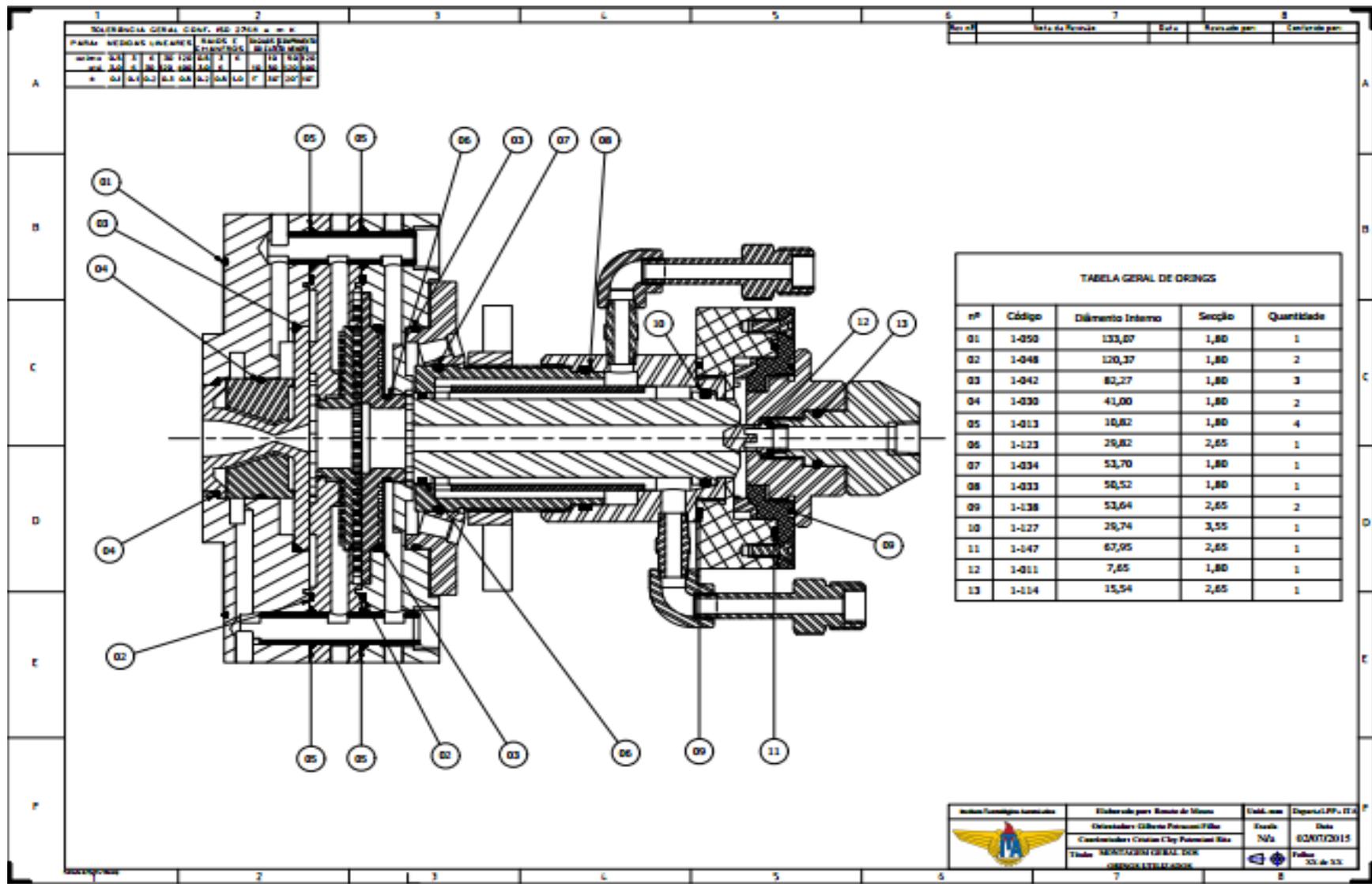
	Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA Laboratório de Plasma e Processos – LPP  <b>Relatório de Manutenção</b>
---	---

Mantenedor:	
Data da manutenção: / /	Ramal:
Horário Inicial: : :	Horário Final: : :

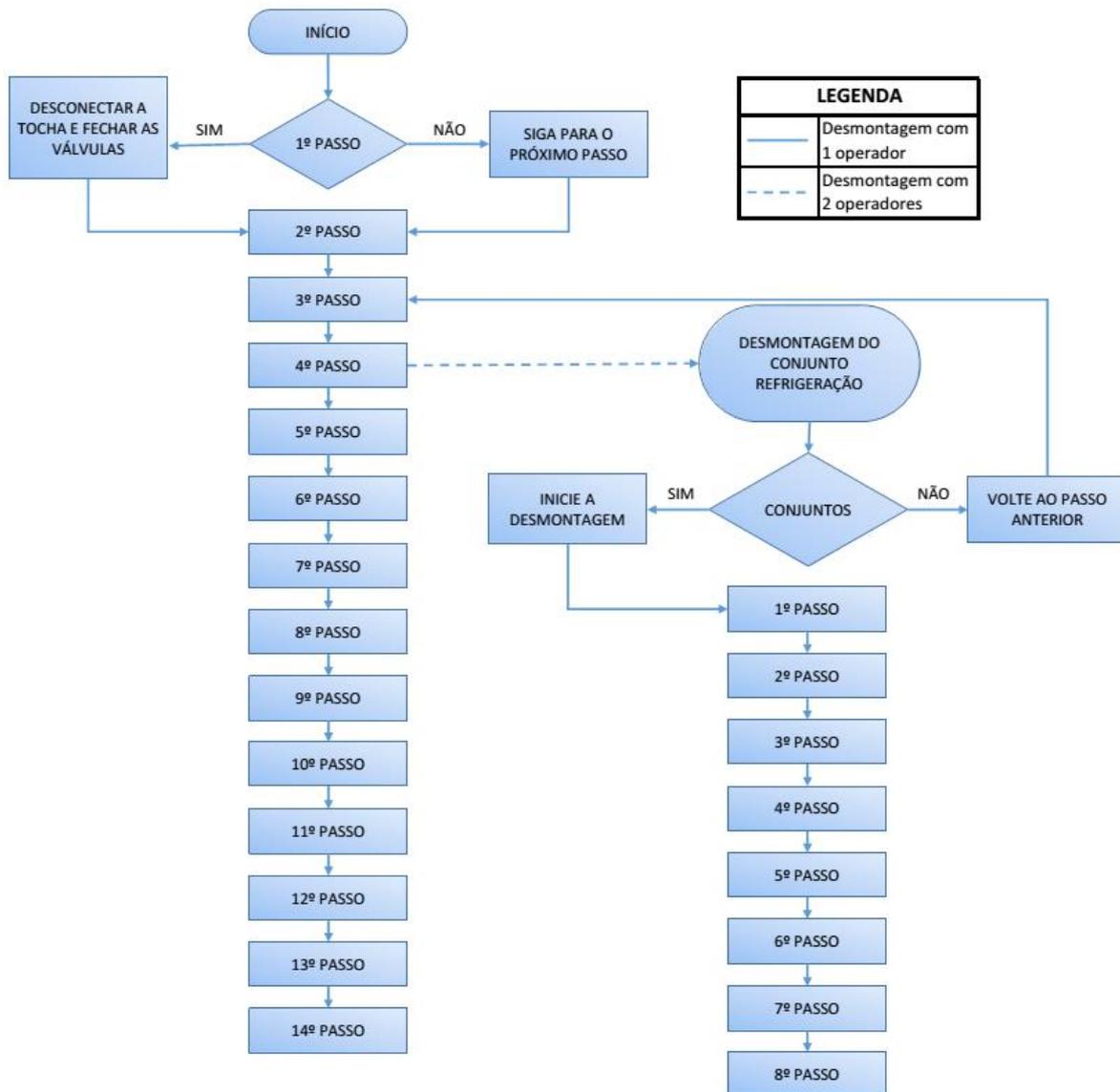
Defeito apresentado:
Componentes Substituidos / Medidas Realizadas:

Responsável pela vistoria:	Data: / /
----------------------------	-----------

## APÊNDICE III- MONTAGEM GERAL DOS ANÉIS DE VEDAÇÃO (TIPO O'RINGS)

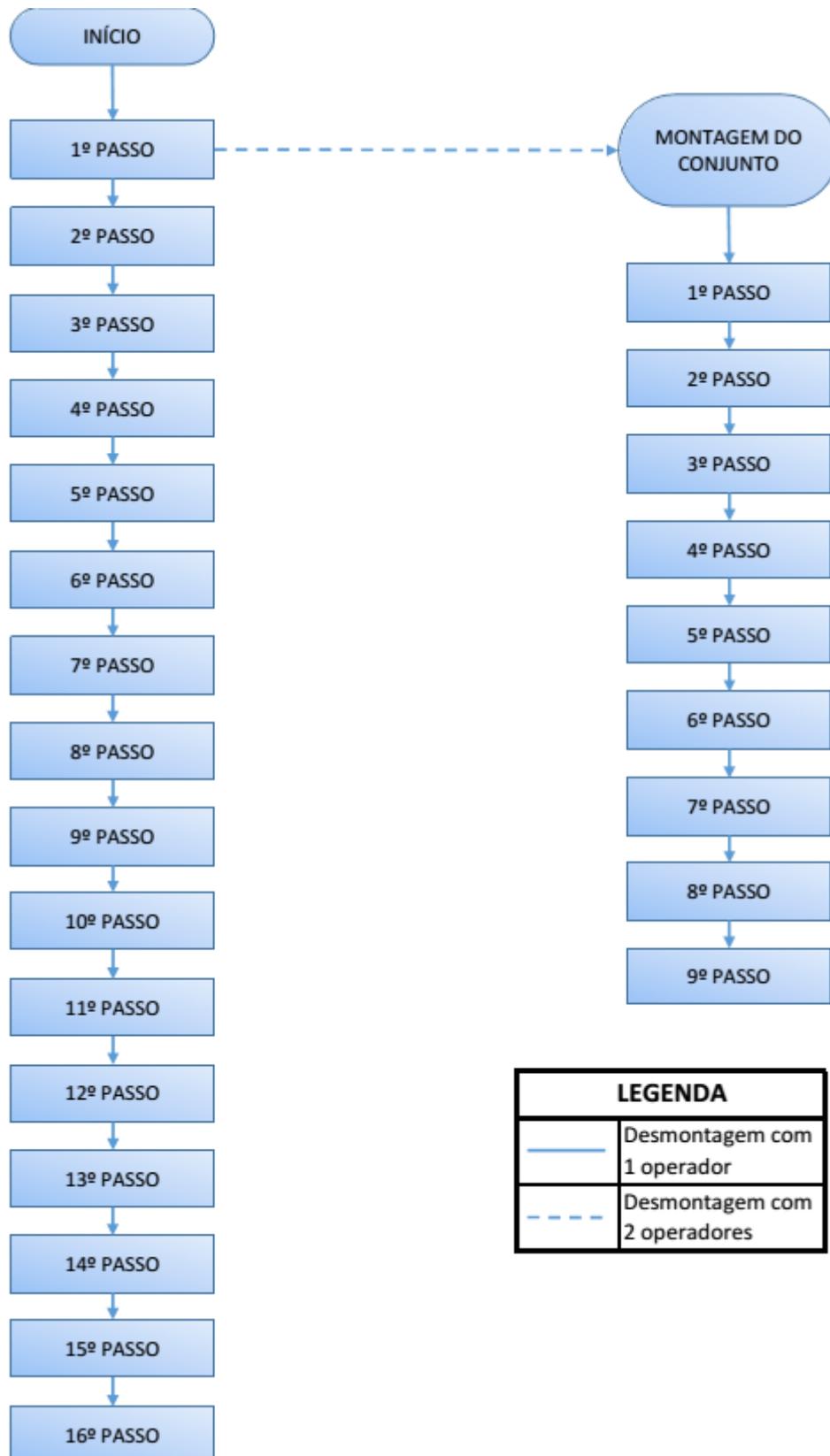


## APÊNDICE IV– FLUXOGRAMA DE DESMONTAGEM



LEGENDA	
—	Desmontagem com 1 operador
- - -	Desmontagem com 2 operadores

## APÊNDICE V- FLUXOGRAMA DE MONTAGEM



## ANEXO I – START DO TÚNEL DE PLASMA

1. Make sure that the valve of total air feeding system is opened.
2. **Make sure that the vacuum exhaust valve on the wall is opened.**
3. Make sure that the exhaust valve of the plasmatron is closed.
4. Make sure that iron key at control panel is at the last clockwise position– OPEN.
5. Turn on the main switch and wait for actuation of automation during 2-3min.
6. Turn on the left switch to the 2-nd position, after lighting indicators VP1, VP1A and PCA – turn it to the 3-rd position “ROOTS” and keep eye on operation of automation by symbolic circuit.
7. Turn on the right switch to the 2-nd position “SELADA” and keep eye on operation of automation by symbolic circuit.
8. When indicator lamps FV3A, FV3, FV3B will light, right switch turn to the 3-rd position “VACUO”.
9. When pressure in chamber becomes within the range of sensor at bottom panel of control panel, proceed to preparation for start of plasma-torch (never turn on the diffuse pump and sensor 3 at the top panel!!!).
10. Open the valve of the vacuum exhaust to the rotameter, direct exhaust to atmosphere leave opened also.
11. **Check the position of magnetic shunts at power supply and cable polarity and connections to power supply and plasma-torch.**
12. Plug in and make ready measuring instruments (temperature gauges, indicating instruments for current and voltage, computer).
13. **Check that water inlet/outlet and water rotameters of vacuum plasma-torch are opened and others – are closed.**
14. **Half-open the by-pass of water, turn on the pump and adjust the pressure – 6 atm and flow distribution between the nozzle and plasma-torch (about 1500/560 l/h)/.**
15. Wait for stabilizing indications at the displays of the water temperature; write down them and the temperature in the water pool.
16. Check air pressure, adjust it between 5 and 6 atm and open the screw valve feeding vacuum plasma –torch.
17. Adjust the screw valve of the auxiliary exhaust to position 0.6-1mm.
18. Adjust air flow rate by screw valve upstream the rotameter to the value about 17000-20000 l/hr.
19. Close air flow rate and make sure that there is a vacuum in plasma torch.
20. Turn on power supply and after arcing immediately open gas flow rate.
21. Adjust regime by pressure in plasma-torch and gas flow rate, watching voltage and current.
22. Gauge and write down the pressure at vacuum chamber during measuring heat flux.
23. Gauge and write down the flow rate at the exhaust of vacuum pump, closing valve at direct exhaust only for gauging.
24. Gauge and write down during torch operation:
  - Current and voltage;
  - Gas flow rate at the inlet rotameter;
  - Pressure at the rotameter;
  - Pressure at the plasma-torch;
  - Temperature of water at the outlet of nozzle;
  - Temperature of water at the outlet of plasma-torch;
  - Temperature of the gas at the auxiliary exhaust.
25. Turn off the plasma – torch and close immediately the valves of gas feeding and auxiliary exhaust.
26. Write down the gap at control device of auxiliary exhaust.
27. Wait for stabilizing water temperatures displayed at both panels and write them down. Write down the temperature in water pool after experiment.
28. After experiment:
  - 28.1. **Disconnect the cables from the power supply;**
  - 28.2. **Close the air valve upstream the rotameter and the valve at air reducer;**
  - 28.3. **Close the water valve feeding the plasmatron;**
  - 28.4. **Open the water bypass valve at water pull.**
  - 28.5. **Turn off the gauges of water temperature supplied by batteries.**

Autorizo a cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor.

Jefte da Silva Guimarães

Felipe Rafael Santos de Araújo

Pindamonhangaba, dezembro de 2015