

**Marco Antonio Meggiolaro, Ph.D.**

Dept. Engenharia Mecânica PUC-Rio

Projeto de Pesquisa

## **PROJETO E CONTROLE DE UMA CADEIRA DE RODAS AUTOMATIZADA INTELIGENTE COM SENSORES DE ULTRASSOM**

### **1. INTRODUÇÃO**

Sistemas robóticos podem ser aplicados no controle de transportadores pessoais, como cadeiras de rodas automatizadas. Os usuários de cadeiras de rodas, denominados cadeirantes, podem usufruir de técnicas de controle inteligente que possibilitem o desvio de obstáculos e evitem terrenos irregulares, executados automaticamente. Além de prover uma maior segurança ao usuário, cadeiras de rodas movidas por eletricidade são silenciosas, eficientes, e dispensam o uso de combustíveis. No Brasil, os deficientes com mobilidade reduzida são 27% do total da população de 25 milhões de deficientes físicos, ou seja, cerca de 6 milhões de pessoas, de acordo com o censo do ano 2000. É o equivalente a uma cidade do Rio de Janeiro de pessoas com limitações para se locomover. Há uma grande demanda neste mercado para sistemas automáticos, em especial com inteligência embarcada.

A linha de pesquisa em Robótica do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) da PUC-Rio, diretamente vinculada à habilitação em Engenharia de Controle e Automação, origem da maioria dos alunos envolvidos, tem como objetivo desenvolver e controlar sistemas mecânicos e robóticos baseado na integração de conhecimentos físicos fundamentais destes sistemas com metodologias computacionais avançadas. Para alcançar esse objetivo, os projetos usualmente requerem modelagem e análise detalhadas, simulações computacionais e estudos experimentais.

O Grupo de Robótica da PUC-Rio envolve dois professores em tempo integral do DEM, e conta com a colaboração de membros do corpo docente da PUC-Rio, em particular do Departamento de Engenharia Elétrica vinculados à Engenharia de Controle e Automação, atuando em três tópicos de pesquisa de relevância científica e tecnológica: **Manipuladores Robóticos, Veículos Robóticos, e Elementos de Atuação e Controle.**

Este laboratório multi-departamental é utilizado por diversos alunos de graduação e pós-graduação dos departamentos de Engenharia Mecânica e Elétrica da PUC-Rio, assim como alunos de Engenharia de Controle e Automação. São desenvolvidas diversas pesquisas orientadas por professores destes departamentos.

### **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é projetar e desenvolver um sistema de transporte e condução auxiliar ao cadeirante, incluindo a estrutura mecânica, componentes eletrônicos, além de estratégia de controle com capacidade para transporte e condução de 1 passageiro adulto, com peso máximo

de 120 kg, além de uma carga extra máxima de 15 kg. O sistema será capaz de ser controlado pelo usuário com o uso de um joystick, e ao mesmo tempo desviar de obstáculos autonomamente utilizando um sistema computacional e sensores de ultrassom.

Esse projeto de pesquisa é um dentre os vários que pretende-se dar prosseguimento na área de robôs móveis autônomos. Robôs móveis têm sido introduzidos em diversas aplicações não-industriais em áreas como entretenimento, construção e hospitais, com o prospecto de disponibilidade permanente, rápida execução de tarefas, e baixa relação custo-benefício. O mercado de robôs autônomos médicos, submarinos, de vigilância, demolição, ou limpeza, dentre outros, tem crescido significativamente na última década, resultando em um mercado de US\$2 bilhões anuais. No entanto, aplicações comerciais em larga escala de robôs de serviço dependerão de simplificações significativas de *hardware*, proporcionando baixo custo de aquisição e manutenção. O principal objetivo deste tópico de pesquisa é identificar e desenvolver tecnologias que habilitem um robô móvel de baixo custo se orientar e locomover autonomamente, executando tarefas em seu ambiente. Técnicas de controle avançadas são desenvolvidas baseadas em inteligência artificial para permitir que o robô crie da forma mais eficiente possível um mapa de sua vizinhança, explorando o ambiente utilizando-se apenas deste conjunto limitado de sensores. As técnicas desenvolvidas, após simuladas, são verificadas experimentalmente, avaliando-se assim a sua aplicabilidade em aplicações como a de uma cadeira de rodas inteligente.

### **3. Infra-Estrutura Disponível**

A infra-estrutura de laboratórios da PUC-Rio está sempre crescendo, se modernizando e aperfeiçoando. Além de toda a estrutura de serviços da PUC-Rio, que inclui uma oficina mecânica bem aparelhada, a linha de pesquisa em Robótica conta com dois Laboratórios próprios, o Laboratório de Robótica e o Laboratório de Controle e Automação. Estes laboratórios, onde será desenvolvida a pesquisa, possuem forte interação com outros grupos da Universidade, em especial do Laboratório de Integridade Estrutural, onde são desenvolvidos trabalhos de controle aplicado a máquinas servo-hidráulicas de ensaios mecânicos. O Laboratório de Robótica dispõe de 2 manipuladores robóticos MA2000, 2 sistemas CompactRIO para desenvolvimento de sistemas de controle, e de todo o material complementar para a construção mecânica de sistemas robóticos, incluindo 1 torno e 1 mini-torno mecânico, 1 mini-fresadora CNC, e diversas ferramentas de usinagem. O Laboratório necessita de equipamentos para a confecção dos sistemas eletrônicos da interface cerebral e para sua adaptação nas cadeiras de rodas, os quais estão incluídos no orçamento. As bibliotecas da PUC-Rio mantêm e atualizam um acervo de periódicos de alto nível, pertinente às linhas de pesquisa. Vale ressaltar a melhoria significativa no acesso à pesquisa bibliográfica obtida com a liberação para a PUC do acesso ao portal de periódicos da CAPES. Além disso, a infraestrutura de informática do Departamento encontra-se em expansão, com significativos investimentos na modernização da rede que interliga os diversos equipamentos. Desta forma, já existe a infra-estrutura necessária para oferecer condições de trabalho necessárias para o desenvolvimento da proposta.

### **4. Resultados Esperados**

Espera-se que, com esse projeto, a linha de pesquisa em Robótica se amplie dando continuidade ao projeto e incentivando a inovação tecnológica no país. A criação de uma cadeira de rodas

inteligente poderá fornecer um aumento na qualidade de vida de pessoas portadoras de deficiência física e que necessitem de cuidados especiais.

Por fim, com as linhas de trabalho descritas acima, estima-se que será possível aumentar o ritmo de publicações dos últimos anos, descrita no Apêndice. Durante a vigência do projeto, pretende-se apresentar uma produção acadêmica mensurável, publicando artigos nas subáreas de:

- (i) Lógica Fuzzy
- (ii) Tecnologia Assistiva
- (iii) Robôs Móveis

## Apêndice – Publicações entre 2004-2010

### Periódicos indexados (19 entre 2004 e 2010):

1. Meggiolaro, M.A., Dubowsky, S., Mavroidis, C., “Error Identification and Compensation in Large Manipulators with Application in Cancer Proton Therapy”, *Revista Brasileira de Controle & Automação (SBA, ISSN 0103-1759, Qualis NA)*, Vol. 15, n.1, pp.71-77, 2004.
2. Sujan, V.A., Meggiolaro, M.A., “Model Predictive Disturbance Rejection during Cooperative Mobile Robot Assembly Tasks”, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences (RBCM, ISSN 1678-5878, Qualis IB)*, Vol. 26, n.3, pp.260-268, 2004.
3. Meggiolaro, M.A., Dubowsky, S., Mavroidis, C., “Geometric and Elastic Error Calibration of a High Accuracy Patient Positioning System”, *Mechanism and Machine Theory (ISSN 0094-114X, Qualis IB)*, Vol. 40, n.4, pp.415-427, IFToMM, 2005.
4. Sujan, V.A., Meggiolaro, M.A., “Intelligent and Efficient Strategy for Unstructured Environment Sensing using Mobile Robot Agents”, *Journal of Intelligent and Robotic Systems (ISSN 0921-0296, Qualis IB)*, Vol. 43, n.2-4, pp. 217-253, 2005.
5. Sujan, V.A., Meggiolaro, M.A., Belo, F.A.W., “Information Based Indoor Environment Robotic Exploration and Modeling Using 2-D Images and Graphs”, *Autonomous Robots (ISSN 0929-5593, Qualis IA)*, Vol. 21, n.1, pp.15-28, 2006.
6. Sujan, V.A., Meggiolaro, M.A., Belo, F.A.W. “A New Technique in Mobile Robot Simultaneous Localization and Mapping”, *Revista Brasileira de Controle & Automação (SBA, ISSN 0103-1759, Qualis NA)*, Vol. 17, n.2, pp.189-204, 2006.
7. Silva, A.F.B., Santos, A.V., Meggiolaro, M.A., Speranza Neto, M., “A Rough Terrain Traction Control Technique for All-Wheel-Drive Mobile Robots”, aceito no *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences (RBCM, ISSN 1678-5878, Qualis IB)*, submissão 18849, 2010.
8. Assis, P.F.C.B., Meggiolaro, M.A., “Controle Não-Linear de Força de Músculos Artificiais Poliméricos por Efeito Capacitivo”, aceito na *Revista Brasileira de Controle & Automação (SBA, ISSN 0103-1759, Qualis NA)*, 2010.

### *Publicados em conjunto com o grupo de Integridade Estrutural:*

9. Meggiolaro, M.A., Castro, J.T.P., “Statistical Evaluation of Strain-Life Fatigue Crack Initiation Predictions”, *International Journal of Fatigue (ISSN 0142-1123, Qualis IA)*, Vol. 26, n.5, pp.463-476, 2004.
10. Meggiolaro, M.A., Miranda, A.C.O., Castro, J.T.P., Martha, L.F., “Evaluation of Crack Growth Retardation in Branched Fatigue Cracks”, artigo convidado em *Tecnologia em Metalurgia e Materiais (ISSN 1807-300X)*, Vol. 1, n.1, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM), pp.50-54, 2004.
11. Castro, J.T.P., Meggiolaro, M.A., “Estatísticas de Taxas de Propagação de Trinca de Fadiga em Materiais Estruturais”, artigo convidado em *Máquinas e Metais (ISSN 0025-2700)*, Ano XL, n.463, São Paulo, SP, pp.176-184, 2004.
12. Meggiolaro, M.A., Miranda, A.C.O., Castro, J.T.P., Martha, L.F., “Stress Intensity Factor Equations for Branched Crack Growth”, *Engineering Fracture Mechanics (ISSN 0013-7944, Qualis IA)*, Vol. 72, pp. 2647-2671, 2005.
13. Castro, J.T.P., Meggiolaro, M.A., Miranda, A.C.O., “Singular and Non-Singular Approaches for Predicting Fatigue Crack Growth Behavior”, *International Journal of Fatigue (ISSN 0142-1123, Qualis IA)*, Vol. 27, pp. 1366-1388, 2005.
14. Meggiolaro, M.A., Miranda, A.C.O., Castro, J.T.P., Martha, L.F., “Crack Retardation Equations for the Propagation of Branched Fatigue Cracks”, *International Journal of Fatigue (ISSN 0142-1123, Qualis IA)*, Vol. 27, pp. 1398-1407, 2005.
15. Meggiolaro, M.A., Miranda, A.C.O., Castro, J.T.P., “Short crack threshold estimates to predict notch sensitivity factors in fatigue”, *International Journal of Fatigue (ISSN 0142-1123, Qualis IA)*, Vol. 29, n.9-11, pp.2022-2031, 2007.
16. Castro, J.T.P., Meggiolaro, M.A., Miranda, A.C.O., “Fatigue crack growth predictions based on damage accumulation calculations ahead of the crack tip”, *Computational Materials Science (ISSN 0927-0256, Qualis A2)*, Vol. 46, pp.115-123, 2009.
17. Castro, J.T.P., Vieira, R.D., Sousa, R.A., Meggiolaro, M.A., Freire, J.L.F., “Dead Load Evaluation in Reinforced Concrete Columns Using Released Strain Measurements”, *Experimental Techniques (ISSN 0732-8818, Qualis B1)*, paper EXT-T-0388, pp.1-8, 2009.
18. Wu, H., Imad, A., Benseddiq, N., Castro, J.T.P., Meggiolaro, M.A., “On the prediction of the residual fatigue life of cracked structures repaired by the stop-hole method”, *International Journal of Fatigue (ISSN 0142-1123, Qualis A1)*, Vol. 32, pp.670-677, 2010.

19. Meggiolaro, M.A., Castro, J.T.P., “Automation of the Fatigue Design under Variable Amplitude Loading Using the ViDa Software”, *International Journal of Structural Integrity* (ISSN 1757-9864), Vol. 1, n.1, pp.1-6, 2010.

#### **Congressos e simpósios nacionais e internacionais (73 entre 2004 e 2010):**

1. Belo, F.A.W., Meggiolaro, M.A., Pacheco, M.A., “Genetic Algorithm for the Optimization of Graph Adjacency Addition with Application in Movement Planning for Robots”, *NanoBio 2004 - Nanotechnology and Biology Inspired Computing Workshop*, Rio de Janeiro, 2004; e em *IEEE Electronic Week*, UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.
2. Belo, F.A.W., Meggiolaro, M.A., Hall, C., Tancheidt, R., “Differential Drive Robot Control through Fuzzy Logic and Neural Networks”, *NanoBio 2004 - Nanotechnology and Biology Inspired Computing Workshop*; e em *IEEE Electronic Week*, UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.
3. Scofano, F.S., Meggiolaro, M.A., Suján, V.A., “Inverse Kinematics of a Binary Flexible Manipulator Using Genetic Algorithms”, *18o Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica (COBEM), Mechatronics Symposium (ABST1162)*, ABCM, Ouro Preto, MG, 2005.
4. Suján, V.A., Belo, F.A.W., Meggiolaro, M.A. “Mobile Robot Localization and Mapping Using Space Invariant Transforms”, *18o Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica (COBEM), Mechatronics Symposium (ABST1152)*, ABCM, Ouro Preto, MG, 2005.
5. Suján, V.A., Meggiolaro, M.A., Belo, F.A.W., “Mobile Robot Simultaneous Localization and Mapping Using Low Cost Vision Sensors”, *10th International Symposium on Experimental Robotics (ISER '06)*, Rio de Janeiro, Brasil, 2006
6. Soares, B.F.F., Silva, F.S., Nigri, I., Mello, C.B., Meggiolaro, M.A., “Master-Slave Servo-Bilateral Control of Direct Drive Electrical Manipulators”, *19th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM), Mechatronics Symposium (paper 0389)*, Brasília, DF, 2007.
7. Silva, A.F.B., Santos, A.V., Reis, N.R.S., Meggiolaro, M.A., “Traction Control of All-Wheel-Drive Independent Suspension Mobile Robots in 2D Rough Terrain”, *19th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM), Mechatronics Symposium (paper 0391)*, Brasília, DF, 2007.
8. Ribeiro J.G.H., Ruffini, B., Meggiolaro, M.A., Vidal, A.C., “P&D na área nuclear – CAND”, *XXVI Congresso Nacional de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (CONAEND)*, São Paulo, SP, Junho, 2008.
9. Pinto, M.A.G., Meggiolaro, M.A., Tanscheit, R., “Calibragem Visual de Manipuladores Robóticos com Uso de Invariantes SIFT”, *Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2008)*, paper #38844, Juiz de Fora, MG, 2008.
10. Achancaray, D.R., Meggiolaro, M.A., “Detection of Artifacts from EEG Data Using Wavelet Transform, High-Order Statistics and Neural Networks”, *Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2008)*, paper #42159, Juiz de Fora, MG, 2008.
11. Alva, J.G.C., Meggiolaro, M.A., Castro, J.T.P., “Aumento da Frequência em Ensaios de Fadiga Através de Técnicas de Controle por Aprendizado”, *64o Congresso Anual da ABM - Internacional*, paper #15159, Belo Horizonte, MG, 13 a 17 de julho de 2009.
12. Achancaray, D.R., Meggiolaro, M.A., “Brain Computer Interface Based on Electroencephalographic Signal Processing”, *XVI Congreso Internacional de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Sistemas - INTERCON 2009*, IEEE, Arequipa, Peru, 2009.
13. Barbosa, A.G.O., Diaz, D.R.A., Vellasco, M., Meggiolaro, M.A., Tanscheit, R., “Mental Tasks Classification for a Noninvasive BCI Application”, paper 1569201331, *19th International Conference on Artificial Neural Networks, ICANN'09*, Limassol, Chipre, 2009.
14. Nigri, I., Meggiolaro, M.A., Feitosa, R.Q., “Comparison between Look-and-Move and Visual Servo Control using SIFT Transforms in Eye-In-Hand Manipulator Systems”, *20th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM)*, paper COB09-2608, Gramado, RS, 2009.
15. Alva, J.G.C., Meggiolaro, M.A., Castro, J.T.P., Topper, T.H., “A Learning Control Technique to Increase the Frequency of Servo-Hydraulic Testing Machines”, *20th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM)*, paper COB09-2625, Gramado, RS, 2009.
16. Assis, P.F.C.B., Meggiolaro, M.A., “Non-Linear Force Control of Actuators Based on Polymeric Artificial Muscles with Capacitive Effect”, *20th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM)*, paper COB09-2637, Gramado, RS, 2009.
17. Barbosa, A.O.G., Achancaray, D.R., Meggiolaro, M.A., “Activation of a Mobile Robot through a Brain Computer Interface”, *International Conference on Robotics and Automation (ICRA '2010)*, IEEE, ISBN 978-1-4244-5040-4, ISSN 1050-4729, Anchorage, Alasca, Estados Unidos, pp.4815-4821, maio de 2010.
18. Fredrich, C.M.B., Feitosa, R.Q., Meggiolaro, M.A., “A Parallel Method For Object Tracking”, *IWSSIP 2010 - 17th International Conference on Systems, Signals and Image Processing*, Rio de Janeiro, RJ, 17-19 de Junho de 2010.
19. Alva, J.G.C., Meggiolaro, M.A., Castro, J.T.P., Topper, T.H., “Bang-Bang Control of Servo-Hydraulic Testing Machines Using Learning Techniques”, *XVIII Congresso Brasileiro de Automatica - CBA 2010*, paper #66261, Bonito, MS, 2010.

20. Nigri, I., Feitosa, R.Q., Meggiolaro, M.A., “On the Use of the SIFT Transform to Self-Locate and Position Eye-In-Hand Manipulators Using Visual Control”, XVIII Congresso Brasileiro de Automatica - CBA 2010, paper #66264, Bonito, MS, 2010.
21. Assis, P.F.C.B., Meggiolaro, M.A., “Modelagem e Controle Não-Linear de Força para Atuadores Baseados em Polímeros Dielétricos Eletroativos”, XVIII Congresso Brasileiro de Automatica - CBA 2010, paper #66266, Bonito, MS, 2010.

**e mais 52 artigos completos de congressos nacionais e internacionais publicados em conjunto com o grupo de Integridade Estrutural entre 2004 e 2010.**

**Capítulos de livro (16 entre 2004 e 2010):**

1. Sujan, V.A., Meggiolaro, M.A., “Improving the positioning accuracy of robotic manipulators subject to base oscillations”, em ABCM Symposium Series in Mechatronics v.1 (ISBN 85-857699-20-3), Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Rio de Janeiro, Brasil, pp.76-85, 2004.
2. Sujan, V.A., Meggiolaro, M.A., “On the Visual Exploration of Unknown Environments using Information Theory Based Metrics to Determine the Next Best View”, capítulo do livro: Mobile Robots: New Research (ISBN 1-59454-359-3), Editor: John X. Liu, Nova Science Publishers, Estados Unidos, pp.39-116, 2006.
3. Sujan, V.A., Belo, F.A.W., Meggiolaro, M.A. “Mobile Robot Localization and Mapping Using Space Invariant Transforms”, em ABCM Symposium Series in Mechatronics v.2 (ISBN 978-85-85769-26-0), Editors: P.E. Miyagi, O. Horikawa, E. Villani, Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Rio de Janeiro, Brasil, pp.226-233, 2006.
4. Scofano, F.S., Meggiolaro, M.A., Sujan, V.A., “Inverse Kinematics of a Binary Flexible Manipulator Using Genetic Algorithms”, em ABCM Symposium Series in Mechatronics v.2 (ISBN 978-85-85769-26-0), Editors: P.E. Miyagi, O. Horikawa, E. Villani, Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Rio de Janeiro, Brasil, pp.202-209, 2006.
5. Sujan, V.A., Meggiolaro, M.A., Belo, F.A.W. “Mobile Robot Simultaneous Localization and Mapping Using Low Cost Vision Sensors”, em Experimental Robotics (ISBN 978-3-540-77456-3), Springer Tracts in Advanced Robotics (STAR), pp.259-266, 2008.
6. Soares, B.F.F., Silva, F.S., Nigri, I., Mello, C.B., Meggiolaro, M.A., “Master-Slave Servo-Bilateral Control of Direct Drive Electrical Manipulators”, em ABCM Symposium Series in Mechatronics v.3 (ISBN 978-85-85769-38-3), Editor: P.E. Miyagi, Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Rio de Janeiro, Brasil, pp.246-255, 2008.
7. Silva, A.F.B., Santos, A.V., Reis, N.R.S., Meggiolaro, M.A., “Traction Control of All-Wheel-Drive Independent Suspension Mobile Robots in 2D Rough Terrain”, em ABCM Symposium Series in Mechatronics v.3 (ISBN 978-85-85769-38-3), Editor: P.E. Miyagi, Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Rio de Janeiro, Brasil, pp.256-265, 2008.
8. Sujan, V.A., Meggiolaro, M.A., “Simultaneous Localization and Mapping for Mobile Robot Teams with Visual Sensors”, em Mechatronics Systems: Intelligent Transportation Vehicles (ISBN ), Editors: Dutra, M.S., Lengerke, O., Bentham Science Publishers, 2010.

**e mais 8 capítulos de livro publicados em conjunto com o grupo de Integridade Estrutural entre 2004 e 2010.**

**Livros:**

1. “RioBotz Combat Robot Tutorial”, por Meggiolaro, M.A., com 380 páginas, ISBN 1 44 869705 0, CreateSpace Publishing Company, Scotts Valley, CA, EUA.
2. “FADIGA – Técnicas e Práticas de Dimensionamento Estrutural sob Cargas Reais de Serviço”, por Castro, J.T.P. & Meggiolaro, M.A., com 11 capítulos e 6 apêndices, num total de 1072 páginas, adotado nos cursos de Comportamento Mecânico dos Materiais e Mecânica da Fratura e Fadiga da Pontifícia Universidade Católica; CreateSpace Publishing Company, Scotts Valley, CA, EUA., Volume I – Iniciação de Trincas – 494 páginas, ISBN 1 44 951469 3, Volume II – Propagação de Trincas, Efeitos Térmicos e Estocásticos – 578 páginas, ISBN 1 44 951470 7