

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AUXILIAR O DIMENSIONAMENTO DE BRAÇO ROBÓTICO

Henrique Prado Santos, henriquepradosantos@gmail.com¹
André Luiz de Moraes Costa, andre.costa@ufs.br¹

¹Núcleo de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe.
Av. Marechal Rondon s/n, CEP 49100-000, São Cristóvão, Sergipe.

Resumo: Este trabalho consiste no desenvolvimento de uma ferramenta computacional de apoio ao projeto de um braço robótico, chamada de “Ferramenta para Dimensionamento de Braço Robótico – Versão 1”, ou FDBR-V1. O processo seguiu a metodologia de projetos proposta por R. Norton. O braço escolhido para a primeira versão da ferramenta foi o tipo SCARA – Selective Compliance Assembly Robotic Arm – que possui 3 graus de liberdade para a construção do seu volume de trabalho e tem muita aplicação no transporte de cargas. A ferramenta foi construída sobre a plataforma computacional EES – Engineering Equation Solver. A rotina de cálculos necessária para os estudos físicos foi elaborada na janela de edição de equações do EES com base na simulação do máximo deslocamento possível para o manipulador. As informações de entrada e de saída necessárias para o dimensionamento do braço robótico foram organizadas na janela Diagram do EES. Os resultados fornecidos pela FDBR-V1 foram satisfatórios. O software é capaz de gerar as dimensões dos elos, as forças e os momentos nas juntas, os torques e velocidades máximas dos servo-motores, entre outras variáveis cruciais de projeto e mostrá-las numa tela que compila todas essas informações chamada “Relatório de Projeto”, acelerando assim o projeto do manipulador tipo SCARA.

Palavras-chave: manipulador robótico, SCARA, projeto assistido por computador

1. INTRODUÇÃO

A grande motivação de se implementar a automação programável, na qual a robótica industrial está inserida, é proporcionar à indústria a capacidade de produzir uma variedade de produtos e ainda poder modificar a sua configuração de layout de fábrica. Para exemplificar isso, através da robótica industrial, contida na automação programável, pode-se experimentar diversos tipos de layouts de produção para otimizar a construção dos diversos produtos de uma fábrica de peças de carro, por exemplo. Em outras palavras, existe uma certa liberdade no momento do posicionamento das máquinas programáveis numa linha de produção, justamente porque elas são reprogramáveis e seguem especificações inspiradas na capacidade de se adaptar a novas situações na produção. Logo a robótica industrial foi tomando corpo por ser capaz possuir máquinas capazes dessa adaptação.

A finalidade da robótica está em executar, de maneira fácil e rápida, tarefas que o homem tem dificuldade de realizar. Isso reduz perdas na produção por paradas indesejadas, defeitos nos produtos, acidentes etc. A Fig. 1 mostra a crescente instalação de robôs industriais ao redor do mundo desde 1993. No campo da robótica reunimos vários tipos e configurações para os manipuladores. Algumas empresas dominaram esse mercado promissor e hoje detêm a maior parte dos projetos de manipuladores.

Em contra partida, percebe-se que esses projetos são hoje limitados ou não tem flexibilidade para a variedade de serviços industriais, mas, mesmo assim, as empresas estão limitadas a escolha de robôs manipuladores que estão nas “vitrines” dos grandes fabricantes de robôs industriais, como podemos encontrar nas homepages das empresas KUKA ou ABB (KUKA, 2011) (ABB, 2011). Desta forma, é importante para o engenheiro da indústria ter acesso a parâmetros de projeto para selecionar o melhor robô no mercado ou mesmo negociar a fabricação de um robô sob encomenda.

Motivado por isso, esse trabalho tem como objetivo a criação de uma ferramenta computacional para auxiliar o projeto mecânico de um manipulador robótico. Para isso, foi utilizada uma metodologia de projeto para definir a ferramenta e o manipulador, e desenvolvida uma rotina de cálculos para estudar o braço em movimento. A foi desenvolvida utilizando um software comercial de fácil acesso para a comunidade de engenharia.

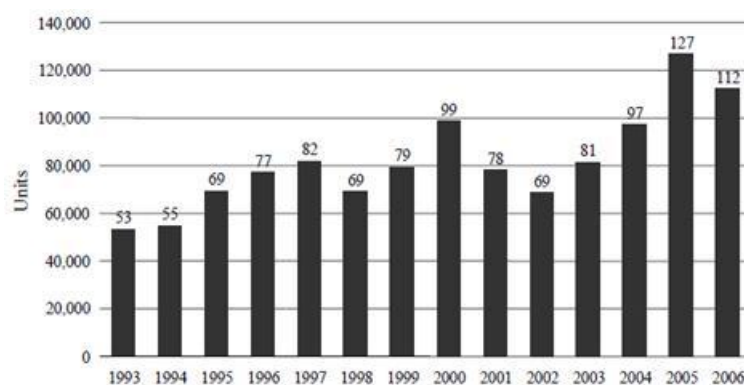


Figura 1. Instalações anuais de robôs industriais no planeta. (Siciliano et al, 2008)

2. METODOLOGIA

Como esse trabalho tratou da criação de um produto, pôde-se fazer uso de uma metodologia de projetos para, ao adotar etapas, auxiliar na elaboração desse produto. Além disso, para construir a ferramenta de maneira prática utilizou-se um software comercial de engenharia que suporta rotina de cálculos e é capaz de gerar outros softwares dependentes (Santos, 2011).

2.1. Metodologia de projetos

A metodologia de projetos adotada foi a de Norton (2007), que possui 10 etapas:

- 1) Identificação das necessidades: o problema é exposto e ainda não é definido.
- 2) Pesquisa de suporte: para definir os objetivos do projeto faz-se um levantamento de informações. Assim o problema se torna mais definido e compreensível.
- 3) Definição dos objetivos: a partir da pesquisa de suporte é possível estabelecer os objetivos do projeto. Agora os objetivos estão mais claros do que na primeira etapa.
- 4) Especificações de tarefas: nesta etapa compilam-se tarefas específicas a serem realizadas para fechar o problema, limitando-o.
- 5) Síntese ou Concepção e Invenção: nesta etapa é exposto o máximo de soluções criativas do problema. Usa-se métodos como *brainstorm* onde não se avalia o valor e a qualidade das ideias.
- 6) Análise: todas as soluções são analisadas podendo ser aceitas, rejeitadas ou até modificadas.
- 7) Seleção: a solução mais eficiente é escolhida nessa etapa.
- 8) Projeto detalhado: nesta etapa realizam-se todos os cálculos e desenhos de detalhes e do conjunto, com as especificações todas definidas, para serem entregues aos fabricantes e fornecedores das peças necessárias.
- 9) Protótipo e teste: uma primeira construção do produto idealizado é feita nessa etapa e também é testada.
- 10) Produção: devidamente testado, o produto é finalmente construído em quantidade.

Para a ferramenta computacional seguiu-se as etapas até a construção e teste do protótipo, chamado de FDBR-V1, ou seja, Ferramenta para o Dimensionamento de Braço Robótico. Já para o manipulador (a ser projetado pela ferramenta), foram seguidas somente as primeiras etapas, ou seja, a identificação das necessidades, a pesquisa de suporte, definição dos objetivos, especificações de tarefas, terminando com uma primeira síntese e análise do manipulador. Os cálculos inseridos na ferramenta serão aqueles da análise do sistema mecânico do robô. Assim o projetista que utilizar essa ferramenta é transportado diretamente para a etapa de dimensionamento das partes do braço, sabendo já o seu porte, as cargas nas juntas, etc.

Na Figura 2 encontra-se um fluxograma com a lógica da análise feita no programa. O cliente precisa entrar com os *inputs* exigidos em termos de carga a ser transportada, pontos de carregamento e descarregamento e tempo máximo para esse deslocamento. Assim o programa calcula as dimensões principais dos braços e precisa ser implementado com a estratégia de trajetória (daqui para frente as implementações de valores são feitas pelo projetista). Tal escolha guia o programa para calcular a expressão do tempo em função do deslocamento e das acelerações geradas. Nesse momento, uma tabela de tempo em função do deslocamento é gerada. Calcula-se as velocidades e acelerações dos elos a partir das equações de movimento das juntas e elos. Na próxima etapa o projetista introduz certos valores de entrada (dimensões secundárias, por exemplo) para o programa calcular os torques e as forças em função também da carga escolhida a ser transportada. Depois são calculadas as potências requeridas pelos motores, as velocidades angulares máximas e o consumo de energia. Por fim é gerado um relatório de projeto onde estão compiladas as informações necessárias para seguir em frente em termos de especificações para o manipulador. Entende-se que para se obter as informações necessárias e enviar o projetista direto à etapa de dimensionamento da máquina, é preciso que o cliente comunique suas exigências e que o projetista faça várias interações até que, ao analisar os valores de saída, ele visualize a melhor e mais viável interação para prosseguir o dimensionamento.

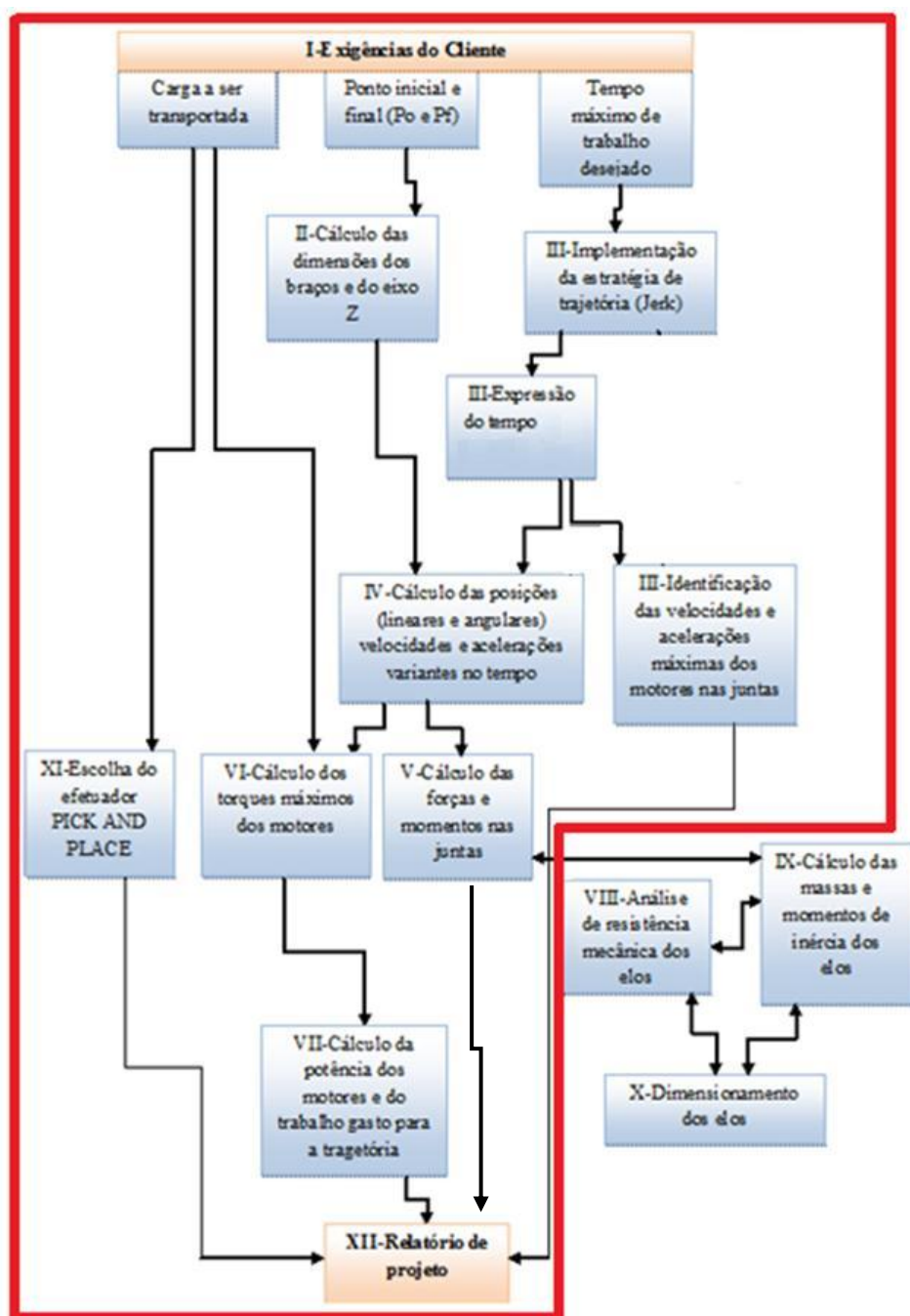


Figura 2. Fluxograma de Cálculos

2.2. Material Utilizado

O computador utilizado para a criação da ferramenta em questão tem as seguintes características:

- Fabricante: ACER
- Modelo: Aspire 7741
- Avaliação: 5,0 (Índice de desempenho Windows)
- Processador: Intel(R) Pentium(R) CPU P6000 @1,87 GHz
- Memória RAM: 4 Gigabytes
- Tipo do sistema: Sistema de exploração 64 bits
- Sistema operacional: Windows 7 edição prêmio

Os programas do pacote Office da Microsoft: Microsoft Word e Excel, também foram utilizados. O software de engenharia utilizado para a criação da ferramenta e para a elaboração dos cálculos foi o *Engineering Equation Solver – EES* (2010). Esse programa possui dois editores importantes para esse trabalho: editor de cálculos e o editor de interface

(Diagram Window). Esse último permite organizar a lógica da análise do robô através de janelas. É nelas onde o projetista poderá interagir com o programa, visualizando o manipulador através das variáveis de saída.

3. PROJETO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL – PARTE 1

Uma ferramenta computacional é um sistema especialista que é de grande utilidade para projetistas de produtos, por exemplo. Nessa seção, as etapas de projeto descritas na seção 2.1 são seguidas passo a passo a fim de se conceber a ferramenta computacional e testá-la.

Identificação das necessidades: nesse momento foi necessário fazer todas as perguntas possíveis para se começar a ter uma ideia da ferramenta e de suas necessidades iniciais: Quais são as necessidades inerentes a uma ferramenta computacional para que ela funcione? Quais são as funções ou potencialidades que deve ter uma ferramenta computacional? Quem vai utilizar a ferramenta? Etc. As respostas a essas perguntas levaram a identificação de características como: interface com o usuário, modo de interação usuário/software, tipo de processamento de dados e informações, propriedades visuais, qualidade de utilização e, em alguns casos, geração de gráficos, relatórios etc. Em geral, os softwares de engenharia mais comuns (CAD/CAE, catálogos eletrônicos, softwares de cálculo e estatística, etc.) possuem várias dessas características.

Pesquisa de suporte: nessa etapa definiu-se cada necessidade e encontraram-se exemplos para cada uma delas. As interfaces existentes são as de linha de comando e as gráficas. Dessas últimas, pode-se citar as interfaces de programas de modelagem como SolidWorks e AutoCad. O processamento de dados fará com que o software possa resolver as equações e trabalhar para disponibilizar o resultado. Isso geralmente é feito através do botão “Solve”. Quanto às propriedades visuais e à qualidade de utilização, são elas que deixam, ou não, o programa mais prático ou mais atrativo. Por fim, depois de uma avaliação com base em praticidade de uso, simplicidade visual, troca de informações numéricas e capacidade de geração de gráficos, observou-se que um catálogo eletrônico para seleção de equipamentos, Fig. 3, é a ferramenta computacional que mais se aproxima da finalidade da ferramenta desenvolvida nesse trabalho.

Objetivos do produto: através de dados iniciais, chamados de exigências do cliente, a ferramenta deve ser capaz de fornecer informações relevantes para o dimensionamento do braço robótico, e fazer isso de maneira simples e rápida, e que permita interações de valores por meio de uma interface gráfica inspirada em um catálogo como verificado na pesquisa de suporte.

Especificações de tarefas: a fim de se criar da ferramenta é preciso primeiro saber qual tipo de manipulador será analisado, depois é preciso construir a rotina de cálculos para isso e assim, baseada nessa programação, editar a interface de interação com o usuário (cliente e projetista) e testar a ferramenta. Desta forma, as tarefas foram definidas como: projeto de um manipulador robótico seguindo a mesma metodologia de projeto até a etapa de criação; edição da rotina de cálculos, construção de um protótipo da ferramenta no ambiente de criação Diagram Window do EES e teste da ferramenta.

Figura 3. Exemplo de catálogo eletrônico (Hidrovector, 2011)

4. PROJETO DO BRAÇO ROBÓTICO

A fim de executar as tarefas referentes ao projeto da ferramenta, foi preciso definir qual tipo de manipulador será analisado nos cálculos. Assim, foram listadas todas as necessidades inerentes a um manipulador segundo perguntas-chave: Quantos graus de liberdade são requeridos? Qual a aplicação do manipulador? Qual a carga no efetuador? Quais são suas posições inicial e final? Qual o tempo máximo de execução da tarefa? Qual o custo do manipulador? Ele será movido como? Como simular o manipulador no software? Essas necessidades definiram mais tarde, entre outros quesitos, o tipo e a configuração do manipulador. Foi realizada uma pesquisa de suporte com o objetivo de delimitar ainda mais as opções de configuração, aplicação e deslocamento. Por fim, cada especificação foi determinada

obedecendo aos critérios de facilidade de construção, demanda de aplicação, menor custo, menor massa, menor complexidade de fabricação, e melhor adequação à aplicação. A Tabela 1 relaciona as necessidades (respostas às perguntas-chave) com suas respectivas especificações. Aquelas que têm como especificação um hífen se transformaram em entradas do programa. Precisou-se criar uma necessidade chamada deslocamento para identificar a forma de simulação do manipulador no programa. Quanto ao custo, foi dada à etapa de criação (síntese) do manipulador a responsabilidade de manter um custo razoável baseado nos critérios das dimensões do robô, da potência dos motores atuadores, de montagem, de fabricação, entre outros.

Tabela 1. Necessidades e Objetivos do manipulador

<i>Necessidades</i>	<i>Especificações de projeto</i>
Tipo de manipulador	SCARA (GDL do braço = 3)
Tempo de trabalho	-
Posições iniciais e finais	- / (Rotação dos eixos 180° e 360)
Alcance / Volume de trabalho	-
Velocidade máxima	-
Aplicações (Efetuador)	<i>Pick and Place</i>
Deslocamento (simulação)	Máximo – condição crítica
Custo de massa, montagem, fabricação etc	Etapa de criação
Carga a ser transportada	-
Fonte de energia dos atuadores	Motores elétricos e motor hidráulico se necessário

4.1. Síntese

Como observado, o braço escolhido foi do tipo SCARA. Para esta ocasião, a configuração de elos e juntas obedece ao desenho da Fig. 4, onde é possível também visualizar o sistema de coordenadas adotado. Em forma de diagramas cinemáticos (Chevalier, 2004), tem-se uma junta linear conectada ao solo (C), duas juntas rotativas em seguida (A e B), um pulso (não estudado nesse trabalho por não possuir relevância na análise dos movimentos dos braços) e uma garra com “n” dedos como órgão terminal. Os elos foram nomeados de 0 a 3 a partir do solo.

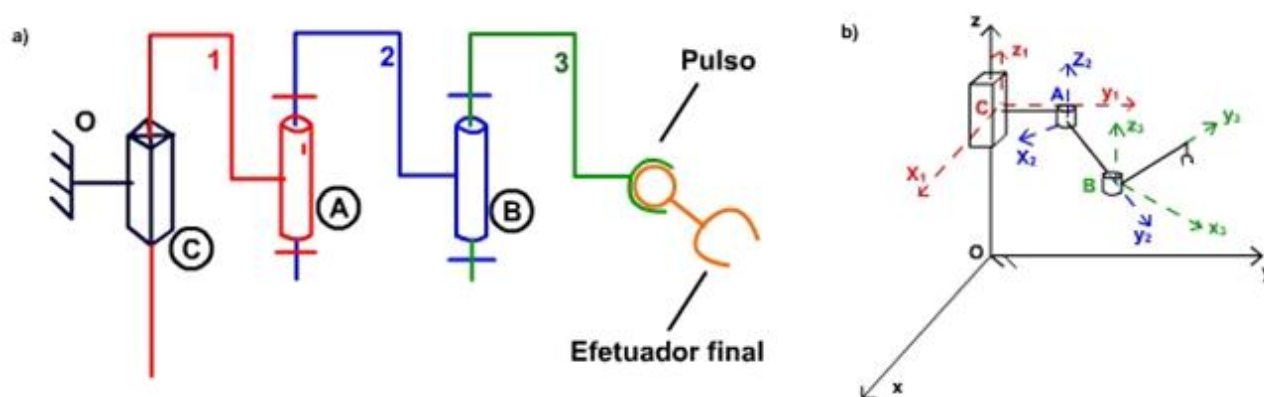


Figura 4. Representação esquemática: a) Configuração escolhida do robô SCARA, b) Nomenclatura das coordenadas das partes do robô.

4.2. Análise

O estudo cinemático e dinâmico do braço SCARA se deu em dois ramos, o movimento linear da junta C e o movimento rotativo das juntas A e B. As equações foram implementadas no programa na forma geral, não necessitando estudar o deslocamento dos elos. Os movimentos rotativos foram estudados a partir do modelo da Fig. 5 que, nesse caso, leva em consideração a origem no ponto da junta A e dois elos n e n-1 em série. Os movimentos lineares, por sua vez, foram estudados com a origem no solo (elo 0). Baseando-se nas equações das acelerações angulares das juntas rotativas e da aceleração da junta linear, foi possível obter a curva temporal da posição através das Eq. 1 e 2 onde θ é o deslocamento angular, $\ddot{\theta}$ é a aceleração angular, S é o deslocamento linear, A é aceleração linear, e t_o e t_f são o tempo inicial e final de operação.

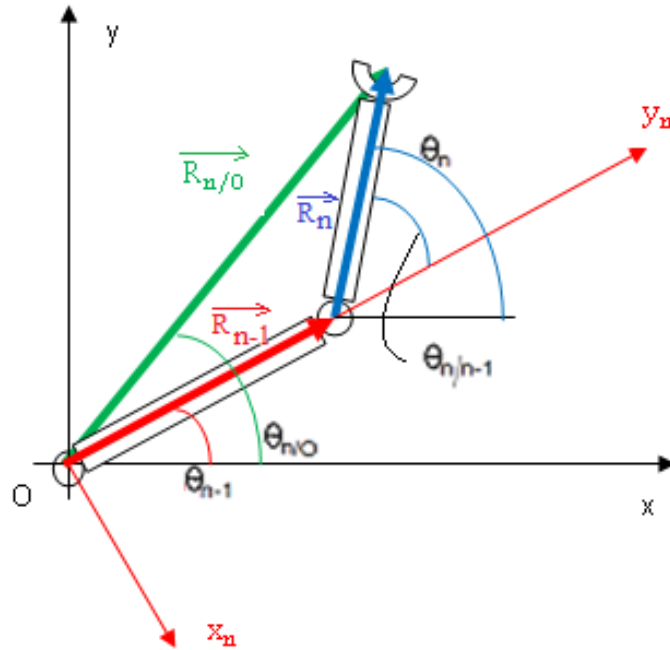


Figura 5. Identificação dos vetores posição dos elos e seus ângulos num braço bidimensionais.

$$\theta = \int_{t_o}^{t_f} \int_{t_o}^{t_f} \ddot{\theta} dt dt \quad (1)$$

$$S = \int_{t_o}^{t_f} \int_{t_o}^{t_f} A dt dt \quad (2)$$

As acelerações e velocidades lineares máximas e as posições cartesianas das juntas e do efetuador durante o deslocamento dado são expressas por:

$$\vec{A} = A_x \cdot \vec{i} + A_y \cdot \vec{j} \quad (3)$$

$$\vec{V} = V_x \cdot \vec{i} + V_y \cdot \vec{j} \quad (4)$$

$$\vec{R} = R_x \cdot \vec{i} + R_y \cdot \vec{j} \quad (5)$$

As posições R_x e R_y e as acelerações A_x e A_y são obtidas manipulando-se as equações das coordenadas polares e cartesianas.

Através das acelerações obtidas pelas Eq. 1 e 2 foi possível então analisar o problema dinamicamente. Para isso foi usado o conceito de suavização da derivada da aceleração, e o deslocamento foi considerado o máximo possível, como determinado na Tabela 1, a fim de simular o robô na condição crítica de trabalho. Também chamada *jerk*, a derivada da aceleração adotada teve como princípio o do deslocamento linear. Assim a função da aceleração, que depende do tempo de execução da tarefa do robô e dos pontos inicial e final do deslocamento máximo do robô, obedeceu a forma de uma senóide (Eq. 6). Essa função aceleração foi considerada suave e ótima para o caso em análise (Norton, 1999). A Fig. 6 mostra o deslocamento máximo para o tipo de robô SCARA.

$$A = A_{max} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{\Delta t_{total}}\right) \quad (6)$$

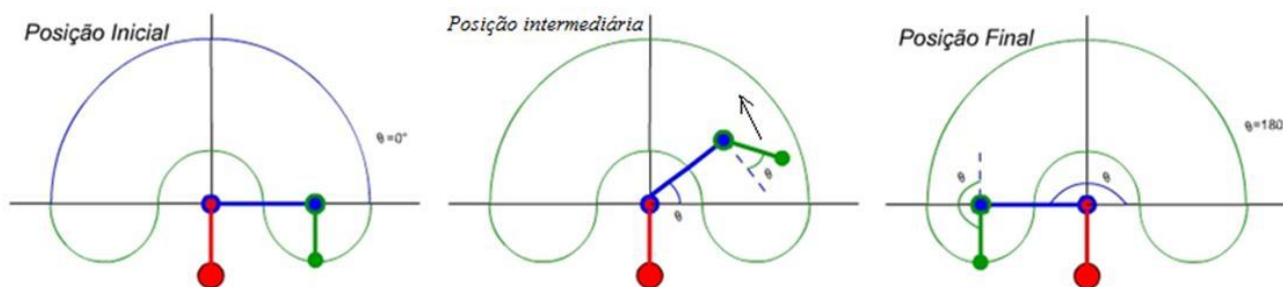


Figura 6. Posição inicial, intermediária e final do máximo deslocamento para o robô tipo SCARA em vista superior.

Além do cálculo das forças e momentos nas juntas (análise dinâmica), realizado para cada elo com base na concepção solução representado pelo esboço do sistema, Fig. 7, outras variáveis de projeto também foram calculadas, como a potência necessária para os motores, a energia gasta por hora com o deslocamento máximo e o custo dessa energia. A força necessária de agarramento do efetuador, a deflexão dos braços, o fator de segurança do parafuso de potência responsável pelo movimento linear vertical da junta C, entre outras variáveis, também foram incluídas no cálculo. Todos os valores e especificações essenciais de projeto devem ser listados organizadamente em um relatório de cálculo que, na ferramenta em questão, foi chamado de “Relatório de Projeto”.

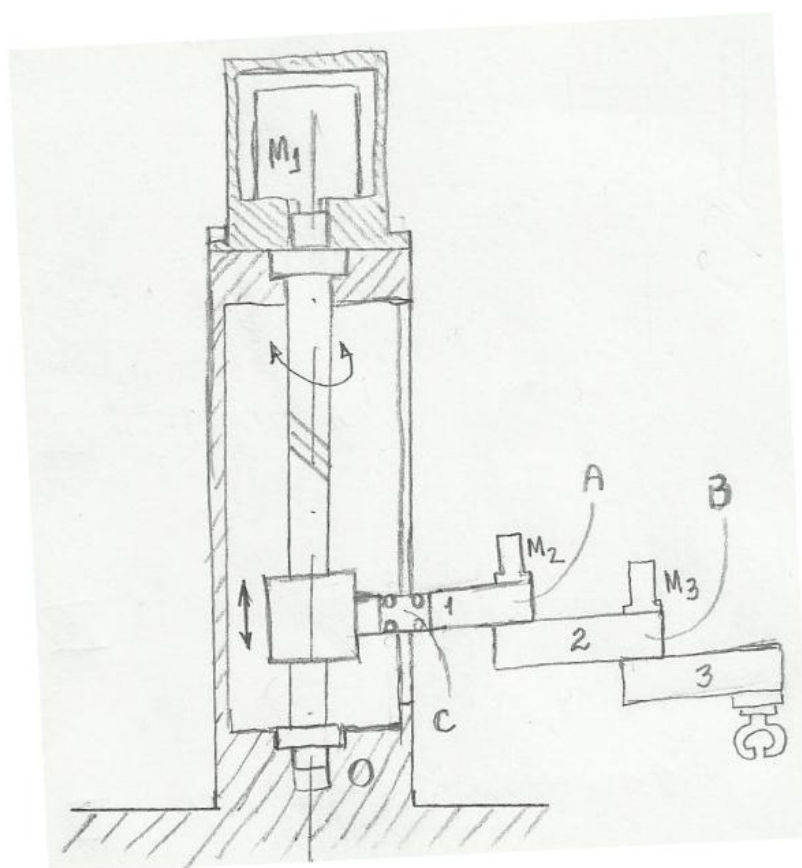


Figura 7. Rascunho para estudo do sistema mecânico do robô.

5. PROJETO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL – PARTE 2

Por se tratar de um software, é possível criar a interface, analisá-la e salvá-la no computador. Assim várias versões foram geradas de maneira prática e logo se escolheu a melhor versão para a ferramenta, ocorrendo assim uma união entre as etapas de Síntese e Análise de projeto (seção 2.1). Essa versão consiste de uma tela principal com seis botões de navegação (Fig. 8). Ao clicar no primeiro botão, o cliente pode inserir os valores de sua exigência para o braço: carga a ser transportada, posições inicial e final efetivas e tempo mínimo de execução. Ao retornar à tela principal, pode-se visualizar quatro botões: Zona de trabalho (variáveis ligadas às dimensões do manipulador), Cinemática (variáveis ligadas ao comportamento cinemático do manipulador no deslocamento dado), Dinâmica (Variáveis como forças e momentos nas juntas e elos, torque e velocidade dos exigidos para os motores etc) e Estudo Energético (Variáveis

ligadas ao consumo de energia, potência etc). Nessas telas o projetista pode interagir com o programa até encontrar o conjunto de valores mais viável para começar o dimensionamento. Tais valores podem ser encontrados então ao se clicar no último botão: o Relatório de Projeto. A versão final do software criado foi nomeada FDBR-V1, ou, “Ferramenta para o Dimensionamento de Braço Robótico – Versão 1”.



Figura 8. Janela de entrada da versão final da FDBR-V1.

5.1. Teste

O teste da ferramenta foi feito segundo as exigências de um cliente imaginário que precisa transportar caixas de biscoito de uma esteira a outra em sua fábrica. As exigências estão listadas na Tabela 2.

Além dessas especificações, um projetista imaginário completou as outras variáveis de entrada do programa com valores viáveis. Ao clicar em “Solve”, observamos que o programa resolve a tabela paramétrica principal em 31,5 segundos.

Tabela 2. Exigências de um cliente imaginário para teste da ferramenta

<i>Exigências do cliente</i>	<i>Outras considerações</i>	<i>Valor</i>
Posição inicial da carga (ponto de interceptação da garra)	Coordenada x	-1000 [mm]
	Coordenada y	500 [mm]
	Coordenada z	100 [mm]
Posição final da carga (ponto de relaxamento da garra)	Coordenada x	1000 [mm]
	Coordenada y	0
	Coordenada z	0
Tempo mínimo de trabalho	-	1 [s]
Massa da carga a ser transportada	-	5 [kg]

5.2. Resultados

- Tela “Zona de Trabalho”: Nessa tela, observada na Fig. 9, um esquema do manipulador é mostrado com o resultado das dimensões principais de cada elo. As relações importantes vistas na figura são a razão entre os braços e uma porcentagem, chamada “margem”, para se aumentar os comprimentos dos elos com o objetivo não haver dificuldades ao alcançar as posições inicial e final que o cliente exigiu. Percebe-se que manipulador terá um alcance de 1.230 mm e uma altura de 110 mm, formando um volume de controle de 0.392 m³. O tamanho do elo 1 é de responsabilidade do projetista e também é mostrado na tela, podendo ser editado.
- Tela “Cinemática”: Visualizada na Fig. 10, a tela “Cinemática” mostra, além dos gráficos das funções temporais do *jerk*, da aceleração, da velocidade e da posição, os níveis máximos de velocidade e aceleração angulares das juntas (1 rad/s e 3,1 rad/s²) e do parafuso (31,4 rad/s e 98,9 rad/s²). O nível de *jerk* máximo foi de 19,7 rad/s³ para as juntas e -628,3 rad/s³ para o parafuso. Tais valores podem ser usados para estudos de

suavidade de movimento (influência da inércia) e vibração. O zoom observado na figura possibilita uma melhor compreensão dos valores na tela.

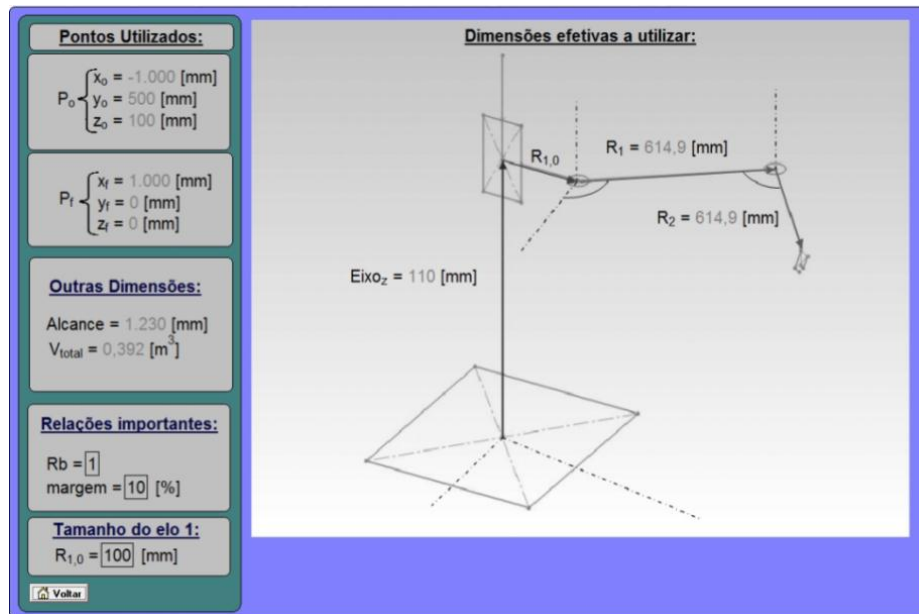


Figura 9. Resultado da janela "Zona de Trabalho" para o pedido do cliente.

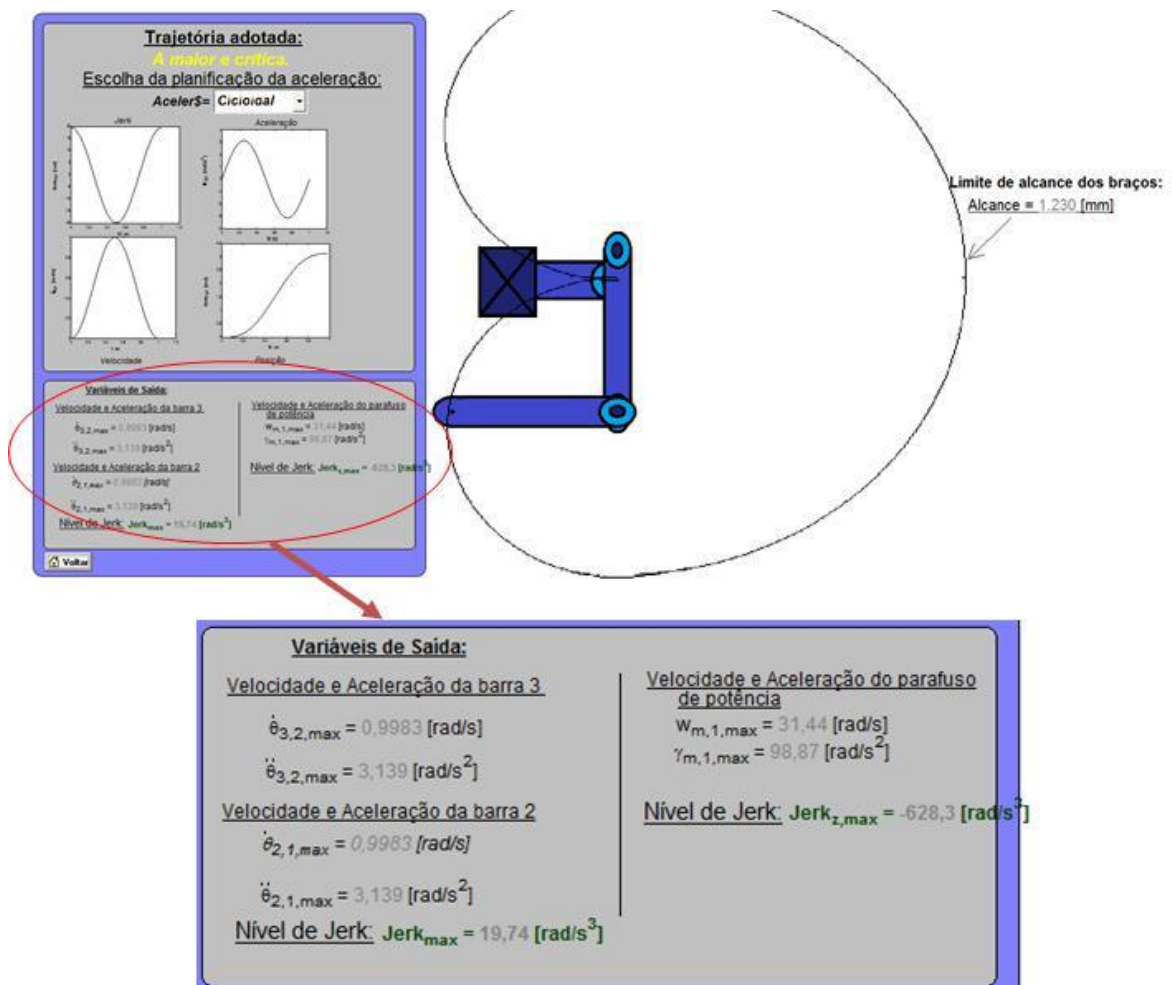


Figura 10. Resultado da janela "Cinematica" para o pedido do cliente.

- Tela “Dinâmica”: Várias propriedades importantes do sistema mecânico são mostradas nessa tela como os gráficos do torque de cada motor presente (Fig. 11). Além desses gráficos, na tela em questão, encontram-se os gráficos das forças e momentos em todas as juntas, assim como suas velocidades máximas entre outras variáveis fatores cruciais para estudar a resistência mecânica dos componentes do robô. Dentre essas variáveis pode-se ressaltar a deflexão dos elos dos braços cujo valor é 0,8 mm e a força de agarramento necessária para a garra: 124 N (caso ela possua dois dedos).
- Tela “Estudo Energético”: Nessa tela, como vista na Fig. 12, pode-se verificar os valores médios necessários de potência dos motores (8626, 212 e 65,4 W), o consumo de energia para cada motor e o consumo energético total (2460 Wh) e, por fim, o custo por hora dessa energia consumida caso o manipulador realize o deslocamento crítico constantemente (R\$ 0,76). Tal custo foi calculado para uma região onde o kWh vale R\$ 0,31.

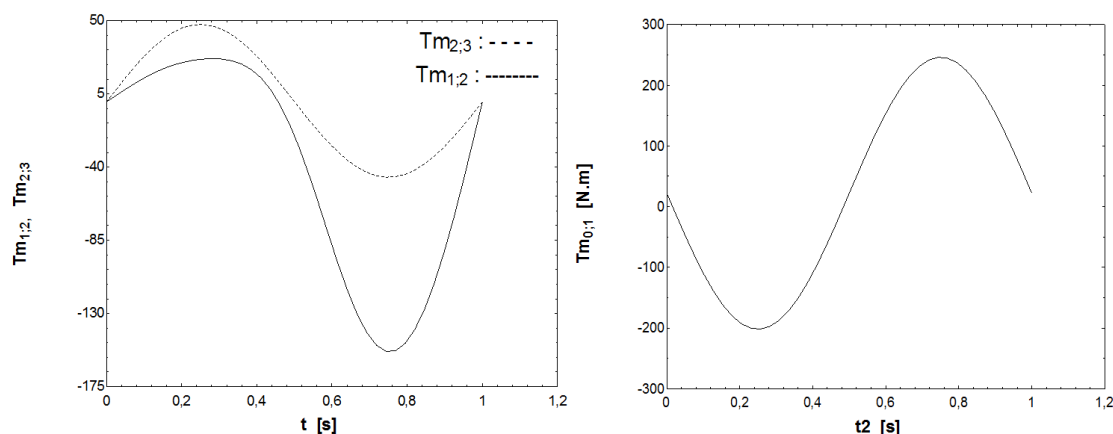


Figura 11. Gráficos dos torques dos motores 1, 2 e 3.



Figura 12. Resultado da janela "Estudo Energético" para o pedido do cliente.

- Tela “Relatório de Projeto”: Nessa tela, completamente representada pela Fig. 13, o projetista tem à sua disposição todas as informações das outras telas compiladas e organizadas. A velocidade máxima do efetuador e o peso total do robô são especificações acrescentadas somente nessa tela. Na camada superior, encontra-se as especificações técnicas gerais do robô, como: peso, velocidade máxima, alcance etc. Nas camadas internas, encontram-se dados sobre as solicitações nas juntas que vão ajudar o projetista a projetar concepções resistentes para as juntas e elos. Ainda nas camadas internas, encontramos, na terceira camada, as especificações dos motores, onde estão compiladas as exigências de potência exigida, torque máximo e velocidade máxima para cada motor. Mais abaixo, na quarta camada, encontram-se as exigências para o efetuador: número de garras, força de agarramento, massa do efetuador e seu comprimento. E por fim, na última camada, está à disposição do cliente e do projetista a informação sobre o custo de consumo de energia elétrica de uso do robô por hora.

A ferramenta ainda mostra a variação das forças radiais e verticais em cada junta.

RELATORIO DE PROJETO

Especificações técnicas do robô

Alcance dos braços: Alcance = 1.230 [mm] Volume de trabalho: $V_{\text{total}} = 0,392 \text{ [m}^3\text{]}$ Velocidade máxima: $V_{\text{max}} = 1,228 \text{ [mm/s]}$
 Alcance máximo no eixo Z: Eixo_z = 110 [mm] Massa da carga: $m_{\text{carga}} = 5 \text{ [kg]}$ Trabalho gasto (máximo): $U_{\text{total}} = 2,460 \text{ [Wh]}$
 Razão entre os braços: $R_b = 1$ Massa total do sistema: $m_{\text{total}} = 295,4 \text{ [kg]}$ Tempo mínimo de trabalho: $\Delta t_{\text{total}} = 1 \text{ [s]}$
(só o sistema mecânico)

Exigências das juntas e elos do robô

	Junta B	Junta A	Junta C	Junta O
<i>Esforço axial:</i>	$F_{B,ax} = 16,458 \text{ [N]}$	$F_{A,ax} = 32,363 \text{ [N]}$	$F_{C,ax} = 32,484 \text{ [N]}$	$F_{O,ax} = 32,572 \text{ [N]}$
<i>Esforço radial:</i>	$F_{B,ra} = 150,2 \text{ [N]}$	$F_{A,ra} = 287,8 \text{ [N]}$	$F_{C,ra} = 287,8 \text{ [N]}$	$F_{O,ra} = 287,8 \text{ [N]}$
<i>Momento axial:</i>	—	—	$M_{C,R,ax,max} = 17,66 \text{ [N.m]}$	$M_{O,R,ax,max} = 61,2 \text{ [N.m]}$
<i>Momento radial:</i>	$M_{R,B,max} = 5,233 \text{ [N.m]}$	$M_{R,A,max} = 16,497 \text{ [N.m]}$	$M_{C,R,ra,max} = 1,617E+06 \text{ [N.m]}$	$M_{O,R,ra,max} = 1,617E+06 \text{ [N.m]}$
Comprimento entre eixos	Elo 3	Elo 2	Elo 1	Elo 0
Altura mínima:	$R_2 = 614,9 \text{ [mm]}$	$R_1 = 614,9 \text{ [mm]}$	$R_{1,0} = 100 \text{ [mm]}$	$h_0 = 110,5 \text{ [mm]}$
Largura mínima:	$a_3 = 0,15 \text{ [m]}$	$a_2 = 0,15 \text{ [m]}$	$a_1 = 0,15 \text{ [m]}$	
Forças horizontais nos extremos:	$b_3 = 0,2 \text{ [m]}$	$b_2 = 0,2 \text{ [m]}$	$b_1 = 0,2 \text{ [m]}$	
Forças verticais nos extremos:				

Especificações técnicas dos motores servos

	Motor (Junta A)	Motor (Junta B)	Motor (Junta C)
Velocidade:	$N_{m,2} = 9,533 \text{ [rpm]}$	$N_{m,3} = 9,533 \text{ [rpm]}$	$N_{m,1} = 300,3 \text{ [rpm]}$
Torque:	$T_{m,1,2,max} = 212,5 \text{ [N.m]}$	$T_{m,2,3,max} = 65,49 \text{ [N.m]}$	$T_{m,0,1,max} = 274,4 \text{ [N.m]}$
Potência:	$Pot_{m,1,2} = 212,1 \text{ [W]}$	$Pot_{m,2,3} = 65,38 \text{ [W]}$	$Pot_{m,0,1} = 8,628 \text{ [W]}$

Especificações do Efetuador

Força de prensão: $F_{\text{efet}} = 121,4 \text{ [N]}$ Massa: $m_e = 0,1 \text{ [kg]}$ Comprimento: $h_{\text{efet}} = 0,6 \text{ [m]}$ Número de garras: $n_{\text{garras}} = 2$

Custo estimado por hora de consumo de energia elétrica

 Voltar

Custo = 0,7626 [R\$]

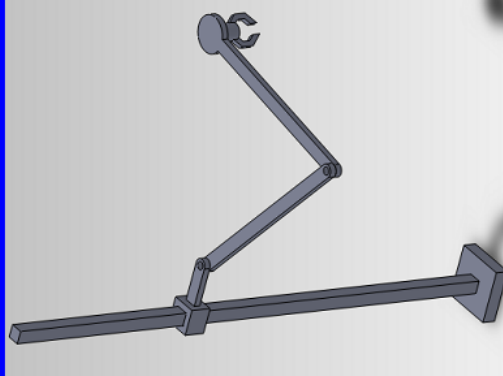


Figura 13. Janela "Relatório de Projeto" da versão final da FDBR-V1.

6. CONCLUSÃO

O projeto foi concluído com êxito. A rotina de cálculos elaborada não possui erros significantes nem demanda um tempo muito grande para sua resolução. A ferramenta permitiu simular um cliente definindo um robô SCARA com as especificações necessárias para suprir sua necessidade. Introduzindo valores às outras variáveis de entrada, um projetista pode dimensionar esse robô com base na consideração das variáveis de saída encontradas no ambiente “Relatório de projeto”, quando ele julgar tais valores viáveis.

O software é capaz de gerar as dimensões dos elos, as forças e os momentos nas juntas, os torques e velocidades máximas dos servo-motores, entre outras variáveis cruciais de projeto e mostrá-las numa tela que compila todas essas informações de forma prática, acelerando assim o projeto de um manipulador tipo SCARA.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB - Power and productivity for a better world - Robôs. Acesso em 14 de 11 de 2011, ABB - Power and productivity for a better world <<http://www.abb.com.br/product/us/9AAC100735.aspx>>.
- Carrara, V., 1999, “Apostila de Robótica”, Universidade Braz Cubas, Mogi das Cruzes, Brasil.
- Chevalier, A., 2004, “Guide du dessinateur industriel - Pour maîtriser la communication technique”, Hachette Éducation, Paris, France.
- Engineering Equation Solver – EES. Acesso em 18 de 11 de 2011, disponível em <http://www.mhhe.com/engcs/mech/ees/authors.html>
- Hidrovector Soluções em Bombeamento. Acesso 18 de 11 de 2011, Catálogo Eletrônico versão 3.0 - Seleção de Bombas Online <<http://www.hidrovector.com.br/catalogo-eletronico.asp>>
- KUKA Robotics – Our Industrial Robots. Acesso em 14 de 11 de 2011, disponível em KUKA Industrial Robotics: http://www.kuka-robotics.com/en/products/industrial_robots/
- Norton, R.L., 1999, “Design of Machinery - An Introduction to the Synthesis and Analysis of Machine and Mechanisms”. McGraw-Hill, USA.
- Norton, R.L., 2007, “Projeto de Máquinas – Uma abordagem integrada”, Bookman, São Paulo, Brasil.
- Santos, H.P., 2011, “Desenvolvimento de uma Ferramenta Computacional para o Dimensionamento de Braço Robótico”, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil.
- Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., e Oriolo, G., 2008, “Robotics - Modelling, Planing and Control”, Springer, Berlin, Germany.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

COMPUTATIONAL TOOL FOR SUPPORTING THE DESIGN OF A ROBOTIC ARM

Henrique Prado Santos, henriquepradosantos@gmail.com¹
André Luiz de Moraes Costa, andre.costa@ufs.br¹

¹Núcleo de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe.
Av. Marechal Rondon s/n, CEP 49100-000, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

Abstract: *This paper describes the making of a computational tool to aid the design of a robotic arm, called the “Tool for the Design of Robotic Arm – Version 1” or FDBR-V1. The process followed the design’s methodology proposed by R. Norton. The chosen arm for the first version of the tool was the SCARA type - Selective Compliance Assembly Robotic Arm - which presents three degrees of freedom to build its workload and have applications in cargo transportation. The tool was built on the computing platform EES - Engineering Equation Solver. The routine calculations needed for physical studies were made in the EES equations editing window based on simulations of the maximum displacement for the manipulator. The input and output information required for the robotic arm design are arranged in the ESS Diagram window. The results provided by FDBR-V1 were satisfactory. The software is able to generate the dimensions of the links, the forces and moments at the joints, the torques and speeds of the servo motors, among other crucial project variables. The data are put together in a “Report Design”. It is believed that this computational tool can speeding up the design of SCARA type manipulator.*

Keywords: *robotic manipulator, SCARA, computer aided design, computer aided engineering*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.