



PROJETO INTERDISCIPLINAR: FOGUETE A PROPULSÃO DE ÁGUA E PRESSÃO DE AR

Letícia Reis Rodrigues – lreisrodrigues@hotmail.com

Augusto Colombaroli Rocha – augustocolombaroli@yahoo.com.br

Renato de Camargo Bortholin – bortholin@gmail.com

Antônio Carlos Marangoni – toninmarangoni@hotmail.com

Universidade de Franca, Departamento de Engenharia de Produção/Mecânica

Av. Dr. Armando Salles Oliveira, 201

14404-600 – Franca – São Paulo

Resumo: *A engenharia possui um campo de atuação muito amplo e a interdisciplinaridade na hora de seu ensino é fundamental para que os estudantes possam ter uma formação completa, unindo teoria e prática. Este trabalho apresenta o passo-a-passo sobre a uma atividade desenvolvida pelo componente curricular denominado “Desenvolvimento de Habilidades do Engenheiro” (DHE) da grade do curso de Engenharia de Produção e Mecânica da Universidade de Franca. O objetivo é divulgar a experiência do desafio de projetar e construir um foguete a propulsão de água e ar, além de calcular a altura máxima, a velocidade e a aceleração atingida. O desenvolvimento do foguete, juntamente com os estudos realizados, mostra como as disciplinas do curso de Engenharia podem se conectar em um projeto simples, mas com riquezas de detalhes que são muito importantes para educar a partir de um processo de integração entre as disciplinas básicas do curso. Os profissionais da área de engenharia são por natureza identificadores, formuladores e solucionadores de problemas das mais diferentes ordens e cada vez mais a solução de tais problemas requer habilidades e competências mais elaboradas, atributos estes resultantes da combinação, do espírito de iniciativa, pró-atividade, criatividade, conhecimento científico e tecnológico, arte, esforço, planejamento e ação. Assim os projetos pedagógicos de cursos atuais e modernos buscam desenvolvê-los em seus estudantes, professores e dirigentes.*

Palavras-chave: *Engenharia, Foguete, Interdisciplinaridade, Projeto.*

1. INTRODUÇÃO

Na maioria das instituições de ensino de engenharia os primeiros anos de faculdade são carregados de teorias, com pouca aplicação prática dos conhecimentos adquiridos, além das matérias serem fragmentadas com um mínimo de inter-relação entre elas, como cálculo, física, programação, álgebra, entre outras. “A atitude de contextualizar e globalizar é uma qualidade fundamental do espírito humano [...]. Pode-se dizer ainda que o conhecimento progride, principalmente, não por sofisticação, formalização e abstração, mas pela capacidade de globalizar” (MORIN, 2005). Sendo assim, a fragmentação do conhecimento restringe a inteligência humana, e faz com que os

problemas sejam subdivididos, não obtendo uma visão macro do que está acontecendo. “As dificuldades nos campos acadêmicos tem, em sua base, a formação acadêmica ainda focada nas contribuições de cada disciplina, o que não simula a realidade profissional” (SCHOR & DEMAJOROVIC, 2002). “A demanda do mundo atual, com toda a tecnologia envolvida, faz com que gere a necessidade da prática interdisciplinar, sendo uma alternativa para superar e vencer a complexidade e os desafios da educação para a vida, fundamentada na dinâmica permanente da autoconstrução e reconstrução do conhecimento” (COSTA, 2009).

Este artigo visa descrever a interdisciplinaridade em um projeto sobre a construção de um foguete à propulsão de água e ar. “Um empreendimento interdisciplinar precisa incorporar os resultados de várias especialidades, com esquemas e análises para que converjam para um resultado” (JAPIASSU, 1976). Espera-se que o projeto desenvolvido contribua consideravelmente para a aplicação dos conteúdos desenvolvidos pelos componentes curriculares: física, cálculo, álgebra, desenvolvendo habilidades de um engenheiro, todos em um só projeto.

O projeto foi desenvolvido com base em uma revisão bibliográfica sobre o assunto e posteriormente documentado em formato de relatório pelos alunos. O método de abordagem foi na forma qualitativa e quantitativa.

Como contribuição científica o presente trabalho oferece, a partir da aplicação da teoria em prática, a visão de interdisciplinaridade entre os componentes curriculares lecionados em sala de aula durante o curso de graduação, bem como suas limitações.

1. MATERIAIS E MÉTODOS

“Projeto é um processo conceitual, cujas expectativas ou exigências de pessoas são sanadas através da realização física destes conceitos” (SLACK *et al.*, 2002). Primeiro foi feita uma pesquisa pelo docente responsável à respeito dos possíveis projetos aplicáveis à Engenharia de Produção, dentre eles foi escolhido o projeto de um foguete à propulsão de água e ar, que tem as mesmas etapas de um projeto maior, tais como: elaboração de um modelo, escopo, desenhos, primeiro protótipo, entre outras etapas.

O foguete desenvolvido consiste em uma garrafa de 1,5 L, que retém água e ar comprimido, acoplado a uma extremidade da base de cano de cloreto de polivinila (PVC) pelo qual é injetado ar na outra extremidade com a ajuda de uma válvula de ar de pneu sem câmara, sendo o foguete fixado em um suporte de madeira para que haja estabilidade durante o disparo.

O processo é simples, a água é introduzida na garrafa antes de transportá-la para a base, logo após inicia-se a pressurização e quando a pressão for a desejada libera-se a trava de segurança, permitindo que o foguete tenha a mobilidade para se deslocar. Como o ar comprimido da garrafa tende a igualar-se a pressão atmosférica, este empurra a água pela boca da mesma, movimentando-a em sentido oposto. Esse fenômeno corresponde à Terceira Lei de Newton (ação e reação) que: “A toda ação há sempre oposta uma reação igual, ou, as ações mútuas de dois corpos sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.”. Considere a Figura (1), para observar a ação e a reação do foguete.

Foram feitos vários testes para medir o volume mais adequado de água, e este foi de 250 mL, pois foi nessa quantidade em que o foguete teve um melhor desempenho (alcançou maior altura).

Utilizou-se conceitos de física para a determinação da altura máxima, da velocidade, da pressão, e em seguida, foram traçados alguns gráficos no software



Figura 1 - Diagrama de Forças.

MATLAB® , advindo da disciplina de computação. Também foi desenvolvido um sistema elétrico para a liberação da trava do foguete. Para facilitar a montagem e o desenvolvimento do projeto e evitar possíveis esquecimentos, os materiais necessários foram listados e separados de acordo com as partes que irão se encaixar, conforme Tabela (1).

Tabela 1 - Listagem de materiais utilizados na elaboração do projeto.

LISTA DE MATERIAIS UTILIZADOS	
Partes montadas	Materiais
<i>BASE DO FOGUETE</i>	- Madeira (40cm x 5cm x 10cm)
	- 90 cm de cano de PVC ½ polegada
	- 1 joelho de PVC que encaixe no cano de ½ polegada
	- 1 CAP furado de PVC que encaixe no cano de ½ polegada
	- 1 bico de pneu sem câmara
	- 1 luva de PVC com redução (40mm x 25mm)
	- 1 luva de PVC sem redução (50mm)
	- 14 braçadeiras de plástico
	- 1 anel de borracha com espessura igual a 10mm de ½ polegada
	- Fita veda rosca
	- Cola Super Bonder
	- Cola para cano de PVC
	- Lixa para cano de PVC
	- Serra para cano de PVC
- Anel de alumínio ajustável	
<i>FOGUETE E PARAQUEDAS</i>	- Uma garrafa de Coca Cola de 1,5L sem tampa
	- Uma garrafa PET de Caca Cola de 2L com tampa
	- Barbante
	- Fita adesiva transparente
	- Tesoura
	- Saco de lixo de 50litros
<i>SISTEMA ELÉTRICO</i>	- Trava Elétrica de carro.
	- 5m de Fio.
	- 1 chave para ativação do sistema.
	- Bateria 12V.
<i>UTILITÁRIOS</i>	- 1 bombinha de ar com manômetro;
	- 1 cronômetro;
	- 250mL de água



3. MONTAGEM DO PROJETO

A partir da metodologia proposta iniciou-se a fase de montagem do projeto.

3.1. Construção da base

O modelo da base do foguete foi desenvolvido para uma melhor estabilidade e menor oscilação de espaço possível no lançamento. Esta base é composta por seções de canos de PVC, acopladas a um bloco de madeira, cujas dimensões estão na Tabela (1). Segue o passo a passo para sua construção:

-1º Passo: Faça um furo no meio de um CAP (material de construção civil, usado para finalizar uma tubulação, normalmente para água) e anexe neste furo uma válvula de ar de pneu, sem câmara de ar.

-2º Passo: com o cano de PVC de ½ polegada, corte 35 cm de comprimento.

-3º Passo: cole esta parte de 35 cm com cola de PVC ao CAP com a válvula de ar.

-4º Passo: na extremidade livre do cano de PVC de 35 cm, anexe (também com cola de PVC) o joelho de mesmo material (também citado na Tabela (1)).

-5º Passo: na extremidade livre do joelho, cole o comprimento do cano de PVC restante (55cm).

-6º Passo: A cerca de 30 cm acima da ligação do joelho de PVC em relação ao cano de 55 cm, desgaste com uma faca uma tira ao redor do cano, para que seja alocado ali um anel de borracha para a vedação do foguete.

7º Passo: Coloque o anel de borracha, como citado no 6º Passo, veja aproximadamente onde terminará a redução da luva de PVC, para que seja alocado outro anel de borracha, para total vedação. Se quiser mais pressão, cubra os anéis de borracha com fita veda rosca. O resultado até o 7º Passo pode ser conferido na Figura (2)

8º Passo: No bloco de madeira, foi fresado um espaço para acoplar perfeitamente a base de PVC construída. Cole, com cola Super Bonder, a parte cujo cano é de 35 cm ao bloco de madeira.

9º Passo: Depois da base desenvolvida, aloca-se a luva de PVC com redução, as abraçadeiras, o anel de alumínio e a luva sem redução, como mostrado nas Figuras (3) e (4).

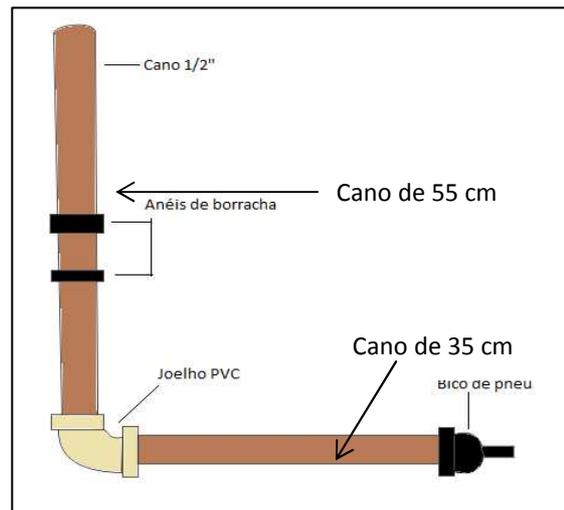


Figura 2 - Esquema da base do foguete em PVC.

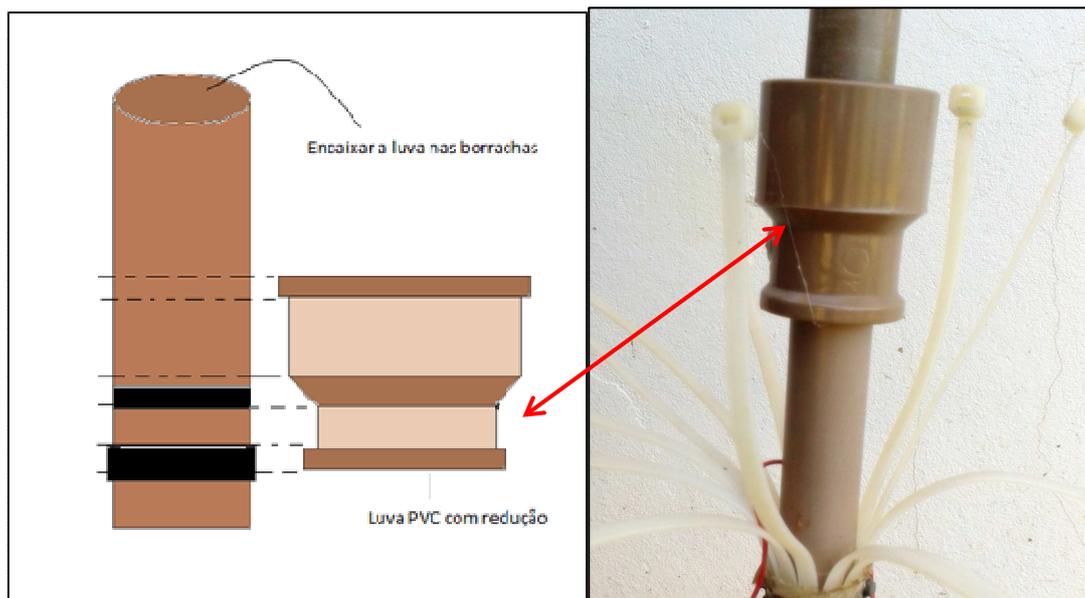


Figura 3 - Detalhe do cano vertical em que se encaixa a boca da garrafa PET.

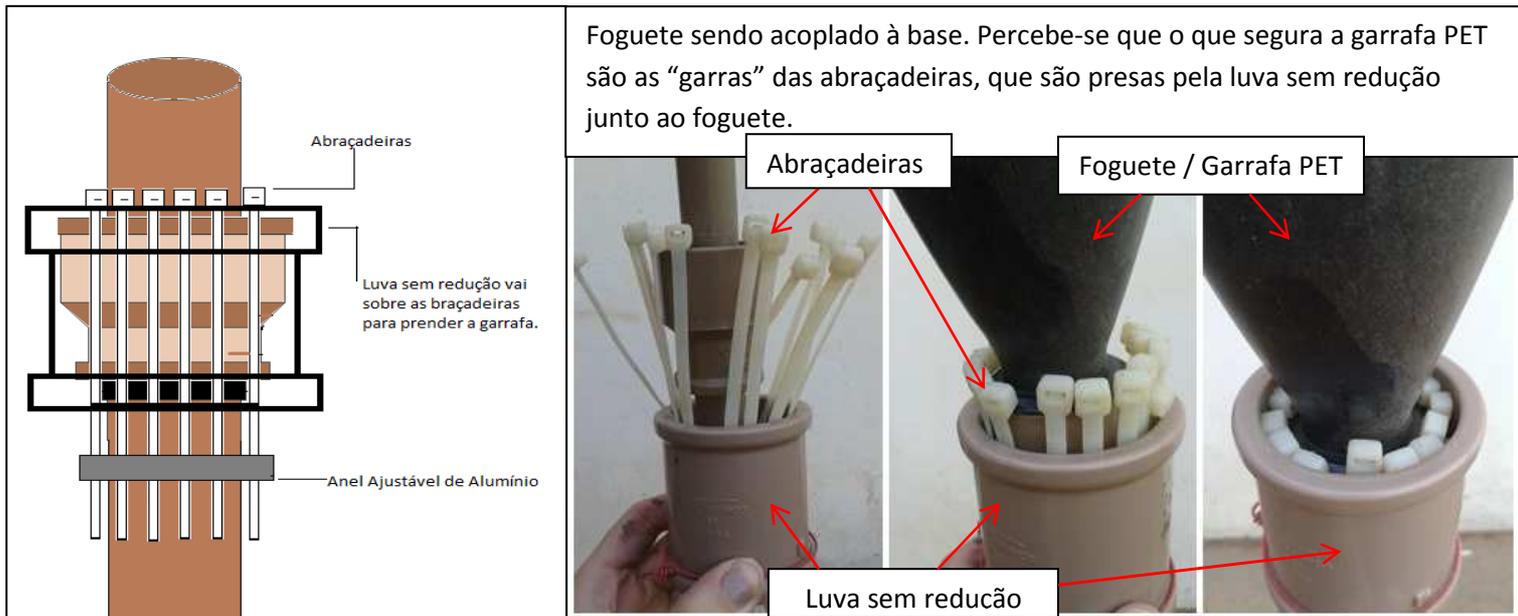


Figura 4 - Abraçadeiras de plástico já presas a um anel ajustável de alumínio.

3.2. Construção do foguete e do paraquedas

Na montagem do paraquedas foi utilizado um saco plástico de 50 litros cortado ao meio e depois transformado em um círculo com 8 furos simétricos em suas extremidades, conforme Figura (5). Nesses furos foram amarrados 8 barbantes com aproximadamente 50 cm cada um. As extremidades livres dos barbantes foram reunidas e foi feito um laço em volta de um fio. Este fio foi preso ao fundo da garrafa PET de 1,5L, com fita adesiva. Paralelamente, de outra garrafa PET de 2 L foi cortado a parte superior ao rótulo que com um pedaço de barbante de 20 cm foi ligada ao fundo, na lateral, com fita adesiva novamente, da garrafa de 1,5 L como observado na Figura (6). A garrafa PET não fica totalmente encaixada no fundo da garrafa de 1,5 L e isto é necessário, pois quando lançado o foguete essa ponta sairá fazendo com que o paraquedas abra. O paraquedas tem que ser dobrado ao meio e depois sanfonado na sua horizontal e vertical, respectivamente, isto é essencial para que ele funcione.



Figura 5 - Materiais e formato do paraquedas.

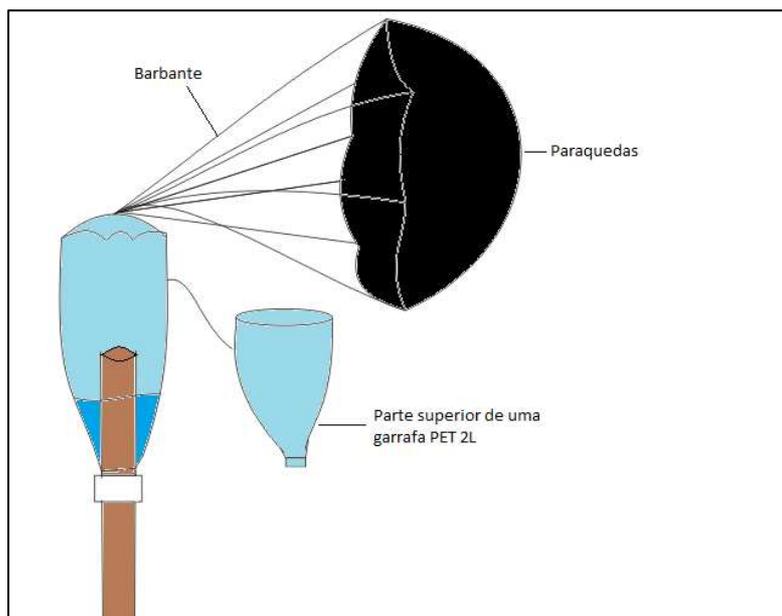


Figura 6 - Esquema de como o paraquedas é preso no foguete.

3.3. Sistema Elétrico

No anel de borracha, localizado no cano de PVC que está na vertical, foi instalado uma luva de PVC com redução aonde a garrafa apoiou-se. Ao redor da redução foram colocadas 14 braçadeiras de plástico que fixaram a garrafa até o sistema elétrico ser acionado. A trava elétrica de carro ficou ligada à bateria de 12 V, a uma chave para ativá-la e à luva de PVC sem redução. Tudo isso pode ser visto nas Figuras (7) e (8).

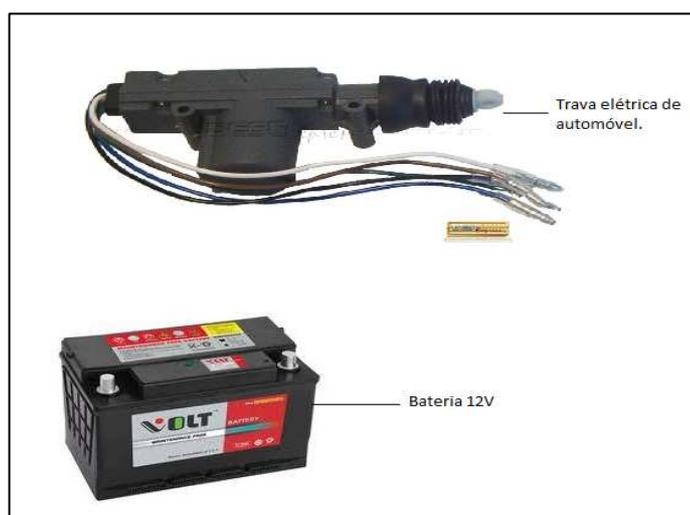


Figura 7 - Trava elétrica e a bateria utilizada.

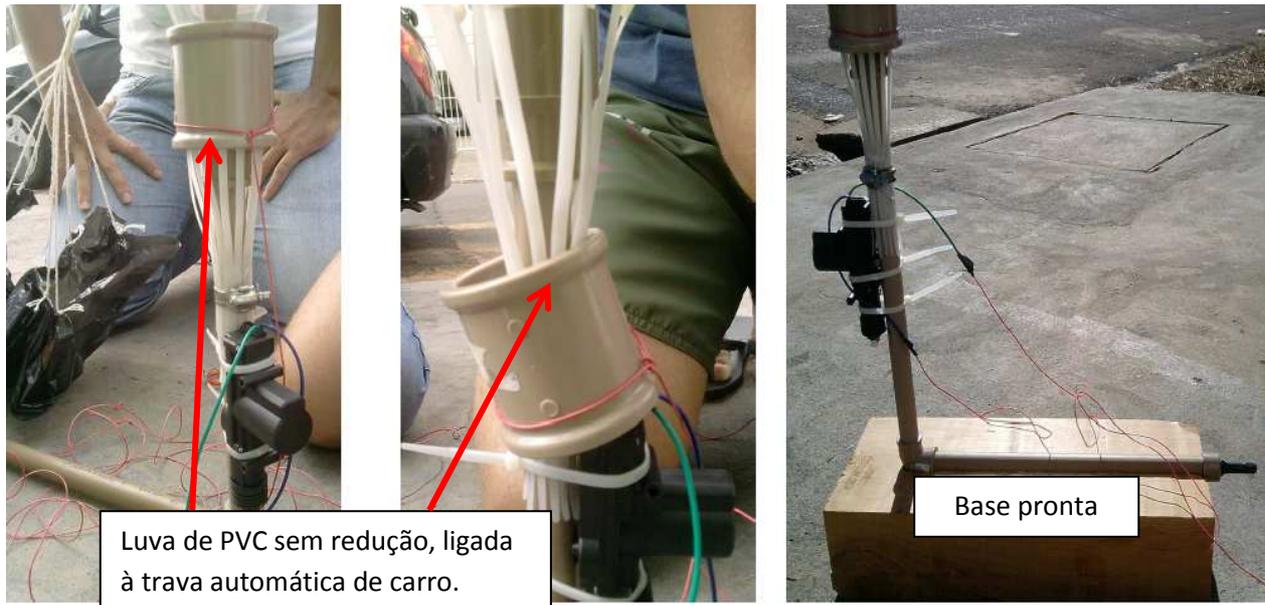


Figura 8 - Fotos do sistema elétrico.

4. Cálculos das variáveis do projeto

Utilizando-se de conceitos de cinemática escalar desenvolvidos em Física I durante o 1º semestre do curso, foram feitos cálculos para determinar a altura atingida e assim melhorar o desempenho do projeto.

1º Passo: Dividir o tempo que foi cronometrado, como mostrado na Equação (1), (cronometrado desde o lançamento até a “aterrissagem”), pois o tempo de subida tem que ser o mais próximo do real.

$$\text{Tempo de Subida} = t/2, \text{ onde } t \text{ é o tempo total cronometrado.} \quad (1)$$

2º Passo: a partir do resultado calculado na Equação (1) foi calculado a velocidade inicial que o foguete foi lançado, a partir da equação (2), com aceleração da gravidade no valor de $9,8 \text{ m/s}^2$, no sentido contrário ao movimento.

$$V = V_0 - g.t \quad (2)$$

A velocidade final será igual a 0 (zero) pois a equação de um projétil lançado no ar, é uma parábola, logo sua derivada é uma equação linear da velocidade, visto que a derivada (que determina a inclinação da parábola no plano cartesiano) resulta em 0 no ponto mais alto (RESNICK & HALLIDAY, 1984), ou seja, essa velocidade é referente a quando o foguete atinge sua altura máxima e começa a descer.

3º Passo: a equação de Torricelli, Equação (3), deve ser utilizada para determinar a altura máxima atingida, conforme.

$$V^2 = V_0^2 - 2.g.h \quad (3)$$

As tabelas (2) e (3) e as figuras (9) e (10) abaixo mostram os resultados dos testes para aperfeiçoamentos do desempenho do foguete, considerando as melhorias feitas na estrutura e na quantidade de água utilizada.

Conforme o projeto foi sendo desenvolvido, percebeu-se que dependendo da quantidade de água e pressão utilizada, a altura variava, mostrado em números na Tabela (2) e em representação gráfica na Figura (9). Do teste 1 ao teste 4, foram variadas as quantidades de água, da maior à menor quantidade de água, respectivamente. A pressão também variava conforme a quantidade de água utilizada, pois o foguete foi solto assim que a água começasse a vazar.

Tabela 2 - Testes relacionados com seu tempo de percurso e altura alcançada.

Testes	Tempo total (s)	Altura (m)
1º teste	3,1	11,77
2º teste	5,25	33,76
3º teste	7,61	70,94
4º teste	8,68	92,29

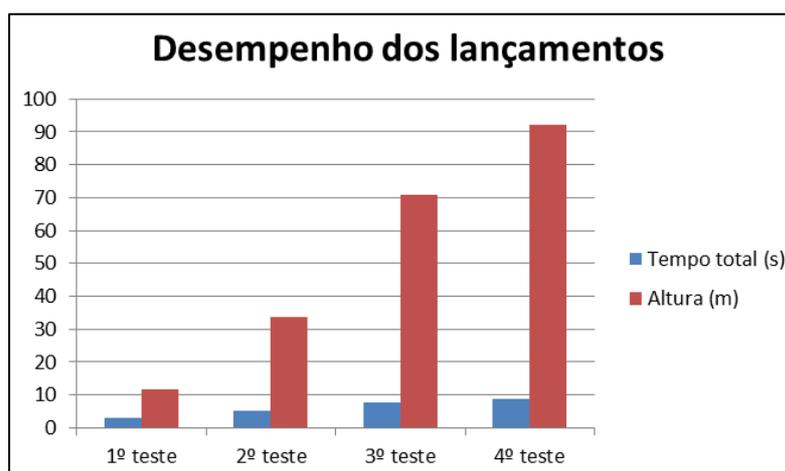


Figura 9 - Representação gráfica dos testes de lançamento do foguete.

Vendo que a quantidade de água foi fundamental para o desempenho do foguete, depois da primeira bateria de testes, foram realizados mais os testes 5, 6 e 7; mudando a variável 'quantidade de água', conforme indicado os valores obtidos na Tabela (3) e Figura (10).

Tabela 3 - Testes para aperfeiçoamentos relativos à quantidade de água injetada no foguete.

Testes	Quantidade de água (mL)	Tempo total (s)	Altura (m)
5º Teste	250	8,71	92,93
6º Teste	500	2,5	7,65
7º Teste	100	3,02	11,17

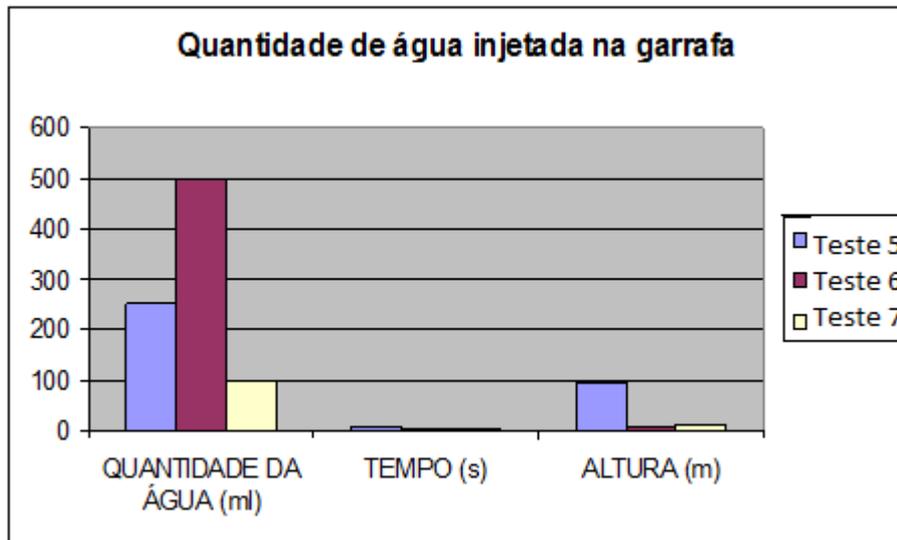


Figura 10 – Relação quantidade de água x tempo x altura para diferentes configurações.

Nos testes representados pelo gráfico acima é notada uma variação entre quantidade de água injetada na garrafa comparada com o tempo e a altura atingidos pelos foguetes. Percebe-se que, entre os experimentos o que houve melhores resultados foi o foguete com 250 mL de água, isso pode se explicar ao confrontar as três leis de Newton e a Equação (4), esta equação corresponde à compressão isentrópica de um gás perfeito.

$$P = P_o(V_o / V)^\gamma \quad (4)$$

Onde:

P = Pressão resultante

P_o = Pressão inicial dentro da garrafa

V_o = Volume de ar dentro da garrafa com água

V = Volume da garrafa

$\gamma = 1,4$ o ar é ser considerado um gás diatômico (hidrogênio na sua forma molecular (H_2), este número representa a razão entre os calores específicos.

Calculando a pressão resultante de cada garrafa obteve-se a tabela 4.

Tabela 4 - Relação entre volume de água testados, pressão, volume de ar, volume da garrafa, γ e pressão resultante.

Quantidade de água (mL)	Pressão inicial (psi)	Volume de ar (mL)	Volume da garrafa (mL)	γ	Pressão resultante (psi)
250	100	1250	1500	1,4	77,47
500	100	1000	1500	1,4	56,68
100	100	1400	1500	1,4	90,79

A partir do cálculo da pressão resultante é notável que a garrafa com 100mL de água daria melhores resultados comparada com as outras garrafas, mas não foi isso o ocorrido, pois, existem outras influências. Influências essas que envolvem a três leis de Newton.

A 1ª Lei de Newton enunciada com as seguintes palavras “Qualquer corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que seja obrigado a modificar tal estado por forças aplicadas a ele”, ficou conhecida como a lei da inércia (RESNICK & HALLIDAY, 1984). De acordo com esta lei, pode-se concluir que a garrafa mais cheia tende a sofrer menos impactos do ar durante seu trajeto, pois, essa lei está diretamente ligada à massa das substâncias utilizadas. Assim concluem, a partir dessa lei, que a garrafa com 500 mL seria mais adequada para se atingir os objetivos ao realizar um foguete de ar e água.

A 2ª Lei de Newton pode ser resumida na equação onde a somatória das forças que atuam sobre um corpo é igual à massa multiplicada pela aceleração (RESNICK & HALLIDAY, 1984). Assim, conclui-se que quando se tem forças de módulos iguais (no caso da força exercida para o lançamento do foguete), o foguete mais cheio possui menos aceleração e assim, atingiria uma menor altura. Dessa lei, a garrafa com 100 mL apresenta melhores resultados.

A 3ª Lei de Newton foi enunciada com as seguintes palavras: “A cada ação, sempre se opõe uma reação igual, ou seja, as ações mútuas de dois corpos, um sobre o outro, são sempre iguais e dirigidas para partes contrárias” (RESNICK & HALLIDAY, 1984). Com esta, analisa-se um melhor desempenho na garrafa que possui mais massa para ser expelida, pois, ela causa uma melhor reação no foguete em relação à altura atingida.

Com isso, pode-se concluir, a partir de um confronto entre elas, que a garrafa com 250mL obteve melhores resultados, porque ela foi o teste que mediou todas as reações e impactos sofridos pela garrafa durante seu lançamento e percurso.

6. Resultados e discussão

A interdisciplinaridade entre conceitos do projeto foi muito proveitosa. Por ser um projeto aplicado nos cursos de engenharia da universidade, ficou evidente que apesar dos esforços por parte dos docentes e da grande variedade de bibliografia das disciplinas ainda assim os problemas presentes em projeto não são facilmente correlacionados em sala de aula. A interdisciplinaridade é fundamental em um curso de engenharia, que envolve tecnologia e prática do conhecimento adquirido em sala de aula.

No presente projeto, o material foi proposto pelo docente da disciplina, mas é importante ressaltar que a partir de conceitos de ciência dos materiais poderiam ser comparados diferentes materiais e a partir disso utilizar-se do melhor deles.

Alguns resultados, embora justificados com equações e hipóteses simplificadas, não condizem corretamente com a realidade. À medida que o foguete sobe, ele perde água e pressão, tem atrito com o ar, entre outros fatores, para calcular esse movimento conseguir a otimização da equação, precisa-se utilizar do cálculo aplicado na física e de algumas considerações, tornando o trabalho bastante complexo.

Portanto, como pôde ser observado durante esse artigo e, para a melhor preparação do estudante para o mercado de trabalho e suas intempéries, é bastante interessante a aplicação anual de projetos que necessitem da correlação das disciplinas lecionadas em conjunto com os conhecimentos adquiridos pelos alunos. Gerando assim pessoas mais preparadas para as grandes adversidades do mundo globalizado atual.

7. REFERÊNCIAS:

- COSTA, A. P. da. *A interdisciplinaridade como prática educacional tecnológica em apicultura: estudo de caso da Escola Agro Técnica Federal de Castanhal*, PA. 2009. 81p. Dissertação de Mestrado – UFRRJ
- JAPIASSU, Hilton. *Interdisciplinaridade e patologia do saber*. Rio de Janeiro: Imago, 1976.
- MORIN, Edgar. *Educação e complexidade, os sete saberes e outros ensaios*. São Paulo: Cortez, 2005.
- RESNICK, Robert; HALLIDAY, David. *Física: 1*. 4º ed., Rio de Janeiro: LTC – Livros técnicos e científicos editora, 1984.
- SCHOR, T.; DEMAJOROVIC J. *Interdisciplinaridade em educação ambiental: utopia e prática*. Anais: I Encontro da Associação Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade. Indaiatuba, 2002.
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. *Administração da Produção*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

INTERDISCIPLINARY PROJECT: THE ROCKET PROPULSION OF WATER AND AIR PRESSURE

Abstract: *The engineering has a playing field too broad and the interdisciplinarity at the time to teach is fundamental so that the students can have a complete formation, linking theory and practice. This work shows step by step about an activity developed by the curricular component named “Engineers’ Skills Development” (in Portuguese, “Desenvolvimento de Habilidades do Engenheiro”) of curriculum in the course of Production Engineering and Mechanic Engineering on Universidade de Franca. The goal is disclose the experience of the challenge of design and build a rocket propulsion by water and air, beyond calculate the maximum higher, the speed and the achieved acceleration. The development of the rocket, together with the studies performed, shows how this discipline in the course of Engineering can connect on a simple project, but with a wealth of details that are very important to educate from a process of integration between the basic disciplines of the course. The professionals in the field of engineering are by nature identifiers, makers and problem solvers from different orders and increasingly the solution of such problems requires skills and competencies more elaborate, these attributes resulting from the combination of initiative, pro-activity, creativity, scientific and technological knowledge, art, effort, planning and action. Thus the pedagogical projects of current courses and modern look to develop them in their students, teachers and leaders.*

Key-words: *Engineering, Rocket, Interdisciplinarity, Project.*