Referências Bibliográficas

[1] LARKUM, T.; BROOME, D.. **Advanced controller for an underwater manipulator**. Proceedings of the Third IEEE Conference, vol.2:p.1081–1086, 1994.

[2] CONTE, G.; PERDON, A. ; ZANOLI, S.. **A navigation and inspection system for rov's**. Cahllenges of Our Global Environment:Conference Proceedings, vol.1:p.354–359, 1995.

[3] BUTNER, S. E.; GHODOUSSI, M.. **Transforming a surgical robot for human telesurgery**. IEEE Transactions on Robotics and Automaton, vol.5(19):p.818–824, 2003.

[4] BALLANTYNE, G.. **Trobotic surgery, telerobotic surgery, telepresence, and telementoring, surgical endoscopy**. Springer Verlag Verlag New York, vol.6:p.1389–1402, 2002.

[5] TEAM, R.. **Characterization of the martian surface deposits by the mars pathfinder rover, sojourner**. Science, vol.278(5344):p.1765–1768, 1997.

[6] MISHKIN, A.; MORRISON, J. ; NGUYEN, T.. **Experiences with operations and autonomy of the mars pathfinder microrover**. Aerospace Conference: Proceeding IEEE, vol.2:p.337–351, 1998.

[7] OYAMA; TSUNEMOTO, T. ; INOUE. **Experimental study on remote manipulation using virtual reality**. Presence-Teleop. Virtua Environment, vol.2(2):p.101–110, 1993.

[8] BLACKMON; STARK. **Model based supervisory control in telerobotics**. Presence-Teleop. Virtua Environment, vol.5(2):p.205–223, 1996.

[9] THOLEY, G.. **A teleoperative Haptic Feedback Framework for Computer-Aided Minimally Invasive Surgery**. Tese de Doutorado, Drexel University, Philadelphia-USA, 2003.

[10] OAKLEY, I.; MCGEE, M.; A, B. S. ; GRAY, P. D.. **Putting the feel un look and feel**. Relatório Técnico, 2000.

[11] KLATZKY, R. L.; LEDERMAN, S. J.. **Modality specificity in cognition: The case of touch. the nature of remembering**. Relatório Técnico, 2000.

[12] LAMOTTE, R. H.; SRINIVASAN, M. A.. **Surface microgeometry: Neural enconding and perception.** In: Information processing in the Somatosensory System, p. p.49–58, 1991.

[13] CRAIG, J. C.; ROLLMAN, G. B.. **Somesrhesis annual review of psychology.** vol.50:p.305–331, 1999.

[14] DARIAN, SMITH, I.. **The sense of touch:performance and peripheral neural processes. handbook of physiology:the nervous system and sensory processes.** Bethesda: American Physiology Society, p. p.739–746, 1984.

[15] AKERMAN, P. L.. **A theory of intellectul development: process, personality, interests and knowledge**. Intelligence, vol.22:p.227–257, 1996.

[16] AUKSTAKALNIS, S. B. D.. **The art and science of virtual reality**. Relatório Técnico, 1992.

[17] BURDEA, G.; COIFFET, P.. **Virtual Reality Technology**. John Wiley & Sons, NY, 1994.

[18] JACOBSON, L.. **Virtual reality:a status report**. AI Expert, p. p.26–33, 1991.

[19] KRUEGER, M. W.. **Artificial Reality II**. Addison Wesley, MA, 1991.

[20] ROSEMBLU, L.; BURDEA, G. ; TACHI, S.. **Virtual reality reborn**. IEEE Computer Graphics and Applications, vol.18(n.6):p.21–23, 1998.

[21] MACHADO, L. S.. **Conceitos básicos da realidade virtual**. Relatório Técnico, 1995.

[22] ACKERMAN; DIANE. **Uma História Natural dos Sentido.** 2^{nd} **ed.** Bertrand, Br, 1990.

[23] NETTO, A. V.; MACHADO, L. S. ; OLIVEIRA, M. C. F.. **Realidade Virtual**. Visual Books, Florianópolis, 2002.

[24] BROOKS, F. P.. **What's real about virtual reality?** IEEE Computer Graphics and Applications, vol.19(n.6):p.16–27, 1999.

[25] MACHADO, L. S.. **A realidade virtual no modelamento e simulação de procedimentos invasivos em oncologia pediátrica: Um estudo de caso no transplante de medula óssea**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

[26] MCLAUGHLIN, M. L.; HESPANHA, J. ; SUKHATME, G.. **Touch in Virtual environments: Haptics and the design of interactive systems**. Pretince-Hall, USA, 2002.

[27] BURDEA, G. C.; COIFFET, P.. **Virtual Reality Technology**. Wiley-IEEE Press, USA, 2003.

[28] LOGITECH'S. **Logitech's wingman force feedback mouse**. Relatório Técnico, 2005.

[29] MAHVASAH, M.; HAYWARD, V.. **Passivity-basedd high-fidelity haptic rendering of contact**. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 3:p.3722–3728, 2003.

[30] SALISBURY, K.; BROCK, D.; MASSIE, T.; SWARUP, N. ; ZILLES, C.. **Haptic rendering: Programming touch interaction with virtual objects**. In: ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, 3:p.123–130, 1995.

[31] MACLEAN, K. E.. **the haptic camera: a tecnique for characterizing and playing back haptic propierties of real environments**. In: ASME Dynamic Systems and Control Division, vol.58:p.459–467, 1996.

[32] MORGENBESSER, H. B.; SRINIVASAN, M. A.. **Force shading for haptic shape perception.** In: Symposium on Haptic Interfaces for a Virtual environment and Teleoperator Systems, p. p.407–412, 1996.

[33] VOYLES, R. M.; FEDDER, G. ; KHOSLA, P. K.. **3-d firm grasp with the scrollic gripper**. IEEE International conference on Robotics and Automaton, p. p.1662–1667, 1995.

[34] VOYLES, R. M.; FEDDER, G. ; KHOSLA, P. K.. **Desing of a modular tactle sensor and actuator based on an electroorheological gel**. In Proccedings of the IEEE Computer Graphics and Applications, p. p.13–17, 1996.

[35] BICCHI, A.; SCILINGO, E. P.. **A sensorized minimally invasive surgery tool for detecting tissuatal elastic properties**. Proccedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automaton, p. p.884–888, 1996.

[36] MASCARO, S.; ASADA, H. H.. **Virtual switch human-machine interface using fingernail touch sensor**. Proccedings of the IEEE International conference on Robotics and Automaton, p. p.2533–2538, 1999.

[37] FASSE, E. D.; HOGAN, N.. **Quantitative measurement of haptic perception**. Proccedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automaton, p. p.3199–3204, 1994.

[38] AUKSTAKALNIS, S.. **Silicon mirage: The art and science of virtual reality. peatchpit press.** Relatório Técnico, 1992.

[39] SOUZA, D. F. L.; VALDEK, M. C. O. ; MORAES, R. M.. **Siteg - sistema interativo de treinamento em exame ginecológico**. In: Proc of Symposium on Virtual reality (SVR), p. p.445–456, 2006.

[40] BASDOGAN, C.; SRINIVASAN, M. A.. **Haptic Rendering in Virtual Environments, in Virtual Environmentes HandBook**. Stannet, 2002.

[41] SENSABLE. **Manual de especificações do phantom omni.http://www.sensable.com/haptic-phantom-omni.htm.** Relatório Técnico, 2009.

[42] WATSON, K.. **Development of stereoscopic-haptic virtual enviroments.** 12th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems, p. p.29–34, 1999.

[43] VINCE, J.. **Virtual Reality Systems**. Addison Wesley, NY, 1995.

[44] SUTHERLAND, I.. **The ultimate display**. In: IFIP Congress Proceedings, p. p.506–5008, 1965.

[45] PIMENTEL, K.; TEIXEIRA, K.. **Virtual Reality Through the New Looking Glass** 2^{nd} **ed.** McGraw Hill, NY, 1995.

[46] SZÉKELY, G.; SATAVA, R.. **Virtual reality in medicine**. BMJ, vol.319:p.1–4, 1999.

[47] SELA, G.. **Real-time incision simulation using fem-based discontinuous free form deformation.** Computer Aided Design, p. p.01–07, 2007.

[48] D'AULIGNAC, D.. **Towards a realistic echographic simulator.** Medical Image Analysis, p. p.71–81, 2006.

[49] BLYTH, P.; STOTT, N. S.. **A simulation-based training systemfor hip fracture fixation for use within the hospital environment.** Injury, Int. J. Care Injured, p. p.1197–1203, 2007.

[50] CARDOSO, A.; LAMOUNIER, E. A.. **Aplicações na educação e treinamento in: Realidade virtual e aumentada - uma abordagem tecnológica.** Editora SBC - Sociedade Brasileira de Computação PA, vol.1:p.343–357, 2008.

[51] ASADA, H.; SLOTINE, J.. **Robot Analysis and Control**. Jhon Wiley, New York, 1985.

[52] SCHILLING. **http://www.schilling.com Robot Schilling Titan IV**. 2010.

[53] LUH, J. Y. S.; WALKER, M. W. ; PAUL, R. P.. **On-line computational scheme for mechanical manipulators.** ASME Journal of Dynamic Systems Measurement and Control, vol.102:p.069–076, 1980.

[54] WALKER, M. W.; E, O. D.. **Efficient dynamic computer simulation of robotic mechanisms.** Journal of Dynamics Systems Mesasurement and Control, vol.104:p.205–211, 1981.

[55] SCIAVICCO, L.; SICILIANO, B.. **Moddeling and Control of Robot Manipulator**. McGraw-Hill, New York, 1996.

[56] AN, H.; ATKESON, G. ; HOLLERBACH, M.. **A Mathematical Introductionto Robotic Manipulation**. MIT Press, Cambridge, 1994.

[57] MURRAY, R.; XI, Z. ; SASTRY, S.. **A Mathematical Introductionto Robotic Manipulation**. CRC Press, BocaRaton, 1994.

[58] YSHIKAWA, T.. **Foundations of Robotics**. MIT Press, Cambridge, 1990.

[59] AN, C.; ATKESON, C. ; HOLLERBACH, J.. **Model-based control of a robot manipulator**. MIT Press, 1988.

[60] ITKI, U.. **Control Systems of Variable Strucure**. Wiley, 1976.

[61] UTKIN, V.. **Variable struture systems with sliding modes (a survey).** IEEE Transaction on Automatic Control, vol.22(2):p.212–222, 1977.

[62] SLOTINE, J.; LI, W.. **Applied Nonlinear Control**. Pretince Hall, New Jersey, 1991.

[63] NUNES, L. E.. **Controle por Modos Deslizantes de Ordem Superior com Estabilidade Global**. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro - BRAZIL, 2004.

[64] KNOWLES, G.. **A Introduction to Applied Optimal Control**. Academic Press, USA, 1981.

[65] DRAZENOVIC, B.. **The invariance conditions for variable structure systems.** Automatica, vol.5:p.287–295, 1969.

[66] STAMPER, R. E.. **A Three Degree of Freedom Parallel Manipulator with Only Translational Degrees of Freedom. PhD thesis, Department of Mechanical Engineering**. Tese de Doutorado, The University of Maryland, Department of Mechanical Engineering, 1997.

[67] STEVEN, M.; HILLIER, N.. **Characterisation of the novint falcon haptic device for application as a robot manipulator.** Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA), vol.1:p.001–004, 2009.

[68] RGAHAVAN, M.; ROTH, B.. **Solving polynomial systems for the kinematic analysis and synthesis of mechanisms and robot manipulators.** Transactions of the ASME Special 50th Anniversary Design Issue, vol.117:p.071–079, 1995.

[69] SALMON, G.. **Lessons introductory to the modern higher algebra.chelsea publishing co., ny.** Relatório Técnico, 1964.

[70] RGAHAVAN, M.; ROTH, B.. **Position kinematics of a three-limbed mixed mechanism**. ASME Journal of Mechanical Design, vol.116:p.924–929, 1994.

[71] LIN, W.; GRIFFIS, M. ; DUFFY, J.. **Forward displacement analyses of the 4-4 stewart platforms**. ASME Journal of Mechanical Design, vol.114:p.444–450, 1992.

[72] GOSSELIN, C.; ANGELES, J.. **The optimum kinematic design of a planar three-degree-of-freedom parallel manipulator**. Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, vol.110:p.35–41, 1988.

[73] WALDRON, K.; HUNT, K.. **Series-parallel dualities in actively coordinated mechanisms**. Proceedings of the 4th International Symposium on Robotic Research, MIT Press, vol.110:p.175–181, 1988.

[74] OBLACK, D.; KOHLI, D.. **Boundry surfaces, limit surfaces, crossable and noncrossable surfaces in workspace of mechanical manipulators**. Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, vol.110:p.389–396, 1988.

[75] LUNG-WEN, T.. **Robot Analysis - The Mechanic of Serial and Parallel Manipulators**. Jhon Wiley, New York, 1999.

[76] AMAN, V.; SCOTT, T.; MCCLAIN, W. ; ABBOUT, J.. **How to build an inexpensive 5-dof haptic devicce using novint falcons**. EuroHaptics, p. p.136–143, 2010.

[77] MARTIN, S.; HILLIER, N.. **Characterisation of the novint falcon haptic device for application as a robot manipulator**. In Proc Australasian Conf. Robotics and Automation, vol.110:p.389–396, 2009.

[78] PEÑIN, L. F.. **Control Bilateral de robots Teleoperador, contribuciones en reflexión de fuerzas**. Tese de Doutorado, Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, 1998.

[79] WIKIPEDIA. **http://pt.wikipedia.org/**.

[80] CAY, H.. **Padrões e Projeto Orientados a Objetos**. Jhon Wiley, São Paulo - Brasil, 2006.

[81] GUILHERME, S.. **Treinamento Profissional em Java**. Digerati Books, Brasil, 2006.

[82] SEBESTA, R. W.. **Conceitos de Linguagens de Programação**. Jhon Wiley, São Paulo - Brasil, 2002.

[83] COHEN, M.; HARB, I.. **OpenGL - Uma Abordagem Prática e Objetiva**. Novatec, São Paulo - Brasil, 2002.

[84] RUSSELL, S.. **Open dynamics engine. use guide, http://www.ode.org/**. Relatório Técnico, 2004.

[85] HECKER, C.. **The next frontier game developer**. Relatório Técnico, 1996.

[86] CONTI, F.. **The chai library - project of computer science department, stanford university**. Relatório Técnico, 2006.

A
Apêndice A

Este apêndice contém as equações relacionadas à cinemática e dinâmica do robô manipulador Schilling Titan IV, bem como as matrizes do jacobiano que relaciona as velocidades da ferramenta com respeito às juntas do robô.

A.1
Matriz Homogênea

Considere os parâmetros D-H da tabela 3.1 obtidos da modelagem do robô mostrada na figura 3.4, então podem-se obter as matrizes homogêneas de transformação

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & l_2\cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & l_2\sin\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{A-1}$$

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & l_3\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & l_3\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{A-2}$$

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & l_4\cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & l_4\sin\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{A-3}$$

$$A_4^3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & 0 & -\sin\theta_4 & l_5\cos\theta_4 \\ \sin\theta_4 & 0 & \cos\theta_4 & l_5\sin\theta_4 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{A-4}$$

$$A_5^4 = \begin{bmatrix} \sin\theta_5 & 0 & \cos\theta_5 & 0 \\ -\cos\theta_5 & 0 & \sin\theta_5 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{A-5}$$

$$A_6^5 = \begin{bmatrix} \cos\theta_6 & -\sin\theta_6 & 0 & 0 \\ \sin\theta_6 & \cos\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{A-6}$$

Com estas matrizes, obtém-se a matriz **T**

$$\mathbf{T} = \mathbf{A_1^0 A_2^1 A_3^2 A_4^3 A_5^4 A_6^5} \tag{A-7}$$

Definindo

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{n} & \mathbf{t} & \mathbf{b} & \mathbf{x} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Então obtemos a posição e orientação do efetuador terminal do robô.

$$\mathbf{n} = \begin{bmatrix} \cos\theta_6\sin\theta_5\cos\theta_1\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)+\cos\theta_6\cos\theta_5\sin\theta_1+\sin\theta_6\cos\theta_1\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \\ \cos\theta_6\sin\theta_5\sin\theta_1\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)-\cos\theta_6\cos\theta_5\cos\theta_1+\sin\theta_6\sin\theta_1\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \\ \cos\theta_6\sin\theta_5\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4)-\sin\theta_6 cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{t} = \begin{bmatrix} -\sin\theta_6\sin\theta_5\cos\theta_1\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)-\sin\theta_6\cos\theta_5\sin\theta_1+\cos\theta_6\cos\theta_1\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \\ -\sin\theta_6\sin\theta_5\sin\theta_1\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)+\sin\theta_6\sin\theta_5\cos\theta_1+\cos\theta_6\sin\theta_1\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \\ -\sin\theta_6\sin\theta_5\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4)-\cos\theta_6 cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} \cos\theta_1\cos\theta_5\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)-\sin\theta_1\sin\theta_5 \\ \sin\theta_1\cos\theta_5\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)+\cos\theta_1\sin\theta_5 \\ \cos\theta_5\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} [l_2+l_3\cos\theta_2+l_4\cos(\theta_2+\theta_3)+(l_5+l_6\cos\theta_5)\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)]\cos\theta_1-l_6\sin\theta_1\sin\theta_5 \\ [l_2+l_3\cos\theta_2+l_4\cos(\theta_2+\theta_3)+(l_5+l_6\cos\theta_5)\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)]\sin\theta_1+l_6\cos\theta_1\sin\theta_5 \\ l_1+l_3\sin\theta_2+l_4\sin(\theta_2+\theta_3)+(l_5+l_6\cos\theta_5)\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \end{bmatrix}$$

A.2 Matriz Jacobiana

A matriz Jacobiana é dado por

$$J = \begin{bmatrix} J_{L1} & J_{L2} & J_{L3} & J_{L4} & J_{L5} & J_{L6} \\ J_{A1} & J_{A2} & J_{A3} & J_{A4} & J_{A5} & J_{A6} \end{bmatrix}$$

onde

$$J_{L1} = \begin{bmatrix} -\left[l_2 + l_3\cos\theta_2 + l_4\cos(\theta_2+\theta_3) + (l_5 + l_6\cos\theta_5)\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)\right]\sin\theta_1 - l_6\cos\theta_1\sin\theta_5 \\ \left[l_2 + l_3\cos\theta_2 + l_4\cos(\theta_2+\theta_3) + (l_5 + l_6\cos\theta_5)\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)\right]\cos\theta_1 - l_6\sin\theta_1\sin\theta_5 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$J_{L2} = \begin{bmatrix} -\left[l_3\sin\theta_2 + l_4\sin(\theta_2+\theta_3) + (l_5 + l_6\cos\theta_5)\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4)\right]\cos\theta_1 \\ -\left[l_3\sin\theta_2 + l_4\sin(\theta_2+\theta_3) + (l_5 + l_6\cos\theta_5)\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4)\right]\sin\theta_1 \\ \left[l_3\cos\theta_2 + l_4\cos(\theta_2+\theta_3) + (l_5 + l_6\cos\theta_5)\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)\right] \end{bmatrix}$$

$$J_{L3} = \begin{bmatrix} -\left[l_4\sin(\theta_2+\theta_3) + (l_5 + l_6\cos\theta_5)\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4)\right]\cos\theta_1 \\ -\left[l_4\sin(\theta_2+\theta_3) + (l_5 + l_6\cos\theta_5)\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4)\right]\sin\theta_1 \\ \left[l_4\cos(\theta_2+\theta_3) + (l_5 + l_6\cos\theta_5)\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)\right] \end{bmatrix}$$

$$J_{L4} = \begin{bmatrix} -(l_5 + l_6\cos\theta_5)\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4)\cos\theta_1 \\ -(l_5 + l_6\cos\theta_5)\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4)\sin\theta_1 \\ (l_5 + l_6\cos\theta_5)\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \end{bmatrix}$$

$$J_{L5} = \begin{bmatrix} -l_6\sin\theta_5\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)\cos\theta_1 - l_6\sin\theta_1\cos\theta_5 \\ -l_6\sin\theta_5\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)\sin\theta_1 + l_6\cos\theta_1\cos\theta_5 \\ l_6\sin\theta_5\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \end{bmatrix}$$

$$J_{L6} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$J_{A1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$J_{A2} = \begin{bmatrix} \sin\theta_1 \\ -\cos\theta_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$J_{A3} = \begin{bmatrix} \sin\theta_1 \\ -\cos\theta_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$J_{A4} = \begin{bmatrix} \sin\theta_1 \\ -\cos\theta_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$J_{A5} = \begin{bmatrix} -\cos\theta_1\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \\ -\sin\theta_1\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \\ \cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \end{bmatrix}$$

$$J_{A6} = \begin{bmatrix} \cos\theta_1\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)\cos\theta_5 - \sin\theta_1\sin\theta_5 \\ \sin\theta_1\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)\cos\theta_5 + \cos\theta_1\sin\theta_5 \\ \cos\theta_5\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4) \end{bmatrix}$$

A.3 Algoritmo Walker-Orin

Em seções anteriores se definiu a equação geral assumida para o robô manipulador em estudo. Vamos simular a sua dinâmica direta assim,

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{H}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q},\dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{G}(\mathbf{q}) \qquad \text{(A-8)}$$

Seja uma função $SUB(\mathbf{q},\dot{\mathbf{q}},\ddot{\mathbf{q}};\boldsymbol{\tau})$ que calcula $\boldsymbol{\tau}$, utilizando a equação da dinâmica inversa do robô manipulador de n graus de liberdade. Seus argumentos são os vetores de deslocamento, velocidade e aceleração das juntas. Agora vamos explicar os métodos 1 e 3 do algoritmo de Walker e Orin.

A.3.1 Método 1

Da equação (A-8), nota-se que os torques nas juntas são uma função linear das acelerações das juntas. Portanto, seja $\mathbf{b}$ definido como um vetor "bias", igual ao torque produzido só pelas acelerações gravitacionais, centrífugos e coriolis, assim

$$\mathbf{b} = \mathbf{H}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{G}(\mathbf{q}) \tag{A-9}$$

Então, as acelerações nas juntas podem ser obtidas computando a equação linear

$$\mathbf{H}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} = (\boldsymbol{\tau} - \mathbf{b}) \tag{A-10}$$

O vetor bias $\mathbf{b}$ pode ser facilmente calculado, definindo $\mathbf{q}$,$\dot{\mathbf{q}}$ do seu estado atual, fazendo $\ddot{\mathbf{q}} = 0$, é usando a função do programa $SUB(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, 0; \mathbf{b})$. O torque computado pela função SUB com esses valores de entrada é igual ao vetor bias $\mathbf{b}$.

A dificuldade está em calcular a equação(A-10), para encontrar os valores da matriz $\mathbf{H}$. Neste primeiro método, isto é conseguido através da definição de $\mathbf{q}$ em seu estado atual, fazendo $\ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{e}_j$, e chamando a função $SUB(\mathbf{q}, 0, \mathbf{e}_j; \mathbf{h}_j)$, onde $\mathbf{e}_j$ é um vetor $n \times 1$ com j-ésimo elemento igual a 1 e os demais iguais a 0, e $\mathbf{h}_j$ é a j-ésima coluna de $\mathbf{H}$. Assim, $\mathbf{h}_j$ é o torque nas juntas quando as velocidades são zero, sem efeitos gravitacionais, e as acelerações nas juntas $\ddot{\mathbf{q}}$ é iguais a $\mathbf{e}_j$.

Uma vez que todos os elementos da matriz $\mathbf{H}$ são determinados, então as acelerações da junta são obtidas solucionando a equação (A-10)

A.3.2 Método 3

Neste método tem-se um procedimento diferente para calcular a matriz de inércia $\mathbf{H}$. Somente a diagonal superior precisa ser calculada (devido à simetria) na seguinte ordem: $H_{n,n}, H_{n-1,n}, H_{n-2,n}, ..., H_{1,n}; H_{n-1,n-1}, H_{n-2,n-1}, ..., H_{1,n-1}$; etc. Para fazer isto, nota-se que quando computamos para a j-ésima coluna da matriz de inércia no método 1, $\ddot{\mathbf{q}}_i = 0$ para $i > j$. Ou seja, todos os seguintes $n - j + 1$ elos aparecem como um único corpo rígido. Deste sistema composto de elos com a sua massa total, a localização de seu centro de massa e seu momento de inércia seria,

$$\left.\begin{aligned}\mathbf{F}_j &= \mathbf{M}_j\mathbf{v}_j = \mathbf{M}_j(\mathbf{z}_j \times \mathbf{c}_j) = \mathbf{z}_{j-1} \times (\mathbf{M}_j\mathbf{c}_j)\\ \mathbf{N}_j &= \mathbf{E}_j\mathbf{z}_{j-1}\end{aligned}\right\} \text{ Junta } j \text{ rotacional} \quad \text{(A-11)}$$

$$\left.\begin{aligned}\mathbf{F}_j &= \mathbf{E}_j\mathbf{z}_{j-1}\\ \mathbf{N}_j &= 0\end{aligned}\right\} \text{ Junta } j \text{ translacional} \quad \text{(A-12)}$$

onde os símbolos anteriormente não definidos são:

$\mathbf{M}_j$ = massa total do elo j até o elo n.

$\dot{\mathbf{v}}_j$ = aceleração linear do centro de massa do sistema composto desde o elo j até o elo n.

$\mathbf{c}_j$ = localização do centro de massa do sistema composto do elo j até o elo n com respeito à origem de coordenadas do elo $j-1$.

$\mathbf{E}_j$ = matriz do momento de inércia do sistema composto do elo j até elo n.

Com essas acelerações, $\mathbf{F}_i$ e $\mathbf{N}_i$ são todos zeros para $i < j$. Utilizando isto,

$$\mathbf{f}_i = \mathbf{f}_{i+1} \quad \text{(A-13)}$$

$$\mathbf{n}_i = \mathbf{n}_{i+1} + \mathbf{p}_i^* \times \mathbf{f}_{i+1} \qquad \text{para } i = 1, ..., j-1 \quad \text{(A-14)}$$

e

$$\mathbf{f}_j = \mathbf{f}_j \quad \text{(A-15)}$$

$$\mathbf{n}_j = \mathbf{N}_j + \mathbf{c}_j + \mathbf{F}_j \qquad \text{para } i = 1, ..., j-1 \quad \text{(A-16)}$$

Assim, inicializando com $i = j$, equação **??** até **??**, pode ser usado para obter todos os valores de n_i e f_i, para $i \leq j$.

Os componentes da matriz de momento de inércia ao longo da coluna j são então iguais aos torque ou forças geradas na junta. Assim, para $i \leq j$:

$$H_{ij} = \begin{cases}\mathbf{z}_{i-1} \cdot \mathbf{n}_i & \text{Junta } i \text{ rotacional}\\ \mathbf{z}_{i-1} \cdot \mathbf{f}_i & \text{Junta } i \text{ translacional}\end{cases} \quad \text{(A-17)}$$

Para computar M, c_j, e E_j, inicia-se no elo n:

$$\mathbf{M}_n = \mathbf{m}_n \quad \text{(A-18)}$$

$$\mathbf{c}_n = \mathbf{s}_n + \mathbf{p}_n^\star \quad \text{(A-19)}$$

$$\mathbf{E}_n = J_n \quad \text{(A-20)}$$

onde,

$\mathbf{m}_j$ = massa do elo j.

$\mathbf{s}_j$ = localização do centro de massa do elo j em relção à coordenada do elo j.

$\mathbf{J}_j$ = matriz do momento de inércia do elo j.

Para solucionar $\mathbf{M}_j$, $\mathbf{c}_j$ e $\mathbf{E}_j$, pode-se utilizar as seguintes equações recursivas:

$$\begin{aligned}
\mathbf{M}_j &= \mathbf{M}_{j+1} + m_j && \text{(A-21)}\\
\mathbf{c}_j &= \frac{1}{M_j}[m_j(\mathbf{s}_j + \mathbf{p}_j^*) + M_{j+1}(\mathbf{c}_{j+1} + \mathbf{p}_j^*)] && \text{(A-22)}\\
\mathbf{E}_j &= \mathbf{E}_{j+1} + M_{j+1}[(\mathbf{c}_{j+1} + \mathbf{p}_j^* - \mathbf{c}_j)\cdot(\mathbf{c}_{j+1} + \mathbf{p}_j^* - \mathbf{c}_j)\mathbf{I}\\
&\quad -(\mathbf{c}_{j+1} + \mathbf{p}_j^* - \mathbf{c}_j)(\mathbf{c}_{j+1} + \mathbf{p}_j^* - \mathbf{c}_j)^T]\\
&\quad +\mathbf{J}_j + m_j[(\mathbf{s}_j + \mathbf{p}_j^* - \mathbf{c}_j)\cdot(\mathbf{s}_j + \mathbf{p}_j^* - \mathbf{c}_j)\mathbf{I}\\
&\quad -(\mathbf{s}_j + \mathbf{p}_j^* - \mathbf{c}_j)(\mathbf{s}_j + \mathbf{p}_j^* - \mathbf{c}_j)^T] && \text{(A-23)}
\end{aligned}$$

onde $\mathbf{I}$ é a matriz identidade 3×3. Da equação (A-22), M_j é a soma da massa do elo j e a massa total do sistema composto do elo $j+1$ até n. Da equação (A-23), o centro de massa do sistema composto do elo j até elo n pode ser obtido do conhecimento da localização do centro de massa do elo j, s_j e a localização do centro de massa do sistema composto do elo $j+1$ até elo n, c_{j+1}. De uma forma análoga, uma vez que c_{j+1},M_{j+1}, e E_{j+1} foram determinados, usase-se o teorema de eixos paralelos para a matriz de momentos de inércia do sistema composto do elo j até elo n relativo a c_j. O teorema de eixos paralelos é um método para obter a matriz de momentos de inércia J_o de um corpo rígido em relação a uma origem de coordenadas O arbitrária em termos da matriz de inércia J_G relativa ao centro de massa. Seja r o vetor coordenada de G relativo a O, como se mostra na figura A.1, e M a massa, então:

$$\mathbf{J}_0 = \mathbf{J}_G + M(r\cdot rI - rr^T) \qquad \text{(A-24)}$$

Assim, os primeiros dois termos da equação (A-23) são a contribuição em E_j da composição dos elos $j+1$ até n, e os seguintes dois termos são a contribuição E_j pelo elo j, como se mostra na figura A.2.

Na equação (A-11) até (A-23), tem sido implicado que todos os vetores são referenciados ao sistema coordenado O, e por isso que eles são difíceis de calcular. Como descrito em [6], para aliviar o custo computacional, todas as propriedades de massa do sistema composto do elo j até o elo n serão

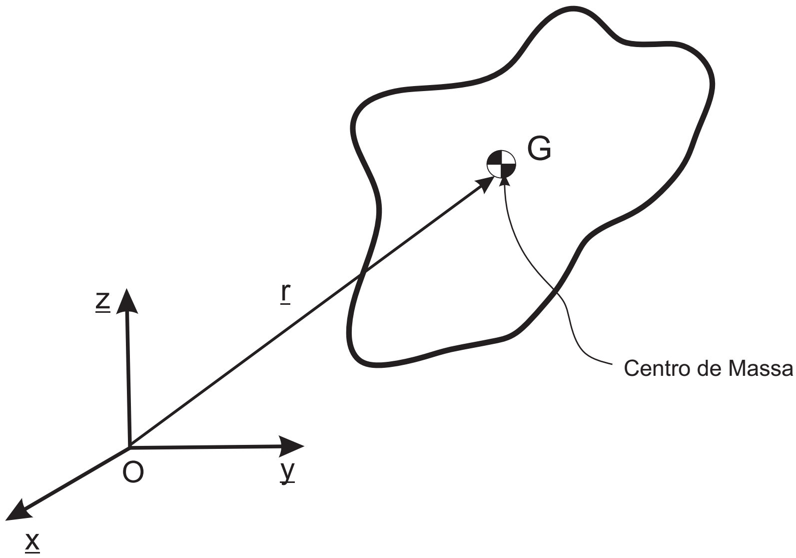

Figura A.1: Posição do centro de massa G com respeito à coordenada O

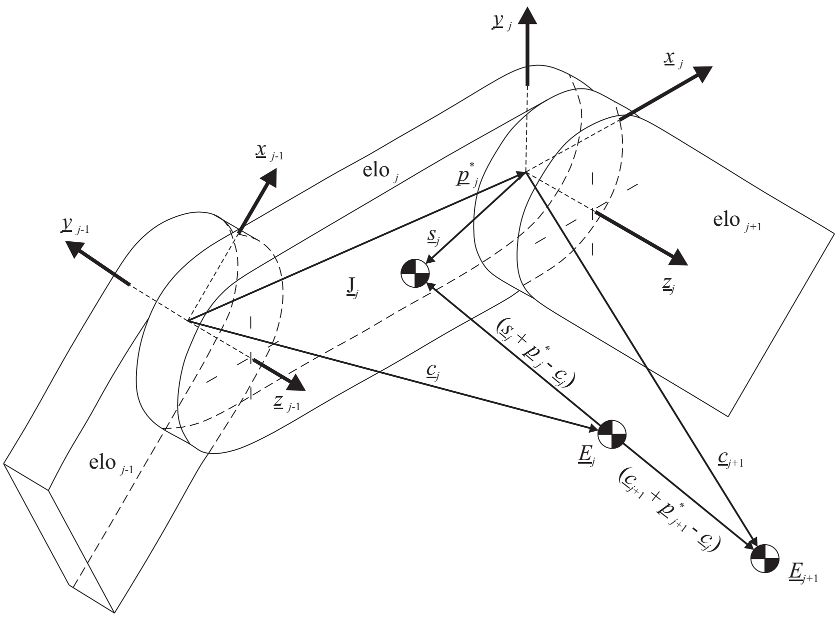

Figura A.2: Centro de massa do sistema composto do elo j até o elo n

referenciados para o sistema coordenado $j-1$. Assim, a equação usada para computar as propriedades da massa do sistema composto do elo j até elo n, para $j = 1, ..., n$, torna-se:

$$\mathbf{M}_n = \mathbf{mJ}_n \tag{A-25}$$

$$^{n-1}\mathbf{c}_n = A^n_{n-1}(^n s_n + \mathbf{p}^*_n \tag{A-26}$$

$$^{n-1}\mathbf{E}_n = A^n_{n-1} E_n A^{n-1}_n \tag{A-27}$$

Usando este procedimento para computar a matriz de inércia H e o algoritmo descrito no método 1, encontram-se assim, as acelerações requeridas.

A continuação um resumo dos passos para achar a dinâmica direta aplicando o método 3 do algoritmo WAlker-Orin.

Passo 1: Calcule-se M_j, ${}^{j-1}\mathbf{c}_j$ e ${}^{j-1}\mathbf{E}_j$ para $j = N...1$ com

$$\begin{aligned}
M_i &= M_{j+1} + m_j && \text{(A-28)}\\
{}^{j-1}\mathbf{c}_j &= \mathbf{A}^j_{j-1}\,{}^j\mathbf{c}_j \\
{}^{j-1}\mathbf{c}_j &= \mathbf{A}^j_{j-1}\{\frac{1}{M_j}[m_j({}^j\mathbf{s}_j + {}^j\mathbf{p}^*_j) + M_{j+1}({}^j\mathbf{c}_{j+1} + {}^j\mathbf{p}^*_j)]\} && \text{(A-29)}\\
{}^{j-1}\mathbf{E}_j &= \mathbf{A}^j_{j-1}\{{}^j\mathbf{E}_{j+1} + M_{j+1}[({}^j\mathbf{c}_{j+1} +^j \mathbf{p}^*_j -^j \mathbf{c}_j)\cdot({}^j\mathbf{c}_{j+1} +^j \mathbf{p}^*_j -^j \mathbf{c}_j)\mathbf{I} \\
&\quad -({}^j\mathbf{c}_{j+1} + {}^j\mathbf{p}^*_j - {}^j\mathbf{c}_j)({}^j\mathbf{c}_{j+1} + {}^j\mathbf{p}^*_j - {}^j\mathbf{c}_j)^T] \\
&\quad +{}^j\mathbf{J}_j + m_j[({}^j\mathbf{s}_j + {}^j\mathbf{p}^*_j - {}^j\mathbf{c}_j)\cdot({}^j\mathbf{s}_j + {}^j\mathbf{p}^*_j - {}^j\mathbf{c}_j)\mathbf{I} \\
&\quad -({}^j\mathbf{s}_j + {}^j\mathbf{p}^*_j -^j \mathbf{c}_j)({}^j\mathbf{s}_j +^j \mathbf{p}^*_j -^j \mathbf{c}_j)^T]\}\mathbf{A}^{j-1}_j && \text{(A-30)}
\end{aligned}$$

Passo 2: Calcular ${}^{j-1}\mathbf{F}_j$, ${}^{j-1}\mathbf{N}_j$ para $j = 1...N$ utilizando

$$\begin{aligned}
{}^{j-1}\mathbf{F}_j &= \mathbf{z}_o \times M_j{}^{j-1}\mathbf{c}_j && \text{(A-31)}\\
{}^{j-1}\mathbf{N}_j &= {}^{j-1}\mathbf{E}_j\mathbf{z}_o && \text{(A-32)}\\
& && \text{(A-33)}
\end{aligned}$$

Passo 3: Para $j = N...1$ calcule-se ${}^{i-1}\mathbf{f}_i$, ${}^{i-1}\mathbf{n}_i$, $i = j...1$ das equações seguintes para uma particular j,

$$\begin{aligned}
{}^{j-1}\mathbf{f}_j &= j_{j-1}\mathbf{F}_j && \text{(A-34)}\\
{}^{j-1}\mathbf{n}_j &= {}^{j-1}\mathbf{N}_j + {}^{j-1}\mathbf{c}_j \times^{j-1} \mathbf{F}_j && \text{(A-35)}\\
{}^{i-1}\mathbf{f}_i &= \mathbf{A}^i_{i-1}\,{}^i\mathbf{f}_{i+1} && \text{(A-36)}\\
{}^{i-1}\mathbf{n}_i &= \mathbf{A}^i_{i-1}({}^i\mathbf{n}_{i+1} + {}^i\mathbf{p}^*_i \times {}^i\mathbf{f}_{i+1}) && \text{(A-37)}
\end{aligned}$$

Utilizando as equações (A-31) até (A-37), seria o procedimento para calcular a matriz H, e com a equação descrito no método 1 acharemos as acelerações para cada valor do torque.

$$\mathbf{H}_{ij} = \begin{cases} z \quad \text{componente de } {}^{i-1}\mathbf{n}_i & \text{junta } i \text{ rotativa} \\ z \quad \text{componente de } {}^{i-1}\mathbf{f}_i & \text{junta } i \text{ prismática} \end{cases} \qquad \text{(A-38)}$$

onde

$$\mathbf{z}_o = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{(A-39)}$$

B
Apêndice B

Este apêndice contém as propriedades da modelagem dinâmica do robô manipulador descritas no capítulo 3, importante para os diferentes tipos de algoritmos de controle utilizados neste trabalho.

B.1
Modelagem Dinâmica

Seja a equação da modelagem dinâmica do robô manipulador de n graus de liberdade obtida da expressão (3-22), e seja o vetor $\mathbf{q}$ de $n \times 1$ o deslocamento nas juntas, então:

$$\mathbf{H}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{G}(\mathbf{q}) = \boldsymbol{\tau} \tag{B-1}$$

B.1.1
Propriedade 1

A matriz de inércia é positiva-definida e simétrica, tal que:

$$\lambda_h \mathbf{I}_n \leq \mathbf{H}(\mathbf{q}) \leq \lambda_H \mathbf{I}_n \tag{B-2}$$

onde λ_h e λ_H são constantes positivas.

B.1.2
Propriedade 2

A matriz $\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ com dimensão $n \times n$ satisfaz:

$$\|\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\| \leq \|c_o \dot{\mathbf{q}}\| \tag{B-3}$$

limitada por alguma constante c_o

B.1.3
Propriedade 3

O vetor força/torque gravitacional satisfaz:

$$\|\mathbf{G}(\mathbf{q})\| \leq g_o \tag{B-4}$$

limitada por alguma constante g_o.

B.1.4 Propriedade 4

Da propriedade (B-2), lembre-se que a matriz $\mathbf{H}(\mathbf{q})$ é simétrica ($H_{ij} = H_{ji}$) e seja $\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ a matriz das forças de Coriolis e Centrífugas. Então, representando para o i-ésimo elemento $\mathbf{C}\dot{\mathbf{q}}$ como

$$\sum_{j=1}^{n} C_{ij}\dot{q}_j = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\frac{\partial H_{ij}}{\partial q_k}\dot{q}_j\dot{q}_k + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(\frac{\partial H_{ij}}{\partial q_k} - \frac{\partial H_{jk}}{\partial q_i})\dot{q}_k\dot{q}_j$$

e simplificando a expressão obtém-se:

$$C_{ij} = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n}\frac{\partial H_{ij}}{\partial q_k}\dot{q}_k + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n}(\frac{\partial H_{ik}}{\partial q_j} - \frac{\partial H_{jk}}{\partial q_i})\dot{q}_k$$

$$C_{ij} = \frac{1}{2}\dot{H}_{ij} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n}(\frac{\partial H_{ik}}{\partial q_j} - \frac{\partial H_{jk}}{\partial q_i})\dot{q}_k$$

Seja $\mathbf{N}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \dot{\mathbf{H}(\mathbf{q})} - 2\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$, então

$$N_{ij} = \sum_{k=1}^{n}(\frac{\partial H_{jk}}{\partial q_i} - \frac{\partial H_{ik}}{\partial q_j})\dot{q}_k$$

Da expressão anterior, obtemos que:

$$N_{ij} = -N_{ji}$$

Isto significa que a matriz $\mathbf{N}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ é uma matriz anti-simétrica, e assim

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{q}}^T\mathbf{N}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} &\equiv 0 \\ \dot{\mathbf{q}}^T(\dot{\mathbf{H}} - 2\mathbf{C})\dot{\mathbf{q}} &\equiv 0 \end{aligned} \qquad \text{(B-5)}$$

para qualquer vetor $\dot{\mathbf{q}}$ de dimensões $n \times 1$

B.1.5 Propriedade 5

Um balanço de energia para o robô manipulador de juntas rígidas é dado por:

$$E_{manipulador} = E_{cinética} + E_{potencial}$$

onde

$$
\begin{aligned}
E_{cinética} &= \frac{1}{2}\dot{\mathbf{q}}^T\mathbf{H}\dot{\mathbf{q}} \\
E_{potencial} &= \mathbf{U}(\mathbf{q})
\end{aligned}
$$

então

$$E_{manipulador} = \frac{1}{2}\dot{\mathbf{q}}^T\mathbf{H}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{U}(\mathbf{q})$$

Derivando a expressão da energia,

$$
\begin{aligned}
\frac{d}{dt}(E_{manipulador}) &= \dot{\mathbf{q}}^T\mathbf{H}\ddot{\mathbf{q}} + \frac{1}{2}\dot{\mathbf{q}}^T\dot{\mathbf{H}}\dot{\mathbf{q}} + \frac{\partial \mathbf{U}(\mathbf{q})}{\partial t}\frac{\partial q}{\partial q} \\
\frac{d}{dt}(E_{manipulador}) &= \dot{\mathbf{q}}^T\mathbf{H}\ddot{\mathbf{q}} + \frac{1}{2}\dot{\mathbf{q}}^T\dot{\mathbf{H}}\dot{\mathbf{q}} + \dot{\mathbf{q}}^T\mathbf{G}
\end{aligned}
$$

Substituindo a equação dinâmica do manipulador, obtemos

$$
\begin{aligned}
\frac{d}{dt}(E_{manipulador}) &= \dot{\mathbf{q}}^T\boldsymbol{\tau} - \dot{\mathbf{q}}^T\mathbf{C}\dot{\mathbf{q}} - \dot{\mathbf{q}}^T\mathbf{G} + \frac{1}{2}\dot{\mathbf{q}}^T\dot{\mathbf{H}}\dot{\mathbf{q}} + \dot{\mathbf{q}}^T\mathbf{G} \\
\frac{d}{dt}(E_{manipulador}) &= \dot{\mathbf{q}}^T\boldsymbol{\tau} + \dot{\mathbf{q}}^T(\frac{1}{2}\dot{\mathbf{H}} - \mathbf{C})\dot{\mathbf{q}}
\end{aligned}
$$

Então, utilizando a propriedade (B-5), finalmente obtemos

$$\frac{d}{dt}(E_{manipulador}) = \dot{\mathbf{q}}^T\boldsymbol{\tau} \tag{B-6}$$

Se observa que os termos de Coriolis e das forças centrífugas não contribuem para a variação temporal da energia total. Além disso, a potência necessária para o movimento do robô manipulador é aquela potência transmitida pelo atuador de cada junta. As forças de Coriolis e Centrífuga não contribuem na potência do sistema.

C
Apêndice C

C.1
Instalação do CHAI3D em MVS2008

Para experimentar os exemplos demo do CHAI3D no MVS2008 fazemos o seguinte:

- Execute o Visual Studio 2008 e abre um Projeto Solution assim, no menu File− >Open− >Project\Solution... ou tecle Ctrl+Shift+O como se mostra na figura C.1.

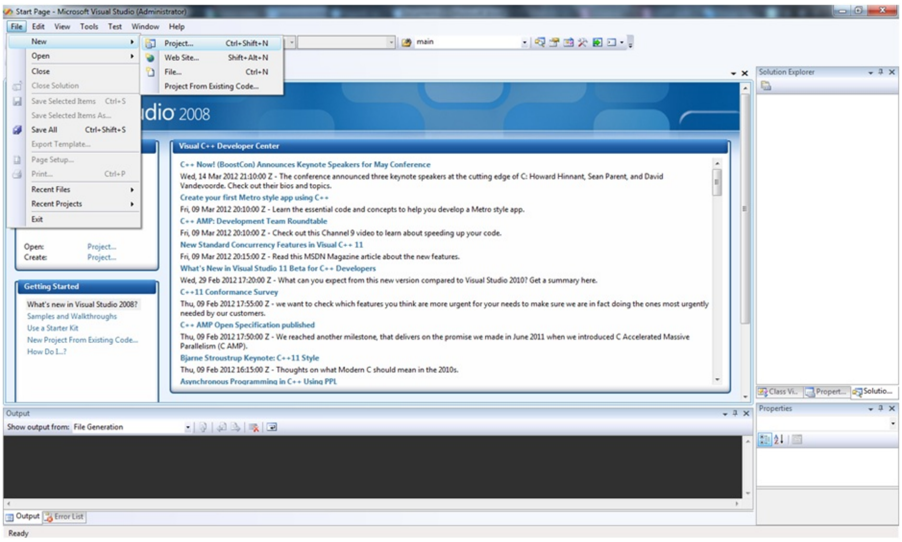

Figura C.1: Microsoft Visual Studio 2008

- Aparecerá uma nova janela para abrir o arquivo com extensão .sln, Esse arquivo se encontra na pasta de exemplos\msvc9 do CHAI3D com o nome CHAI3D.sln. Logo compilamos o programa teclando Ctrl+F7 e todos os exemplo demo ficaram pronto para sua experimentação como mostra a figura C.2 e C.3.

Os seguintes passos descrevem a configuração um novo projeto utilizando as bibliotecas que o CHAI3D utiliza. Isto serve para poder programar um próprio código para desenvolver o entorno virtual com a aplicação descrita para este trabalho.

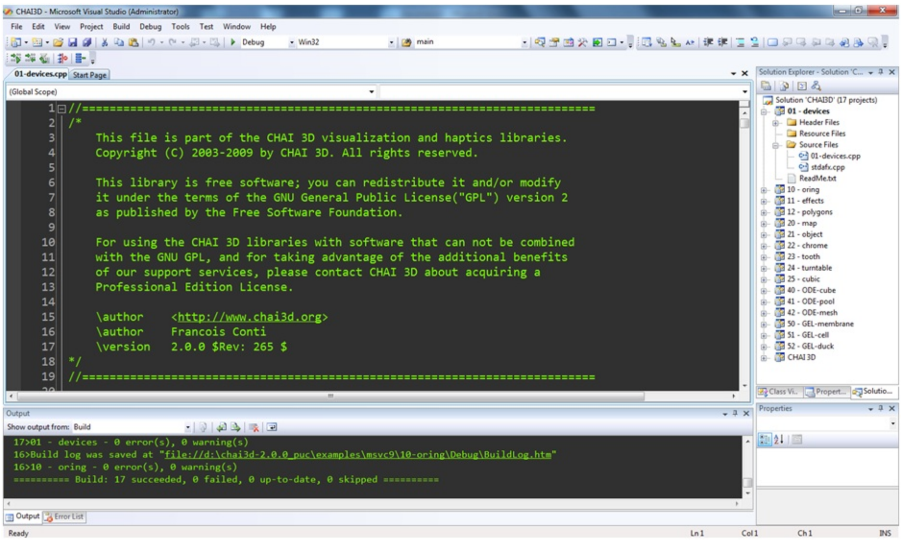

Figura C.2: Compilação dos exemplos demo do CHAI3D

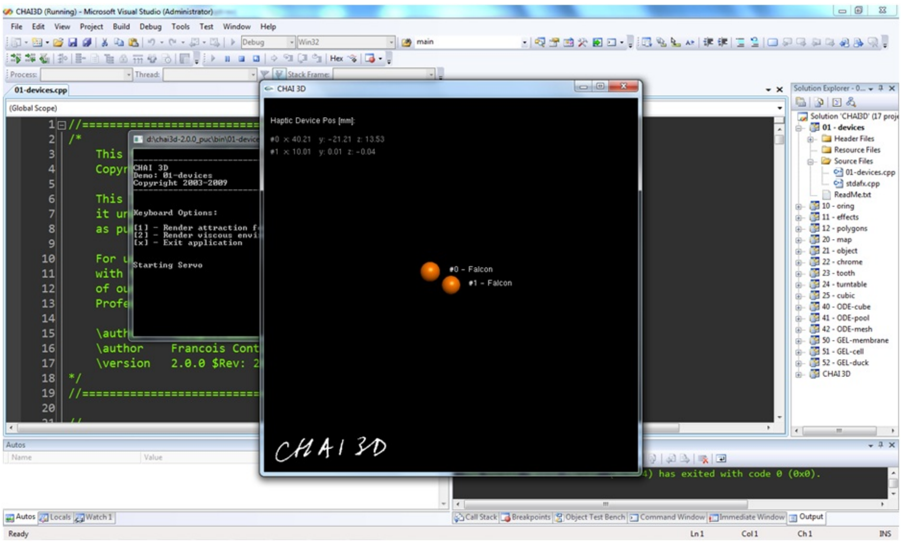

Figura C.3: Exemplo 01-devices do CHAI3D

1. Execute o Visual Studio 2008 e crie um novo projeto no menu File− >New− >Project ou tecle Ctrl+Shift+N. Guarde o nome projeto na pasta de exemplos\msvc9 do CHAI3D. Para a aplicação utilizamos *Win32 Console Application* e com um *empty project*, como mostramos na figura C.4.

2. Logo no MSV2008 na parte do menu Project− >Project Properties ou teclando Alt+F7 abrimos uma janela onde configuraremos os arquivos para utilizar o CHAI3D.

3. Em Configuration Propierties− >C/C++− >General− >Additional Include Directories escrevemos D:\chai3d-2.0.0\src e D:\chai3d-

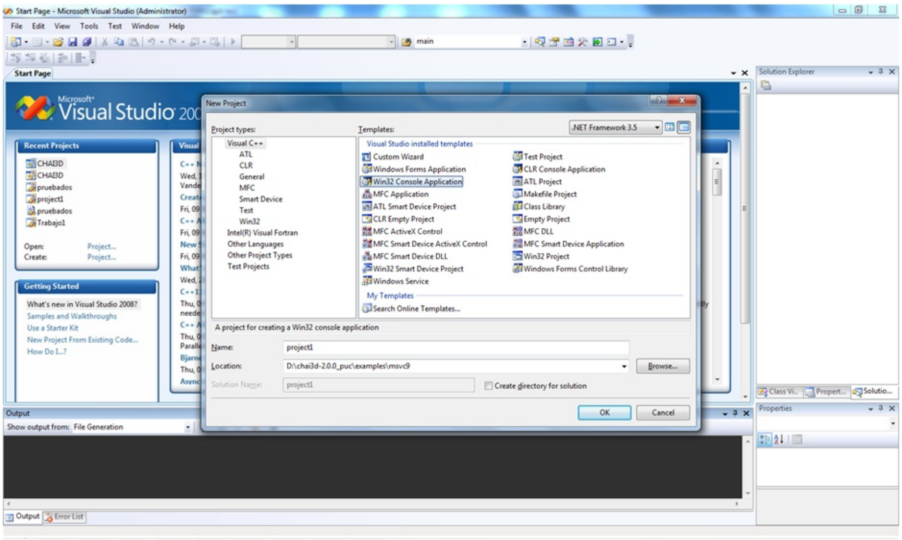

Figura C.4: Criando novo projeto no MVS2008

2.0.0\external\OpenGL\msvc D:\chai3d-2.0.0\external\ODE\include\ode D:\chai3d-2.0.0\modules\ODE.

4. Em Configuration Propierties− >C/C++− >Preprocessor− >Preprocessor Definitions escrevemos:

```
WIN32;$_$DEBUG;$_$CONSOLE;$_$MSVC;WINVER$=0X0500$;dDOUBLE
```

como mostra a figuraC.5.

5. Em Configuration Propierties− >Linker− >General− >Additional Include Directories escrevemos D:\chai3d-2.0.0\external\ODE\lib\msvc D:\chai3d-2.0.0\external\OpenGL\msvc D:\chai3d-2.0.0\lib\msvc9

6. Em Configuration Propierties− >Linker− >General− >Ouput File escrevemos D:\chai3d-2.0.0\bin\project1.exe, figuraC.6.

7 Em Configuration Propierties− >Linker− >Input− >Additional Dependencies, escrevemos:

```
winmm.lib opengl32.lib chai3d-debug.lib
glu32.lib odbc32.lib odbccp32.lib ode_double.lib
```

Finalmente compilamos nosso primeiro projeto, mostrado na figura C.7.

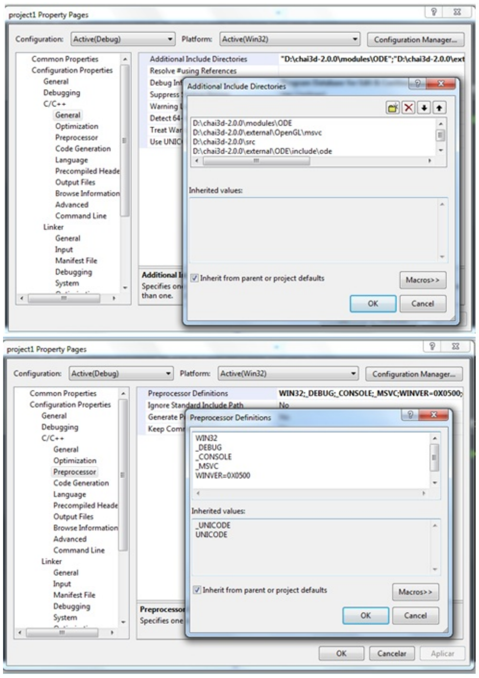

Figura C.5: Enlace de arquivos cabeçalhos .h (Passos 2, 3 e 4)

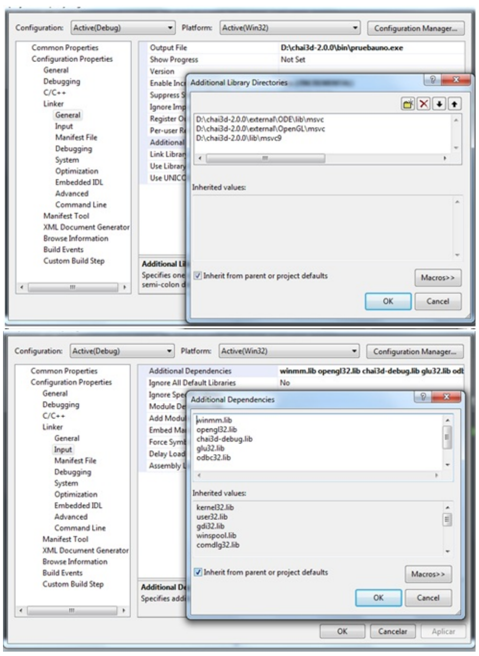

Figura C.6: Enlace de arquivos .lib (Passos 5 e 6)

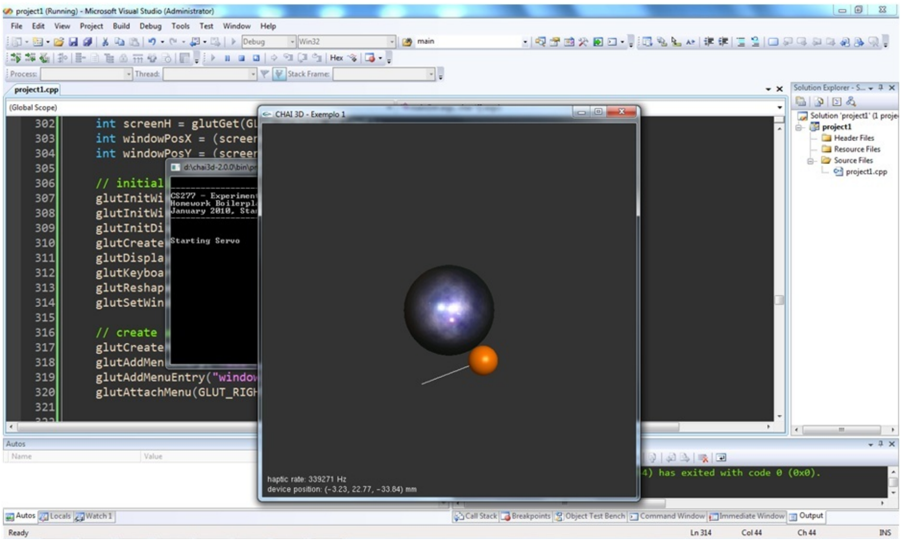

Figura C.7: Compilação de um projeto com Chai3D