

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos



PMR2550 – Trabalho de conclusão de curso

Projeto e construção de uma garra mecânica com controle  
de força e sistema de monitoramento

**Prof. Orientador:** Nicola Getschko

**Alunos:**

André Emil Getschko

NUSP: 5177935

Caio Castellano de Paula

NUSP: 5178512



## ÍNDICE

Capítulo	Página
1 – Introdução	09
2 – Objetivos	11
3 – Estudos iniciais	12
3.1 – Garra	12
3.2 – Atuadores e controles	17
3.2.1 – Motor CC	17
3.2.2 – Motor de passo	18
3.2.3 – Servo-motor	19
3.2.4 – Atuador pneumático	20
3.2.5 – Motor AC	21
3.3 – Sistema de monitoramento	22
4 – Alternativas de solução	24
4.1 – Garra com correia	24
4.2 – Garra pinça de 2 pontos	25
4.3 – Garra pinça de 2 pontos dupla	26
4.4 – Garra pinça de 3 pontos	27
5 – Definição dos parâmetros do projeto	29
6 – Matriz de decisão	32
7 – Dimensionamento da barra	33
8 – Visita ao G.A.T.E	38
9 – Divisão dos subsistemas envolvidos	42
10 – Detalhamento dos subsistemas envolvidos	44
10.1 – Barra	44
10.2 – Garra	48
10.3 – Defletor	59
10.4 – Sistema de monitoramento	61
10.5 – Monitor	70
10.6 – Controle	72

11 – Configuração final do equipamento	77
12 – Aquisição de partes e peças	81
13 – Fabricação	85
14 – Conclusão	86
15 – Referências bibliográficas	88
Apêndice – Desenhos de conjunto e fabricação	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1 – Garra paralela com atuador linear	12
2 – Garra paralela acionada por servomotor	13
3 – Garra para prótese de antebraço	14
4 – Garra no formato de pinça com transmissão de rosca sem-fim	14
5 – Garra pinça com acionamento por motor de passo	15
6 – Garra pinça de 2 estágios acionada por motor CC	16
7 – Garra de pinças simétricas acionadas por motor CC	16
8 – Circuito simples de PWM	18
9 – Circuito de controle de um motor de passo	19
10 – Acionamento de um servomotor	20
11 – Pistão pneumático	20
12 – Esquema de motor AC	21
13 – Micro-câmera com cabos para conexão	22
14 – Exemplo de micro-câmera encontrada no mercado	23
15 – Exemplo de monitor portátil a bateria encontrado no mercado	23
16 – Garra no formato correia	25
17 – Garra no formato pinça	26
18 – Garra de pinça dupla	27
19 – Garra com pinça de 3 pontos	28
20 – Distribuição de forças no modelo de viga engastada e perfil da seção tubular	33
21 – Curva de momento na viga	34
22 – Controle ON/OFF	39
23 – Pinça atual	40
24 – Defletor utilizado atualmente	41
25 – Esquema da configuração final	42
26 – Esquema com 3 barras	44
27 – Fixação com bucha	47

28 – Movimento de rotação em relação à barra	48
29 – Ajuste de ângulo de ação da pinça	49
30 – Mecanismo de transmissão utilizado pela SWAT	50
31 – Primeira alternativa para o mecanismo da garra	51
32 – Segunda alternativa para o mecanismo da garra	53
33 – Fuso adotado	54
34 – Vista perspectiva da garra	54
35 – Abertura da garra	55
36 – Detalhe da folga do mordente	56
37 – Conjunto do pulso	56
38 – Fixação do motor do fuso	57
39 – Eixo e excêntrico	57
40 – Detalhe das dobradiças	58
41 – Esquema para cálculo da altura do defletor	59
42 – Conjunto do defletor	60
43 – Micro-câmera a ser empregada	61
44 – Mecanismo de 4 barras para posicionamento da câmera	62
45 – Esquema do sistema de quatro barras	63
46 – Mecanismo com came	63
47 – Fixação do mecanismo da câmera na barra	65
48 – Orifícios de auxílio	65
49 – Transmissão da rotação	66
50 – Orifício de encaixe da base da haste	66
51 – Haste	67
52 – Mecanismo de movimentação da câmera	67
53 – Suporte da câmera	68
54 – Mecanismo da câmera	68
55 – Modelo de monitor escolhido	70
56 – Fixação do monitor na barra	71
57 – Bateria adotada	73
58 – Fixação da bateria no braço	73
59 – Circuito PWM para acionamento de motor CC com 555	74
60 – Placa de controle do motor CC	75

61 – Circuito de PWM para acionamento de servomotores	75
62 – Placa de controle dos servomotores	76
63 – Configuração final do equipamento	77
64 – Perspectiva semelhante à do operador	78
65 – Posicionamento dos mecanismos da garra, pulso, defletor e câmara	78
66 – Vista da parte frontal do equipamento	79
67 – Conexões entre os diferentes mecanismos	79
68 – Monitor ao alcance do operador	80
69 – Bateria fixa na outra extremidade da barra	80
70 – Centro de gravidade do protótipo	81
71 – Servomotores	82
72 – Motores CC	82
73 – Fuso	83
74 – Bateria	84
75 – Componentes eletrônicos	84
76 – Micro-câmera	84
77 – Monitor	85
78 – Conjunto da garra montado após a fabricação	86

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
1 – Matriz de decisão	32
2 – Catálogo técnico Incometal	46
3 – Dimensionamento da bateria	72



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico</b>	<b>Página</b>
1 – Variação da flexa ao longo da barra	37
2 – Relação entre a abertura da garra e a posição da rosca do fuso	52

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo o projeto e construção de uma garra robótica para ser utilizada pelo GATE (Grupo de ações táticas especiais) para manipulação de objetos potencialmente explosivos, a fim de aumentar a segurança e controle do operador.

Para o controle da garra, do tipo pinça, foi utilizado um motor de corrente contínua com modulador de largura de pulso, PWM, a fim de poder controlar a pressão sendo aplicada sobre o objeto. Além desse movimento, a garra ainda possui um movimento de rotação sobre seu próprio eixo, a ser acionada por um motor CC com chave ON/OFF, e uma articulação manual para inclinação da garra.

O conjunto ainda conta com um sistema de monitoramento com uma câmera e um monitor. Para que se possa observar o objeto manipulado sob diferentes ângulos, a câmera pode movimentar-se utilizando um sistema de 3 graus de liberdade, acionada por servomotores e motores C.C.

Como fonte de energia para o conjunto, é utilizada uma bateria de 12Vcc e 7Ah, presa à garra, que também será usada como contra-peso. Finalmente, para maior segurança em caso de explosões envolvendo estilhaços, foi implementado um defletor de policarbonato.

## **ABSTRACT**

This work has as objective the project and manufacturing of a robotic gripper to be used by the GATE (Special tactics action group) for the manipulation of potentially explosive objects, as to increase the control and security of the operator. For the claw-type gripper control, a direct current motor with Pulse Width Modulation was used, to be able to control the pressure being applied to the object. More than this motion, the gripper Will still have a motion of rotation under its own axle, to be actuated by an ON/OFF/ON switcher, and a manual movement f the gripper's attack angle. The product also counts on a monitoring system with a camera and a monitor. To watch the object being manipulated under different angles, the camera can move using a 3 degrees of freedom system, actuated by servos and DC engines. As energy source for the entire product, a 12V and 7Ah battery attached to the gripper is used, also being used as a counter-weight. Finally, to allow more security in case of explosions, a polycarbonate shield has been implemented.

## **1 – INTRODUÇÃO**

O aumento da criminalidade e da violência nos dias de hoje é assunto corriqueiro na vida dos brasileiros. Equipamentos de segurança estão sendo cada vez mais desenvolvidos de modo a compensar esse aumento, buscando sanar esse problema.

Não é difícil observar que existem atualmente equipamentos tecnologicamente muito sofisticados. Pode-se citar como exemplo os casos de equipamentos de vigilância, sistemas antifurto, entre outros.

Em contrapartida, a cada momento estão sendo criados novos meios de burlar e contornar qualquer tipo de tecnologia de segurança. Pesquisas mostram que, em 2006, o número de pessoas mortas em atentados cresceu cerca de 40% em relação ao ano anterior em todo o mundo. Em dezembro desse mesmo ano o metrô de São Paulo chegou a ser evacuado depois de uma ameaça de bomba.

A polícia brasileira, devido a seus baixos orçamentos, possui uma tecnologia limitada para o combate a esse tipo de ameaça. O Grupo de Ações Táticas Especiais da Polícia do Estado de São Paulo (GATE) tem à sua disposição apenas dois robôs capazes de manusear a distância objetos suspeitos. Esses equipamentos têm um custo muito elevado no caso de uma eventual reposição, o que faz com que eles sejam utilizados em ocasiões onde a sua presença é extremamente necessária. Pode haver, também, situações em que os robôs estejam muito distantes do local onde são requeridos, pois eles devem cobrir toda a área do Estado de São Paulo.

Para os casos em que não é necessária ou, até mesmo, possível a utilização do robô, o GATE conta com três tipos semelhantes de braços mecânicos em forma de garra. Este equipamento é carregado pelo operador durante a ação, e o seu controle é feito diretamente no instrumento. Esta garra, entretanto, não permite um controle satisfatório da força aplicada no objeto manipulado. Esta situação faz com que haja uma limitação nas possibilidades

de sua utilização, tornando impossível sua utilização nos casos em que o controle fino da força seja algo de extrema necessidade.

Adicionalmente, é importante salientar que não há hoje no Brasil empresas especializadas em tecnologia de uso militar. Quando necessária, esta tecnologia é, geralmente, importada de outros países, o que aumenta significativamente os custos de aquisição e manutenção desses equipamentos.

Este trabalho visa à criação de uma garra semelhante a que é utilizada atualmente, mas que consiga solucionar alguns dos problemas existentes no equipamento atual, aumentando, assim, a gama de possibilidades de utilização, e a sua acessibilidade.

As principais mudanças que este trabalho propõe são a implantação de um sistema de monitoramento através de uma câmera móvel e a inserção de um mecanismo que permita a realização do controle sobre a força aplicada ao objeto manipulado.

Dessa maneira, o operador poderá ter uma visão muito melhor da operação, além de poder manusear até os objetos mais sensíveis. Uma outra funcionalidade que estas mudanças trariam seria a possibilidade de utilizar a garra para a visualização de locais de difícil acesso, devido a movimentação do sistema de monitoramento.

Por fim, não se pode deixar de mencionar a economia que este equipamento traria para o Estado, que gasta muito em importações de equipamentos semelhantes.

## **2 – OBJETIVOS**

Este trabalho tem como objetivo o projeto e fabricação de uma garra portátil para manipulação de objetos suspeitos, a ser utilizada pelo Grupo de Ações Táticas Especiais do Estado de São Paulo.

Tal garra deverá possuir, entre outros sistemas, um sistema que permita regular a força aplicada sobre o objeto manipulado, a fim de se obter maior controle sobre o mesmo para evitar eventuais explosões. O controle deverá ser desenvolvido de modo a ser de simples utilização.

Também é objetivo deste trabalho que esta garra possua um sistema de monitoramento por câmera instalado, com 2 graus de liberdade, para permitir a observação da ação através de um monitor. A mobilidade deste sistema de câmeras permite a utilização da garra em situações diferentes das convencionais, onde o desejo seja apenas monitorar locais de difícil acesso.

O mecanismo da garra será modificado de forma a permitir as novas funcionalidades, mas sem perder as funcionalidades anteriores. Desse modo, serão estudados outros modelos de garra, e será verificado também o que é mais facilmente encontrado no mercado nacional.

Dentre os outros subsistemas a serem desenvolvidos, deverá ser implantado um defletor que funcionará como um escudo, para proteger o operador da garra nas situações de perigo.

Por fim, deve-se salientar que a garra deve ser suficientemente leve e portátil para poder ser facilmente transportada e utilizada, e que consiga manipular com eficiência objetos das mais diferentes formas, tamanhos e materiais.

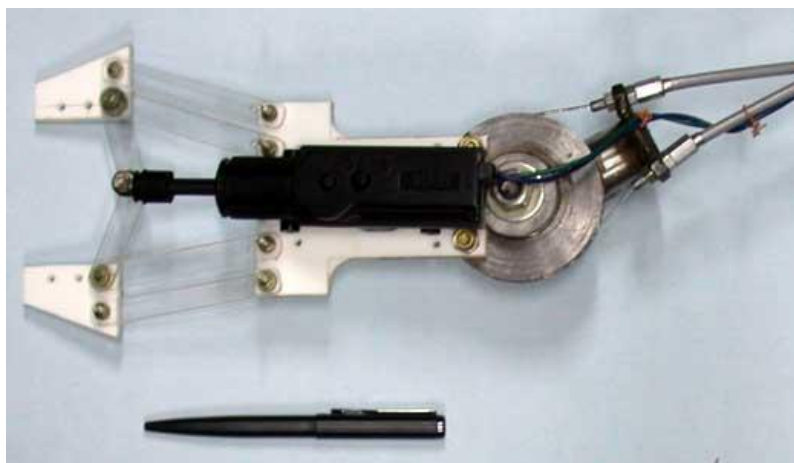
### 3 – ESTUDOS INICIAIS

O primeiro passo para realização do projeto é realizar um levantamento do Estado de Arte relevante ao sistema em questão. Para tanto, dividimos o equipamento em três partes básicas: sistema mecânico de manipulação (garra e motores), sistema de acionamento (controle dos motores), e sistema de monitoramento (câmera).

#### 3.1 – GARRA

Existem diversos tipos de garras que são usadas para os mais variados objetivos.

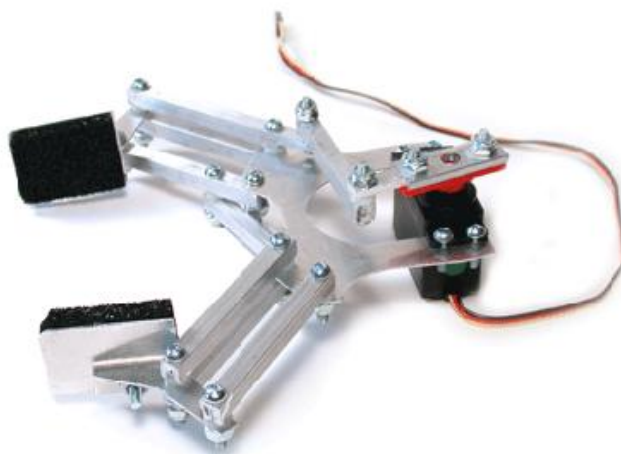
Em 2003, um projeto realizado pelo aluno Anish Mampetta da Universidade Carnegie Mellon [4], propôs a utilização de uma garra manipuladora para um robô de baixo custo. A garra possuía um atuador linear, que estava conectado a um par de pinças paralelas. O sistema era utilizado para operações de captura e reposicionamento de pequenos objetos.



*Figura 1 – Garra paralela com atuador linear*

A abertura da garra, nesse caso, ocorre de forma não-linear, o que dificulta o controle sobre a força aplicada sobre o objeto, a partir da força realizada pelo atuador. Em compensação, esse tipo de garra é o mais compacto.

Um outro sistema de garra paralela encontrado é o fornecido pela empresa Thinkbotics [6]. Trata-se de uma garra paralela acionada por um servomotor. Detalhes do sistema e do funcionamento podem ser observados abaixo.



*Figura 2 – Garra paralela acionada por servo-motor*

Da mesma maneira da primeira garra paralela apresentada, esse sistema apresenta complicações quanto à transmissão de força do atuador para a garra. Por outro lado, pode possuir um controle de posição associado ao servo-motor e é compacto.

O mesmo aluno [4] que projetou a primeira garra paralela apresentada, realizou, em 2004, um projeto de uma prótese de um antebraço que possuiria um sistema de garra giratória. Para o controle e acionamento dessa garra, foram utilizados motores de corrente contínua.





Figura 3 – Garra para prótese de antebraço.

Nesse caso, para pequenos ângulos de ação, a abertura das garras pode ser considerada linear, o que permite um maior controle da relação entre a força exercida pelo atuador e a força aplicada pela garra. Essa garra ocupa um espaço muito maior, uma vez que o motor está acoplado perpendicularmente ao sistema de transmissão de movimento.

Uma outra alternativa para o sistema de pinça é o apresentado a seguir, projeto de Leo Dorst, professor da Universidade de Amsterdam [3]. Ele propõe um sistema de pinças simétricas acionadas por um sistema de transmissão de rosca sem-fim, acionadas por um motor posicionado no mesmo eixo central da garra.

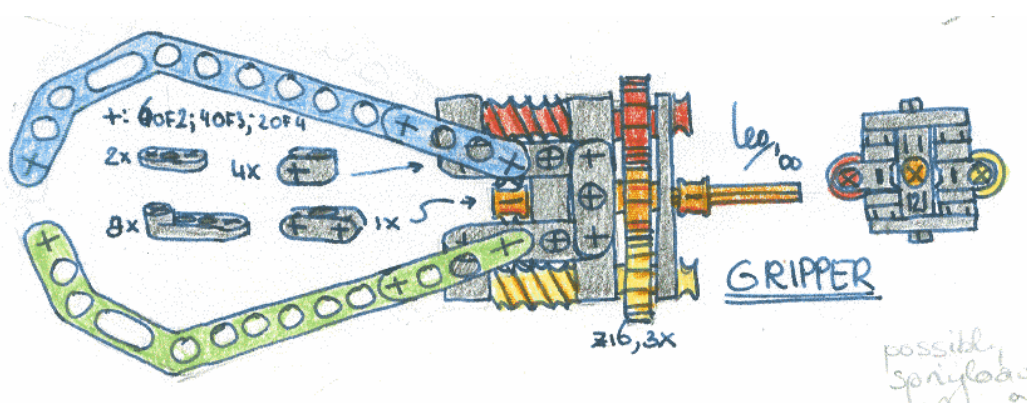
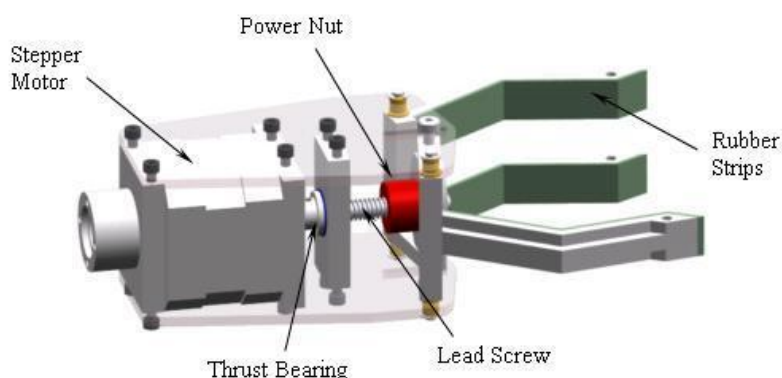


Figura 4 – Garra no formato pinça com transmissão de rosca sem-fim

Esse sistema tem uma grande amplitude, porém também não tem movimento linear, dificultando o controle da transmissão de força do motor para

a garra. Uma vantagem dessa configuração é que o motor está no mesmo eixo central da garra, economizando espaço.

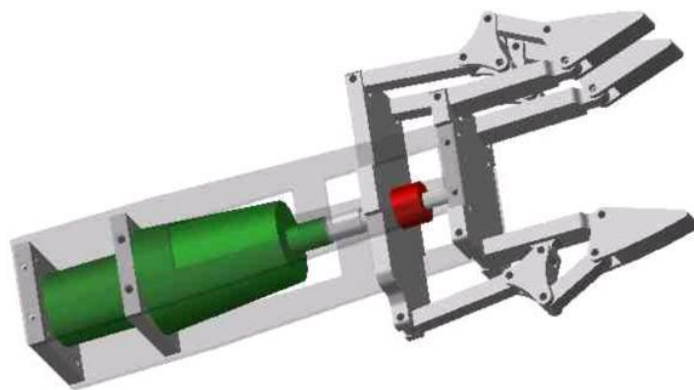
Pela Universidade do Estado de Ohio, o estudante Chris Fearon [5] desenvolveu uma garra em forma de pinça acionada por um motor de passo para utilização em um robô móvel que pudesse pegar e reposicionar objetos. A garra possui 3 dedos e um sistema de rosca sem-fim.



*Figura 5 – Garra pinça com acionamento por motor de passo*

Essa garra tem como vantagem um controle mais fácil com relação à posição da garra, devido ao motor de passo. Em compensação, o acionamento de um motor de passo é algo mais complexo, além do que, possui um baixo torque e um elevado peso. Novamente, o movimento das garras não é linear.

Um outro projeto de garra que ocorreu simultaneamente à última garra apresentada, consistia num mecanismo capaz de abraçar o objeto a ser manipulado. O mecanismo é semelhante ao anterior, mas apresenta 2 estágios, sendo que o segundo estágio é acionado assim que o primeiro se fixe ao objeto.



*Figura 6 – Garra pinça de 2 estágios acionada por motor CC*

O motor dessa nova configuração não é mais um motor de passo, e, sim, um motor de corrente contínua, adaptado de uma máquina parafusadora. Novamente temos que o movimento das pinças não é linear, mas temos uma maior área de contato com o objeto manipulado.

Por fim, apresentamos uma garra utilizada por um robô da SWAT, onde temos novamente um sistema de pinças simétricas, acionadas por um motor de corrente contínua. Na extremidade de cada pinça, temos um mecanismo que se adapta à forma do objeto.



*Figura 7 – Garra de pinças simétricas acionadas por motor CC*

Essa garra apresenta algumas vantagens, como o sistema que se adapta à forma do objeto a ser manipulado e a movimentação linear das garras, o que facilita a transmissão de força do atuador para a garra. O motor, em contrapartida, encontra-se perpendicular a garra, tornando-a menos compacta.

## **3.2 – ATUADORES E CONTROLE**

Existem diversos tipos de atuadores que podem ser utilizados em nosso trabalho. Citaremos alguns desses atuadores, assim como a forma utilizada para realizar seu controle e acionamento.

### **3.2.1 – MOTOR CC**

O motor CC é acionado geralmente por uma fonte de tensão contínua(usualmente de 3V a 24V) e possui um torque constante para uma velocidade constante. Para realizar um controle de sua velocidade existem alguns métodos, sendo que o mais simples e utilizado é por meio de um PWM (Pulse Width Modulation), que é um sistema que tem como base de funcionamento a modulação da largura do pulso enviado ao motor. Com isso é possível fazer um controle da tensão enviada ao motor em função do tempo, controlando assim sua velocidade.

Esse sistema tem a vantagem de não gerar grandes perdas ao circuito, como acontece no caso da utilização de um potenciômetro resistivo em série com o motor.

Um esquema de montagem de um circuito com PWM pode ser visto na sequência.

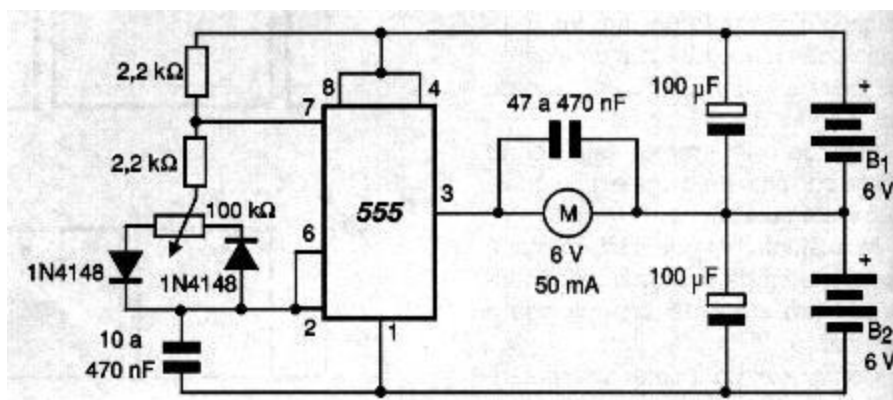


Figura 8 – Circuito simples de PWM [12]

O circuito acima é capaz de modular a corrente aplicada a um motor de 6V na faixa de -100% até +100%, ou seja, o motor pode funcionar com velocidade máxima em ambas as direções.

### 3.2.2 – MOTOR DE PASSO

Um motor de passo é um motor de relutância variável que é projetado para girar um certo ângulo de forma precisa quando suas bobinas forem convenientemente energizadas.

A grande vantagem dos motores de passo está na precisão do posicionamento, que pode ser contado em passos (a partir de 50 passos por revolução).

O acionamento de um motor de passo, é relativamente complexo, necessitando de um driver que consiga fazer o controle dos passos. A seguir mostramos um circuito que engloba todas as fases do processo de controle de um motor de passo.

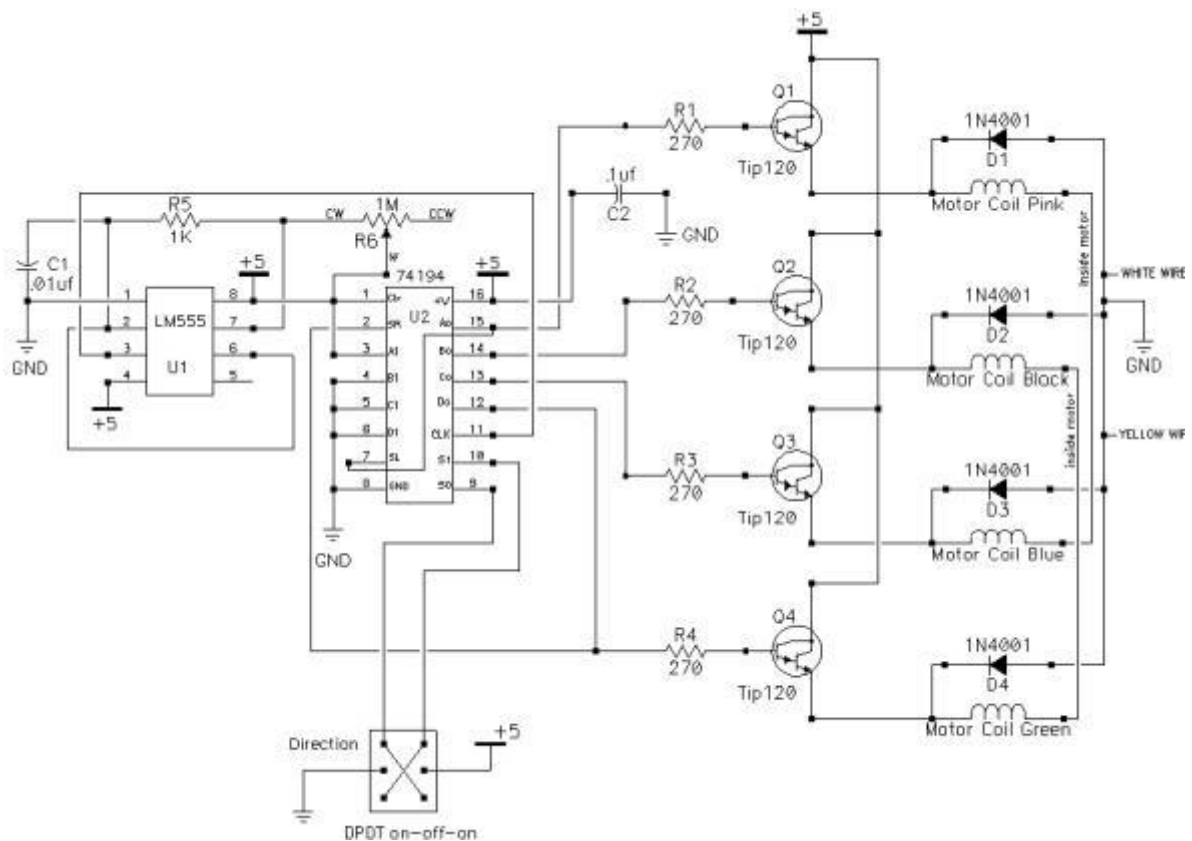


Figura 9 – Circuito de controle de um motor de passo [12]

Nesse caso, o controle da direção é efetuado pelo potenciômetro R6 e a velocidade é controlada pelo resistor R5 e pelo capacitor C1.

### 3.2.3 – SERVOMOTOR

Os servomotores são amplamente utilizados em sistemas de rádio-controle em modelismo. Seu funcionamento se dá basicamente relativo à largura ou frequência de recebimento dos pulsos, que determinam a sua posição final, o que faz com que esse sistema seja muito utilizado em robótica.

A seguir podemos ver um sistema para acionamento de servomotores, baseado novamente no CI 555.

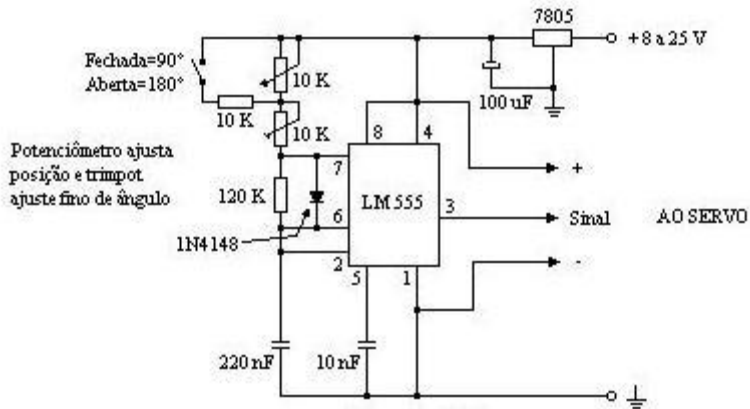


Figura 10 – Acionamento de um servomotor [12]

Servomotores são geralmente limitados pelo ângulo que abrangem e pelo seu torque.

### 3.2.4 – ATUADOR PNEUMÁTICO

Para a nossa garra, uma alternativa de atuador seria um pistão pneumático, como podemos ver abaixo. Seu acionamento é feito através de uma fonte de ar comprimido. Nesse caso, a garra teria apenas 2 posições (fechada e aberta).



Figura 11 – Pistão pneumático

A necessidade da presença de uma fonte de ar comprimido (compressor ou cilindro), além da impossibilidade de realização de um controle da força aplicada faz com que esse tipo de atuador não seja adequado para o nosso trabalho.

### 3.2.5 – MOTOR AC

Motores de corrente alternada necessitam, a princípio, de uma fonte de tensão alternada. Devido a esse fato, e também ao fato de que nosso equipamento deve ser portátil e passível de utilização em ambientes afastados, essa alternativa de projeto foi desconsiderada.



*Figura 12 – Esquema de motor AC*



### 3.3 – SISTEMA DE MONITORAMENTO

Para o nosso equipamento deve-se sempre pensar em alternativas de baixo peso e com a máxima funcionalidade. Para o sistema de monitoramento, a solução mais adequada encontrada hoje em dia é através da utilização de micro-câmeras. É possível encontrar no mercado os mais variados tipos de câmeras coloridas e com áudio por preços bastante acessíveis e dimensões minimizadas.

Para o projeto de nosso equipamento, é desejável que o sistema de monitoração possa efetuar uma movimentação em torno de dois eixos, e que esse controle possa ser feito de modo a se conseguir uma maior área de visualização. Para tal, a alternativa mais simples e funcional é a fixação da câmera a uma plataforma onde haverá um sistema controlado por dois servomotores que permita a rotação da câmera em torno dos eixos vertical e horizontal, perpendiculares ao braço da garra.

Quanto à transmissão da imagem gerada, pode-se fazer de dois modos. O primeiro e mais simples seria através da simples ligação dos cabos ao monitor, enquanto que a segunda alternativa seria fazer um método de transmissão de imagem sem fio. Para o escopo de nosso projeto, não há a necessidade de se fazer uma transmissão sem fio, dada a proximidade entre o operador e a tela de exibição.



*Figura 13 – Micro-câmera com cabos para conexão*



*Figura 14 – Exemplo de micro-câmera encontrada no mercado*



*Figura 15 – Exemplo de monitor portátil a bateria encontrado no mercado*

## **4 – ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO**

Algumas alternativas de solução foram elaboradas para atingir os objetivos do projeto. A partir da análise dessas alternativas, uma será escolhida para seguir para a etapa de projeto.

Foram propostas quatro diferentes alternativas básicas de solução, apresentadas a seguir.

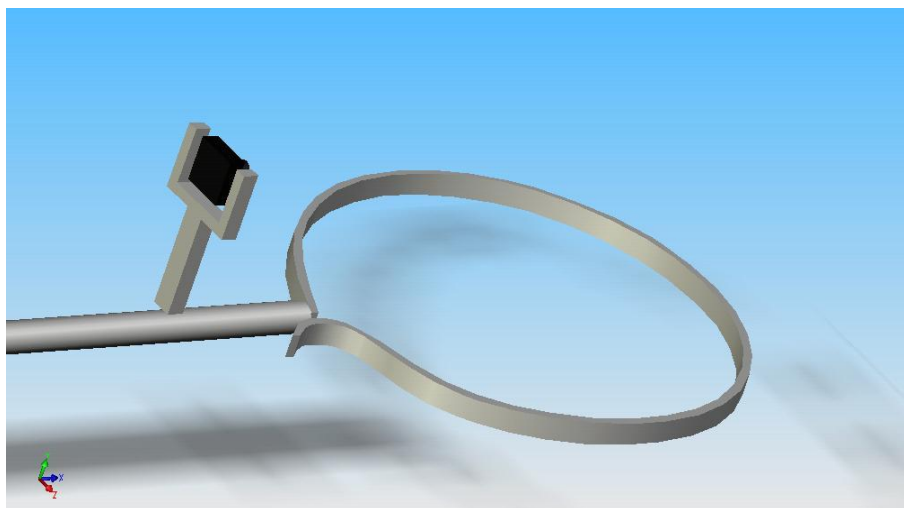
### **4.1 – GARRA COM CORREIA**

Nessa solução, o objeto seria capturado por uma correia de material que não flambe com o próprio peso associado ao peso do objeto.

O funcionamento da correia seria da seguinte maneira: Uma das extremidades do arco da correia estaria fixa a extremidade do braço, enquanto que a outra ponta estaria vinculada ao motor. Para capturar o objeto, o arco teria que passar por cima do mesmo, e, em seguida, o motor faria com que o perímetro do arco diminuísse gradativamente fazendo que com o objeto ficasse preso ao braço.

Esse sistema tem como vantagens o fácil controle visual da força exercida sobre o objeto, além do que, o arco pode adaptar-se melhor a forma do objeto a ser manipulado. Além disso, o tamanho do objeto em questão não é um grande empecilho.

Em contrapartida, o objeto pode estar apoiado em locais que impossibilitem a passagem do arco a sua volta. Para um bom funcionamento dessa alternativa, é necessário que o objeto apoiado apenas no solo.



*Figura 16 – Garra no formato correia*

## **4.2 – GARRA PINÇA DE 2 PONTOS**

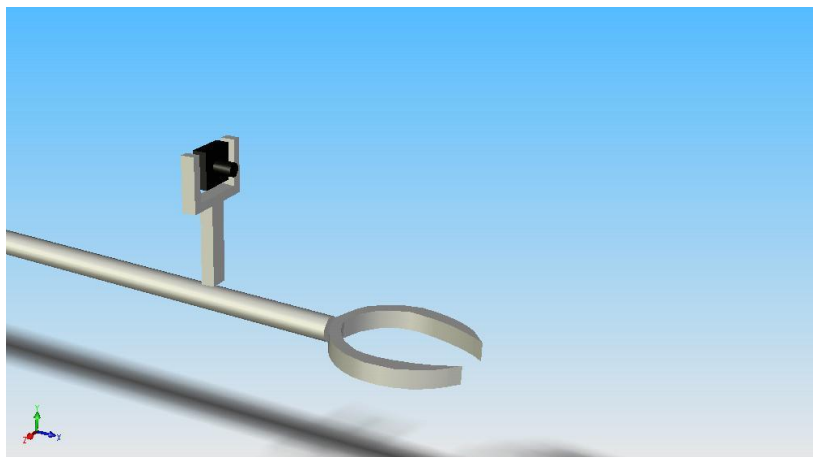
A garra em formato de pinça segue os formatos tradicionais de garra, com cada lado da pinça em formato tipo C, vinculados por um pivô unindo uma de suas extremidades. Essa garra fixa o objeto de duas formas diferentes. Pode-se fixá-lo na parte interior da garra, com mais pontos de contato, ou apenas utilizando suas pontas, conforme a conveniência.

Os dois lados da pinça teriam movimentos simétricos.

A vantagem nesse caso é poder manipular objetos que estejam em locais de mais difícil acesso. Também pode-se dizer que esse tipo de garra apresenta uma maior versatilidade, e facilidade de utilização.

Por outro lado, o tamanho da garra limita o tamanho dos objetos passíveis de serem manipulados, ou seja, garras pequenas não poderiam manipular objetos grandes, e garras grandes teriam dificuldades para manipular objetos pequenos. Outro fato a se considerar é o de que em alguns casos, teríamos poucos pontos de contato entre a garra e o objeto.

Uma possibilidade para esse projeto seria fazer com que as extremidades da garra presas ao braço fossem feitas de material flexível de alta constante de elasticidade, de modo a controlar melhor a pressão exercida pela garra ao segurar o objeto.



*Figura 17 – Garra no formato pinça*

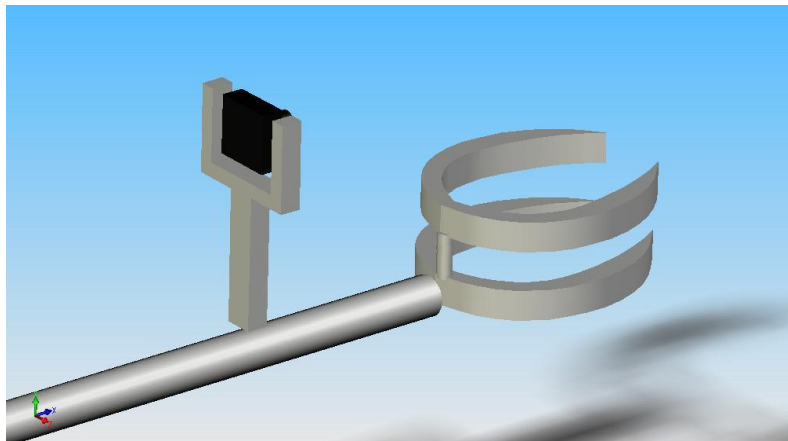
#### **4.3 – GARRA PINÇA DE 2 PONTOS DUPLA**

Nesse caso seriam duas garras do mesmo formato ao do item anterior sendo que a segunda estaria posicionada ligeiramente acima da outra, de modo a obter um mínimo de 4 pontos de contato.

Seria necessário que as duas garras tivessem movimentos independentes. Para tanto, a garra de baixo ficaria fixa ao braço, enquanto que a de cima teria um movimento livre em relação ao eixo vertical, de modo a se adaptar a forma do objeto. Cada uma das garras seria acionada independentemente, ou seja, usaríamos um mínimo de 2 motores.

As vantagens dessa montagem residem no fato de termos mais pontos de contato, e uma melhor adaptação à forma do objeto a ser manipulado.

Como desvantagens, podemos citar o maior numero de motores a serem utilizados, aumentando o peso total do equipamento, bem como uma maior complexidade do sistema como um todo.



*Figura 18 – Garra de pinça dupla*

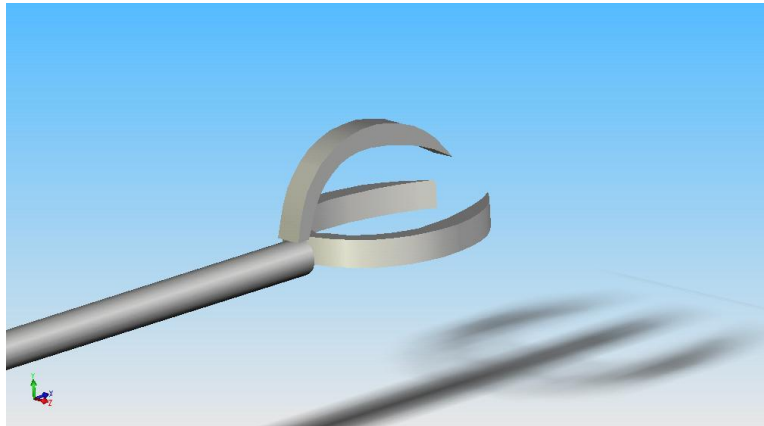
#### **4.4 – GARRA PINÇA DE 3 PONTOS**

Essa solução envolve o mecanismo da pinça de 2 pontos, associado a um terceiro ponto, vertical, que funcionaria como uma outra pinça, rotacionada 90° em relação a primeira e que utilizaria os pontos da primeira como ponto de apoio.

Nesse modo, caso não seja possível a manipulação do objeto apenas com a pinça de 2 pontos, essa seria fechada e o braço rotacionado, para possibilitar o acionamento do terceiro ponto, independente. Essa nova pinça seria plana ou em forma de V e se associaria com a primeira pinça fechada.

A vantagem desse caso é poder abranger um número maior de objetos passíveis de serem manipulados, tanto em relação a forma, quanto em relação a dimensão, e permitir 2 tipos diferentes de manipulação conforme a necessidade.

A desvantagem, novamente, está no peso que seria mais elevado, pois teríamos dois motores, e na complexidade do sistema final.



*Figura 19 – Garra com pinça de 3 pontos*

## 5 – DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO PROJETO

O objetivo dessa fase é definir quais são os parâmetros mais relevantes para um resultado satisfatório do sistema. Dessa maneira, poderemos avaliar cada uma das soluções propostas e, assim, definir qual a mais adequada para o objetivo final.

Para cada parâmetro escolhido será associado um peso (de 2 a 5), de acordo com a sua relevância para o projeto.

Em seguida, avaliaremos cada alternativa de solução proposta de acordo com esses parâmetros. Para cada parâmetro, cada alternativa receberá uma nota que variará entre 5 e 10, uma vez que notas abaixo de 5 inviabilizariam a alternativa.

Com isso em mãos poderemos montar a nossa matriz de decisão e escolher a alternativa dentre as propostas que melhor se adéqüe às nossas necessidades.

Os parâmetros escolhidos são os seguintes:

**Peso:** Esse é um parâmetro fundamental, pois a nossa garra será manipulada por uma pessoa. Assim, quanto maior o peso da garra, mais difícil seria a utilização da mesma. Para esse critério foi associado um peso de valor **5** e, quanto mais leve o equipamento, maior será sua nota.

**Versatilidade:** É importante que o nosso sistema braço/garra possa estar apto para atuar em diferentes ocasiões e circunstâncias. Assim, a versatilidade é um fator a ser avaliado. Quanto maior for a abrangência de situações com as quais o equipamento puder lidar, maior será sua utilidade. O peso adotado para esse item tem valor **4**, onde os equipamentos que apresentarem maior versatilidade receberão notas maiores.



**Controlabilidade:** Essa característica demonstra a facilidade envolvida na operação do equipamento, levando em consideração que o tempo de operação é um item bastante relevante no procedimento. Dessa maneira, melhor será quando o objeto puder ser mais rapidamente manipulado e, portanto, quanto mais fácil for controlar a garra. O peso adotado nesse parâmetro tem valor **4** e as alternativas que possibilitarem um melhor controle receberão as maiores notas.

**Complexidade do Projeto:** A complexidade de projeto e construção do equipamento é, também, algo que deve ser analisado. Um projeto que envolva uma construção demasiadamente complicada não se adéqua ao escopo do nosso projeto, pois buscamos uma solução que seja o mais simples e funcional possível, diminuindo ao máximo os riscos envolvidos. O peso adotado para esse parâmetro é de valor **3**, projetos muito complexos receberão notas menores.

**Manutenção:** Embora não seja um ponto extremamente crítico é interessante analisar a facilidade de manutenção de nosso equipamento, uma vez que estará sujeito a situações que envolvem risco à sua integridade, como, por exemplo, a manipulação de artefatos explosivos. O peso em questão será de valor **2**. Equipamentos que apresentem uma maior facilidade de manutenção receberão notas maiores.

**Confiabilidade Operacional:** Estaremos manipulando objetos potencialmente perigosos. Portanto deve-se dar atenção especial à força que nosso equipamento aplicará ao objeto. Essa força não poderá ser aplicada em excesso e tampouco poderá variar involuntariamente de valor ao longo da manipulação. Para este parâmetro, o peso adotado será de valor **3**. Equipamentos que permitirem uma maior confiabilidade receberão maiores notas.

**Autonomia Operacional:** Deve-se levar em consideração que, por ser portátil, a garra deverá possuir uma fonte de energia também portátil (bateria 12V). O tempo de utilização da garra será diretamente proporcional a sua

autonomia perante à fonte de energia. Assim, sistemas que consumam menos energia, terão um tempo hábil de utilização maior. Esse critério terá um peso de valor **3**. Quanto maior for o tempo hábil de utilização do equipamento, maior a nota associada.

## 6 – MATRIZ DE DECISÃO

Uma vez fixados os parâmetros de avaliação e as alternativas de solução, foram atribuídas notas para cada parâmetro de cada alternativa. A partir dessas notas, foi possível elaborar uma matriz de decisão e, em seguida, escolher a alternativa que melhor se adéqua aos parâmetros estabelecidos.

Abaixo verifica-se o resultado final.

	Peso do Critério	Alternativa 1	Alternativa2	Alternativa 3	Alternativa 4
Descrição	-	Correia	Pinça de 2 pontos	Pinça de 2 pontos dupla	Pinça de 3 pontos
Peso	5	10	9	6	6
Versatilidade	4	7	9	10	10
Controlabilidade	4	8	10	7	7
Complexidade	3	10	9	6	5
Manutenção	2	10	8	5	6
Confiabilidade	3	9	8	10	8
Autonomia	3	10	10	7	7
TOTAL	-	<b>217</b>	<b>218</b>	<b>177</b>	<b>170</b>

*Tabela 1 – Matriz de Decisão*

Como pode-se observar, a alternativa que obteve maior pontuação foi a alternativa 2, que trata de uma garra em forma de pinça com 2 pontos de contato.

A alternativa 1 ficou muito próximo do valor obtido pela alternativa 2, mas acabou sendo desclassificada devido, principalmente a sua pior versatilidade e controlabilidade com relação a outra alternativa.

Da mesma forma, as alternativas 3 e 4 por apresentarem um motor adicional e maior complexidade de construção e controle, receberam notas inferiores, o que contribuiu de forma fundamental para sua eliminação.

## 7 – DIMENSIONAMENTO DA BARRA

Para realizar o dimensionamento da barra, primeiramente foram adotadas as seguintes hipóteses:

- Barra de seção tubular de diâmetro externo **D** e espessura **t**.

Utilizaremos um perfil tubular a fim de aumentarmos a rigidez do sistema podendo manter um peso total menor.

- Problema semelhante à uma viga engastada de comprimento **L** e seção **I**, com uma força  **$P = m.g$**  aplicada na extremidade e um carregamento uniforme **F** sobre seu comprimento.

Este é o caso que mais se assemelha a um operador carregando uma massa na extremidade da garra, levando em conta o peso da própria barra.

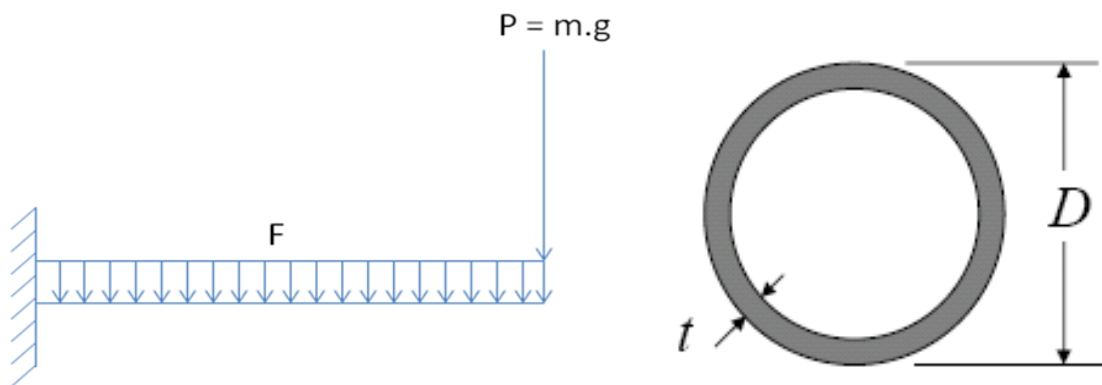


Figura 20 – Distribuição de forças no modelo de viga engastada e perfil da seção tubular [7]

Este caso geraria a curva de momento a seguir:

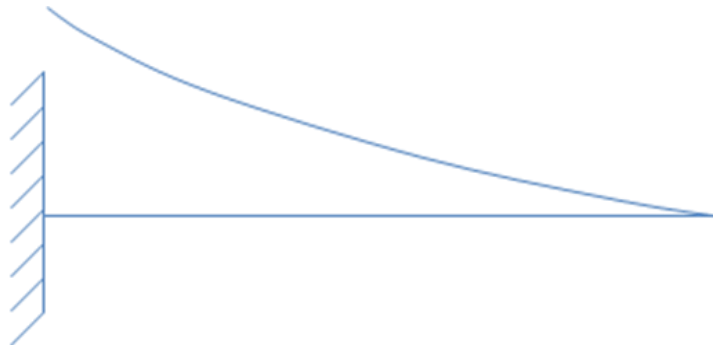


Figura 21 – Curva de momento na viga [7,8]

$$M_{MAX} = m \cdot g \cdot l + F \cdot \frac{l^2}{2} \quad (1)$$

Onde

$$F = \frac{\pi \cdot s \cdot g \cdot (2 \cdot D \cdot t - t^2)}{4} \quad (2)$$

E  $s$  representa a densidade do material.

Sabe-se, também, que a tensão em um ponto de coordenada  $y$  a partir do centro da seção de momento de inércia  $I$ , pode ser calculada por:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (3)$$

Para o caso de uma seção tubular, temos:

$$I = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot t}{8} \quad (4)$$

Assim, para determinar qual seria o diâmetro externo  $D$ , devemos resolver a seguinte equação:

$$\sigma = \frac{\left( m \cdot g \cdot l + \left( \frac{\pi \cdot s \cdot g \cdot (2 \cdot D \cdot t - t^2)}{4} \right) \cdot \frac{l^2}{2} \right) \cdot \frac{D}{2}}{\frac{\pi \cdot D^3 \cdot t}{8}} \quad (5)$$

Utilizando o alumínio como material, teremos os seguintes valores, para o cálculo de D:

- Tensão de escoamento:  $\sigma = 28,7 \text{ MPa}$
- Densidade  $s = 2700 \text{ kg/m}^3$
- Espessura da parede:  $t = 3 \text{ mm}$
- Aceleração da gravidade:  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$
- Massa carregada:  $m = 2 \text{ kg}$
- Comprimento do tubo:  $l = 3 \text{ m}$

Com esses dados, foi possível calcular o diâmetro externo  $D$ , que deverá valer, no mínimo:

$$D = 33,7 \text{ mm}$$

Com esse diâmetro, a massa total do tubo de alumínio será de 1,23 kg.

O próximo passo agora, seria calcular o valor da flexa na extremidade da barra.

Sabemos que o momento relaciona-se com a flexa de acordo com a seguinte equação:

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (6)$$

O momento em função da distância  $x$ , de comprimento da barra, é dado por:

$$M = mg(l - x) + \frac{F(l - x)^2}{2} \quad (7)$$

Assim, para chegarmos ao valor da flexa, representado por  $v$ , basta integrarmos duas vezes a equação do momento, e dividir o resultado pelo produto  $EI$ .

Dessa maneira:

$$v = \frac{\frac{mgl \cdot x^2}{2} - \frac{mg \cdot x^3}{6} + \frac{Fl^2 \cdot x^2}{4} - \frac{Fl \cdot x^3}{6} + \frac{Fl \cdot x^4}{24}}{EI} \quad (8)$$

O gráfico que mostra a variação da flexa ao longo da barra é apresentado a seguir:

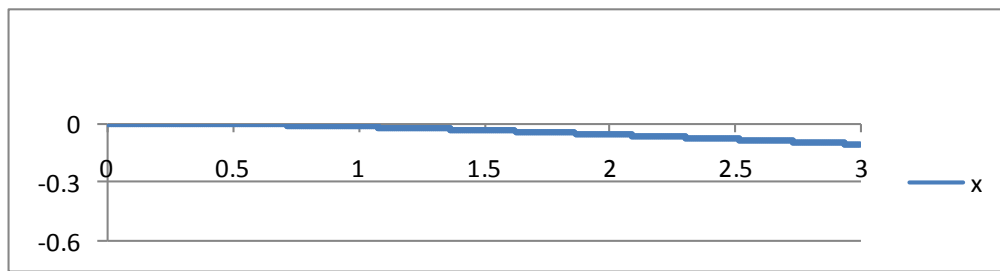


Gráfico 1 – Variação da flexa ao longo da barra [7,8]

Analisando o resultado, vemos que o deslocamento na ponta da barra será, no nosso caso, de 107,3 mm.



## **8 – VISITA AO GATE**

No dia 30 de maio de 2008, realizamos uma visita ao Grupo de Ações Táticas Especiais da Polícia Militar do Estado de São Paulo a fim de esclarecer questões pertinentes ao projeto.

Fomos recebidos pelo Capitão Adriano Giovaninni, comandante geral do GATE. Ele nos apresentou alguns dos principais equipamentos utilizados com a finalidade de manipular objetos suspeitos. Pudemos observar alguns tipos de garra utilizados, além dos robôs.

Com as informações fornecidas por ele a respeito do modo como estes equipamentos são manipulados, bem como das situações em que são utilizados, pudemos agregar os muitos dados ao nosso projeto.

A vestimenta utilizada pelo operador durante a manipulação do objeto possui uma tecnologia anti-bomba que, por norma, afirma que a distância mínima de segurança é de três metros. Assim, definimos que o comprimento útil mínimo deveria ser de 3 metros, como já havíamos estipulado.

Foi comentado durante a visita, que a introdução de um controle de pressão na garra seria um grande atrativo, uma vez que a caixa de controle encontra-se, atualmente, vinculada ao braço, assim como os botões de controle, que são, em sua totalidade, do tipo ON/OFF.



*Figura 22 – Controle ON/OFF*

Observamos que a utilização da garra é auxiliada pela presença de um contrapeso determinado pelo operador. No nosso caso, não haveria problemas em se utilizar a própria bateria como contrapeso.

A haste do equipamento utilizado atualmente é desmontável em aproximadamente 7 partes separadas, que são transportadas em uma maleta. A sugestão de um braço telescópico foi bem aceita.

O diâmetro da barra da garra observada era de cerca de 35 mm, que estava condizente com o valor por nós calculado.

Quanto à forma da garra, pôde-se constatar que deve ser do tipo pinça, para que seja possível mover maletas suspeitas pela alça, situação esta rotineira para eles. O tamanho da pinça utilizada atualmente pelo GATE, assim como o tamanho por nós estipulados, é suficiente para poder manipular a maioria dos objetos suspeitos. Para os seus movimentos, além da abertura das pinças, seria útil que esta tivesse um movimento de rotação sobre o próprio eixo do braço para melhor controle do usuário, além de um ajuste manual que regulasse sua posição para que estivesse, sempre, paralela ou perpendicular ao solo.



*Figura 23 – Pinça atual*

A utilização de uma câmera colorida, que pudesse proporcionar uma vista com ângulo diferente da vista do operador, traria grandes vantagens para a operação. Assim, decidiu-se que a rotação da câmera não seria ao redor de seu próprio eixo e, sim, através de uma haste que proporcionasse uma maior amplitude. Não há necessidade, entretanto, que esta câmera possua sistema de som ou de iluminação própria, pois o operador utiliza fones para proteger seus tímpanos do ruído de possíveis explosões e comunicar-se com o resto da equipe. Além disso, o objeto é fortemente iluminado pela equipe de apoio. Chegou-se à conclusão de que para um bom desempenho do sistema de monitoramento visual, o conjunto formado pela câmera e o monitor deveriam ter uma boa resolução.

Foi constatado, também, que a instalação de um pequeno defletor de policarbonato próximo à extremidade da garra traria maior segurança à operação.



*Figura 24 – Defletor utilizado atualmente*

No que diz respeito à autonomia necessária, foi informado que o tempo máximo de toda a operação é de cerca de 30 minutos, sendo que a garra fica em operação durante intervalos máximos de 1 minuto. Sendo assim, vemos que a autonomia da bateria não é um fator limitante.

Com relação à forma de suporte da garra pelo operador, a maneira utilizada atualmente é através de uma alça, fixa ao equipamento. Essa alça é presa com o auxílio de seus companheiros, uma vez que a mobilidade do operador é muito pequena devido à roupa de proteção, que possui cerca de 40 kg.

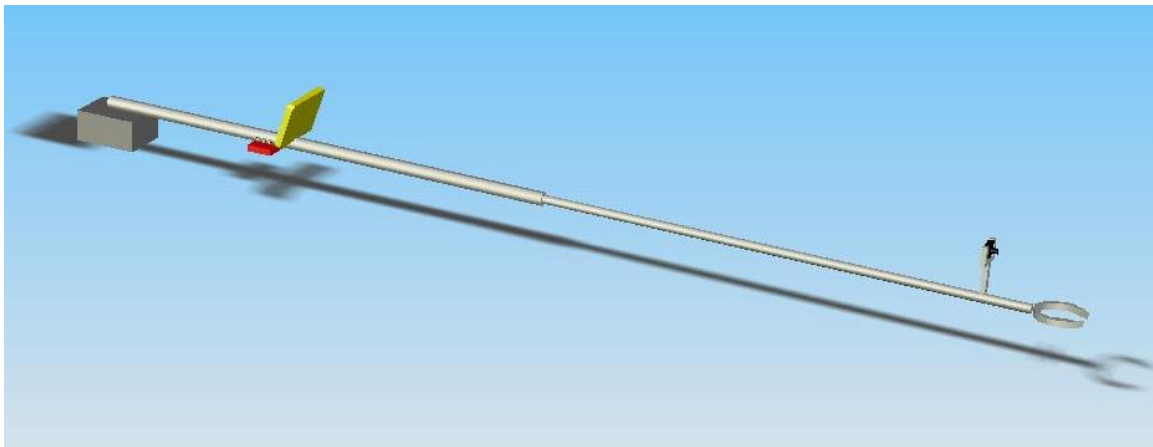
A carga estipulada de 2 kg cumpre com sobra a carga normalmente manipulada pela garra. O peso do equipamento utilizado atualmente era de cerca de 10 kg, que também condiz com o valor por nós previamente estipulado, e mostrou ser um valor aceitável.

Foi apurado durante a visita que o preço total para importação de uma garra como a utilizada pode chegar a até R\$ 100.000,00, preço que pode ser considerado muito alto perto da tecnologia envolvida.

## 9 – DIVISÃO DOS SUBSISTEMAS ENVOLVIDOS

Para uma melhor abordagem do projeto, dividimos o equipamento em alguns subsistemas. Cada subsistema foi tratado de forma diferente, de modo a conseguirmos desenvolvê-los da melhor maneira possível.

Para tanto, foi feita uma árvore de subsistemas e um pequeno esquema da configuração final desejada, mostrados a seguir:



*Figura 25 – Esquema da configuração final*

### **-EQUIPAMENTO**

#### **-GARRA**

- Fixação
- Motor
- Transmissão / Mecanismos
- Pinças

#### **-SISTEMA DE MONITORAMENTO**

- Fixação
- Motores
- Mecanismos
- Câmera

#### **-CONJUNTO DO MONITOR**

- Suporte
- Monitor

### **-CONTROLE**

- Bateria
- Fios
- Fixação
- Circuitos controladores

### **-BRAÇO**

- Barras de alumínio
- Fixações

### **-DEFLETOR**

- Fixação
- Disco de policarbonato

## 10 – DETALHAMENTO DOS SUBSISTEMAS ENVOLVIDOS

### 10.1 – BARRA

O dimensionamento da barra partiu do princípio de que a barra teria 3 metros de comprimento útil, o que foi confirmado pelo Capitão Giovaninni durante a visita ao GATE. Entretanto, a barra deve ter, no geral, um comprimento de cerca de 4.5 metros, sendo os 1.5 metros adicionais utilizados para fixação da bateria como contrapeso além de uma maior comodidade na fixação da alça de suporte para o operador.



*Figura 26 – Esquema com 3 barras*

O material a ser utilizado na fabricação da barra será o alumínio. Essa escolha se deu levando-se em conta aspectos como densidade, resistência, custo e disponibilidade.

Outro ponto levado em consideração foi a escolha de um sistema telescópico para auxiliar o recolhimento e transporte do equipamento. Dessa maneira, utilizaríamos duas barras cilíndricas de alumínio de mesmo comprimento, com diâmetros distintos, mas que permitissem um adequado encaixe para fixação. Essa fixação entre as barras de alumínio seria feita

através de uma bucha feita em poliacetal que estaria fixa à barra de maior diâmetro e proporcionaria um ajuste forçado entre ambas.

A partir dos resultados obtidos no dimensionamento inicial associados aos dados recolhidos durante a visita ao GATE, passamos à escolha dos tubos envolvidos.

No mercado encontra-se uma grande variedade de diâmetros e espessuras para tubos de alumínio. Analisando o catálogo da empresa Incometal, averiguamos que a espessura mais próxima de nossos propósitos seria de 2,38 mm. Com essa diminuição da espessura considerada, recalculamos o diâmetro necessário e, com base no que vimos na visita ao GATE, incluiríamos uma margem de segurança de cerca de 20% de modo a nos adaptarmos a tabela do fabricante, que resultaria num diâmetro externo final do tubo de 44,45mm (1 3/4").

Em seguida, consideramos que a bucha deveria ter uma espessura de 5mm, o que faria com que o diâmetro externo do tubo interno fosse de 30mm, resultando num ajuste forçado desejado.

A seguir podemos ver a tabela do catálogo técnico da Incometal com os valores relativos a tubos de alumínio.

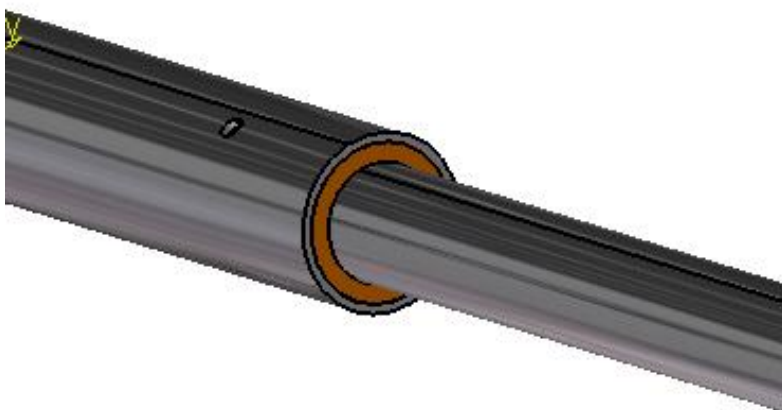


DIÂMETRO EXTERNO		TUBOS REDONDOS - Pêso linear (Kg/m)					
		ESPESSURA DA PAREDE					
(mm)	Pol.	1/32 0,80mm	- 1,00mm	1/16" 1,58mm	- 2,00mm	3/32" 2,38mm	1/8" 3,17mm
9,52	3/8	0,058	0,072	0,106	-	-	-
10,00	-	0,063	0,076	0,113	0,136	-	-
11,11	7/16	0,071	0,085	0,128	0,155	0,178	-
12,70	1/2	0,080	0,099	0,149	0,183	0,208	-
14,28	9/16	0,090	0,112	0,170	0,208	0,240	-
15,00	-	0,097	0,119	0,181	0,221	0,255	0,319
15,87	5/8	0,101	0,126	0,191	0,235	0,272	0,341
19,05	3/4	0,122	0,153	0,234	0,289	0,336	0,427
20,00	-	0,130	0,161	0,249	0,306	0,353	0,454
22,00	7/8	0,144	0,188	0,276	0,343	0,411	0,521
25,40	1	0,165	0,207	0,319	0,403	0,464	0,595
28,57	1 1/8	0,186	0,234	0,382	0,452	0,528	0,683
30,00	-	0,202	0,246	0,389	0,475	0,558	0,723
31,75	1 1/4	0,207	0,261	0,404	0,508	0,593	0,768
34,92	1 3/8	0,229	0,288	0,447	0,551	0,657	0,853
38,10	1 1/2	0,250	0,315	0,489	0,616	0,721	0,939
40,00	-	0,262	0,331	0,518	0,645	0,752	0,993
41,27	1 5/8	0,271	0,341	0,532	0,662	0,785	1,024
44,45	1 3/4	0,292	0,368	0,574	0,723	0,849	1,109
47,62	1 7/8	0,314	0,395	0,617	0,770	0,913	1,195
50,80	2	0,355	0,422	0,658	0,810	0,977	1,280
57,15	2 1/4	-	-	0,744	0,918	1,105	1,451
63,50	2 1/2	-	-	0,880	1,053	1,233	1,621
69,85	2 3/4	-	-	0,914	1,162	1,361	1,792
76,20	3	-	-	1,000	1,270	1,490	1,962
82,55	3 1/4	-	-	-	1,377	1,618	2,133
88,90	3 1/2	-	-	-	1,485	1,755	2,325
101,60	4	-	-	-	1,605	2,002	2,580

Tabela 2 – Catálogo técnico Incometal [9]

Dessa maneira, teríamos um tubo base com 44,45mm de diâmetro externo, uma espessura de 2,38mm e comprimento de 1,6m, um tubo principal com 30mm de diâmetro externo, 2,38mm de espessura e 1,6m de comprimento e, finalmente, o tubo para fixação da bateria como contrapeso, com diâmetro externo de 30mm, espessura de 2,38mm e comprimento de 1,6m.

As buchas de fixação, por sua vez, teriam diâmetro interno de 30mm (igual ao diâmetro externo dos tubos internos), espessura de 5mm e comprimento de 20mm, que seria o comprimento de sobreposição entre as barras.



*Figura 27 – Fixação com bucha*

No entanto, após entrar em contato com o fornecedor, foi-nos informado de que estes valores não poderiam ser fornecidos em pronta entrega e nem para pequenos lotes.

Sendo assim, entramos em contato com outros fornecedores a fim de realizarmos um orçamento de tubos com dimensões que mais se aproximassem com o escopo inicial do projeto.

Após entrar em contato com a fábrica Belmetal, localizada na cidade de São Paulo, optamos por utilizar o tubo maior com 1  $\frac{3}{4}$ " (44,45mm) de diâmetro e parede de 1,5mm e o tubo menor com 1  $\frac{1}{4}$ " (31,75mm) de diâmetro com parede de 2,0mm.

Estas dimensões encontram-se para pronta-entrega no balcão da empresa.

## 10.2 – GARRA

Após os estudos realizados, e confirmando com o comandante do GATE, optamos que a garra a ser utilizada tivesse o formato de pinça. Esta pinça teria cerca de 150mm entre seu raio de abertura e sua ponta, tamanho este confirmado como suficiente para realização de praticamente todas as tarefas necessárias.

Durante a visita, também foi informado pelo capitão Giovaninni que as garras utilizadas atualmente pelo GATE possuem, além do movimento do abertura e fechamento das pinças, mais um movimento, de rotação, através do eixo da própria garra, acionada por um motor. Finalmente, além desses 2 movimentos, há também um ajuste manual de posicionamento da pinça em relação à barra.



*Figura 28 – Movimento de rotação em relação à barra*



*Figura 29 – Ajuste de ângulo de ação da pinça*

Desse modo, foi decidido que a nossa garra também teria esses tipos de ajustes e mecanismos, a fim de proporcionar uma maior gama de opções de trabalho para a garra.

Com base nos estudos previamente realizados, optamos também que a garra tivesse sistema auto-ajustável para captura de objetos, utilizando mordentes, que poderia ser removido caso não houvesse necessidade de utilização.

Por fim, decidimos que os materiais a serem utilizados para a fabricação da garra seriam alumínio e poliacetal, materiais esses que são fáceis de serem usinados e que se adéquam perfeitamente às necessidades do nosso projeto.

O próximo quesito que diz respeito ao mecanismo de acionamento da pinça, envolve uma problemática mais complicada.

É desejável que a pinça possua um movimento linear e de baixa velocidade, necessitando assim de um mecanismo de transmissão e motor que sejam capazes de executar tal tarefa, trazendo também um bom torque para a pinça.

Inicialmente, a alternativa que melhor se adaptaria aos nossos propósitos seria a utilizada por um robô da SWAT. Esse mecanismo realiza a redução através de um sistema rosca-parafuso utilizando um sem-fim, transmitindo o movimento para as pinças através de um sistema de engrenagens simétricas. As vantagens desse mecanismo são o fato de ser um mecanismo linear, proporcionar boa redução e torque, além de impossibilitar um movimento relativo caso o motor esteja desligado.



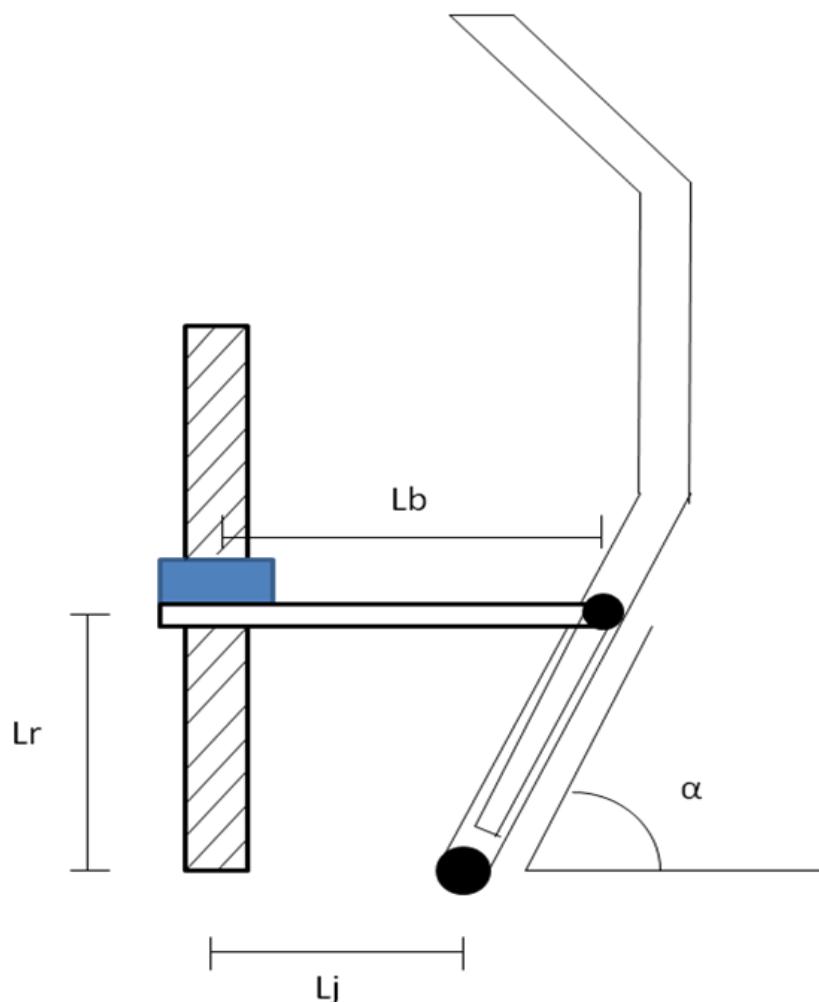
*Figura 30 – Mecanismo de transmissão utilizado pela SWAT*

No entanto, como era esperado, esse tipo de mecanismo é difícil de ser encontrado no mercado. Após uma longa procura por sistemas que possuíssem tais características, chegou-se à conclusão de que seria necessário implementar outro tipo de mecanismo, uma vez que os poucos fornecedores para tais mecanismos teriam um custo muito elevado, o que

inviabilizaria o projeto. Além disso, no caso de projeto e usinagem das peças envolvidas no dito sistema, enfrentaríamos muitos problemas devido a alta complexidade de fabricação e precisão dos encaixes do sistema.

Sendo assim, foram propostos dois sistemas, ambos utilizando um sistema rosca-parafuso, sistema este de maior acessibilidade e menor custo.

O primeiro sistema, representado a seguir, utilizaria o sistema rosca-parafuso, longitudinalmente, propiciando um movimento de abertura da garra através de um pino, com um furo oblongo na base da garra.



*Figura 31 – Primeira alternativa para o mecanismo da garra*

Para esta configuração, o ângulo  $\alpha$  de abertura da garra é dado por:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{L_r}{L_b - L_j}\right) \quad (9)$$

Utilizando os valores  $L_r=35\text{mm}$ ,  $L_b=65\text{mm}$  e  $L_j=30\text{mm}$ , pôde-se chegar em um ângulo de abertura  $\alpha$  igual a  $45^\circ$ , com sua curva de posição a seguir:

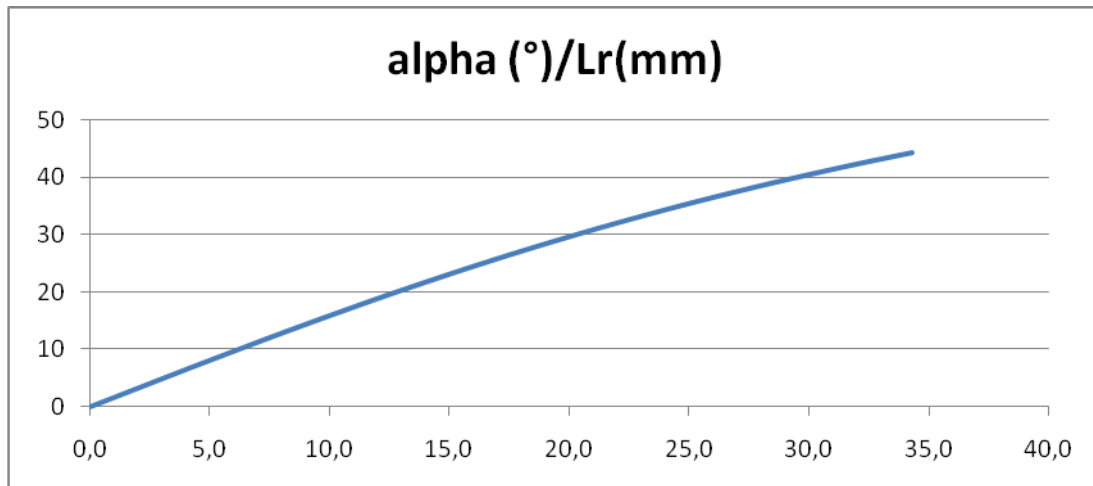


Gráfico 2 – Relação entre a abertura da garra e a posição da rosca do fuso

Analisando o gráfico, é possível considerar o movimento como praticamente linear, sendo os valores  $L_r$ ,  $L_b$  e  $L_j$  condizentes com o projeto.

A segunda alternativa seria semelhante, no entanto, ao invés utilizar um oblongo na pinça, seria usado uma junta extra. Esse sistema teria a vantagem de sofrer menor fadiga por atrito e é menos sensível a erros de fabricação.

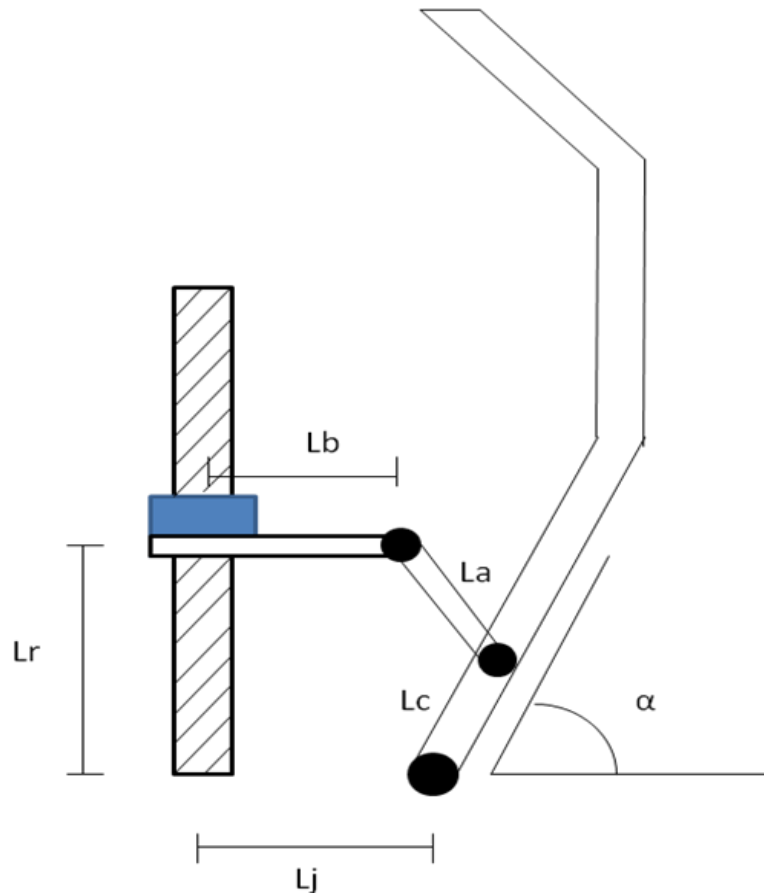


Figura 32 – Segunda alternativa para o mecanismo da garra

O movimento da garra segue a seguinte equação:

$$La^2 = (Lj + Lc \cdot \cos(\alpha) - Lb)^2 + (Lr - Lc \cdot \sin(\alpha))^2 \quad (10)$$

Para obtenção de melhores resultados, optou-se pela utilização de um conjunto porca-parafuso de dentes trapezoidais, pois esse sistema possui um maior rendimento, ocasionando pouca perda de potência pelo motor.

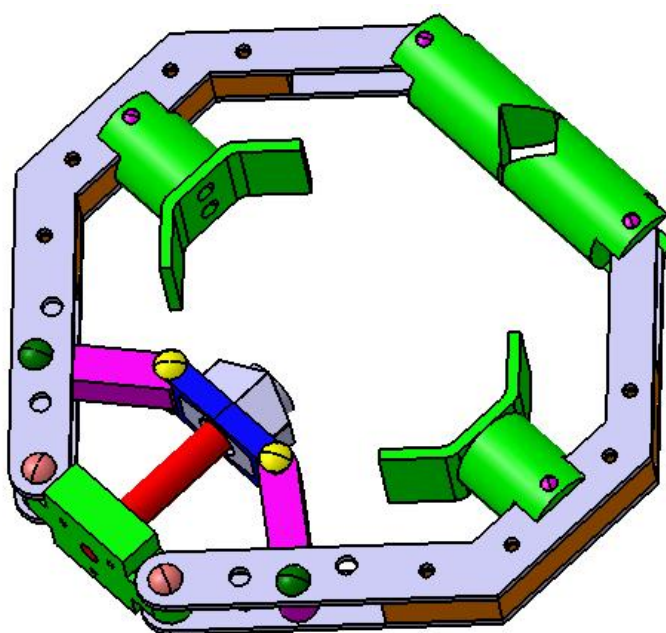
Para aplicação no projeto, foi possível obter esse conjunto a partir de um macaco tipo sanfona, utilizado para levantamento de automóveis para troca rápida de pneus. Nesse caso, o parafuso possui um diâmetro padronizado de 12 mm.





*Figura 33 – Fuso adotado*

A partir daí, foi iniciado o projeto físico da garra, como segue a figura:

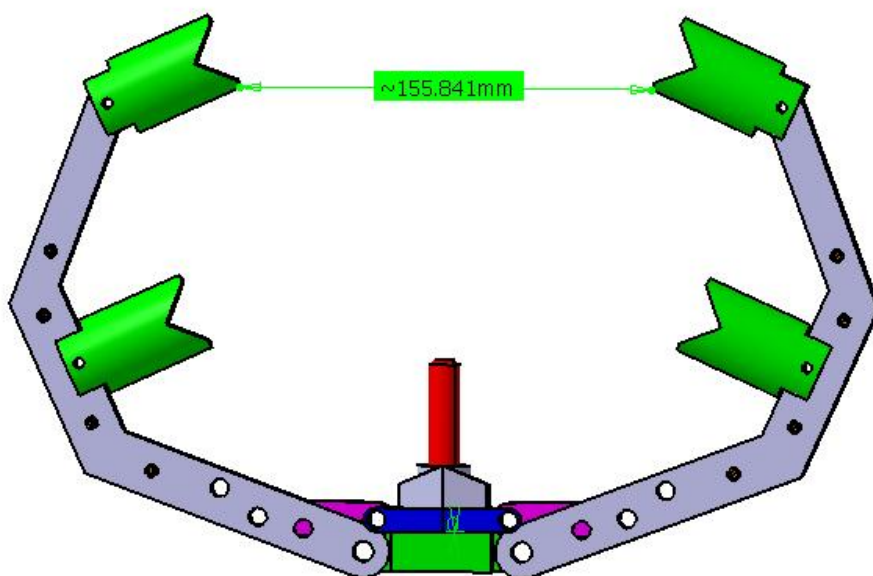


*Figura 34 – Vista perspectiva da garra*

A garra é composta por 4 pinças de alumínio, articuladas em uma base de poliacetal que contém um fuso. Com a rotação do fuso, a rosca movimentar-se verticalmente e, através das bielas, proporcionam o movimento de abre-e-fecha das pinças.

É possível regular essa relação de giro do motor por abertura da garra utilizando-se diferentes tamanhos de bielas e os 3 pontos de fixação observados nas pinças.

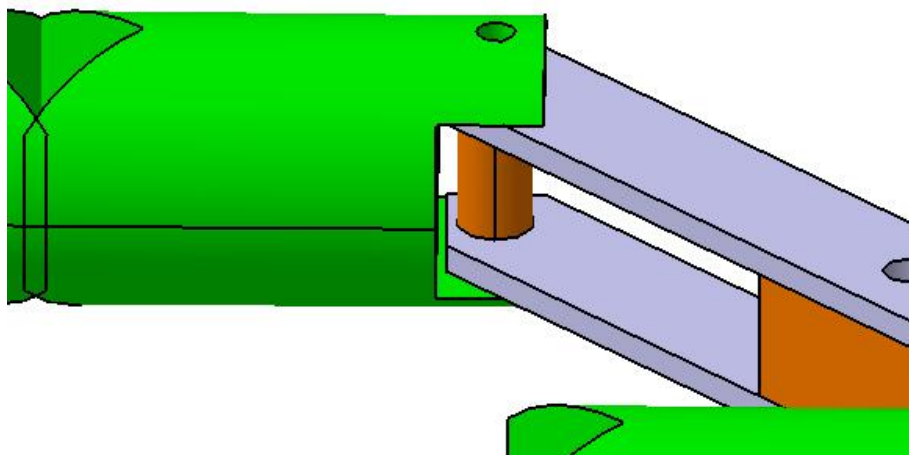
A configuração observada na figura pode gerar uma abertura de aproximadamente 155mm, conforme observado na figura abaixo:



*Figura 35 – Abertura da garra*

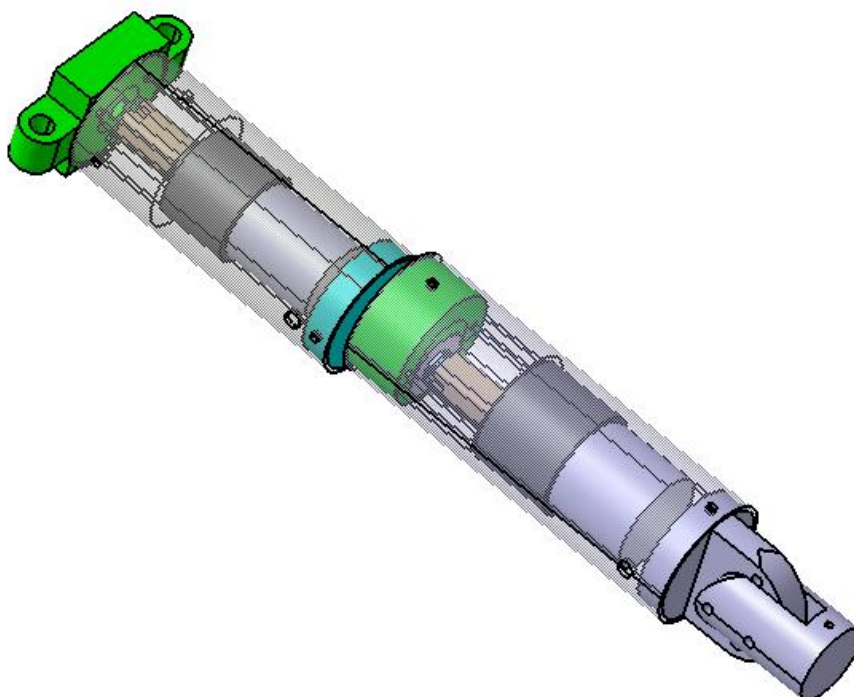
Para obter uma boa área de contato, utilizam-se espaçadores que separam as pinças em superior e inferior.

Para poder se adequar às diferentes formas possíveis de objetos a serem manipulados, são utilizados mordentes, que possuem certo espaçamento com relação à base, de forma que possuam certo movimento relativo livre, podendo-se adequar ao objeto.



*Figura 36 – Detalhe da folga do mordente*

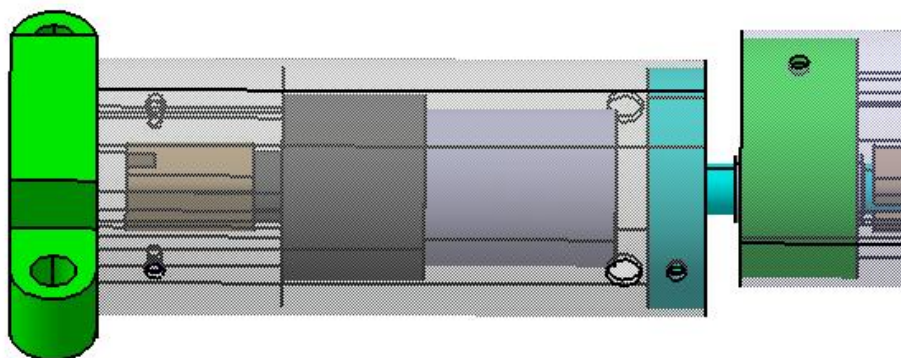
Com o projeto da garra terminado, passou-se para o projeto do pulso, que engloba a fixação do motor para a movimentação do fuso, o movimento de rotação axial da garra e o ajuste manual de posição.



*Figura 37 – Conjunto do pulso*

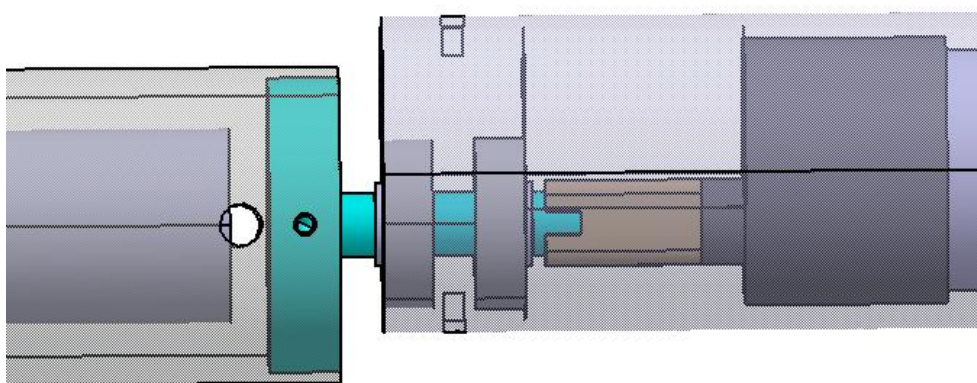
Este conjunto possui, inicialmente, a fixação e o acoplamento do motor que movimenta o fuso da garra.

Este motor é um motorreductor CC de 12V e 44rpm, com eixo concêntrico, e fixações paralelas ao seu eixo.



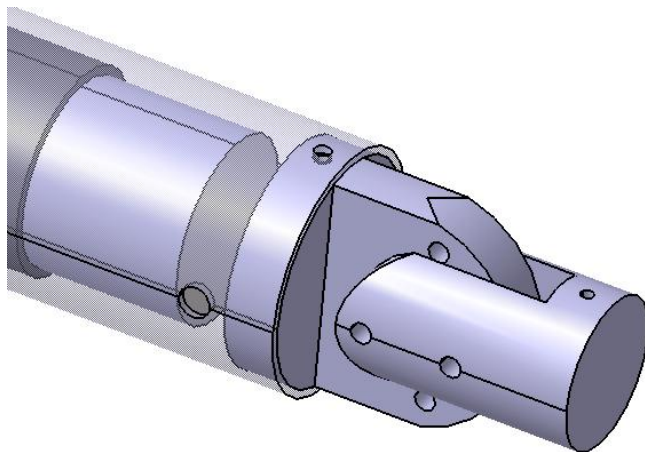
*Figura 38 – Fixação do motor do fuso*

Depois da fixação do motor do fuso, é feita a fixação do eixo para o giro axial da garra. Este movimento é feito utilizando-se um motorreductor CC de 12V e 3,1rpm, porém, seu eixo de atuação possui uma excentricidade de 7mm com relação a seu corpo. Sendo assim, o eixo para realizar o giro axial da garra é apoiado a um excêntrico, utilizando mancais de rolamento e anéis elásticos, que evitam o movimento indesejado de translação.



*Figura 39 – Eixo e excêntrico*

Finalmente, para realizar o ajuste manual para posicionamento da garra, foi adicionado uma dobradiça com ajuste para 3 diferentes ângulos de ataque.



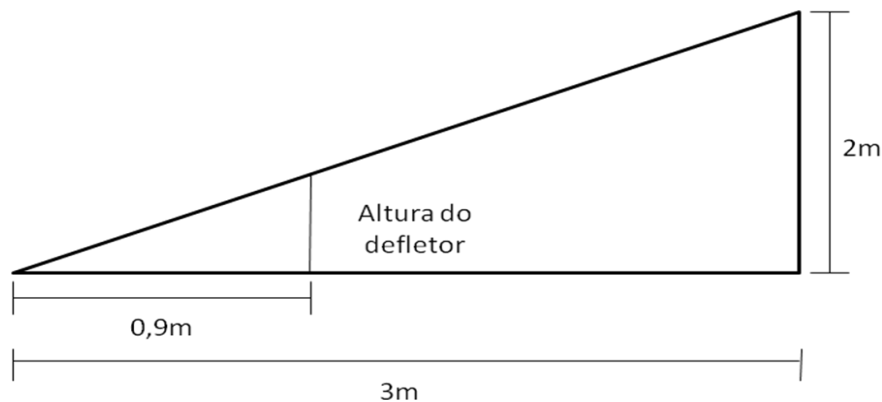
*Figura 40 – Detalhe das dobradiças.*

### 10.3 – DEFLETOR

A existência de um defletor é algo importante para a segurança dos operadores e foi aprovado pelo comandante Giovaninni.

A intenção é posicionar o defletor o mais próximo possível da garra, de forma a minimizar suas dimensões. A visibilidade da operação não seria prejudicada, uma vez que a intenção do projeto é a de que haja um sistema adequado de monitoramento através de câmeras.

O dimensionamento do defletor é bastante simples. Considera-se que eventuais explosões ocorrem na forma de cone. Em seguida, admite-se que o operador encontra-se a 3 metros de distância do objeto a ser manipulado, que é a distância mínima de segurança requerida pela roupa de proteção. Leva-se em conta também que, de acordo com o projeto, o defletor estará a uma distância de 0,9m do objeto.

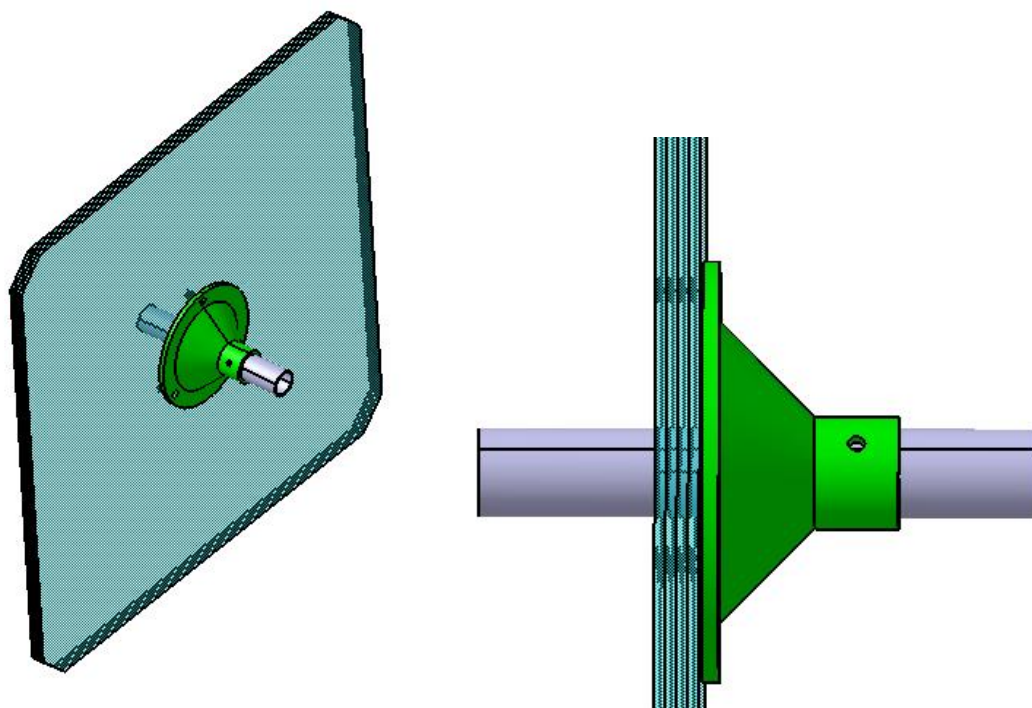


*Figura 41 – Esquema para cálculo da altura do defletor*

Com esses valores a altura encontrada para o defletor foi de 0,6m. A espessura, por sua vez, foi definida como sendo de 15mm, e o material seria policarbonato, que além de resistente é transparente, permitindo a observação do procedimento.

Para maior facilidade de obtenção do material, foram utilizadas 4 placas de 4 mm de espessura, que, como também sabemos, ajuda na absorção de possíveis impactos.

A fixação do defletor seria feita através da inclusão de uma peça de fácil montagem que se fixaria tanto ao defletor quanto à barra.



*Figura 42 – Conjunto do defletor*



## 10.4 – SISTEMA DE MONITORAMENTO

Para um adequado monitoramento da operação, a micro câmera a ser instalada no equipamento deve ser uma câmera CCD. No mercado existem diversas opções de câmeras e, no nosso caso, a que mais se adequou, principalmente em termos de acessibilidade, foi o modelo de 420 linhas de resolução e cerca de 34 mm tanto de comprimento quanto de largura e altura.



*Figura 43 – Micro câmera a ser empregada*

O sistema de acionamento da garra é projetado para que ela possa girar em torno do seu próprio eixo. Dessa maneira estaríamos aptos a capturar objetos em diferentes orientações.

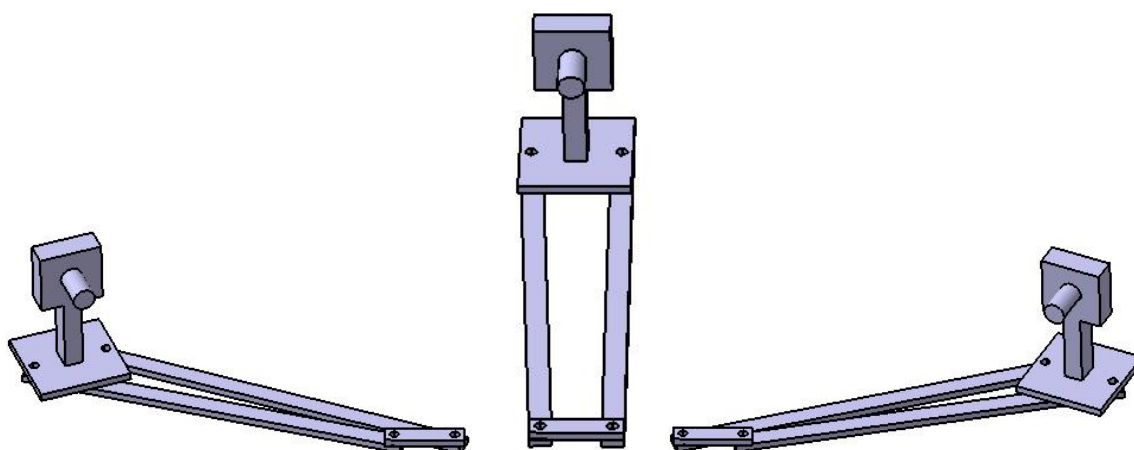
Essa configuração, entretanto, interfere no bom funcionamento do sistema de monitoramento. Verifica-se que, quando a garra gira 90° em relação ao seu eixo, a câmera fica impossibilitada de registrar as ações de um ponto de vista que consiga abranger toda a região, o que não é vantajoso para o projeto.

A solução encontrada para esse caso é um mecanismo que faça com que o sistema da câmera também seja rotacionado, de modo a ter uma visão lateral da ação. Essa solução, além de corrigir o problema mencionado, permite que, em qualquer configuração de posicionamento da garra, tenhamos diferentes pontos de vista pertinentes a operação, o que é uma grande vantagem.



Para o desenvolvimento desse mecanismo, foram levantadas, a princípio, duas possibilidades: a partir de um mecanismo simples de quatro barras ou a partir de um came.

No caso do mecanismo de quatro barras, o mecanismo consiste em duas barras de igual comprimento, articuladas a cada uma das duas extremidades da plataforma-base da câmera. As outras extremidades dessas duas barras estariam articuladas a uma barra-referência, de comprimento inferior ao comprimento da plataforma-base da câmera. Esse comprimento seria calculado de maneira que, nas configurações de posicionamento final, bem como na posição inicial, a câmera esteja apontando diretamente ao centro da garra. O acionamento se daria em alguma das articulações da barra-referência.



*Figura 44 – Mecanismo de 4 barras para posicionamento da câmera*

Para calcular a distância da barra-referência, foram realizados os cálculos, a partir de valores assumidos para as outras dimensões.

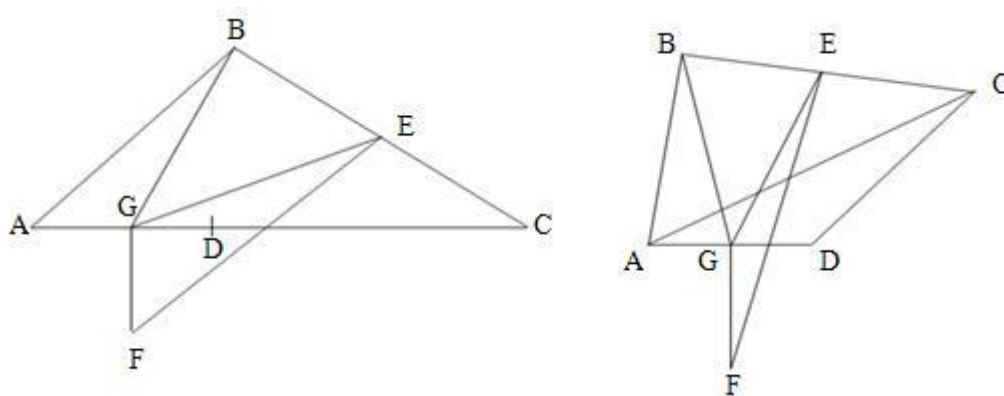


Figura 45 – Esquema do sistema de quatro barras

Partindo dos valores de 200mm para barras iguais (AB e CD), 50mm para o comprimento da plataforma-base da câmera (BC) e 200mm entre o centro da barra-referência e o objeto manipulado (GF), chegou-se a um valor de 34mm para o comprimento da barra-referência (AD).

Já no caso do mecanismo baseado em came, teríamos uma barra presa ao eixo de giro da câmera em uma das extremidades e articulada ao centro da plataforma-base da câmera na outra. Sobreposta a essa barra teríamos uma outra, com características mais específicas. Ela possuiria uma articulação que a ligaria a extremidade da plataforma-base da câmera. Essas duas barras estariam agrupadas juntas por um acoplamento fixo a barra de baixo.

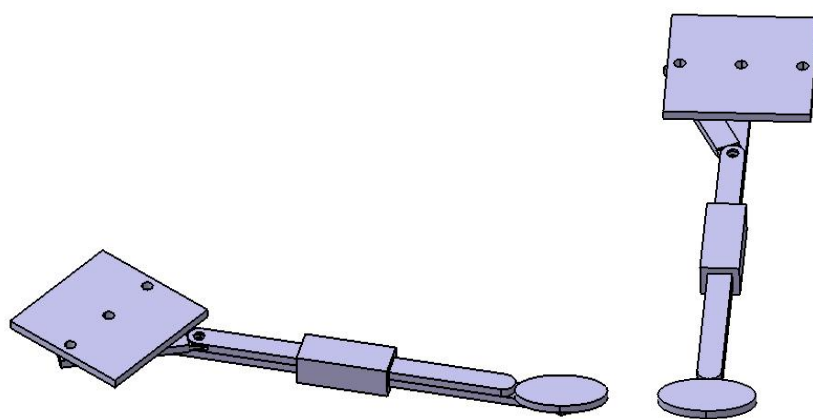


Figura 46 – Mecanismo com came

Com a rotação da barra de baixo, a barra superior estaria fixa ao perfil do came, que seria calculado de modo a fazer com que a câmera apontasse para o objeto em todos os ângulos de rotação. Essa fixação entre a barra e o came, se daria através de uma mola e um rolete.

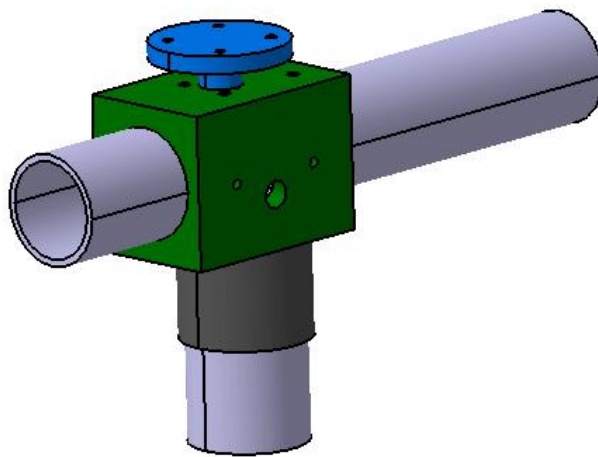
Esse sistema tem como vantagem o fato de o correto cálculo do perfil do came permitir que a câmera esteja sempre apontando na direção desejada. Por outro lado envolve um projeto e construção muito mais complexos.

Dadas as limitações dos sistemas apresentados, surgiu a alternativa de incluir um servomotor que ficaria encarregado de realizar a rotação da câmera em torno do eixo vertical. Nessa configuração teríamos, então, a utilização de um motor de corrente contínua que faria a rotação do conjunto da câmera através de um braço, para projetar a câmera para frente, mais próxima da região da garra e da manipulação do objeto. Além do motor CC, seriam necessários dois servomotores para realizar as rotações da câmera, na horizontal e na vertical, de modo a permitir um melhor enfoque da operação.

Uma vez aceita a idéia de incluir o servomotor extra, passou-se a fase de projeto do sistema em questão.

Primeiramente foi projetada a fixação do sistema na barra cilíndrica de alumínio, de uma maneira que permitisse uma adequada alocação do motor CC, além do movimento de rotação que ele transmitiria para a haste da câmera.

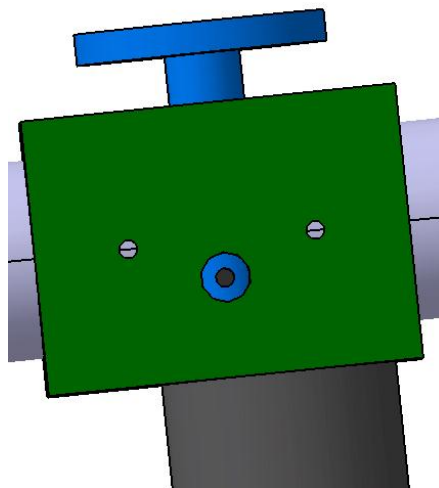
O conjunto do mecanismo projetado pode ser visto abaixo.



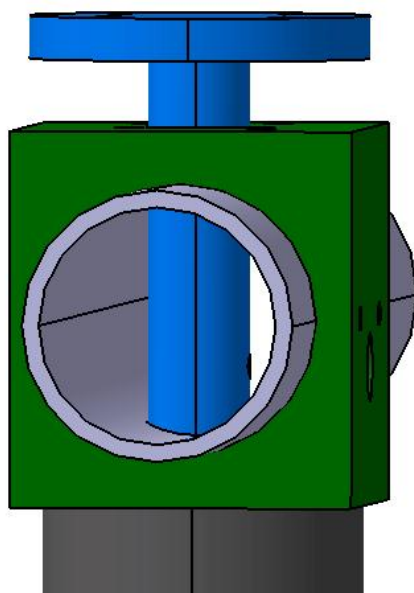
*Figura 47 – Fixação do mecanismo da câmera na barra*

A peça verde, vista acima, é usinada de modo permitir sua fixação tanto à barra quanto ao motor. O motor a ser utilizado é um motor de rotação baixa, de cerca de 3rpm, que permite uma rotação mais suave da haste da câmera.

A transmissão da rotação do motor ocorre através da peça azul do desenho. Ela atravessa o tubo e é fixada no motor, com o auxílio dos orifícios presentes tanto no tubo quanto na peça base.



*Figura 48 – Orifícios de auxílio*



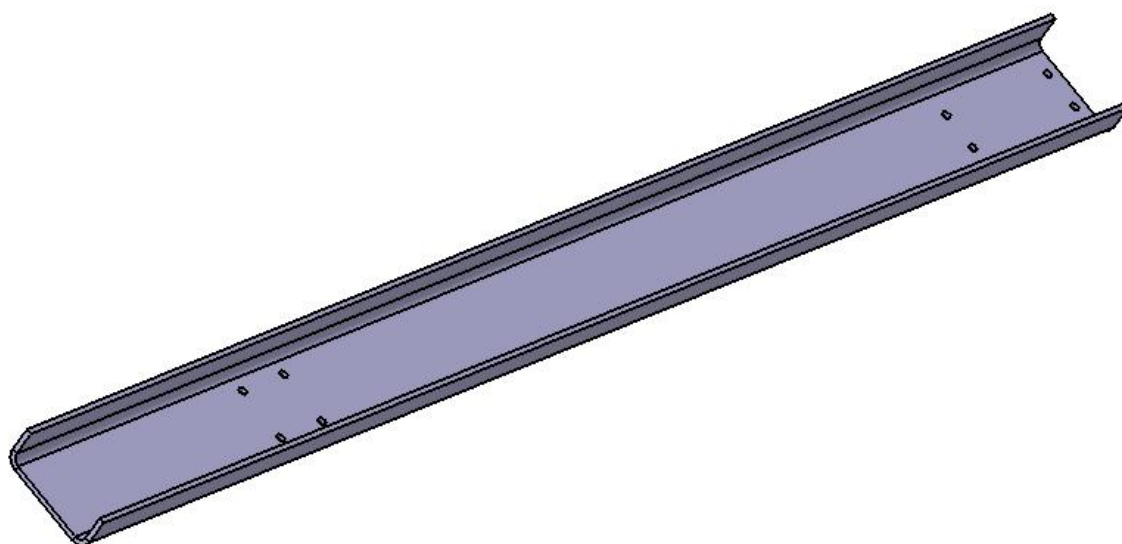
*Figura 49 – Transmissão da rotação*

Para que ocorra a fixação entre o eixo do motor e a Base da Haste (peça azul), a mesma possui um orifício que se encaixa perfeitamente no eixo. Após o encaixe, um parafuso é apertado e mantém a fixação por pressão.



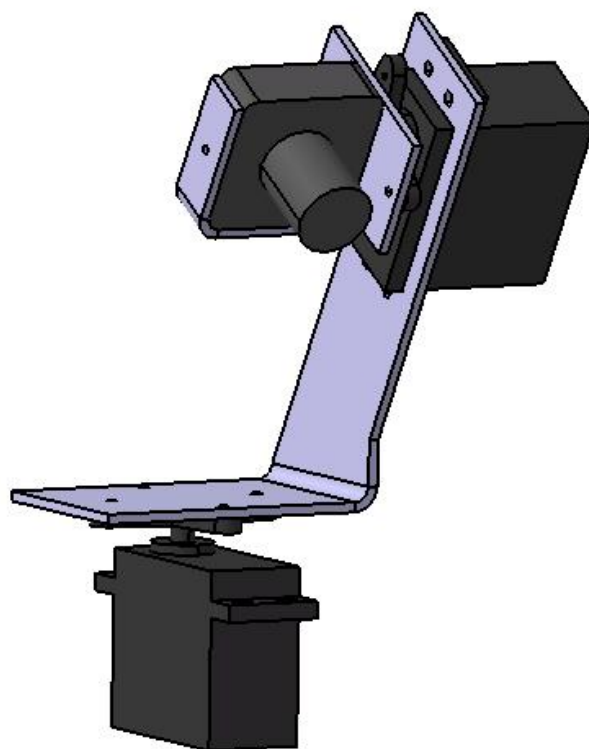
*Figura 50 – Orifício de encaixe da Base da Haste*

Logo acima da Base da Haste, como era de se esperar, é fixada a Haste, que, em sua outra extremidade, estará servindo como base para o conjunto do sistema de movimentação da câmera.



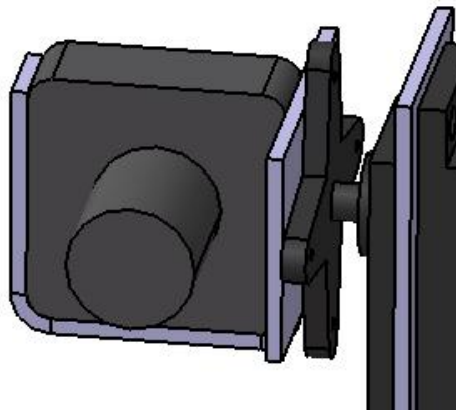
*Figura 51 – Haste*

O passo seguinte foi projetar o mecanismo de movimentação da câmera. O sistema projetado é simples e pode ser visto a seguir.



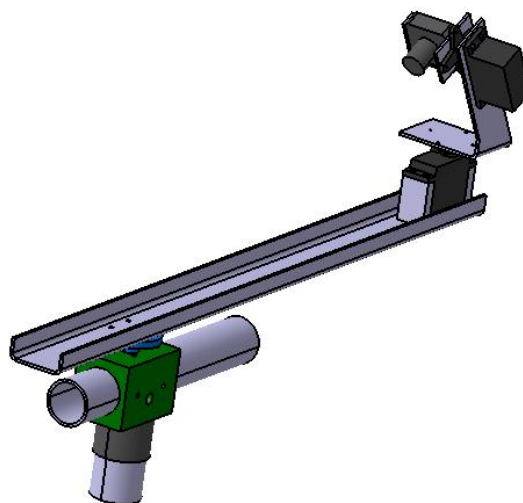
*Figura 52 – Mecanismo de movimentação da camera*

No desenho pode-se ver o posicionamento dos servomotores a fim de realizar as duas rotações. Para este sistema foram desenvolvidas apenas duas peças, ambas a serem usinadas em alumínio. A maior serve para fixação no servomotor inferior e para servir de base para o servomotor superior. A outra peça serve como suporte para a câmera, e transmite a rotação imposta pelo servomotor superior.



*Figura 53 – Suporte da câmera*

Associando os dois sistemas e fixando o servomotor inferior na haste, podemos ter uma idéia do sistema da câmera completo.



*Figura 54 – Mecanismo da Câmera*

Pelo desenho fica fácil perceber como se dará a movimentação da câmera sobre a barra. Através desse sistema o operador poderá posicionar a câmera de acordo com sua vontade, buscando o ângulo mais adequado para visualizar a operação.

O tamanho total da haste pode ser variado, uma vez que a haste é de muito fácil fabricação, mas o dimensionamento atual é de 400 mm, de modo a projetar a câmera para frente uma distância suficiente para ficar próxima à garra e ao objeto manipulado.



## 10.5 – MONITOR

Para a visualização da imagem gerada pela câmera, utilizaremos um monitor portátil de 12V. Esse monitor deve possuir imagem colorida, boa resolução não havendo necessidade de sistema de som embutido.

Analisando as opções disponíveis no mercado atualmente, o modelo escolhido foi o BM7006-HS da marca Booster. Este é um monitor de 7", tela de LCD, 3 entradas de vídeo, alimentação de 12V, não possuindo sistema de captação de ondas de televisão.

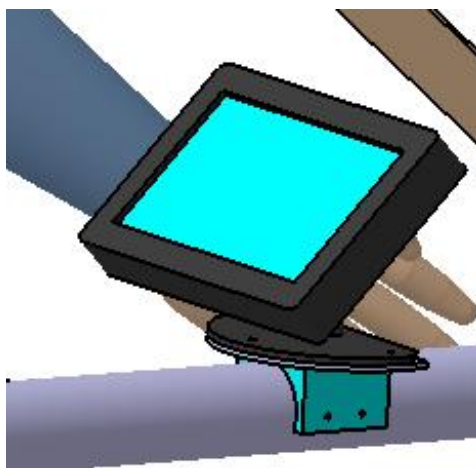


*Figura 55 – Modelo de monitor escolhido*

O monitor é acompanhado por um suporte que permite posicioná-lo em diferentes configurações. Dessa maneira, a forma mais eficaz de alocar o monitor na nossa barra é fixando o suporte na barra e, em seguida, prender o monitor ao seu suporte. A fixação do monitor na barra é feita de maneira relativamente simples.

Primeiramente, desenhou-se uma pequena chapa de alumínio a ser fixada no suporte que acompanha o monitor. Esta chapa, por sua vez, é fixada numa peça de suporte que irá ser fixada à barra. Dessa maneira, o monitor pode ser facilmente alocado em nosso equipamento e ainda poderá utilizar as funcionalidades de posicionamento de seu suporte original.

A configuração final deste desenvolvimento pode ser observada abaixo.



*Figura 56 – Fixação do monitor na barra*

## 10.6 – CONTROLE

Para garantir o funcionamento adequado do sistema da garra, necessitaríamos que houvesse uma fonte de energia capaz de fornecer energia suficiente para alimentar os 5 motores, a câmera, o sistema de monitoramento e o sistema de controle, por um tempo considerável.

Levando em conta que a garra deveria ser portátil, sem garantia de fontes de energia AC nas proximidades, partimos do princípio de que utilizaríamos uma fonte de energia de 12Vcc, que está de acordo com as necessidades de tensão dos aparelhos utilizados.

É importante salientar, também, que optamos pela fixação da bateria na própria garra, a fim de utilizá-la também como contrapeso para facilitar a manipulação dos objetos pelo operador.

A partir disso, utilizamos os dados de consumo dos equipamentos de cada sistema para dimensionar a bateria que seria utilizada, como segue a tabela.

Item	Qde	Consumo (W)	Total
Motores	5	2	10
Câmera	1	3.5	3.5
Monitor	1	11	11
		<b>Total</b>	<b>24.5</b>

*Tabela 3 – Dimensionamento da bateria*

Utilizando uma bateria de 12V, teríamos um consumo médio de 2,042 A.

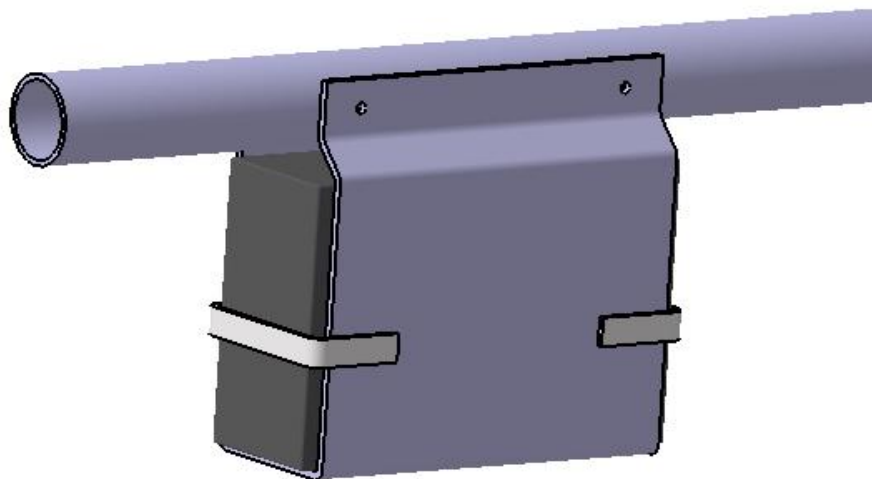
Escolhendo uma bateria de 7Ah, obteríamos assim uma autonomia total de aproximadamente 3 horas e 25 minutos, que é mais do que suficiente para a utilização a que está submetida. Em geral, a operação não dura mais do que 15 minutos.

Por fim, analisamos as baterias disponíveis no mercado no que diz respeito às características de peso e dimensão. Para esse tipo de bateria (12V, 7Ah), encontramos o modelo UP1270 Slim, da marca Unipower, que possui as dimensões de 151mm de comprimento, 52mm de largura e 99mm de altura, e um peso igual a 2,180 kg. Esse peso e dimensão também está de acordo com o estipulado pelo projeto.



*Figura 57 – Bateria adotada*

A fixação da bateria será realizada diretamente no braço de compensação, para que possa ser utilizada como contrapeso.



*Figura 58 – Fixação da bateria no braço*

Para realizar as operações do equipamento, utilizaremos três motores de corrente contínua e dois servomotores. O primeiro motor de corrente contínua será utilizado no acionamento das pinças. Este acionamento deverá

possuir um controle da força aplicada sobre o objeto manipulado. Desse modo, será utilizado um controle PWM no seu acionamento. Para os outros dois motores CC, que estarão regulando o movimento de rotação da garra e o posicionamento da câmera, não será necessário um controle de força nem velocidade. Neste caso utilizaremos apenas chaves ON/OFF do tipo campainha.

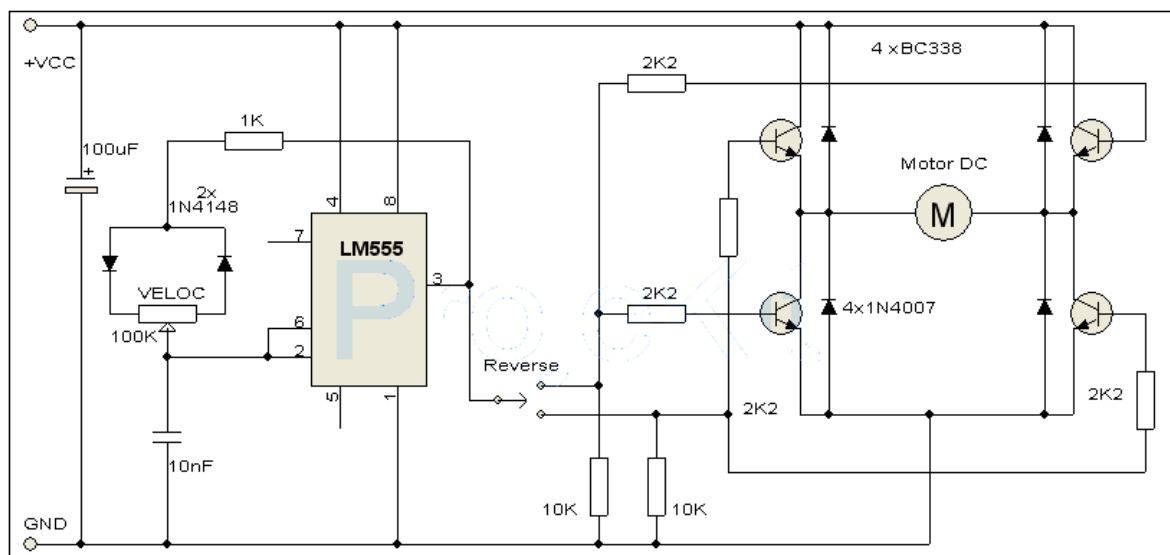


Figura 59 – Circuito PWM para acionamento de motor CC com 555 [13]

O controle PWM ilustrado acima fará o acionamento do motor CC que atua no fuso da garra. Ele é composto de um circuito básico baseado no Timer 555 que modula a largura do pulso de modo a variar a tensão média no motor. Com essa variação pode-se definir a qual velocidade o motor girará e, dessa forma, a velocidade de abertura e fechamento das pinças. Isso permite um controle da intensidade da força exercida pela garra. A inversão do sentido de giro do motor é feita através de uma chave que atua sobre uma ponte H.

Com esse circuito em mãos foi construída a placa eletrônica correspondente, como pode ser visualizado.

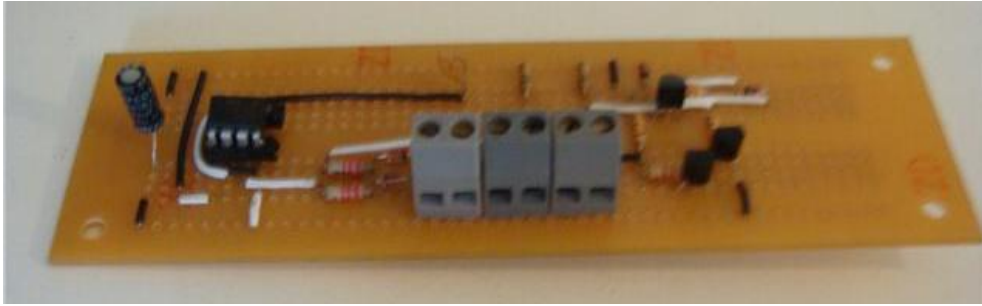


Figura 60 – Placa de controle do motor CC

Os servomotores, por sua vez, serão utilizados para controlar o posicionamento da câmera. Esta ação não requer grandes esforços e nem grandes amplitudes de movimento. O acionamento nesse caso também se dará através de um circuito de PWM baseado no Timer 555.

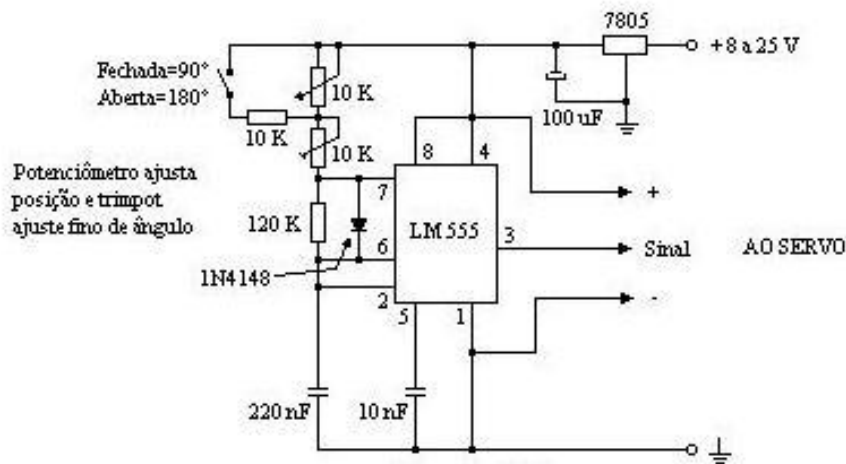
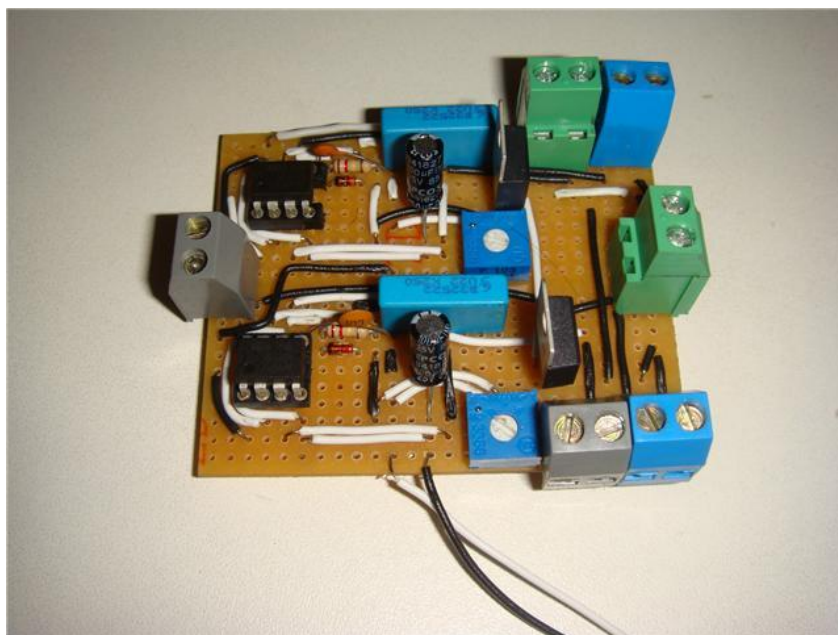


Figura 61 – Circuito de PWM para acionamento de servomotores [12]

Com o circuito acima é possível regular muito facilmente o posicionamento do eixo do servomotor, fazendo com que ele varie de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ . Essa amplitude é suficiente para a funcionalidade que os atuadores terão. Além disso, o trimpot existente no circuito permite a calibração da posição inicial.

Como temos dois servomotores a serem controlados, o circuito acima foi compactado duas vezes numa mesma placa, que realiza o controle de ambos os atuadores.



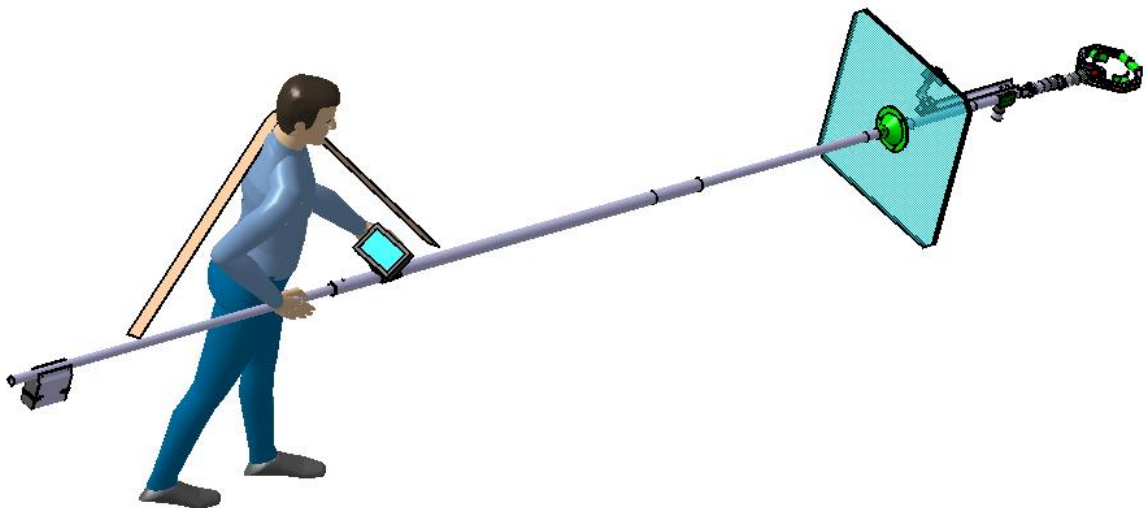
*Figura 62 – Placa de controle dos servomotores*

## 11 – CONFIGURAÇÃO FINAL DO EQUIPAMENTO

Todos os desenhos e projetos dos subsistemas envolvidos no projeto de nossa garra robótica foram baseados na configuração de conjunto apresentada no princípio do desenvolvimento do projeto.

Com a evolução do projeto dos diferentes subsistemas foi possível realizar uma atualização da configuração geral do conjunto do equipamento. O esquema obtido é uma representação virtual final do equipamento muito próxima do equipamento que será construído.

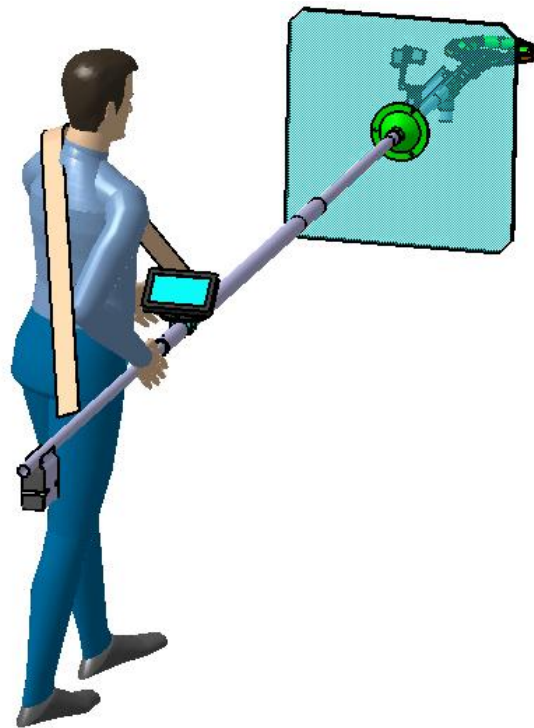
Para uma adequada visualização e senso das dimensões envolvidas, foi incluída no desenho final uma representação do operador, em igual escala.



*Figura 63 – Configuração final do equipamento*

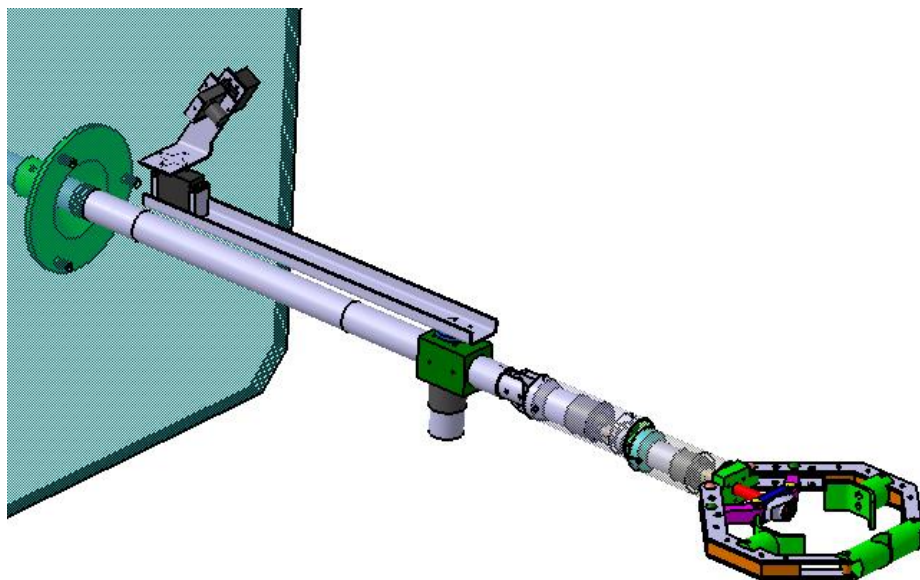
Uma idéia da imagem que o operador terá do seu ponto de vista também pode ser ilustrada.



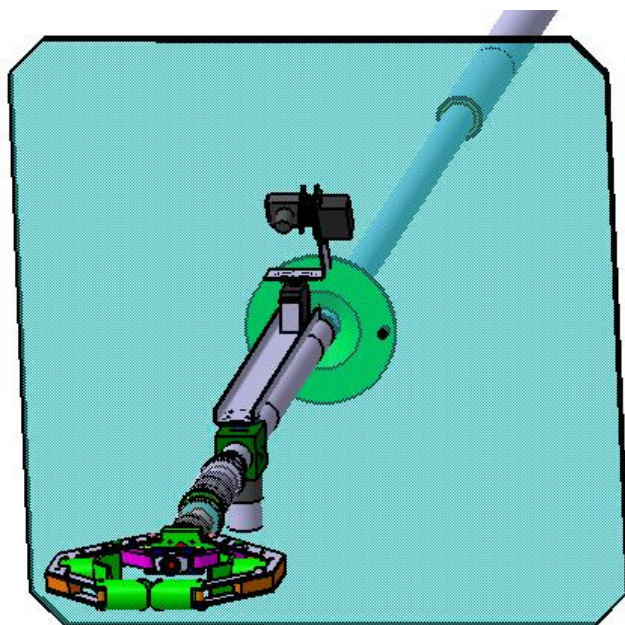


*Figura 64 – Perspectiva semelhante à do operador*

Os mecanismos da garra, pulso, defletor e câmera estão posicionados bem proximamente como pode ser notado.

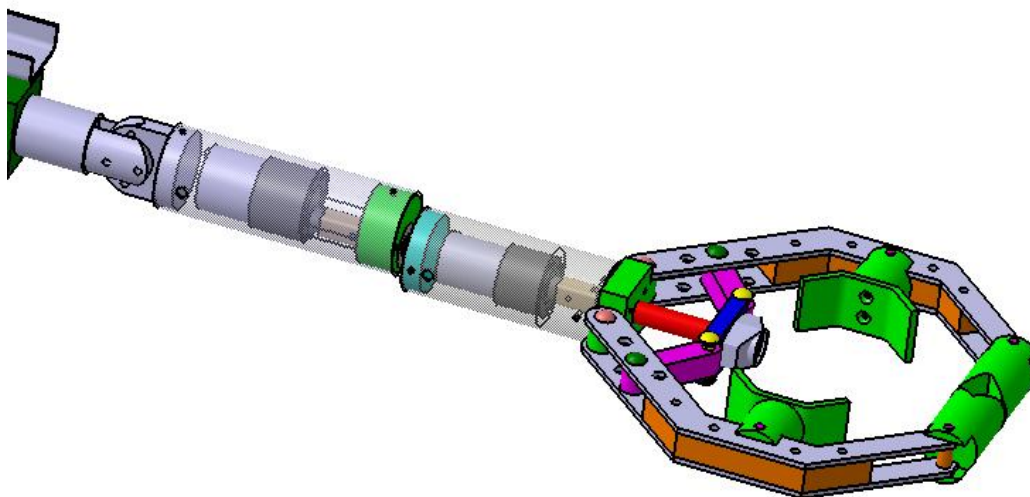


*Figura 65 – Posicionamento dos mecanismos da garra, pulso, defletor e câmera*



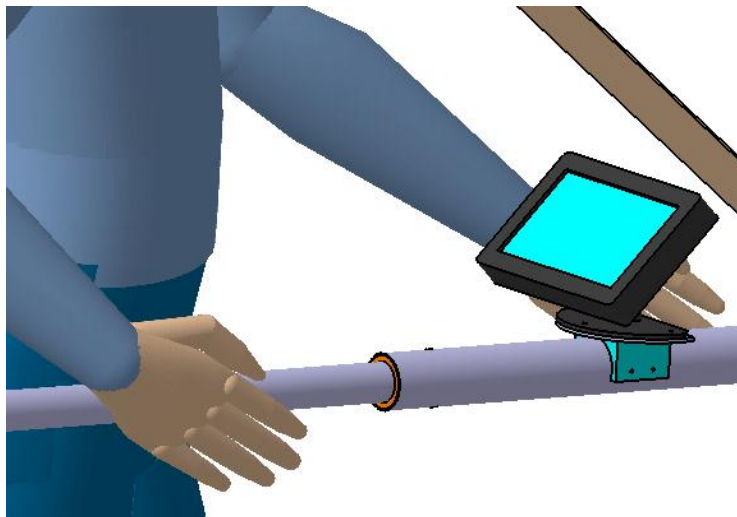
*Figura 66 – Vista da parte frontal do equipamento*

O pulso e a garra estão interligados como pode ser visto na representação que se segue. Além disso, pode-se notar o posicionamento da articulação que permite variar o ângulo entre a garra e a barra.

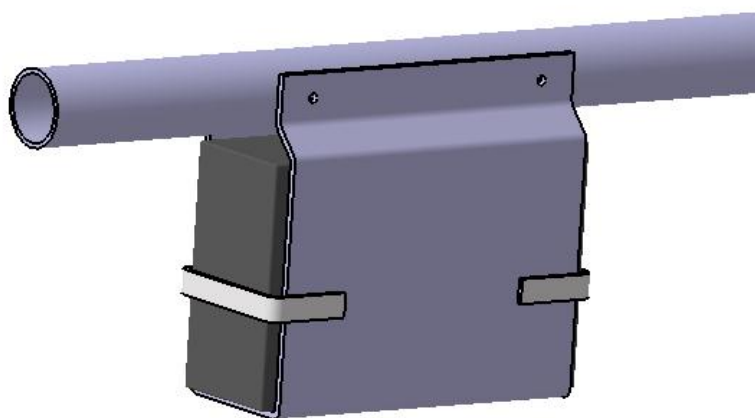


*Figura 67 – Conexões entre os diferentes mecanismos*

Também podemos verificar o posicionamento do monitor e da bateria, sendo o primeiro conjunto próximo ao operador e o segundo conjunto na outra extremidade da barra.



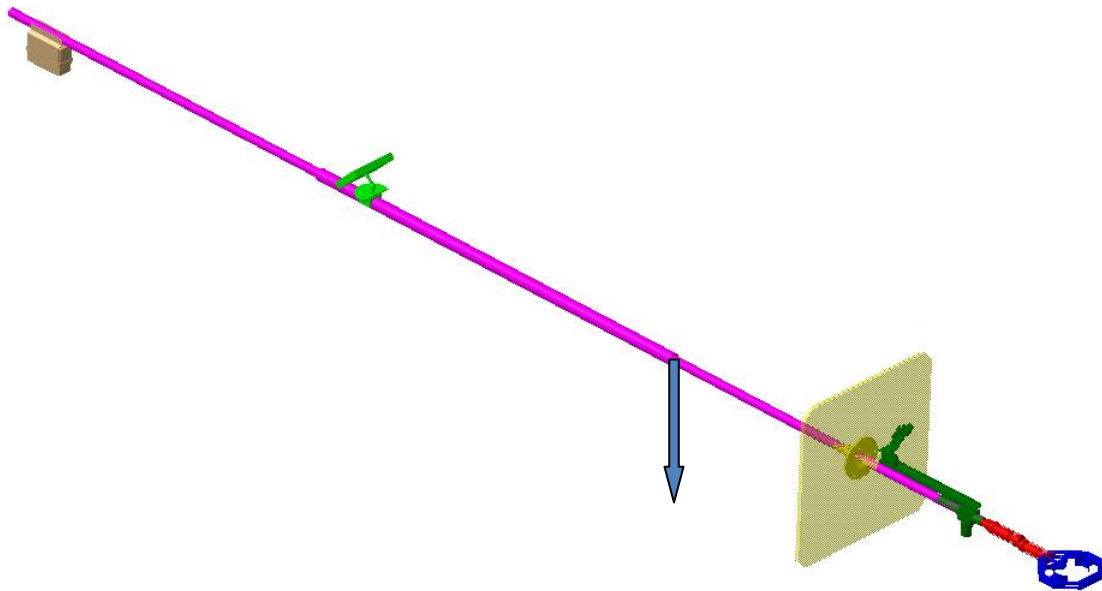
*Figura 68 – Monitor ao alcance do operador*



*Figura 69 – Bateria fixa na outra extremidade da barra*

Analisando a configuração final do protótipo, percebeu-se que o desenvolvimento dos diversos sistemas acabou por modificar o centro de gravidade do equipamento para uma posição afastada do operador.

Fazendo uma estimativa do peso de cada sistema, chegamos a uma aproximação do eventual local aonde estaria localizado nosso centro de gravidade, conforme pode ser visto na figura abaixo.



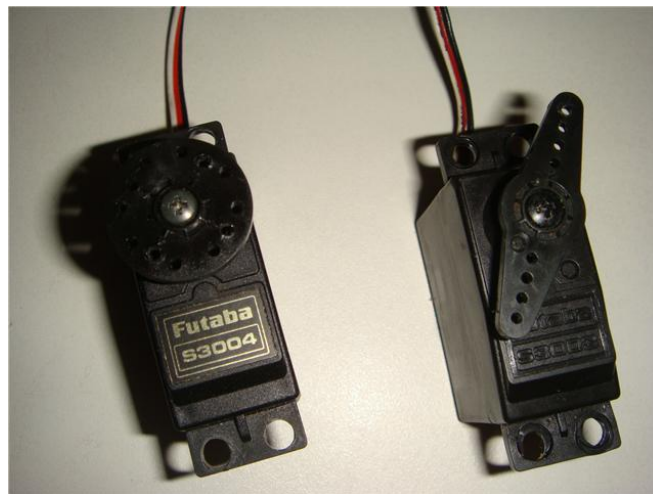
*Figura 70 – Centro de gravidade do protótipo*

Esse problema, no entanto, poderia ser facilmente resolvido através da introdução de um contrapeso, já existente, posicionado próximo à bateria. O peso do contrapeso existente é de 10 kg, e é o contrapeso usado pelo GATE atualmente.

## 12 – AQUISIÇÃO DE PARTES E PEÇAS

Para o projeto e montagem do equipamento foi necessário adquirir as peças e partes exigidas.

Alguns mecanismos são dependentes das particularidades das peças existentes no mercado. Assim, obtiveram-se, primeiramente, os motores e servomotores.



*Figura 71 – Servomotores*



*Figura 72 – Motores CC*

Dois dos motores CC têm rotação de 3 RPM, enquanto o outro motor tem rotação de 45 RPM. Os de menor rotação serão empregados no mecanismo da câmera e na rotação da garra em torno da horizontal, com ativação ON/OFF e reversão. O motor de maior rotação será o motor que atuará no fuso da garra, e será controlado por um circuito de PWM.

Os servomotores obtidos são facilmente encontrados no mercado. São geralmente utilizados na fabricação de aeromodelos e são relativamente simples de serem utilizados.

Em seguida, para a fabricação do mecanismo da garra, foi adquirido um fuso oriundo de um macaco sanfonado de automóveis. Essa escolha foi feita devido ao fato de que, em geral, este tipo de fuso tem a rosca no formato trapezoidal, diferentemente da maioria dos fusos encontrados no mercado. Dessa maneira, a eficiência do projeto aumenta significativamente, pois este formato tem a característica de perder menos energia em esforços de atrito.



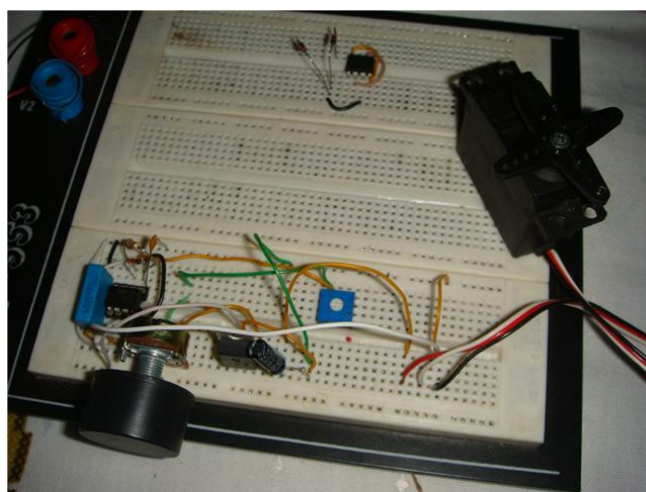
*Figura 73 – Fuso*

Para a parte eletrônica foram adquiridos a bateria e alguns componentes eletrônicos, para os dispositivos de controle dos motores.





*Figura 74 – Bateria*



*Figura 75 – Componentes eletrônicos*

Finalmente, foi obtida também a micro-câmera que será utilizada no monitoramento e o monitor de 7".



*Figura 76 – Micro-câmera*



*Figura 77 – Monitor*

A maioria das peças foi adquirida em lojas especializadas localizadas no centro da cidade de São Paulo. Paralelamente foi produzida uma planilha com os dados das compras, incluindo data, valores e endereços dos fornecedores.



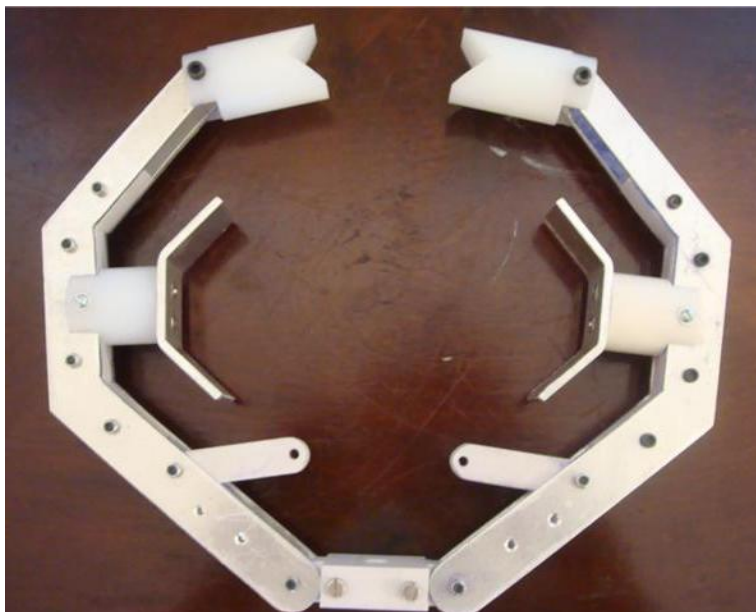
### 13 – FABRICAÇÃO

Para a usinagem das peças componentes do sistema, é necessário fazer os desenhos de fabricação das mesmas e de conjunto. Para tanto foi feito um modelo no software de CAD onde as peças estão dimensionadas.

Assim, conforme as dimensões finais das peças foram sendo definidas, as funcionalidades do software tornaram possível uma simples obtenção dos desenhos de fabricação das mesmas. Foram, então, inseridas todas as suas cotas e tolerâncias relevantes.

Em anexo segue os desenhos de fabricação de todas as partes componentes, bem como os desenhos de conjunto dos principais mecanismos do equipamento.

Conforme as peças e componentes dos mecanismos terminaram a fase de usinagem foi possível iniciar a fase de montagem. Abaixo podemos visualizar o mecanismo da garra já montado, após a sua usinagem.



*Figura 78 – Conjunto da garra montado após a fabricação*

## 14 – CONCLUSÃO

Este trabalho foi uma grande oportunidade de verificar como funcionam todas as fases de um projeto de engenharia. Durante o decorrer do projeto tivemos contato com todos os tipos de circunstâncias típicas do trabalho. Nosso desenvolvimento passou por fases de estudo, como o levantamento do estado-da-arte dos diferentes mecanismos a serem projetados, fases de projeto e re-projeto, e, como não poderia ser diferente, fases de fabricação, montagem e testes.

Durante a primeira etapa de projeto, a idéia inicial do equipamento sofreu algumas mudanças de modo a melhor se adaptar aos objetivos.

A maior parte dessas mudanças foi adotada a partir do momento em que entramos em contato com o comando do GATE. Lá pudemos entender realmente qual a tarefa que estávamos nos oferecendo a realizar, e quais as mudanças que mais benefícios trariam a eles. Entretanto, por diversos motivos relativos a agenda, a visita tardou a acontecer, fazendo com que as mudanças no projeto demorassem um pouco a mais para serem implementadas.

Até este momento, o projeto estava sendo desenvolvido baseado apenas nas hipóteses feitas a princípio. Essas hipóteses, em contrapartida, ficaram bem próximas do que pudemos verificar na realidade, durante a visita ao GATE.

Tendo em mente as necessidades reais do projeto, pôde-se fazer um bom trabalho quanto ao dimensionamento das diferentes partes que compõem o equipamento e quanto à escolha dos melhores mecanismos para serem utilizados, tanto na garra, quanto no sistema de monitoramento.

Dessa maneira o projeto foi evoluindo naturalmente, e os mecanismos foram sendo usinados e montados. O resultado final ficou, sem dúvida, dentro das expectativas iniciais.

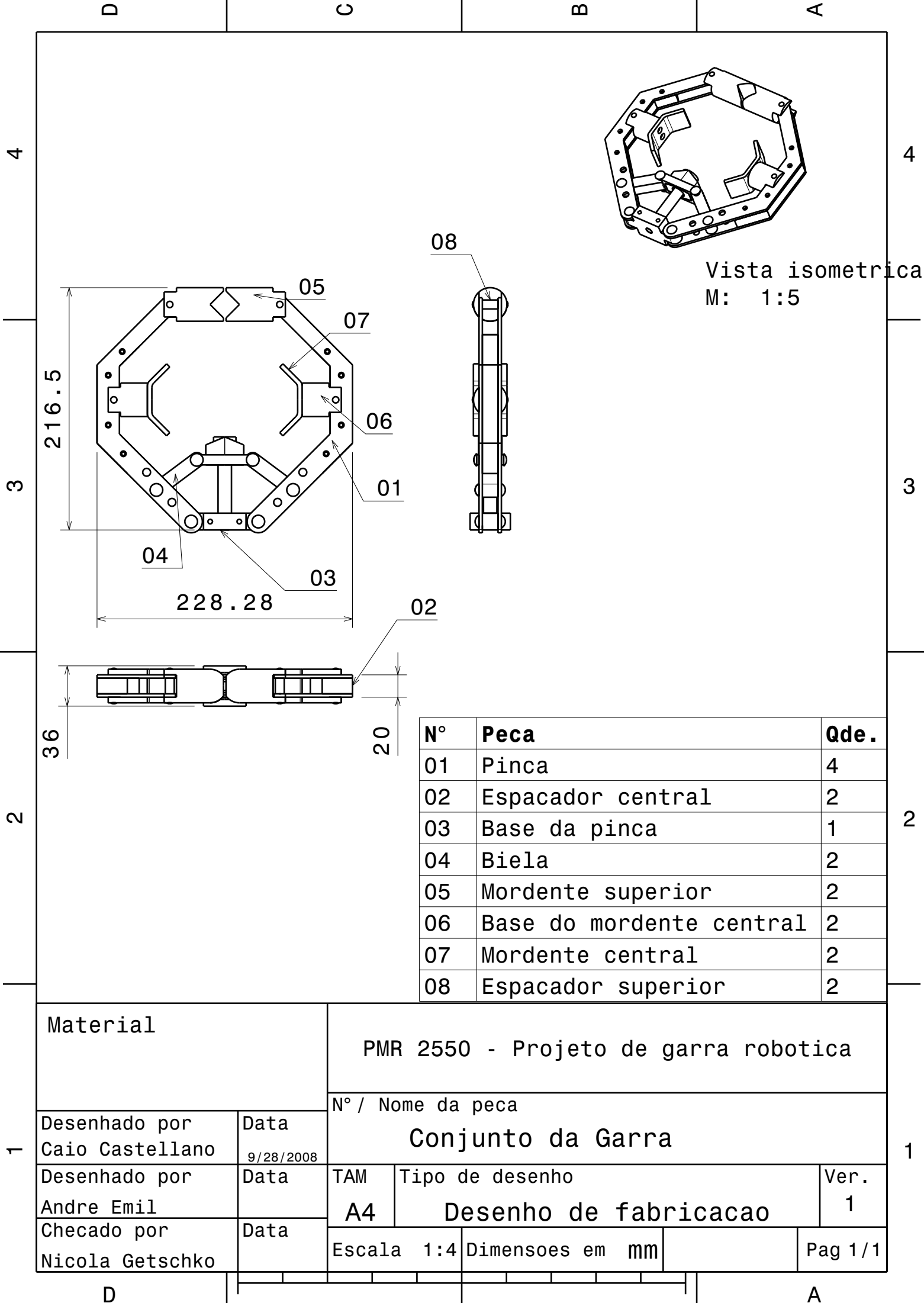
É importante ressaltar que todas as fases do projeto foram adequadamente documentadas, de modo a permitir eventuais mudanças no projeto e, também, permitir consultas sobre as fases anteriores.

O resultado obtido e as experiências vividas durante este projeto certamente promoveram um profundo desenvolvimento das habilidades de projeto necessárias para a formação de um Engenheiro. Um projeto destes tem uma fundamental importância para o futuro pessoal e profissional de um graduando da Escola Politécnica.

## 15 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LANG, E. B. Projeto do acionamento de um robô holonômico, 2005
- [2] MARINHO, G. A., CELESTINO, M. Implementação e construção de garra robótica para tarefas de montagem, 1998
- [3] DORST, L. <http://staff.science.uva.nl/~leo/>, acessado em 20/04/2008
- [4] MAMPETTA, A. K. <http://www.cs.cmu.edu/~amampett/index.htm>, acessado em 21/04/2008
- [5] GATEWAYCOALITION, [http://www.gatewaycoalition.org/files/L&s/L&S\\_ME\\_allfiles/L&S\\_ME\\_webfiles/mup07.GRIPPER.htm](http://www.gatewaycoalition.org/files/L&s/L&S_ME_allfiles/L&S_ME_webfiles/mup07.GRIPPER.htm), acessado em 22/04/2008
- [6] THINKBOTICS, <http://www.thinkbotics.com/products.htm>, acessado em 22/04/2008
- [7] BRAGA, A. Teoria de Vigas, 2006
- [8] BUFFONI, S. S. O. Tensões de Flexão nas Vigas, 2006
- [9] INCOMETAL, <http://www.incometal.com.br>, acessado em 15/05/2008
- [10] VISLINKAGE, <http://www.cden-rcci.mcmaster.ca/VisLinkage/>, acessado em 2/06/2008
- [11] KMODDL, <http://kmoddl.library.cornell.edu/resources.php>, acessado em 4/06/2008
- [12] GHIRARDELLO, A. Apostila sobre modulação PWM, 2008
- [13] PROJEKIT, [http://projekit.com/diversos/controlador\\_motor\\_dc.html](http://projekit.com/diversos/controlador_motor_dc.html), acessado em 20/09/2008

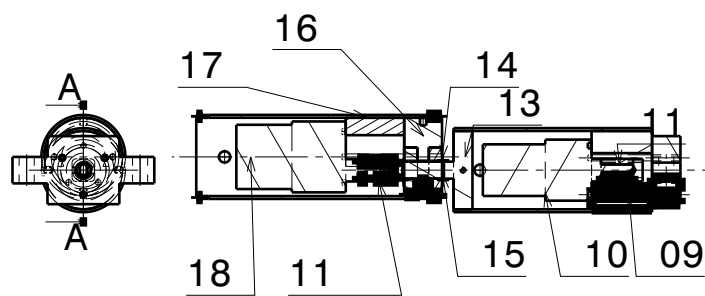
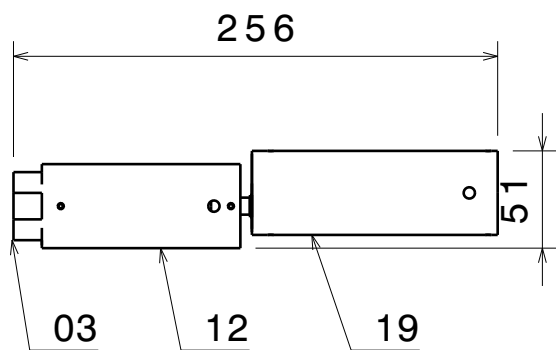
## **APÊNDICE – DESENHOS DE CONJUNTO E FABRICAÇÃO**



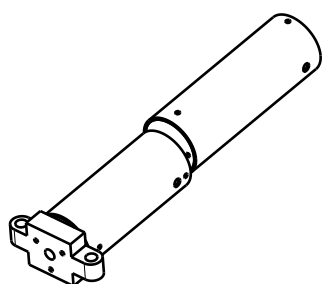
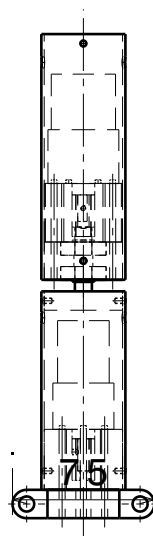
Vista isometrica  
M: 1:5

N°	Peca	Qde.
01	Pinca	4
02	Espacador central	2
03	Base da pinca	1
04	Biela	2
05	Mordente superior	2
06	Base do mordente central	2
07	Mordente central	2
08	Espacador superior	2

Material		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Caio Castellano		N° / Nome da peca			
Data 9/28/2008		Conjunto da Garra			
Desenhado por Andre Emil		TAM A4	Tipo de desenho Desenho de fabricacao		Ver. 1
Checado por Nicola Getschko		Data		Escala 1:4	Dimensoes em mm
				Pag 1/1	



Corte A-A



Isometrica  
M: 1:5

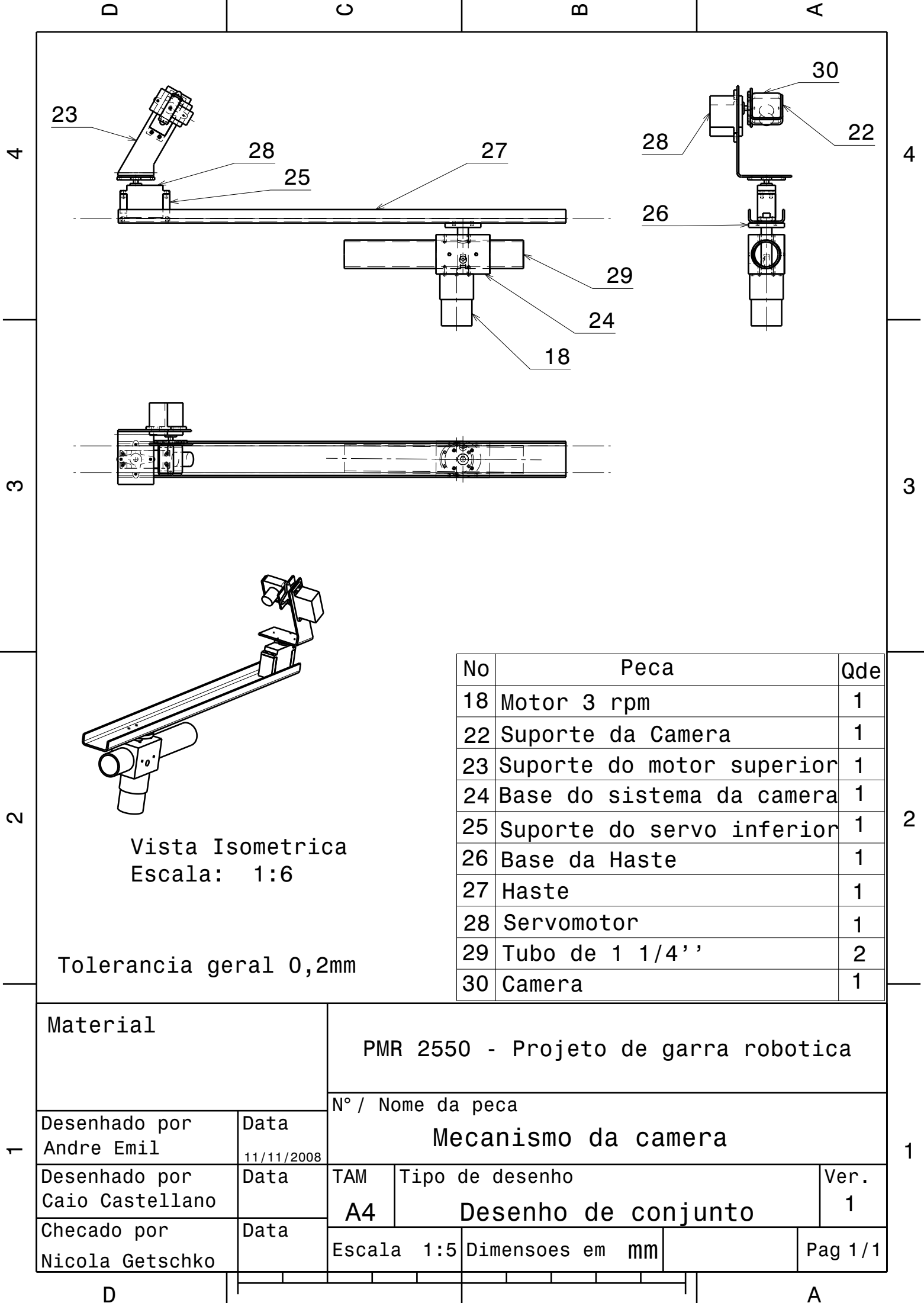
Tolerancia geral 0,2mm

Nº	Peca	Qde.
03	Base da pinca	1
09	Suporte do motor	1
10	Motor 44rpm	1
11	Acoplamento do motor	2
12	1o. cilindro externo	1
13	Eixo do excentrico	1
14	Anel elastico 9mm	2
15	Rolamento 609	2
16	Excentrico	1
17	Suporte em C	1
18	Motor 3rpm	1
19	2o. cilindro externo	2

Material		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Caio Castellano		Data 11/11/2008		N° / Nome da peca Conjunto do pulso	
Desenhado por Andre Emil		Data		TAM A4	Ver. 1
Checado por Nicola Getschko		Data		Escala 1:4	Dimensoes em mm
					Pag 1/1

D

**A**



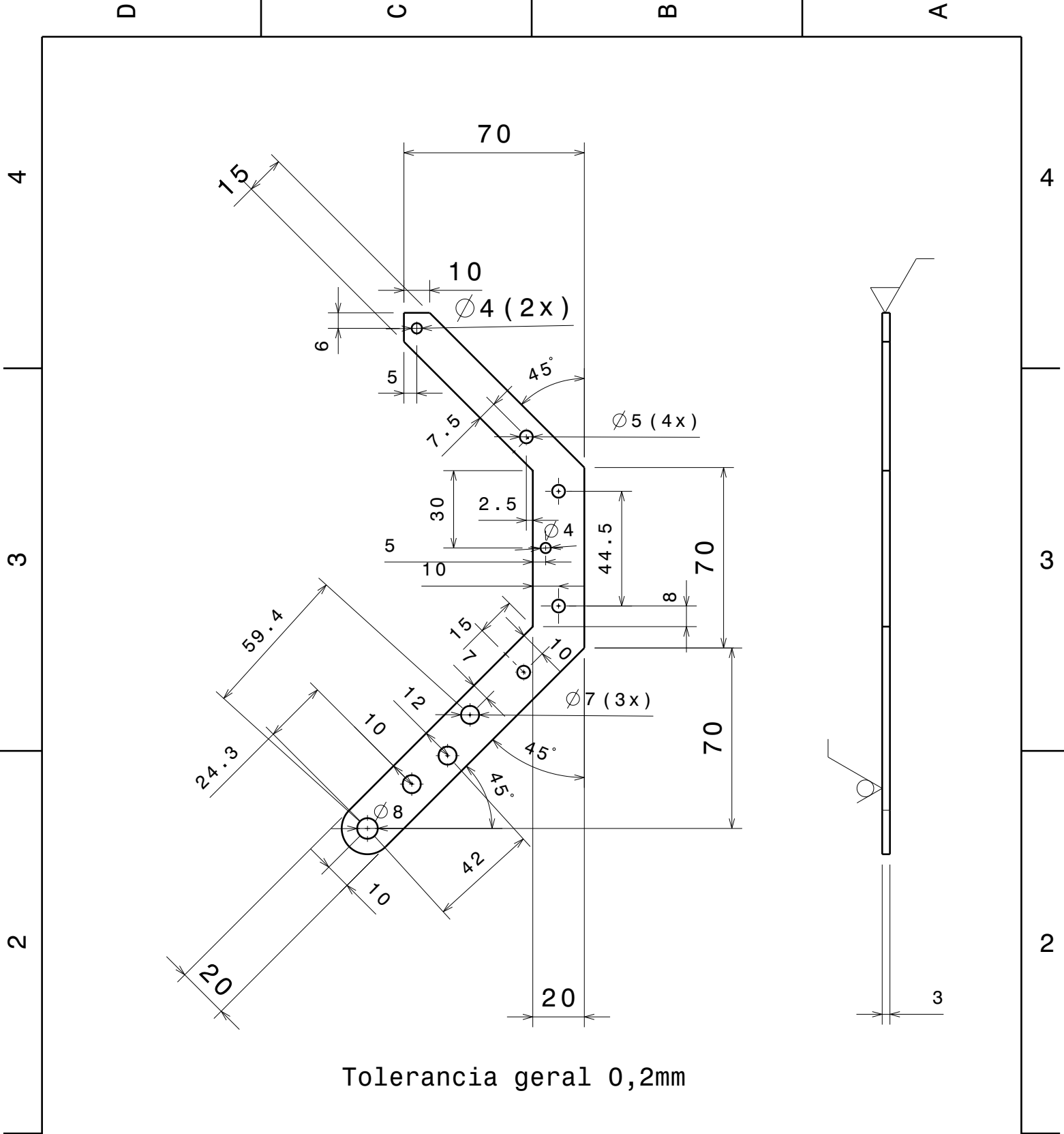
Vista Isometrica  
Escala: 1:6

Tolerancia geral 0,2mm

No	Peca	Qde
18	Motor 3 rpm	1
22	Suporte da Camera	1
23	Suporte do motor superior	1
24	Base do sistema da camera	1
25	Suporte do servo inferior	1
26	Base da Haste	1
27	Haste	1
28	Servomotor	1
29	Tubo de 1 1/4''	2
30	Camera	1

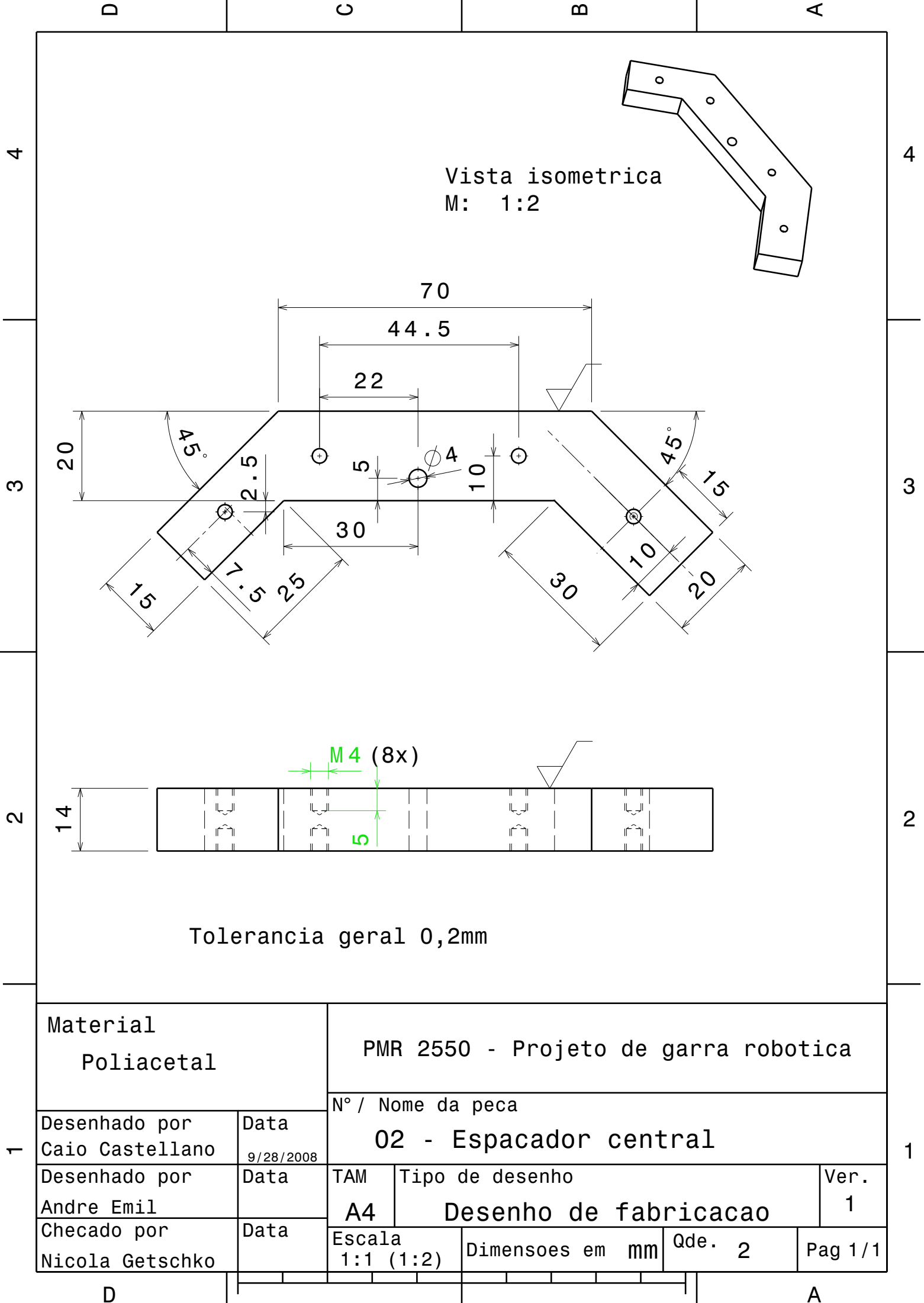
Material		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Andre Emil		N° / Nome da peca			
Data 11/11/2008		Mecanismo da camera			
Desenhado por Caio Castellano		TAM A4	Tipo de desenho Desenho de conjunto		Ver. 1
Checado por Nicola Getschko		Data		Escala 1:5	Dimensoes em mm
				Pag 1/1	

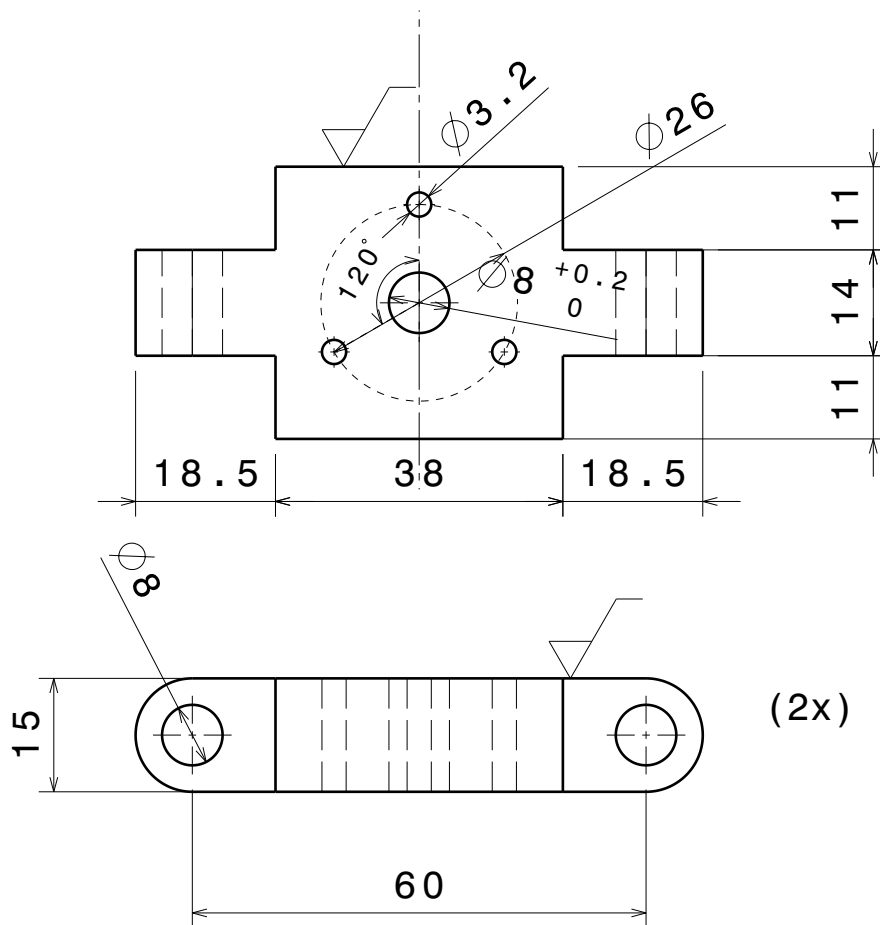




Tolerancia geral 0,2mm

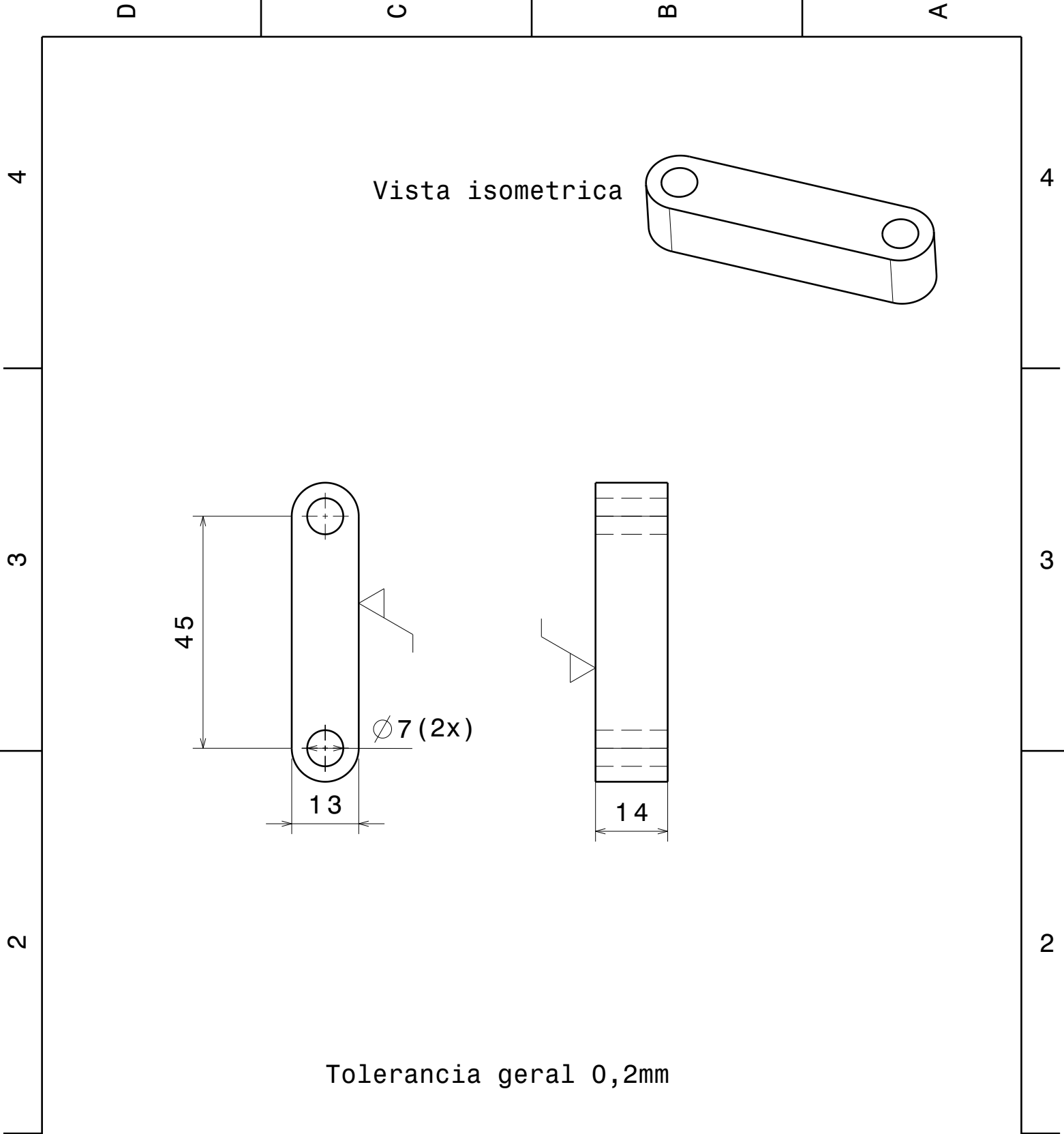
Material		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Aluminio		Nº / Nome da peça			
Desenhado por	Data	01 - Pinça			
Caio Castellano	9/28/2008				
Desenhado por	Data	TAM	Tipo de desenho		Ver.
Andre Emil		A4	Desenho de fabricacao		1
Checado por	Data	Escala	Dimensoes em mm	Qde.	Pag 1/1
Nicola Getschko		1:2		4	



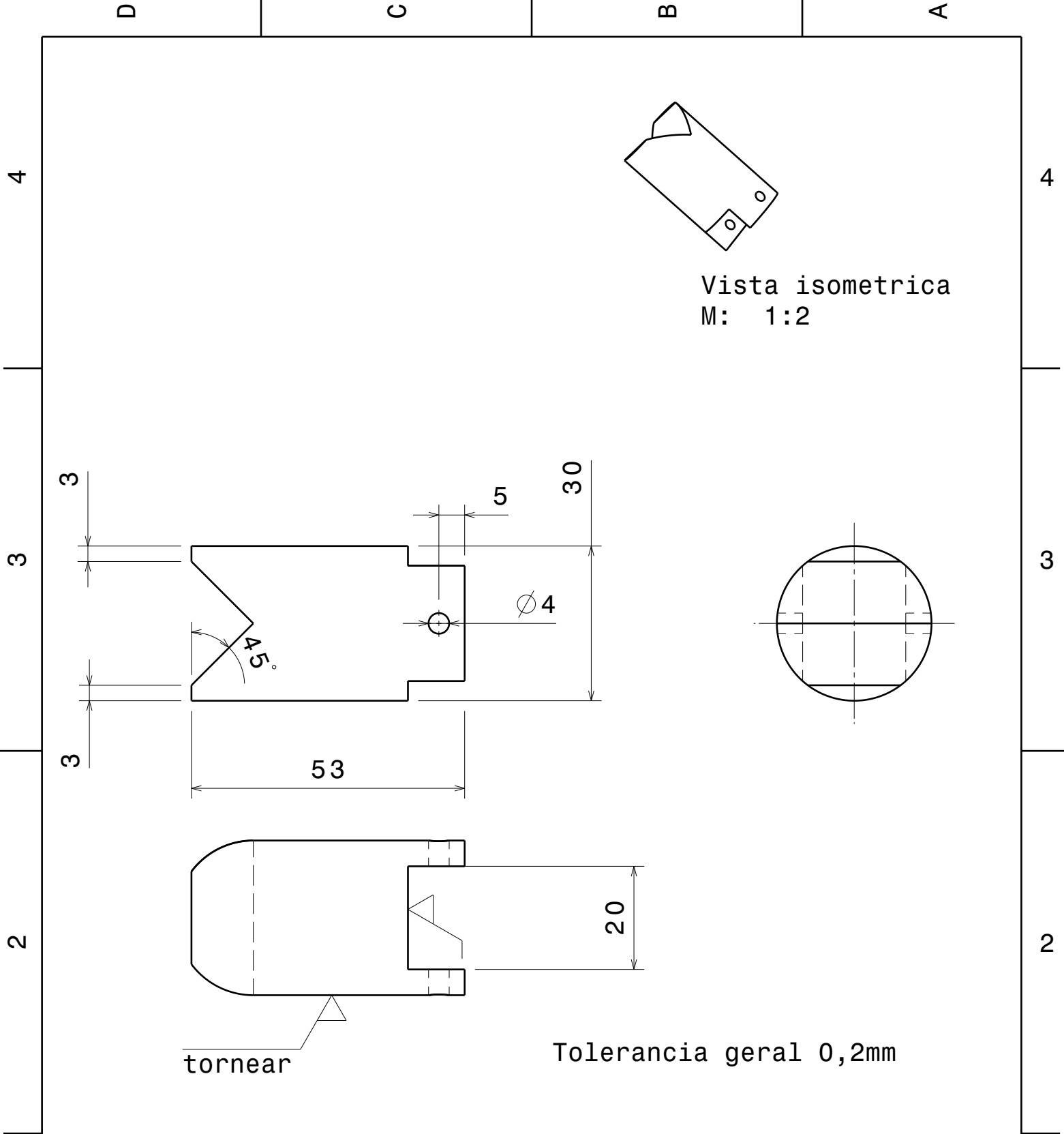


Tolerancia geral 0,2mm

Material Poliacetal		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
		N° / Nome da peca <b>03 - Base da pinca</b>			
Desenhado por Caio Castellano	Data 10/11/2008	TAM <b>A4</b>	Tipo de desenho <b>Desenho de fabricacao</b>		Ver. <b>2</b>
Desenhado por Andre Emil	Data	Escala 1:1 (1:2)		Dimensoes em mm	Qde. 1
Checado por Nicola Getschko	Data				Pag 1/1



Material Poliacetal		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Caio Castellano		N° / Nome da peca 04 - Biela			
Desenhado por Andre Emil		TAM A4	Tipo de desenho Desenho de fabricacao		
Checado por Nicola Getschko		Escala 1:1	Dimensoes em mm	Qde. 2	Ver. 1
Data 9/28/2008		Pag 1 / 1			



Material Poliacetal		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Caio Castellano		N° / Nome da peça 05 - Mordente superior			
Desenhado por Andre Emil		Data 9/28/2008		TAM A4	
Checado por Nicola Getschko		Data		Tipo de desenho Desenho de fabricacao	
				Ver. 1	
		Escala 1:1		Dimensoes em mm	
				Qde. 2	
				Pag 1/1	

A

Technical drawing of a circular part. The outer diameter is indicated as  $\varnothing 30$ . The inner diameter of the central hole is indicated as 12. A notch is located at the top of the part, labeled "tornear". The drawing shows the part from a perspective view, with the central hole and the notch clearly visible.

Technical drawing of a mechanical part with the following dimensions:

- Overall width: 11
- Overall height: 20
- Distance from left edge to centerline: 35
- Distance from centerline to right edge: 5 (2x)
- Internal feature:  $\varnothing 4$
- Internal feature: M 4

Tolerancia geral 0,2mm

Material  
Poliacetal

PMR 2550 - Projeto de garra robotica

[illegible]

Desenhado por  
Caio Castellano

Data
9/28/2008

## 06 - Base do mordente central

Desenhado por  
Andre Emil

9/28/2	
Data	

TAM	
A4	

Tipo de desenho
-----------------

## Desenho de fabricacao

Ver.  
1

Checado por  
 Nicola Getschko

Data
------

Escala  
1:1

Dimensoes em mm Qde. 2

Qde . 2

Pag 1 / 1

**A**

D

C

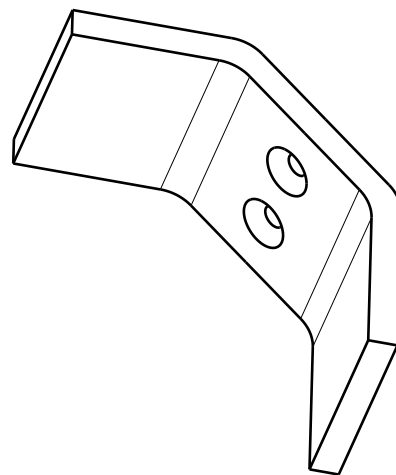
B

A

4

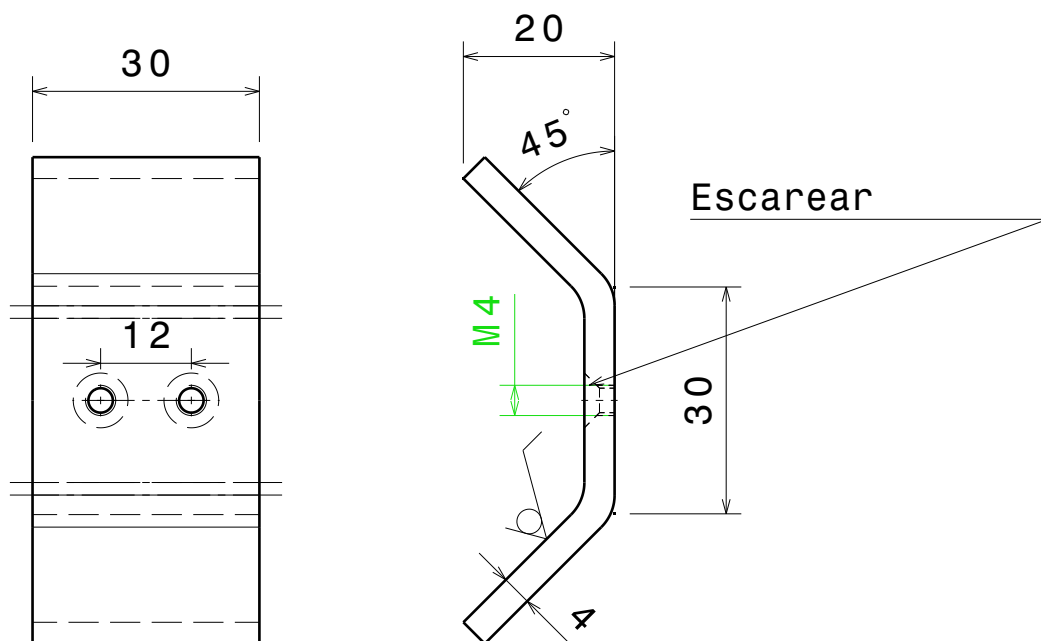
4

Vista isometrica



3

3



Raio de dobra R6

2

2

Tolerancia geral 0,2mm

Material  
Aluminio

PMR 2550 - Projeto de garra robotica

N° / Nome da peca

07 - Mordente central

Desenhado por  
Caio Castellano

Data  
9/28/2008

Desenhado por  
Andre Emil

Data

TAM  
A4

Tipo de desenho  
Desenho de fabricacao

Ver.  
1

Checado por  
Nicola Getschko

Data

Escala  
1:1

Dimensoes em mm

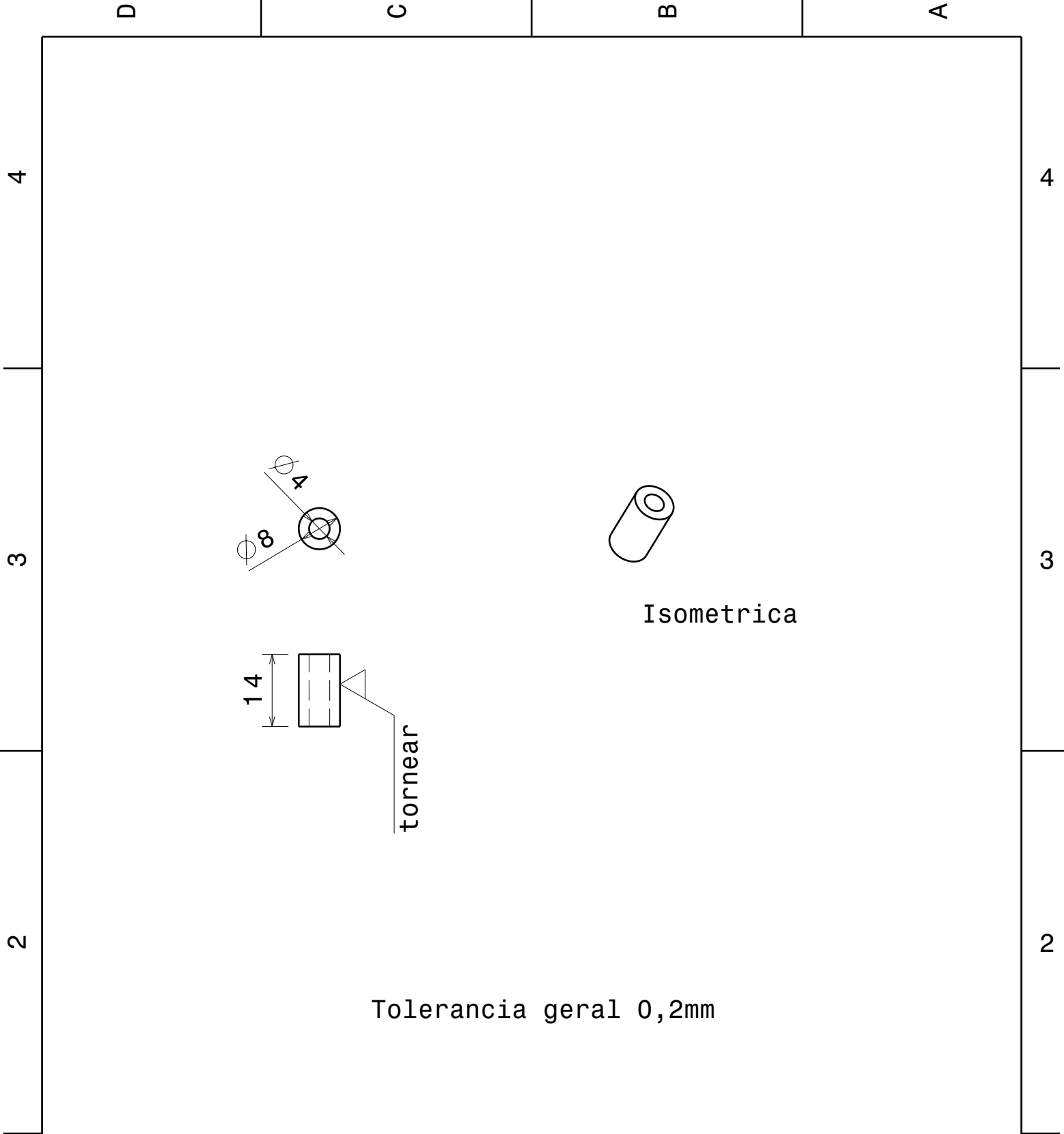
Qde. 2

Pag 1/1

D

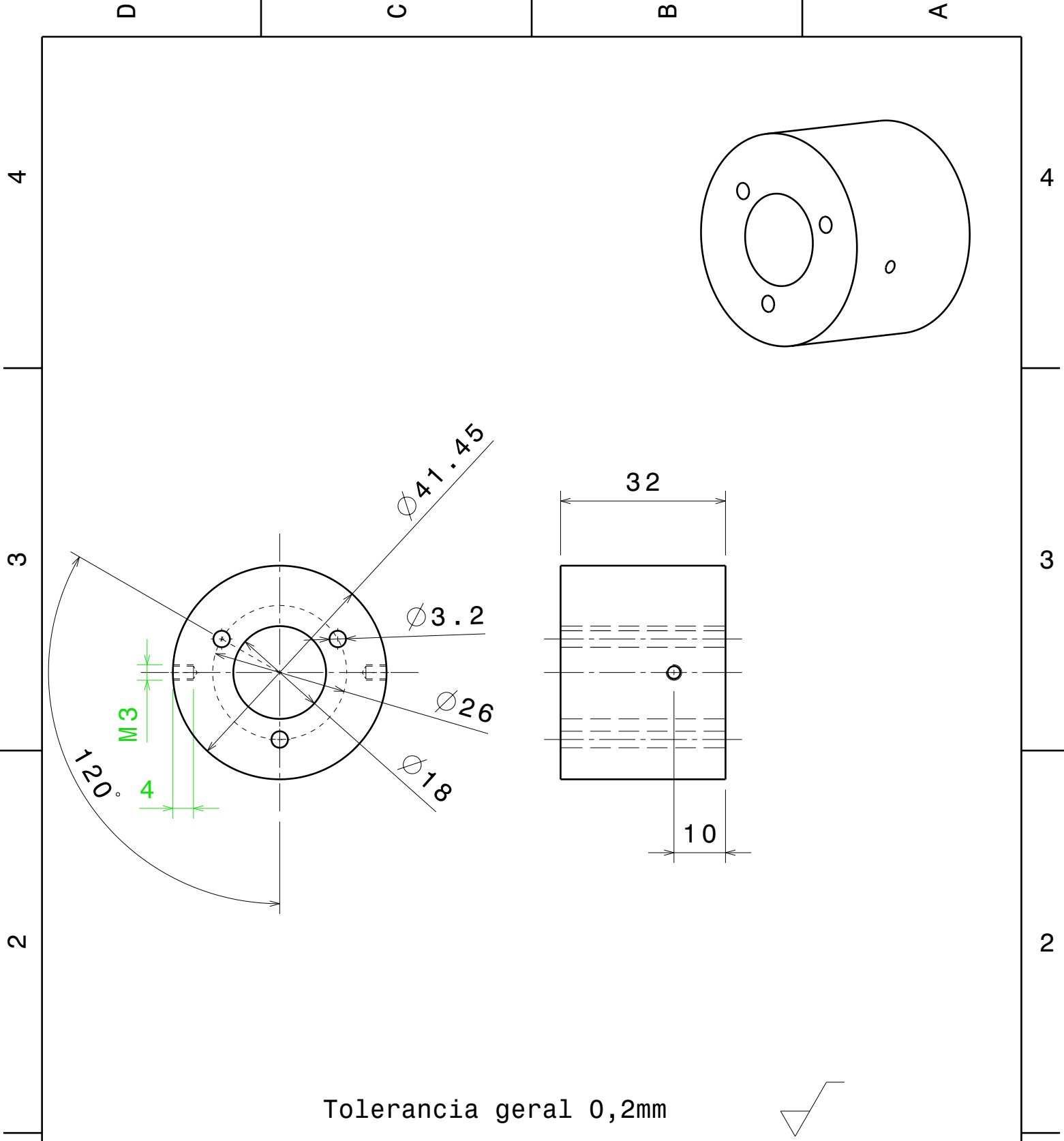
A

1



Material Poliacetal		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Caio Castellano		N° / Nome da peca 08 - Espacador superior			
Desenhado por Andre Emil		TAM A4	Tipo de desenho Desenho de fabricacao		
Checado por Nicola Getschko		Escala 1:1		Qde. 2	Pag 1/1





Material Poliacetal		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Caio Castellano		N° / Nome da peca 09 - Suporte do motor			
Desenhado por Andre Emil		TAM A4	Tipo de desenho Desenho de fabricacao		Ver. 1
Checado por Nicola Getschko		Escala 1:1	Dimensoes em mm	Qde. 1	Pag 1/1

D

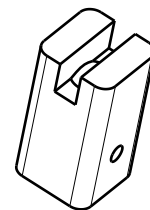
C

B

A

4

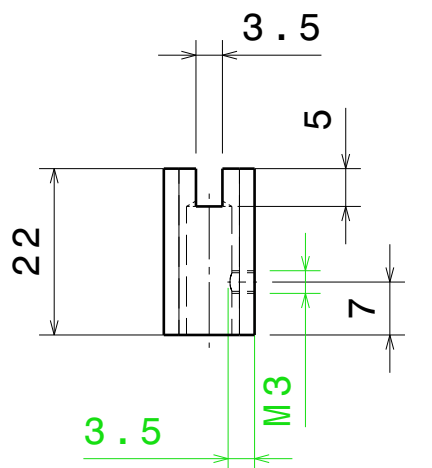
4



Isometrica

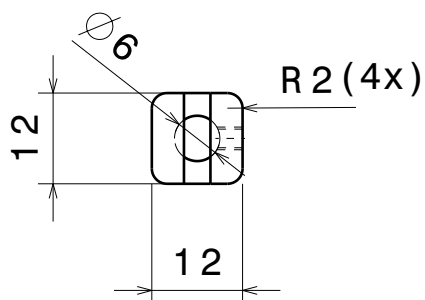
3

3



2

2



Tolerancia geral 0,2mm



Material  
Aluminio

PMR 2550 - Projeto de garra robotica

N° / Nome da peca

Desenhado por  
Caio Castellano

Data  
10/11/2008

11 - Acoplamento do motor

Desenhado por  
Andre Emil

Data

TAM  
A4

Tipo de desenho  
Desenho de fabricacao

Ver.  
1

Checado por  
Nicola Getschko

Data

Escala  
1:1

Dimensoes em mm

Qde. 2

Pag 1 / 1

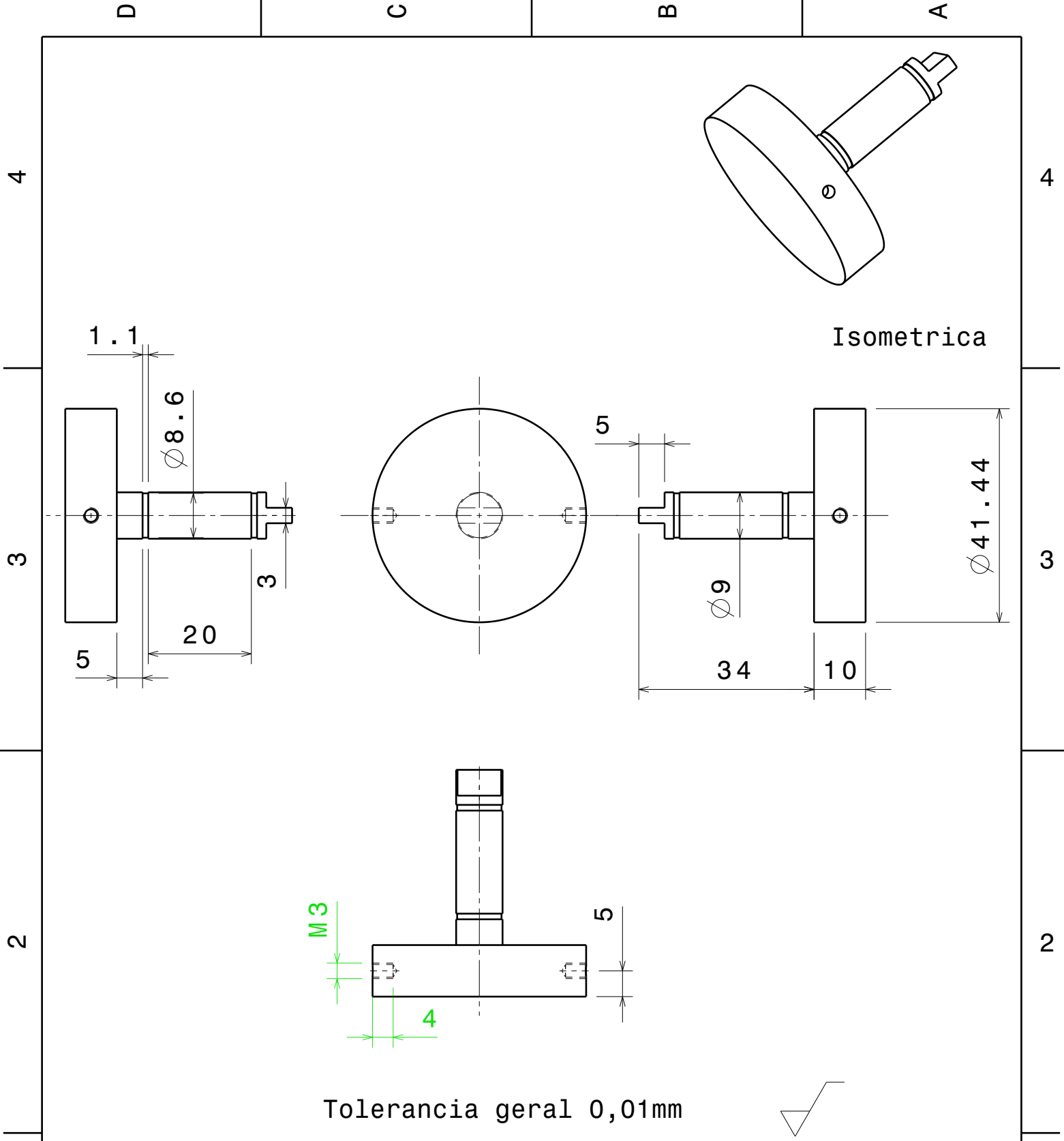
D

A

1

1





Material Poliacetel		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Caio Castellano		N° / Nome da peca 13 - Eixo do excentrico			
Desenhado por Andre Emil		Data 10/11/2008		Ver. 1	
Checado por Nicola Getschko		Data		Pag 1/1	
		TAM A4		Tipo de desenho Desenho de fabricacao	
		Escala 1:1		Qde. 1	
		Dimensoes em mm			

4

3

2

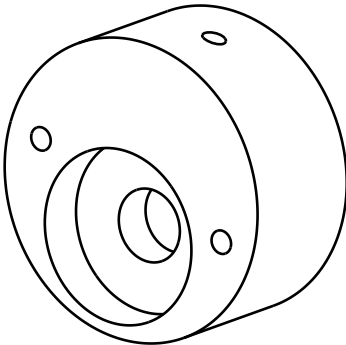
1

D

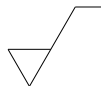
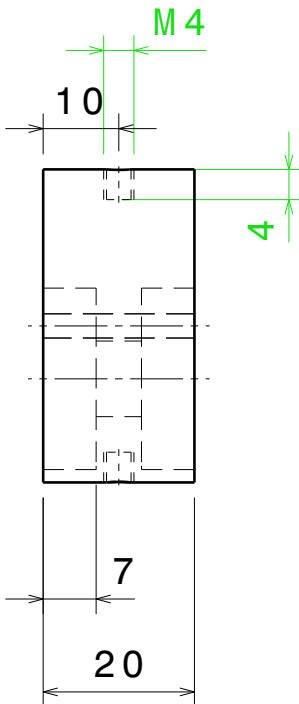
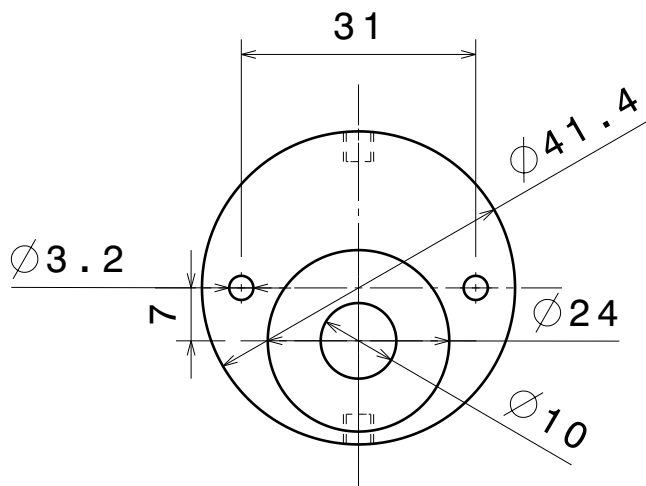
C

B

A



Isometrica



Tolerancia geral 0,01mm

Material Poliacetal		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Caio Castellano		N° / Nome da peca 16 - Excentrico			
Desenhado por Andre Emil		TAM A4	Tipo de desenho Desenho de fabricacao		
Checado por Nicola Getschko		Escala 1:1	Dimensoes em mm	Qde. 1	Ver. 1
				Pag 1 / 1	

D

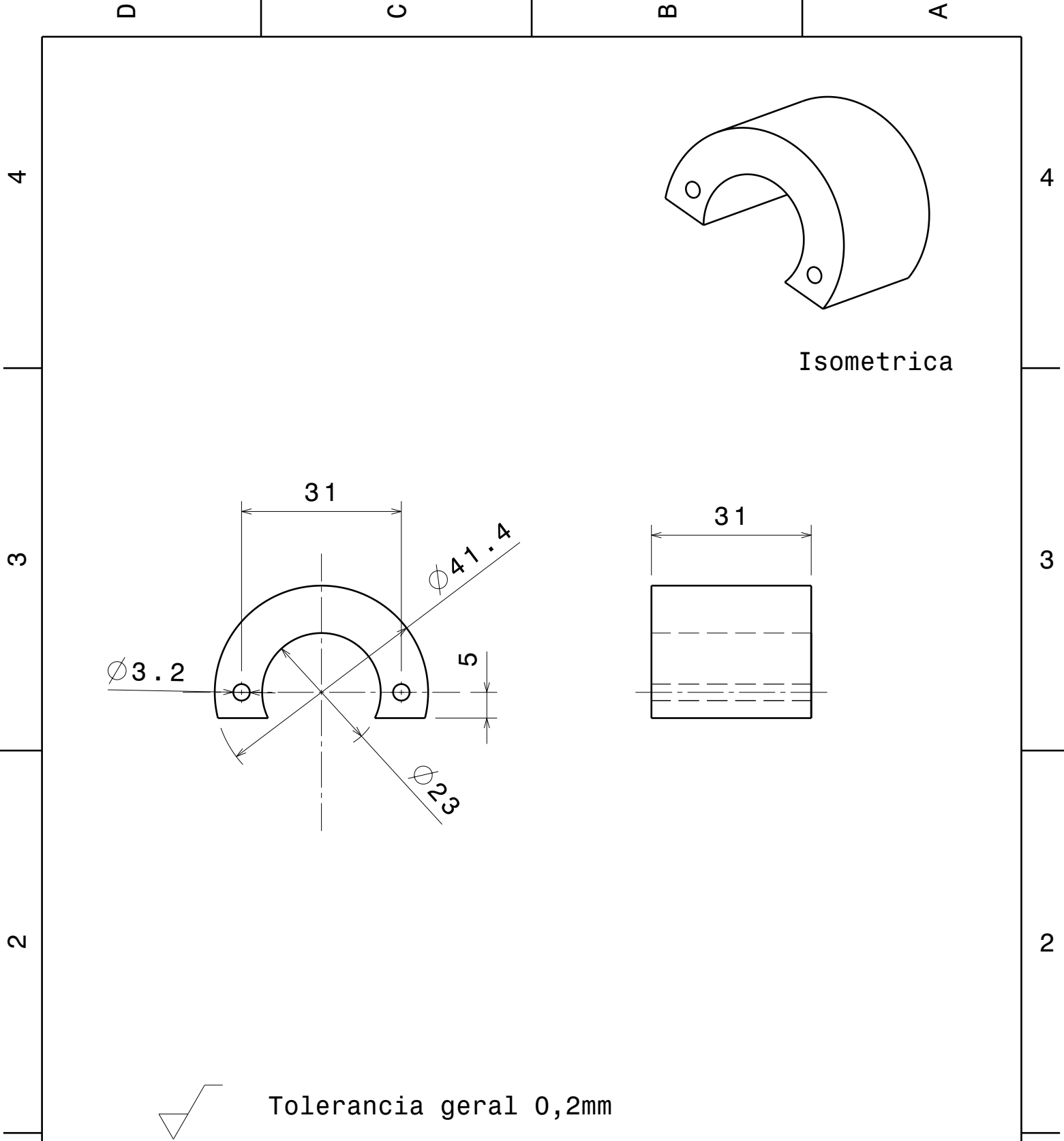
A

4

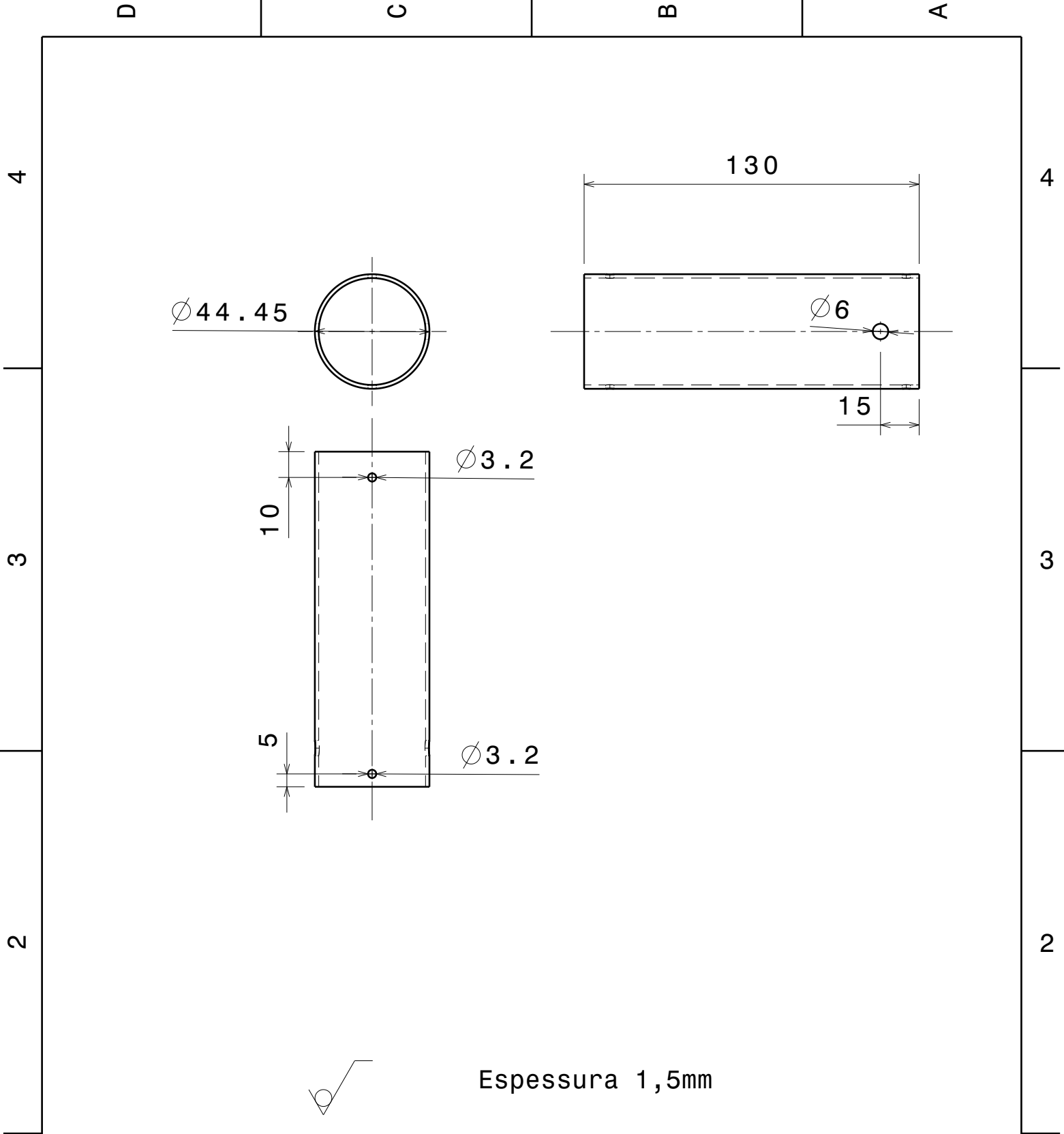
3

2

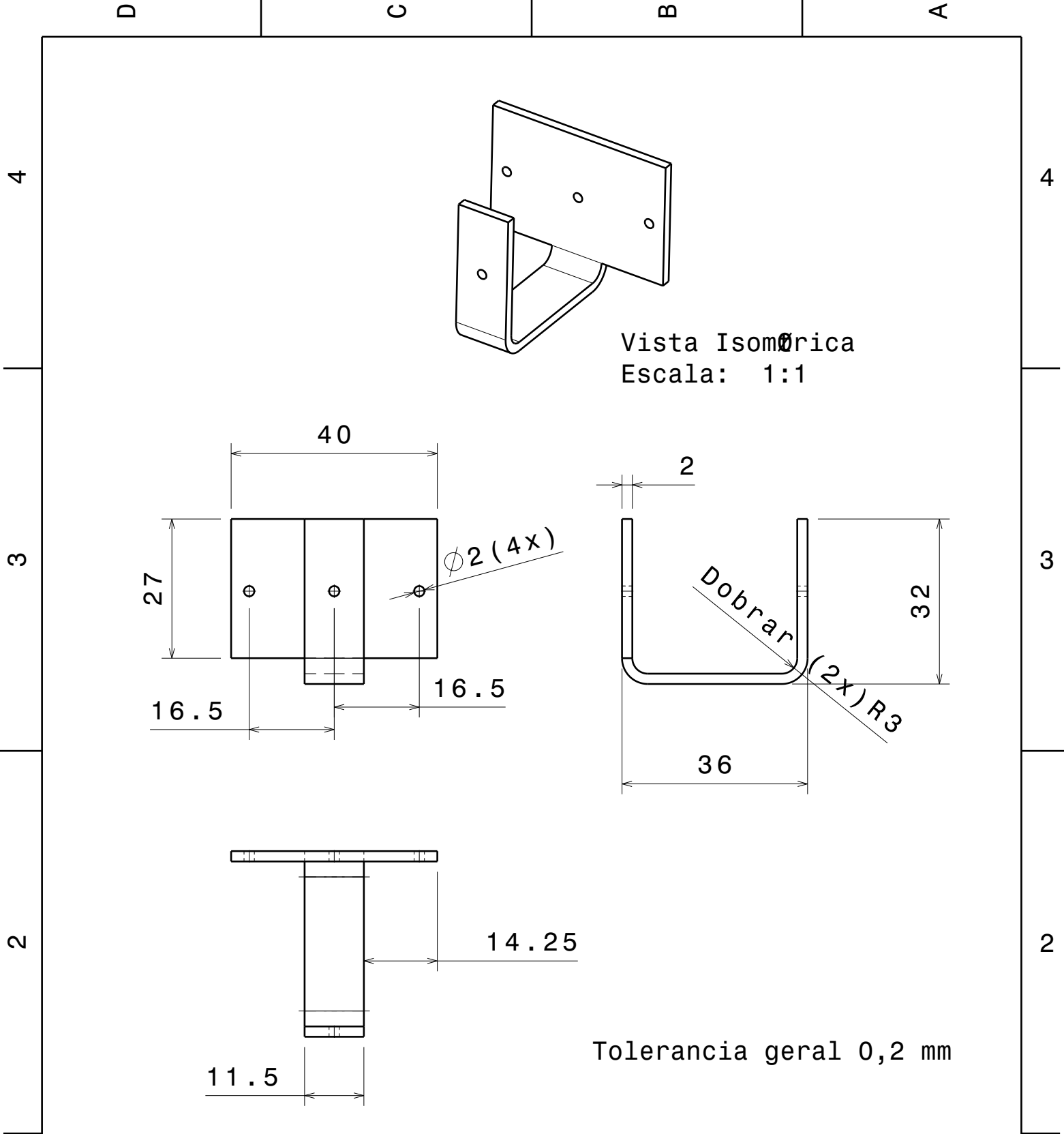
1



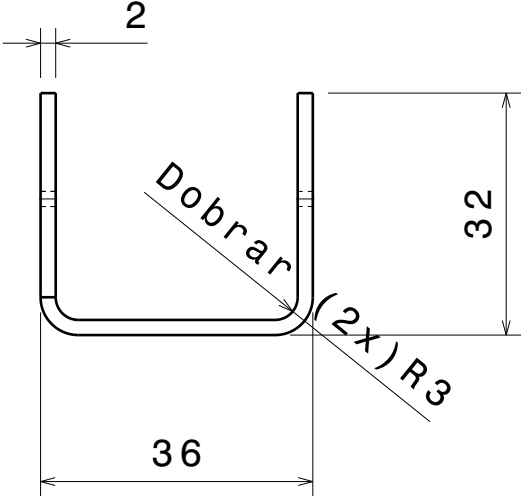
Material Poliacetal		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Caio Castellano		N° / Nome da peca 17 - Suporte em C			
Desenhado por Andre Emil		TAM A4	Tipo de desenho Desenho de fabricacao		Ver. 1
Checado por Nicola Getschko		Escala 1:1	Dimensoes em mm	Qde. 1	Pag 1/1



Material Aluminio		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Caio Castellano		N° / Nome da peca 19 - 20. Cilindro externo			
Desenhado por Andre Emil		TAM A4	Tipo de desenho Desenho de fabricacao		Ver. 1
Checado por Nicola Getschko		Escala 1:2	Dimensoes em mm	Qde. 1	Pag 1 / 1

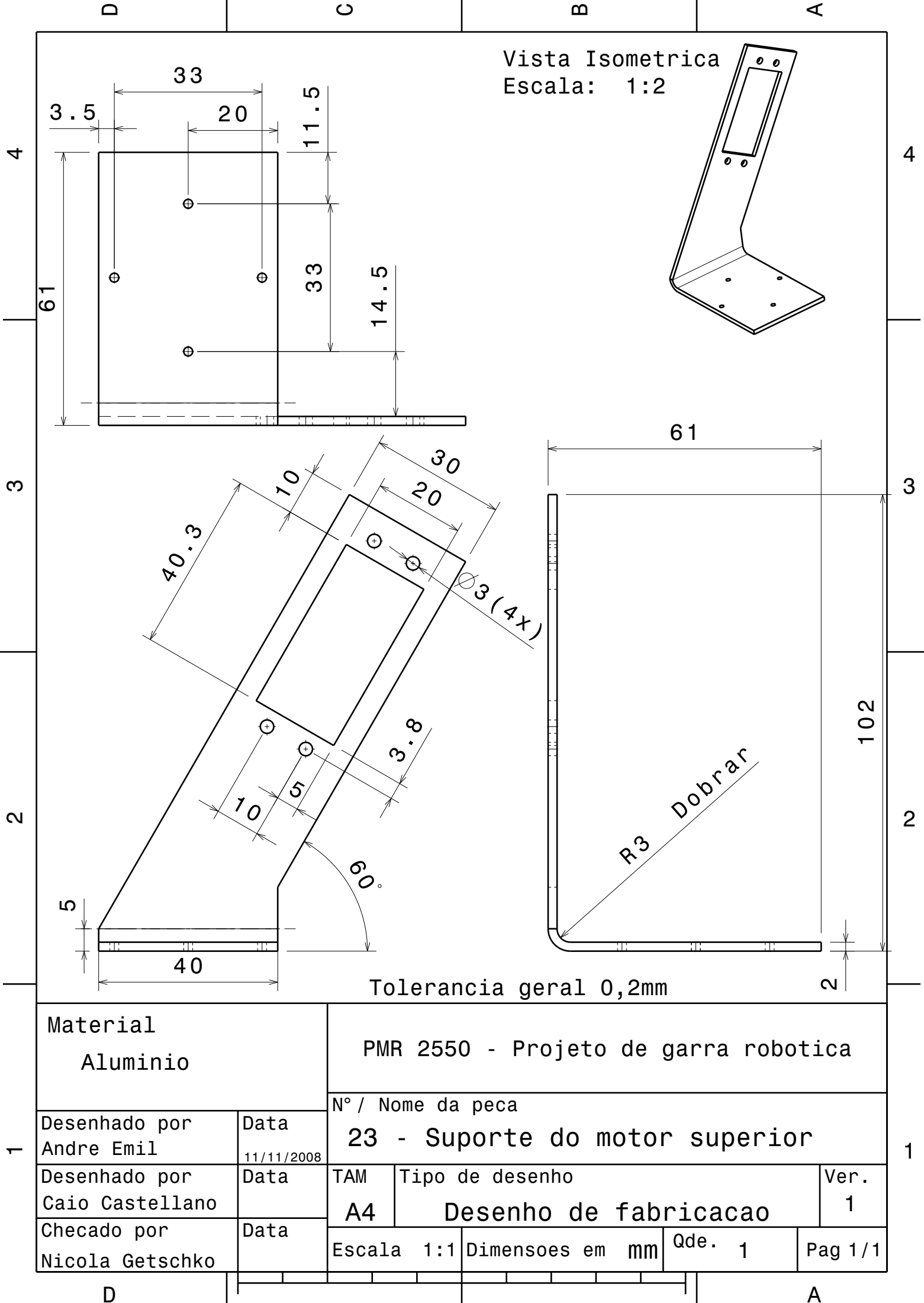


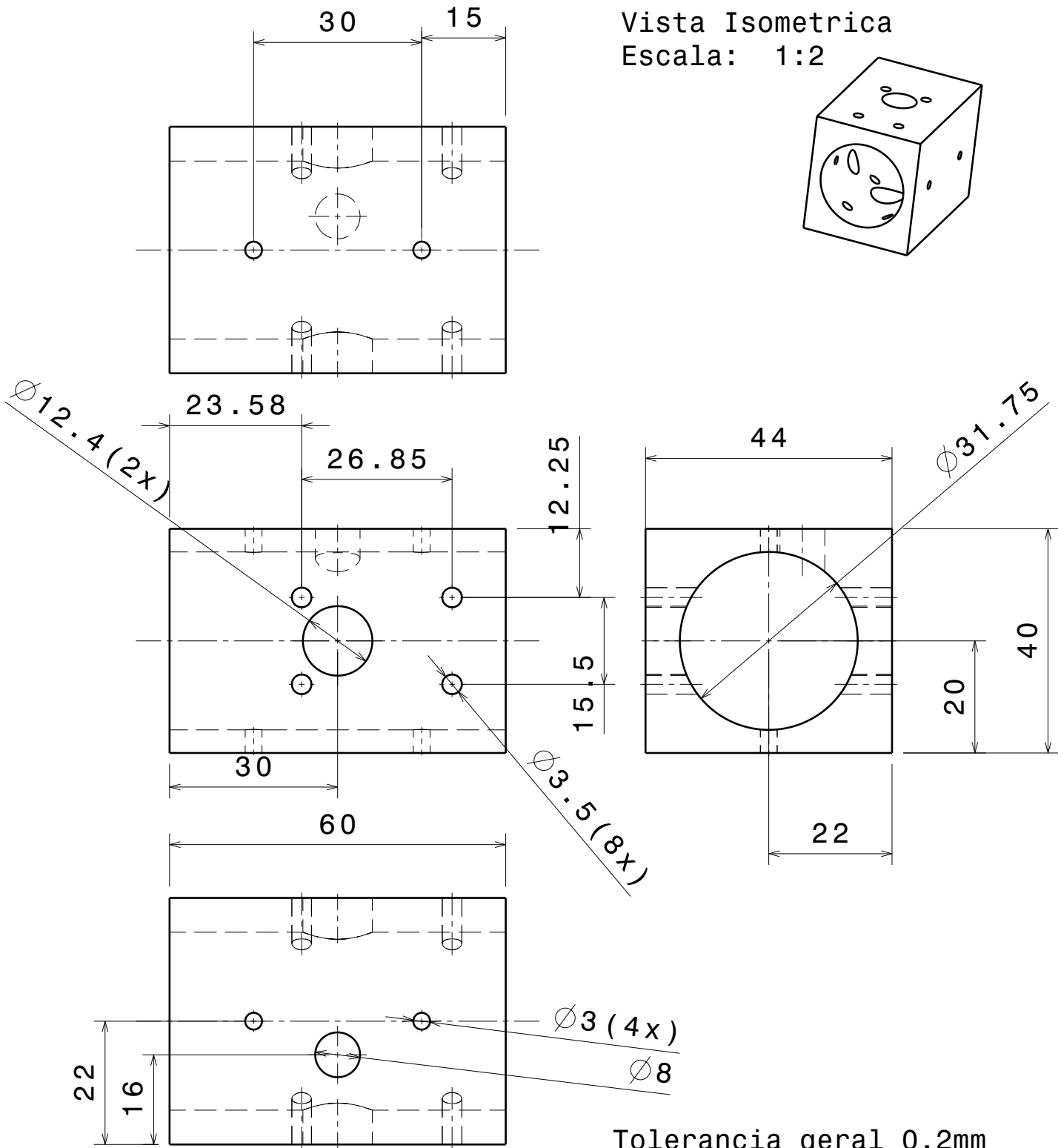
Vista Isométrica  
Escala: 1:1



Tolerancia geral 0,2 mm

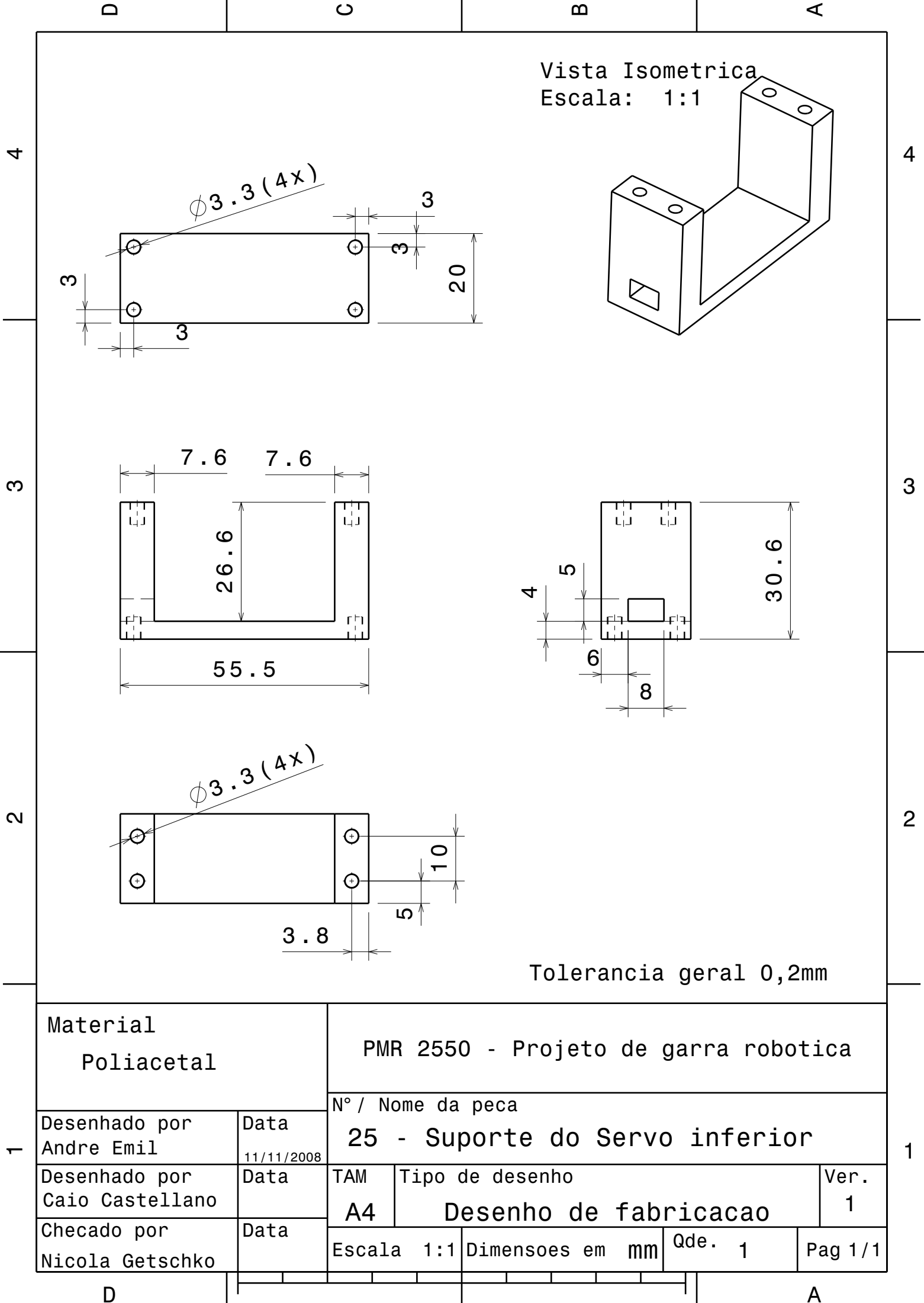




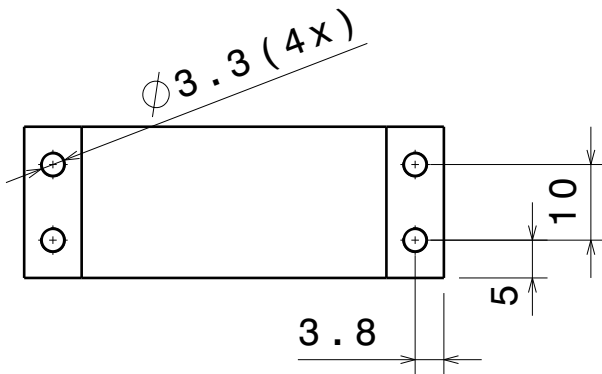
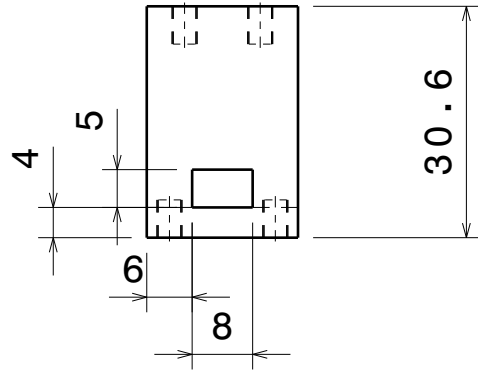
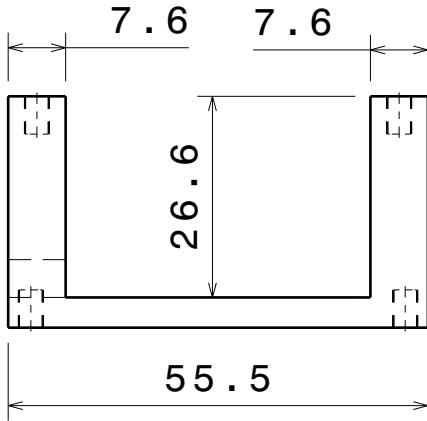
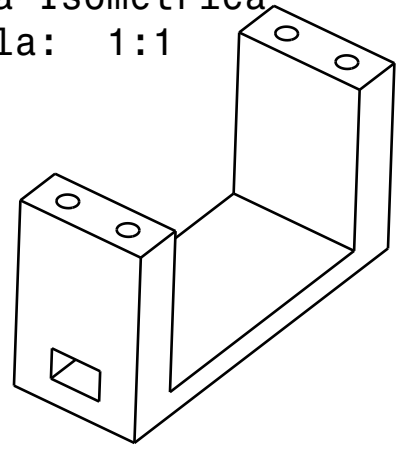


Tolerancia geral 0,2mm

Material Poliacetal		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
		N° / Nome da peca 24 - Base do sistema da camera			
Desenhado por Andre Emil	Data 11/11/2008	TAM A4	Tipo de desenho Desenho de fabricacao		Ver. 1
Checado por Nicola Getschko	Data	Escala 1:1	Dimensoes em mm	Qde. 1	Pag 1/1



Vista Isometrica  
Escala: 1:1



Tolerancia geral 0,2mm

Material  
Poliacetal

PMR 2550 - Projeto de garra robotica

Nº / Nome da peca

25 - Suporte do Servo inferior

Desenhado por  
Andre Emil

Data  
11/11/2008

Desenhado por  
Caio Castellano

Data

TAM  
A4

Tipo de desenho  
Desenho de fabricacao

Ver.  
1

Checado por  
Nicola Getschko

Data

Escala 1:1

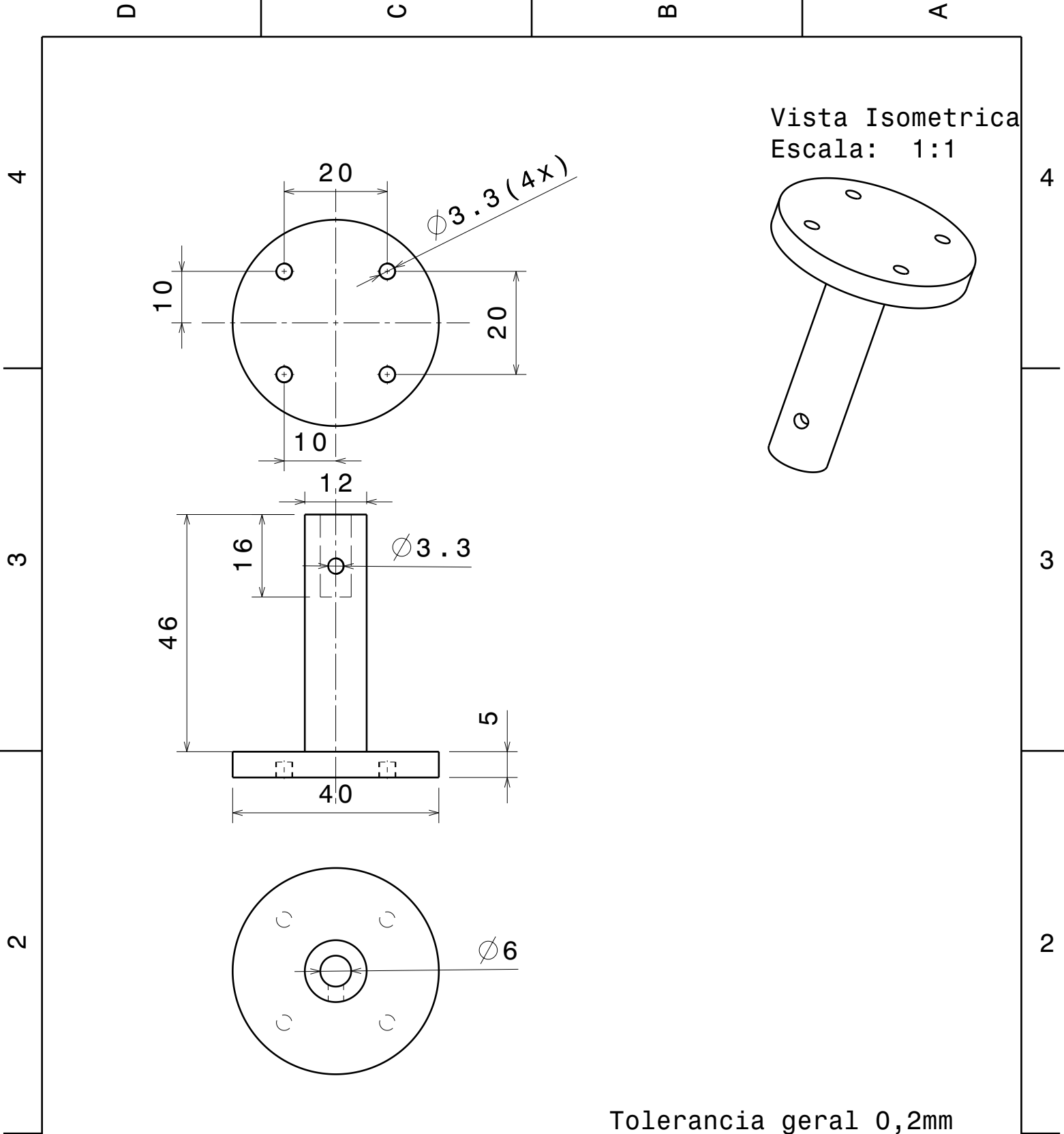
Dimensoes em mm

Qde. 1

Pag 1/1

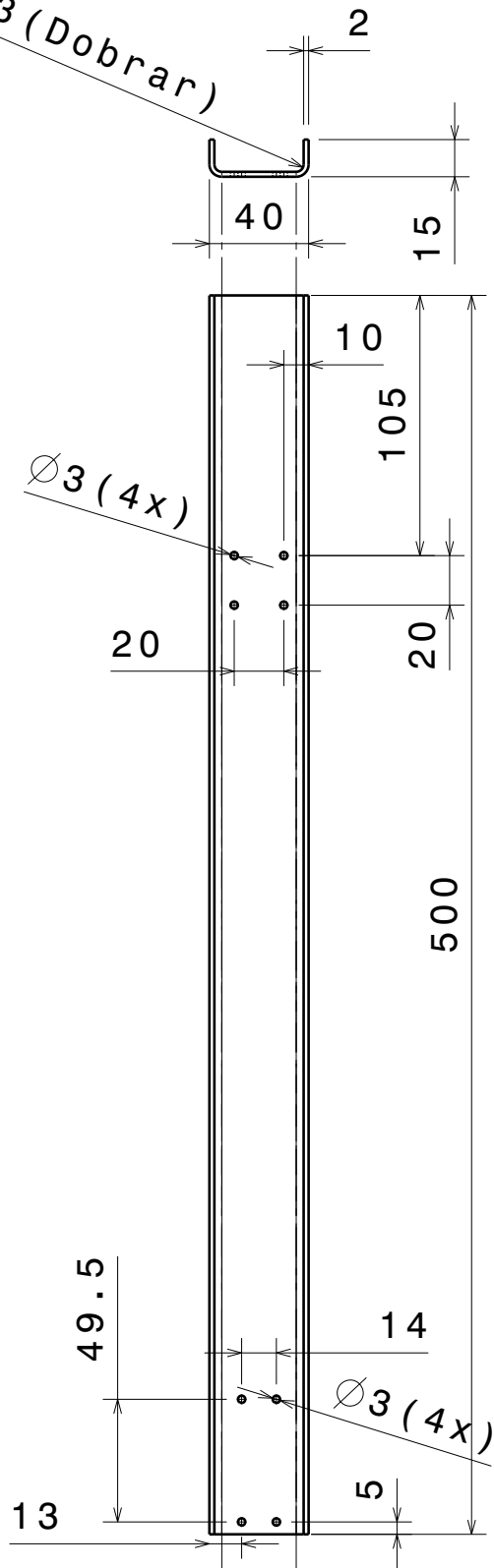
D

A



Material Poliacetal		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Andre Emil		N° / Nome da peca 26 - Base da Haste			
Desenhado por Caio Castellano		Data 11/11/2008		Ver. 1	
Checado por Nicola Getschko		Data		Escala 1:1	
		TAM A4		Tipo de desenho Desenho de fabricacao	
		Dimensoes em mm		Qde. 1	
				Pag 1/1	

R3 (Dobrar)



Vista Isometrica  
Escala: 1:4

Tolerancia geral 0,2mm

Material  
Aluminio

PMR 2550 - Projeto de garra robotica

Nº / Nome da peca

27 - Haste

Desenhado por  
Andre Emil

Data  
11/11/2008

Desenhado por  
Caio Castellano

Data

TAM  
A4

Tipo de desenho

Desenho de fabricacao

Ver.  
1

Checado por  
Nicola Getschko

Data

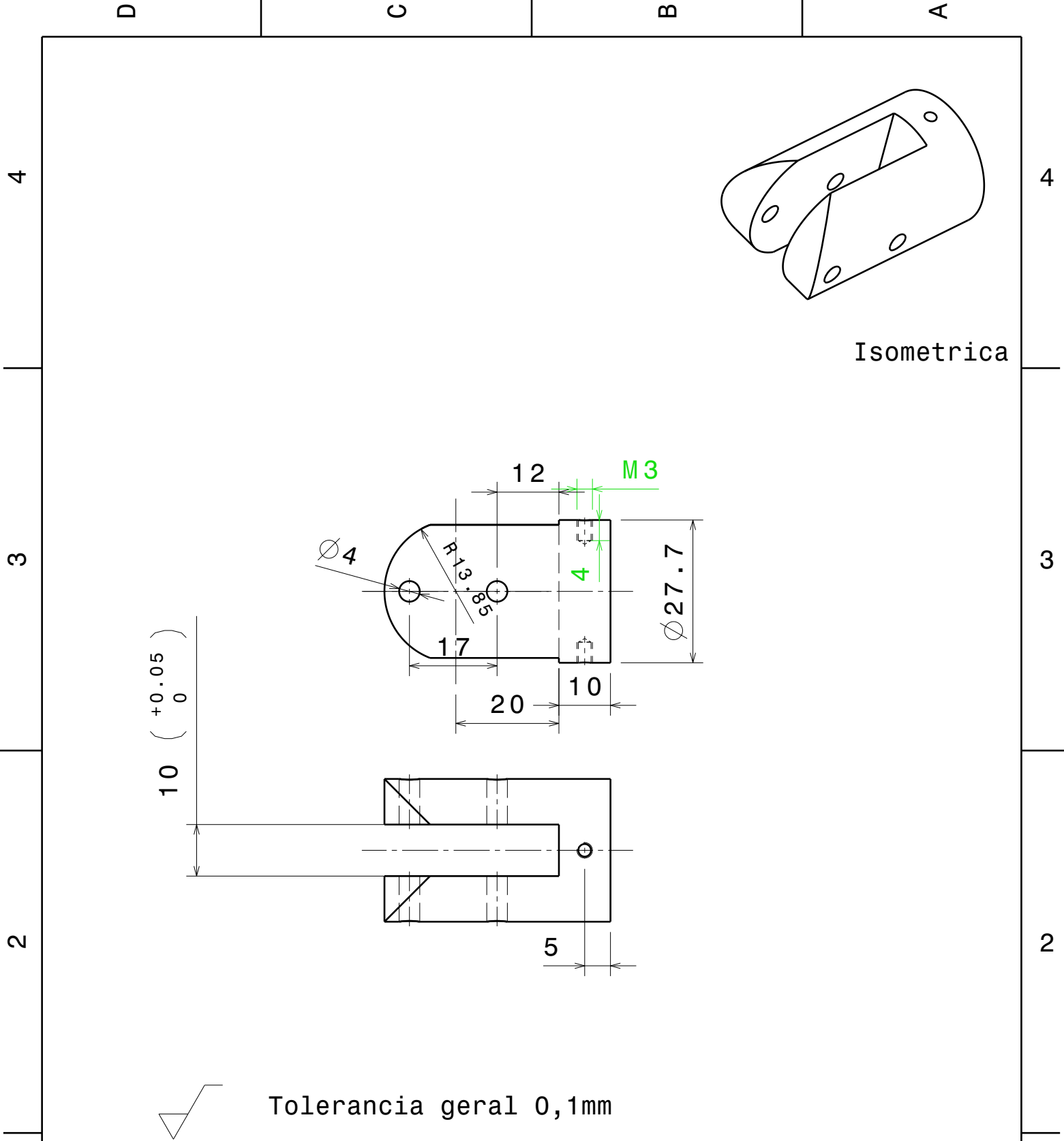
Escala 1:3 Dimensoes em mm

Qde. 1

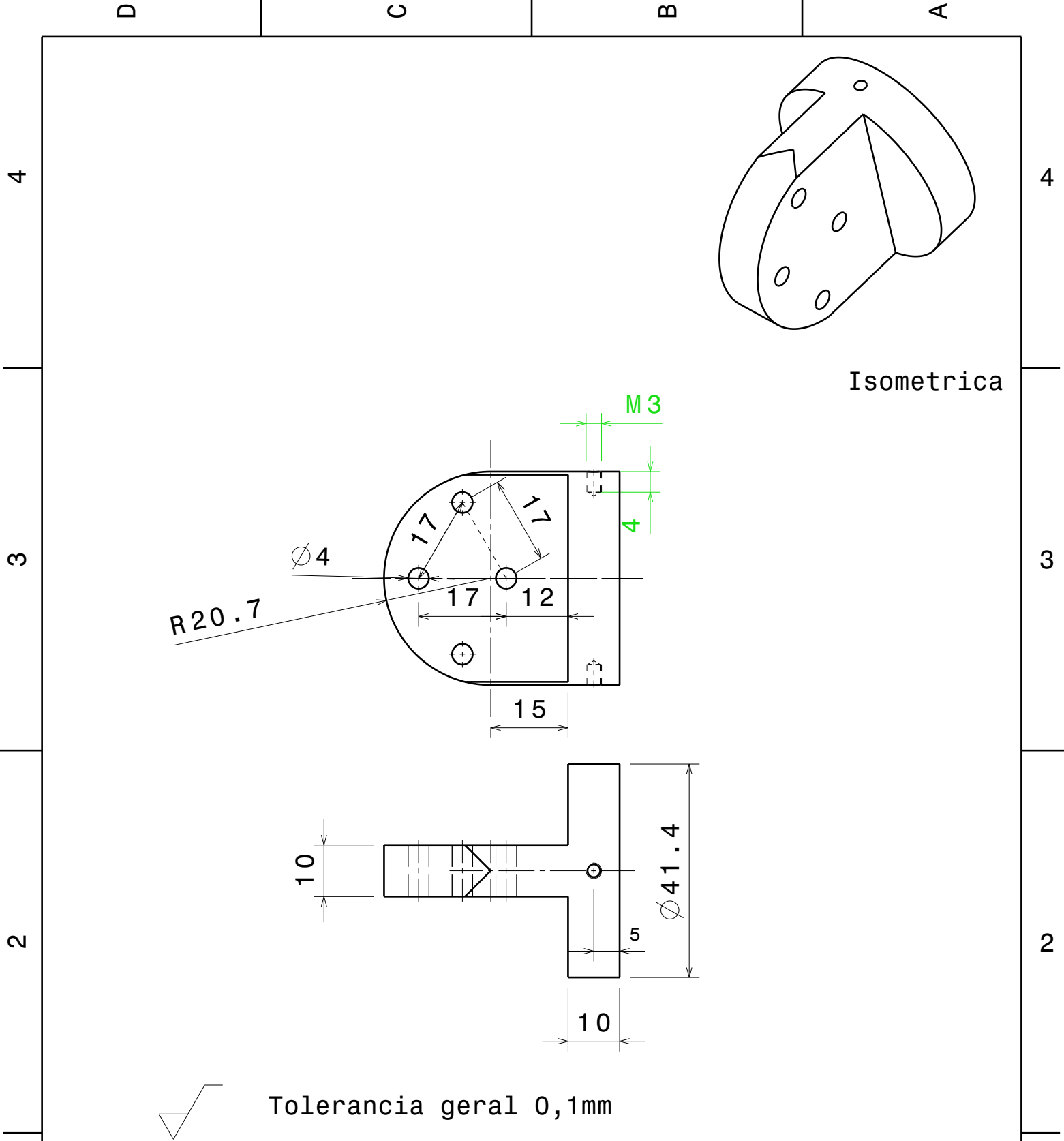
Pag 1/1

D

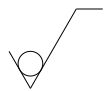
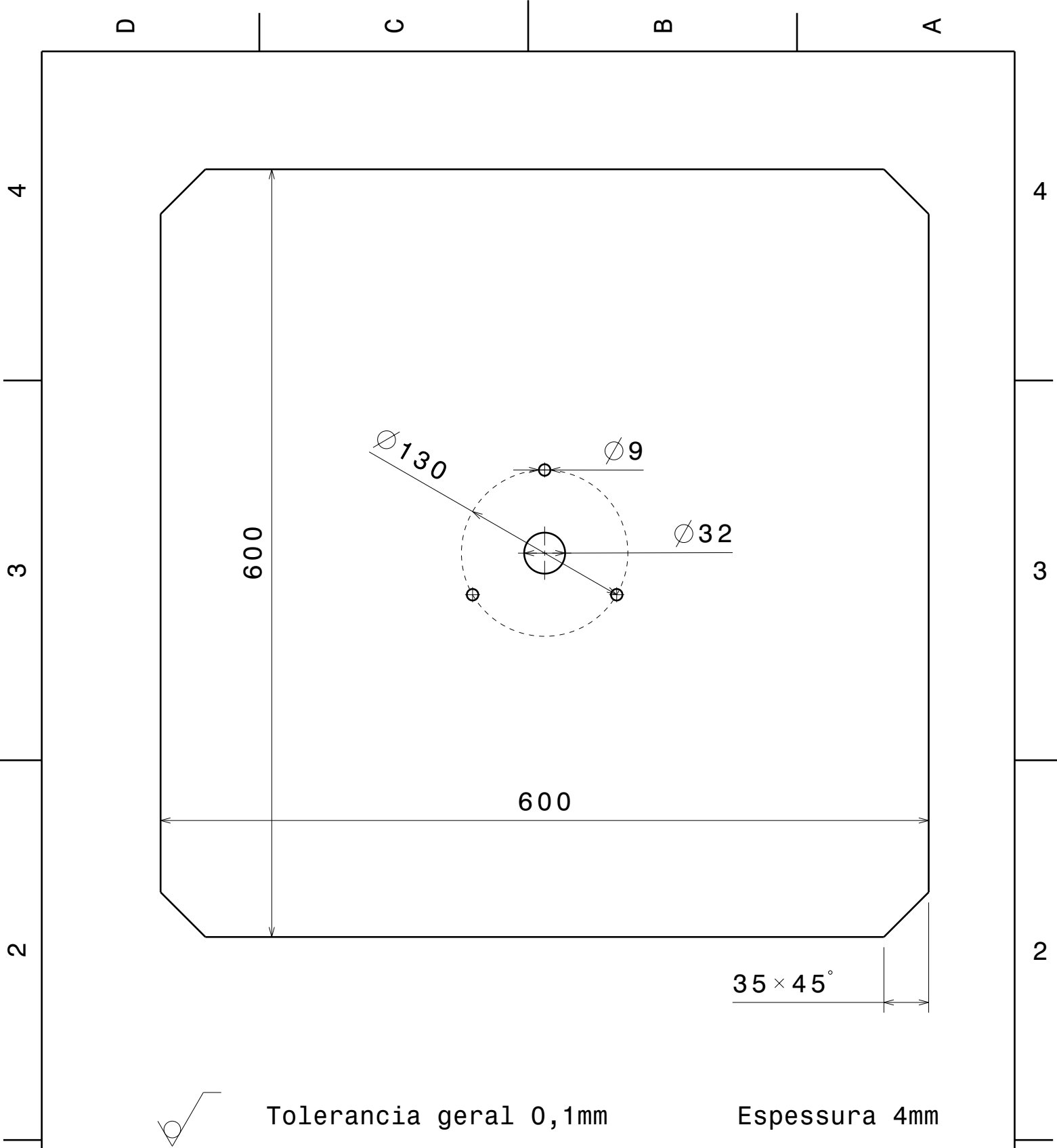
A



Material Poliacetal		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Caio Castellano		Nº / Nome da peca 30 - Dobradica femea			
Desenhado por Andre Emil		TAM A4	Tipo de desenho Desenho de fabricacao		Ver. 1
Checado por Nicola Getschko		Escala 1:1	Dimensoes em mm	Qde. 1	Pag 1/1



Material Poliacetal		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Caio Castellano		Nº / Nome da peca 31 - Dobradica macho			
Desenhado por Andre Emil		Data 10/11/2008		Ver. 1	
Checado por Nicola Getschko		Data		Escala 1:1	
		Tipo de desenho Desenho de fabricacao		Qde. 1	
		Dimensoes em mm		Pag 1/1	



Tolerancia geral 0,1mm

Espessura 4mm

Material Policarbonato		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Caio Castellano		Data 10/11/2008		N° / Nome da peca 32 - Chapa defletora	
Desenhado por Andre Emil		Data		TAM A4	Ver. 1
Checado por Nicola Getschko		Data		Escala 1:4	Dimensoes em mm Qde. 4
				Pag 1 / 1	

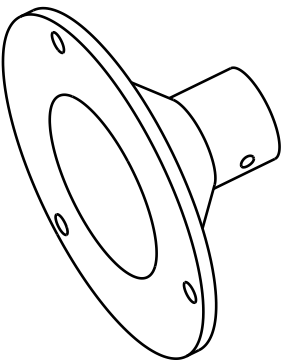
D

A



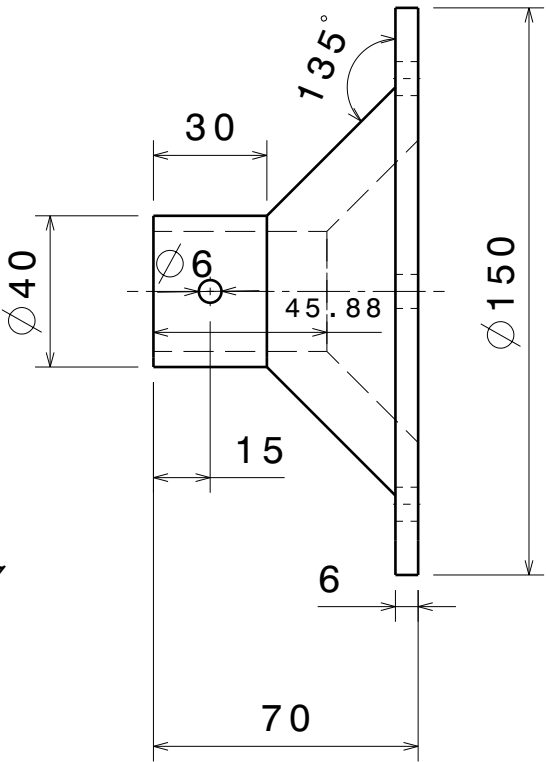
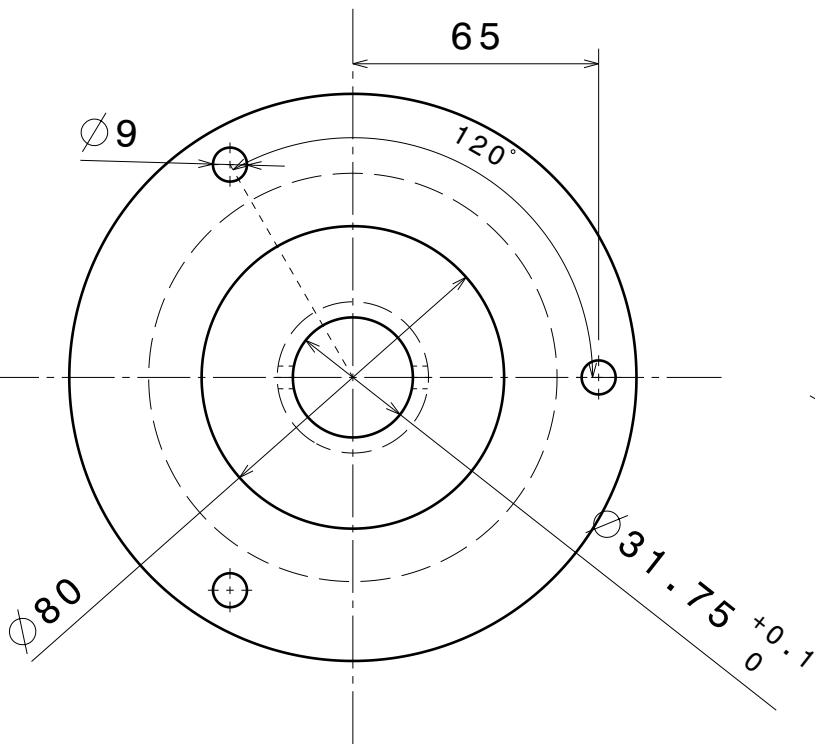
D C B A

4



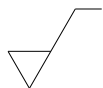
Isometrica  
M 1:3

3



3

2



Tolerancia geral 0,1mm

2

1

Material Poliacetal		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Caio Castellano		N° / Nome da peca 33 - Suporte do defletor			
Desenhado por Andre Emil		Data 10/11/2008		Ver. 1	
Checado por Nicola Getschko		Data		TAM A4	
				Tipo de desenho Desenho de fabricacao	
		Escala 1:2 (1:3)		Qde. 1	
		Dimensoes em mm		Pag 1/1	

1

D A

4

4

3

3

2

2

1

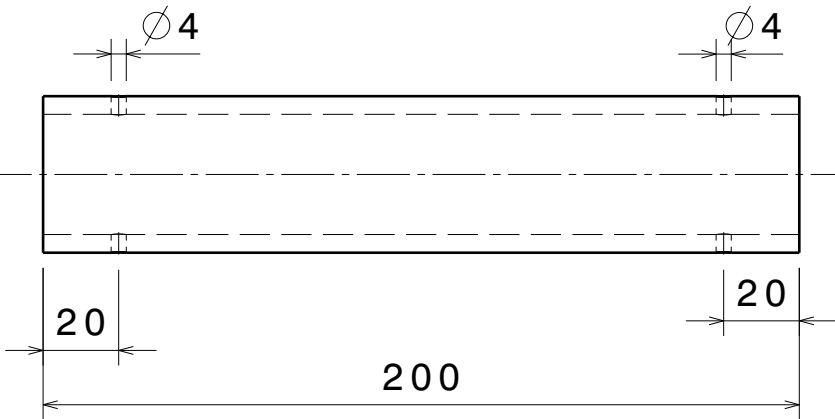
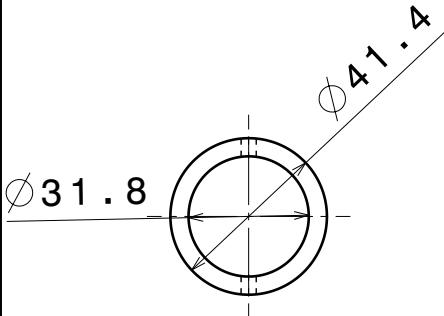
1

D

C

B

A



Tolerancia geral 0,1mm

Material  
Policacetal

PMR 2550 - Projeto de garra robotica

Nº / Nome da peca

34 - Bucha

Desenhado por  
Caio Castellano

Data  
10/11/2008

Desenhado por  
Andre Emil

Data

TAM  
A4

Tipo de desenho  
Desenho de fabricacao

Ver.  
1

Checado por  
Nicola Getschko

Data

Escala  
1:2

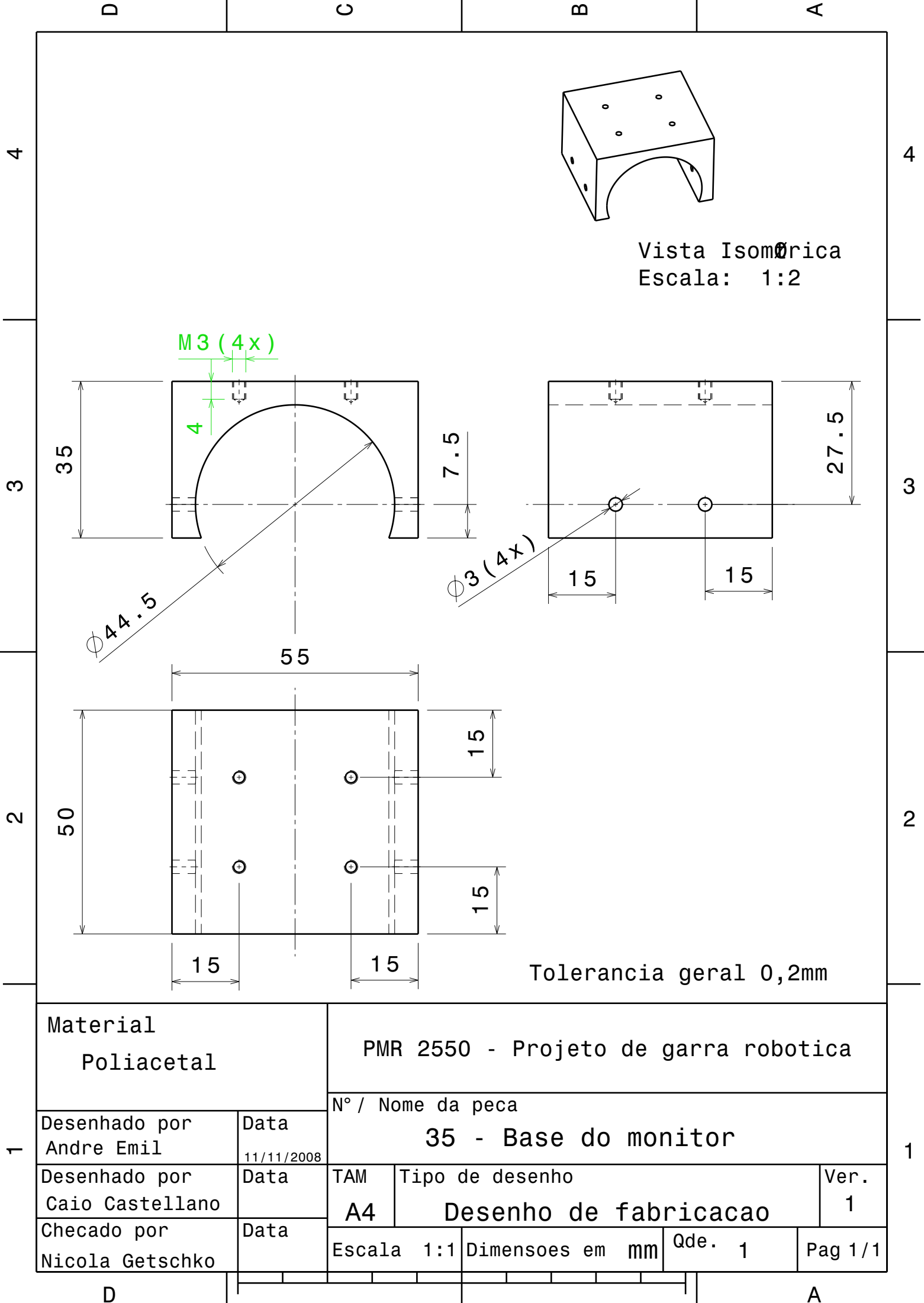
Dimensoes em mm

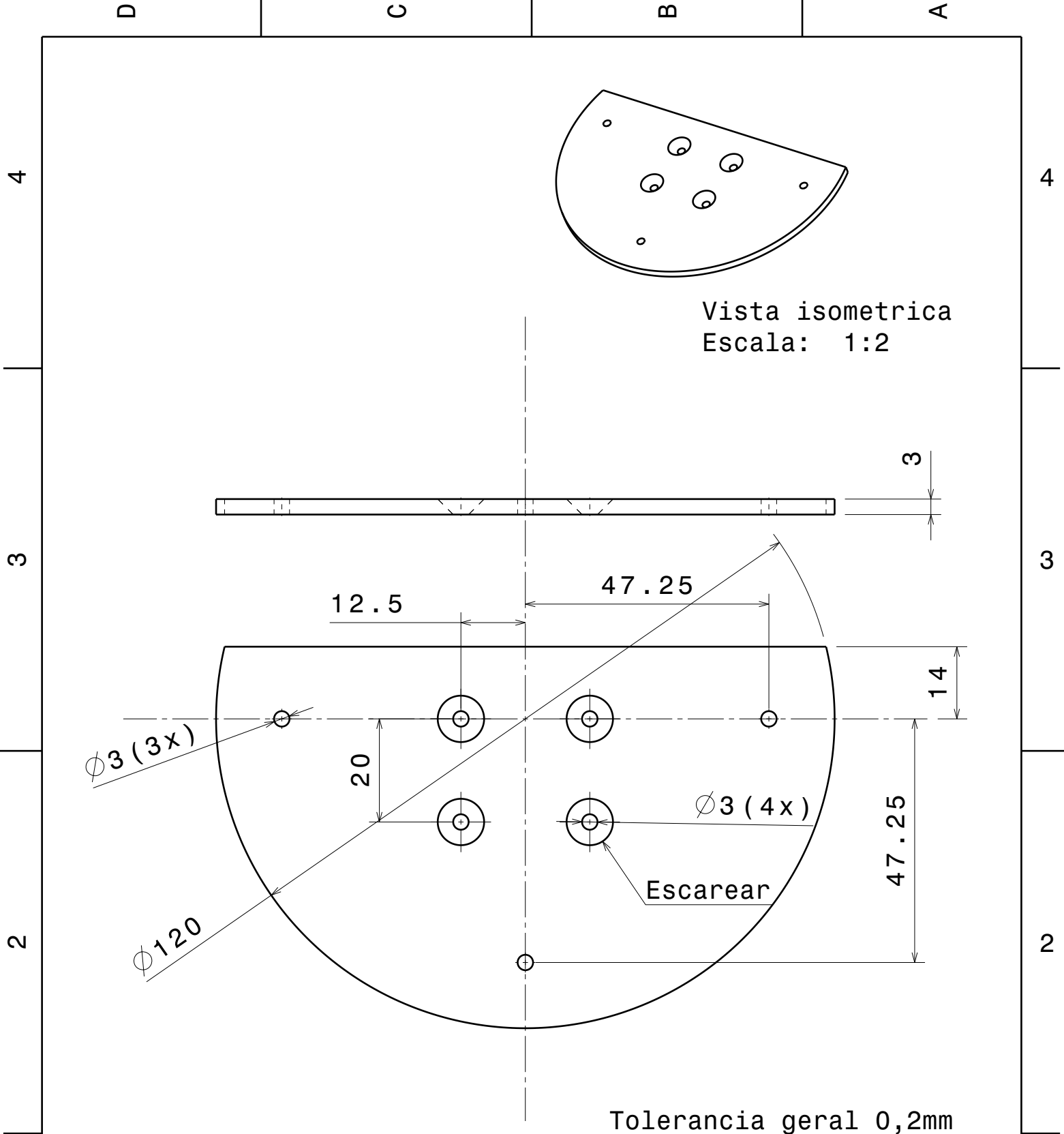
Qde. 1

Pag 1/1

D

A





Material Aluminio		PMR 2550 - Projeto de garra robotica			
Desenhado por Andre Emil		N° / Nome da peca 36 - Chapa de suporte			
Desenhado por Caio Castellano		TAM A4	Tipo de desenho Desenho de fabricacao		Ver. 1
Checado por Nicola Getschko		Escala 1:1	Dimensoes em mm	Qde. 1	Pag 1/1

