

APLICAÇÃO DOS PROCESSOS DE PROJETO DE ENGENHARIA PARA DESENVOLVIMENTO DE UM PRÓTOTIPO DE TANQUE COM CANHÃO DE AR

José Airton Neiva Alves da Silva Brasil, airton.bra@gmail.com¹

Antônio Marcos Feitosa da Silva, antomarcos_engmecanica@ig.com.br¹

Jotuanderson Pereira Gomes, jotuanderson@gmail.com¹

Nícolas da Silva Dias, nicolas_idias@hotmail.com¹

Adriano do Amor Divino Guilhon Serra, adrianodoamor01@gmail.com¹

¹ Universidade Estadual do Maranhão, Cidade Universitária Paulo VI, s/n - São Cristovão, São Luís - MA, 65055-000

Resumo: O artigo a seguir tem como objetivo demonstrar a aplicação dos processos de projeto de engenharia para o desenvolvimento de um canhão de tanque de guerra, desde os cálculos iniciais acerca do fluxo interno e acionamento pneumático até a validação por meio de testes. Foi utilizada a metodologia de projeto que segue o fluxo recomendado por Norton (2013), onde há dez etapas, sendo elas: identificação da necessidade, pesquisa de suporte, definição de objetivos, especificação de tarefas, síntese, análise, seleção, projeto detalhado, protótipo e teste e produção.

Palavras-chave: projeto, engenharia, canhão, pneumática, tanque

1. INTRODUÇÃO

Segundo Norton (2013) um projeto de engenharia consiste na aplicação das várias técnicas e princípios científicos com o intuito de definir um dispositivo, um método ou um sistema suficientemente pormenorizado para permitir sua realização. Ou seja, um projeto deve resolver uma situação problema, onde podem existir várias soluções, cabendo ao engenheiro escolher a que melhor se adequa ao seu ambiente.

Neste caso a situação problema era que deveria ser desenvolvido um corpo de tanque de guerra que coubesse em um cubo de dimensões de 80 cm de comprimento, por 50 de largura e 50 de altura, além escolher o melhor modo de acionamento para um lançamento de um projétil de cerca de 32 mm de diâmetro e aproximadamente 40 gramas, sendo assim foi pensado em três soluções: a utilização da energia potencial elástica para impulsionar o projétil, utilização de ar comprimido, ou uso de combustão por pólvora, sendo assim foi escolhido o ar comprimido pois também havia o interesse de estudar a ação pneumática. Sendo assim, o tanque de guerra chamado de “Airton de Destruição em Massa (ADM)”, em desenvolvimento, vem atender as necessidades do projeto e futuramente pretende atender as do mercado.

Primeiro foram analisadas as dez etapas de projeto:

1. **Identificação das necessidades:** consiste em uma exposição mal definida e vaga do problema;
2. **Pesquisa de suporte:** definição e compreensão completa do problema;
3. **Definição dos objetivos:** estabelecimento de forma razoável e realista dos objetivos;
4. **Especificação de tarefas:** criação de um conjunto detalhado que fecham o problema e limitam seu alcance;
5. **Síntese:** busca tantas alternativas de projeto quanto possíveis, geralmente sem considerar seu valor ou qualidade;
6. **Análise:** as possíveis soluções da etapa anterior são analisadas e aceitas, rejeitadas ou modificadas;
7. **Seleção:** a solução mais promissora é selecionada;
8. **Projeto detalhado:** é onde se encontra todos os cálculos, croquis de engenharia feitos, fornecedores identificados, especificação de fabricação definidas, entre outros fatores;
9. **Protótipo e teste:** primeira construção real do projeto;
10. **Produção:** produção em larga escala.

Após selecionar o modelo de lançamento do projétil foi necessário fazer os cálculos para poder iniciar a construção do mesmo, desse modo, para o modelo do “Airton de Destruição em Massa” foi escolhido o modelo de canhão a gás. A forma de acionamento do canhão é feita pela expansão adiabática de gás através do tubo, como mostra a Figura 1, que faz com que o projétil seja jogado para frente pela força do gás em expansão. Ele tem a vantagem sobre o modelo de um atirador convencional a pólvora em vários aspectos, como: maior segurança, além de que a dinâmica interna de um canhão de ar é muito mais simples de entender, tendo em vista que é mais fácil estudar um modelo de expansão de gás constante

que um modelo aleatório de um mecanismo a explosão. A dinâmica do projétil após sair do canhão é de fácil entendimento, porém, os cálculos precisam de uma boa análise das condições iniciais para encontrar a velocidade de saída. A Figura 1 apresenta três modelos da expansão do gás no canhão de ar: O gás expande adiabaticamente (a), o gás de um recipiente pressurizado expande isotermalmente (b), a expansão do gás é limitada por uma válvula (c).

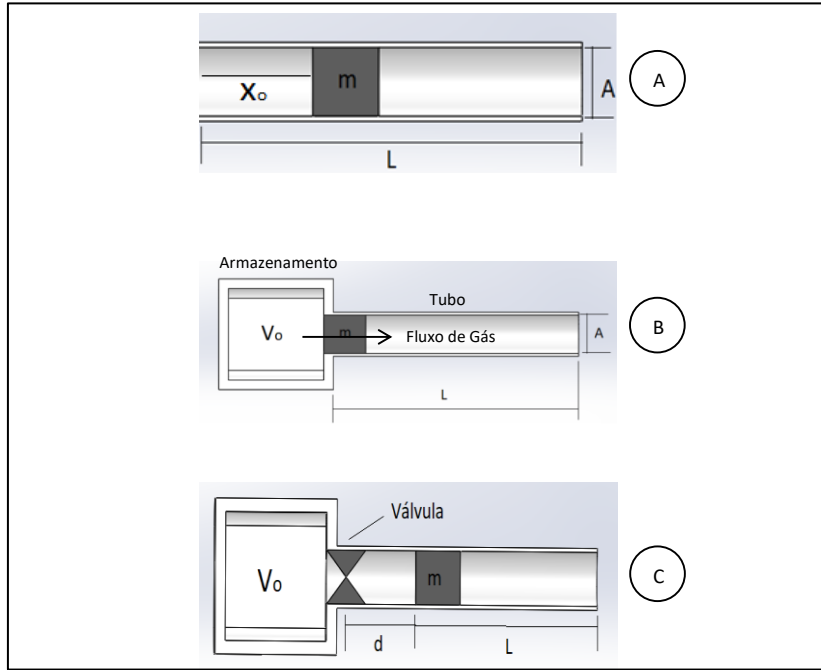


Figura 1: Esquema de funcionamento do canhão

Segundo Mugan (2009) o conceito básico por trás de um canhão de ar é um reservatório com um volume V_o é pressurizado a uma pressão P_o . O reservatório deve ser conectado a um tubo de área A e carregado com um projétil de massa m . O gás expande no reservatório, a pressão acelera o projétil ao longo de um comprimento L , saindo do canhão a uma velocidade v .

A velocidade de saída será encontrada em função das condições iniciais. Para o modelo inicial ilustrado na Figura 1 o ar do reservatório (de volume $V_o = Ax_o$) expande isotermalmente e quasistaticamente. Assumindo que não há perdas de ar, existem três forças atuando no canhão, são elas: $AP(x)$ devido à pressão do gás, a força contrária AP_{atm} da pressão atmosférica e uma força contrária de arrasto f . Utilizando como base a Segunda Lei de Newton, temos a Eq. (1):

$$F = m \frac{dv}{dt} = mv \frac{dv}{dx} = AP(x) - AP_{atm} - f \quad (1)$$

Assumindo uma expansão isotermal e quasistática encontramos a Eq. (2):

$$P(x)(V_o + Ax) = P_o V_o \quad (2)$$

Assim podemos obter a Eq. (3):

$$mv \frac{dv}{dx} = A \left(\frac{P_o V_o}{(V_o + Ax)} - P_{atm} \right) - f \quad (3)$$

Considerando a velocidade na saída para formar a Equação (4), ou seja, $x = L$, temos:

$$v = \sqrt{\frac{2}{m} \left(P_o V_o \ln \left(1 + \frac{AL}{V_o} \right) - ALP_{atm} - Lf \right)} \quad (4)$$

Assim já obtemos a equação que será utilizada como base para o dimensionamento do canhão, o próximo passo é construir um “corpo” de tanque para acoplar o canhão, o ADM foi projetado com base no “Medium Mark C”, encontrado na Figura 2, que tinha as seguintes especificações, mostrado na Tabela 1.



Figura 2: Medium Mark C.

Tabela 1. Especificações do Medium Mark C.

Medium Mark C 'Hornet'	
Dimensões	7.92 m x 2.9 m x 2.54 m
Peso total	19182 Kg
Carenagem	Alumínio
Suspensão	Trilhos e rolamentos
Velocidade	13 Km/h
Armamento	4 x metralhadoras hotchkiss, rifles e lançadores de granadas

2. METODOLOGIA

Todo procedimento a seguir foi feito utilizando a metodologia de projeto descrita por Norton (2013), seguindo todos os nove primeiros tópicos, o decimo não pode ser concluído, pois demandaria de maquinário e custos não acessíveis no presente momento.

O primeiro tópico é a “Identificação das necessidades”, cuja a necessidade inicial é desenvolver um protótipo de tanque de guerra que coubesse em um cubo de dimensões de 80 cm de comprimento, por 50 de largura e 50 de altura, e lançar um projétil de cerca de 32 mm de diâmetro e aproximadamente 40 gramas. Além da necessidade de mercado, pois novos sistemas de segurança como: radares, sistema de comunicação, armas e entre outros vêm se tornando um seguimento de negócio lucrativo, pois conflito de interesse tanto entre nações como civil está se tornando uma situação corriqueira. Estudos mostram que de 162 países estudados pelo IEP (Institute for Economics and Peace's), apenas 11 não estão envolvidos em nenhum tipo de guerra, ou seja, confirmando uma grande oportunidade de negócio para investidos que lucram e tornam possível o surgimento de novas tecnologias bélicas.

O segundo tópico é a “Pesquisa de suporte”, onde foi desenvolvido o modelo matemático, que resultou na Equação (4) citado anteriormente, o modelo de canhão de ar foi escolhido para a pesquisa pois também havia o interesse no estudo dessa área.

O terceiro tópico consiste na “Definição de objetivos”, os principais objetivos para o projeto do canhão são baseados em três pilares, que são:

- **Segurança:** o sistema do canhão conta com válvulas de acionamento unidirecionais e de segurança, para evitar que o usuário seja exposto a situações de perigo;
- **Precisão:** com um sistema de controle do ângulo de disparo e da potência transmitida ao projétil, possibilitamos ao nosso equipamento menor desperdício de energia e munição, proporcionando maior confiabilidade quanto ao objetivo de atingir alvo pré-determinado;
- **Competitividade:** Compacto e de fácil manutenção com dimensões reduzida e mais leve o ADM foi desenvolvido com estrutura simplificada. As peças para reposição do armamento bélico são facilmente encontradas no mercado, permitindo a manutenção mais ágil e reparo mais eficaz com custo mínimo.

No quarto tópico, a “Especificação de tarefas”, definiu-se os objetivos a serem alcançados e tarefas a serem cumpridas. As barreiras impostas pelo projeto se dividem basicamente no disparo de um projétil e no espaço em que o mesmo ocupa.

O disparo tem como finalidade a utilização de uma bolinha de gude, especificamente uma conhecida como “cocão”, como projétil para atingir um alvo de 1 m de altura a uma distância de 2 m, refletindo assim a capacidade de precisão do canhão.

Como uma tarefa a ser executada para a fabricação do protótipo, é dada pelo requisito de que não se devem ultrapassar as dimensões encontradas no volume de 80 x 50 x 50 cm, esta determinação induz a característica de compactação, mostrando que as habilidades e desempenho do tanque não sejam alterados recorrentes a proporção de seu tamanho.

Uma das tarefas que foram ausentadas ao projeto é da não obrigatoriedade da locomoção autônoma do tanque de guerra o que acaba sendo uma limitação favorável, pois com isso se ganha em soluções com menos pesos e até mesmo melhores resultados estéticos.

O quinto tópico é a “Síntese”, nesse tópico foram mostrados os possíveis métodos de acionamento de disparo do projétil, sendo eles: disparo por explosão, disparo por ar comprimido e disparo por energia elástica. A explosão que ocorre devido à queima de pólvora em uma arma faz com que o projétil seja arremessado do cano e assim percorrer uma distância considerável quando comparada a outros sistemas. A utilização de ar comprimido para o disparo de um corpo pode se equiparar a de pólvora dependendo da forma com que é feita a montagem, e projeto de ambas. A forma mais arcaica é encontrada na utilização de um aparato que tenha propriedade elástica suficiente para o lançamento, um exemplo bem simples é a utilização de um estilingue.

No sexto tópico de “Análise” os três modelos de disparo do quinto tópico foram analisados, onde dois seriam rejeitados, o modelo de disparo por explosão foi rejeitado por vários motivos como: dificuldade para achar a velocidade inicial do projétil ao sair protótipo e falta de segurança ao utilizar componentes inflamáveis; o modelo de disparo que utiliza a energia elástica foi rejeitado, pois apesar de sua segurança e fácil modelagem matemática, o protótipo teria que se adaptar as molas disponíveis no mercado, devido a rigidez das mesmas, além do que é, de certa forma, difícil de controlar a energia aplicada, podendo perder a confiabilidade devido à falta de precisão.

No sétimo tópico a “Seleção” já mostra o modelo selecionado, o de canhão a ar, por ser de fácil modelagem, possibilidade de alcançar altas distâncias dependendo da pressão aplicada e geometria do canhão, o controle de pressão aplicado permite um maior controle na distância que se quer alcançar, ou seja, tem a maior precisão entre os três modelos apresentados no quinto tópico, zero emissão de gases poluentes, além da proposta de iniciar um estudo para criar um modelo numérico para encontrar a velocidade do projétil ao sair do tubo, esse modelo foi encontrado na Equação (4).

O oitavo tópico é um dos mais importantes, o “Projeto detalhado”, aqui será exposto todos os croquis de engenharia, cálculos e simulações.

Tendo posse da Equação (4) foi utilizado um modelo numérico com auxílio do matlab para descobrir até onde o projétil chegaria tendo em vista que o tanque seria testado dentro da universidade, com público espectador, logo usaríamos uma pressão de apenas 8 atm e um reservatório de 24 L, para garantir que mesmo se acertasse alguém ou um veículo não causaria grandes danos, então através da Equação (4) foi encontrada uma velocidade inicial de 6.72 m/s, e sabendo a equação de Lançamento horizontal, podemos descobrir a trajetória do projétil, então utilizando um ângulo de 45°, o resultado é mostrado na Figura 3.

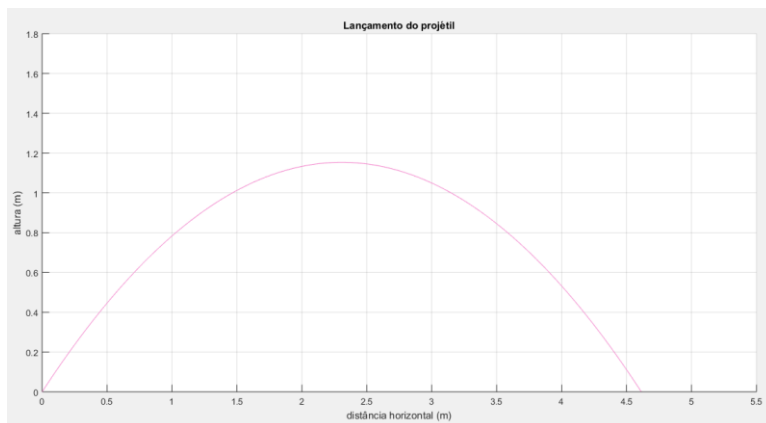


Figura 3: Trajetória do projétil lançado com 8 atm.

Também foi necessário projetar o corpo do tanque, com auxílio de um software CAD o mesmo foi projetado como mostrado na Figura 4, e suas medidas principais são mostradas na Figura 5.

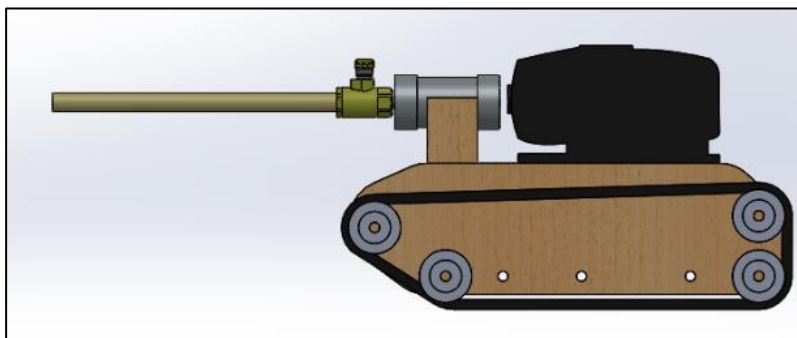


Figura 4: Modelo inicial do Airton de Destruição em Massa.

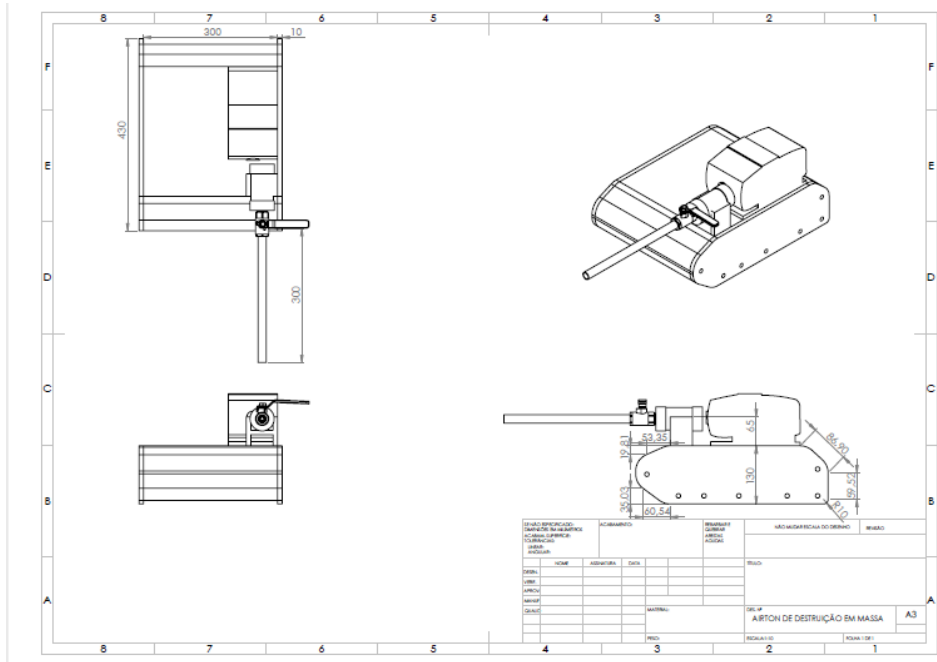


Figura 5: Croqui com as principais medidas do tanque.

O tubo tem sua angulação ajustável e atira a partir de uma altura que varia de 0,45m a 0,55m, pois está posicionado acima do tanque, foi-se então recalculado a trajetória do projétil, como pode ser visto na Figura 6, e o protótipo construído pode ser observado na Figura 7.

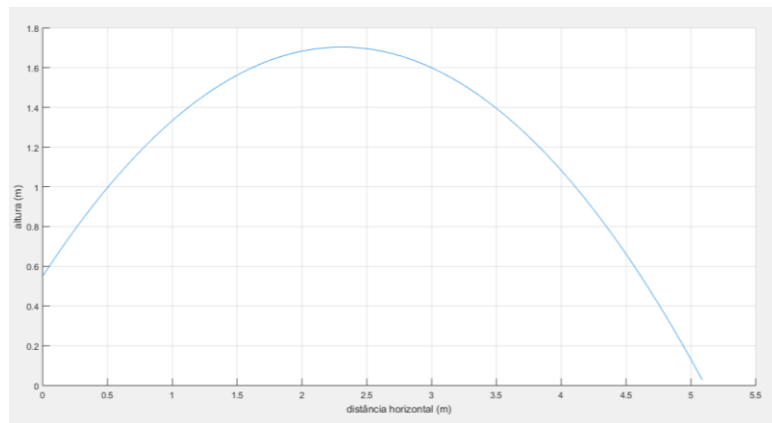


Figura 6: Trajetória do projétil a 45° e altura de 0,55m.



Figura 7: Protótipo do canhão e tanque.

Então, já estando no nono tópico do projeto, “Protótipo e teste”, foi construído um alvo dividido em 5 segmentos, mostrado na Figura 8, para testar a precisão do protótipo e validar os cálculos referentes a construção do canhão e trajetória, para acertar o alvo a 1 m de altura e 4 m de distância foi escolhido o ângulo de 42° .



Figura 8: Alvo segmentado.

Então, novamente, com auxílio do matlab foi feito mais uma trajetória, como mostrada na Figura 9, onde percebe-se que para o ângulo de 42° é esperado o projétil acertar um local próximo do centro, e logo após o teste real, como mostrado na Figura 10.

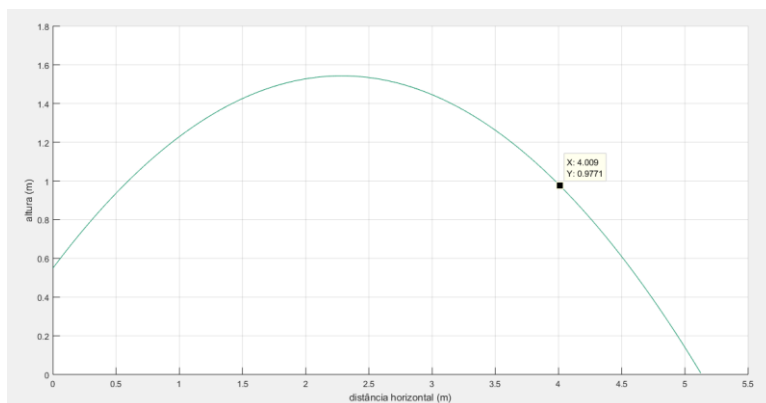


Figura 9: Trajetória para um ângulo de 42° .



Figura 10: Teste realizado para validação.

Durante o teste o segmento acertado foi o de número 2, apesar de não ter sido o central, foi bem próximo, o que já era esperado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo inicial para a construção do tanque foi seguir os conceitos de projeto de engenharia, sendo seguidos nove dos dez tópicos listados a seguir:

- **Identificação das necessidades:** Construção de um protótipo de canhão capaz de atirar um projétil e projetar o um corpo em forma de tanque de guerra para acoplá-lo;
- **Pesquisa de suporte:** Foi possível analisar o modelo de canhão a ar, suas equações para dimensionamento e foi possível, também, escolher um tanque já criado como base para confecção do corpo do protótipo;
- **Definição de objetivos:** Foram definidos os principais objetivos do canhão, baseado em três pilares, sendo eles: segurança, precisão e competitividade;
- **Especificação de tarefas:** Foi definido os objetivos a serem alcançados e tarefas, limitadas por barreiras no disparo, na segurança e no espaço que o protótipo ocupa;
- **Síntese:** Foram analisados outros modelos para o acionamento do disparo, sendo eles por: explosão, ar comprimido e energia elástica;
- **Análise:** A partir das possíveis soluções descritas na seção anterior, o objetivo nesta parte do projeto é analisá-las e criar um modelo para tanque, foi escolhido o acionamento por ar comprimido por apresentar vantagens como: zero emissão de gases poluentes, além disso, este tipo de acionamento é mais simplificado para modelar, além do que outra proposta desse projeto é criar um modelo numérico para encontrar a velocidade do projétil ao sair do tubo;
- **Seleção:** O modelo para o tanque de guerra proposto foi apresentado com suas principais características, com acionamento via expansão a gás, carenagem de MDF, etc.;
- **Projeto detalhado:** Mostra detalhes dos processos de construção do canhão (passo-a-passo da montagem, fornecedores, processo de fabricação e etc.) executada na construção do canhão ADM;
- **Protótipo e teste:** Depois do tanque montado foram realizados alguns testes para validar a modelagem da velocidade de disparo e da precisão do disparo, utilizando um alvo e variando o ângulo do canhão;
- **Produção:** Não foi possível concluir essa etapa, pois seria a produção em massa e só foi feito o protótipo para validar o modelo.

Já referente a validação do protótipo observou-se que o resultado foi próximo do esperado, pois esperava-se que o projétil ia acertar o alvo se utilizasse um ângulo de 42° durante o lançamento, mas não exatamente no centro, pois como mostrado na Figura 10, o projétil não acertaria exatamente em 1 m de altura, mas sim próximo, em 0,97 m, porém esse foi o ângulo escolhido para facilitar o posicionamento do canhão por quem iria utilizá-lo, esse é outro fator que influencia na precisão do protótipo, pois também depende da capacidade do atirador em acertar o alvo.

As especificações finais do protótipo são encontradas na Tabela 2.

Tabela 2. Especificações do Airton de Destruição em Massa.

Airton de Destruição em Massa (ADM)	
Dimensões	44.7 cm x 14.5 cm x 32.2 cm
Carenagem	MDF
Suspensão	Trilhos e rolamentos
Alcance máximo	5.2 m
Armamento	Canhão de ar

Após validar o protótipo inicial também pode-se ser considerado o mesmo modelo para pressões maiores, como será mostrado na Figura 11, mostrando que esse modelo reduzido pode ser melhorado e lançar projéteis em grandes distâncias.

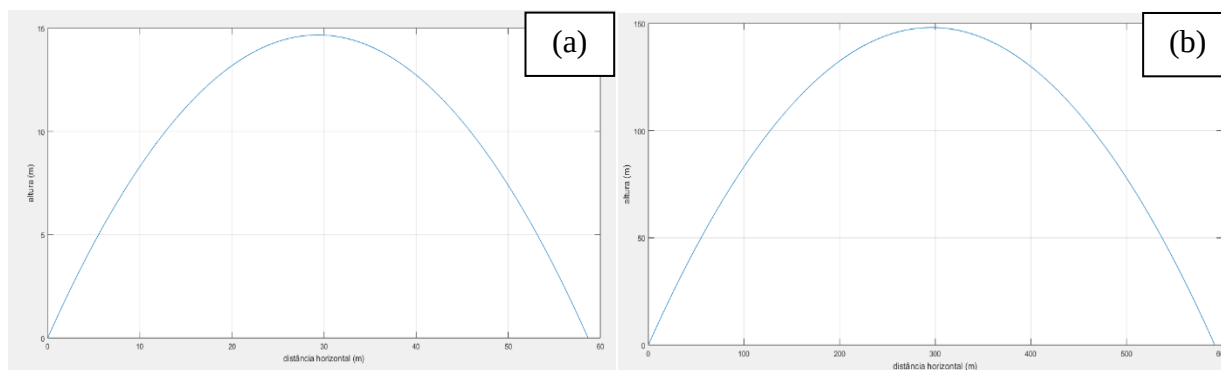


Figura 11: Simulação da trajetória do projétil. (a) 100 atm; (b) 1000 atm.

Além disso observou-se que o modelo do protótipo final do tanque ficou diferente do modelo em CAD, servindo para mostrar um dos problemas em projeto de engenharia que é as mudanças durante as etapas do processo, nesse caso isso se deve aos materiais disponíveis para construção e por querer encontrar um método mais fácil de construir o tanque, porém mesmo assim ele serviu para cumprir os objetivos e tarefas indicados no tópico de “Definição de objetivos” do projeto de engenharia.

4. CONCLUSÃO

Foi possível concluir que a formulação de um plano para um projeto de engenharia ajuda a criar um projeto que siga os objetivos iniciais previamente escolhidos, mesmo que haja diferenças entre o resultado final e o projeto inicial, desde que não haja perda de função e objetivo, tendo em vista que, o processo de projeto não é linear, ao contrário, a iteração é necessária ao longo de todo o processo, indo de qualquer etapa de volta a uma etapa anterior, em todas as combinações possíveis e repetidamente (Norton, 2013)

Além de que foi possível validar o modelo de canhão de ar proposto, tanto através de cálculos quanto por testes reais. Podendo ser utilizado futuramente para aplicações maiores até mesmo em setores bélicos, ou aplicações menores para diversão, por exemplo.

5. REFERÊNCIAS

- Aguiar, C.E.; Rubini, G., 2004, “A aerodinâmica da bola de futebol”, Revista Brasileira de Ensino de Física, Brazil, Vol. 26, pp. 297-306.
- Ferreira, P.; Rino, J.P., 2006, “Análise de um estilingue e espirais de caderno: Um estudo de caso”, Revista Brasileira de Ensino de Física, Brazil, Vol. 28, pp. 195-199.
- Hills, Andrew. “Medium Mark C ‘Hornet’”. Disponível em: http://www.tanks-encyclopedia.com/ww1/gb/Medium_Mk-C.php. Acesso em: 16 nov. 2017.
- Mungan, C.E., 2009, “Internal ballistics of a pneumatic potato cannon”, Physics Department, Us Naval Academy, Annapolis, USA, Vol. 30, pp. 453-457.
- Norton, R.L., 2013, “Projeto de máquinas: uma abordagem integrada”, Ed. Bookman, Porto Alegre, Brazil, 1030p.
- Pereira, L.R.; Bonfim, V., 2008, “Regiões de segurança em lançamento de projéteis”, Revista Brasileira de Ensino de Física, Brazil, Vol. 30.
- Shigley, J.E.; Mischke, C.R.; Budynas, R.G., 2004, “Mechanical Engineering Design”, New York, USA, Ed. McGraw-Hill, pp; 4-19.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores: José Airton Neiva Alves da Silva Brasil, Antônio Marcos Feitosa da Silva, Jotuanderson Pereira Gomes, Nicolas da Silva Dias e Adriano do Amor Divino Guilhon Serra são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

APPLICATION OF ENGINEERING DESIGN PROCESSES FOR THE DEVELOPMENT OF A TANK PROTOTYPE WITH AIR CANNON

José Airton Neiva Alves da Silva Brasil, airton.bra@gmail.com¹

Antônio Marcos Feitosa da Silva, antomarcos_engmecanica@ig.com.br¹

Jotuanderson Pereira Gomes, jotuanderson@gmail.com¹

Nícolas da Silva Dias, nicolas_idias@hotmail.com¹

Adriano do Amor Divino Guilhon Serra, adrianodoamor01@gmail.com¹

¹ Universidade Estadual do Maranhão, Cidade Universitária Paulo VI, s/n - São Cristovao, São Luís - MA, 65055-000

Abstract. *The following article want to demonstrate the application of engineering design processes for the development of a war tank, from initial calculations on internal flow and pneumatic actuation to validation through testing. We used the project methodology that follows the workflow recommended by Norton (2013), where there are ten steps, such as: identifying needs, support research, goal setting, task specification, synthesis, analysis, selection, detailed design, prototype, test, and production.*

Keywords: *design, engineering, cannon, pneumatic, tank*