



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



PROJETO DE CAMARA DE VACUO, BOBINAS MAGNETICAS E SISTEMA DE SUSTENTAÇÃO PARA O EXPERIMENTO PMAG

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBITI/CNPq/INPE)

Rafael Galvão Nunes de Gauto (UNITAU, Bolsista PIBITI/CNPq)
E-mail: rafael.gauto@inpe.br

Renato Sérgio Dallaqua (LAP/CTE/INPE, Orientador)
E-mail: Renato.dallaqua@inpe.br

COLABORADORES

Dr. Edson Del Bosco (CTE/INPE)

Junho de 2016

SUMÁRIO

1. Introdução	Pg. 3
2. Resumo do realizado no período	Pg.5
3. Câmara de vácuo; projeto, execução e testes	Pg.6
4. Bobinas magnéticas; projeto preliminar	Pg.15
5. Mesa de sustentação do experimento PMAG – projeto preliminar. Pg.17	
6. Conclusão	Pg.18

1. INTRODUÇÃO

O objetivo do experimento PMAG é estudar fenômenos básicos de plasma e, em particular, aqueles que diretamente ocorrem em plasmas espaciais notadamente na magnetosfera terrestre.

O experimento está especificamente voltado ao estudo de vários tipos de instabilidades que ocorrem nestes plasmas tais como ondas whistlers, cone de perda, modos tearing etc.

O campo magnético terrestre tem uma topologia conhecida como espelho magnético, isto é, campo mais intenso nos polos e mais fraco na região equatorial. Essa topologia então favorece o aparecimento de diversos fenômenos de plasma magnetosférico/ionosférico que são interessantes estudar tanto do ponto de vista acadêmico como prático.

Um ponto interessante a ser estudado é o mecanismo de aceleração de partículas carregadas a altas energias no cinturão de radiação Van Allen. O mecanismo para esta aceleração ainda não está claro havendo várias hipóteses para tentar explicar este ganho de energia das partículas carregadas.

Este assunto está recebendo grande atenção no momento devido a novos dados que estão sendo coletados pelas sondas Van Allen A e B. Uma das possíveis explicações dos dados referentes a aceleração das partículas carregadas é pela interação ressonante entre as ondas whistlers e as partículas carregadas em um campo magnético tipo espelho magnético como o campo geomagnético.

Deve ser lembrado que na região 2,5-6 Re se encontram muitos satélites em operação e, partículas carregadas de alta energia (no intervalo KeV-MeV) podem danificar os circuitos eletrônicos dos mesmos.

Para desenvolver a pesquisa estão sendo feitas várias mudanças em um antigo experimento existente no LAP/CTE (PCEN) para que o arranjo experimental possa atender às necessidades científicas.

Na parte mecânica que foi a finalidade do presente trabalho as diretrizes para o desenvolvimento do trabalho foram:

- A. Ter uma câmara de vácuo cilíndrica com comprimento aproximado de 2,5 metros e diâmetro de 0,20 metros.
- B. Um conjunto de 20 bobinas para produzir um campo magnético com boa uniformidade axial por cerca de 1,5 metros, sendo que 8 bobinas são herdadas do antigo experimento PCEN.
- C. Uma mesa para sustentação do experimento (Bobinas, Câmara de Vácuo e Acessórios).

2. RESUMO DO REALIZADO NO PERÍODO

- Familiarização com o experimento PMAG através da leitura da tese de doutorado submetida por Edson Del Bosco, “CENTRIFUGA DE PLASMA COM DESCARGA EM ARCO NO VACUO APLICADA A SEPARAÇÃO DE ISOTOPOS ESTÁVEIS”.
- Familiarização com as normas ISO K-KF que são utilizadas no experimento.
- Conhecimento das peças que serão usadas no experimento PMAG.
- Leitura do desenho técnico da câmara de vácuo, conhecendo assim as dimensões e a normalização do experimento.
- Desenho técnico de uma peça específica adequando a norma ISO K-KF 200.
- Projetou-se as peças da câmara de vácuo separadamente seguindo as normas propostas em SolidWorks
- Simulação de montagem da câmara de vácuo unindo as peças já projetadas.
- Curso de AutoCad.
- Participação no projeto do Telescópio Solar.
 - Projetos em SolidWorks.
 - Desenvolvimento do suporte da lente.
- Acompanhamento da fabricação da câmara de vácuo na oficina do INPE.
- Projeto inicial das bobinas magnéticas.
- Projeto inicial da mesa de sustentação do experimento PMAG.

3. CAMARA DE VÁCUO; PROJETO, EXECUÇÃO E TESTES

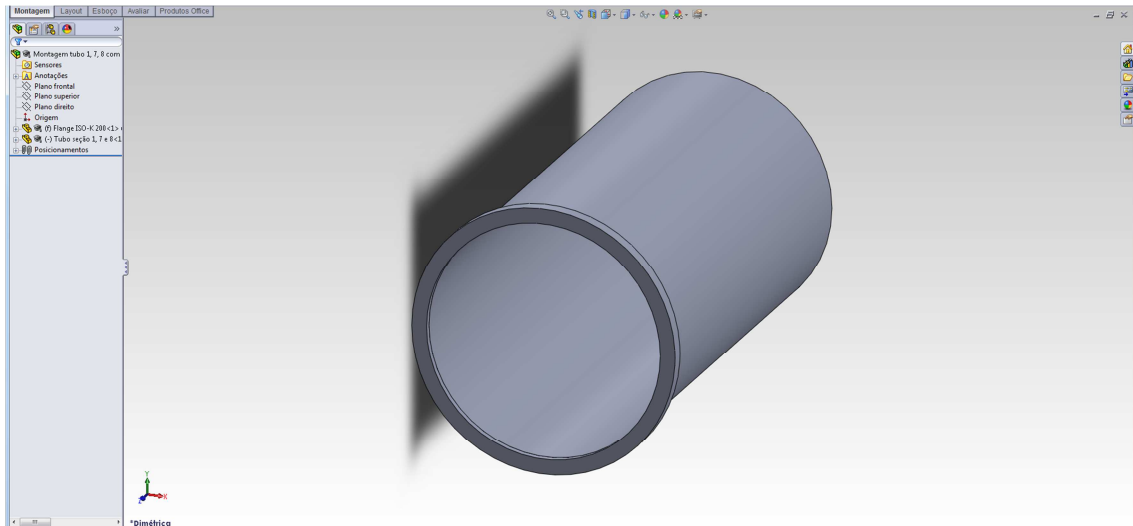
Para um bom funcionamento do experimento PMAG é imprescindível uma câmara de vácuo que seja capaz de atingir um alto vácuo, da ordem de 1×10^{-7} mbar, sendo que, isto demanda uma boa construção da mesma. Este alto vácuo é obtido com uso de bombas pré vácuo e bomba turbo molecular para atingir este vácuo final.

Além do requisito da de alto vácuo, as dimensões físicas da câmara são essenciais para o desenvolvimento da pesquisa proposta.

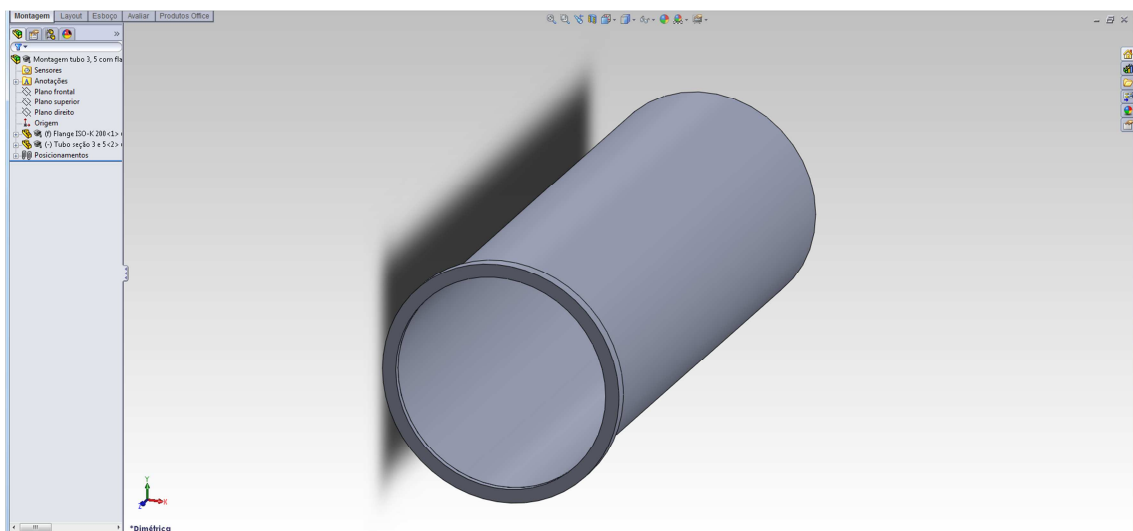
Os seguintes passos foram seguidos para a confecção da câmara de vácuo:

- A. Aproveitou-se da disponibilidade de um tubo de aço inox 316L com 3 metros de comprimento, diâmetro de 219 milímetros e espessura de parede de 3 milímetros (padrão Schedule 8-5S). A câmara de vácuo tem que usar materiais não magnéticos como é o caso do aço inox 316L. O diâmetro deste tubo é compatível com as dimensões das bobinas magnéticas do antigo experimento PCEN que serão usadas no PMAG.
- B. Optou-se por uma construção modular, isto é, dividida em setores o que permitirá possíveis prolongamentos axiais no futuro da câmara de vácuo. São quatro setores, dois com 0,4 metros de comprimento e dois com 0,55 metros de comprimento.
- C. Entre os setores foram projetados módulos para sensores a serem introduzidos na câmara de vácuo para medidas dos parâmetros do plasma. Estes módulos seguem o padrão ISO-KF 200, com três portas de acesso padrão KF-40. São três módulos com comprimento de 100 milímetros cada.
- D. A junção da câmara de vácuo com o ramo onde se encontram as bombas de vácuo é feita com uma peça em forma de T com o comprimento de 0,35 metros. Assim, o comprimento total da câmara é de aproximadamente 2,55 metros.
- E. No acoplamento da câmara de vácuo com as bombas de vácuo foi projetada uma peça, modulo de medidores de vácuo, no padrão ISO-KF 200 com três saídas, uma no padrão KF16, outra no padrão KF25 e outra no padrão KF40.

Com os desenhos detalhados em SolidWorks e as peças de vácuo, bem como, com o tubo de aço inox 316L disponível foi confeccionada a câmara de vácuo do projeto PMAG pela oficina mecânica do INPE.



Seção com 0,4 metros de comprimento.



Seção com 0,55 metros de comprimento.

Peças prontas após o trabalho da oficina.



Peças reais.

A solda , feita na oficina mecânica do INPE, é o ponto fragíl, se houver alguma imperfeição não será possível atingir o vacuo nessesario para realização do experimento. Portanto após realizado o processo de fabricação foram feitos testes nas peças para garantir a sua qualidade.



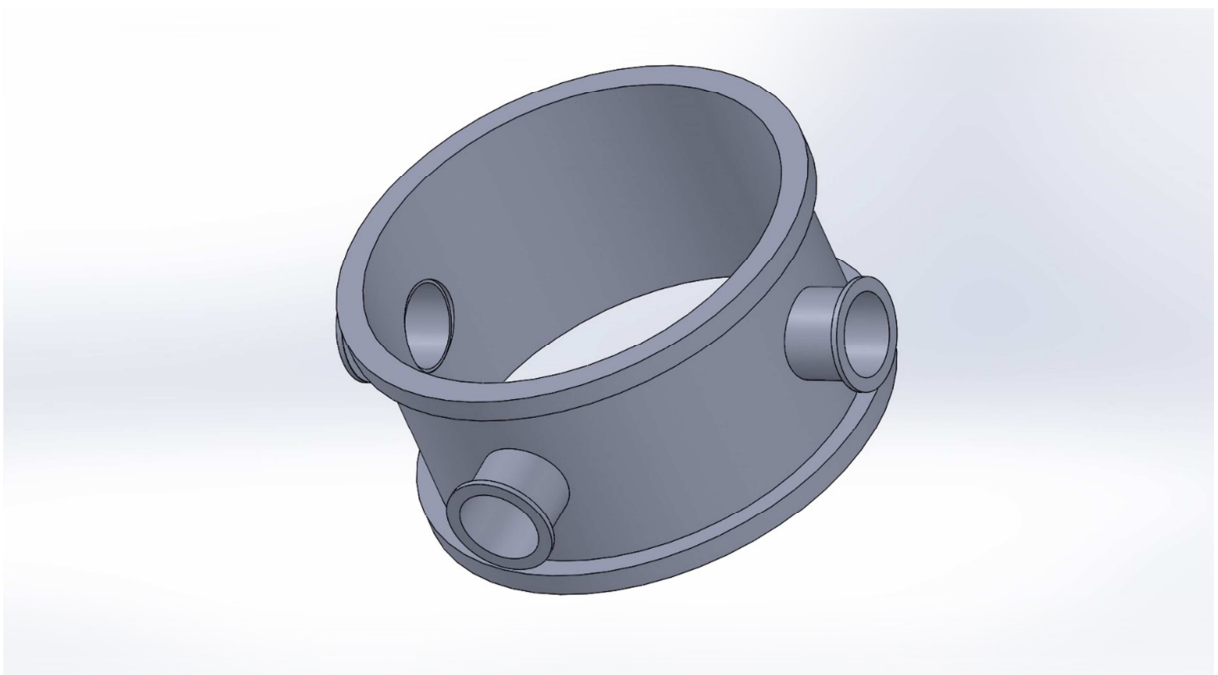
Também o outro ponto que poderia gerar falha no momento de criar o vacuo é a planicidade da superfície do flange, que poderia sofrer empenos devido ao calor aplicado durante o processo de soldagem. Para prevenir essa possível falha ao final do processo de soldagem todas as peças foram submetidas a um teste de empeno e as que sofreram alguma alteração durante esse processo foram retrabalhadas dentro de sua necessidade.



Detalhe do flange.



Essas peças foram projetadas no norma ISO-200K para acesso de sensores de plasma para o interior da câmara de vácuo nas tres derivações KF-40. São utilizadas tres peças na construção da câmara de vácuo



Essa peça foi projetada também na norma ISO- 200K mas com tres derivações distintas, uma KF-16 outra em KF-25 e uma em KF-40

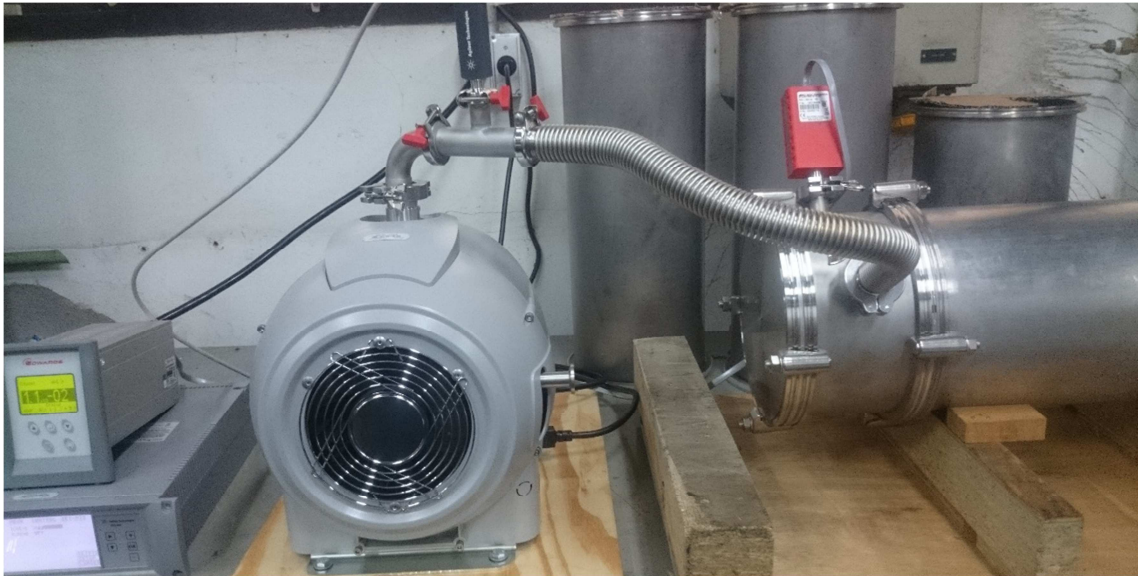


Detalhe para a utilização das derivações da peça.

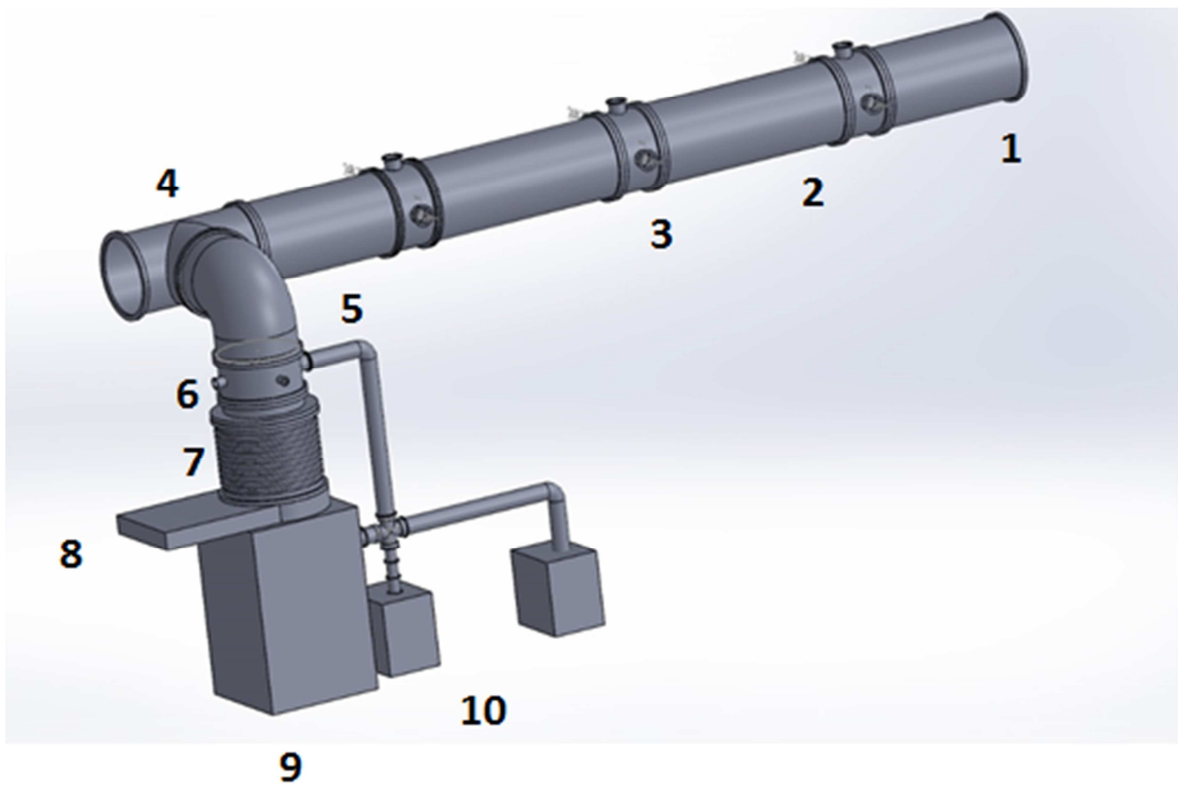
As derivações da peça mostrada na foto a cima estão sendo utilizadas para a saída para a bomba de vácuo e para o acoplamento do medidor de vácuo.

Foram realizados os testes de vácuo no laboratório para a verificação do processo de soldagem.

O processo de verificação da fabricação está sendo feito individualmente em cada setor utilizando uma bomba de pré vácuo e medidor. Caso houvesse alguma falha na solda não seria possível obter e nem manter um vácuo na câmara. Nas fotos abaixo mostram o aparato para os testes, bem como, o vácuo obtido em um dos setores.

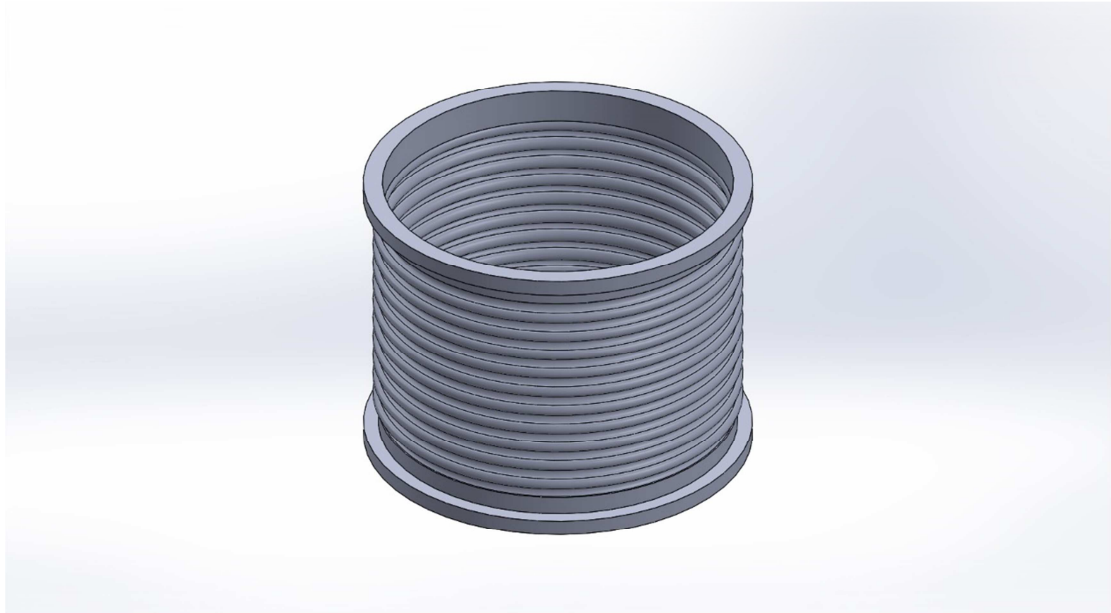


A figura a baixo mostra todo o sistema de vácuo com as identificações dos componentes utilizados:



1. Setor de 0,4 metros de comprimento.
2. Setor de 0,55 metros de comprimento.
3. Módulo de acesso para sensores de plasma.
4. Peça em T.
5. Cotovelo para junção as bombas de vácuo.
6. Módulo para medidores de vácuo.
7. *Below* de acoplamento.
8. Válvula tipo gaveta.
9. Bomba de alto vácuo turbo molecular ($1 \times 10^{-7} \text{ mbar}$)
10. Conjunto de bombas de pré vácuo ($1 \times 10^{-2} \text{ mbar}$)

O below de acoplamento foi usado para isolar a vibração gerada pelo funcionamento do conjunto de bombas de vácuo (9 e 10) da câmara.



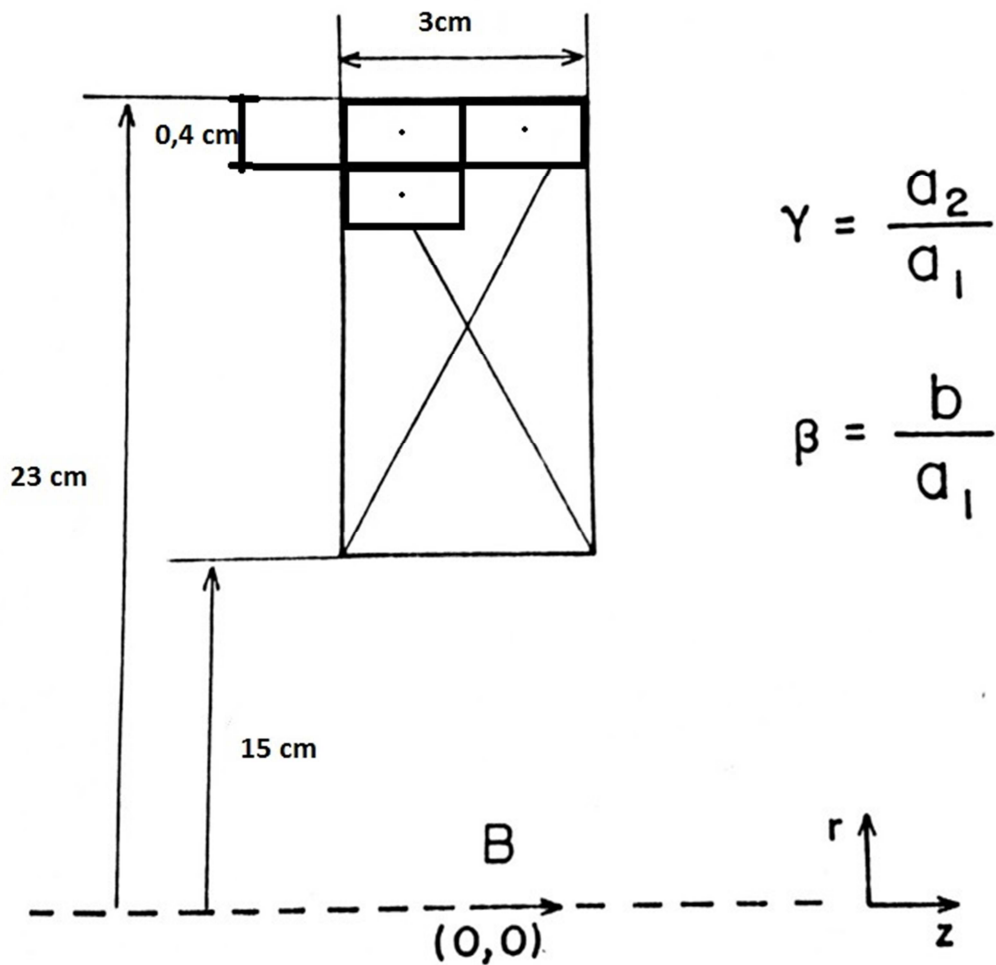
4. BOBINAS MAGNÉTICAS; PROJETO PRELIMINAR

Um conjunto de 12 novas bobinas devem ser feitas para completar o número necessário para produzir o campo magnético para o experimento.

Estas serão feitas a partir de um fio de cobre esmaltado de seção transversal retangular (4mm x 15mm – área=60mm²). Este fio é isolado por uma fina película com alta isolamento elétrica e alta resistência mecânica.

As bobinas são construídas com dois enrolamentos de 20 voltas cada um, isto é, 40 voltas no total. O raio interno das bobinas é de 0,15 metros e o raio externo de 0,23 metros aproximados.

A figura mostra detalhes das bobinas a serem construídas.



Outros dados importantes relativos às bobinas magnéticas:

- Comprimento fio de cobre esmaltado para cada bobina: 47,75 metros.
- Comprimento fio de cobre para 12 bobinas: 573,03 metros.
- Resistência elétrica de cada bobina: $8,232 \times 10^{-7} \Omega.m$.
- Resistência elétrica de 12 bobinas: $9,879 \times 10^{-6} \Omega.m$.
- Massa de cada bobina: 25,471 kg.
- Massa de 12 bobinas: 305,652 kg.
- Massa total das 20 bobinas do PMAG: aproximadamente 500 kg.

Um ponto importante é o raio interno da bobina. A partir do projeto da câmara de vácuo foi possível especificar a medida mínima do raio interno da bobina. Este deve ter 0,15 metros

para que a bobina possa deslizar sem restrições ao longo da câmara de vácuo, visando mudar a topologia do campo magnético conforme os fenômenos físicos em estudo.

5. MESA DE SUSTENTAÇÃO DO EXPERIMENTO PMAG – PROJETO PRELIMINAR

A câmara de vácuo mais o conjunto de 20 bobinas serão colocados sobre uma mesa de sustentação.

Esta mesa será construída utilizando perfis modulados padronizados e, um ponto importante na construção é permitir a movimentação livre das bobinas ao longo da câmara de vácuo.

Esta movimentação é necessária para a alteração da topologia do campo magnético para estudo de fenômenos citados na introdução.

A mesa deve suportar um peso de aproximadamente 8000 N.

6. CONCLUSÃO

O trabalho avançou mais que o programado no projeto da câmara de vácuo. Foi possível, projetar e adquirir peças junto a fabricantes. Seguindo o projeto e com as peças disponíveis a câmara de vácuo do experimento foi construída na oficina do INPE. No momento estão sendo realizados testes de vácuo de cada setor dos quatro que compõem a câmara de vácuo.

Para as bobinas magnéticas foi possível somente um projeto inicial. Alguns dados são importantes para a aquisição do fio de cobre junto a possíveis fornecedores. A confecção das bobinas é problemática, pois, não é disponível uma infraestrutura institucional como para a fabricação da câmara de vácuo. Neste ponto uma decisão deverá ser tomada, para concluir essa etapa, quanto a confecção dos mesmos, internamente ao INPE ou contratar uma empresa para realizar o trabalho. De qualquer maneira, um projeto mais detalhado das bobinas faz-se necessário.

A estrutura para suportar o experimento deve também passar por um projeto mais detalhado para poder fazer a aquisição de diversos componentes (perfis padronizados, junções, parafusos, etc.) junto aos fornecedores.