



*Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade de Aveiro*

Estudos funcionais de uma plataforma para um sistema robótico humanóide

Seleccção de Materiais

Autores:

Luís Rêgo -----n.º mec: 20008

Renato Barbosa -----n.º mec: 18382

Orientadores:

Professor Vítor Santos.

Professor Filipe Teixeira Dias.

Aveiro, 10 de Fevereiro de 2004

1. INTRODUÇÃO	3
2. TERMOPLÁSTICOS ESTRUTURAIS	3
2.1. POLIAMIDAS (NYLONS)	4
3. PLÁSTICOS FLUORADOS	5
3.1. POLITETRAFLUOROETILENO (PTFE OU TEFLON).....	6
4. LIGAS DE ALUMÍNIO	6
4.1. LIGAS DE ALUMÍNIO PARA TRABALHO MECÂNICO	7
4.2. LIGAS DE ALUMÍNIO PARA TRABALHO MECÂNICO SEM TRATAMENTO TÉRMICO.....	9
4.3. LIGAS DE ALUMÍNIO PARA TRABALHO MECÂNICO E TRATAMENTO TÉRMICO.....	9
5. MATERIAIS EXISTENTES NO MERCADO	10
5.1. PLÁSTICOS.....	11
5.1.1. <i>Poliâmidas</i>	11
5.1.2. <i>Poliacetal</i>	13
5.1.3. <i>PET (Polyethylene terephthalate)</i>	13
5.2. LIGAS DE ALUMÍNIO	16
6. CONCLUSÃO.....	18
7. BIBLIOGRAFIA.....	20

1. INTRODUÇÃO

Um dos objectivos a atingir na execução do projecto de uma plataforma para um sistema robótico humanóide, corresponde ao estudo e selecção dos materiais a utilizar na concepção do robot humanóide. Para isso foram estudadas diversas hipóteses, tendo como limitações a garantia de resistência e boas propriedades mecânicas perante os esforços a realizar, a utilização de matérias através dos quais se obtenha uma estrutura bastante leve (devido aos resultados obtidos do estudo dos momentos estáticos) e, ainda, os custos associados aos materiais escolhidos.

Após um rápido estudo foi excluída a utilização de aços na estrutura do robot e nos mecanismos de transmissão a utilizar. Decidimos assim, utilizar nylon, teflon e/ou alumínio, na estrutura e nos mecanismos transmissores de movimento.

A pesquisa realizada levou-nos a um distribuidor, LANEMA, S.A., com um extenso catálogo neste área.

Apresenta-se a seguir um pequeno resumo teórico sobre os materiais estudados e os campos de aplicação destes. Serão ainda apresentadas as características dos materiais escolhidos nesta primeira fase, para serem utilizados no nosso projecto. Para tal iremos recorrer a informação disponível no catálogo da Lanema.

2. TERMOPLÁSTICOS ESTRUTURAIIS

Abordemos aqui, os aspectos importantes da estrutura, propriedades e aplicações dos termoplásticos estruturais. A definição de plástico estrutural é arbitrária, já que não existe nenhum plástico que, de alguma forma, não possa ser considerado um plástico estrutural. Segundo os apontamentos de materiais de construção mecânica do Professor Filipe Oliveira, considera-se como estrutural um termoplástico que possua um conjunto de propriedades que o tornem especialmente útil em aplicações de engenharia. Para esta abordagem foram seleccionados as poliamidas (nylons), policarbonato, poliacetais entre outros. [1]

As baixas densidades destes materiais constituem uma propriedade muito vantajosa em muitos projectos de engenharia. À semelhança do que acontece com a maioria dos

materiais plásticos, também estes termoplásticos estruturais têm resistências à tracção relativamente baixas, apresentando, valores entre 54 e 83MPa. Estas baixas resistências mecânicas constituem normalmente uma desvantagem em projectos de engenharia. Em relação a resistência ao impacto dos termoplásticos estruturais, verifica-se que o policarbonato tem uma grande resistência, apresentando valores entre 640 e 850 J/m. Os valores baixos apresentados pelo poliacetal e pelo nylon, respectivamente de 75 e 105 J/m, são de certa forma enganadores, uma vez que são, de facto, materiais “tenazes”, mas sensíveis ao entalhe, conforme indicam os ensaios de Izod com provete entalhado. [1]

A capacidade de isolamento eléctrico dos termoplásticos estruturais é elevada, como acontece com a maioria dos materiais plásticos, com valores entre 13 e 28 kV/mm. As temperaturas máximas de utilização dos termoplásticos estruturais variam entre 82 e 260°C. [1]

Há muitas outras propriedades dos termoplásticos estruturais que os tornam materiais importantes do ponto de vista industrial. Os termoplásticos estruturais são relativamente fáceis de processar numa forma acabada ou quase acabada, e o seu processamento pode ser automatizado em muitos casos. [1]

2.1. Poliamidas (Nylons): As poliamidas ou nylons são termoplásticos processados por fusão, cuja cadeia principal incorpora um grupo de repetição amida. Os nylons são plásticos estruturais e possuem uma boa capacidade para suportar cargas a temperaturas elevadas, boa tenacidade, baixo coeficiente de atrito e boa resistência química. [1]

Estrutura e Propriedades: Os nylons são materiais poliméricos muito cristalinos, devido à estrutura regular e simétrica das cadeias poliméricas principais. A elevada cristalinidade dos nylons manifesta-se pelo facto de, em condições de solidificação controlada, originarem esferulites. [1]

A resistência mecânica elevada apresentada pelos nylons deve-se, em parte, às ligações de hidrogénio entre cadeias moleculares. A ligação amida toma possível uma ligação – NHO, do tipo ponte de hidrogénio, entre as cadeias. Como consequência, as poliamidas de nylon possuem resistências mecânicas elevadas, temperaturas de deflexão (pelo calor) elevadas e boa resistência químicas. A flexibilidade das cadeias principais de carbono contribui ainda para a elevada lubrificação, baixo atrito e boa resistência à

abrasão. No entanto, a polaridade e as ligações de hidrogénio dos grupos amida provocam uma elevada absorção de água, o que causa variações dimensionais com o aumento do teor de humidade. Existem alguns tipos de nylons, que têm cadeias de carbono mais longas entre os grupos de amida, são menos sensíveis à absorção de água.

A título informativo, podemos afirmar que a maior parte dos nylons são processados pelo método convencional de moldagem por injeção ou por extrusão. [1]

Aplicações: Os nylons têm aplicações em quase todos os sectores industriais. Utilizações típicas destes materiais são engrenagens, chumaceiras e peças anti-atrito não lubrificadas, componentes mecânicos para funcionar a temperaturas elevadas e resistir aos hidrocarbonetos e solventes, componentes eléctricos submetidos a temperaturas elevadas e componentes resistentes ao impacto que exijam resistência mecânica e rigidez. As aplicações em automóveis incluem velocímetros, mecanismos dos limpa-pára-brisas e revestimentos de pinças. O nylon reforçado com fibra de vidro é utilizado em pás de ventiladores de motores, travões e reservatórios de óleo de motores, revestimento de válvulas e caixas de colunas de direcção de motores. As aplicações eléctricas ou electrónicas incluem dispositivos de ligação, fichas, isolamento de fios de ligação, suportes de antenas e terminais. O nylon é também utilizado em embalagens e em muitas aplicações de âmbito geral. [1]

3. PLÁSTICOS FLUORADOS

Estes materiais são plásticos ou polímeros produzidos a partir de monómeros contendo um ou mais átomos de flúor. Os plásticos fluorados possuem uma combinação especial de propriedades para aplicações de engenharia. Esta classe de polímeros tem elevada resistência a ambientes químicos hostis e boas propriedades de isolamento eléctrico. Os plásticos fluorados contendo grande percentagem de flúor têm baixos coeficientes de atrito, o que os torna autolubrificantes e não-aderentes. [1]

Produzem-se muitos plásticos fluorados, mas os dois mais utilizados são o politetrafluoroetileno (PTFE) e o policlorotrifluoroetileno (PCTFE). [1]

3.1. Politetrafluoroetileno (PTFE ou Teflon): O PTFE, vulgarmente conhecido por Teflon, é um polímero completamente fluoretado que se obtém por polimerização em cadeia de radicais livres do tetrafluoroetileno gasoso, produzindo-se polímeros com cadeias lineares de unidades – CF₂ –. [1]

Estrutura e Propriedades: O PTFE é um polímero cristalino com um ponto de fusão de 327°C. Do pequeno tamanho do átomo de flúor e da regularidade da cadeia polimérica de carbono fluoretado, resulta um material polimérico cristalino muito denso. A densidade do PTFE é de 2,13 a 2,19 g/cm³, elevada para um material plástico. [1]

O PTFE tem uma resistência excepcional aos reagentes químicos e é insolúvel em todos os reagentes orgânicos, com excepção de alguns solventes fluoretados. O PTFE tem também propriedades mecânicas razoáveis desde temperaturas criogénicas (-200°C) até cerca de 260°. A sua resistência ao impacto é elevada, mas a resistência a tracção, ao desgaste e a fluência são baixas quando comparadas com as de outros plásticos estruturais. Podem utilizar-se materiais de enchimento, por exemplo, fibras de vidro, para aumentar a resistência mecânica. O PTFE é escorregadio e ceroso ao tacto e tem um baixo coeficiente de atrito. [1]

Aplicações: O PTFE é usado em tubagens e peças de bombas resistentes quimicamente, em isolamento de cabos de alta temperatura, componentes eléctricos moldados, fitas e revestimentos não aderentes. Os compostos de PTFE com materiais de enchimento são usados em fitas de vedação, embalagens, juntas de vedação, vedantes, anéis de vedação (O rings) e chumaceiras. [1]

4. LIGAS DE ALUMÍNIO

O alumínio possui uma combinação de propriedades que o torna um material muito útil em engenharia. O alumínio tem densidade baixa (2,70 g/cm³), sendo por isso muito utilizado em produtos manufacturados para veículos de transporte. O alumínio tem também boa resistência à corrosão na maioria dos meios naturais, devido à estabilidade do filme de óxido que se forma na sua superfície. Muito embora o alumínio puro apresente baixa resistência mecânica, as ligas de alumínio podem ter resistências até cerca de 690MPa. O alumínio não é tóxico, sendo extensivamente usado em recipientes e

embalagens para alimentos. O alumínio é usado na indústria eléctrica devido às suas propriedades eléctricas. O preço relativamente baixo do alumínio, aliado às muitas propriedades úteis, fazem com que este metal tenha grande importância industrial. [1]

4.1. Ligas de alumínio para trabalho mecânico: As ligas de alumínio para trabalho mecânico (por exemplo, chapa fina, chapa grossa, extrudido, varão e fio) são classificadas de acordo com o elemento de liga em maior quantidade. Usa-se uma designação com quatro dígitos para identificar as ligas de alumínio para trabalho mecânico. O primeiro indica o grupo de ligas que contêm elementos de liga específicos. Os dois últimos dígitos identificam a liga de alumínio ou indicam o grau de pureza do alumínio. O segundo indica modificações da liga original ou limites de impurezas. [1]

Tabela 1 – Grupos de Ligas de Alumínio para trabalho Mecânico

Alumínio, 99,00% mínimo	1xxx
Ligas de alumínio agrupadas consoante os principais elementos de liga:	
Cobre	2xxx
Manganês	3xxx
Silício	4xxx
Magnésio	5xxx
Magnésio e Silício	6xxx
Zinco	7xxx
Outros elementos	8xxx
Série Livre	9xxx

Nomenclatura dos Tratamentos Térmicos: As designações dos tratamentos térmicos das ligas de alumínio para trabalho mecânico indicam-se a seguir à designação da liga, separadas por um traço (por exemplo, 1100-0). As subdivisões de um tratamento térmico básico são indicadas por um ou mais dígitos e aparecem a seguir à letra que designa o tratamento básico (por exemplo, 1100-H14). [1]

Designações básicas dos tratamentos térmicos:

F – Tal como fabricado. Sem controlo da quantidade de encruamento (endurecimento por deformação); sem limites para as propriedades mecânicas. [1]

O – Recozimento e recristalização. Tratamento com a menor resistência mecânica e a maior ductilidade. [1]

H – Encruamento (endurecimento por deformação – ver nas secções seguintes as várias subdivisões). [1]

T – Tratamento térmico para obter estruturas estáveis para além de F e O (ver nas secções seguintes as várias subdivisões). [1]

Tipos de Ligas Encruadas:

H1 – Encruamento simples. O grau de encruamento é indicado pelo segundo dígito e varia de ¼ endurecido (H12) a totalmente endurecido (H18), que se obtém com uma redução de área de aproximadamente 75%. [1]

H2 – Encruamento e recozimento parcial. Os tratamentos variam entre ¼ endurecido e totalmente endurecido, o que se consegue por recozimento parcial de materiais deformados a frio com resistência mecânica inicial maior que a desejada. Os tratamentos são designados por H22, H24, H26 e H28. [1]

H3 – Encruamento e estabilização. Tratamentos para ligas alumínio-magnésio amaciadas por envelhecimento, que são encruadas e posteriormente aquecidas a baixa temperatura para aumentar a ductilidade e estabilizar as propriedades mecânicas. Os tratamentos são designados por H32, H34, H36 e H38. [1]

Tipos de ligas tratadas termicamente:

T1 – Envelhecimento natural. O produto é arrefecido desde a temperatura elevada a que foi enformado e envelhecimento naturalmente até um estado razoavelmente estável. [1]

T3 – Solubilização, deformação a frio e envelhecimento natural para um estado razoavelmente estável. [1]

T4 – Tratamento térmico de solubilização e envelhecimento natural para um estado razoavelmente estável. [1]

T5 – Arrefecimento desde a temperatura de enformação seguido de envelhecimento artificial. [1]

T6 – Solubilização seguida de envelhecimento artificial. [1]

T7 – Solubilização seguida de estabilização. [1]

T8 – Solubilização, deformação a frio e envelhecimento artificial. [1]

4.2. Ligas de alumínio para trabalho mecânico sem tratamento térmico: É conveniente dividir as ligas para trabalho mecânico em dois grupos: ligas para tratamento térmico (tratáveis) e ligas sem tratamento térmico (não tratáveis). As ligas de alumínio sem tratamento térmico não podem ser endurecidas por precipitação, sendo apenas endurecíveis por deformação a frio. Os três grupos principais de ligas de alumínio para trabalho mecânico sem tratamento térmico são os grupos 1xxx, 3xxx e 5xxx. [1]

Ligas 1xxx: Estas ligas têm no mínimo 99% de alumínio, sendo o ferro e o silício as principais impurezas (elementos de liga). Adiciona-se 0,12% de cobre para aumentar a resistência mecânica. A liga 1100 tem uma resistência à tracção de 90 MPa no estado recozido e é, em geral, usada em chapa fina para trabalho mecânico. [1]

Ligas 3xxx: O manganês é o principal elemento de liga deste grupo e aumenta a resistência mecânica do alumínio através do endurecimento por solução sólida. A liga mais importante deste grupo é a liga 3003, que é essencialmente a liga 1100 a que se adicionou 1,25% de manganês. A liga 3003 tem uma resistência a tracção de 110 MPa no estado recozido e é usada quando se requer uma liga de aplicabilidade geral com boa capacidade de deformação. [1]

Ligas 5xxx: O magnésio é o principal elemento de liga deste grupo e é adicionado em quantidades até 5% para promover o endurecimento por solução sólida. Uma das ligas de maior importância industrial deste grupo é a liga 5052, que contém cerca de 2,55 de magnésio e 0,2% de cromo. No estado recozido, a liga 5052 tem uma resistência à tracção de aproximadamente 193 MPa. Esta liga é também usada em chapas finas para trabalho mecânico, em particular para autocarros, camiões e aplicações navais. [1]

4.3. Ligas de alumínio para trabalho mecânico e tratamento térmico: Algumas ligas de alumínio podem ser submetidas a tratamento térmico de endurecimento por precipitação. As ligas de alumínio para trabalho mecânico e tratamento térmico dos grupos 2xxx, 6xxx e 7xxx são endurecidas por precipitação. [1]

Ligas 2xxx: O principal elemento de liga deste grupo é o cobre, mas o magnésio também é adicionado à maioria destas ligas. São também adicionadas pequenas quantidades de outros elementos. Uma das ligas mais importantes deste grupo é a liga 2024, que contém cerca de 4,5% de cobre (Cu), 1,5% Mg e 0,6% Mn. A resistência mecânica desta liga aumenta sobretudo por efeito de solução sólida e precipitação. O composto intermetálico com composição aproximadamente Al_2CuMg é o principal precipitado responsável pelo endurecimento por precipitação. A liga 2024 nas condições T6 tem uma resistência à tracção de 442 MPa, sendo usada, por exemplo, em estruturas de aviões. [1]

Ligas 6xxx: Os principais elementos de liga do grupo 6xxx são o magnésio e o silício, que se combinam para dar origem a um composto intermetálico, Mg_2Si , cuja precipitação provoca o endurecimento das ligas deste grupo. Uma das ligas mais importantes deste grupo é a liga 6061, que tem na sua composição: 1,0% Mg, 0,6% Si, 0,3% Cu e 0,2% Cr. Nas condições de tratamento térmico T6 esta liga tem uma resistência à tracção de 290 MPa e é usada em estruturas correntes. [1]

Ligas 7xxx: Os principais elementos de liga do grupo 7xxx são o zinco, o magnésio e o cobre. O zinco e o magnésio combinam-se, formando um composto intermetálico, $MgZn_2$, que é o precipitado básico responsável pelo endurecimento destas ligas quando tratadas termicamente. A solubilidade relativamente elevada do zinco e do magnésio no alumínio torna possível o aparecimento de uma grande densidade de precipitados, obtendo-se um aumento considerável de resistência mecânica. A liga 7075 é uma das mais importantes deste grupo e tem na sua composição aproximadamente 5,6% Zn, 2,5% Mg, 1,6% Cu e 0,25% Cr. A liga 7075, quando submetida ao tratamento térmico T6, tem uma resistência à tracção de 504MPa e é usada principalmente em estruturas de aviões. [1]

5. MATERIAIS EXISTENTES NO MERCADO

A informação que se refere de seguida foi retirada do catálogo do distribuidor referido. De igual forma, também os materiais apresentados foram escolhidos com base na forma como são fornecidos (dimensões, e forma).

5.1. Plásticos

Os plásticos escolhidos serão utilizados na estrutura dos elos e nos casquilhos a utilizar nos mecanismos de transmissão. Para as dimensões da estrutura do robot serão utilizadas folhas de 2 a 3mm e varões de 6 a 8mm o que, para alguns materiais disponíveis no catálogo, não é possível.

5.1.1. Poliamidas

ERTALON[®] 6 SA: Este material oferece uma ótima combinação de resistência mecânica e ao desgaste, rigidez e tenacidade. Estas características em conjunto com o facto de possuir uma boa capacidade isoladora e boa resistência química tornam este material “universal” para o fabrico de elementos mecânicos e de manutenção industrial. [2]

Características Principais: Alta resistência mecânica, rigidez, dureza, muito boa capacidade de recuperação depois de impacto, boas propriedades de isolamento, excelente resistência ao desgaste e fáceis de maquinar. [2]

Aplicações: Rodas dentadas, casquilhos, rolos, rodas, rodizos, peças de desgaste, separadores, suportes e peças estruturais. [2]

Características Técnicas:

Densidade: 1.39 g/cm³;

Resistência à tracção – escoamento/ruptura: 45 MPa;

Deformação à ruptura: 50 %;

Modulo de estabilidade: 3250 MPa. [2]

Programa de Fabrico:

Varões desde os 5mm até os 320mm;

Folhas desde 1mm até 8mm. [2]

ERTALON[®] 66 SA: Este material possui melhor resistência mecânica ao calor e ao desgaste assim como maior rigidez que o *ERTALON 6SA*. Confere também uma ótima resistência à fluência no entanto a sua resistência ao impacto e resiliência são menores.

Características Principais: Maior resistência mecânica, ao calor e ao desgaste do que o *ERTALON 6SA*, maior resistência à fluência; mais fácil maquinação e menor poder amortecedor. [2]

Aplicações: Recomendado para maquinação em tornos automáticos e para fabrico de rodas dentadas, casquilhos, rolos, rodas, rodízios, peças de desgaste, separadores, suportes e peças estruturais. [2]

Características Técnicas:

Densidade: 1.14 g/cm³;

Resistência à tracção – escoamento/ruptura: 55 MPa;

Deformação à ruptura: 40 %;

Modulo de estabilidade: 3450 MPa. [2]

Programa de Fabrico:

Varões desde os 5mm até os 250mm;

Folhas desde 2mm até 6mm. [2]

NYLATRON® GS: A adição de MoS₂ (Bisulfureto de Molibdénio) confere a esta qualidade maior rigidez, dureza e estabilidade dimensional do que o *ERTALON 66SA*, no entanto reduz ligeiramente a resistência ao impacto. A dispersão do Bisulfureto de Molibdénio na estrutura molecular resulta num maior grau de cristalização, melhorando as propriedades de deslizamento e desgaste. [2]

Características Principais: Maior rigidez, dureza e estabilidade dimensional, maior grau de cristalização, melhores propriedades de deslizamento e desgaste e menor coeficiente de atrito. [2]

Aplicações: Casquilhos, réguas de deslizamento, todas as aplicações das poliamidas onde seja necessário maior resistência ao desgaste e poder de deslizamento. [2]

Características Técnicas:

Densidade: 1.15 g/cm³;

Resistência à tracção – escoamento/ruptura: 55 MPa;

Deformação à ruptura: 20 %;

Modulo de estabilidade: 3500 MPa. [2]

Programa de Fabrico:

Varões desde os 6mm até os 50mm. [2]

5.1.2. Poliacetal

ERTACETAL® C e H: O *ERTACETAL* é um material com maior estabilidade dimensional do que as poliamidas no entanto com menor resistência ao desgaste. O *ERTACETAL C* é mais resistente às hidrolises, às soluções alcalinas fortes e à degradação por oxidação térmica do que o *ERTACETAL H*. No entanto *ERTACETAL H* possui uma maior resistência mecânica, rigidez, dureza e fluência assim como também um menor coeficiente de dilatação térmica e maior resistência ao desgaste. [2]

Características Principais: Alta resistência mecânica, alto módulo de elasticidade, boa resistência à fluência, elevada resistência ao impacto inclusive a baixas temperaturas, excelente estabilidade dimensional, boas propriedades de deslizamento e resistência ao desgaste, fácil maquinação (melhor que as poliamidas), baixa absorção de humidade, elevada resistência a químicos e fisiologicamente inerte. [2]

Aplicações: Peças de precisão, rodas dentadas de modulo pequeno, acoplamentos, luvas, elementos de válvulas, casquilhos, em geral em todo o tipo de peças onde se necessita melhor acabamento e estabilidade dimensional. [2]

Características Técnicas:

Densidade: 1.41 g/cm³;

Resistência à tracção – escoamento/ruptura: 68 MPa;

Deformação à ruptura: 35 %;

Modulo de estabilidade: 3100 MPa. [2]

Programa de Fabrico:

Varões desde os 3mm até os 320 mm;

Folhas desde 1 mm até 6mm. [2]

5.1.3. PET (Polyethylene terephthalate)

ERTALYTE®: As propriedades específicas deste PET cristalino no estado virgem fazem do *ERTALYTE* um material particularmente adaptado para peças mecânicas de precisão expostas a cargas elevadas e sujeitas a grande desgaste. [2]

Características Principais: Elevada resistência mecânica, rigidez e dureza, muito boa resistência à fluência, coeficiente de atrito baixo e uniforme, excelente resistência ao desgaste melhor do que as poliamidas, muito boa estabilidade dimensional e fisiologicamente inerte. [2]

Aplicações: Casquilhos, guias e rodízios, engrenagens de baixo módulo sem impacto, raspadores para produtos alimentares e similares, peças de precisão, peças isoladoras, próteses dentárias e componentes para bombas na indústria alimentar. [2]

Características Técnicas:

Densidade: 1.39 g/cm³;

Resistência à tracção – escoamento/ruptura: 90 MPa;

Deformação à ruptura: 15 %;

Modulo de estabilidade: 3700 MPa. [2]

Programa de Fabrico:

Varões desde os 10mm até os 210mm;

Folhas desde 2mm até 6mm. [2]

PVC – U: Este material é rígido de massa dura, sem gosto, fisiologicamente atóxico e de peso específico 1,40 g/cm³. Como todos os termoplásticos, endurece com o frio e suaviza com o calor. Por esta razão a sua resistência mecânica aumenta mesmo a baixas temperaturas, e diminui a sua resistência ao impacto. Por outro lado, quando exposto a uma temperatura superior a 40°C a sua resistência mecânica baixa aumentando a sua resistência ao impacto. De salientar que até 40°C a influencia da temperatura é quase nula. No entanto quando a temperatura se mantém entre os 40°C e os 60°C o *PVC* rígido pode ser utilizado em varias aplicações, tendo sempre em conta as pressões e cargas mecânicas que suportam são inferiores às normais. Finalmente e não menos importante, a temperaturas abaixo de 0°C, o material deve ser protegido contra os impactos. [2]

Características Principais: Material rígido, fisiologicamente atóxico, alta resistência mecânica e boa resistência ao impacto. [2]

Aplicações: Componentes e máquinas para indústria química e galvanoplastia, revestimentos antiácidos, revestimentos de depósitos, fabrico de bombas e seus elementos, tabiques, revestimento de paredes, fabrico de peças mecanizadas e torres de lavagem de gases. [2]

Características Técnicas:

Densidade: 1.50 g/cm³;

Resistência à tracção – escoamento/ruptura: > 55 MPa;

Deformação à ruptura: > 20 %;

Modulo de estabilidade: > 3100 MPa. [2]

Programa de Fabrico:

Varões desde os 3mm até os 300mm;

Folhas desde 1 mm até 40mm. [2]

PTFE Virgem: É quimicamente inerte a temperaturas e pressões elevadas, totalmente não tóxico e possui propriedades anti-aderentes insuperáveis já que o seu baixo coeficiente de atrito é o mais baixo conhecido de entre os sólidos. Conserva as suas propriedades químicas e eléctricas desde - 180°C a +260°C. Não inflamável. Nas indústrias eléctrica e electrónica tem um campo de aplicação muito amplo devido às suas excepcionais propriedades eléctricas e dieléctricas, as quais se mantêm constantes dentro de uma ampla margem de frequências e temperaturas. A sua resistência à tracção é moderada. É flexível mas não é elástico (a menor secção, maior flexibilidade e vice-versa). O alongamento antes da ruptura é muito elevado (>300%). [2]

Características Principais: Quimicamente inerte mesmo a altas temperaturas, baixo coeficiente de atrito, não inflamável, resistência à tracção moderada, é flexível mas não elástico, excelentes propriedades eléctricas e dieléctricas, resistência mecânica moderada podendo ser melhorado com aditivos e colagem difícil. [2]

Aplicações: Revestimentos químicos e eléctricos, vedantes e sedes de válvulas, elementos estanques, guias, peças para maquinaria alimentar, casquilhos com pequenas cargas e altas temperaturas. [2]

Características Técnicas:

Densidade: 2,14 - 2,18 g/cm³;

Resistência à tracção – escoamento/ruptura: 25 - 42 MPa;

Deformação à ruptura: 250 a 400 %;

Modulo de estabilidade: 400 - 800 MPa. [2]

Programa de Fabrico:

Varões desde os 4mm até os 205 mm;

Folhas desde 0,25mm até 30mm. [2]

5.2. Ligas de Alumínio

As ligas de alumínio serão utilizadas nos mecanismos de transmissão de movimento.

LIGA 2017 (Al Cu Mg 1): Trata-se de ligas que apresentam uma resistência mecânica muito alta, resistência à corrosão moderada, conformação média, pouco soldável, boa maquinação. [2]

Aplicações: Moldes para estampagem de calçado, peças de máquinas e veículos submetidas a elevadas tensões, peças forjadas de grande resistência. [2]

Características Técnicas:

Densidade: 2.70 g/cm³;

Resistência à ruptura: 200 a 390 MPa (consoante o tratamento);

Limite elástico Rp 0,2: 100 a 245 MPa (consoante o tratamento);

Modulo de estabilidade: 74000 MPa. [2]

LIGA 5083 (Al Mg 4.5 Mn): Trata-se de ligas que apresentam uma alta resistência mecânica, alta resistência à corrosão em especial à água do mar, fácil soldadura e boa maquinação. [2]

Aplicações: Construções soldadas de alta resistência para veículos e máquinas, aplicações na construção naval, recipientes sob pressão a baixas temperaturas, moldes para fundição, moldes para termoconformação, moldes para indústria de borracha, moldes para a indústria do calçado, moldes de vácuo e moldes e matrizes para industria em geral. [2]

Características Técnicas:

Densidade: 2.70 g/cm³;

Resistência à ruptura: 300 a 370 MPa (consoante o tratamento);

Limite elástico Rp 0,2: 140 a 285 MPa (consoante o tratamento);

Modulo de estabilidade: 71000 MPa. [2]

LIGA 7075 (Al Zn Mg Cu 1,5): Trata-se de ligas que apresentam uma muito alta resistência mecânica, resistência média à corrosão, boa resistência à abrasão, e liga com

características mais elevadas dentro dos alumínio o que permite a sua utilização em aplicações até agora reservada aos aços. [2]

Aplicações: Indústria automóvel, parafusaria, estampagem, moldes de vácuo, armamento e bastões de *ski*. [2]

Características Técnicas:

Densidade: 2.80 g/cm³;

Resistência à ruptura: 540 MPa (com tratamento de tempera e envelhecimento natural);

Limite elástico Rp 0,2: 480 MPa (com tratamento de tempera e envelhecimento natural);

Modulo de estabilidade: 72000 MPa. [2]

LIGA ALUMEC 79 E 89: Liga com características mais elevadas dentro dos alumínio o que permite a sua utilização em aplicações até agora reservada aos aços, boa maquinação, e boa resistência a abrasão. [2]

Aplicações: Matrizes para injeção, matrizes para injeção de plásticos, moldes para a indústria da borracha e do calçado, moldes para extrusão do plástico, moldes para injeção de espuma de polietileno e moldes para fundição por cera perdida. [2]

Características Técnicas da Liga ALUMEC 79:

Densidade: 2.80 g/cm³;

Resistência à ruptura: 400 - 450 MPa (com tratamento de tempera e envelhecimento artificial);

Limite elástico Rp 0,2: 390 - 450 MPa (com tratamento de tempera e envelhecimento artificial);

Modulo de estabilidade: 72000 MPa. [2]

Características Técnicas da Liga ALUMEC 89:

Densidade: 2.83 g/cm³;

Resistência à ruptura: 545 - 600 MPa (com tratamento de tempera e envelhecimento artificial);

Limite elástico Rp 0,2: 495 - 530 MPa (com tratamento de tempera e envelhecimento artificial);

Modulo de estabilidade: 72000 MPa. [2]

LIGA 2030 (Al Cu Mg Pb): Apesar das suas altas características mecânicas este material pode ser trabalhado com facilidade. Utilizado em barras, anilhas, garras, peças que precisam de altas características mecânicas com responsabilidade como cilindros e pistões hidráulicos. [2]

Aplicações: Perfis para carpintaria metálica, ferragens, cadeiras e em geral onde se necessite uma aplicação decorativa. [2]

Características Técnicas:

Densidade: 2.80 g/cm³;

Resistência à ruptura: 450 MPa (endurecido por deformação a frio e envelhecimento natural);

Limite elástico Rp 0,2: 390 MPa (endurecido por deformação a frio e envelhecimento natural);

Modulo de estabilidade: 73000 MPa. [2]

6. CONCLUSÃO

Após diversas análises realizadas, na tentativa de otimizar os materiais apresentados para as restrições que explicitámos na introdução (materiais resistentes, leves, e baratos), optámos pela utilização de vários materiais nos diferentes componentes do robot humanóide.

Para as placas da estrutura do elo, optamos pela liga *ERTALYTE*, particularmente pela necessidade de diminuir o peso do robot e atendendo ao facto de que entre os materiais disponíveis, este será aquele que apresenta uma melhor relação resistência – densidade. É ainda de referir a sua fácil maquinação, característica que nos será útil na parte de montagem e redução do peso, através da eliminação de material que não esteja a ser utilizado.

Para os casquilhos optamos pela utilização da liga *NYLATRON[®] GS* ou pelo *PTFE Virgem*, devido a serem materiais recomendados para casquilhos, que apresentam um muito baixo coeficiente de atrito e cuja maquinabilidade é elevada.

Finalmente, para os mecanismos de transmissão, engrenagens, veios, veios estriados, chavetas e peças de ligação será utilizada a liga de alumínio, *ALUMEC 89*, devido

principalmente às suas propriedades mecânicas que a assemelham a um aço, mas com um peso específico muito inferior.

Tabela 2 – Resumo das decisões tomadas na escolha dos materiais.

	<u>Estrutura</u>	<u>Casquilhos</u>		<u>Mecanismos</u>
<u>Materiais Escolhidos</u>	ERTALYTE [®]	NYLATRON [®] GS	PTFE Virgem	ALUMEC 89
Densidade	1.39g/cm ³	1.15g/cm ³	2,14-2,18g/cm ³	2.83g/cm ³
Resistência à ruptura	90 MPa	55MPa	25 - 42MPa	545-600MPa

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] – Oliveira, Filipe. 2002. Apontamentos de Materiais de Construção Mecânica. Departamento de Engenharia Cerâmica e Vidro. Universidade de Aveiro.
- [2] – Lanema. 2003. Catálogo técnico da Lanema.