

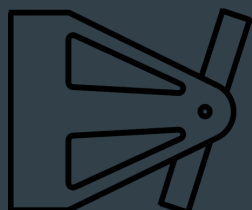
FOX BOT

Build Report

Relato do primeiro Robô de Batalha da equipe SMASH

NESSA EDIÇÃO:

- INTRODUÇÃO
- DESIGN
- ESTRUTURA
- ELETRÔNICA
- USINAGEM
- CUSTOS
- RESULTADOS



Introdução: A Equipe e as escolhas principais

by Team SMASH

A Equipe SMASH surgiu no final de Abril de 2016 com o objetivo de competir na Winter Challenge XII (principal competição de Robôs de Batalha na America Latina que ocorre uma vez por ano) com um robô de arma ativa. Importante ressaltar que eramos 6 alunos da primeira turma de engenharia no Insper e dois técnicos do FabLab (Laboratório de Fabricação) sem muita experiência no assunto, com exceção de uma batalha espontânea com robôs montados em uma dia. Em relação a experiência pessoal dos alunos, apenas três de nós havíamos construído projetos como pequenos carrinhos, drones e armas de pressão. Por outro lado os técnicos do FabLab possuíam muita experiência em manufatura e robotica.

Como a competição era na segunda semana de Julho, tivemos dois meses de muita criatividade e gambiarras para conseguir desenvolver todo projeto a tempo e comprar todas as peças contando com muita sorte para tudo chegar.

Com tudo isso em mente decidimos participar da categoria *Featherweight* (13,6Kg), ao contrario da maioria das equipes de primeira viagem que costumam montar robôs *Hobbyweight* (5,44Kg) ou *Beetleweight* (1,36Kg), para poder construir um robô com alto poder de destruição e também porque ainda não tínhamos desafios suficientes, ou pelo menos é assim que gostávamos de pensar. A segunda decisão tomada foi a de projetar um robô de arma ativa, ou seja, com uma parte móvel responsável por danificar o adversário normalmente uma barra ou disco girando a altas velocidades. O tipo de arma que fazia mais sentido eram os *horizontal spinners*, basicamente constituído de uma barra de aço girando paralela ao chão protegendo a parte frontal do robô mas ao mesmo tempo com o potencial de destruí-lo com a sua própria reação. A escolha desse tipo de design se deu por acreditarmos que sua construção seria mais simples em comparação com discos verticais e tambores.

Um ponto muito a favor da equipe era a infraestrutura da faculdade. O nosso laboratório de manufatura (conhecido como TechLab pelos alunos) é livre para o uso dos alunos e possui fresadoras CNC, Centro de Usinagem e Torneamento, Torno CNC, e torno e fresadora manual. E além disso todos os integrantes haviam alguma experiencia em usinagem.

Design: Primeiros Passos

O primeiro passo a tomar depois de escolher a arma do robô é escolher seus componentes para iniciar os primeiros desenhos seja em 3D através de um programa CAD (*Computer Aided Design*) seja no papel ou desenho vetorizado. Basicamente temos três principais conjuntos: Locomoção, Arma, Baterias.

Como a equipe já possuía um par motores DC Integy Matrix Pro Lathe 65T, comprados na própria loja da Integy no ano anterior, em conjunto a duas Sabertooth 2x12 R/C, compradas fora do brasil, para montar um robô *Hobbyweight* que nunca foi projetado, decidimos usa-los e importar duas caixas de redução Banebots P60 16:1 na loja da marca para montar o conjunto da locomoção.

Mesmo essa combinação sendo muito mais comum para hobbys ela foi muito atraente considerando a verba limitada e o seu peso de apenas 0,403Kg, em comparação com os Dewalt Old Style 18V e as caixas de redução DWNS da Robocore que são muito utilizadas por *feathers* mas tem mais de 1Kg. Ter um sistema de locomoção mais leve era muito importante para compensar o peso da estrutura e da barra de aço que usaríamos como arma, como estávamos no começo do projeto e o tempo era curto essa escolha foi mais pratica do que logica, porque já estávamos considerando que essas peças iriam ultrapassar os 13,6Kg.



NOME DA GALERA

As rodas do robô foram o primeiro desafio inesperado da equipe, de acordo com o Riobotz Combot Tutorial a dureza deve estar entre 65 e 75 shore A algo não tão simples de se achar no Brasil sem ser sob encomenda. No final acabamos procurando por rodas de longboard e compramos duas Abec 11 Flywheels 83mm com a dureza 78 shore A e 0,240Kg que por serem muito duras, principalmente em comparação com as Colson Perfoma 65A muito comuns em todas as categorias, acabaram sendo melhores para locomover pessoas do que para combate.

Para o conjunto da arma decidimos comprar um motor *brushless* Scorpion 4025 com 890Kv e 5Hp de pico segundo o site do fabricante, a referencia da marca desse motor veio do vídeo do Jubileu da equipe Uairrior, o único local no Brasil onde o encontramos foi o mercado livre. Para controlar toda essa potencia seria necessário um ESC (Eletronic Speed Controller) que aguentasse os 110 Amperes de pico informados no site da Scorpion (valor que mais tarde descobrimos não ser confiável!). Como mais uma vez nos faltava experiencia com peças dessa magnitude decidimos comprar o ESC Hobbywing Platinum 100A V3 da Hobbyking na China, que mesmo aguentando 130A de pico por 10 segundos acabou queimando em um de nossos testes no segundo dia de competição. Para movimentar a arma tomamos uma medida um tanto ambiciosa mas que ao mesmo tempo ocupava pouco espaço interno, **acoplar uma polia diretamente ao rotor do motor brushless.**

As baterias de LiPo compradas foram as Fullymax XL 4000mAh 3S 20C da loja brasileira Asas Eletricas, além se serem facilmente encontradas possuem uma corrente de 80A e 160A em burst de até 60 segundos. Se considerássemos os valores de corrente informados pelos fabricante essas baterias seriam suficientes para este projeto.

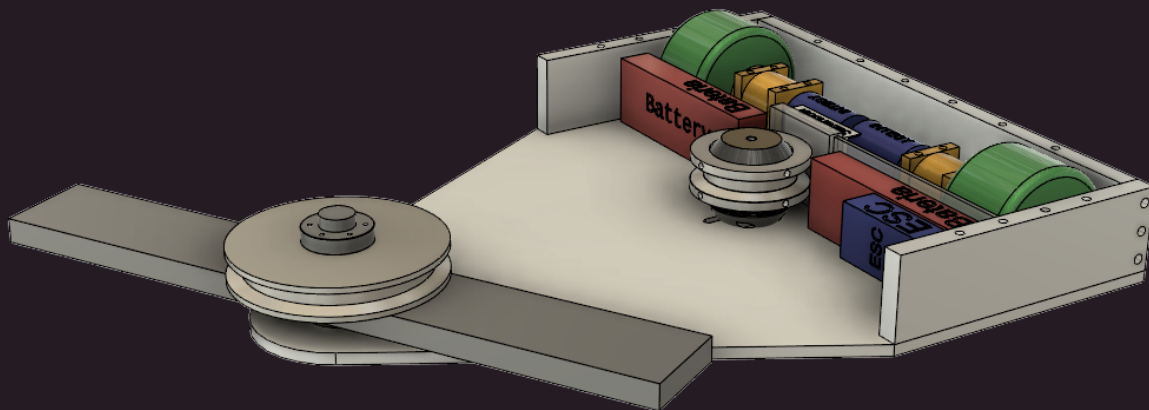
Enquanto esperávamos tudo chegar a próxima etapa era desenhar os componentes em um programa de CAD, no caso utilizamos o Fusion 360, e começar a desenvolver a estrutura com as dimensões reais para fazer simulações e estimar o peso do robô. Essa etapa foi fundamental pois com o espaço necessário para acomodar cada componente decidido é possível dimensionar o resto das peças mecânicas e discutir as melhores maneiras de transmitir potencia para a arma.

A imagem abaixo ilustra o resultado final da disposição dos componentes citados e das rodas protegidas em um layout bem apertado.



Estrutura: Dimensionamento mecânico e sistema da arma

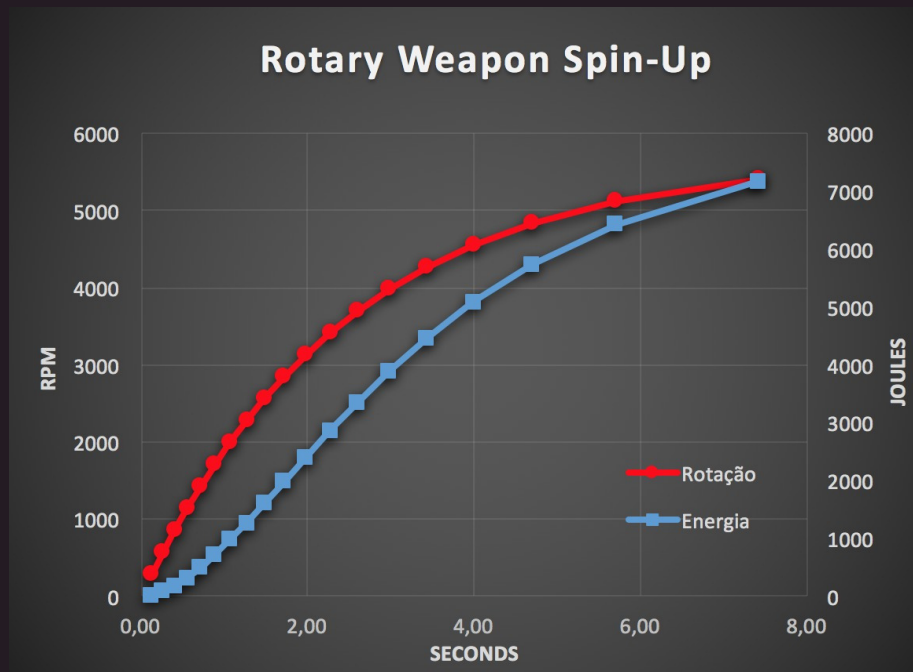
Feitos os desenhos em CAD foram decididas as características principais do robô. Para a estrutura escolhemos o Alumínio Aeronáutico 7075 T6, e o conjunto de barra e eixo da arma seria de Aço 4340. Um dos fatores mais decisivos era a verba disponível para o projeto: R\$5.000, como ambos metais citados possuem alto custo benefício, são muitos usados por robôs dessa categoria e possuem diversos fornecedores no Brasil optamos por compra-los. Nesse momento do projeto já estávamos no meio de Maio portanto não dedicamos o tempo e o estudo ideal nessa parte.



Para dimensionar a espessura de cada peça analisamos videos de diversos robôs e o Tutorial da Riobotz, no final decidimos utilizar 13mm nas laterais, base e topo de 7mm e a barra da arma com 15mm. O tamanho da arma foi decidido tentando limitar seu peso máximo a cerca de 3Kg para não deixar esse valor representar mais de 20-25% do peso total permitido pela categoria.

Tudo isso foi um processo relativamente simplificado em razão do tempo, porem o foco numero 1 sempre foi estimar medidas priorizando a segurança da eletrônica e dos outros componentes internos.

Depois das laterais a arma foi o segundo componente com todas as medidas decididas, após varias interações com tamanho diferentes ela acabou ficando com 140x60x15mm, e junto a isso o eixo teria 20mm de diâmetro. Para descobrir a velocidade da barra e a energia gerada por ela, foi utilizado uma planilha de Excel criada pelo Run Amok Combat Robotics onde ao informar: torque em stall do motor, velocidade sem carga, as dimensões da arma e a densidade do material. Ele retorna um gráfico mostrando a velocidade em *rpm* e a energia em Joules pelo tempo.



Essas informações foram muito uteis para projetarmos um sistema de polias que não deixasse a barra girando rápido demais a ponto de não atingir seus adversários da forma mais efetiva. O ideal para o Fox Bot seria uma redução de 3:1 onde a velocidade máxima ficaria pouco acima dos 3000rpm, mas como a polia ligada a barra teria 180mm de diâmetro ficando muito exposta, principalmente a armas verticais, decidimos deixar uma redução de 2:1 e tomar cuidado no controle remoto limitando a velocidade.

Outra ferramenta bastante interessante da planilha do Team Run Amok é uma calculadora que estima o torque em stall de motores brushless, raramente informado pelos fabricantes, a partir da tensão de operação, do Kv e da resistência interna. Isso é feito de uma maneira muito simples:

Considerando a relação: $K_v * K_t = 1$ onde Kv esta em $(rad/s)/V$

vamos converter essa relação para trabalhar com rpm/V tipicamente informado pelos fabricantes

O resultado fica: $K_t = 1352/K_v$

Lembrando que $\tau = K_t \times (I_{input} - I_{no_load})$ podemos desconsiderar I_{no_Load}

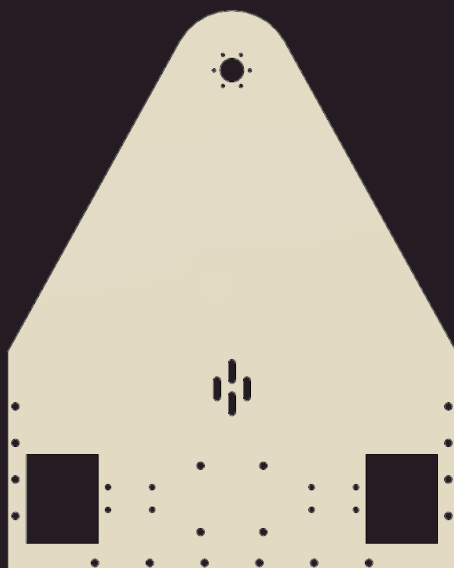
Portanto acabamos com a seguinte relação:

$\tau = ((1352/K_v) * (V/R_i))/141,61$ onde Ri representa a resistencia interna das bobinas.

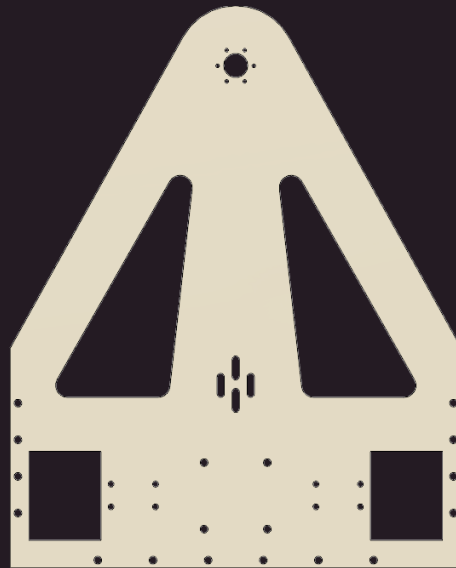
O resultado é dividido por 141,61 para ajustar a unidade para N/m

Com essa ferramenta foi estimado que o Scorpion 4025 tem incríveis 21,44Nm, mas como o motor não possui sensores não é possível alcançar toda essa potencia. Como o Team Run Amok possui uma pagina onde é possível fazer perguntas sobre robôs de combate aproveitamos esse recurso para pedir uma recomendação de como obter um valor mais real do torque de um motor brushless, e, segundo Mark Joerger, dividir o valor calculado por 6 (ou seja 16,6% do total) é uma boa aproximação. Assim o torque considerado para gerar o gráfico foi $21,44/3$ ou 3,57Nm.

Antes de detalharmos o sistema da arma vamos discutir como foram feitos os alívios de massa nas chapas de base e topo do robô. Nesse momento estávamos a 1 mês da Winter Challenge XII e nenhum de nós havia conhecimento algum em simulações de otimização topológica, apesar do nome complicado o software Inventor Pro 2017 possui uma ferramenta chamada *Shape Generator* que faz exatamente isso e é muito simples de usar. Semelhante a ensaios estruturais por Elementos Finitos basta definir: algumas condições de contorno básicas, as regiões a serem preservadas, a porcentagem de massa que deve ser removida e os esforços resultantes na estrutura. Para simplificar o estudo aplicamos forças em diversas direções no furo de encaixe do eixo e buscamos uma redução de 20% de massa, o resultado final pode ser visto a seguir em comparação com a peça inicial.



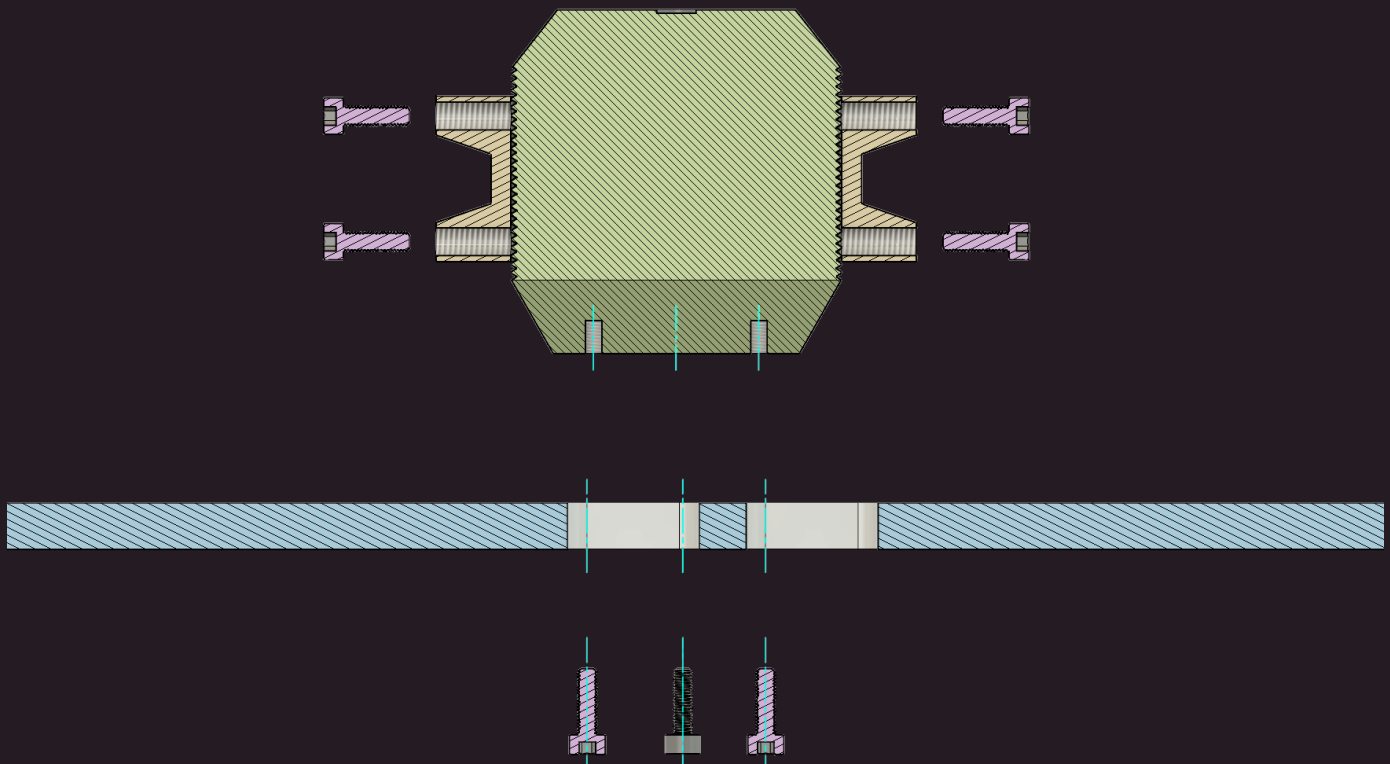
Peça Inicial com 2355g



Peça final com 1931g (18% a menos)

Agora finalmente vamos descrever a parte mais diferente do FoxBot, o sistema da arma. A reação de todos na Winter Challenge ao ver uma polia de **Nylon** acoplada diretamente na 'casca' de um *brushless outrunner* não foi muito positiva, seja pelos materiais usados ou pela fixação do motor. Pelo que observamos na competição é mais comum que o motor não seja preso diretamente a base do robô, e também que se utilize o eixo para transmitir potencia a uma polia.

Para ilustrar melhor a situação descrita acima vamos observar a seguinte imagem:



Ela representa uma vista em corte das seguintes peças:

- **Scorpion** onde o verde claro é a parte móvel, ou rotor, e o verde escuro é o estator.
- **Polia** em amarelo com furos para fixação.
- **Base** em azul com rasgos oblongos para ajuste da tensão na correia em V.
- **Parafusos M3** em rosa.

A ideia de fazer as coisas desse jeito era simplificar ao máximo o sistema e eliminar a necessidade de usinar engrenagens porque além de levar mais tempo, por falta de ferramentas adequadas, seria necessário realizar o tratamento térmico e nós não temos os equipamentos ideais para isso.

Algumas desvantagens muito claras com o apoio do desenho são:

- **Fixação do motor na base** não é muito firme devido ao rasgo, mas ao mesmo tempo é necessário ter algum sistema de ajuste de tensão da correia.
- **Falta de superfície plana** para prender a polia no motor, devido as ranhuras no rotor.
- **Distancia entre a polia e o plano de fixação.**

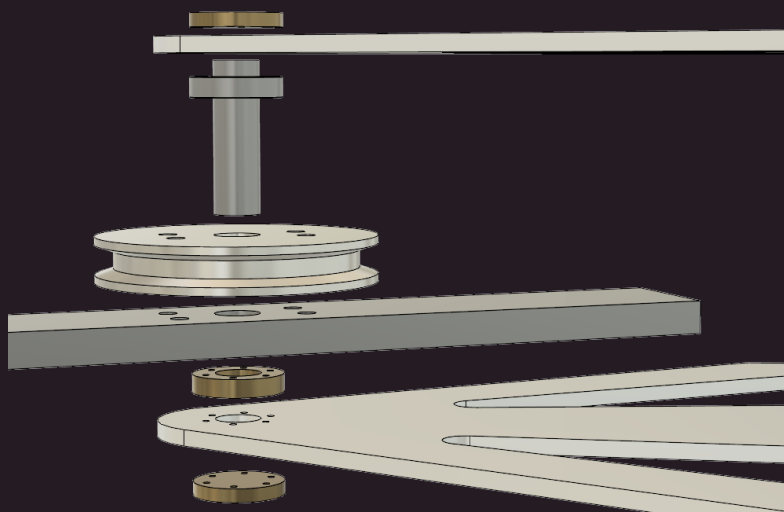
Vale ressaltar que os pontos negativos citados foram discutidos pela equipe mas não achamos que eles afetariam o robô de forma definitiva. E de fato nas duas lutas realizadas mesmo a polia tendo girado em falso em uma delas isso ocorreu por falta de aperto dos parafusos, tanto que, quando testamos a arma em '*full power*' na faculdade contra uma chapa de 10mm de aço 1045 o capacitor do ESC queimou mas a polia ficou bem presa. Claro seriam necessários muitos testes para provar alguma coisa e que usinar uma superfície plana com certeza ajudaria, mas por enquanto decidimos manter essa ideia.

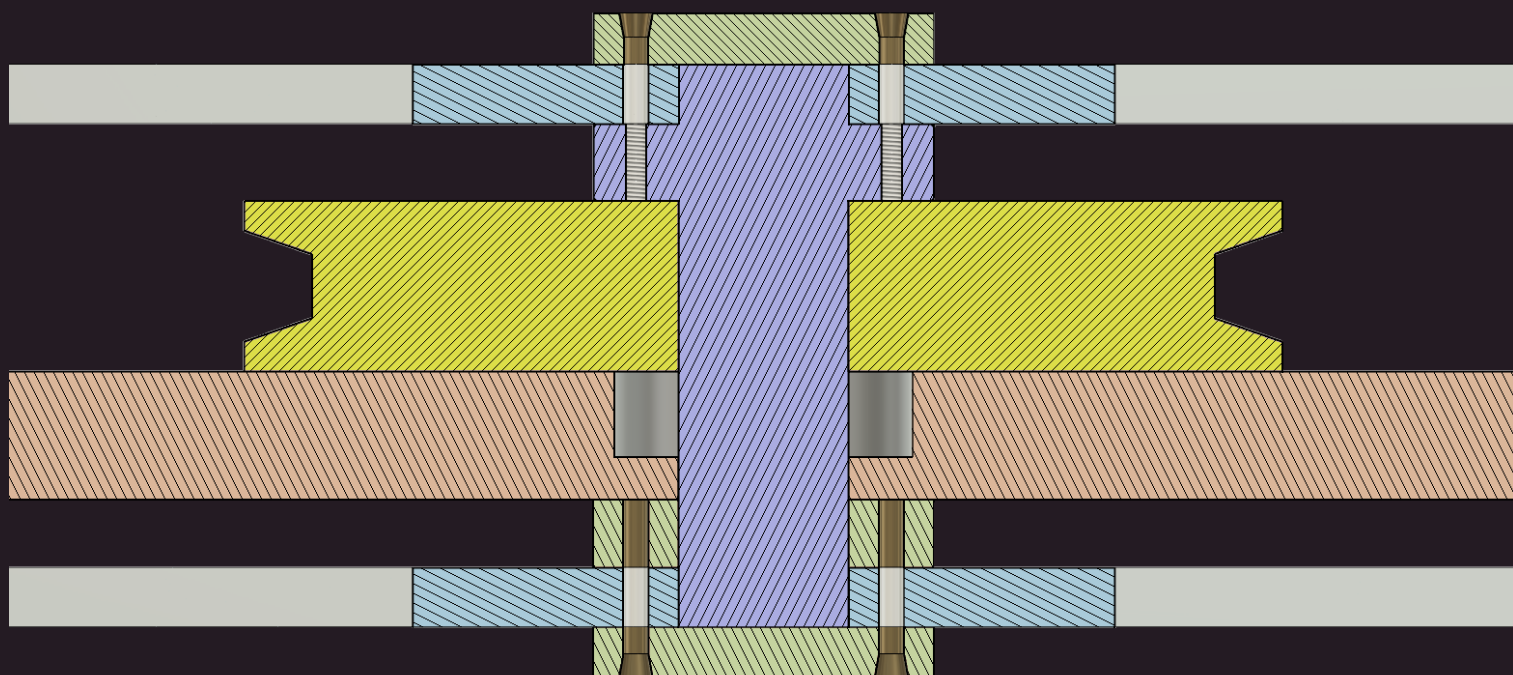
Algo que realmente foi um erro de projeto foi usar uma polia de Nylon com o objetivo de se aproveitar das características auto-lubrificantes do material para aliviar mais a reação no motor. O resultado foi que quando a barra atingia algum objeto, a correia deslizava no Nylon e o atrito gerado derretia o a borracha da correia deixando um cheiro um tanto desagradável.

No começo desse Build Report foi dito que o objetivo da equipe SMASH era: "[...] construir um robô com alto poder de destruição [...]" com uma barra pesando entre 20-25% do peso total permitido pela categoria. Quando pensamos nisso não tínhamos noção das suas consequências sobre o projeto. Responsável, por dar suporte a uma peça girando a altíssimas velocidades e por aguentar as reações dos impactos, a fixação da arma e do eixo foi, sem dúvida, a parte mais complicada do FoxBot.

Um grande problema nesse período foi ter feito o pedido de todas peças estruturais citadas acima, antes de ter dado a devida atenção as partes mecânicas, digo isso porque esse era um conhecimento que, de forma geral, faltava na equipe diferentemente de questões de eletrônica e usinagem.

A primeira decisão tomada nesse tópico foi a de fazer um eixo fixo, e, para prende-lo de um lado temos uma cabeça de diâmetro maior com seis furos com rosca M3, e do outro lado a base do FoxBot possui um furo passante de suporte. A arma possui um slot para encaixar um rolamento de rolos por interferência (também conhecida como força bruta) e quatro roscas M8 para prender a polia. Por fim temos duas bolachas de bronze, uma servindo de espaçador para ajustar a altura da barra e a outra servindo de 'terceira roda' para facilitar na movimentação.





Com essa ferramenta foi estimado que o Scorpion 4025 tem impressionantes 21,44Nm, claro que esse valor é estimado e como o motor não possui sensores não é possível alcançar toda essa potencia. Como o Team Run Amok possui uma pagina onde é possível fazer perguntas sobre robôs de combate aproveitamos esse recurso para pedir uma recomendação de como obter um valor mais real do torque de um motor brushless, e, segundo Mark Joerger, dividir o valor calculado por 6 (ou seja 16,6% do total) é uma boa aproximação. Assim o torque considerado para gerar o gráfico foi $21,44/3$ ou 3,57Nm.

Antes de detalharmos o sistema da arma vamos discutir como foram feitos os alívios de massa nas chapas de base e topo do robô. Nesse momento estávamos a 1 mês da Winter Challenge XII e nenhum de nós havia conhecimento algum em simulações de otimização topológica, apesar do nome complicado o software Inventor Pro 2017 possui uma ferramenta chamada *Shape Generator* que faz exatamente isso e é muito simples de usar. Semelhante a ensaios estruturais por Elementos Finitos basta definir: algumas condições de contorno básicas, as regiões a serem preservadas, a porcentagem de massa que deve ser removida e os esforços resultantes na estrutura. Para simplificar o estudo aplicamos forças em diversas direções no furo de encaixe do eixo e buscamos uma redução de 20% de massa, o resultado final pode ser visto a seguir em comparação com a peça inicial.

