

## EME-713 Desenvolvimento de um minifoguete experimental

# AULAS LECIONADAS EM 2015/3

Atualizado em 25 Fev 2016 às 13:22 h

As notas de aula digitais da disciplina de 2013/3 estão em [http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/curso\\_pos\\_2013-3/](http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/curso_pos_2013-3/)  
O foco foi a teoria sobre propulsão de motor-foguete a propelente sólido

As notas de aula digitais da disciplina de 2014/3 estão em [http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/curso\\_pos\\_2014-3/](http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/curso_pos_2014-3/)  
O foco foi o desenvolvimento de motores do tipo TA(15mm) e MTP

As notas de aula digitais específicas de 2015/3 estão em [http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/curso\\_pos\\_2015-3/](http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/curso_pos_2015-3/)

**ATENÇÃO:** para não reprovar por frequência nessa disciplina, cada aluno poderá faltar no máximo 6 dias de aula.

### Interessados sobre:

- As atividades desenvolvidas no grupo de pesquisa em *CFD, propulsão e aerodinâmica de foguetes*, da UFPR: ver no site da disciplina o arquivo Grupo\_CFD\_fevereiro\_2014\_v8.pdf e o site [www.cfd.ufpr.br](http://www.cfd.ufpr.br)
- Foguetes: ver o site do grupo de foguetes da UFPR em [www.foguete.ufpr.br](http://www.foguete.ufpr.br) e o blog <http://fogueteufpr.blogspot.com.br/>
- Orientação do prof. Marchi para trabalho de Iniciação Científica, Estágio, Trabalho de Fim de Curso, Mestrado e Doutorado: ver o arquivo temas\_para\_orientacao\_prof\_Marchi\_janeiro\_2015.pdf no site da disciplina.

### Aula 22: PLANO para 2 Abr 2016 [NITA/Fazenda/Pinhais] (última aula prática)

- Lançar o minifoguete Netuno-R/Paraná-II

### Aula 21: PLANO para ? 5 Mar 2016 [LMH/Centro Politécnico/Curitiba]

- Fazer teste estático de 5 motores do MTP
- Fazer teste estático de 3 motores do Netuno-R

### Aula 20: PLANO para 27 Fev 2016 [NITA/Fazenda/Pinhais]

- Lançar dois minifoguetes com motor da classe E e localizador próprio baseado em rádio
- Fazer teste de resistência de 5 motores do MTP
- Fazer teste de resistência de 3 motores do Netuno-R

### Aula 19: PLANO para 25 Fev 2016 (última aula em sala)

- Aplicativo Empuxo 1.7 está disponível
- Foi definida a forma de conectar as empenas para o próximo voo do Netuno-R.
- Foi definida a forma de conectar as empenas ao motor Netuno-M.
- Padronizadas as roscas para o Netuno-M: 1.9/16" 20 UN; 20 fios por plegada; 10 mm de comprimento de rosca; canal com 2.7 mm de espessura e 37.0 mm de diâmetro.
- As tubeiras e tampas do Netuno-M deverão ter um orifício para usar chave de unha; com isso, o comprimento externo das tubeiras e tampas poderá ser menor para reduzir massa.
- As 3 novas tubeiras do Netuno-R deverão ficar prontas amanhã e duas serão testadas no sábado
- Comentar os resultados dos testes de secagem do KNSu de 2014
- Gráfico da temperatura da chama de uma vela
- Gráfico da temperatura, dentro e fora, do motor MTP-1 do TE 19 Fev 2016

**Tarefa para a equipe de MOTORES executar:**

- Preparar o conjunto de 3 empenas para o voo do MF Netuno-R/Paraná-II; aguardar especificação das dimensões das empenas.
- Em data a ser definida: carregar 5 MTP (tubo-motor 1, 8, 9, 10 e 11) com KNSu, procedimento padrão e prensa hidráulica do Laboratório de Cerâmica; estes motores deverão ser testados com as tubeiras 6, 5, 4, 3 e 2 no LMH em data a ser definida.
- Em data a ser definida: carregar 3 motores do Netuno-R (G, B e &) com KNSu, sem acetona, com alma nominal de 25 mm usando a prensa hidráulica do Laboratório de Cerâmica, punção de aço e tampa de aço; usar a máxima quantidade de KNSu que for possível mas deixando as roscas da tubeira livres; estes motores deverão ser testados com as 3 novas tubeiras no LMH em data a ser definida.
- Rever projeto (desenhos para fabricação) das tubeiras do Netuno-M conforme roscas acima e orifícios para chave de unha e empenas; aguardar especificação final dos diâmetros de garganta.

#### **Tarefa para a equipe de ESTRUTURA executar:**

- Projetar (desenhos para fabricação) tubo-motor para o Netuno-M, com diâmetro externo de 44,45 mm, espessura de 3,17 mm, roscas conforme definido acima e comprimento total do tubo L (genérico)
- Rever projeto (desenhos para fabricação) da tampa do Netuno-M conforme roscas acima, orifício para chave de unha, rebaixo para mandril e conexão com a cápsula; aguardar especificação final.
- Estimar a massa do tubo-motor, tampa, tubeira e sistema de fixação das empenas
- Projetar (desenhos para fabricação) ferramentas de prensagem do propelente para o Netuno-M considerando alma de 25 mm; aguardar especificação do mandril e punção.

#### **Tarefa para a equipe de CARGA ÚTIL executar:**

- Até 15 de março: propor um novo desenho para a tampa do motor Netuno-M em relação à tampa que será usada com a cápsula Paraná-II e o Netuno-R, no caso de ser necessário melhorar algo para facilitar a conexão da tampa com as futuras cápsulas; caso contrário, só avisar para manter o mesmo sistema.
- Até 30 de março: propor testes de solo e a cápsula Paraná-III considerando a seguinte modificação em relação à Paraná-II: ejetar um paraquedas piloto ou fita no apogeu e o paraquedas principal próximo ao solo.

#### **Plano atual de desenvolvimento de motores para minifoguetes experimentais do GFCS/UFPR:**

- Fev e Mar/16: TR e TE das 3 novas tubeiras do Netuno-R
- Mar/16: definir tampas, tubeiras e tubo-motor do Netuno-M a fabricar
- Abr e Mai/16: LT Netuno-R/Paraná-II e Paraná-III com novas tubeiras
- Mai/16: primeiros TR e TE do Netuno-M
- Mai/16: definir tampas, tubeiras e tubo-motor do Urano a fabricar
- Jun/16: LT Netuno-M/Paraná-IV

#### **Aula 18: lecionada em 18 Fev 2016 (11 alunos)**

- Discutir o andamento e definir novas atividades para as equipes sobre o motor Netuno e Urano:
  - Não funcionou a prensagem do motor Netuno-R com mandril e punção metálicos

#### **Tarefa para a equipe de MOTORES executar:**

- Na semana de 22 a 26 Fev 2016: carregar 5 MTP (tubo-motor 1, 8, 9, 10 e 11) com KNSu, procedimento padrão e prensa hidráulica do Laboratório de Cerâmica; estes motores deverão ser testados com as tubeiras 6, 5, 4, 3 e 2 no dia 27 Fev 2016 no NITA/Fazenda em Pinhais.
- Na semana de 22 a 26 Fev 2016: carregar o tubo-motor G do Netuno-R com KNSu, sem acetona, com desmoldante na alma nominal de 25 mm usando a prensa hidráulica do Laboratório de Cerâmica, punção de aço e tampa de aço; usar a máxima quantidade de KNSu que for possível mas deixando as roscas da tubeira livres; caso funcione a extração da alma, carregar também o tubo-motor B do Netuno-R; o desmoldante deverá chegar nos próximos dias.
- Fazer nova versão do aplicativo Empuxo 1.6 para incluir uma opção que considere a existência de divergente da tubeira com expansão ótima (condição de projeto), e mantenha a opção de expansão só até a garganta da tubeira, como existem no Curva Empuxo 3.0.
- Projetar (desenhos para fabricação) 3 tubeiras para o Netuno-M considerando os dados do item abaixo

#### **Tarefa para a equipe de ESTRUTURA executar:**

- Projetar (desenhos para fabricação) tubo-motor para o Netuno-M, com diâmetro externo de 44,45 mm, espessura de 3,17 mm, roscas nos dois lados com 10 mm e 20 fios por polegada, e comprimento total do tubo de 275 mm
- Projetar (desenhos para fabricação) tampa para o Netuno-M conforme item acima
- Projetar (desenhos para fabricação) sistema de fixação das empenas do Netuno-M
- Estimar a massa do tubo-motor, tampa, tubeira e sistema de fixação das empenas
- Projetar (desenhos para fabricação) ferramentas de prensagem do propelente para o Netuno-M considerando alma de 25 mm
- Definir como prender as 3 empenas para o voo do Netuno-R/Paraná-II de 2 Abr 2016

#### **Tarefa para a equipe de CARGA ÚTIL executar:**

- Começar a trabalhar na cápsula Paraná-III considerando a seguinte modificação em relação à Paraná-II: deverá ejetar um paraquedas piloto ou fita no apogeu e o paraquedas principal próximo ao solo.

#### **Aula 17: lecionada em 11 Fev 2016 (10 alunos)**

- Discutir o andamento e definir novas atividades para as equipes sobre o motor Netuno e Urano

#### **Tarefa para a equipe de MOTORES executar:**

- Até o dia 12 Fev 2016: carregar o tubo-motor 1 do MTP com KNSu e procedimento padrão
- Até o dia 19 Fev 2016: carregar o tubo-motor G do Netuno-R com KNSu, sem acetona, com alma nominal de 25 mm usando prensa hidráulica, punção de aço e tampa de aço; usar a máxima quantidade de KNSu que for possível mas deixando as roscas da tubeira livres
- Até 19 Fev 2016: apresentar relatório de preparo e carregamento dos motores MTP e Netuno-R
- Até 16 Fev 2016: projetar (desenhos para fabricação) 3 tubeiras para o Netuno-M considerando os dados do item abaixo

#### **Tarefa para a equipe de ESTRUTURA executar até 16 Fev 2016:**

- Projetar (desenhos para fabricação) tubo-motor para o Netuno-M, com diâmetro externo de 44,45 mm, espessura de 3,17 mm, roscas nos dois lados com 10 mm e 20 fios por polegada, e comprimento total do tubo de 275 mm
- Projetar (desenhos para fabricação) tampa para o Netuno-M conforme item acima
- Projetar (desenhos para fabricação) sistema de fixação das empenas do Netuno-M
- Estimar a massa do tubo-motor, tampa, tubeira e sistema de fixação das empenas
- Projetar (desenhos para fabricação) ferramentas de prensagem do propelente para o Netuno-M considerando alma de 25 mm

#### **Aula 16: lecionada em 6 Fev 2016 (8 alunos) [NITA/Fazenda/Pinhais]**

- Lançar dois minifoguetes com motor da classe D e localizador próprio baseado em rádio
- Fazer teste de resistência de 4 motores do MTP

#### **Aula 15: lecionada em 4 Fev 2016 (10 alunos)**

- Discutir o andamento e definir novas atividades para as equipes sobre o motor Netuno e Urano

#### **Tarefa para a equipe de MOTORES executar:**

- No dia 10 ou 11 Fev 2016: carregar o tubo-motor & e B do Netuno-R com KNSu, sem acetona, com alma nominal de 25 mm usando prensa hidráulica, punção de aço e tampa de aço; usar a máxima quantidade de KNSu que for possível mas deixando as roscas da tubeira livres
- Até 12 Fev 2016: apresentar relatório de preparo e carregamento dos 2 motores do Netuno-R, informando também sobre possíveis dificuldades na prensagem do propelente e na extração do punção
- Até 15 Fev 2016: projetar (desenhos para fabricação) 3 tubeiras para o Netuno-M considerando os dados do item abaixo

#### **Tarefa para a equipe de ESTRUTURA executar até 15 Fev 2016:**

- Projetar (desenhos para fabricação) tubo-motor para o Netuno-M, com diâmetro externo de 44,45 mm, espessura de 3,17 mm, roscas nos dois lados com 10 mm e 20 fios por polegada, e comprimento total do tubo de 275 mm
- Projetar (desenhos para fabricação) tampa para o Netuno-M conforme item acima

- Projetar (desenhos para fabricação) sistema de fixação das empenas do Netuno-M
- Estimar a massa do tubo-motor, tampa e tubeira
- Projetar (desenhos para fabricação) ferramentas de prensagem do propelente para o Netuno-M considerando alma de 25 mm

#### **14: lecionada em 30 Jan 2016 (7 alunos) [NITA/Fazenda/Pinhais]**

- Lançar um minifoguete com motor da classe E e localizador próprio baseado em rádio
- Lançar um minifoguete com motor da classe C e altímetro próprio

#### **Aula 13: lecionada em 28 Jan 2016 (9 alunos)**

- Discutir o andamento e definir novas atividades para as equipes sobre o motor Netuno e Urano

#### **Tarefa para a equipe de MOTORES executar:**

- No dia 1 ou 2 Fev 2016: carregar 4 motores do MTP com KNSu, sem acetona, com prensa hidráulica
- Até 3 Fev 2016: apresentar relatório de preparo e carregamento dos 4 motores MTP

#### **Aula 12: lecionada em 23 Jan 2016 (6 alunos)**

- Fazer um teste estático do motor Netuno-R com uma nova tampa (mais leve) no LMH

#### **Aula 11: lecionada em 21 Jan 2016 (10 alunos)**

- Blog: comentar os resultados do lançamento do minifoguete Netuno-R/Paraná-I em 19 Dez 2015, incluindo fotos, gráfico do altímetro e vídeo (blog)
- Comentar análises das equipes sobre o minifoguete Netuno-R/Paraná-I:
  - Carga útil: relatorio\_parana\_I\_Fabio\_2015-12-18.pdf
  - Estrutura: Projeto\_das\_empenas\_do\_Netuno-R\_Parana-I\_Marchi\_em\_2015-12-03.docx
  - Aerodinâmica: ensaio\_AeroCP\_Netuno\_R\_empenas\_Diego\_2015-12-09.pdf, Analise\_Cd\_Tobias\_2015-11-21.xlsx e previsoes\_trajetoria\_Marchi\_2015-11-21.pdf
  - Motor: tq\_motor\_som\_e-mail\_Diego\_2016-01-18.pdf e analise\_Netuno-R\_2015\_com\_Empuxo\_1.6\_2016-01-19.xlsx
  - Novas simulações da trajetória do Netuno-R/Paraná-I: previsoes\_trajetoria\_Netuno-R\_Parana-I\_Marchi\_em\_2016-01-18.docx
- Comentar previsões do Netuno-R com 3 novas tubeiras e Netuno-M: plano\_Netuno-R\_2016\_com\_Empuxo\_1.6\_2016-01-19.xlsx
- Definir novas atividades para as equipes sobre o motor Netuno e Urano

#### **Aula 10: lecionada em 19 Dez 2015 (7 alunos)**

- Lançar o minifoguete Netuno-R/Paraná-I no NITA em Pinhais

#### **Aula 9: lecionada em 12 Dez 2015 (12 alunos)**

- Lançar um minifoguete com motor da classe E e localizador baseado em rádio no NITA em Pinhais

#### **SEM AULA EM 19 Dez 2015 no caso do Netuno ser lançado em 12 Dez 2015**

Caso o Netuno não seja lançado em 12 Dez 2015, haverá nova tentativa em 19 Dez 2015

#### **Aula 8: lecionada em 5 Dez 2015 (9 alunos)**

- Comentar os resultados dos TEs do motor Netuno-R de 14 Nov 2015
- Comentar os resultados dos testes feitos com a cápsula Paraná I em 21 e 27 Nov, 2 e 3 Dez
- Previsão atual da trajetória do Netuno-R/Paraná-I
- Fazer medidas finais de massa e comprimento da cápsula Paraná-I
- Definir novas atividades para as equipes sobre o projeto Netuno-R: TEs e LTs
- Iniciar discussão sobre o projeto do novo motor

#### **Tarefa para a equipe de MOTORES executar:**

- No dia 7 ou 8 Dez 2015: carregar 2 motores do Netuno-R com KNSu, sem acetona, prensado à mão

- Até 9 Dez 2015: apresentar relatório de preparo e carregamento dos 2 motores do Netuno-R

### **SEM AULA EM 28 Nov 2015**

#### **Aula 7: lecionada em 21 Nov 2015 (8 alunos)**

- Fazer testes de sistemas da cápsula Paraná-I
  - Testar os 3 sistemas de localização que estão disponíveis no momento (rádio e gps-preto foram testados em 21 Nov; gps-preto foi retestado em 27 Nov; gps-branco foi testado em 2 Dez)
  - Testar o sistema de ejeção do paraquedas
  - Testar a resistência do paraquedas x velocidade e medir a força de arrasto
  - Testar o deslizamento do MF Netuno-R/Paraná-I na rampa de 3 hastes de 2015 do LAE (a ser feito)

#### **Aula 6: lecionada em 14 Nov 2015 (10 alunos)**

- Fazer 3 testes estáticos com o motor Netuno-R no LMH com medidas do empuxo versus tempo

#### **Tarefa para a equipe de MOTOR executar até o dia 18 Nov 15:**

- Limpar os 3 motores Netuno-R dos TEs de 14 Nov 2015, pesar os resíduos, analisar os testes estáticos e fazer um relatório

#### **Aula 5: lecionada em 7 Nov 2015 (10 alunos)**

**Atenção:** a previsão atual é fazer o lançamento do MF Netuno-R/Paraná-I em 12 Dez 2015 à tarde

- Comentar os resultados dos TEs do motor Netuno-R de 24 Out 2015
- Previsão atual da trajetória do Netuno-R/Paraná-I
- Aprender a usar o aplicativo Cd 1.0
- Apresentação das atividades feitas pelas equipes
- Definir novas atividades para as equipes

#### **Tarefa para a equipe de MOTORES executar:**

- Até 10 Nov 2015: carregar 2 motores do Netuno-R com KNSu
- Até 12 Nov 2015: apresentar relatório de preparo e carregamento dos 3 motores do Netuno-R a serem testados no dia 14 Nov 2015

#### **Tarefa para a equipe de ESTRUTURA executar até o dia 14 Nov 15:**

- Obter restos de alumínio com cerca de 1 mm de espessura para as empenas
- Propor a geometria e o material da peça a ser usada para conectar a cápsula ao motor; providenciar a sua fabricação

#### **Tarefa para a equipe de AERODINÂMICA executar até o dia 14 Nov 15:**

- Estimar o coeficiente de arrasto versus velocidade e valor médio com os aplicativos disponíveis
- Estimar a trajetória do MF Netuno-R/Paraná-I
- Propor a geometria das empenas; usar espessura de 1 mm
- Definir a dimensão do paraquedas

#### **Tarefa para a equipe de CARGA ÚTIL executar até o dia 14 Nov 15:**

- Testar os 3 sistemas de localização para definir qual será usado
- Definir qual o comprimento mínimo necessário do tubo a ser usado para os equipamentos e sistemas
- Definir e testar o sistema de acionamento pirotécnico a usar, suas geometrias e massas
- Testar o sistema de ejeção do paraquedas
- Providenciar a confecção do paraquedas

### **SEM AULA EM 31 Out 2015**

#### **Aula 4: lecionada em 24 Out 2015 (11 alunos)**

- Fazer 3 testes estáticos com o motor Netuno-R no LMH com medidas do empuxo e temperatura versus tempo
- Aprender a usar o aplicativo Empuxo 1.4

- Discutir o arquivo Status\_do\_minifoguete\_Netuno-R\_r1.pdf

**Tarefa para a equipe de MOTOR executar até o dia 5 Nov 15:**

- Analisar os testes estáticos do Netuno-R e fazer um relatório

**SEM AULA EM 17 Out 2015**

**Aula 3: lecionada em 10 Out 2015 (9 alunos)**

- Comentar os resultados dos TR do motor Netuno-R de 3 Out 2015, mostrar fotos e vídeos
- Definir a configuração de 3 motores do Netuno-R e seus grãos-propelente para Teste Estático (TE) em 24 Out 2015
- Comentar dados de minifoguetes experimentais
- Aprender a usar o aplicativo Curva\_Empuxo 3.0
- Discutir as propostas dos alunos às questões do projeto citadas no arquivo Diretrizes\_para\_projeto\_do\_minifoguete\_Netuno-R.pdf, bem como as diretrizes do projeto
- Algumas definições:
  - Os 2 altímetros a serem usados: Micropeak e Alt15K/WD; há um exemplar de cada no LAE.

**Tarefa para a equipe de MOTORES executar até o dia 15 Out 15:** carregar 3 motores do Netuno-R; detalhes em Plano\_de\_motores\_Netuno-R\_a\_montar\_2015-10-10.pdf

**Tarefa para a equipe de ESTRUTURA executar até o dia 24 Out 15:**

- Propor os materiais a serem usados na cápsula (tubo para carga útil e nariz) do minifoguete, e orçamento; no LAE, há tubo de papelão e de PVC com diâmetro externo de 43 e 40 mm.
- Propor a geometria e o material da peça a ser usada para conectar a cápsula ao motor, e orçamento.
- Propor o material a ser usado nas empenas e como conectá-las ao motor, e orçamento.
- Propor como fazer o lançamento do minifoguete e sua rampa.

**Tarefa para a equipe de AERODINÂMICA executar até o dia 24 Out 15:**

- Fazer estimativas iniciais do coeficiente de arrasto versus velocidade.
- Propor a geometria do nariz.
- Propor a geometria e espessura das empenas.

**Tarefa para a equipe de CARGA ÚTIL executar até o dia 24 Out 15:**

- Definir qual o comprimento e diâmetro mínimos necessários do tubo a ser usado para os equipamentos e sistemas.
- Definir o sistema de localização a usar, seu volume e massa, preço e onde comprar.
- Definir o sistema de ejeção a usar, seu volume, massa, peças, preço e onde comprar/fabricar.
- Definir os 2 sistemas de acionamento da ejeção a usar, seus volumes, massas, preços e onde comprar.
- Quais os 2 altímetros a usar, entre os disponíveis no LAE?

**Aula 2: lecionada em 3 Out 2015 (8 alunos)**

- Fazer 4 testes de resistência com o motor-foguete Netuno-R em Pinhais

**Aula 1: lecionada em 26 Set 2015 (12 alunos)**

- Explicar a metodologia da disciplina e seu objetivo (desenvolver 2 minifoguetes experimentais para apogeu de 500 metros e 1 km)
- Mostrar fisicamente os motores MTP e Netuno-R
- Comentar características do motor MTP e resultados já obtidos [pasta MTP ]
- Comentar características do motor Netuno-R e resultados já obtidos [pasta Marchi\_et\_al\_1990 dentro da pasta Netuno-R]
- Comentar os TR (testes de resistência) do Netuno-R que serão feitos em 3 Out 2015, à tarde, em Pinhais
- Apresentar ideias iniciais sobre o minifoguete a desenvolver [Diretrizes\_para\_projeto\_do\_minifoguete\_Netuno-R.pdf]
- Discutir uma possível alteração do dia e horário das aulas; se for mantido sábado, serão 3 aulas mensais, com a disciplina sendo encerrada em fevereiro de 2016

**Tarefa para executar até a aula do dia 10 Out 15:**

- Estudar o material visto nesta aula
- Para quem não fez a disciplina de 2013/3, recomenda-se ir estudando o material que está em [http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/curso\\_pos\\_2013-3/Apostila/Traducao\\_Nakka/](http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/curso_pos_2013-3/Apostila/Traducao_Nakka/), e ir esclarecendo dúvidas com o professor durante as aulas
- Fazer propostas às questões do projeto citadas no arquivo `Diretrizes_para_projeto_do_minifoguete_Netuno-R.pdf`, sendo as principais e prioritárias:
  - Qual o comprimento e diâmetro do tubo a ser usado para os equipamentos e sistemas, que será adaptado ao motor?
  - Qual o sistema de localização a usar, seu volume, massa, preço e onde comprar?
  - Qual o sistema de ejeção a usar, seu volume, massa, peças, preço e onde comprar/fabricar?
  - Quais os 2 sistemas de acionamento da ejeção a usar, seus volumes, massas, preços e onde comprar?
  - Quais os 2 altímetros a usar, entre os disponíveis no LAE?