

TUTORIAL Robô Inseto

Autores: Carlos Magno Feitosa da Silva, Leandro Borini Lone, Luís Fernando Patsko
Nível: Avançado
Criação: 04/12/2006
Última versão: 19/12/2006



Maxwell Bohr
Instrumentação Eletrônica

<http://www.maxwellbohr.com.br>
contato@maxwellbohr.com.br

PdP

Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos

<http://www.automato.com.br>
atendimento@automato.com.br

1 – Introdução

O potencial de crescimento de atividades relacionadas à robótica num futuro próximo é muito grande. A automatização dos processos industriais é cada vez mais intensa, e ao longo dos próximos anos, os robôs não serão apenas máquinas automáticas, eles estarão presentes no nosso cotidiano. Robôs já são utilizados nas áreas de entretenimento, resgate, até mesmo em serviços domésticos. Por todo lado eles já estão presentes, desde um caixa eletrônico, até uma máquina de Coca-Cola.

Nesse tutorial, nosso objetivo será construir um “inseto”, um robô que possui seis “pernas” e é conectado ao Kit e pode ser controlado através de um programa que roda num computador. Através da construção de um robô inseto, podemos aplicar nossos conhecimentos de Eletrônica, Mecânica e Programação adquiridos ao longo do curso e, consequentemente, aprimorar as técnicas necessárias para a construção de robôs. Serão detalhadamente descritos o funcionamento e a construção de um robô inseto, de modo que, além de possibilitar a sua elaboração, seja fornecida uma base para a construção de robôs que utilizem um princípio de funcionamento semelhante.

Um fator importante que não pode ser negligenciado durante a montagem é a segurança. É indispensável o uso de equipamentos de proteção individual (EPI's) tais como luvas, óculos de proteção, jaleco, etc. Também é essencial tomar cuidados básicos para a prevenção de acidentes, especialmente durante a manipulação de produtos químicos e ferramentas. Por pura falta de atenção ou excesso de confiança, podem ser causados acidentes graves. E, além disso, os problemas decorrentes da postura inadequada e da repetição excessiva de movimentos são vários e é muito simples tomar providências para evitá-los. Não é difícil se conscientizar e realizar pequenas ações que podem prevenir muitos acidentes.

2 – Funcionamento

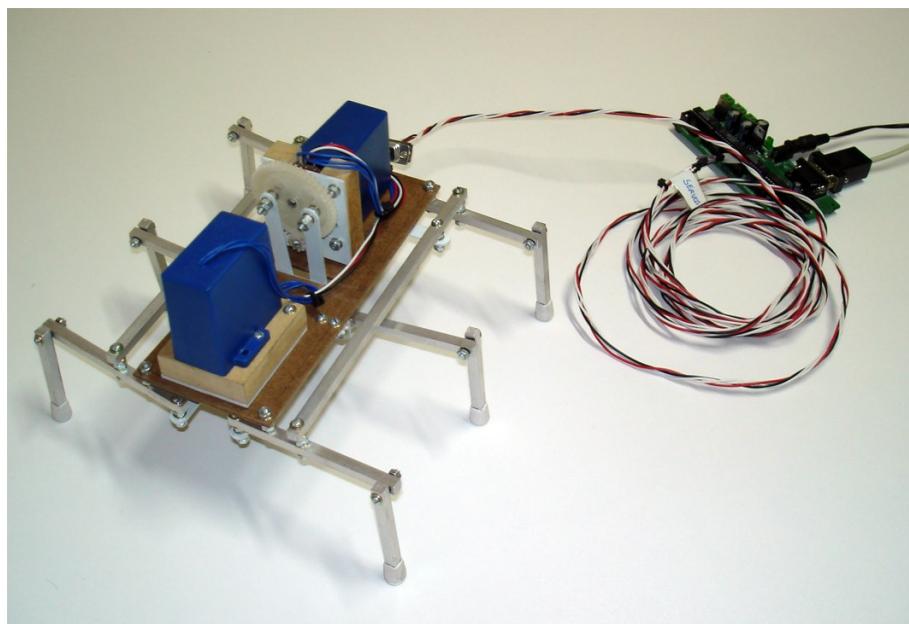


Figura 1: Robô inseto pronto e ligado ao MEC1000.

O robô inseto é um robô que possui seis pernas e que pode ser controlado pelo usuário através de um programa que roda num computador. Ele possui dois servo-motores, sendo que um deles é destinado ao controle das duas pernas centrais e o outro controla as quatro pernas restantes.

A locomoção do inseto ocorre da seguinte forma: as pernas centrais, que estão ligadas a um servo-motor, são responsáveis por levantar ora um lado do corpo do robô, ora outro. Esse movimento será chamado de movimento vertical. Assim, as pernas das extremidades possuem liberdade para se mover. Com um dos lados levantado, duas pernas das extremidades de um mesmo lado ficam em contato com o chão, enquanto que as outras duas ficam livres. Ao rotacionar o servo-motor responsável pelo movimento destas pernas, as pernas que estão levantadas são impulsionadas para uma direção, enquanto que as pernas que estão em contato com o chão recebem uma força de sentido oposta as pernas levantadas, fazendo com que todo o corpo do inseto seja deslocado em alguma direção (como o robô inseto não tem frontal e traseira claramente definidas, isso deve ser definido por quem vier a vir montá-lo). Este movimento será chamado de movimento horizontal. Durante esse movimento, as pernas centrais, que mantém o corpo levantado, irão escorregar levemente. O primeiro servo-motor então é rotacionado para o lado oposto ao primeiro movimento, erguendo assim o outro lado do corpo do inseto, para em seguida ter o motor responsável pelo movimento das pernas das extremidades rotacionado, também para o lado contrário, fazendo com que o corpo seja novamente impulsionado para mesma direção. Note que o movimento se dá simplesmente com o vai-e-vem dos motores, ou seja, alternando o sentido da rotação dos servos-motores. É possível também alterar o sentido do movimento, bastando para isso alterar a rotação do segundo servo-motor, o que pode ser feito na linha de código do programa de controle.

O nosso projeto é constituído por duas etapas principais: a construção do robô e a programação necessária para seu funcionamento. A construção do robô é a elaboração da estrutura mecânica e eletrônica. A dedicação nessa etapa é indispensável, uma vez que peças ou circuitos mal feitos podem comprometer o funcionamento de todo o sistema. Mas não basta apenas a estrutura estar perfeita, pois ela deve ser controlada adequadamente. A programação será responsável por proporcionar a conexão entre o Kit e o robô e pelo controle preciso da atuação dos servo-motores, de modo que o robô possa se movimentar corretamente, pois cada um desses componentes deve ser acionado num momento exato.

Dentre outras modificações que podem ser feitas, o robô pode ser construído de duas maneiras distintas: com engrenagens redutoras ou sem engrenagens redutoras. Essas engrenagens formam um conjunto redutor, que diminui a velocidade do servo-motor, aumentando assim o torque disponível para movimentar o robô. A versão sem engrenagens permite uma construção mais fácil. Por essa razão, a versão com engrenagens será mostrada de forma mais detalhada, e no final desse tutorial mostraremos as mudanças a serem realizadas para a construção de uma versão sem engrenagens.

O robô inseto talvez seja o projeto onde mais se deve levar em consideração as dimensões e alinhamentos entre as peças. Um lado deve estar perfeitamente igual ao outro, ou seja, deve haver uma simetria absoluta. Até mesmo pequenos erros podem comprometer por completo o funcionamento do inseto, por isso vale lembrar: tenha muita atenção e dedicação durante a construção da estrutura mecânica.

Seguindo corretamente as instruções a seguir, podemos ter em mãos um pequeno robô inseto. Mas nada o impede de realizar modificações e implementar o projeto com outras características, ou seja, construir o robô ao seu gosto.

3 – Materiais

Os materiais utilizados nesta montagem são madeira tipo MDF, perfis de alumínio (barras e cantoneiras), madeirite, plástico (PVC), engrenagens de acrílico, dois servo-motores (adaptados para rotação contínua, porém, com potenciômetros externos), parafusos de diversos tamanhos, porcas, arruelas, cola branca, cola de secagem instantânea e lubrificante. Além disso, serão necessárias ferramentas para a montagem tais como paquímetro, caneta de retroprojetor, serra de meia-esquadria. Tais ferramentas estarão à disposição nas bancadas de trabalho.

Optamos pelos materiais utilizados pela acessibilidade, baixo custo, resistência adequada, e também por serem fáceis de trabalhar, tentando sempre adequá-los às dificuldades surgidas no desenvolvimento, ou até substituindo-os por outros se necessário, lembrando-se sempre de que os materiais listados aqui, de forma alguma são padrão para as montagens, e que podem ser substituídos tranquilamente por outros semelhantes ou que desempenhem a mesma função. Deve-se apenas ter em mente que nem todos os materiais têm desempenho semelhante sob uma determinada situação. Por exemplo, a madeira MDF é uma boa escolha, pois é fácil de trabalhar e não trinca tão facilmente como uma chapa de compensado, por exemplo, quando é perfurada.

4 – Leituras prévias

Para a construção do projeto descrito nesse tutorial, é recomendada a leitura de outros tutoriais, que nos auxiliarão durante a construção do robô inseto. Os tutoriais recomendados são: *Montagem do Bloco de Servo-motor Padrão*, *Adaptação de Servo-motores* e *Criação de engrenagens em acrílico*. Esses tutoriais estão à disposição ao longo do curso de Mecatrônica e Robótica e serão utilizados ou darão suporte a alguns procedimentos ao longo deste tutorial.

5 – Montagem

O primeiro passo para a montagem de um projeto deve ser a elaboração de um esboço deste num papel, mesmo que se tenha todo projeto em mente. Isto facilitará muito a montagem de qualquer projeto, pois além de uma melhor visualização deste, não corremos o risco de esquecermos ou pularmos algum passo.

Com o “roteiro” do projeto em mãos, podemos começar a montagem escolhendo os materiais que mais se adequem as montagens de cada parte do projeto, enfatizando principalmente a acessibilidade dos materiais; o custo, para que o projeto não venha a ter um custo muito elevado; e maleabilidade. Por exemplo: perfis de alumínio podem ser encontrados em qualquer loja especializada em alumínio, são relativamente baratos e muito mais fáceis de trabalhar do que perfis de ferro, por exemplo.

O projeto descrito nesse tutorial visa a construção de um robô inseto, fazendo uso de servo-motores, uma base de madeirite e barras de alumínio. A montagem do robô pode ser dividida em duas partes: a primeira é a construção da parte estrutural do robô inseto, base e pernas, e, posteriormente, a parte eletromecânica, que se refere à construção dos blocos dos servos-motores. Esses servo-motores deverão ser adaptados para rotação contínua, mas devem utilizar um

potenciômetro externo. Este potenciômetro tem exatamente a mesma função do potenciômetro original do servo-motor, só que agora o servo-motor transferirá seu movimento para uma outra engrenagem, e ela deverá ser usada como referência para o controle do servo-motor. Por isso, essa engrenagem será fixada ao eixo do potenciômetro, que será o eixo principal do bloco. Deste modo, conseguiremos controlar precisamente a posição da engrenagem. Esta engrenagem faz parte de um conjunto redutor, de modo que o torque disponível seja maior, para possibilitar uma correta movimentação do robô inseto. É necessário que se tome bastante cuidado durante a construção para evitar que ele fique mal estruturado e não caminhe corretamente.

Primeiramente, começaremos pela montagem da parte estrutural do inseto, que será feito com uma base de madeirite e pernas de alumínio. Iremos confeccionar as pernas para o inseto com 4 barras (perfis) de alumínio quadradas de 1/4". Optamos pela quadrada por ser mais fácil de ser perfurada, mas a barra circular pode ser considerada esteticamente melhor. O comprimento destas pernas dependem do tamanho definido para a base, para que não tenhamos uma estrutura desproporcional. É recomendável que o corte seja feito na serra de meia-esquadria, que proporciona mais segurança e facilidade. Após cortá-las, devemos lixar as rebarbas para um melhor acabamento e também para evitar possíveis ferimentos. Cada perna é formada por um conjunto de duas barras de alumínio: uma "anteperna", que será fixada à base do robô; e um "pé", que mantém o robô apoiado no chão. Tais nomes foram dados com a finalidade de que, definindo o nome de cada parte, a explicação da montagem ficasse mais clara. Podemos fazer uma analogia com os nossos braços, nos quais encontramos o antebraço e a mão.

A base deste robô foi feita com madeirite, embora possam ser utilizados outros materiais quaisquer, desde que tenham a resistência necessária. As suas dimensões são de 20 cm x 8 cm e devem ser feitos furos nos seus quatro cantos a 0,5 cm de cada lateral, para que possamos encaixar as suas pernas. As antepernas, a parte das pernas que serão fixadas à base de madeirite, terão dois tamanhos como padrão, pois um par será tracionado por um servo-motor para que o inseto possa se movimentar para frente enquanto que o outro par será movimentado através de barras de transferência de movimento, ligadas às pernas tracionadas pelo servo-motor.

Apos cortar a base, certifique-se de que ela foi cortada corretamente, tirando novamente as medidas. Ao marcar os pontos a serem furados, é até mais importante ver a distância interna entre eles do que externa de 5 mm. Ao longo do comprimento da base, a distância entre os pontos deve ser de exatamente 19 cm, enquanto que na largura deverão haver 7 cm. Essas distâncias devem ser mantidas, não importando pequenas variações nas medidas externas de 0,5 cm até as laterais.



Figura 2: A base do inseto foi feita em madeirite. Os detalhes indicam os furos para a fixação das antepernas.

Um detalhe importante é que, ao cortar peças compridas, com 15 cm ou mais, teremos dificuldades com o arco de serra, já que o mesmo passará a pegar na madeira. Quando isso acontecer, passe a utilizar o mini-arco, como poder ser observado nas figuras abaixo. Além disso, sempre após cortar madeira ou alumínio, os mesmos devem ter suas beiradas lixadas, para retirar rebarbas e imperfeições.

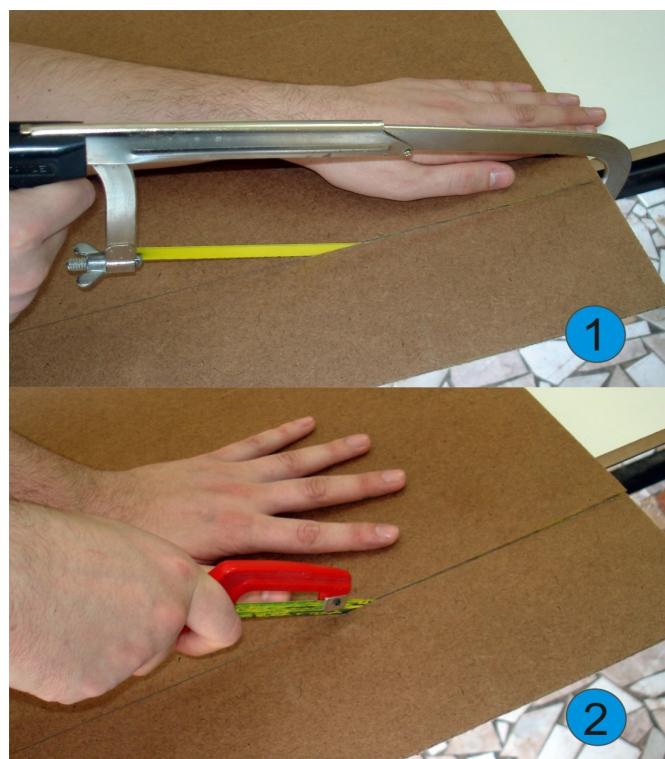


Figura 3: 1-Madeirite sendo cortado com o arco de serra. 2-Madeirite sendo cortado com o mini-arco, quando a utilização do arco de serra torna-se difícil.

As antepernas do par que será diretamente tracionado pelo servo-motor terão o comprimento de 10 cm enquanto que as do outro par terão 8 cm de comprimento. Nas duas barras de 8 cm faremos os furos a 0,5 cm de uma extremidade, para encaixá-la na base, e outro a 2 cm deste, para, posteriormente, encaixarmos uma barra para a transferência de movimento. Nas duas maiores faremos uma sequência de três furos: um furo a 0,5 cm de uma extremidade, para que possamos colocar hastes ligadas ao servo-motor de movimentação horizontal; um outro à 2 cm do primeiro furo, para encaixá-las no corpo, e um terceiro à 2 cm do segundo furo, onde será fixada a barra para a transferência do movimento.



Figura 4: Preparando as antepernas do inseto. 1-Cortando a barra de alumínio na serra de meia-esquadria. 2-As barras deverão ser furadas, de preferência com a furadeira de bancada.

Para assegurar que os furos sejam feitos corretamente ou que a broca não escorregue, recomendamos o uso de um marcador, que pode vir a ser até mesmo um prego, que deve ser utilizado após a marcação com caneta ou lápis, fazendo-se uso de um martelo sobre o mesmo, batendo de leve, para fazer um pequeno furo. Esse procedimento pode ser adotado antes de toda e qualquer furação, no alumínio, na madeirite ou em plásticos, especialmente onde haja necessidade de uma furação mais precisa.

Além disso, devemos ainda fazer mais um furo em cada barra, do lado perpendicular ao lado onde foram feitos os primeiros furos, a 0,5 cm da extremidade oposta, para que possamos posteriormente encaixar os pés, que serão responsáveis por manter o corpo do robô acima do chão. Os diâmetros dos furos da base de madeirite e das barras de alumínio deverão ser de acordo com a espessura dos parafusos usados. No nosso exemplo, utilizamos parafusos de 1/8" de diâmetro, portanto broca também de 1/8" foi aplicada na furação. Na barra, esses furos devem ser feitos centralizados, tomando o máximo de cuidado para não desalinhá-los. Logo a seguir há uma imagem mostrando detalhadamente a posição desses furos.

Ao furar as barras de alumínio, pode-se notar que elas geralmente ficam com rebarbas. Tais rebarbas, além de prejudicar os movimentos do robô, podem ocasionar ferimentos. Podemos retirá-las com o auxílio de uma broca um pouco maior do que a utilizada para fazer o furo, bastando girá-la levemente com a própria mão, tomando cuidado para não arredondar demais as bordas dos furos.

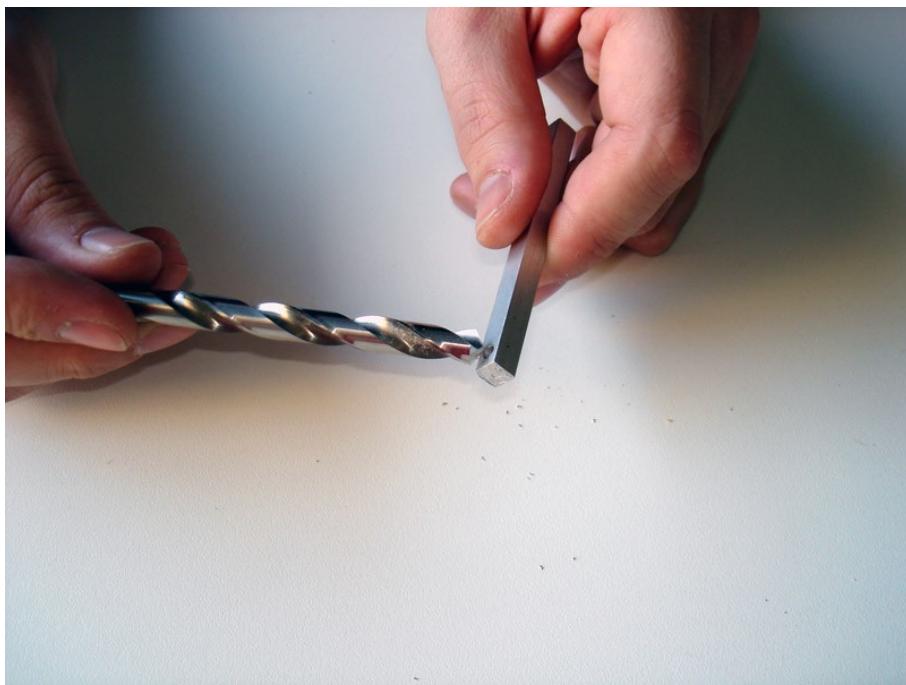


Figura 5: Para retirar as rebarbas das barras de alumínio, basta girar levemente uma broca de tamanho maior do que a utilizada para fazer o furo.

O dimensionamento da base e das pernas foram definidos aleatoriamente, buscando apenas um tamanho proporcional ao servo-motor. Porém recomendamos que não seja muito maior do que isso, pois quanto maior for o robô, mais pesado ele será e, consequentemente, será exigida mais força dos motores. Por exemplo, se aumentarmos o comprimento da pernas, com o intuito de aumentarmos as passadas do robô, ampliando assim a sua movimentação, aumentaremos também o esforço sobre o servo-motor (efeito alavanca).

As pernas serão presas à base através de um parafuso colocado nos furos destinados a elas, formando então uma espécie de “parafuso-eixo”. Isso se dá da seguinte forma: com os furos preparados, já sem rebarbas, pega-se uma arruela, coloca-se ela no parafuso, coloca-se o parafuso na perna, adiciona-se outra arruela e depois mais duas porcas. As arruelas normalmente possuem lados diferentes, um liso e o outro com rebarbas. O lado liso neste caso deve ficar voltado para a peça móvel, que neste caso é a barra de alumínio da anteperna, com a intenção de gerar o menor atrito possível. Rosqueie as porcas até o final e quando encostar no alumínio, solte-as um pouco (mas não muito pois é necessário que haja uma folga suficiente para que o parafuso gire com o menor atrito possível, porém, se houver uma folga muito grande o movimento será prejudicado). Verifique se não há atrito entre o parafuso e a perna e então aperte uma porca contra a outra. Essa é uma forma simples de se obter um tipo de eixo. Pode-se também, utilizar apenas uma porca, colando-a ao parafuso. No entanto recomendamos que seja utilizado o processo que envolve o uso das duas porcas, para evitar problemas futuros.

Com exceção de alguns parafusos autoatarraxantes, todos os parafusos utilizados na montagem do robô inseto ilustrado nesse tutorial são de 1/8”, de diversos comprimentos. Não vamos detalhar seus respectivos comprimentos, pois os mesmos dependem de vários fatores, tanto de materiais quanto ao dimensionamento dos mesmos. Mas sempre que possível, trabalhe com folga no comprimento dos parafusos.

É possível observar nas fotos que em todos os locais onde foram utilizados parafusos, é adicionada uma arruela. O mesmo pode ser observado também no caso das porcas. Isso é feito pois,

ao apertarmos os parafusos ou porcas, eles podem danificar a peça sobre a qual estão sendo fixados. Com a arruela, eles irão girar em cima da mesma evitando assim qualquer dano a peça, além de garantir uma maior área de contato entre parafuso/porca e peça, possibilitando uma fixação mais eficiente. As arruelas apenas não foram colocadas em locais onde não há espaço suficiente para tal, como os parafusos que prendem o servo-motor ao seu bloco de madeira, por exemplo.

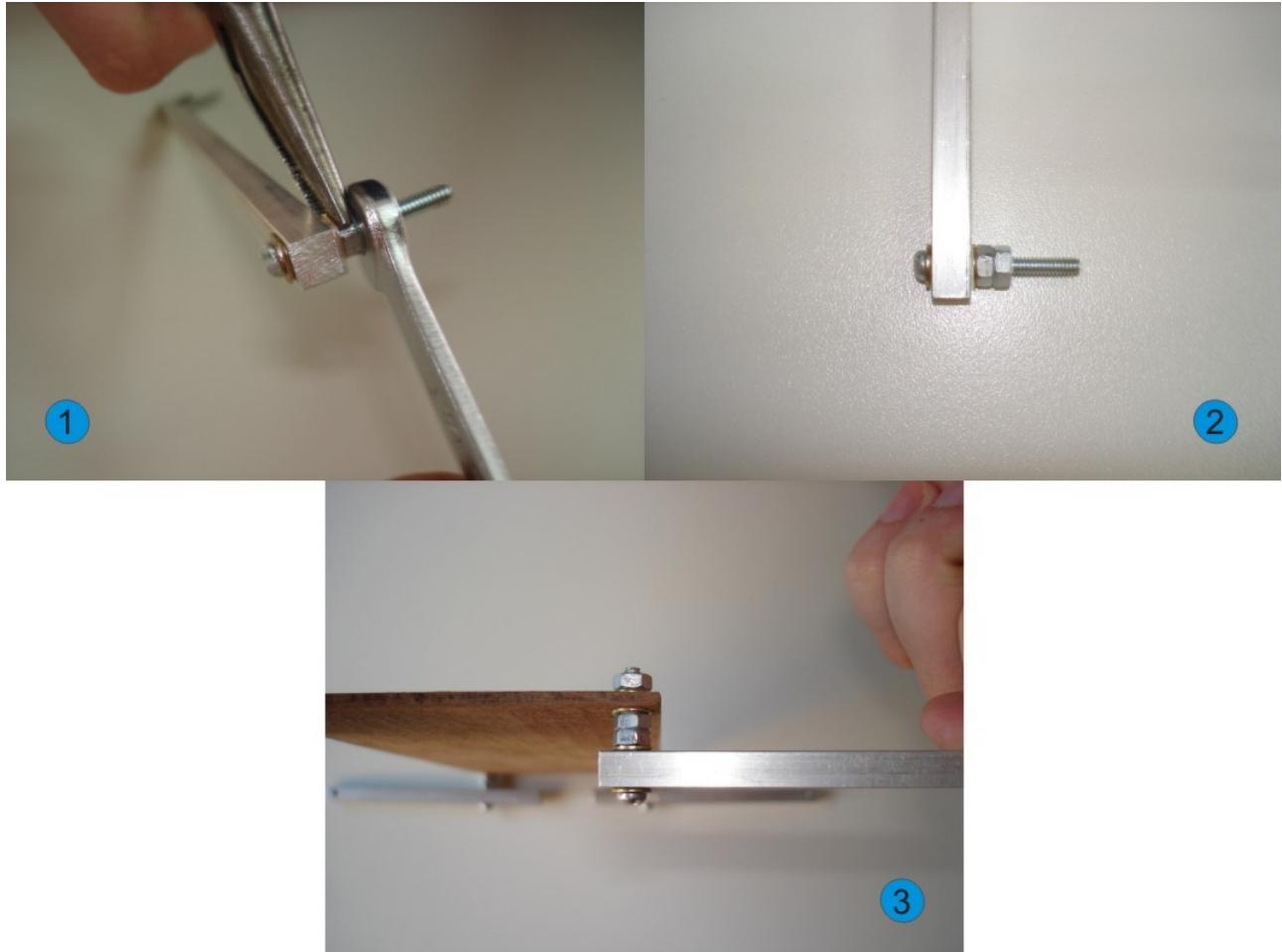


Figura 6: Fixando as antepernas à base. 1-Prendendo a porca com o auxílio de uma chave de boca e um alicate de bico. 2-Parafuso-eixo finalizado. 3-Anteperna presa à base através do eixo.

Os pontos de fixação das antepernas à base devem ser lubrificados com óleo, mas precisamos ter cuidado para não exagerar na quantidade de lubrificante. É necessário tomar bastante cuidado para não deixar que o óleo atinja pontos indesejáveis, como as duas porcas que foram travadasumas nas outras, pois isso facilitará com que as porcas se soltem com o esforço realizado na movimentação. Recomendamos que esta etapa fique para o final do processo de montagem do robô inseto.

Ao fixar as pernas na base deve-se utilizar uma chave adequada ao parafuso escolhido (chave de fenda, no caso do exemplo) e uma chave de boca, apertando cuidadosamente, para que as porcas que foram apertadas uma contra a outra não se soltem ou girem, modificando assim a folga deixada para que a perna pudesse se mover corretamente.

A imagem a seguir mostra claramente como as barras de alumínio foram fixadas à base e os furos feitos em cada uma dessas barras.

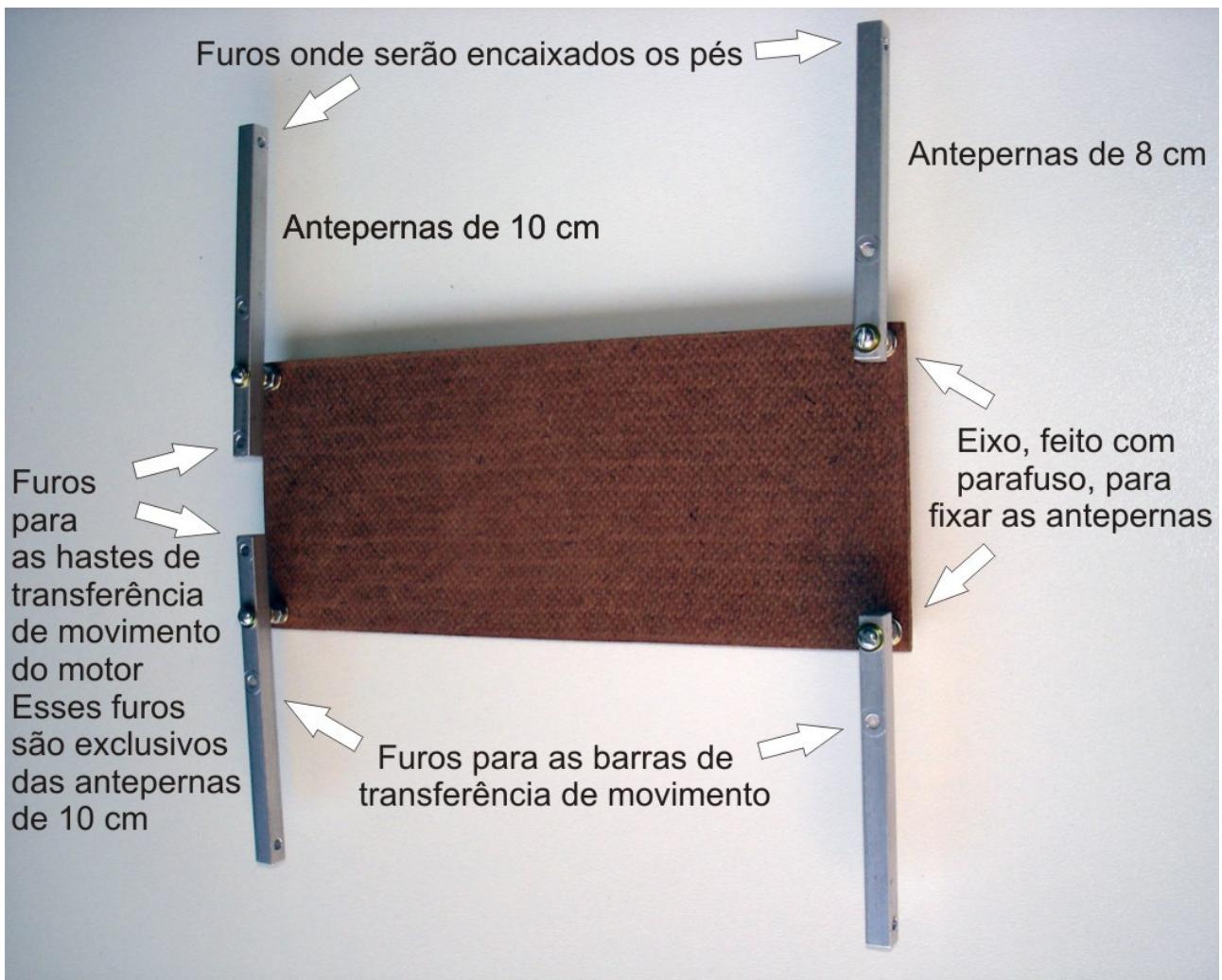


Figura 7: Antepernas fixadas à base, com detalhes indicando o posicionamento dos furos. Observe que a anteperna de 10 cm possui uma extensão voltada para dentro da base.

Em seguida, cortaremos duas barras de alumínio de 20 cm de comprimento. Estas barras servirão para a transferência de movimento das pernas que serão tracionadas pelo servo-motor responsável pelo movimento horizontal para as outras duas pernas que não terão ligação com o servo-motor. Além disso, elas garantem uma melhor estabilidade à estrutura mecânica. Estas barras devem possuir, no mínimo, o mesmo comprimento da base.

Em cada barra serão feitos três furos: dois a 0,5 cm de cada extremidade, e mais um a 3 cm de um desses furos, cuja finalidade será explicada mais adiante. A broca utilizada para a furação é da mesma medida do parafuso a ser utilizado, ou seja, 1/8". Os furos das extremidades devem estar perfeitamente alinhados com os furos feitos na base para a fixação das pernas, ou seja, a distância entre eles deve ser de 19 cm, distância igual à dos dois furos feitos na base do robô inseto, no sentido do comprimento. Esses furos receberão parafusos-eixos, como os que foram utilizados para a fixação das pernas à base, porém de comprimento um pouco maior, para prendê-los às pernas. É recomendável que após o término da montagem do robô, esse ponto de fixação seja lubrificado. Estas barras devem ser encaixadas nas pernas de forma que o furo extra fique próximo das pernas menores (de 8 cm), que não serão ligadas diretamente ao servo-motor.

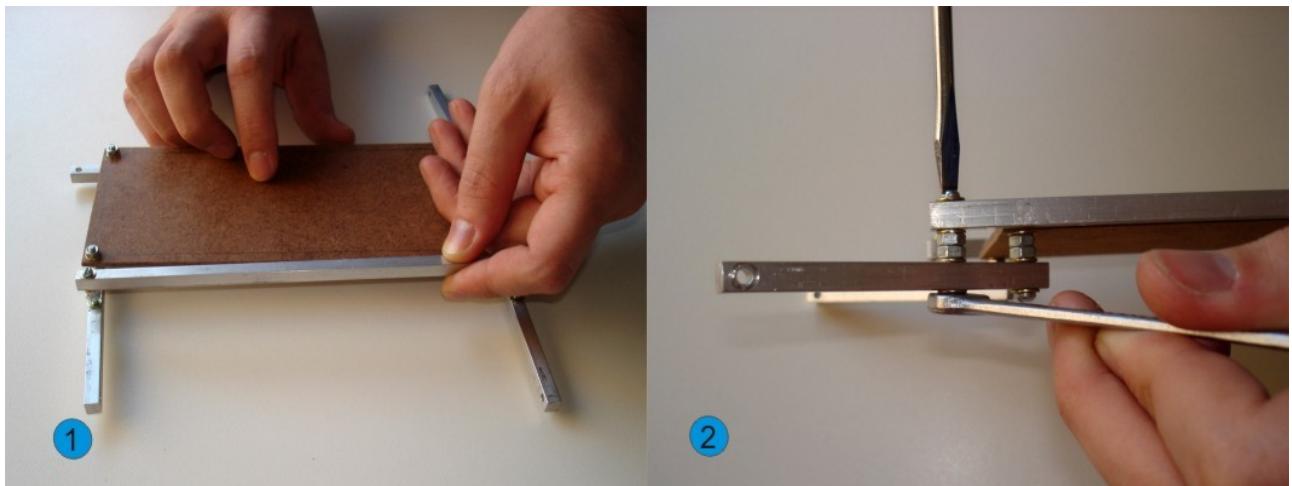


Figura 8: Colocando as barras de transferência de movimento. 1-Definindo o tamanho da barra. 2-Fixando as barras às antepernas com um eixo feito com parafuso, utilizando os mesmos procedimentos para fixar a anteperna à base.

Em seguida, devemos cortar mais quatro barras com 7 cm cada uma para que possamos fazer os pés do inseto. Em cada barra, faremos um furo a 0,5 cm da extremidade para poder encaixá-las nas antepernas, através de parafusos e porcas. Estes pés devem estar bem presos às antepernas, não podendo se movimentar. Para isso utilizamos arruelas serrilhadas (dentadas). Pode-se também fazer uso de arruelas de pressão para esse fim.

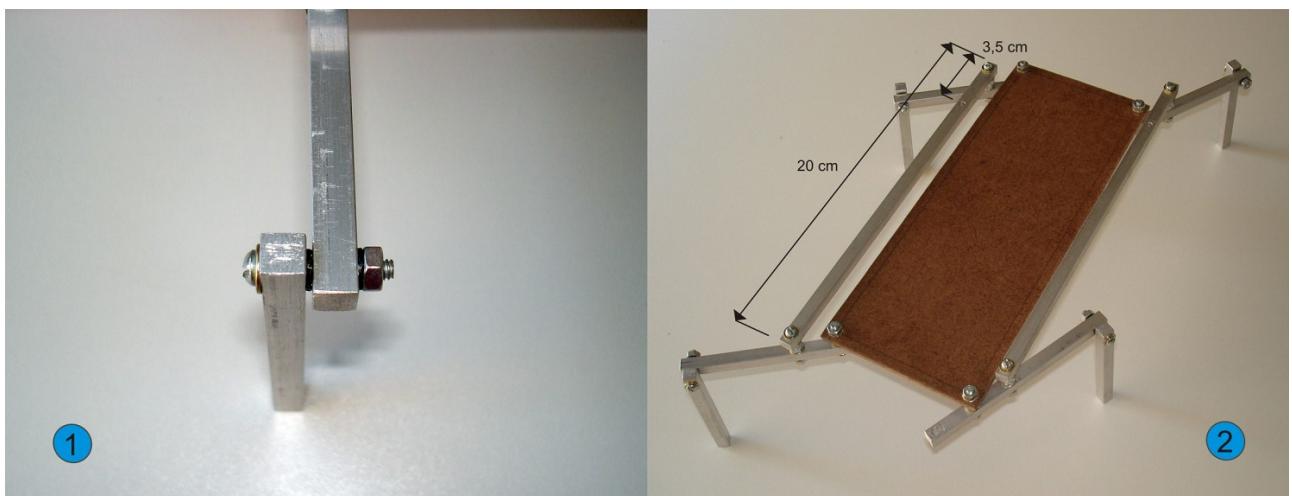


Figura 9: Colocando os pés do inseto. 1-Pé preso à anteperna através de um parafuso. As arruelas serrilhadas foram colocadas entre as duas barras e entre a porca e a anteperna. 2-Movimento a ser realizado pelo inseto.

O passo seguinte consiste em fazermos uma haste de interligação entre as duas barras de transferência de movimento. Esta “haste-guia” serve para dar uma melhor estabilidade à estrutura de movimentação do robô inseto, tornando seu movimento mais homogêneo. No caso do exemplo, esta haste foi cortada com 13 cm de comprimento e 1 cm de largura, aproximadamente. O material utilizado foi o plástico PVC de 2 mm de espessura. A base do inseto deve ser perfurada para que possamos inserir um pequeno prego. Este furo deve estar perfeitamente alinhado com o centro da base e com os furos extras das barras para a transferência de movimento (no caso do exemplo este furo fica a 3,5 cm da extremidade mais próxima). A haste plástica também deve ser perfurada. Este

furo deve possuir o diâmetro do prego utilizado, e deve estar bem no centro da haste. O furo deve ser feito de modo que a haste não seja colocada com dificuldade, devendo haver liberdade para se movimentar, porém, sem que haja uma folga excessiva

Para fixar essa haste às barras de transferência de movimento, devemos ter uma idéia da dimensão dos furos a serem realizados, levando-se em consideração o fato de que as hastes se movimentarão. Colocaremos então um parafuso em cada furo das barras de transferência de movimento, e encaixaremos a haste de plástico no prego. Deixando as pernas paralelas uma à outra e em relação ao corpo, aproximamos as hastes dos parafusos e, movimentando as pernas, marcamos as posições dos parafusos nas angulações máximas encontradas.



Figura 10: Verificando as dimensões do furo para a haste, de acordo com a angulação das pernas.

Em seguida, utilizando a furadeira com diâmetro de acordo com a espessura do parafuso usado ($1/8''$ no caso do exemplo), faremos três furos na haste. Utilizando o estilete, interligaremos estes furos de modo que se torne um corte, o qual não deve possuir rebarbas. Pode-se, então, conferir se esse eixo foi perfurado corretamente encaixando-o no prego e nos parafusos das pernas. Movimentando as pernas podemos ver se a haste está com a furacão correta, de modo que as pernas não tenham seu movimento limitado pela haste. Para finalizar, como acabamento, retiramos o excesso de plástico nas extremidades, deixando as pontas arredondadas. Isso pode ser feito com o próprio estilete, uma lixa, ou até mesmo com a microrretífica utilizando o acessório lixa. O prego, utilizado como eixo para a haste, deve ser colado com cola de secagem instantânea. Sua ponta deve ser cortada e lixada para evitar possíveis ferimentos.

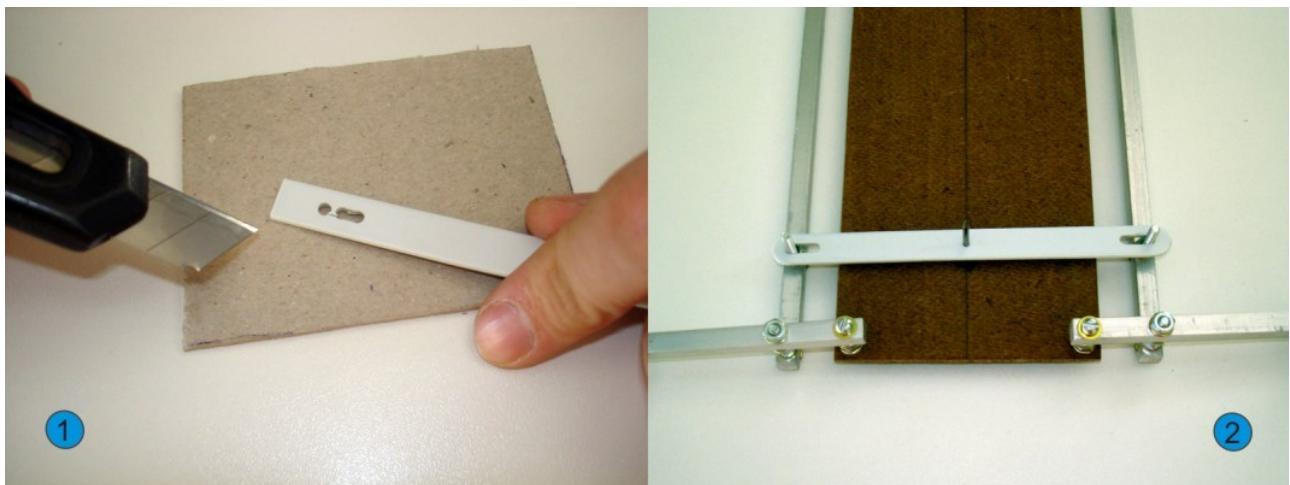


Figura 11: Finalizando a haste-guia. 1-O estilete deve ser utilizado para o acabamento do furo. 2-Haste pronta.

A seguir, passaremos à montagem das pernas de movimento vertical que servirão para que o inseto possa mover suas pernas para frente e para trás sem patinar. Se não houvesse este par de pernas secundárias, o inseto apenas oscilaria sobre uma posição fixa.

As antepernas serão feitas com as mesmas dimensões das pernas responsáveis pelo movimento horizontal, ou seja, com comprimento de 10 cm. Nela faremos três furos, todos na mesma lateral da perna. Primeiramente, será feito um furo a 0,5 cm de cada extremidade. Um furo será destinado a fixar os pés; o outro será conectado ao servo-motor responsável pela movimentação vertical. Um terceiro furo, localizado a 2,5 cm de distância do furo destinado ao servo-motor, será utilizado para fixar a perna ao corpo do robô através um parafuso-eixo, igual aos já utilizados nas outras pernas. Os pés são iguais aos demais.

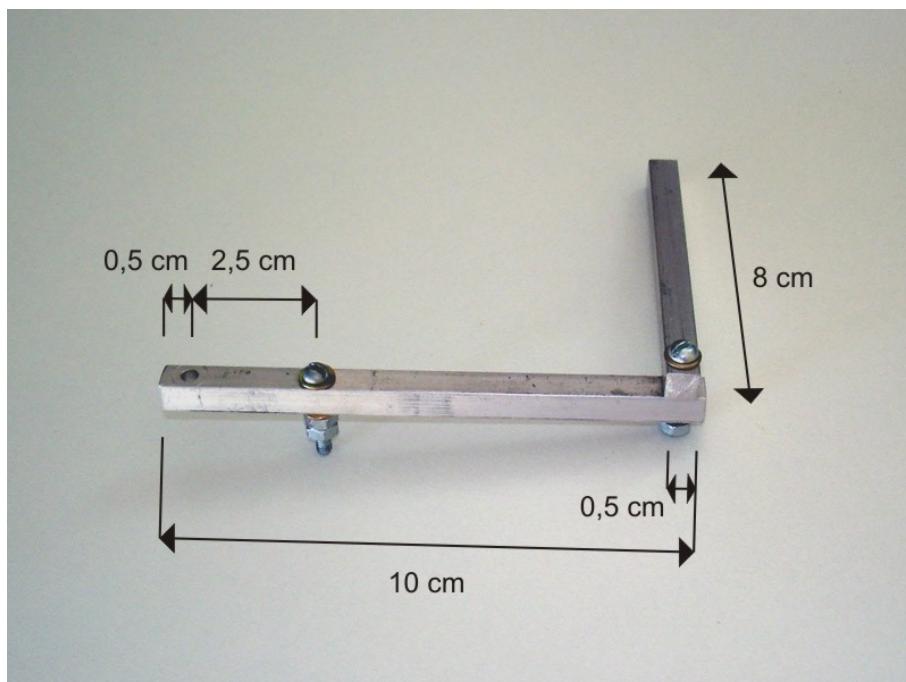


Figura 12: Perna central do robô inseto. Observe que os furos realizados na anteperna estão numa posição diferente dos realizados nas outras antepernas. O furo da extremidade esquerda ligará a perna ao servo-motor de movimentação vertical, enquanto que o furo central é destinado à fixá-lo ao corpo do robô.

Para que possamos fixar essas pernas à base do robô, cortaremos dois pedaços de cantoneira de 1,6 cm cada. Num lado desta peça, faremos dois furos, à 0,4 cm das laterais, que servirão para fixá-la à base, na linha central da cantoneira (observe a figura 13). No outro lado deverá ser feito um terceiro furo, destinado à fixar as pernas centrais. Em nosso projeto, este furo ficou a 0,5 cm de distância da lateral externa da cantoneira (de modo análogo aos furos para a fixação das pernas à base), e a aproximadamente 1 cm de distância da base (considerando-se a peça posicionada sobre a base). Essa distância em relação a base deve ser definida de modo que as pernas centrais estejam no mesmo nível das outras pernas, para que o inseto tenha um equilíbrio perfeito. Podemos tomar como referência as outras pernas, medindo a distância da base até o meio da espessura da perna (onde foram feitos os furos nas pernas centrais). Como elas foram presas à base através de parafusos e arruelas, elas encontram-se a certa distância da base.

Para definir como serão fixadas as pernas centrais, devemos traçar uma linha no centro da base, que será utilizada como referência. As pernas deverão ser posicionadas de modo que os seus pés estejam centralizados sobre esta linha. Devemos então definir a posição onde serão colocadas as cantoneiras de fixação. Para isso, somamos a largura de duas porcas (utilizadas no parafuso-eixo que fixa a perna central à base), três arruelas (duas delas também utilizadas no parafuso-eixo, mais a arruela dentada que prende o pé à anteperna) e uma espessura meia da barra quadrada de alumínio (a espessura da barra da anteperna, mais metade da espessura da barra do pé, a qual é a referência para a centralização). No nosso exemplo, essa distância é de aproximadamente 1,7 cm. Foi traçada então outra linha, a 1,7 cm da linha central da base. Esta linha servirá como referência para o posicionamento das cantoneiras.

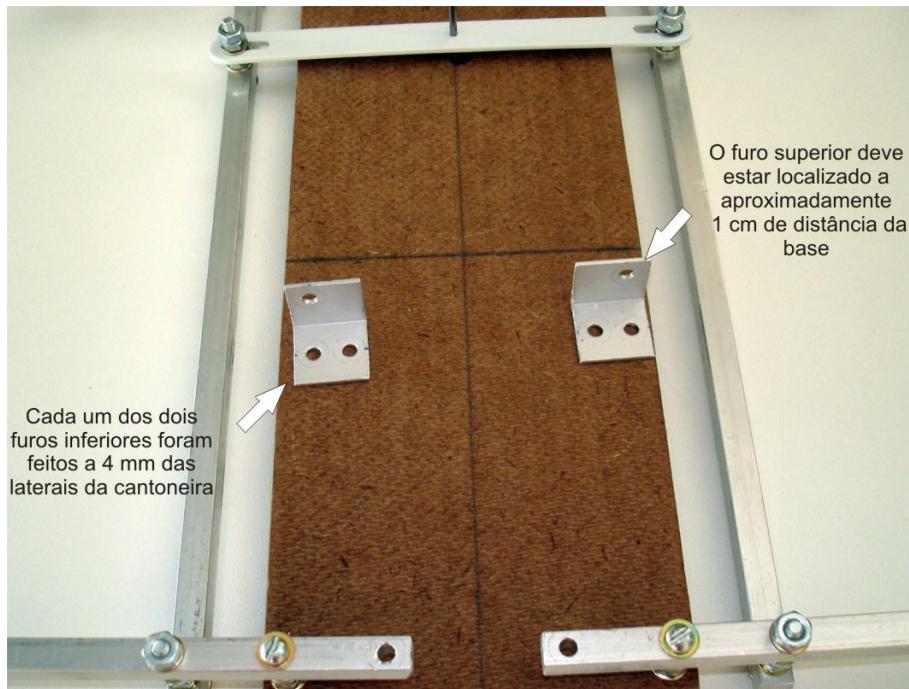


Figura 13: Definindo a posição das cantoneiras para a fixação das pernas centrais. As indicações mostram como fazer os furos das cantoneiras.

Foram então feitos os furos para a fixação das cantoneiras, com broca de 1/8". As cantoneiras foram presas à base com a ajuda de parafusos, porcas e arruelas. As pernas centrais

podem então ser fixadas às cantoneiras, através de parafusos-eixos, bastando utilizar um parafuso de 1/8" (adequado ao furo realizado na cantoneira), além de porcas e arruelas.

Nesse ponto, podemos afirmar que temos o esqueleto de nosso robô montado, bastando agora criar os blocos para os servo-motores e ligá-los à estrutura. Deverão ser criados dois blocos idênticos, sendo um responsável pela movimentação horizontal e outro pela vertical.



Figura 14: Estrutura do robô inseto completa.

Primeiramente, devemos confeccionar engrenagens de acrílico, utilizando os moldes de silicone. As engrenagens utilizadas serão de tamanhos diferentes, sendo que a menor deve ser fixada no eixo do motor e a maior ao potenciômetro que será adicionado ao bloco do servo-motor, pois a idéia é de reduzir a velocidade do motor e, consequentemente, aumentar o torque disponível. As engrenagens utilizadas por nós possuem 50 e 10 dentes, resultando numa velocidade 5 vezes menor e num torque aumentado na mesma proporção.

Depois de confeccionadas, iremos tomar a distância entre seus centros. Esta medição nos informará qual a distância em que o potenciômetro deve ficar em relação ao eixo do servo-motor.

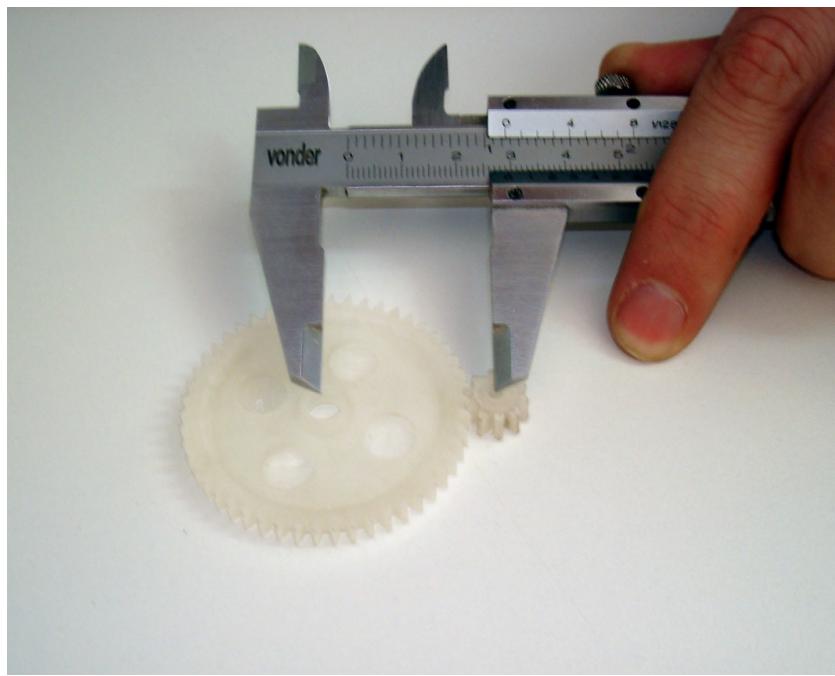


Figura 15: Depois de criadas as engrenagens, devemos medir a distância entre os seus centros, de modo a determinar a distância do potenciômetro ao eixo do servo-motor.

Nosso próximo passo é construir os blocos de fixação dos servo-motores de movimentação horizontal e de movimentação vertical, empregando madeira MDF (com espessura de 1,5 cm) e plástico PVC (com 2 mm de espessura). É importante que esses blocos tenham as mesmas dimensões. O bloco foi dimensionado aleatoriamente, mas dentro dos limites permitidos pela largura do servo-motor e pelo tamanho do robô. Assumimos como padrão para nossas montagens peças de MDF de 1,5 cm de espessura cortadas na forma de um retângulo de 6 cm x 5 cm.

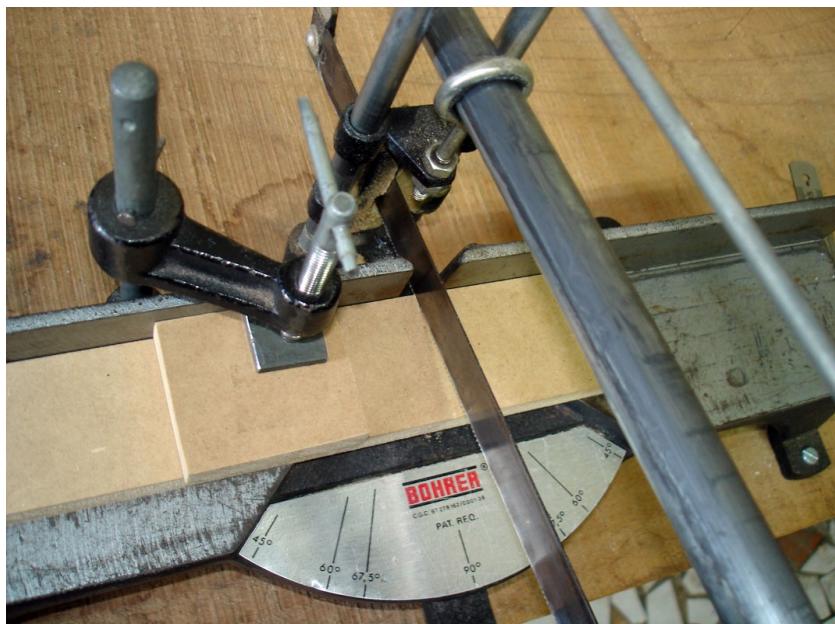


Figura 16: Cortando o MDF na serra de meia-esquadria para a criação dos blocos de servo-motor.

Em primeiro lugar, marcaremos os furos a serem feitos para o encaixe do servo-motor, utilizando a peça de plástico padrão como referência, e, com a distância medida entre os centros das engrenagens, faremos a marcação dos furos para o encaixe do potenciômetro, além de dois furos extras para encaixe de parafusos próximos a este.

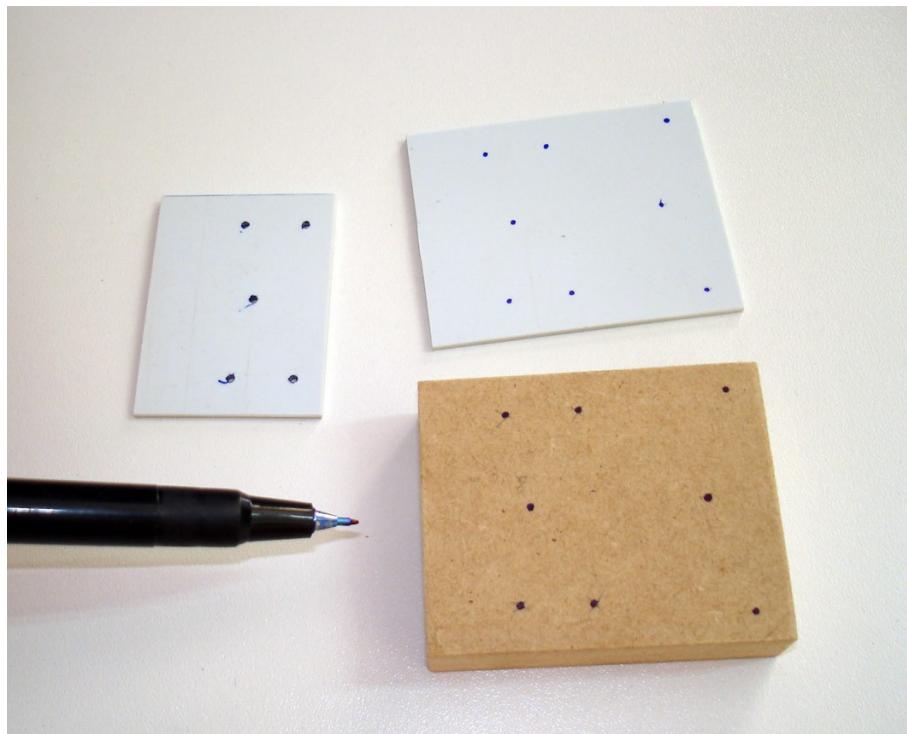


Figura 17: Marcações feitas no bloco de madeira e no plástico, utilizando a peça de plástico padrão (à esquerda) como referência.

Os furos poderão então ser feitos, sendo que os furos assinalados na figura abaixo poderão ser feitos com certa folga, para que possamos ajustar a posição da peça de plástico. Como neste caso serão utilizados parafusos de $1/8''$, recomendamos broca de 4 mm. O furo para o eixo do servo-motor pode ser feito com broca de 8 mm na madeira. O eixo do motor deve girar sem atrito com a madeira, por isso é feito com um diâmetro maior do que o do eixo a ser usado, que neste caso é $1/4''$. Mas deve-se ter em vista que não poderá ser muito maior do que isto, pois a trava utilizada no eixo deve apoiar-se na madeira como mostrado na figura 21-2. Para o plástico, o furo foi feito com broca de $1/4''$, o qual deve proporcionar ao eixo um giro livre, sendo necessário espaçá-lo um pouco mais, quando o mesmo não o proporcionar. Isso pode ser feito com o auxílio de uma furadeira de bancada, realizando movimentos leves e circulares, sempre tomando cuidado para manter o plástico perpendicular à furadeira, pois não desejamos que o furo fique com bordas arredondadas, como explicado no tutorial sobre bloco padrão para servo-motor.

O furo para o potenciômetro a ser feito na madeira deve passar por duas etapas: primeiro deve-se fazer um furo guia (com broca de menor diâmetro), e depois utilizar a broca chata para madeira para aumentá-lo, lembrando-se sempre de utilizar os equipamentos de segurança. No plástico, esse furo será do diâmetro da rosca do potenciômetro, podendo ser alargado futuramente se necessário para um ajuste de relação entre as engrenagens.

Os furos de fixação para o servo-motor na madeira podem ser de qualquer diâmetro que comporte o parafuso a ser utilizado, que no nosso exemplo é de autoatarraxante de 2,9 mm. O furo foi feito com broca de 2,5 mm.

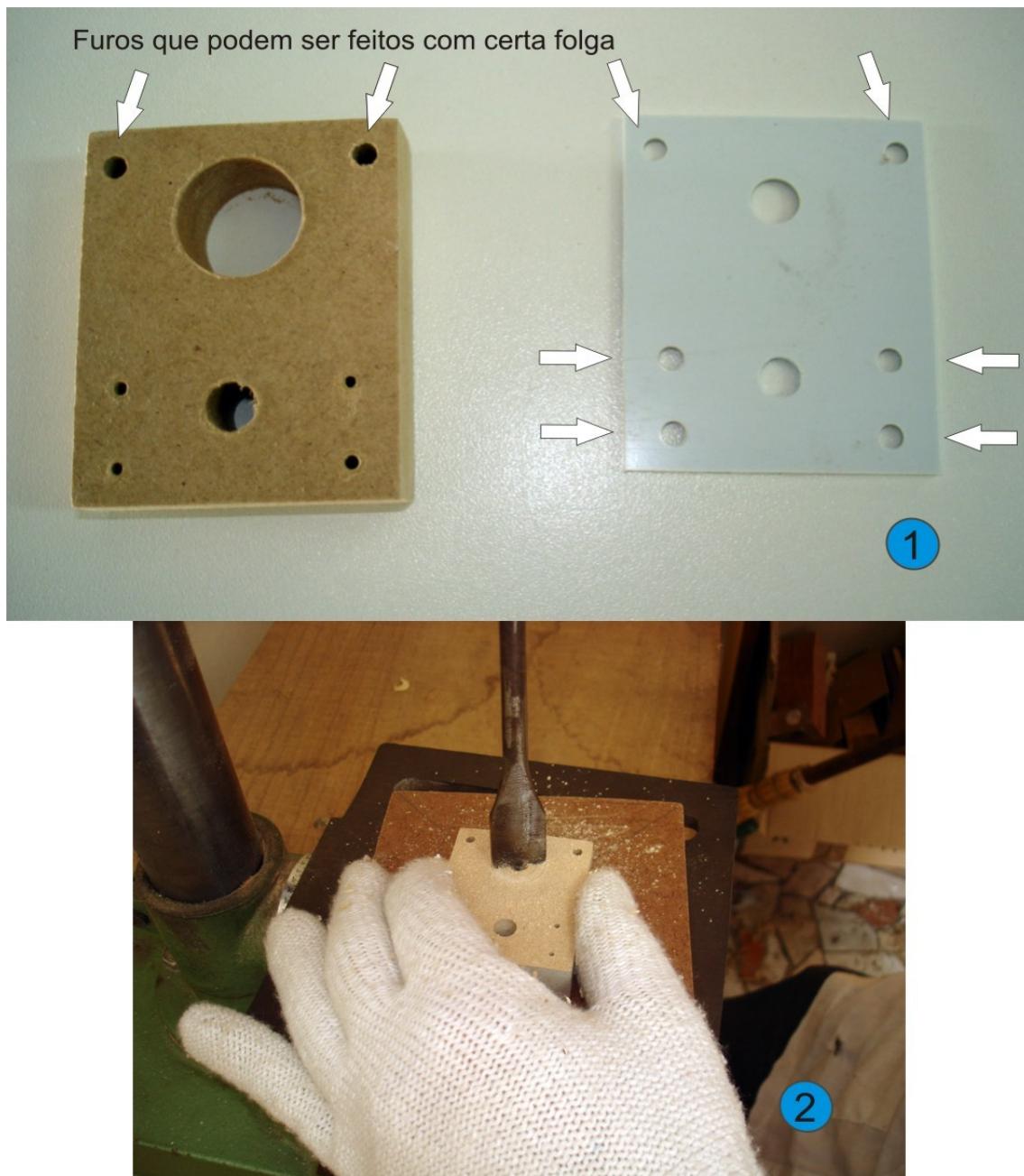


Figura 18: 1-Peças de madeira e de plástico perfuradas, com indicação dos furos que podem ser feitos com certa folga. 2-Furo para o potenciômetro sendo feito com a broca de madeira.

Em seguida, iremos utilizar a serra para cortar a madeira onde será encaixado o potenciômetro. Isso porque, devido ao seu formato, não podemos encaixá-lo diretamente no furo. Antes de cortar, devemos colocar parafusos nos furos próximos ao local a ser serrado, com o objetivo de evitar que a madeira se abra durante o corte.

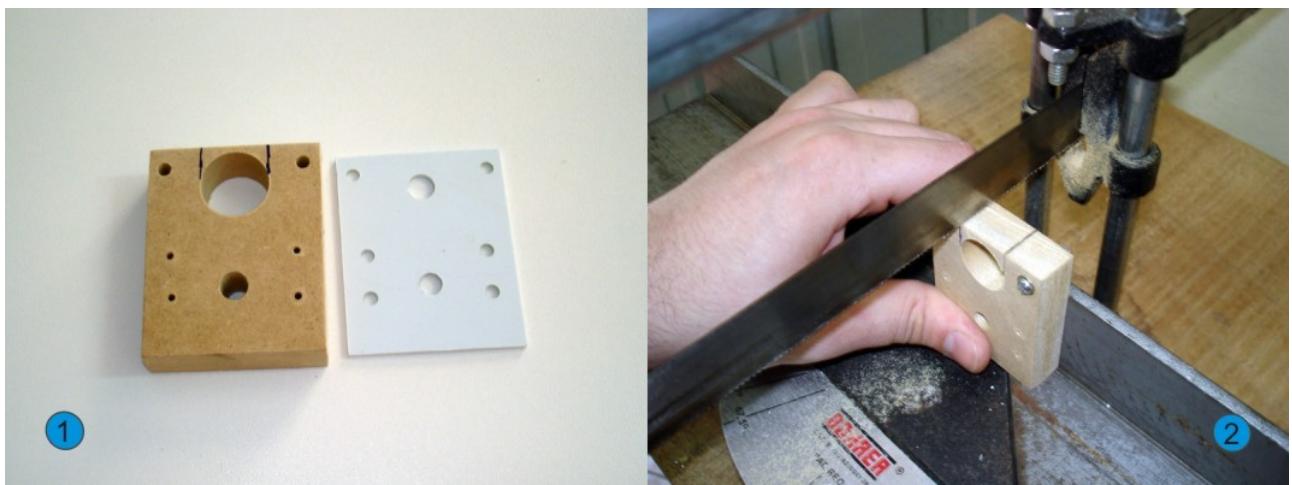


Figura 19: A madeira deverá ser cortada para o encaixe do potenciômetro. 1-Observe a marcação de onde será feito o corte. 2-Corte sendo feito na serra de meia-esquadria. Observe que os parafusos foram colocados nos dois furos próximos.

O próximo passo consiste na criação de um pino-eixo para o servo-motor. Seu tamanho varia de acordo com o potenciômetro usado como eixo externo (sendo que ambos devem ter as mesmas dimensões), sendo o tamanho mínimo mencionado no tutorial sobre bloco padrão para servo motor, mais a área não útil do eixo do potenciômetro (onde há a rosca para o encaixe de uma porca). No nosso caso utilizamos um pino-eixo de 2,7 cm (os 2,3 cm recomendados, mais 4 mm). Este pino tem uma pequena diferença do modelo padrão: como a engrenagem utilizada é muito pequena para ser perfurada e encaixada no pino-eixo, iremos utilizar um pequeno parafuso para fixá-la. Primeiramente, devemos fazer um furo (da mesma dimensão do parafuso a ser usado, no caso 1/8") na engrenagem para o encaixe de um parafuso, com os cuidados necessários para que ele não saia torto.

Para fazer isso, precisamos primeiro lixar as engrenagens para retirar as rebarbas de acrílico que ficam em volta delas, evitando que fiquem desniveladas quando as apoiarmos para furá-las. Então, com muito cuidado, devemos fazer os furos nas engrenagens. Uma dica é utilizar broca de espessura menor para evitar que o furo saia torto e também para melhor direcionar a furação (recomendamos a broca de 1,5 mm para este fim). Depois é só furar as engrenagens utilizando a broca adequada. Por motivos de segurança recomendamos que não se segure a engrenagem diretamente com a mão. Sugerimos o uso de um alicate, por exemplo.

Depois, devemos fazer um furo no centro do pino-eixo, com tamanho suficiente para o encaixe do parafuso (em nossa montagem esse furo foi feito com broca de 1/8"). O parafuso neste caso não precisa entrar rosqueando, pois ele será colado ao pino-eixo. Esse procedimento é um pouco mais complicado, pois precisamos de um suporte para o pino-eixo. Utilizamos um pedaço de madeira qualquer. Foi feito um furo para o encaixe do pino-eixo, servindo assim de base para que possamos segurar o pino com segurança. O pino-eixo deve entrar com relativa pressão na madeira para que fique bem firme, podendo ser necessário utilizar um martelo para que o pino entre na madeira, tomando cuidado para não amassá-lo. Como o pino-eixo utilizado possui um diâmetro de 1/4", o furo na madeira também foi feito com broca de 1/4". Após introduzir o pino-eixo na madeira, basta então furá-lo. É importante tomar cuidado para que o furo não seja torto, para isso utilizamos um marcador para evitar que a broca escorregue. O marcador, como mencionado anteriormente, pode ser um pequeno buraco feito com um prego. Esse furo foi feito com 1 cm de profundidade. Pode-se também fazer um furo guia (com broca de menor diâmetro), para só então perfurá-lo com a broca de 1/8". Isso facilitará a furação, e ajudará a manter o furo o mais

centralizado possível. Para retirar o pino-eixo do suporte, utilize um martelo, batendo no suporte para fazer a madeira abrir, tomando cuidado para não acertar o pino-eixo.

Com o furo pronto, parte-se para o processo convencional que adotamos para a criação de um pino para o motor, como o corte para o encaixe no servo-motor e o vinco para a colocação da trava. Com o pino pronto para ser encaixado no servo-motor, colamos o parafuso à engrenagem e depois o parafuso ao pino, ambos com a cola de secagem instantânea.

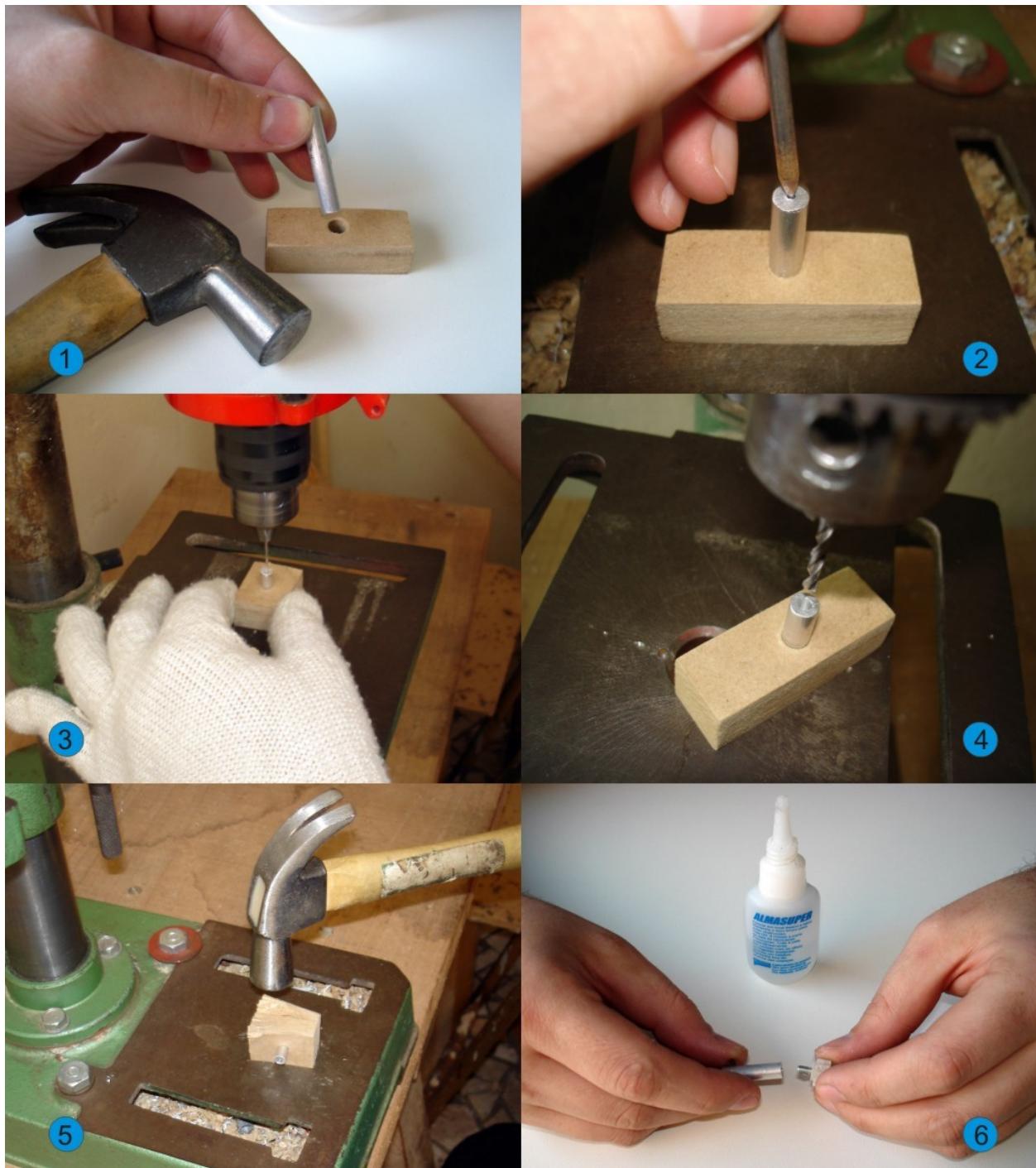


Figura 20: Criação do pino-eixo 1-Pequeno bloco de madeira para o encaixe do pino-eixo. Ele deve se manter firmemente preso à esse bloco. 2-Marcação no pino-eixo do furo para o encaixe do parafuso. 3-Pino-eixo sendo perfurado com a broca de 1/8". É importante que o furo não seja torto nem muito profundo. 4-Pino-eixo já perfurado. 5-Para retirar o pino-eixo do bloco de madeira, deve-se martelar esse bloco até que ele se abra. 6-O parafuso com a engrenagem pode então ser colado ao furo do pino-eixo com a cola de secagem instantânea.

É interessante também lubrificar o eixo, na região que ficará apoiada no plástico do bloco do servo-motor, preferencialmente com graxa. O servo-motor, então, deverá ser fixado no bloco por meio de parafusos para madeira e a parte de plástico que servirá para sustentação do pino-eixo e do potenciômetro deverá ser parafusada à madeira por meio de parafusos e porcas.

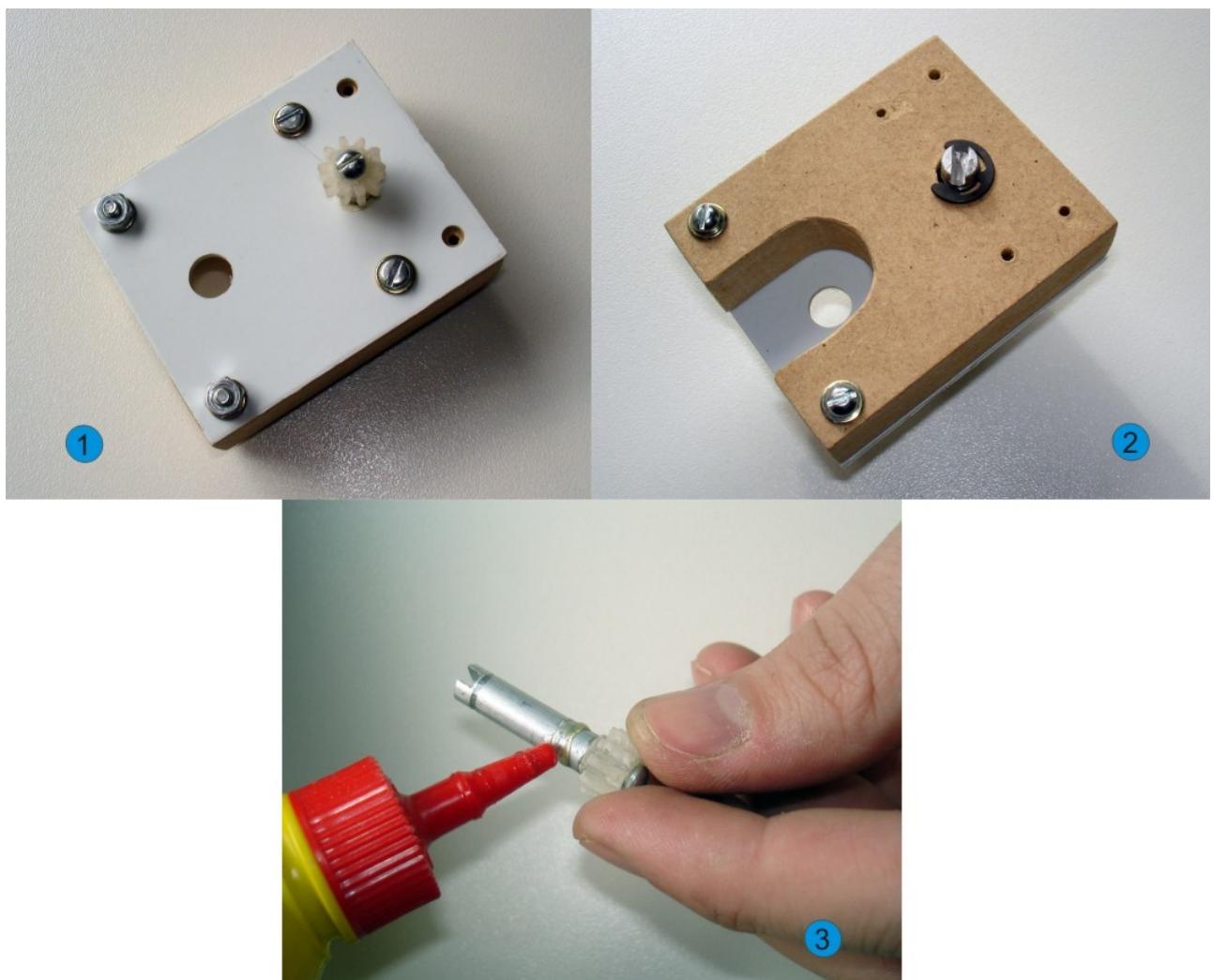


Figura 21: Bloco de fixação do servo-motor com o pino-eixo. 1-Visão superior. Os dois furos que sobram são destinados a fixar o servo-motor. 2-Visão inferior, do lado do servo-motor. 3-A região do pino-eixo que entrará em contato com o plástico do bloco deverá ser lubrificada.

O potenciômetro externo do servo-motor servirá para informar a posição da engrenagem maior. Isso será essencial, pois o Kit controlará sua posição de modo a fazer com que o inseto se incline e desloque. Devemos observar bem a forma com que os fios do potenciômetro devem ser soldados aos terminais onde estava o potenciômetro original, já que estamos utilizando um servo-motor adaptado para rotação contínua. Seguindo o exemplo, com os terminais do potenciômetro voltados para o lado de fora do bloco, os fios são soldados de maneira espelhada ao potenciômetro original, ou seja, com os fios das extremidades invertidos. Isso deve ser feito pois a engrenagem a qual está preso o potenciômetro gira no sentido contrário da engrenagem presa ao eixo original do servo-motor.

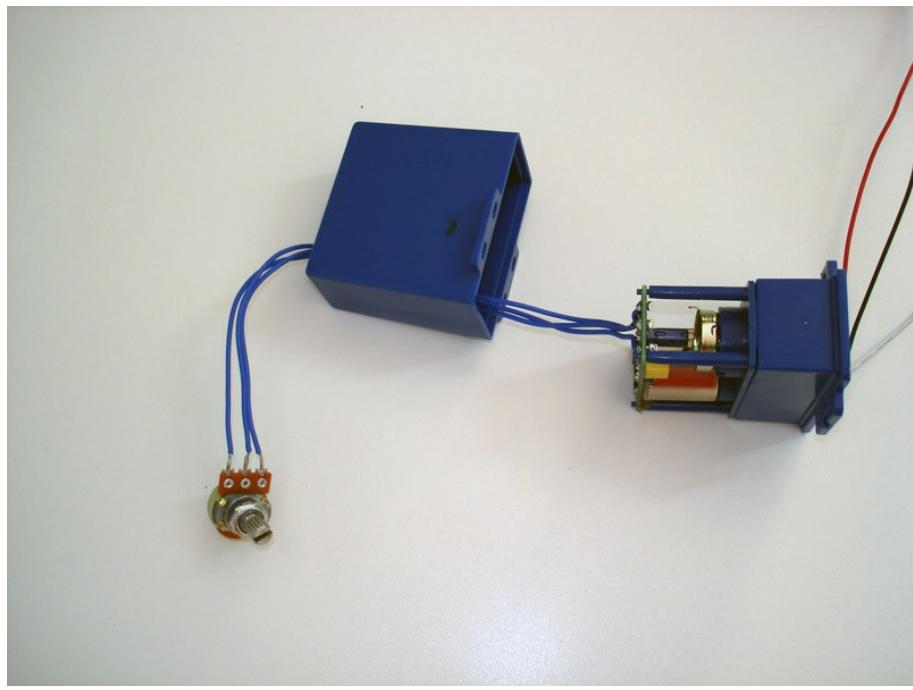


Figura 22: Servo-motor com o potenciômetro externo. A tampa do servo-motor foi perfurada para a passagem dos fios que foram ligados ao potenciômetro.

O próximo passo será preparar a engrenagem grande. Deve ser feito um furo no seu centro cujo tamanho seja suficiente para o encaixe do eixo do potenciômetro. Faça um furo em que o eixo do potenciômetro utilizado entre justo, pois isto ajudará durante a colagem, evitando assim possíveis desalinhamentos que possam vir a surgir.

Além disso, devemos fazer furos em dois pontos da extremidade, alinhados com o centro no pino do potenciômetro. Esses furos devem ser da espessura do parafuso a ser utilizado como futura base para fixação das hastes de transferência do movimento do servo-motor para as pernas do inseto. Utilizamos arruelas dentadas para que o parafuso fique travado na engrenagem. Se necessário, reforce com cola de secagem instantânea. Estes furos foram feitos o mais distante possível do centro, que no caso da engrenagem utilizada por nós, que acabou nos fornecendo uma distância de 1,6 cm para cada um dos lados. Porém, deve-se levar em consideração que estes furos devem possuir uma distância semelhante à distância entre os dois furos que foram feitos destinados a interligação nas pernas centrais do robô inseto ao servo-motor. Para definir o tamanho do parafuso, tenha em mente que ele receberá no mínimo mais duas arruelas e duas porcas, além da haste que servirá para a transferência do movimento do servo-motor para as pernas centrais, por isso, dimensione-o com certa folga.



Figura 23: Engrenagem responsável pela redução e transferência do movimento para as pernas.

Fixaremos primeiramente o bloco do servo motor responsável pela movimentação horizontal. Utilizando o plástico do bloco do servo-motor, marcaremos os furos a serem feitos no corpo do inseto, apoiando esse plástico junto ao lado onde se encontram as pernas já anteriormente destinadas a serem tracionadas pelo motor.

O plástico deve ser posicionado de forma que o lado do potenciômetro fique voltado para o centro do corpo. O furo para a fixação do potenciômetro e o furo para passagem do eixo do servo-motor devem ficar perfeitamente alinhados com o centro do corpo do robô inseto. Optamos por posicionar o plástico à 0,5 cm da extremidade do corpo do inseto.

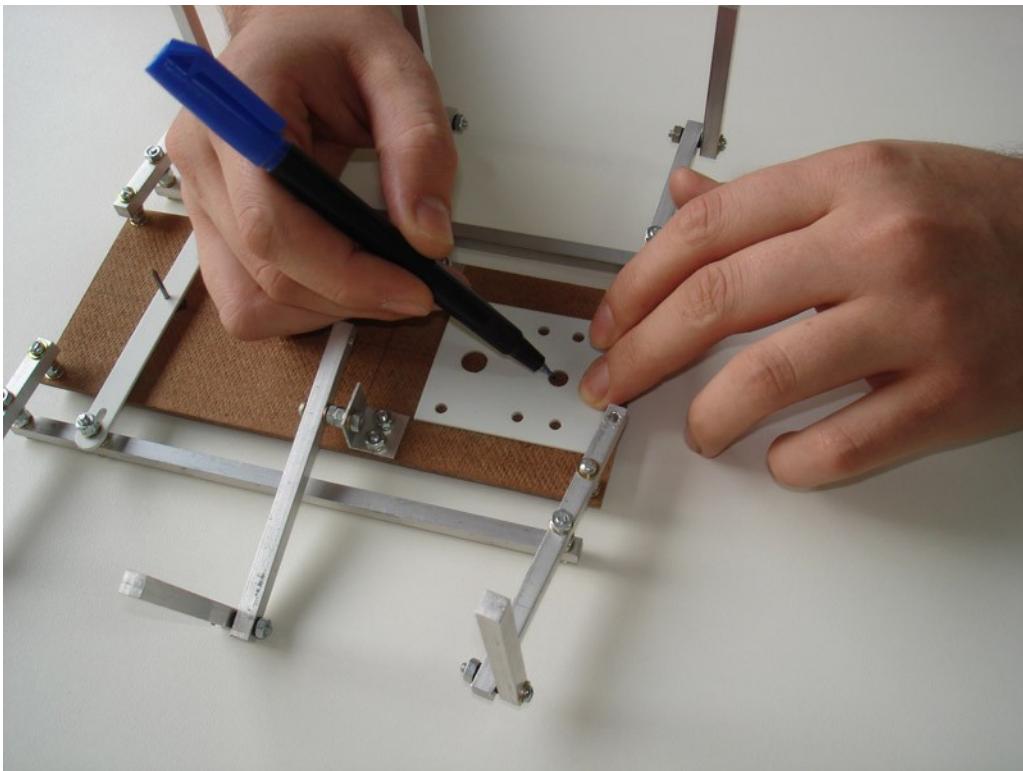


Figura 24: Marcando os furos a serem feitos no corpo do inseto, para a fixação do bloco do servo-motor de movimentação horizontal. Os furos devem estar perfeitamente alinhados.

Iremos agora encaixar o potenciômetro por meio da sua própria porca e colocar a engrenagem grande de modo que os seus parafusos tenham suas cabeças voltadas para o bloco do servo-motor. Com a engrenagem grande encaixada podemos distanciá-la corretamente em relação à engrenagem pequena, e então fixar o potenciômetro. A engrenagem grande deve ser colada somente após o bloco estar devidamente fixo à base do robô inseto.

Os furos maiores, como podemos observar na figura abaixo, foram feitos com broca chata de $3/4''$; os furos intermediários foram feitos com broca de 8 mm, ou seja folga suficiente para que nem o parafuso nem a arruela que fixam o bloco do servo-motor fiquem em contato com a base do corpo sendo que se necessário deve-se aumentar suas dimensões. Os demais foram feitos com broca de 4 mm, com a finalidade de fixar o bloco do servo motor ao corpo do robô inseto, sendo que, em nossa montagem, apenas os dois que encontram-se ao lado do potenciômetro foram utilizados.

Sempre que for utilizar broca chata para perfurar algo, faça primeiramente um furo guia, como feito antes no bloco do servo-motor, para assegurar que o furo saia corretamente alinhado.

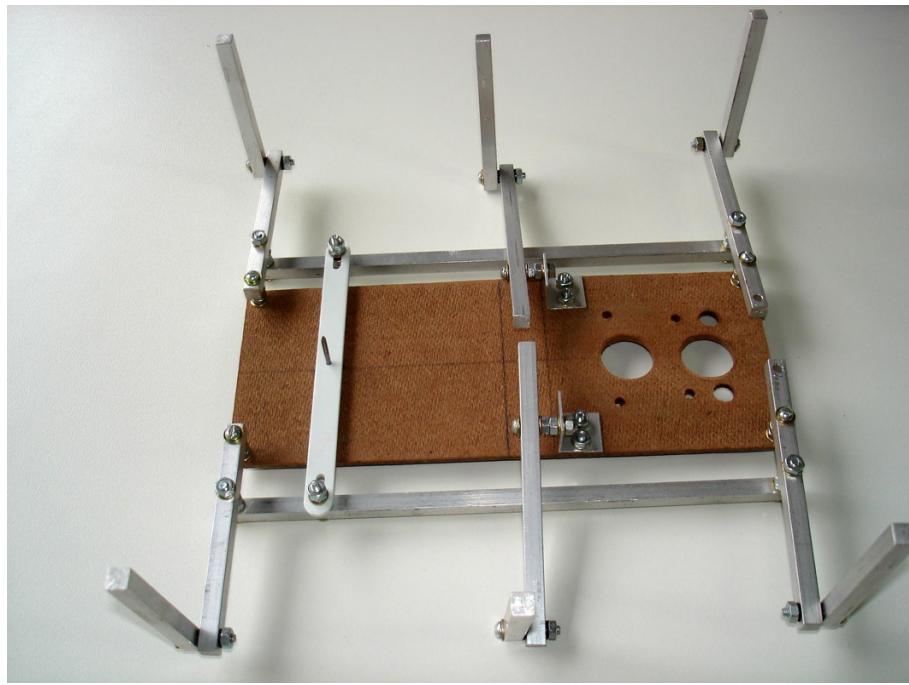


Figura 25: Corpo do robô com os furos para o encaixe do bloco de movimentação horizontal.

A peça de plástico PVC foi fixada ao bloco de madeira pelos dois parafusos mais distantes do potenciômetro, dentre os quatro que se encontram próximos ao eixo do servo-motor. O servo motor foi fixado ao bloco de madeira pelos outros dois furos restantes próximos do eixo. Tome cuidado para não utilizar os mesmos furos para prender o plástico e o servo-motor ao bloco. Os dois furos próximos ao potenciômetro destinam-se a fixar o bloco ao corpo do robô.

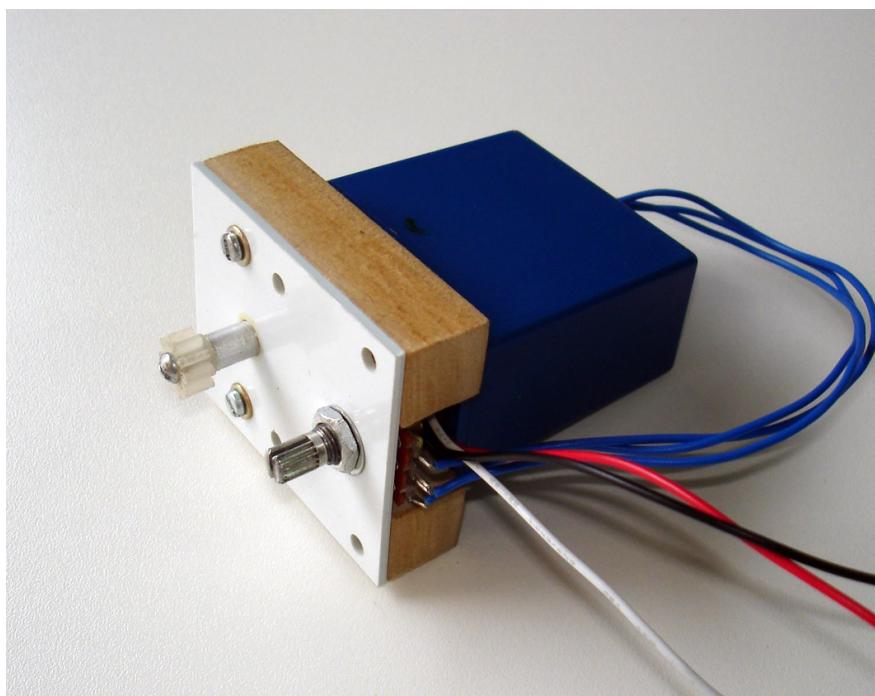


Figura 26: Bloco do servo-motor montado. Dos quatro furos próximos ao eixo do servo-motor, dois foram utilizados para fixar a peça de plástico PVC. Os outros dois são utilizados para prender o próprio servo-motor ao bloco. Esses parafusos não estão visíveis na foto, pois foram presos a partir do outro lado.

O bloco foi fixado a base apenas pelos dois parafusos próximos ao potenciômetro. Observe que eles não são parafusos autoatarraxantes, eles passam diretamente pela madeira e são presos por uma porca de modo que o bloco fique preso por pressão.

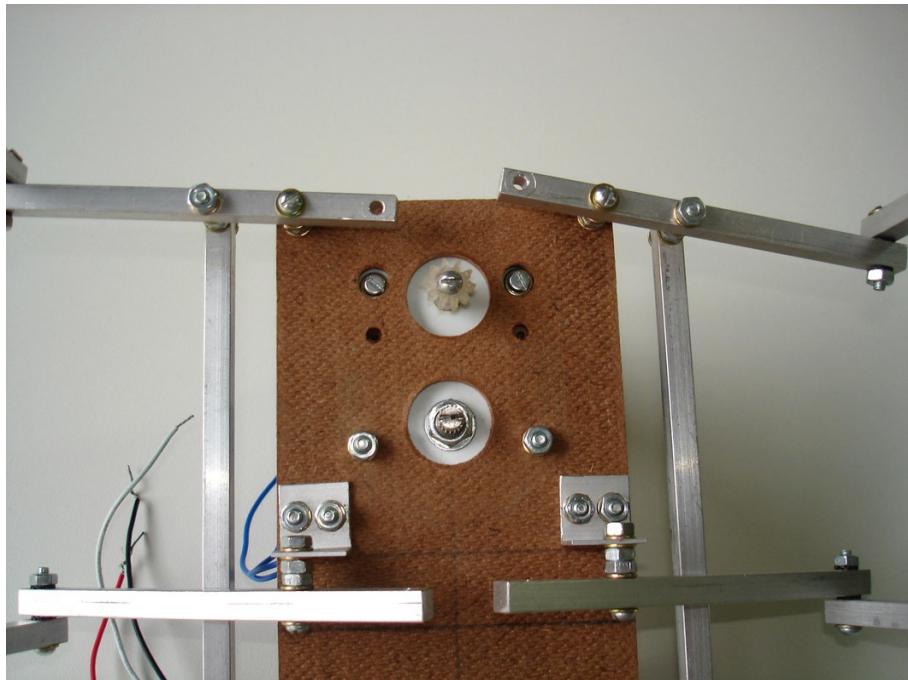


Figura 27: O bloco do servo-motor de movimentação horizontal foi fixado ao corpo do robô inseto através de dois parafusos e porcas, próximos ao eixo do potenciômetro (abaixo).

Em seguida iremos criar hastes, que se tornarão responsáveis pela transferência do movimento do servo-motor para as pernas do robô inseto, porém antes, devemos fixar corretamente a engrenagem grande ao eixo do potenciômetro. Para o correto encaixe da engrenagem, devemos primeiro definir a posição central do potenciômetro. Ligaremos o servo-motor na saída do Kit destinada a servo-motores, e através de um programa que controle os servo-motores (o programa de demonstração das funcionalidades do Kit, por exemplo) faremos com que o que o motor vá para a posição central, e depois, girando o potenciômetro com a mão, podemos achar a posição central de referência do potenciômetro externo. Isso se dá quando o motor pára de girar por completo. Então, poderemos colar a engrenagem, utilizando cola de secagem instantânea, tomando o cuidado para que ela não escorra para dentro do potenciômetro. Note que os parafusos da engrenagem devem ficar paralelos a largura da base, bem alinhados.

Sempre que possível deixe para colar as peças no final das montagens, pois às vezes pode ser necessário ter de desmontar algumas peças. Ao colar a engrenagem no potenciômetro, por exemplo, deve-se ter em mente que não será mais necessário alterar o bloco do servo motor, pois, ao tentar descolar a engrenagem do potenciômetro, podemos vir a danificar alguma dessas peças.

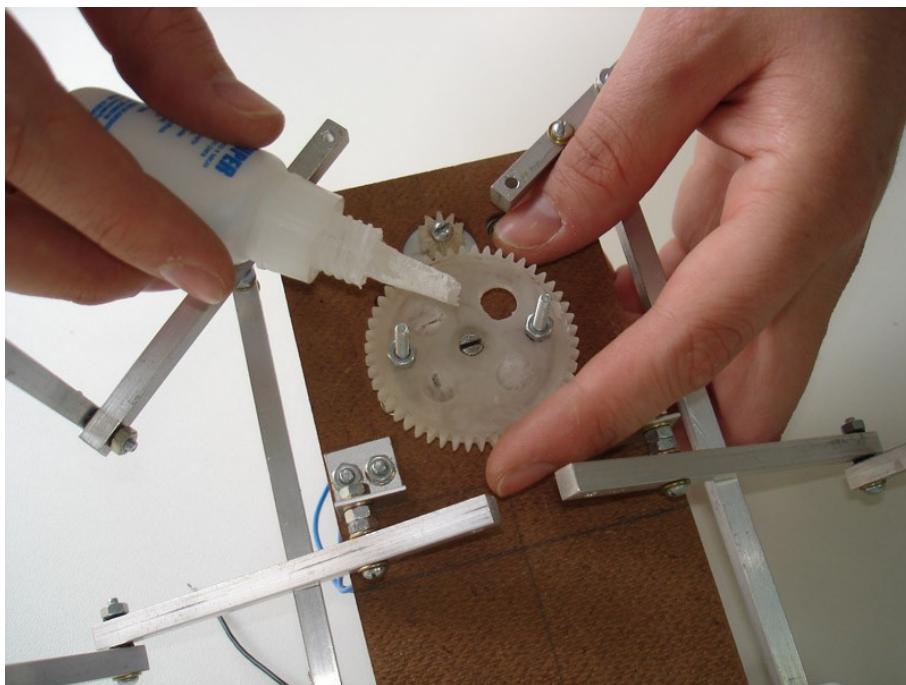


Figura 28: Engrenagem sendo colada ao potenciômetro. Faça esse procedimento apenas se tiver certeza que não será mais necessário alterar o bloco, caso contrário, deixe-o para o final.

As hastes foram feitas com plástico PVC com 2 mm de espessura da seguinte maneira: cortamos duas tiras de PVC com certa folga no seu comprimento, tendo 1 cm de largura cada uma. O seu comprimento exato é definido pela distância entre o parafuso fixo à engrenagem grande e o furo voltado para o lado interno das pernas que serão tracionadas, do mesmo lado. Ao definir esta distância, as pernas devem estar alinhadas umas com as outras, formando um ângulo de 90° em relação ao corpo, ou seja, paralelas à largura. No nosso caso do exemplo essa distância foi de aproximadamente 6,2 cm.

Primeiro furamos um lado de cada uma das hastes, à 5 mm de uma das extremidades. Este furo deve ser feito com broca de 1/8", de modo que a haste se encaixe sem atritos ao parafuso. Para isso pode ser necessário ter de espaçar levemente o furo. Encaixamos as hastes nos parafusos da engrenagem, adicionamos parafusos nas pernas (cujo comprimento deve ser suficiente para comportar no mínimo mais duas arruelas, duas porcas, além da própria haste) e conferimos a marcação para o próximo furo a ser feito, como pode ser observado na figura abaixo. É importante que as hastes sejam posicionadas uma paralela a outra, nunca se deve cruzá-las.

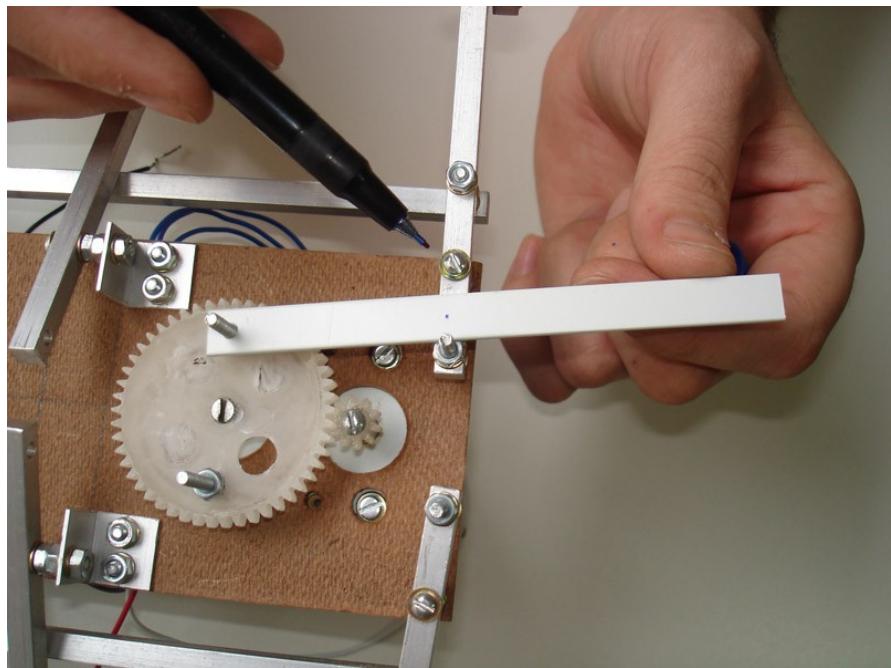


Figura 29: Definindo as dimensões das hastes de PVC, responsáveis por transferir o movimento do servo-motor às pernas do inseto.

As hastes devem então ser cortadas num tamanho adequado, aproveitando-se para dar o devido acabamento às peças neste momento. Elas devem ser fixadas através do mesmo sistema utilizado para criar eixos com parafusos, devendo possuir uma pequena folga para que possam se movimentar. Em relação à sua altura ao chão, elas devem formar uma linha reta entre a engrenagem e as pernas, sendo que, se necessário, deve-se aumentar o espaçamento em relação à engrenagem. Isso pode ser feito adicionando arruelas ou porcas ao parafuso, antes de encaixar as hastes. No robô inseto mostrado nesse tutorial, foi necessária a adição de uma porca e duas arruelas em cada um dos parafusos da engrenagem. Este é um ponto que também deve ser lubrificado.



Figura 30: Hastes prontas e fixadas à engrenagem do servo-motor e às pernas do inseto através de parafusos, porcas e arruelas.

Deste modo, o bloco de movimentação horizontal do robô inseto está concluído. Partiremos então para a fixação do bloco responsável pela movimentação vertical. O bloco do servo-motor é semelhante ao utilizado para a movimentação vertical, e já deve estar completamente montado, com o potenciômetro e as engrenagens fixadas. A engrenagem deve ser fixada ao potenciômetro com ele já centrado, de modo que os parafusos formem uma linha paralela ao sentido em que o bloco será fixado. Devemos seguir os procedimentos acima para identificar a posição central do potenciômetro, utilizando um programa que controle a posição do servo-motor.

Primeiro, faremos um corte paralelo à largura do corpo, com comprimento aproximadamente igual ao da engrenagem, sobre a linha central do corpo do inseto, com largura de 5 mm. Dependendo do posicionamento das pernas centrais, este corte pode variar de posição, no entanto, ele deve permitir a passagem de duas hastes de plástico, semelhantes àquelas que foram criadas no bloco de movimentação horizontal. Devemos levar em conta que os furos restantes das pernas centrais deverão receber parafusos, onde serão encaixadas as hastes para a transferência de movimento do servo-motor para as pernas, sendo assim, o que realmente define a posição do corte é a localização dos parafusos.

Este corte pode ser feito com o auxílio da furadeira de bancada e da microrretífica. Primeiramente, deve-se marcar a área a ser cortada e, no centro desta área, traça-se uma linha onde deveremos fazer diversos furos com broca adequada (5 mm no nosso caso). Feito isso, utilizamos a microrretífica com o acessório disco de corte para interligar estes furos, retirando os excessos de madeira. Para o acabamento pode-se usar uma lima, ou até mesmo uma lixa manual.

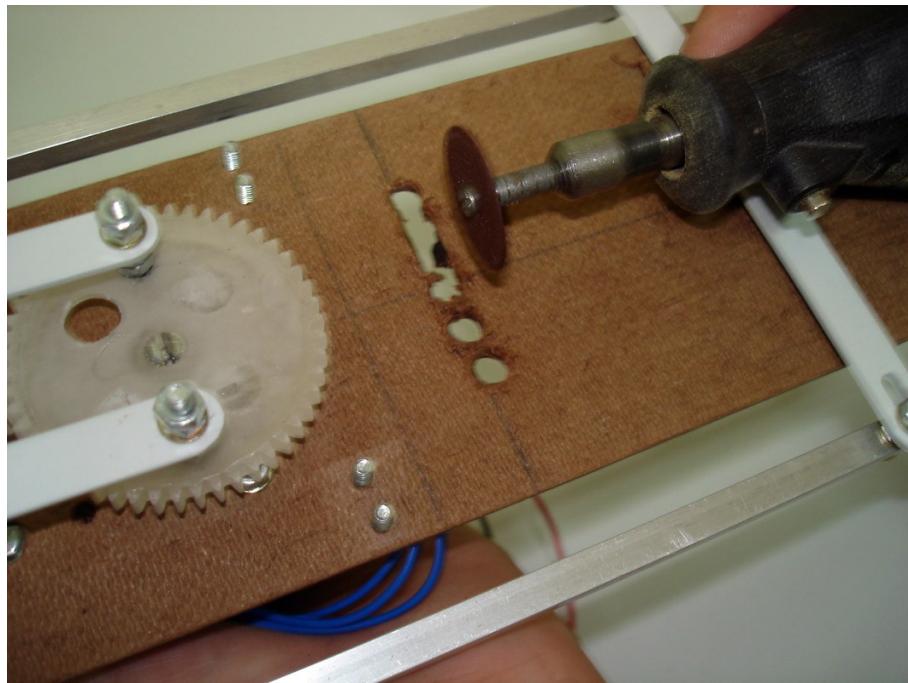


Figura 31: Furo para a passagem das hastes do servo-motor de movimentação vertical. Foram feitos alguns furos com a furadeira de bancada, que serão interligados com a microrretífica.

Em seguida, posicionamos o bloco do servo-motor com os parafusos da engrenagem alinhados com os parafusos das pernas, lembrando-se de que entre eles deve haver o espaço para as hastes. Utilizando um lápis ou outro instrumento para marcação, riscaremos em volta do bloco de madeira, para demarcar sua posição na base, certificando-se de que o mesmo esteja alinhado no sentido da largura da base e centralizado. O bloco deve estar posicionado de modo que o potenciômetro fique voltado para cima.

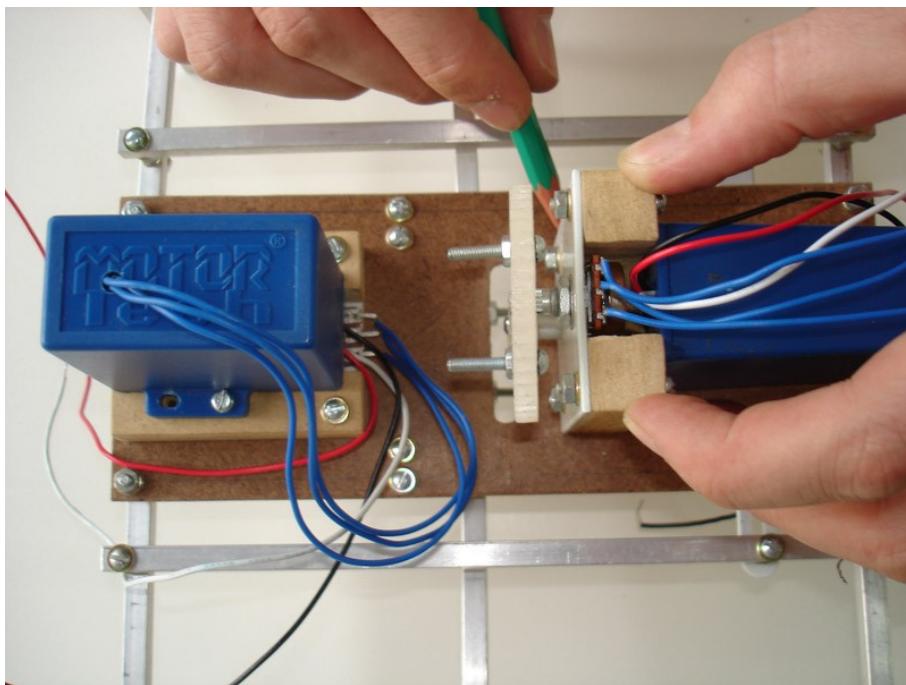


Figura 32: Demarcando a posição do bloco no corpo do inseto.

Em seguida, traçamos duas linhas no centro da marcação, sendo uma em relação ao seu comprimento e outra em relação à sua largura, para determinarmos os furos para a fixação do bloco. Serão feitos dois furos com a broca de 4 mm, que poderão ser espaçados, se necessário. Estes furos devem ficar a 1 cm das beiradas do bloco de madeira, no sentido do comprimento, e centralizados em relação à sua largura.

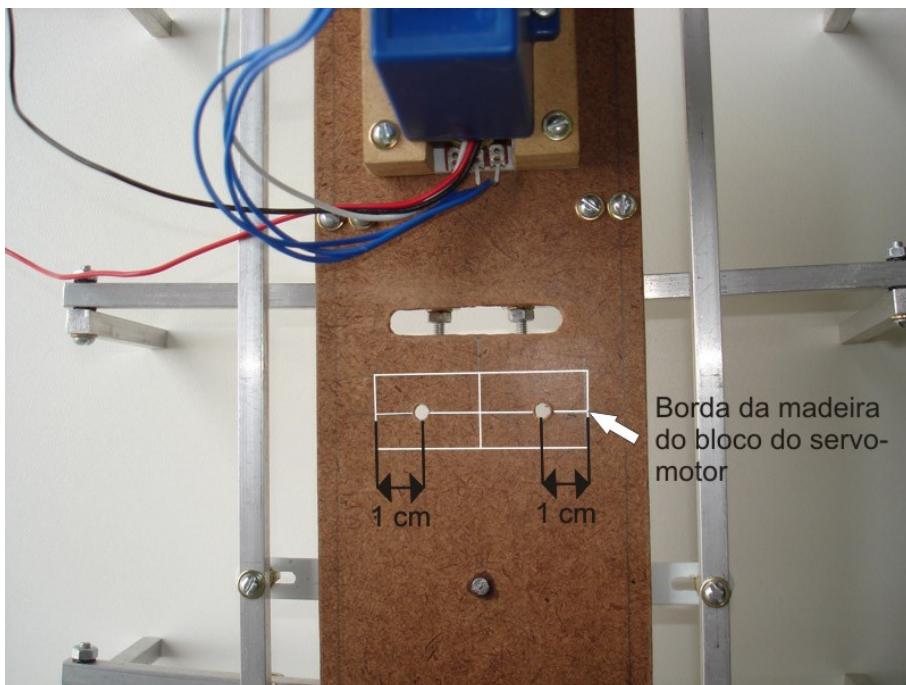


Figura 33: Furos para a fixação do bloco do servo-motor.

Utilizamos parafusos autoatarraxantes de 2,9 mm para fixar o bloco do motor. Para marcar

o bloco, basta posicioná-lo na base e, com o auxílio de um lápis ou uma caneta, marcar os pontos que deverão ser perfurados, utilizando para isso a broca de 2,5 mm.

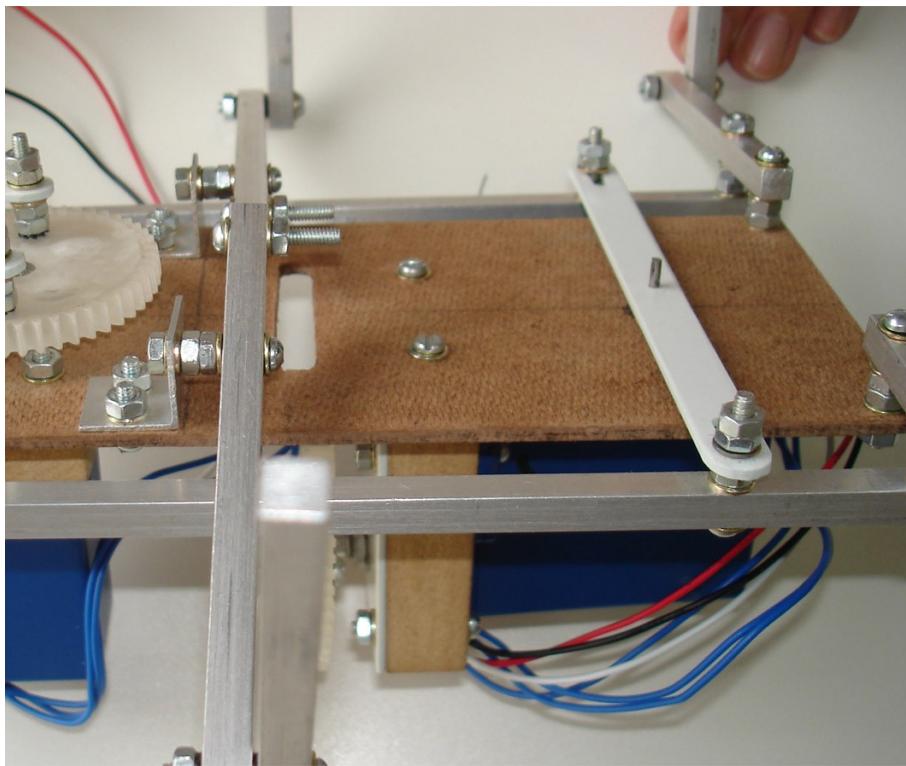


Figura 34: Bloco do servo-motor de movimentação vertical fixado através de parafusos autoatarraxantes.

No que diz respeito as hastes, elas são praticamente idênticas às hastes feitas anteriormente, diferenciando apenas no seu comprimento, que é dado medindo-se a distância entre o parafuso fixo à engrenagem e o parafuso fixo à sua respectiva perna, sendo que a perna deve estar paralela à base do corpo do robô inserido (os dois pés centrais devem estar encostados no chão para que se possa medir com maior precisão).

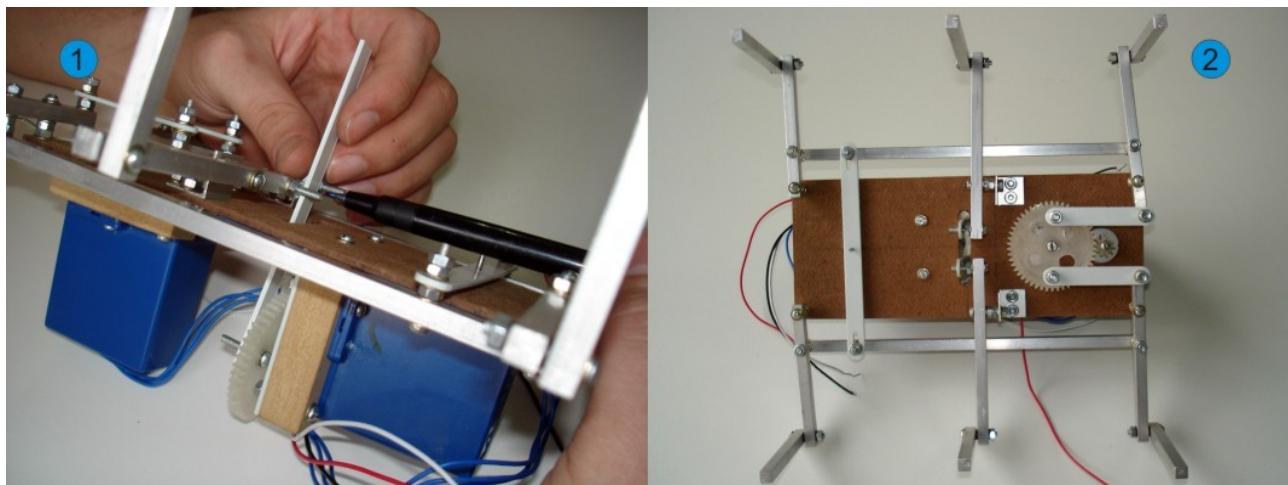


Figura 35: Colocando as hastes de transmissão de movimento do servo-motor às pernas de inclinação do robô. 1- Definindo o seu tamanho. 2-Visão inferior do corpo do robô inserido.

As hastes são presas aos parafusos da engrenagem, da mesma forma que as hastes responsáveis pela transferência de movimento horizontal do robô inseto, mas podem ser apenas encaixadas nos parafusos das pernas centrais, pois não irão escapar deste.

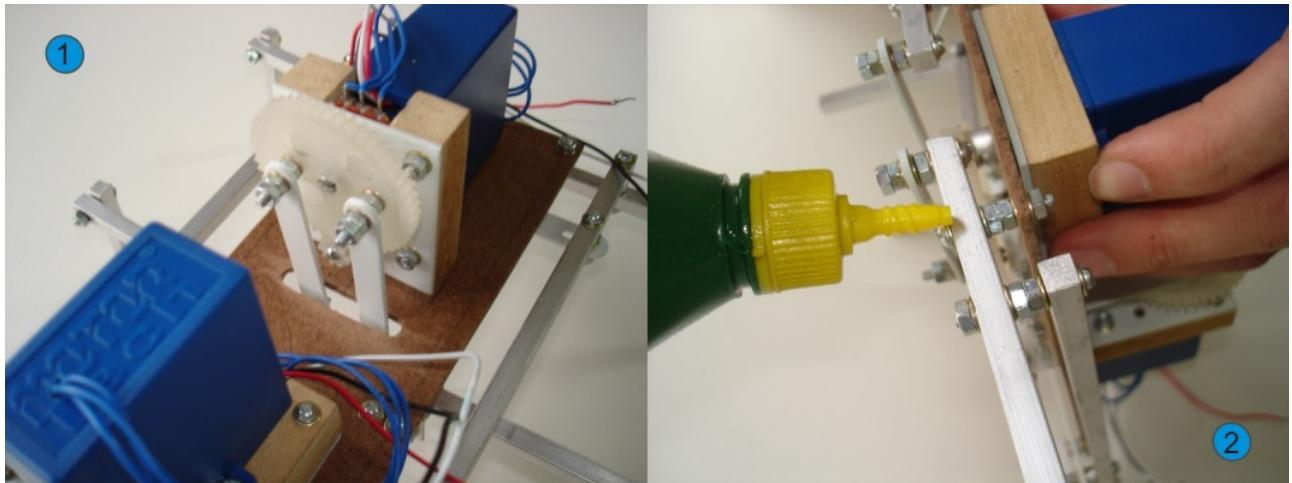


Figura 36: Finalizando o corpo do inseto. 1-Hastes fixadas às engrenagens. 2-Após a finalização do corpo do inseto, podemos terminar alguns detalhes, como pontos a serem lubrificados e colagens.

Pode ser necessário ter de colocar “sapatos” nos pés do robô inseto, que podem ser feitos de pés de borracha, como mostrados na foto abaixo, ou mesmo pedaços de borracha colados aos pés. Isso é feito somente nos pés das extremidades, pois eles precisam possuir um bom contato com a superfície onde o inseto se deslocará. Nas pernas centrais, esse procedimento não é necessário, pois elas precisarão escorregar.



Figura 37: "Sapatos" de borracha colocados nas pernas das extremidades, proporcionando maior aderência. As pernas centrais não necessitam deles, pois devem deslizar.

Finalizamos aqui a montagem do robô inseto na versão com engrenagens de redução. Vamos detalhar agora as mudanças que devem ser feitas para a construção da versão sem engrenagens, além de outras modificações que podem ser realizadas.

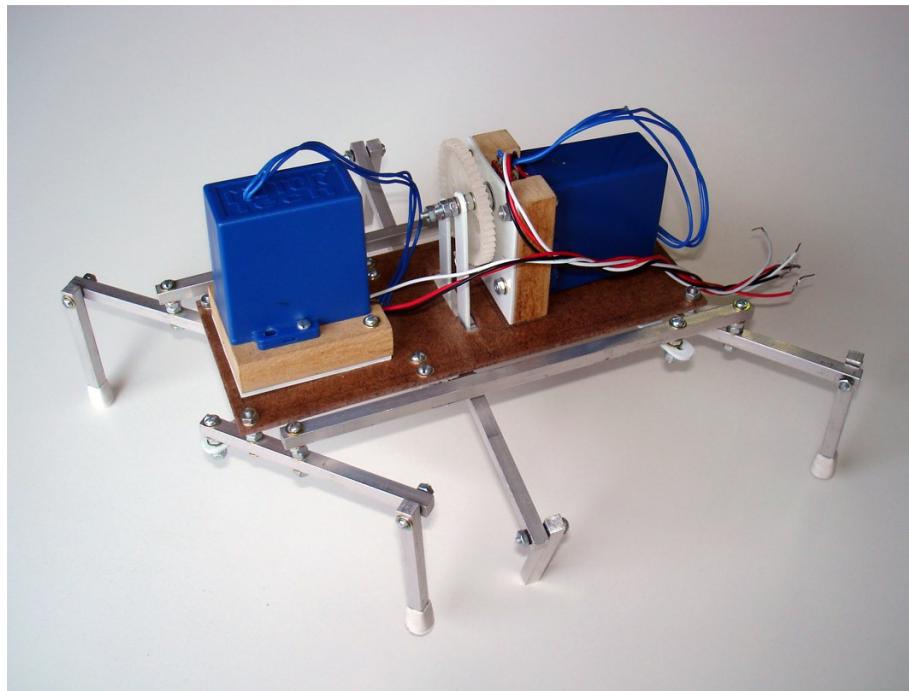


Figura 38: Visão do robô inseto finalizado.

6 – Versão sem engrenagens

O robô inseto também pode ser construído de uma forma mais simplificada. Ele pode ser feito sem as engrenagens responsáveis pela redução da velocidade do servo-motor. Nesse modo, o inseto poderá se movimentar com mais velocidade, já que a velocidade do servo-motor é inalterada.

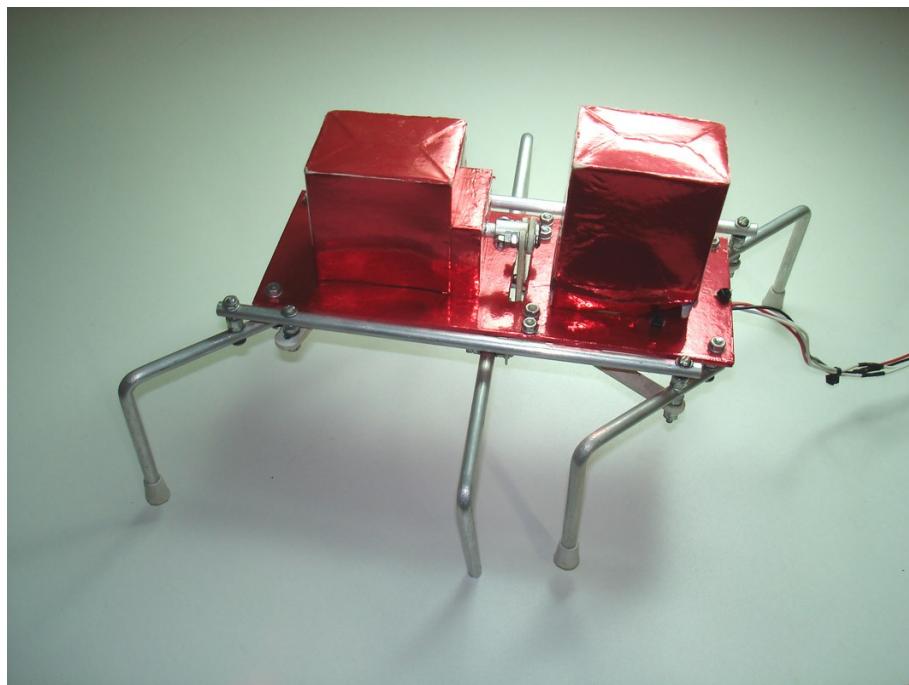


Figura 39: Versão do robô inseto sem engrenagens de redução. Observe que este modelo conta com um acabamento, feito com papel laminado vermelho.

Para construirmos um robô inseto sem as engrenagens, podemos utilizar um bloco igual ao bloco padrão de servo-motor. Enquanto que na versão do robô inseto com engrenagens devemos modificar o servo-motor para rotação contínua e utilizar um potenciômetro, no servo-motor destinado à versão sem engrenagens não é necessária nenhuma alteração.

Neste modelo, foi criado um pequeno bloco que servirá para substituir a engrenagem no que diz respeito ao suporte dos parafusos em que são encaixadas as hastes para a transferência de movimento. Este bloco constitui-se de um cano de alumínio com 3/8" de diâmetro externo, e 1/4" de diâmetro interno, com 1,3 cm de comprimento. Nele foi colada uma pequena barra de alumínio (com 1 cm de comprimento), que foi introduzida 5 mm para dentro do cano de alumínio e colada com cola de secagem instantânea. Nos 5 mm que ficaram para fora do cano de alumínio, será colada uma pequena haste, onde serão presas as hastes de transferência de movimento.

Fixaremos o cano ao eixo do servo-motor através de um parafuso. Para isso, o cano foi perfurado a 5 mm de distância da borda, do lado oposto de onde foi colado o pino, e então encaixado ao eixo do servo-motor para serem feitas as marcações dos furo a ser feito no eixo. Ambas as peças foram perfuradas com broca de 1/8". A peça deve então ser aparafusada ao eixo do motor, como pode ser observado na figura abaixo, e com o eixo do motor movido para a posição central, deve-se colar no pino uma haste, que servirá de base para as hastes de transferência de movimento. Ela deve ser perfurada com broca de 1/4", para que possa se encaixar perfeitamente no pino. Em seguida para reforçar esta colagem, insere-se uma pequena arruela (que pode ser feita com o mesmo material do cano de alumínio, bastando cortá-lo num tamanho pequeno), colando-a também, com cola de secagem instantânea.



Figura 40: Visões da haste colocada no eixo do servo-motor, onde são fixadas as hastes de transferência de movimento. 1-Visão do bloco de movimentação vertical. 2-Visão do bloco de movimentação horizontal.

Uma maneira de simplificar este processo, é fazê-lo utilizando duas travas para fixar a haste de plástico ao eixo do servo-motor, colando-a em seguida com cola de secagem instantânea, lembrando-se de que esta haste, onde serão preso os parafusos, deverá ser colada já com servo-motor centrado. As imagens abaixo ilustram esse exemplo de aplicação.

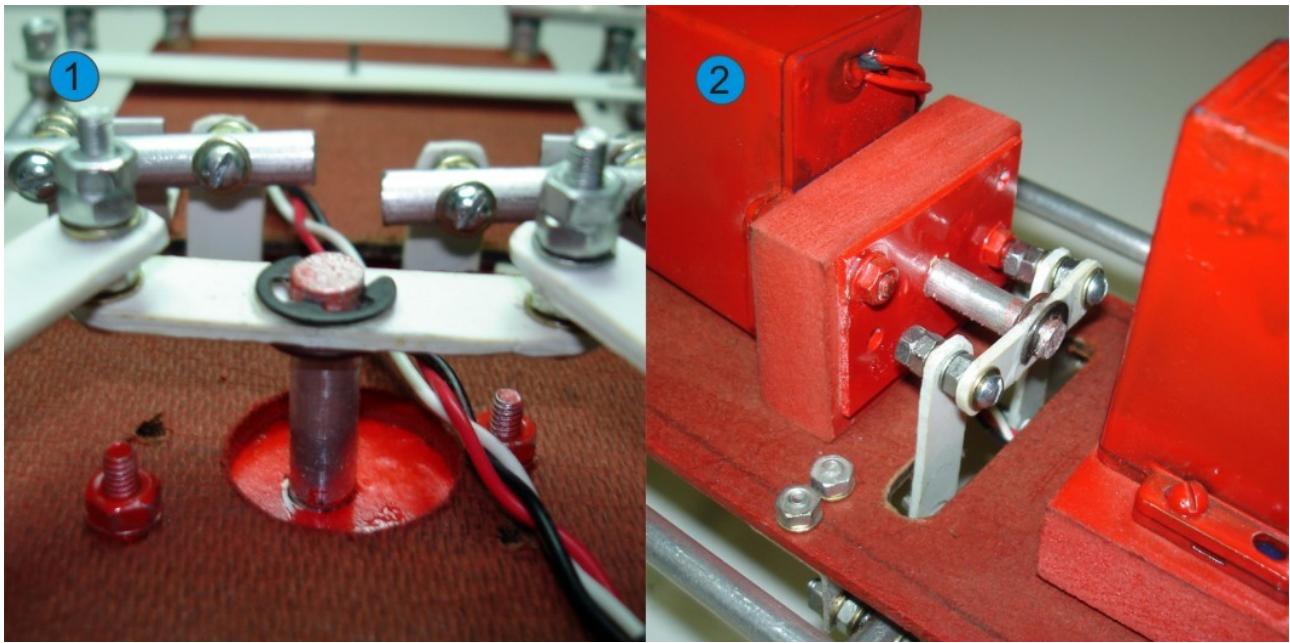


Figura 41: Utilização de travas para prender a haste. 1-Visão do bloco de movimentação horizontal. 2-Visão do bloco de movimentação vertical.

Neste novo exemplo podemos notar diversas diferenças para o primeiro modelo mostrado nesse tutorial. As pernas deste robô inseto foram feitas com barras de alumínio 1/4" cilíndricas, que embora sejam mais difíceis de se trabalhar, possibilitam uma estética melhor; as quatro pernas de movimentação horizontal possuem o mesmo tamanho; as hastes de transferência do movimento horizontal são ligadas nos mesmos parafusos em que estão presas as barras que transferem o movimento para as outras duas pernas e estes parafusos, por sua vez, são bem mais longos. Além disso, a perna é composta por uma única peça, feita com a barra cilíndrica, que foi dobrada com o auxílio de uma morsa.

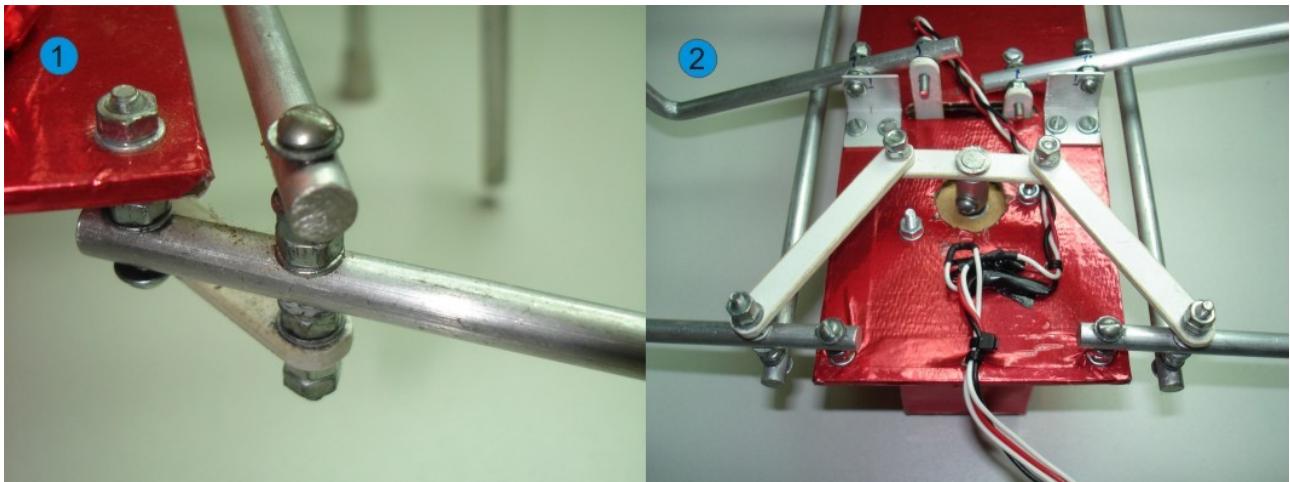


Figura 42: Diferenças desse exemplo de robô em relação ao anterior. 1-Um mesmo parafuso prende a barra ligada às outras pernas e a haste ligada ao motor. 2-Por esse motivo, a perna que é ligada ao servo-motor de deslocamento horizontal é do mesmo tamanho da que não é ligada.

A versão com as engrenagens foi uma adaptação que criamos com a intenção de melhorar a mecânica do movimento. No entanto, com a adição de engrenagens, haverão algumas etapas a mais

durante a montagem. A versão a ser montada é de livre escolha. Além disso, nada o impede de mesclar os dois modelos ou até mesmo mudar a estrutura do robô ao seu gosto.

7 – Eletrônica

A eletrônica envolvida com o robô inseto é simples. Serão descritos apenas alguns detalhes em relação à conexão do inseto, sua alimentação e o potenciômetro externo dos servo-motores.

Para conectar o inseto ao KDR5000, deverá ser utilizado o *Módulo de Entradas, Saídas e Servo-Motores*. É recomendado utilizar o primeiro conector de servo-motores disponível, tendo em vista que o MEC1000 possui uma quantidade de portas menor e o programa deverá ser compatível com os dois.

Para conectar o servo-motor de movimento vertical é recomendado utilizar a porta Servo 0, enquanto que para o servo-motor de movimento horizontal, é recomendado a porta Servo 1. É possível ligar os servo-motores em outras portas, mas a conexão descrita acima foi padronizada para facilitar a programação. Caso haja dúvidas sobre a conexão, basta consultar os manuais desses equipamentos.

Não é necessária uma fonte de alimentação externa para o inseto, pois como ele possui apenas dois servo-motores, a corrente consumida por ele pode ser suportada pela fonte própria do MEC1000 ou do KDR5000. Podem ser utilizadas as saídas de alimentação disponíveis nos conectores destinados ao seu controle.

Para conectar o robô inseto ao Kit, é recomendado utilizar um cabo de grande extensão, para que ele tenha uma maior liberdade de movimento. Também é interessante usar um conector (DB-9, por exemplo) para ligar esse cabo ao inseto, para facilitar o transporte do robô. Esse cabo também pode ser utilizado para conectar o robô bípede ao Kit, desde que os conectores tenham a mesma pinagem, ou seja, que os cabos estejam soldados nos conectores de forma semelhante.

O potenciômetro externo dos servo-motores deverá ter seus terminais ligados de forma invertida em relação ao potenciômetro original, tendo em vista que a engrenagem a qual ele está ligado gira no sentido inverso ao eixo do servo-motor.

8 – Programação

Para que o nosso robô inseto possa funcionar perfeitamente, ele deverá ser controlado de modo adequado. Sendo assim, devemos criar um programa que faça com que o Kit acione os servo-motores de modo que o inseto possa se deslocar.

Através do programa descrito nesse tutorial, o Kit acionará os servo-motores de movimentação vertical e horizontal. De acordo com o modo que os servo-motores forem acionados, o inseto poderá se movimentar para frente ou para trás ou virar para a direita ou esquerda. Porém, devido à sua estrutura mecânica, o movimento que o inseto realiza para virar não é tão ágil quanto a do robô bípede. Além disso, adicionamos um comando para que o robô fique na posição de repouso, o que é útil antes de desligá-lo.

É possível notar que o programa utilizado para controlar o robô inseto é muito semelhante ao que é utilizado para o robô bípede. Isso porque os dois robôs possuem muitas semelhanças. Eles possuem dois servo-motores e realizam uma sequência de movimento muito parecida. Porém, não é recomendado utilizar o programa destinado ao inseto para controlar um bípede, e vice-versa. Isso porque, como será explicado mais detalhadamente a seguir, os movimentos a serem realizados pelos seus servo-motores possuem certas limitações, e este deve ser controlado tendo em vista essas limitações.

O programa exemplificado aqui neste tutorial serve como um exemplo. Ele contém apenas as instruções básicas para o funcionamento do robô, possibilitando que ele se movimente em determinadas direções. Ele pode ser modificado de inúmeras maneiras, proporcionando uma interface melhor ou uma linha de código mais eficiente. Também é possível que se controle manualmente a posição dos servo-motores ou realizar tudo de forma automática, incrementando o robô com sensores que possam verificar se há algum obstáculo.

O nosso programa será criado através do Delphi, utilizando o Projeto Base, que nos permite a comunicação com o Kit através de uma porta serial, como ponto de partida para a elaboração do programa, que deverá apresentar a seguinte interface.



Figura 43: Programa de controle do inseto.

Nosso primeiro passo é criar a interface gráfica do programa. Como vamos utilizar o projeto criado no tutorial Base como ponto de partida, copiamos o projeto daquele tutorial e em cima dele vamos adicionar alguns componentes gráficos extras.

A primeira coisa que modificaremos no projeto é a propriedade Caption do Form principal, que possui o texto “Projeto Base”. Vamos modificá-la para “Inseto”. Com isso já podemos começar a adicionar os componentes gráficos ao Form.

O programa possui uma interface gráfica composta por dois Button e cinco SpeedButton. Os botões comuns serão destinados a iniciar e parar o funcionamento do inseto. Já os SpeedButton serão destinados a controlar a movimentação do inseto. O primeiro passo será adicionar os componentes SpeedButton, que podem ser encontrados na aba “Additional”.

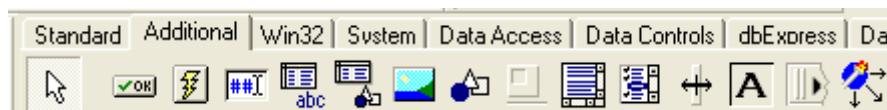


Figura 44: Aba "Additional" da barra de componentes.

O componente SpeedButton possui o seguinte ícone nessa barra.



Figura 45: Ícone do componente SpeedButton.

Devemos adicionar cinco desses componentes no nosso Form e modificaremos as seguintes propriedades de cada um deles:

Name = SpeedButtonFrente

Caption = Frente

Width = 57

AllowAllUp = True

GroupIndex = 1

Name = SpeedButtonTras

Caption = Trás

Width = 57

AllowAllUp = True

GroupIndex = 1

Name = SpeedButtonDireita

Caption = Direita

Width = 57

AllowAllUp = True

GroupIndex = 1

Name = SpeedButtonEsquerda

Caption = Esquerda

Width = 57

AllowAllUp = True

GroupIndex = 1

Name = SpeedButtonRepouso

Caption = Repouso

Width = 57

AllowAllUp = True

GroupIndex = 1

Desse modo, nosso Form ficará da seguinte maneira. Observe o modo como os SpeedButton foram colocados.



Figura 46: Form após a adição dos SpeedButton para controle do inseto.

Nosso próximo passo será adicionar os componentes para iniciar e parar a movimentação do inseto. Isso será feito através de componentes Button, que se encontram na aba “Standard” da barra de componentes.



Figura 47: Aba "Standard" da Barra de componentes

O componente Button possui o seguinte ícone.



Figura 48: Ícone do componente Button.

Vamos adicionar dois componentes desses e modificar as seguintes propriedades do botão para iniciar o movimento do inseto.

Name	=	ButtonIniciar
Caption	=	Iniciar
Font/Style/fsBold	=	true

Em seguida as propriedades do botão para parar o inseto.

Name	=	ButtonParar
Caption	=	Parar

Font/Style/fsBold = true

Com isso, o nosso Form apresentará o seguinte aspecto.



Figura 49: Form após a adição dos componentes para iniciar e parar os movimentos do inseto.

Sendo assim, finalizamos a interface gráfica do nosso programa e podemos partir para a implementação de suas linhas de código. Aqui, desenvolveremos o código responsável pelo controle dos servo-motores, para que o inseto se movimente. Para que a criação do programa seja facilitada, recomendamos que sejam seguidas as instruções de ligação dos servo-motores descritas no trecho referente à Eletrônica.

Devido às características da estrutura mecânica, os parâmetros utilizados nesse tutorial para a movimentação dos servo-motores não serão definitivos, mas devem ser estabelecidos de acordo com a sua construção. Deve-se tomar cuidado para que eles não girem demais, o que pode danificá-los. Como seu movimento deve ser limitado de acordo com a estrutura do robô, não será possível que eles façam o movimento completo, o que forçaria o servo-motor.

O programa funcionará da seguinte forma: criaremos uma função chamada SleepAndTest e uma variável chamada Stop, sendo que os dois poderão ter apenas os valores True (verdadeiro) e False (falso). Quando a variável Stop for True, a função SleepAndTest será falsa e vice-versa. A função SleepAndTest terá dois objetivos: gerar um “delay” (pausa na execução do programa). Essa pausa será muito clara durante o funcionamento do inseto, pois enquanto as pernas centrais levantam um lado do corpo, o programa estará nessa pausa, e só depois ele desloca outras pernas.

O outro objetivo dessa função será verificar se o botão Parar foi pressionado. Isso é feito verificando o estado da variável Stop. Quando apertamos o botão Iniciar, o valor dessa variável é definido como False. Sendo assim, a função SleepAndTest retornará um valor verdadeiro, o que é um requisito para a execução do programa. Ao apertar o botão Parar, a variável Stop é definida como verdadeira, o que acarretará na interrupção da execução do programa.

O nosso primeiro passo então será criar a variável Stop. Isso será realizado da seguinte forma: apertamos F12, mudando do Form para a Unit Main. Na parte superior dessa Unit, antes do código que foi criado no Tutorial Base, temos a declaração das variáveis globais da Unit. A única variável global presente no momento é a FormMain. Declararemos então a variável Stop, que será do tipo Boolean (True/False). Desse modo, a linha de código do programa ficará assim:

...

```

var
  FormMain: TformMain;
  Stop: Boolean;
implementation
  ...

```

Devemos agora criar a função SleepAndTest. Vamos nos dirigir ao final da Unit, nas linhas de código criadas no Tutorial Base. Antes do end final do programa (**end.**) criaremos a função SleepAndTest. Ela será do tipo Boolean, ou seja, retorna um valor verdadeiro ou falso. Inicialmente, criaremos a função desse modo:

```

  ...
function SleepAndTest (tempo: integer): Boolean;
begin
end;

end.

```

Essa função depende do parâmetro Tempo, que será do tipo Integer, cujo objetivo será explicado a seguir. Devemos declarar uma variável e uma constante locais, ou seja, que serão utilizadas apenas nessa função, chamadas i, que será do tipo Integer, e Tempobase, cujo valor será 10.

```

  ...
function SleepAndTest (tempo: integer): Boolean;
var
  i: integer;
const
  Tempobase = 10;
begin

end;

end.

```

Vamos agora implementar nossa função SleepAndTest, fazendo com que ela gere o “delay” e verifique o valor da variável Stop. Para isso, utilizaremos uma estrutura de repetição **for** e uma estrutura de comparação **if-else**, que comparará o valor de Stop com True e False. Deste modo, nossa linha de código ficará assim:

```

...
function SleepAndTest (tempo: integer): Boolean;
var
    i: integer;
const
    Tempobase = 10;
begin
    for i:=1 to tempo do
        begin
            Application.ProcessMessages;
            if Stop = true then
                begin
                    // Se o botão Parar foi pressionado, a variável Stop
                    // será verdadeira e a função retornará um valor falso.
                    SleepAndTest := false;
                end
            else
                begin
                    // A função Sleep pausa o programa durante um tempo
                    Sleep(Tempobase);
                    // Se o botão Parar não foi pressionado, a função re-
                    // tornará um valor verdadeiro
                    SleepAndTest := true;
                end;
        end;
    end;
end.

```

Após criar a função, vamos analisá-la. Primeiramente, adicionamos uma estrutura de repetição **for**. As instruções contidas nessa estrutura serão executadas até que o valor da variável *i*, que foi iniciada com o valor 1, seja igual ao valor da variável *tempo*, lembrando-se que a cada repetição o valor da variável *i* será incrementada em uma unidade. Temos então a função *Application.ProcessMessages*. Essa função processa todas as tarefas pendentes no programa, sendo que nesse caso o principal objetivo é atualizar a interface e verificar se algum botão foi pressionado na interface gráfica do programa e, caso isso tenha ocorrido, as linhas de código referentes a esse botão serão executadas.

Temos depois uma estrutura de comparação **if-else**, que verificará o valor da variável Stop. Se Stop for verdadeiro, o que acontecerá ao pressionar o botão Parar, então a função SleepAndTest retornará um valor falso. Mas se a variável Stop for falsa, então SleepAndTest será verdadeiro, o que é uma condição essencial para a execução do programa, como veremos a seguir. Além disso temos a função Sleep. Essa função pausa o programa durante um tempo em milisegundos. Como nossa constante Tempobase foi definida como 10, a cada vez que essa função Sleep for acionada, haverá uma pausa de 10 ms.

Mas lembre-se de que essa função Sleep está dentro de um laço **for**, cujo número de repetições é definido pelo parâmetro tempo. Se declararmos nossa função dessa maneira: SleepAndTest (100); então tempo será 100 e, consequentemente, haverão 100 repetições no laço **for**. Se a variável Stop for falsa, a função Sleep será executada 100 vezes, gerando então um “delay” de 1 segundo.

O próximo passo será então implementar o código que será executado ao pressionarmos o botão Iniciar. Para isso, basta dar um duplo clique sobre ele no nosso Form, o que abrirá o seguinte manipulador na nossa Unit:

```
...
procedure TformMain.ButtonIniciarClick(Sender: TObject);
begin
end;

end.
```

Nesse programa utilizaremos uma única variável local, chamada de InsetoRepouso que será utilizada mais adiante para manter o inseto em posição de repouso. Vamos então declará-la.

```
...
procedure TformMain.ButtonIniciarClick(Sender: TObject);
var
  InsetoRepouso: integer;
begin
end;

end.
```

Vamos também declarar as duas constantes locais, que serão utilizadas para identificar os servo-motores. Será atribuído a elas um valor correspondente a sua posição dos respectivos servos-motores nas suas portas. Então, para que o robô seja controlado corretamente, é recomendado seguir as instruções de conexão descritas no trecho referente à Eletrônica. Caso haja alguma dúvida, basta consultar os manuais do MEC1000 ou do KDR5000, onde estão presentes as pinagens das portas de Servo-motores.

```

...
procedure TformMain.ButtonIniciarClick(Sender: TObject);
var
    InsetoRepouso: integer;
const
    ServoVert = 0;
    ServoHoriz = 1;
begin

end;

end.

```

Devemos implementar o código que será executado quando o botão Iniciar for pressionado. Como utilizaremos a função SleepAndTest frequentemente, e esta depende da variável Stop, nosso primeiro passo deverá ser atribuir um valor a essa variável, que deverá ser False.

Além disso, devemos inicializar também a variável InsetoRepouso, atribuindo a ela o valor zero. O código então ficará assim:

```

...
procedure TformMain.ButtonIniciarClick(Sender: TObject);
var
    Repouso: integer;
const
    ServoVert = 0;
    ServoHoriz = 1;
begin
    // Ao pressionar o botão iniciar, a variável Stop será
    // falsa
    Stop:= false;
    // Inicialização da variável InsetoRepouso
    InsetoRepouso:= 0;
end;

end.

```

Devemos agora nos dedicar ao trecho principal da linha de código do programa, onde serão

executados os comandos para a movimentação do inseto de acordo com o SpeedButton selecionado. As ações relacionadas a sua movimentação devem se repetir até que o botão Parar seja pressionado, sendo assim, precisamos de uma estrutura de repetição, que no nosso caso será um **while**. Ele dependerá do valor da função SleepAndTest, ou seja, o nosso programa estará preso nesse laço **while** enquanto a função SleepAndTest retornar um valor verdadeiro. Caso o botão Parar seja pressionado, o que fará com que SleepAndTest retorne um valor falso, esse laço **while** será encerrado e o programa se encaminhará ao código de finalização do inseto.

Criando esse laço **while**, nosso programa ficará assim:

```
...
begin
    // Ao pressionar o botão iniciar, a variável Stop será
    // falsa
    Stop:= false;
    // Inicialização da variável InsetoRepouso
    InsetoRepouso:= 0;

    while SleepAndTest(1) = true do
        begin
        end;
    end;

end.
```

Agora que criamos o laço **while**, devemos implementar o código a ser executado enquanto nosso programa estiver preso nele. O programa deverá verificar qual SpeedButton foi pressionado e executar as linhas de código referentes a ele, para realizar a movimentação do inseto. Devemos então utilizar estruturas de comparação **if**, sendo cada uma relacionada a um SpeedButton. Vamos criar os blocos **if** referente aos SpeedButton de direção. O bloco **if** do SpeedButton Repouso é ligeiramente diferente e será feito depois.

```
...
begin
    // Ao pressionar o botão iniciar, a variável Stop será
    // falsa
    Stop:= false;
    // Inicialização da variável InsetoRepouso
    InsetoRepouso:= 0;

    while SleepAndTest(1) = true do
```

```

begin
    // Verifica se o botão “Frente” foi pressionado
    if (SpeedButtonFrente.Down = true) then
        begin
        end;

        // Verifica se o botão “Trás” foi pressionado
        if (SpeedButtonTras.Down = true) then
        begin
        end;

        // Verifica se o botão “Esquerda” foi pressionado
        if (SpeedButtonEsquerda.Down = true) then
        begin
        end;

        // Verifica se o botão “Direita” foi pressionado
        if (SpeedButtonDireita.Down = true) then
        begin
        end;

        end;

end.

```

Após criarmos os bloco acima, vamos nos dedicar a elaborar o código a ser executado quando o SpeedButton Frente estiver pressionado, o que fará com que o inseto desloque-se para a frente. Mas, antes de tudo, devemos analisar como movimentar corretamente os servo-motores.

Já mencionamos anteriormente que o funcionamento do inseto depende tanto de sua estrutura mecânica quanto da programação envolvida em seu controle. Para entender o problema a ser descrito aqui, vamos analisar o modo como o inseto foi construído. O servo-motor de movimentação vertical está ligado às pernas centrais, enquanto que o servo-motor de movimentação horizontal move diretamente duas pernas, que estão ligadas às outras duas através de uma barra de transferência de movimento.

Deve-se tomar cuidado com o movimento que os servo-motores realizarão, que pode ser limitado devido a alguma característica do robô. Caso o servo-motor tente se movimentar mais do que o possível, há riscos de danificar tanto a estrutura quanto o próprio motor. Os limites máximos de movimentação dependem muito de como o inseto foi construído. O servo-motor destinado ao

movimento horizontal é o menos crítico. Pode haver alguma limitação no fato da barra de transferência de movimento encostar no corpo do robô quando as pernas forem movimentadas. Também é possível haver alguma limitação devido à engrenagem ou as hastes que a conectam às pernas.

O servo-motor de movimento vertical é, provavelmente, o que possuirá mais limitações. Isso porque o movimento das pernas centrais, que é realizado por esse motor, pode ser limitado pela base do inseto e pela barra de transferência de movimento. O movimento a ser executado deve ser capaz de levantar um lado do corpo inseto, porém, respeitando as possíveis limitações.

Devemos primeiramente estabelecer os parâmetros a serem enviados para o deslocamento dos eixos dos servo-motores. Através da função ServoMotorOn, enviamos um valor que varia entre 0 e 255 que, no caso dos servo-motores originais, serve para controlar a posição do seu eixo. Esse controle é o que será realizado na versão do robô inseto sem as engrenagens. Na versão com engrenagens, como estamos utilizando um servo-motor adaptado, cujo potenciômetro é externo, esse valor tem a função de controlar a posição da engrenagem presa ao potenciômetro.

Nem sempre é possível utilizar todos os valores possíveis entre 0 e 255 como parâmetro para o posicionamento da engrenagem ou do eixo do servo-motor. Caso sua movimentação seja limitada, valores muito altos ou muito baixos podem fazer com que o servo-motor force a estrutura. Como os valores limites dependem de como o robô foi construído, os valores máximos e mínimos que podemos utilizar sem danificar o servo-motor variam.

Os valores definidos aqui nesse tutorial devem servir apenas como base na implementação de seu programa. Por isso, esteja atento ao funcionamento do inseto. Caso o movimento de algum servo-motor seja insuficiente ou seja forçado (o que pode-se perceber através do seu barulho), basta mudar o valor enviado através da função ServoMotorOn. É interessante, durante a criação do programa, fazer uma verificação passo-a-passo dos movimentos a serem executados.

Vamos voltar agora a implementação das linhas de código do nosso programa. Dentro do nosso bloco **if**, a primeira coisa a fazer será levantar um lado do corpo do inseto. Para isso, utilizaremos a função ServoMotorOn, que terá como primeiro parâmetro a constante referente ao motor de movimento vertical. Já o segundo parâmetro, como foi explicado acima, deve ter um valor suficiente para que a perna central levante um lado do corpo do inseto acima do chão, mas respeitando os limites que possam existir. Utilizamos o valor 70 como parâmetro, mas ele poderá ser modificado, caso seja insuficiente ou seja demais.

```
...
while SleepAndTest(1) = true do
    begin
        // Verifica se o botão "Frente" foi pressionado
        if (SpeedButtonFrente.Down = true) then
            begin
                // Levanta um lado do corpo do inseto
                kit.ServoMotorOn(ServoVert, 70);
            end;
        ...
    ...

```

O próximo passo, depois que o inseto tem seu corpo levantado, é deslocar as pernas das extremidades para frente. Devemos então movimentar o servo-motor de movimento horizontal, utilizando novamente a função ServoMotorOn. O segundo parâmetro dessa função deverá ser um valor que suficiente para que as pernas sejam deslocadas para frente sem danificar o motor ou as estruturas. Aqui, foi utilizado o valor 200, mas convém lembrar que ele pode ser modificado caso não seja adequado.

Mas antes que essa função seja utilizada, devemos gerar uma pausa no programa, o que será feito através da função SleepAndTest. Utilizando o valor 100 como parâmetro, geramos um atraso de 1 segundo. Essa pausa é extremamente necessária, pois ela ocorrerá enquanto o servo-motor estiver levantando o corpo do inseto. Caso não utilizarmos essa pausa, a inclinação do corpo e o deslocamento das pernas ocorrerão simultaneamente. Ou seja, os comandos da sequência de movimento serão enviados ao servo-motor numa velocidade muito rápida, os servo-motores não completarão os movimentos e o robô não se moverá.

```
...
while SleepAndTest(1) = true do
begin
    // Verifica se o botão "Frente" foi pressionado
    if (SpeedButtonFrente.Down = true) then
        begin
            // Levanta um lado do corpo do inseto
            kit.ServoMotorOn(ServoVert, 70);
            // Gera um atraso de 1 segundo
            SleepAndTest(100);
            // Desloca as pernas livres para frente
            kit.ServoMotorOn(ServoHoriz, 200);
        end;
...
...
```

Agora devemos levantar outro lado do corpo do inseto, para que possamos movimentar novamente suas pernas. Antes, geramos uma outra pausa de um segundo, para que as pernas possam ser deslocadas. Utilizamos então a função ServoMotorOn tendo como primeiro parâmetro a constante ServoVert. Só que desta vez, utilizamos outro valor como segundo parâmetro. Esse valor deve ser suficiente para inclinar o corpo do inseto para o outro lado, deixando duas pernas levemente acima do chão. Nesse caso, utilizamos o valor 250.

Vamos também gerar uma outra pausa de 1 segundo no nosso programa, que ocorrerá enquanto o servo-motor de movimento vertical estiver atuando.

```
...
while SleepAndTest(1) = true do
begin
    // Verifica se o botão "Frente" foi pressionado
```

```

if (SpeedButtonFrente.Down = true) then
begin
    // Levanta um lado do corpo do inseto
    kit.ServoMotorOn(ServoVert, 70);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
    // Desloca as pernas livres para frente
    kit.ServoMotorOn(ServoHoriz, 200);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
    // Levanta outro lado do corpo do inseto
    kit.ServoMotorOn(ServoVert, 250);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
end;
...

```

Sendo assim, as pernas poderão ser deslocadas novamente, o que será feito utilizando a função ServoMotorOn. O primeiro parâmetro será ServoHoriz, indicando qual motor será acionado. Já o segundo parâmetro deverá ser suficiente para que a perna seja movimentada para a frente, lembrando-se novamente de que não podemos forçar o servo-motor.

Depois dessa função, também necessitamos gerar um atraso de um segundo, através da função SleepAndTest.

```

...
while SleepAndTest(1) = true do
begin
    // Verifica se o botão "Frente" foi pressionado
    if (SpeedButtonFrente.Down = true) then
    begin
        // Levanta um lado do corpo do inseto
        kit.ServoMotorOn(ServoVert, 70);
        // Gera um atraso de 1 segundo
        SleepAndTest(100);
        // Desloca as pernas livres para frente
        kit.ServoMotorOn(ServoHoriz, 200);
        // Gera um atraso de 1 segundo

```

```

SleepAndTest(100);
// Levanta outro lado do corpo do inseto
kit.ServoMotorOn(ServoVert,250);
// Gera um atraso de 1 segundo
SleepAndTest(100);
// Desloca as pernas livres para frente
kit.ServoMotorOn(ServoHoriz,30);
// Gera um atraso de 1 segundo
SleepAndTest(100);

end;

...

```

Já temos pronta a programação referente ao movimento do inseto para frente, podendo nos dedicar ao movimento para trás. A sequência de movimentos é extremamente semelhante, tendo como única diferença o fato de que as pernas que estiverem livres serão deslocadas para trás.

Um modo muito simples de implementar o código do SpeedButtonTras é copiar o que foi feito para deslocar o inseto para a frente e apenas trocar os valores utilizados como segundo parâmetro para o controle do servo-motor de movimento horizontal. O bloco **if** desse SpeedButton ficará assim.

```

...
// Verifica se o botão "Trás" foi pressionado
if (SpeedButtonTras.Down = true) then
begin
    // Levanta um lado do corpo do inseto
    kit.ServoMotorOn(ServoVert,70);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
    // Desloca as pernas livres para trás
    kit.ServoMotorOn(ServoHoriz,30);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
    // Levanta outro lado do corpo do inseto
    kit.ServoMotorOn(ServoVert,250);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
    // Desloca as pernas livres para trás
    kit.ServoMotorOn(ServoHoriz,200);

```

```

    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);

end;

...

```

Os próximos códigos a serem implementados são os comandos para virar à esquerda e à direita. Os procedimentos adotados para virar o inseto são um pouco diferentes. O primeiro passo será mantê-lo com as seis pernas no chão, utilizando como segundo parâmetro da função ServoMotorOn algum valor entre 70 e 250 (que foram utilizados para incliná-lo) suficiente para isso. No exemplo descrito nesse tutorial, o valor ideal foi 150.

Com as seis pernas do inseto no chão, quando acionarmos o servo-motor de deslocamento, ele virará para um lado. A direção para a qual o inseto vira depende do valor utilizado para acionar o servo-motor. Esses valores podem ser os mesmos usados anteriormente. Ao usarmos 30, ele virará para a direita e ao usarmos 200, ele virará para a esquerda.

Após realizar esses movimentos, podemos notar que as pernas das extremidades encontram-se desalinhadas. Para que seja possível virar o inseto novamente, devemos alinhá-las. Para isso, precisamos descobrir um valor entre 30 e 200 (que foram utilizados para deslocar as pernas) que possa ser utilizado para esse objetivo. No robô inseto utilizado em nosso tutorial, o valor ideal encontrado foi 100.

A implementação completa do SpeedButtonEsquerda é mostrada a seguir.

```

...
// Verifica se o botão "Esquerda" foi pressionado
if (SpeedButtonEsquerda.Down = true) then
begin
    // Deixa o inseto com as seis pernas no chão
    kit.ServoMotorOn(ServoVert,150);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
    // Desloca o inseto para a esquerda
    kit.ServoMotorOn(ServoHoriz,200);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
    // Levanta um lado do corpo do inseto
    kit.ServoMotorOn(ServoVert,70);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
    // Realinha as pernas do inseto
    kit.ServoMotorOn(ServoHoriz,100);

```

```

    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);

end;

...

```

A implementação do SpeedButtonDireita é mostrada a seguir.

```

...
// Verifica se o botão "Direita" foi pressionado
if (SpeedButtonDireita.Down = true) then
begin
    // Deixa o inseto com as seis pernas no chão
    kit.ServoMotorOn(ServoVert,150);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
    // Desloca o inseto para a direita
    kit.ServoMotorOn(ServoHoriz,30);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
    // Levanta um lado do corpo do inseto
    kit.ServoMotorOn(ServoVert,250);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
    // Realinha as pernas do inseto
    kit.ServoMotorOn(ServoHoriz,100);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);

end;
end;
end;

end.

```

Com os comandos de movimentação feitos, podemos agora implementar o bloco **if** do SpeedButtonRepouso. Ele será utilizado para manter o inseto alinhado e com todas as pernas no chão, sendo um procedimento útil para ser feito antes de desligá-lo.

Esse bloco **if** será um pouco diferente dos outros. Como ele só precisa ser feito uma única

vez, devemos utilizar mais uma condição, além do fato do SpeedButtonRepouso estar pressionado. É aí que precisamos da variável InsetoRepouso.

A outra condição para que esse bloco **if** seja executado será de que a variável InsetoRepouso deverá ser diferente de 1, o que pode ser feito através do operador `<>`. Ao pressionar o botão Iniciar, será atribuído o valor 0 a essa variável. Sendo assim, caso o SpeedButtonRepouso estiver pressionado, as linhas de código referentes a ele serão executadas. Só que no final do bloco **if**, vamos atribuir o valor 1 à variável. Sendo assim, teremos certeza de que esse bloco não será executado novamente, a não ser que o botão Iniciar seja pressionado de novo.

O código para o SpeedButtonRepouso começará assim:

```
...
// Verifica se o botão "Repouso" foi pressionado e se
// InsetoRepouso é diferente de 1
if (SpeedButtonRepouso.Down = true) and (InsetoRepouso <> 1) then
begin
end;
end;
end.
```

O primeiro passo será alinhar as pernas do inseto. Devemos então inclinar seu corpo para um lado e deslocar as pernas livres de modo que todas as pernas estejam alinhadas entre si. Assim como durante os procedimentos realizados para virar o robô para a direita ou esquerda, o valor 100 foi o mais adequado, podendo variar de acordo com o modo como o robô foi construído. Não podemos nos esquecer das pausas de 1 segundo no programa.

```
...
// Verifica se o botão "Repouso" foi pressionado e se
// InsetoRepouso é diferente de 1
if (SpeedButtonRepouso.Down = true) and (InsetoRepouso <> 1) then
begin
    // Levanta um lado do corpo do inseto
    kit.ServoMotorOn(ServoVert, 70);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
    // Alinha as pernas livres com as que estão no chão
    kit.ServoMotorOn(ServoHoriz, 100);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
```

```

end;
end;
end;

end.

```

Desse modo, as pernas estarão alinhadas, mas o corpo do inseto ainda estará inclinado. Devemos então acionar o servo-motor de movimento vertical novamente, utilizando como parâmetro um valor adequado para deixá-lo com todas as pernas no chão. Esse valor deve ser o mesmo que foi utilizado ao virar o inseto, que no exemplo foi 150.

Sendo assim, completamos os procedimentos para manter o inseto em posição de repouso. Agora podemos atribuir à variável InsetoRepouso o valor 1, evitando que esses procedimentos se repitam.

```

...
// Verifica se o botão "Repouso" foi pressionado e se
// InsetoRepouso é diferente de 1
if (SpeedButtonRepouso.Down = true) and (InsetoRepouso <> 1) then
begin
    // Levanta um lado do corpo do inseto
    kit.ServoMotorOn(ServoVert, 70);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
    // Alinha as pernas livres com as que estão no chão
    kit.ServoMotorOn(ServoHoriz, 100);
    // Gera um atraso de 1 segundo
    SleepAndTest(100);
    // Deixa o inseto com as seis pernas no chão
    kit.ServoMotorOn(ServoVert, 150);
    // Valor 1 atribuído à variável, evitando que os
    // procedimentos de repouso se repitam
    InsetoRepouso:= 1;
end;
end;
end;

end.

```

O nosso próximo passo agora será criar as rotinas para que o inseto seja desligado. Essas linhas de código serão escritas depois do **end**; do laço **while** principal, aquele ao qual nosso programa estará preso enquanto a função SleepAndTest for verdadeira. Pode parecer estranho à primeira vista, mas elas serão mesmo escritas no procedure do botão Iniciar, mas somente serão executadas quando a função SleepAndTest for falsa, pois assim o nosso programa sairá do laço **while** principal. Devemos desligar todos os servo-motores através da função ServoMotorOff.

```
...
end;

// As funções a seguir desligarão o inseto e serão ex-
// cutadas quando o programa sair do loop while principal,
// ou seja, quando SleepAndTest retornar um valor falso

// Desliga os motores
kit.ServoMotorOff(ServoVert);
kit.ServoMotorOff(ServoHoriz);

end;

end.
```

Nosso programa está quase pronto. Basta agora implementar o código a ser executado quando o botão Parar for pressionado. Voltamos então ao nosso Form, apertando a tecla F12, e damos um duplo clique sobre esse botão, abrindo o seguinte manipulador.

```
...
procedure TformMain.ButtonPararClick(Sender: TObject);
begin
end;

end.
```

A única coisa que precisamos fazer é atribuir à variável Stop o valor True, o que fará com que a função SleepAndTest retorne um valor falso e, consequentemente, o inseto seja desligado.

```
...
procedure TformMain.ButtonPararClick(Sender: TObject);
begin
    // Quando o botão for pressionado, a variável Stop será ver-
    // dadeira, consequentemente a função SleepAndTest será
    // falsa e o funcionamento do inseto será interrompido
    Stop := true;
```

end;

end.

Chegamos então ao fim da programação para o funcionamento do robô inseto. Após concluir esses passos corretamente, o robô estará pronto para ser controlado adequadamente.

9 – Dicas

É possível acrescentar várias outras funcionalidades ao nosso robô inseto, aprimorando o seu funcionamento e exercitando a criatividade e os conhecimentos de Robótica.

O programa pode ser modificado de forma a possuir uma interface mais clara ou que o usuário possa controlar os servo-motores manualmente. Ele também pode ser alterado de modo a proporcionar um melhor funcionamento, como manter o inseto na posição de repouso ao pressionar o botão Parar. Outra alteração que pode ser feita é a utilização do Teclado do Kit ou de chaves digitais ligadas às Entradas Digitais para controlar o movimento do robô. É possível também fazer uma versão automática, empregando sensores para monitorar o caminho a ser percorrido.

A mecânica e a estrutura do inseto podem sofrer grandes alterações, de modo a facilitar a sua montagem ou tornar seus movimentos mais eficientes. É possível também acrescentar garras ou outras estruturas mecânicas diversas.

Além disso, é possível incrementá-lo, utilizando sensores, LEDs, botões e buzzers. Com alguns sensores LDR, é possível fazer um robô que siga ou fuja da luz. O uso de sensores de distância também é muito interessante, para evitar obstáculos e buracos que estejam no caminho do robô. Outra sugestão é fazê-lo “obedecer a uma ordem”, utilizando um microfone para verificar o nível de som do ambiente.

Muitas outras modificações são possíveis, dependendo apenas da criatividade de quem realizar o projeto.