



# Robótica no Mapa

## Contributos para um Livro Branco da Robótica em Portugal

Dezembro de 2011

**Iniciativa de:** Pedro U. Lima (LARSyS / IST), Nuno Almeida (Almeida Consulting)

**Colaboradores:** António Paulo Moreira (INESC-TEC/FEUP), Estela Bicho (U. Minho), Fernando L. Pereira (ISR/FEUP), Fernando Ribeiro (U. Minho), J. Norberto Pires (DEM/FCTUC), João B. Sousa (ISR/FEUP) Jorge Dias (ISR/FCTUC), Luís de Almeida (IT/FEUP), Luís Seabra Lopes (U. Aveiro), Nuno Almeida (Almeida Consulting), Pedro Lima (LARSyS/IST)



# Índice

Índice .....	iii
1 Introdução e Objectivos .....	1
2 Sistemas Avançados de Produção .....	5
2.1 Requisitos Actuais .....	5
2.2 Capacidades Instaladas .....	6
2.3 Visão Crítica .....	8
2.4 Referências .....	9
3 Robôs de Serviço Adaptativos .....	11
3.1 Requisitos Actuais .....	11
3.2 Capacidades Instaladas .....	13
3.3 Visão Crítica .....	15
3.4 Referências .....	16
4 Robótica em Rede e Casas Inteligentes .....	17
4.1 Requisitos Actuais .....	17
4.2 Capacidades Instaladas .....	18
4.3 Visão Crítica .....	19
4.4 Referências .....	20
5 Cuidados de Saúde e Qualidade de Vida .....	21
5.1 Requisitos Actuais .....	21
5.2 Capacidades Instaladas .....	22
5.3 Visão Crítica .....	23
6 Sistemas de Transporte .....	25
6.1 Requisitos Actuais .....	25
6.2 Capacidades Instaladas .....	25
6.3 Visão Crítica .....	26
7 Segurança, Vigilância e Monitorização .....	29
7.1 Requisitos Actuais .....	29
7.2 Capacidades Instaladas .....	31
7.3 Visão Crítica .....	33
7.4 Referências .....	34
8 Educação e Entretenimento .....	35
8.1 Requisitos Actuais .....	35
8.2 Capacidades Instaladas .....	35
8.3 Visão Crítica .....	37
9 Robótica Espacial .....	39
9.1 Requisitos Actuais .....	39
9.1.1 Introdução .....	39
9.1.2 Relatórios Existentes .....	40
9.1.3 Requisitos Futuros .....	40
9.2 Capacidades Instaladas .....	41
9.3 Visão Crítica .....	42
9.4 Referências .....	42
10 Notas Finais .....	43

# 1 Introdução e Objectivos

Ao longo dos últimos anos, Portugal desenvolveu capacidades relevantes de inovação e desenvolvimento no domínio da robótica. Em Portugal têm emergido actividades empresariais neste domínio, em boa parte devido à actividade de formação e investigação em diferentes Universidades e Institutos do Sistema de Ensino Superior Português. Muitas destas actividades são fruto da dinâmica gerada pelo crescente envolvimento em projectos internacionais financiados em regime de competição, e realizados em parceria com instituições de investigação e empresas com relevância mundial em Investigação e Desenvolvimento Tecnológico (I&DT). Este envolvimento é estimulado por um aumento considerável da atenção dada pelas agências de financiamento, como a Comissão Europeia ou a Agência Espacial Europeia (ESA), que consideram a robótica como um domínio chave para o desenvolvimento tecnológico para a sociedade do futuro.



A robótica já não está confinada à inovação tecnológica para a produção e a automação industrial, e é uma solução tecnológica para outras aplicações na qual se incluem robôs para serviços em casa, no escritório ou nos hospitais, e no exterior, apoiando operações de busca e salvamento, de vigilância de fogos ou monitorização ambiental, no mar, terra e ar. **O conhecimento e a tecnologia desenvolvidos em robótica não estão mais confinados ao manipulador industrial flexível e programável, ou a veículos instrumentados com capacidade de mobilidade autónoma, e foram alargados a grupos distribuídos de dispositivos robóticos, que comunicam entre si e formam redes de sensores e robots distribuídos e com capacidades de actuação autónoma.** Estes conhecimentos e desenvolvimentos tecnológicos apresentam um elevado potencial de aplicações, na qual se inserem, por exemplo, sistemas inovadores para a inclusão e a melhoria da qualidade de vida de idosos ou pessoas incapacitadas ou para a monitorização de vastas regiões florestais ou extensas zonas aquáticas.

**A actividade em robótica em Portugal é frequentemente conduzida por requisitos muito particulares e específicos, carecendo por vezes de uma estratégia integrada para este sector, a nível nacional.** Uma estratégia que deverá incluir um investimento relevante para a

valorização do conhecimento e dos recursos humanos na área de robótica com programas de I&DT especializados. Essa visão estratégica deve ser abrangente, explorar as sinergias, os recursos humanos e o conhecimento existentes, valorizando a cooperação entre grupos de investigação que desenvolvem aplicações de tecnologias robóticas e as empresas. Estas empresas não estão confinadas às de actividades no domínio industrial mas deverão incluir empresas com outras actividades nas quais se incluem a domótica ou o ambiente. A quantidade, qualidade e diversidade do conhecimento acumulado pelas actividades realizadas no desenvolvimento de sistemas robotizados em Portugal, para além da mais tradicional área da automação, são verdadeiramente notáveis e poderão ser catalisadoras de inovação e geradoras de actividade económica rentável.

**A robótica é uma área com uma forte componente tecnológica, e é surpreendente encontrar em Portugal actividades em robótica em praticamente todas as Universidades e em algumas empresas, apesar de apenas 5 em cada mil portugueses activos trabalhar em investigação, segundo dados de 2007.** Algumas destas actividades têm um forte envolvimento em grandes projectos europeus, financiados pela Comissão Europeia, a ESA ou a *Fusion for Energy*, em áreas diversificadas. Outras incluem o desenvolvimento de sistemas avançados de produção, os assistentes robóticos, as redes de sensores estáticos e móveis em ambientes urbanos, os satélites autónomos, os robots de transporte remoto para o *International Thermonuclear Experimental Reactor* (ITER), os sistemas de transporte inteligente, os robots aéreos ou os robots oceanográficos, para referir alguns exemplos. A diversidade inclui o desenvolvimento de dispositivos robóticos em Portugal na qual se incluem robots educativos, robots industriais (para o calçado ou os têxteis), e uma variedade significativa de robots de serviços: cadeiras de rodas robóticas, robots “corta-relva” para grandes áreas, robots para hospitais, robots de auxílio a operações de busca e salvamento, robots para entretenimento e publicidade móvel, robots de limpeza, plataformas móveis instrumentadas e para aplicações de investigação, entre outros.

*“Este documento pretende contribuir para a definição de um roadmap para o domínio da robótica em Portugal, no qual se identificam os requisitos de mercado, e os requisitos para as actividades que potenciam os conhecimentos e as capacidades existentes em Portugal.”*

**O volume de I&DT em robótica é considerável e reflecte-se noutros domínios de engenharia e de actividades da sociedade.** Com a experiência adquirida nas tecnologias de ponta necessárias para desenvolver sistemas robóticos, do hardware mecânico e electrónico ao software em tempo real, passando pelos materiais, as interfaces e a visão por computador, as empresas nacionais ficam aptas a intervir em áreas afins, como a domótica, os sistemas embarcados em automóveis, os sistemas de vigilância e monitorização ambiental remota, os sistemas de energia, os sistemas médicos, entre outros. A robótica, em Portugal não se confina às actividades industriais, e é utilizada noutras áreas de actividade da sociedade. Os empresários e investigadores portugueses trabalham com artistas no desenvolvimento de robots pintores, com publicitários em soluções publicitárias inovadoras, com neurofisiologistas e psicólogos na robótica cognitiva, com economistas, biólogos e filósofos em robótica colectiva. Participam ainda de forma intensa em grande desafios de investigação internacional, materializados em projectos e competições mundiais como a RoboCup, onde equipas nacionais se distinguem com vitórias em algumas das competições, e portugueses estão envolvidos a mais alto nível na estrutura organizadora.

**Portugal tem sido pólo de uma das maiores experiências internacionais na utilização da robótica para fins educativos e para promoção da ciência e da tecnologia junto dos jovens, se levarmos em conta as dimensões relativas dos países.** O Festival Nacional de Robótica (FNR), nascido em 2001, e actualmente realizado sob a égide da Sociedade Portuguesa de Robótica, percorreu já todo o continente, ao longo de 11 edições, atraindo cerca de 800 participantes nas suas edições mais recentes, a maioria dos quais (~700) provenientes de Escolas Básicas e Secundárias. O Festival já atraiu, pela sua dimensão e sua originalidade nas suas propostas, a atenção internacional de instituições como o *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), que agora patrocina o evento, e a *RoboCup Federation* (o FNR é o evento oficial para selecção das equipas portuguesas participantes no *RoboCup Junior*).

**A área da Robótica, pela sua natureza, adapta-se à resolução de problemas e catalisa a geração de novas actividades e aplicações.** A robótica é deste ponto de vista um catalisador das dinâmicas da relação da ciência com a economia. Essa relação, se estabelecida como parceria estratégica, poderá conduzir à criação de valor e dinamização da actividade económica. É uma relação que tende a fortalecer ambos os mundos: o da ciência que terá os recursos para a investigação de risco, potenciadora de soluções inovadoras, e o da economia que terá, na sua base empresarial, mais oportunidades para novos produtos e novas empresas.

**Este documento pretende contribuir para a definição de um *roadmap* para o domínio da robótica em Portugal, no qual se identificam os requisitos de mercado, e os requisitos para as actividades que potenciam os conhecimentos e as capacidades existentes em Portugal. Essa identificação fornecerá informação sobre a potencialidades de inovação da robótica nos vários sectores de actividade da sociedade portuguesa. O documento deverá ser um contributo tangível para o desenvolvimento de soluções tecnológicas para a sociedade do futuro e uma fonte de informação de referência para uma visão integrada de capacidades existentes no sector da robótica, automação e áreas afins, a nível nacional.**

A partir de uma consulta dos temas fortes financiados por programas de investigação internacionais, e de informação estatística sobre áreas em que a robótica tem maior intervenção actualmente em todo o mundo, foi identificado um conjunto de tópicos, para cada um dos quais se pretende listar os requisitos associados, mostrar a capacidade instalada em Portugal para abordar esses tópicos, e identificar os respectivos actores:

- Sistemas Avançados de Produção (*Advanced Production Systems*)
- Robôs de Serviços Adaptativos (*Adaptive Robot Servants*)
- Robótica em Rede e Casas Inteligentes (*Networked Robotics and Intelligent Homes*)
- Cuidados de Saúde e Qualidade de Vida (*Healthcare and Life Quality*)
- Sistemas de Transporte e Logística (*Transportation systems*)
- Segurança, Vigilância e Monitorização (*Safety, Surveillance and Monitoring*)
- Educação e Entretenimento (*Edutainment*)
- Robótica Espacial (*Space Robotics*)

Os destinatários do documento são diversos, nomeadamente os agentes económicos, que poderão identificar as competências instaladas em Portugal e as oportunidades criadas por este domínio tecnológico. A apresentação de uma visão integrada sobre este sector tecnológico permitirá às empresas um melhor posicionamento no mercado e melhor percepção da realidade nacional em termos de I&DT na área. A intersecção entre os requisitos identificados e a capacidade dos actores potencialmente envolvidos pode revelar áreas chave de investimento. **O documento pode também ser utilizado como uma fonte de**

**informação para apoio à decisão dos órgãos de governo português (Ministérios da Economia e da Ciência e Ensino Superior, e entidades públicas financiadoras de I&DT, como a Agência de Inovação e a Fundação para a Ciência e Tecnologia), bem como informar sobre desenvolvimento tecnológico de Portugal em Robótica, em Automação e a sua ligação com organizações internacionais como a *EUnited Robotics* ou a *International Federation of Robotics*.**

## 2 Sistemas Avançados de Produção

A automação aplicada à produção sofreu um considerável impulso nos anos 50 e seguintes do século XX, com a introdução de manipuladores programáveis e *automated guided vehicles* (AGVs). Os sucessos obtidos levaram a um considerável aumento do número de robôs em fábricas (como as de montagens de automóveis) ou em armazéns automáticos. No entanto, as décadas finais do século passado revelaram pouco progresso nesta área, que se cristalizou em torno de ambientes bem estruturados e tarefas repetitivas. A introdução do controlo de força, da manipulação guiada por visão e das interfaces de voz e realidade virtual, entre outras, vieram revitalizar a investigação nestes tópicos e produzir sistemas inovadores e avançados aplicados à produção.

### 2.1 Requisitos Actuais

Os desafios que se colocam na investigação e desenvolvimento nesta área estão divididos em quatro níveis: tecnologias de base, componentes para robôs, integração de sistemas e factores socioeconómicos.

Ao nível das tecnologias de base os desafios colocam-se na transformação dos sistemas robotizados em sistemas mais inteligentes com uma melhor percepção, decisão autónoma, arquitectura diferente e mais segura, aprendizagem e utilização de linguagem mais naturais, para desta forma ser possível uma cooperação e diálogo mais facilitados com outros operadores humanos e assim poderem actuar também como seus assistentes.

Ao nível dos componentes o desenvolvimento de novos actuadores, sensores e interfaces homem-máquina serão impulsionadores de novas aplicações. A integração e colocação em rede com sistemas padrão existentes na automação em geral deverá ser um caminho a seguir. O desenvolvimento de novos materiais, nomeadamente materiais mais leves e portanto com baixa inércia, com micro sensores e actuadores será uma realidade no futuro próximo.

Ao nível da integração do sistema robotizado deverão ser desenvolvidos métodos e ferramentas que permitam com facilidade a programação sincronizada de um grupo de manipuladores que tem que cooperar entre si ou com outros equipamentos. A interligação destes sistemas tem que evoluir para uma filosofia do tipo “*plug-and-play*” e utilizando cada vez mais comunicações sem fios e sistemas móveis ou facilmente transportáveis.

Ao nível dos factores socioeconómicos é de esperar um elevado impacto nas indústrias focadas no utilizador final, nos construtores de robôs e novas e inovadoras empresas nas áreas relacionadas com a robótica.

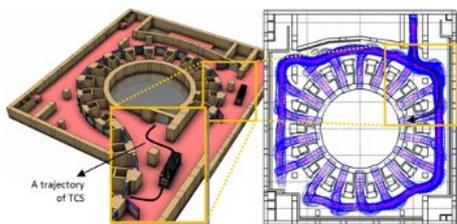
#### Robótica Móvel

Os projectos industriais de robótica móvel são aplicados na sua grande maioria na Indústria (fábricas e células flexíveis de fabrico), na Logística de cadeias de distribuição e armazenagem e nos Serviços. Neste tipo de aplicações destacam-se dois tipos de dispositivos: o AGV (*Automatic Guided Vehicle*) e o AS/RS (*Automatic Storage / Retrieval System*), vulgarmente designado por Armazém Automático.

Outra área de aplicação em que recentemente se abriram novas perspectivas para intervenção nacional é o desenvolvimento de robôs móveis de grandes dimensões para transporte de materiais radiantes no projecto ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) entre o *tokamak* (onde é produzida a energia de fusão) e o local onde estes são tratados (*hot cell building*). Colocam-se problemas diversos a esta tarefa, tais como o planeamento de caminhos para veículos não holonómicos em espaços apertados, a acostagem (*docking*) com 3 graus de liberdade ao *tokamak*, o movimento de grandes massas com baixo atrito, através da utilização de soluções baseadas em almofadas de ar (*air cushion*). Uma equipa do Instituto de Sistemas e Robótica do Instituto Superior Técnico (ISR/IST)



[AGVs portuguesas - cortesia EFACEC]



[ITER Remote Handling – cortesia IPFN/ISR/IST]

trabalhou neste projecto em 1996-1998, tendo daí resultado o projecto de referência para este tipo de transportadores. Recentemente, em conjunto com o Centro de Fusão Nuclear do IST, foi reatado este trabalho, tendo sido aprovados já 2 contratos com a EU Fusion4Energy, com parceiros como a ASTRIUM (França) e o CIEMAT (Espanha).

## Manipuladores Industriais

Em termos de construtores de manipuladores industriais existem em Portugal representantes das principais marcas, prestando alguns deles um apoio muito relevante no desenvolvimento e projecto inicial dos sistemas (ABB e MOTOMAN).

Alguns representantes, nomeadamente a MOTOFIL, representante da FANUC, dedicam-se a sectores mais específicos do mercado, como sejam as máquinas de soldadura.

Existem diversas empresas integradoras de sistemas robotizados que se dedicam na grande maioria a instalar sistemas padrão e relativamente pouco inovadores. Algumas empresas, principalmente novas pequenas empresas mostram capacidade para desenvolver novas aplicações e novos produtos relacionados com a robótica (e.g. sensores, visão artificial, tecnologias de integração).

## 2.2 Capacidades Instaladas

A empresa EFACEC Automação e Robótica, S.A. tem dezenas de AGVs e AS/RS instalados quer em Portugal quer no estrangeiro. Nos quadros seguintes podemos ver a distribuição por áreas de aplicação dos referidos projectos. Os primeiros projectos de AS/RS's realizados em Portugal tiveram lugar na década de 80 (1984). Os primeiros projectos de AGV's tiveram lugar no início da década de 90 (1991). Em ambos os casos, a empresa EFACEC Automação e Robótica, S.A. (Grupo EFACEC), em parceria com um grupo de investigação do IST, foi

pioneira em Portugal na área da robótica móvel. Ao longo de quase duas décadas a EFACEC tem realizado inúmeros projectos nessa área, com aplicações em Portugal e no estrangeiro.

Distribuição por áreas de aplicação dos projectos de AGVs realizados pela EFACEC até 2001:

Aplicação	Portugal				Estrangeiro				Totais			
	Núm. / Percentag.		Núm. / Percentag.		Núm. / Percentag.		Núm. / Percentag.		Núm. / Percentag.		Núm. / Percentag.	
	Instal.	AGV's	Instal.	AGV's	Instal.	AGV's	Instal.	AGV's	Instal.	AGV's	Instal.	AGV's
fabrico, matéria-prima	1	11%	1	3%	-	-	-	-	1	7%	1	2%
fabrico, em curso de fabrico	4	44%	9	25%	1	20%	2	11%	5	36%	11	20%
fabrico, produto acabado	2	22%	4	11%	-	-	-	-	2	14%	4	7%
fabrico, em curso fabr. e prod. acab.	2	22%	22	61%	-	-	-	-	2	14%	22	41%
distribuição, matéria-prima	-	-	-	-	1	20%	2	11%	1	7%	2	4%
distribuição, produto acabado	-	-	-	-	3	60%	14	78%	3	21%	14	26%
<b>Totais</b>	<b>9</b>	<b>64%</b>	<b>36</b>	<b>67%</b>	<b>5</b>	<b>36%</b>	<b>18</b>	<b>33%</b>	<b>14</b>		<b>54</b>	

Distribuição por áreas de aplicação dos projectos de AS/RS realizados pela EFACEC até 2001:

Aplicação	Portugal				Estrangeiro				Totais			
	Núm. / Percentag.		Núm. / Percentag.		Núm. / Percentag.		Núm. / Percentag.		Núm. / Percentag.		Núm. / Percentag.	
	Instal.	Stocad.	Instal.	Stocad.	Instal.	Stocad.	Instal.	Stocad.	Instal.	Stocad.	Instal.	Stocad.
fabrico, matéria-prima	4	10%	4	6%	3	17%	7	10%	7	12%	11	8%
fabrico, em curso de fabrico	16	40%	21	32%	1	6%	1	1%	17	29%	22	16%
fabrico, mat.-prima e em curso fabr.	2	5%	2	3%	-	-	-	-	2	3%	2	1%
fabrico, em curso fabr. e prod. acab.	3	8%	6	9%	3	17%	10	14%	6	10%	16	12%
fabrico, produto acabado	7	18%	16	24%	1	6%	2	3%	8	14%	18	13%
distribuição, produto acabado	6	15%	12	18%	7	39%	39	56%	13	22%	51	38%
instalação, manutenç., peç. Reserva	2	5%	5	8%	3	17%	11	16%	5	9%	16	12%
<b>Totais</b>	<b>40</b>	<b>69%</b>	<b>66</b>	<b>49%</b>	<b>18</b>	<b>31%</b>	<b>70</b>	<b>51%</b>	<b>58</b>		<b>136</b>	

Em termos de manipuladores industriais são inúmeros os representantes e integradores com diversas aplicações industriais,

Neste momento existem diversos grupos de investigação do Sistema Científico e Tecnológico Nacional (STCN) com capacidade para gerar produtos na área de projecto e construção de plataformas móveis autónomas, nomeadamente no Centro Algoritmi da Universidade do Minho, no Instituto de Engenharia Electrónica e Telemática de Aveiro (IEETA) da Universidade de Aveiro, no Instituto de Sistemas e Robótica do Instituto Superior Técnico



[cortesia de projecto PDA4Robots, FCTUC]

(ISR/IST), no Instituto de Engenharia Mecânica (IDMEC) do IST, no ISR da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (ISR/FEUP), no Instituto Nacional de Engenharia de Sistemas e Computadores (INESC-TEC) e no ISR da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (ISR/FCTUC). Na área de manipuladores industriais, existe actividade relevante, incluindo projectos europeus e nacionais, no Departamento de Engenharia Mecânica da FCTUC, no ISR/FEUP, no INESC-TEC, e o IDMEC/IST.

## 2.3 Visão Crítica

Na Robótica Móvel a EFACEC teve um bom período de inovação nos anos 80 e 90, restando um pouco nos anos mais recentes. Continua no entanto a ser uma empresa de referência e com grande capacidade de gerar novos produtos, mas aparentemente menos interessada na área da Robótica.

Existe também a possibilidade de novas empresas (pequenas e médias) mais flexíveis e inovadoras surgirem com novos produtos de menor custo que consigam penetrar em sectores onde o custo dos actuais sistemas não é adequado.

O grande desafio dos sistemas produtivos robotizados será a sua adaptação a pequenas séries e a penetração no sector das pequenas e médias empresas. Até agora os sistemas robotizados eram destinados a empresas e indústrias que lidavam com grandes volumes de produção, geralmente sistemas demasiado caros e complexos para serem aplicados a pequenos e médios volumes de produção. Existe uma grande necessidade de mudar esta postura de modo a adaptar-se os sistemas produtivos às novas premissas do mercado global. Além das pequenas séries na linha de produção existem outros sectores onde a robótica só consegue penetrar se tiver uma reconfiguração mais rápida, simples e ao mesmo tempo integrada com a restante linha de produção. Para tal o modo de programação dos manipuladores tem que ser facilitado tornando-se mais intuitivo e de modo a conseguir-se que estes cooperem de um modo simples e eficaz com outros elementos sejam eles máquinas ou operadores humanos. Tudo isto com um modo de distribuição, instalação e configuração rápido e simplificado. Interessante neste ponto a postura da empresa INSER ROBOTICA, S.A., representante em Portugal da marca Panasonic e Kawasaki, que já vende sistemas de paletização robotizada do tipo “monte você mesmo”.

No início, a indústria automóvel e electrónica era responsável por cerca de 60% das vendas de sistemas robotizados, sendo indústrias tipicamente de grandes volumes de produção. A produção baseada apenas na mão de obra barata está cada vez mais condenada a acabar em Portugal. Este paradigma obriga a transformações que continuam a ter uma forte motivação na indústria automóvel e electrónica mas cada vez mais com novos sectores de aplicação da robótica a surgirem e a colocarem os seus desafios tornando a robótica uma área de aplicação cada vez mais generalizada:

*“Para manter a competitividade das indústrias de produção nacionais e dados os elevados custos de laboração em Portugal quando comparados com outros países a nível global, os sistemas produtivos têm que se adaptar facilmente a pequenas e médias séries e incorporarem o desenvolvimento de alguma “engenharia” e utilização de “massa-cinzenta” por exemplo no desenho rápido de pequenas séries.”*

- **Indústria Automóvel:** é de esperar que a automatização ainda cresça mais neste tipo de indústria, obrigando no entanto os sistemas de produção robotizados a serem mais flexíveis de modo a ser mais fácil mudar de tipo de produto. É reconhecido que o tempo de vida de um modelo de automóvel, muitas vezes por questões de marketing, é actualmente muito mais curto do que era no passado. Uma maior sensorização dos sistemas com uma cooperação entre o homem e a máquina de modo a ter-se diferentes níveis de distribuição de trabalho entre o completamente

manual e o completamente automático através de cooperação homem-máquina, são avanços científicos e tecnológicos cuja chegada ao mercado já se vislumbra.

- **Indústria Electrónica e de montagem de pequenos componentes:** este tipo de indústria partilha alguns dos desafios mencionados já na indústria automóvel (séries mais pequenas, flexibilidade, ...). O desenvolvimento de técnicas que permitam a produção simultânea de diferentes produtos e o uso intensivo de visão artificial e teste automático do produto na linha de produção para um controlo de qualidade total são objectivos a atingir.
- **Indústrias emergentes:** à medida que os sistemas de produção robotizados se tornam mais flexíveis, mais cooperantes, mais fáceis de programar e reconfigurar, ao mesmo tempo com custos associados mais baixos e tendo em conta que o custo da mão-de-obra é cada vez maior e as regras de saúde, higiene e segurança no trabalho são cada vez mais apertadas, surgem novas indústrias em que estes sistemas são aplicáveis. Temos como exemplos mais evidentes indústrias onde os operários trabalham com máquinas perigosas, transportam grandes pesos, manipulam materiais perigosos e em ambientes desagradáveis. São exemplos desta indústria as fundições e a metal-mecânica, matadouros, indústria dos congelados, indústria do vidro, reciclagem, pintura, etc. Se os manipuladores forem dotados de mais e melhores sensores e de um modo de utilização mais intuitivo e cooperante, permitindo modos semiautomáticos, as áreas de aplicação podem ser alargadas a outros sectores como sejam a montagem e desmontagem de equipamentos (máquinas de lavar, frigoríficos, ...), a indústria aeronáutica (maquinar, furar, controlo de qualidade de peças, ...), produção em pequenas e médias empresas (cortar, rebarbar, furar, fresar, polir, ...), indústria alimentar (processamento, enchimento, empacotamento, ...) e construção civil (transporte e manuseamento de vigas e outros elementos grandes e pesados, cortar, furar, ...).

## 2.4 Referências

- SMERobot<sup>TM</sup> – <http://www.smerobot.org>.
- R. Rocha, “Estado da Arte da Robótica Móvel em Portugal”. Robótica - Revista Técnico-Científica, Nº. 43, 2º trimestre 2001.



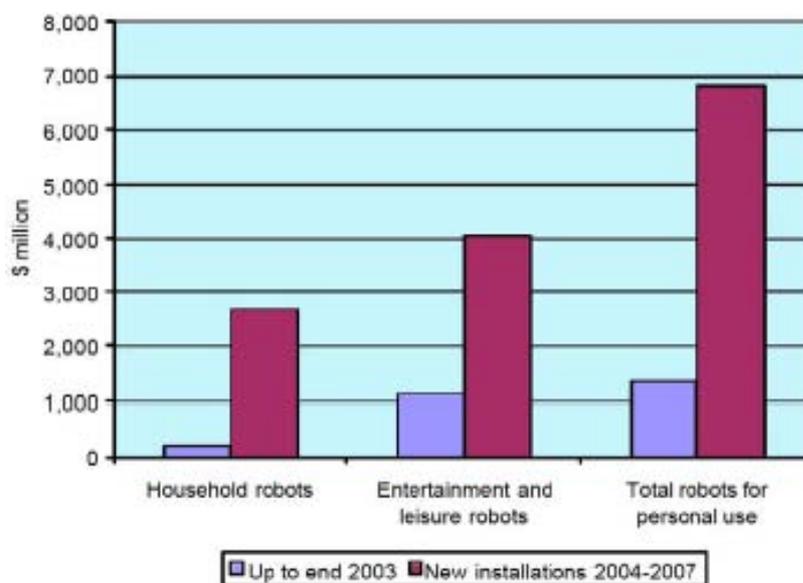
### 3 Robôs de Serviço Adaptativos

Robôs de serviço adaptativos, incluindo os robôs pessoais, são robôs autónomos que interagem directamente com utilizadores humanos não especialistas, quer seja através de diálogos em linguagem natural, ou através da interpretação e sintetização de expressões faciais ou gestos, e por cooperação através de contacto físico.

O conceito de robôs de serviços está presente no imaginário do público em geral sendo esperado que estes, uma vez implementados, tenham muitas aplicações práticas, tais como os robôs humanóides que ajudam astronautas a manipular e construir grandes estruturas no espaço, robôs que cuidam de pessoas idosas ou portadoras de deficiência ou o clássico exemplo do robô a desempenhar as tarefas de manutenção e limpeza do lar.

#### 3.1 Requisitos Actuais

Um estudo do Grupo de Trabalho em Robôs de Serviço Adaptativos e Casas Inteligentes do EURON revela a dimensão do mercado e o seu potencial de crescimento – ver Figura 1.



**Fig 1.** Evolução da dimensão do mercado. (fonte: EURON (European Robotics Research Network) – Grupo de Trabalho em Robôs de Serviço Adaptativos e Casas Inteligentes, [www.ceafiac.es/wwwgrupos/robotica/documentos/Arganda/EURON\\_Roadmap.pdf](http://www.ceafiac.es/wwwgrupos/robotica/documentos/Arganda/EURON_Roadmap.pdf))

#### a) Requisitos Gerais

##### Formas e movimentos humanos

Robôs de serviço tenderão a ter formas **antropomórficas**, i.e. serão humanóides. As razões principais para que assim seja são: i) O ambiente e os espaços em que vivemos foram desenhados para humanos, logo, se um robô tem que interagir com estes espaços, a solução para mobilidade e interação tenderá a ser uma em que os robôs se pareçam com humanos; e muito importante, ii) espera-se que a forma antropomórfica contribua para aumentar a

aceitação por parte dos humanos, na medida em que facilita que os robôs sejam vistos como parceiros com os quais se pode trabalhar em conjunto.

Robôs como o ASIMO da HONDA, SDR-3X/QRIO da Sony, HRP-2 "Promett" da Kawada e o HOAP-1 da Fujitsu seguem esta tendência.

### **Comportamento cognitivo**

Tal como transparece dos exemplos dados acima, para que estes robôs sejam entendidos como parceiros com os quais podemos interagir e trabalhar (i.e. para que sejam verdadeiramente robôs de serviço autónomos) estes têm que evoluir para ter capacidades cognitivas: i) memória e esquecimento; ii) capacidade de decisão a partir de informação incompleta, ambígua ou ruidosa (e.g. seleccionar uma acção adequada); iii) percepção activa e/ou predictiva; iv) compreensão/inferência de intenções; v) antecipação; vi) desenvolvimento de competências e de cognição (e.g. aprendizagem por imitação); e por fim a não menos importante vii) capacidade de interagir socialmente (i.e. as acções do robô são influenciadas pelas acções, ou inferência das intenções, do parceiro humano).

### **b) Requisitos para desenvolver um robô de serviço adaptativo**

O objectivo de sintetizar um robô de serviço adaptativo requer uma aproximação multidisciplinar, reunindo conhecimento de disciplinas tais como: mecatrónica, inteligência artificial, interface humano-robô, psicologia cognitiva, neurobiologia, modelação matemática, entre outros.

No desenvolvimento de robôs de serviço adaptativos, há diversos desafios técnicos e científicos que implicam um elevado esforço de investigação:

1) **Sensores:** A interacção do robô com o ambiente é uma função central. Sensores capazes de fornecer informação precisa ao robô devem ser desenvolvidos e integrados numa arquitectura de raciocínio que transforme esta informação em algo que possa ser utilizado pelo robô. Este é provavelmente o domínio em que mais progresso se tem feito. Sensores, desde o simples sonar ou sensor de infravermelho até ao laser e à visão por computador são hoje robustos e facilmente encontrados no mercado, podendo ser adicionados à arquitectura do robô sem grande esforço adicional. Contudo, extrair dos dados dos sensores informação que faça sentido ao nível da tomada de decisões é algo mais complicado. A visão computacional é o caso mais complexo, mas mesmo neste domínio, têm existido avanços significativos. A visão computacional está hoje vulgarizada em vários domínios da robótica. É ao nível do processamento cognitivo da informação visual, envolvendo categorização, aprendizagem, reconhecimento de objectos, ligação com estruturas simbólicas, que mais trabalho há ainda a fazer.

2) **Interfaces Humano-Robô Amigáveis** que facilitem a interacção de utilizadores sem que seja necessário nenhuma aprendizagem. Sistemas de diálogo seriam possivelmente a melhor solução. Embora o reconhecimento de fala seja usado em aplicações industriais, militares e de investigação, este ainda não é suficientemente flexível e robusto. Estamos longe de ter sistemas de reconhecimento de fala independentes do orador e robustos relativamente a ruído ambiente quando se pretende utilizar um vocabulário alargado. Para além do processamento da fala, colocam-se outros problemas, relacionados com a construção da semântica da linguagem pelo próprio robô em termos da sua própria informação sensorial.

3) **Segurança da Interação Homem-Robô.** A interacção próxima entre robôs e humanos levanta um problema de extrema importância: o da segurança. Investigação neste domínio é considerada uma prioridade. A interacção segura será garantida simultaneamente por

controlo seguro de actuadores que reduzirá a severidade em caso de impacto e planeamento seguro de movimento.

4) **Alcançar, agarrar e manipular de forma semelhante aos humanos.** Para se implementar algoritmos flexíveis e robustos para alcançar, agarrar e manipular objectos com coordenação visual é possível usar implementações computacionais que imitem o comportamento neurológico do conjunto braço, mão, dedos, e o movimento dos dedos. O desenho de arquitecturas de controlo pode seguir a hierarquia deste conjunto, podendo-se então implementar comportamentos de coordenação dos dedos e braço.

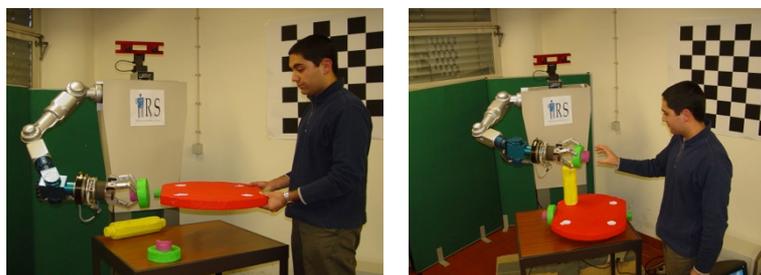
5) **Perceber e obter modelos do sistema cognitivo Visual-Motor.** Os primatas (humanos ou não) conseguem perceber acções orientadas a objectivos quer através da percepção de causa-efeito das suas acções, ou por imitação, inferindo os objectivos dos intervenientes imitados. Estes comportamentos têm sido analisados no sentido de perceber os mecanismos cerebrais envolvidos quando estes executam as chamadas “tarefas cognitivas”.

6) **Percepção e síntese de emoções.** Robôs pessoais e sociais devem ser capazes de reconhecer gestos e expressões humanas ou emoções através da informação sensorial e de seguida, agir em conformidade ou responder ao humano, por exemplo através de comportamento emocional.

7) **Aprendizagem Social.** Novas aproximações à aprendizagem estão a ser tentadas, mais uma vez, utilizando os mecanismos humanos de aprendizagem como inspiração. Nova investigações está a ser feita no sentido de permitir que os robôs possam aprender de forma natural através da interacção e ajuda de humanos. Contrastando com aproximações puramente estatísticas, esta nova aproximação à aprendizagem permite que os robôs sejam capazes de aprender novas competências a partir de instruções dadas por humanos em linguagem natural e algumas demonstrações.

### 3.2 Capacidades Instaladas

Alguns grupos de investigação portugueses trabalham activamente com em áreas relacionadas com robôs de serviço. Estes grupos participam em projectos e redes de investigação e de excelência ao nível europeu. Os parágrafos seguintes descrevem alguns dos grupos e suas capacidades neste domínio.



[robô AROS - cortesia U. Minho]

Na Universidade do Minho, investigação em “robótica cognitiva” e “alcançar, agarrar e manipular com comportamento humano” está a ser conduzida pelo Grupo de Robótica Autónoma e Sistemas Dinâmicos. Este grupo tem estado integrado em projectos multidisciplinares financiados pela CE e FCT (e.g. ArteSimit-Artefact structural Learning through imitation, JAST-Joint Action for Science and Technology, Anthropomorphic robotics, LEMI-Learning to read the motor intention of others: towards socially intelligent robots), com o objectivo final de construir robôs autónomos capazes de trabalhar de forma inteligente em

tarefas que exijam coordenação com humanos. Estes projectos têm uma importância central para o domínio dos robôs de serviço adaptativos uma vez que estão a permitir a implementação de um robô antropomórfico que será capaz de compreender acções e fazer imitação baseada nos objectivos inferidos. Na figura abaixo, o robô observa uma acção e sem qualquer pedido ou comunicação explícita, executa a tarefa. O robô é capaz de inferir o objectivo da acção e de seguida executar acções no sentido de ajudar o humano.

Na Universidade de Aveiro, o grupo de investigação designado Actividade Transversal em Robótica Inteligente (ATRI) tem, entre outros tópicos, desenvolvido trabalho na área dos robôs de serviço adaptativos com ênfase em interacção homem-robô, cooperação e aprendizagem. No âmbito de um projecto financiado pela FCT entre 1999 e 2001 (CARL: *Communication, Action, Reasoning and Learning in Robotics*), foi construído o Carl, protótipo de robô de serviço com sistema de diálogo em linguagem natural falada, apresentação de emoções através de cara animada e comandos também através de ecrã táctil. O Carl conquistou alguma notoriedade internacional, tendo aparecido numa capa do *AI Magazine* (2001), no primeiro folheto de divulgação do EURON, etc.



[robô CARL  
cortesia da U. Aveiro]

Trabalho neste robô tem continuado até ao presente. A interface de fala permite não só dar instruções de navegação ao robô, como também fornecer-lhe informação ou colocar-lhe questões que poderão ser respondidas com base na informação acumulada. O trabalho mais recente centrou-se no sistema de aquisição de conhecimento e no sistema de gestão de diálogo, baseado em “estado de informação”.

Sendo certo que a utilização de linguagem natural para comunicação humano-robô só é viável se os robôs forem capazes de construir a semântica dessa linguagem, a ATRI tem em curso outro projecto (LANGG: Language Grounding for Human-Robot Communication), também financiado pela FCT, que se centra no problema da aquisição de uma linguagem humana por robôs pessoais ou de serviço. Em particular, o projecto tem vindo a desenvolver capacidades de aprendizagem de longo prazo para a aquisição de categorias. A ideia é que estas categorias constituam a semântica de vocábulos que se referem a objectos concretos do ambiente do robô. Neste trabalho, e em claro contraste com sistemas clássicos de aprendizagem automática, não há um leque pré-definido de categorias, e realçam-se aspectos como a incrementalidade, concorrência, interactividade, inclusão do utilizador como instrutor e integração da aprendizagem como mais um processo na actividade normal do agente.

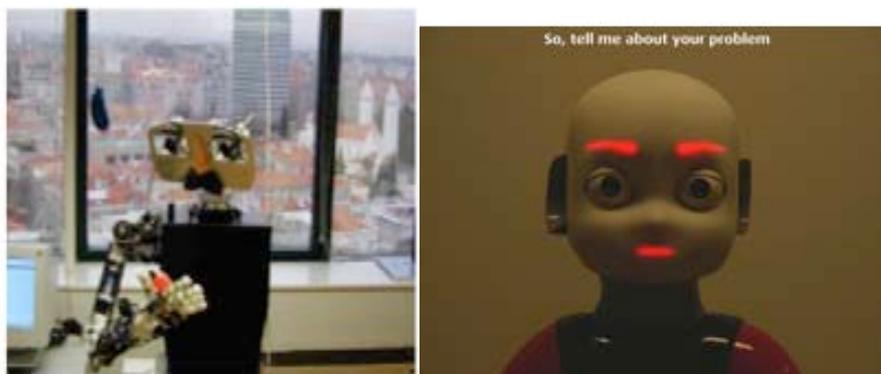
No ISR-Coimbra decorrem actividades nos domínios da visão computacional para robótica, sistemas autónomos, integração de sensores e fusão, teleoperação e desenvolvimento de sensores, entre outros.

***[...] na verdade Portugal tem o seu lugar na dianteira da actividade internacional em robôs de serviços adaptativos, e potencial para contribuições ainda maiores [...]***

Em particular no domínio de robôs de serviço adaptativos o trabalho feito pelo ISR-Coimbra no laboratório de sistemas inteligentes inclui fusão sensorial e controlo de força para interacção e transferência de competências entre humano e robô; O trabalho do laboratório

de visão no domínio da estimação de movimento 3D. Também relevante, o trabalho feito sob o projecto “LRN2002 - Learning Methods for Robot Operation”. No campo sensorial, o projecto RoboNose do laboratório de sistemas embebidos, pretende estudar e imitar o olfacto, dotar robôs de capacidades olfactivas e de seguida estudar comportamentos baseados nestes sensores. Um robô de serviço com capacidades olfactivas pode interagir com humanos ou executar tarefas que exijam capacidade olfativa, e.g. limpeza de superfícies, detecção de gases nocivos.

No Laboratório de Visão por Computador (Vislab), do ISR/IST, Lisboa, investigação nas áreas de visão activa e imitação é também de especial interesse para os robôs de serviço adaptativos. O grupo tem estado envolvido em diversos projectos europeus multidisciplinares cujo objectivo é desenvolver robôs cognitivos, nomeadamente o projecto MIRROR (*Mirror Neurons for Recognition*) e mais recentemente o projecto RobotCub. O



Robôs assistentes do ISR/IST, incluindo o pioneiro robô Baltazar (esquerda) e a cabeça do robô iCub (direita) [cortesia ISR/IST]

objectivo deste último é desenhar e construir a plataforma robótica humanóide de 53 graus de liberdade e 94 cm de altura, o iCub, para o estudo da cognição humana, através da reprodução robótica de uma criança de 3 anos de idade, capaz de gatinhar, manipular objectos com destreza e de articular movimentos da cabeça e oculares. O projecto é fortemente multidisciplinar e inclui neurocientistas, psicólogos, biólogos, cientistas da computação e engenheiros. No âmbito deste projecto, o Vislab do ISR/IST desenvolveu a cabeça e o pescoço para o robô, mas dispõe já de um exemplar do robô completo.

### 3.3 Visão Crítica

Em Portugal, a I&D nas áreas relevantes para robôs de serviço adaptativos está concentrada em laboratórios de investigação com pouca cooperação com parceiros industriais. Todas as áreas de conhecimento referidas acima constituem, de alguma forma, tema de investigação em instituições portuguesas. Alguns grupos estão envolvidos em projectos e redes internacionais de vanguarda.

Portugal tem o seu lugar na dianteira da actividade internacional em robôs de serviços adaptativos, e potencial para contribuições ainda maiores, sob a égide de programas europeus nesta área, como por exemplo a rede euCognition. O potencial deste conhecimento é enorme e apresenta-se como um diamante por lapidar para empreendedores nacionais que pretendam introduzir algumas destas capacidades nos seus serviços ou produtos.

### 3.4 Referências

- <http://world.honda.com/ASIMO/>
- [http://www.kawada.co.jp/global/ams/hrp\\_2.html](http://www.kawada.co.jp/global/ams/hrp_2.html)
- <http://www.fujitsu.com/global/about/rd/200506hoap-series.html>
- [http://www.sony.net/SonyInfo/News/Press\\_Archive/200203/02-0319E/](http://www.sony.net/SonyInfo/News/Press_Archive/200203/02-0319E/)
- <http://www.euron.org/>
- <http://www.dei.uminho.pt/pessoas/estela>
- <http://www.ieeta.pt/atri/>
- <http://vislab.isr.ist.utl.pt/>
- <http://www.eucognition.org/>
- <http://www2.isr.uc.pt/new/intro.php>
- [www.robotcub.org](http://www.robotcub.org)
- <http://www.euprojects-jast.net/>

## 4 Robótica em Rede e Casas Inteligentes

Um sistema de robôs em rede, ou rede de robôs, pode ser definido como um conjunto de robôs autónomos que comunicam através de uma rede informática (com ou sem fios), podendo interagir com outros sensores “estáticos” (i.e., que embora possam mover-se localmente, como uma *pan&tilt cam*, têm uma localização global fixa) e com humanos, de uma forma coordenada e frequentemente cooperativa, de forma a levarem a cabo tarefas que permitem atingir os objectivos da rede. Se olharmos para um robô como um sensor móvel, a rede passa a ser uma rede de sensores autónomos, que cooperam entre si para, de uma forma mais ou menos descentralizada, melhorarem a capacidade de observação e medição de variáveis relevantes numa dada área.

As casas inteligentes são uma das aplicações mais promissoras das redes de sensores/robôs, consistindo num sem número de dispositivos pululando as nossas casas, entre eles robôs móveis, que executam tarefas de vigilância, assistência a pessoas incapacitadas, controlo remoto da casa, etc.

A literatura refere frequentemente robôs teleoperados via rede como exemplo de rede de robôs, com humanos na cadeia de operação.

Existe um Comité Técnico do IEEE dedicado a Network Robots, cuja página na Web pode ser encontrada em <http://www-users.cs.umn.edu/~isler/tc/>.

### 4.1 Requisitos Actuais

As redes de sensores/robôs apresentam desafios técnicos e científicos na intersecção de áreas como o controlo, as comunicações e a percepção. Um desses problemas consiste na determinação dos fluxos de informação, i.e. com quem comunicar e quando? Quando é necessário mover um ou mais membros da rede para criar canais de comunicação não existentes de outra forma ou para melhorar a observação de elementos do mundo envolvente? Como deve ser agregada a informação?

Por outro lado, a forma de interagir com os humanos, quando estes fazem parte da rede, é ainda mal conhecida. Por um lado, quando o humano funciona como teleoperador, é importante melhorar a forma como controla grupos de robôs sem ter que controlar individualmente cada um deles, nem levar em conta com demasiado detalhe as especificidades de cada membro da rede. Por outro lado, é crescente o interesse em ver os humanos como outro sensor/decisor da rede, que interage de forma natural com os seus “colegas de equipa” robôs e sensores.

Um outro desafio tem a ver com o facto da topologia das redes de robôs ser dinâmica. A geometria da rede muda constantemente e, com ela, o comportamento dos seus membros. Como modelar e analisar a dinâmica deste comportamento colectivo é um outro desafio, tratando-se a análise de um importante requisito para que o projecto de redes de sensores possa ser efectuado de forma sistemática e garantir determinadas propriedades.

Outros desafios que as redes de sensores/robôs acrescentam aos desafios científicos tradicionais da robótica e de outras disciplinas são, na área das Comunicações, atrasos variáveis, protocolos de comunicações, encaminhamento dinâmico, transmissão de vídeo com baixa latência; na área do Controlo e Coordenação os algoritmos de coordenação, o controlo distribuído e descentralizado, o modelo de sistemas envolvendo comunicação e

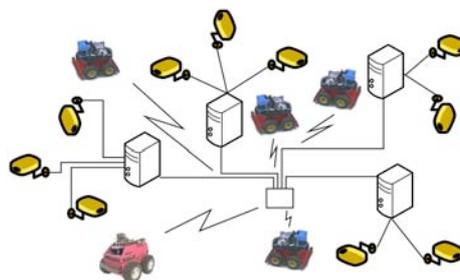
controlo, o controlo de formações, a auto-organização, a localização cooperativa, o planeamento e execução de tarefas cooperativos; na área da Percepção, a percepção cooperativa, o mapeamento cooperativo, a estimação do estado de formações.

Existe evidentemente um razoável número de interações com outras áreas da ciência e tecnologia, como os sistemas embebidos, a miniaturização de dispositivos electrónicos, ou o middleware para sistemas em rede.

As aplicações actuais e potenciais das redes de sensores/robôs são diversas: vigilância de edifícios, monitorização de grandes áreas (fogos em florestas, inundações, cenários resultantes de catástrofes, como um terramoto), tele-trabalho, tele-vigilância, tele-controlo de dispositivos em casa, assistência a pessoas incapacitadas, exploração planetária, estudos ambientais (em florestas, oceanos), entretenimento e educação (por ex<sup>o</sup>, em jogos colectivos, como o futebol – RoboCup), monitorização de consumo de energia em edifícios, ou exploração mineira.

## 4.2 Capacidades Instaladas

Existem em Portugal vários grupos e iniciativas no meio académico-científico na área das redes de sensores. No entanto, tanto quanto é do nosso conhecimento, não existem empresas a operar nesta área, excepto nas aplicações específicas de domótica/casas inteligentes, onde diversos actores académicos existem.



[ISRoboNet – cortesia ISR/IST]

O ISR/IST esteve envolvido no projecto europeu URUS, no âmbito do qual foram desenvolvidas redes de sensores e robôs móveis em ambientes urbanos. Uma rede de câmaras foi instalada no campus da U. Politécnica da Catalunha e no ISR foi criada uma rede (ISRoboNet) de actualmente cerca de 20 câmaras IP que, em conjunto com robôs móveis diversos, constitui uma plataforma de teste já vastamente utilizada na investigação nesta área, nomeadamente em percepção cooperativa activa, tomada de decisão na presença de incerteza e interacção entre humanos e a rede de sensores. A infraestrutura continua em

O Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática da FEUP desenvolve considerável actividade em redes de sensores, incluindo comunicações e coordenação de veículos aéreos, terrestres e oceanográficos, tendo desenvolvido software e hardware modulares e gerais para este tipo de aplicações, e participado em diversos projectos nacionais e europeus, para além de parcerias, de entra as quais se destaca a Universidade da Califórnia em Berkeley), no âmbito dos quais foram desenvolvidos diversos protótipos, utilizados em missões de teste na área de vigilância submarina (portos, inspecção) e de fogos em florestas.

O programa CMU-Portugal inclui um programa de investigação na área de infraestruturas críticas e avaliação de riscos, que inclui o desenvolvimento de uma plataforma de teste constituída por uma rede de sensores e robôs espalhados num campus universitário, bem como um programa de doutoramento em Redes de Informação. Várias universidades nacionais participam no programa CMU e têm interesses de investigação próximos destas áreas.

Há um grande potencial no alargamento da visão de redes de robôs tradicionais ao conceito de redes de sensores e dispositivos robotizados, nomeadamente electrodomésticos, câmaras e outros sensores domésticos, para onde muitos problemas técnico-científicos abordados na robótica são exportáveis

Também o programa MIT-Portugal, através do seu projecto de investigação em Sistemas Sustentáveis de Energia, tem interesse em tópicos como a monitorização do consumo de energia em edifícios e consequente actuação para racionalização de consumos e melhor distribuição da temperatura pelo edifício, levando em conta a actividade humana monitorizada por câmaras de visão e os perfis medidos por diversos sensores em rede.

Uma área onde existe forte actividade no meio académico nacional é o futebol robótico, onde várias universidades se fazem representar anualmente no RoboCup, em ligas de robôs reais com todos os sensores a bordo e decisão descentralizada, ou com percepção global e coordenação mais centralizada, bem como em ligas de agentes virtuais, nas quais os problemas colocados são de natureza mais próxima de áreas próximas da Inteligência Artificial e Informática, como o planeamento, coordenação de comportamentos, bases distribuídas de conhecimento ou middleware para robôs. Embora possa ser visto apenas como uma competição, o futebol robótico é, no âmbito do RoboCup, encarado como uma forma de motivar a abordagem de problemas técnico-científicos avançados, entre os quais alguns dos listados na secção anterior, como a modelação, planeamento e execução de tarefas cooperativas, a percepção cooperativa, a auto-organização, a coordenação de comportamentos, e muitos outros.

### 4.3 Visão Crítica

As redes de sensores/robôs são uma área ainda pouco madura e envolvendo grande multidisciplinaridade, o que torna difícil avaliar as possíveis relações entre grupos existentes, nomeadamente entre a investigação académica e as potenciais aplicações, por exemplo às casas inteligentes e à domótica, que parecem constituir um segmento de mercado importante para empresas nacionais do sector. Muitos dos (ou todos os) grupos de I&D identificados trabalham em áreas afins, não sendo exactamente especialistas de raiz em redes de sensores/robôs. De qualquer forma esta é uma tendência internacional, não aparentando ser um factor crítico.

Há um grande potencial no alargamento da visão de redes de robôs tradicionais ao conceito de redes de sensores e dispositivos robotizados, nomeadamente electrodomésticos, câmaras e outros sensores domésticos, para onde muitos problemas técnico-científicos abordados na robótica são exportáveis (e.g. a localização cooperativa, a percepção cooperativa, o seguimento de objectos por sistemas de múltiplos sensores), com evidente potencial de mercado e de envolvimento em grandes projectos internacionais, como a Joint Technological Initiative, no âmbito do 7º Programa Quadro da União Europeia, que poderá resultar da plataforma tecnológica europeia ARTEMIS para I&D em sistemas embebidos.

Outras áreas onde o potencial para a implementação de sistemas deste tipo são a monitorização de situações de desastre (ex<sup>o</sup>.: cheias, fogos, terremotos) ou de consumo de energia em edifícios, centros comerciais, etc.

#### **4.4 Referências**

- WTEC Workshop: Review of U.S. Research in Robotics, em particular o ponto para Networked Robots: An Enabling Technology for Remote and Coordinated Operations, Ken Goldberg, Daniela Rus, Ning Xi ([http://www.wtec.org/robotics/us\\_workshop/](http://www.wtec.org/robotics/us_workshop/));
- Relatório Final do WTEC Panel on International Assessment of Research and Development in Robotics, de Janeiro de 2006, o qual inclui uma secção sobre Network Robotics, assinada por Vijay Kumar, George Bekey e Arthur Sanderson;

## 5 Cuidados de Saúde e Qualidade de Vida

Os robôs associados aos cuidados de saúde podem-se classificar naqueles que se destinam a assistir a cirurgia, os utilizados em reabilitação e terapia, os utilizados em diagnóstico e por último em próteses.

### 5.1 Requisitos Actuais

#### Sectores e aplicações:

Para a assistência na cirurgia não invasiva, são utilizados robôs em operações laparoscópicas e endoscópicas. São ainda utilizados robôs em cirurgia ortopédica. Para o primeiro caso o sistema robótico necessita várias componentes: tele-manipulação, sistema de visualização e controlo de robôs manipuladores, um mestre e outro escravo. O sistema de visualização permite ao cirurgião visualizar a zona da operação através de um monitor. O robô manipulador que efectivamente opera é actuado remotamente por um segundo robô - mestre. A interacção entre mestre-escravo é realizada à distância e realizada através de técnicas de tele-manipulação. A utilização do robô tem a vantagem de aumentar a precisão das tarefas pois elimina o tremor da mão do cirurgião. Hoje em dia tende-se a automatizar o movimento do robô através da retroacção visual através de imagens médicas, por exemplo ultra-sons. No caso da cirurgia ortopédica, as operações a realizar pelo robô manipulador estão relacionadas com a maquinação de ossos, para posterior aplicação de prótese, em que a precisão da tarefa é fundamental. Para o correcto funcionamento deste sistema é necessário o modelo 3D do osso a maquinar, e que este esteja registado. Consegue-se garantir a coordenação entre o referencial do robô e o do osso para que assim se possa realizar a trajectória pré-definida no pré-operatório.

No campo de reabilitação e terapia, são colocadas estruturas robóticas acopladas ao ser humano em que são induzidos movimentos pré-definidos à estrutura e que são prescritos por um fisioterapeuta, que normalmente participa activamente na especificação do sistema robótico. Neste campo existe ainda a possibilidade de colocação de dispositivos no corpo humano para estimular electricamente os nervos e assim movimentar os músculos do paciente.

Relativamente ao diagnóstico médico com a utilização de robôs começam a surgir sistemas (cápsulas inteligentes) que permitem movimentar-se no sistema sanguíneo, sendo necessário uma elevada precisão no controlo, que terá de ser com a utilização de tecnologia sem fios. Estes dispositivos têm como objectivo monitorizar o corpo humano, ou mesmo administrar uma pequena dose de medicamento no sítio e hora indicada. Uma outra vertente é a utilização de robôs do tipo descrito atrás para o registo da actividade dos diversos órgãos do corpo humano, podendo movimentar-se para localizações específicas e realizar várias tarefas, tais como extracção de pólipos no cólon, ou realização de biópsias.

No campo das próteses pode-se definir o exemplo de realização de próteses dentárias com base em modelos 3D obtidos através de imagens médicas. Através de um robô manipulador é maquinada a prótese dos dentes e ainda realizados pequenos ajustes ao suporte da prótese, para que esta se ajuste à boca do paciente. De salientar que conseguirá colocar o dente na posição e orientação requerida relativamente aos dentes vizinhos.

Por fim, no sector da robótica aplicada à medicina podem incluir-se os robôs de serviços para cuidados no domicílio. Estes pretendem melhorar a qualidade de vida do ser humano, incapacitados e capazes.

Para que os robôs possam ser utilizados em medicina e no domicílio para cuidados de saúde e melhoria da qualidade de vida, é importante que se melhorem as tecnologias existentes no que toca a:

- **Mobilidade:** permitir que o robô se possa mover livremente no espaço 3D. Por exemplo para emular o comportamento humano, o robô teria pernas (duas), mas para melhorar o seu equilíbrio poderia ter mais que duas pernas, para que se possa mover em locais acidentados. Outras possibilidades de locomoção serão rodas e lagartas, como já existem nos robôs aspiradores e de salvamento. A mobilidade de robôs em hospitais é importante para transportar documentos, medicamentos, análises, etc, entre os vários serviços do hospital.
- **Capacidade de manipulação:** no trato com humanos e para poder manipular o mesmo tipo de objectos que estes, os robôs devem ser capazes de poder agarrar objectos “do dia-a-dia”, abrir ou fechar portas, segurar uma colher para alimentar um humano. Quando se pretende utilizar um robô manipulador acoplado a um robô móvel – cadeira de rodas autónoma, um aspecto fundamental no conjunto é a capacidade de manipulação pois só fará sentido o conjunto se for para manipular objectos complexos
- **Capacidade Sensorial:** para reconhecimento do ambiente de trabalho que o rodeia, o robô deve possuir sensores de visão, força, distancia, etc. Esta informação deve ser precisa e actualizada com elevada cadência, para melhorar o desempenho do anel de controlo.
- **Inteligência:** devido à interacção com o ser humano em ambientes de trabalho não estruturados, os robôs devem ser capazes de se adaptar e reagir a diversas situações de trabalho. Devem ser capazes de planificar o seu trabalho e também reagir a impulsos provenientes da interacção com o mundo. Por exemplo, deve ser capaz de identificar e actualizar o modelo da interacção entre o robô e a câmara que visualiza o ambiente de trabalho.
- **Interface Homem-Máquina:** deve ser intuitivo e simples de utilizar para o comum humano, através de interfaces de voz, tácteis ou gráficas. Poderá ser assim possível comandar o robô à distância por voz ou gestos e ouvir e ver a retroacção deste. Quando se trabalha em tele-manipulação este requisito é fundamental.
- **Custo:** talvez o requisito mais importante para poder ser competitivo no mercado e assim ter sucesso comercial. Por exemplo um robô para dosear e avisar um doente dos comprimidos que tem de tomar por dia e ir ao encontro do humano com o respectivo comprimido, seria comparado a um electrodoméstico e não poderia ser muito mais caro. Por exemplo uma cadeira de rodas autónoma não deverá ser muito mais cara que o electrodoméstico clássico mais caro, pois as pessoas provavelmente iriam considerar a cadeira também um electrodoméstico para as ajudar na locomoção em casa.
- **Segurança das operações a realizar:** uma característica importante dos robôs é a sua capacidade de produzirem trabalho repetitivo com elevada precisão, repetibilidade e fiabilidade. Os robôs em ambientes cirúrgicos deverão poder ser esterilizáveis. Devem ser construídos com componentes com essa característica.

## 5.2 Capacidades Instaladas

A FEUP está a desenvolver robôs para a área da saúde, tendo alguns dos seus membros desenvolvido um protótipo de cadeira de rodas inteligente (Intellwheels) no âmbito de um projecto entre a FEUP e a Associação Portuguesa de Paralisia Cerebral e um robô de transporte de pequenos volumes, tele-conferência e recolha de dados (terminal móvel) num

projecto com o Hospital de S. Martinho. Neste domínio, no âmbito do projecto IntelWheels - Cadeira de Rodas Inteligente, investigadores da Universidade do Porto (FEUP e LIACC ) desenvolveram um novo protótipo de cadeira de rodas robótica que pode ser comandada através de uma interface multimodal, incluindo comandos de voz, joystick, expressões faciais e movimentos da cabeça do paciente.

A U. do Minho desenvolveu, em colaboração com a empresa SAR, uma cadeira de rodas omnidireccional, ENIGMA, premiada pelo Prémio Nacional de Inovação do BES em 2005.



[ENIGMA – cortesia U. Minho]



[Intellwheels – cortesia FEUP]

O programa MIT-Portugal inclui projectos numa área de investigação em próteses activas, em colaboração com prestigiados investigadores americanos, nos quais participam investigadores do IDMEC/IST, trabalho também recentemente premiado.

Outros grupos do meio académico português trabalham em áreas próximas da saúde, como o processamento de imagem médica (ISR/IST) ou a aprendizagem da interacção visual – motora (U. Minho, ISR/IST).

### 5.3 Visão Crítica

Em Portugal, a robótica aplicada no campo dos cuidados de saúde e de qualidade de vida encontra-se em diferentes estados de desenvolvimento. Estes campos podem definir-se nos seguintes grupos, seguindo a Secção 5.1:

- 1- robótica médica para utilização em cirurgia,
- 2- robótica para reabilitação e terapia,
- 3- robótica para diagnóstico médico,
- 4- robótica para realização de próteses,
- 5- robótica médica para assistência a doentes.

No que respeita à robótica médica para utilização em cirurgia, existe um interesse elevado por parte de médicos ortopedistas o que tenderá a que os grupos de investigação em robótica de manipulação acompanhem rapidamente este interesse. Em primeira análise, a utilização de robôs industriais para realizar algumas tarefas poderá ser testada para obter as primeiras soluções. Devido ao seu tamanho, terem características genéricas e também por não ser desejável na sala de operações equipamentos grandes, estes podem não ser a melhor solução para todos os casos e assim ser necessário projectar robôs dedicados a tarefas cirúrgicas específicas. A interacção com os médicos é assim essencial para se obter a melhor solução. O campo da robótica em meio cirúrgico requer que os robôs interajam de forma correcta e eficaz com o meio que o rodeia. Assim, é necessária uma valência em processamento de imagem médica e visualização, para que se possam definir as tarefas a realizar pelos robôs manipuladores. Neste campo e em Portugal existem também grupos de investigação que trabalham nesta área e que podem aportar ao sistema global informação essencial para que o robô possa realizar a tarefa de forma correcta. A tarefa poderá ser

planeada off-line e posteriormente terá de ser controlada on-line através de controlo visual e/ou de força. O controlo visual poderá ser realizado através de imagens “normais” ou imagens médicas, tipicamente por ultra-sons – a solução mais facilmente disponível na sala de operações. Assim, neste campo, devido à sua semelhança com aplicação clássicas

Assim, neste campo, devido à sua semelhança com aplicação clássicas industriais e ainda devido aos avanços existentes em processamento computacional de imagiologia médica, existem os ingredientes necessários ao desenvolvimento em Portugal de produtos comercialmente competitivos.

industriais e ainda devido aos avanços existentes em processamento computacional de imagiologia médica, tem os ingredientes necessários ao desenvolvimento em Portugal de produtos comercialmente competitivos.

No âmbito da Robótica para reabilitação e terapia existe capacidade para a construção de

dispositivos biónicos, que estendem o corpo humano, mas também a necessidade de trabalhar mais com investigadores na área da saúde para a interacção do robô com o sistema nervoso do ser humano, em áreas como o processamento de sinal electromiográfico, electroencefalográfico ou electroestimulação funcional.

A micro e nano robótica são relevantes para a robótica de apoio a diagnóstico médico. Em Portugal, tanto quanto é do nosso conhecimento, não existem grupos com trabalho nesta área, mas por outro lado existe investigação de ponta em micro e nanotecnologias, envolvendo físicos, químicos e engenheiros, por exemplo no Laboratório Associado Instituto de Nanotecnologia, podendo ser interessante o diálogo entre as duas partes.

No que respeita a próteses robóticas, aplicam-se genericamente os princípios da robótica de manipulação, visualização, controlo de força e controlo visual já definidos para sistemas aplicados em cirurgia. Este campo, devido à sua semelhança com aplicações clássicas industriais, tem os ingredientes necessários ao desenvolvimento em Portugal e assim criar produtos comerciais competitivos.

No âmbito da robótica médica para assistência a doentes existe variadíssima capacidade instalada em Portugal para se desenvolverem sistemas e produtos comerciais competitivos. O passo seguinte no desenvolvimento de robôs móveis em Portugal poderá passar pela colocação de braços manipuladores sobre as plataformas móveis (um exemplo será uma cadeira de rodas com um braço robô capaz de abrir portas e buscar objectos em prateleiras, necessários ao ser humano que é deslocado na cadeira), ou pelo desenvolvimento de robôs humanóides, para auxílio em casa a pessoas com deficiência motora ou idosas. Em Portugal, estes tipos de robôs necessitam de maior desenvolvimento, embora já exista algum trabalho em curso.

## 6 Sistemas de Transporte

O fluxo de massas nas cidades europeias, tem vindo a aumentar de forma acentuada nas últimas décadas. Isto está associado aos enormes avanços tecnológicos registados no sector dos transportes, facto esse que proporciona às pessoas grande mobilidade dentro e fora dos centros urbanos, acarretando contudo, graves consequências ao nível da gestão de tráfego rodoviário e de poluição do ambiente. Em média, cada habitante Europeu faz 1000 viagens por ano, o que, comparativamente com os transportes públicos, representa 40% das emissões de CO<sub>2</sub>.

Por esse motivo, uma das maiores preocupações nas cidades Europeias é encontrar formas alternativas de gerir eficazmente o fluxo das massas sem limitar a sua mobilidade e tentando fazê-lo com respeito pelo meio ambiente. Isso passa por duas estratégias: gestão mais eficiente dos actuais meios de transporte com menor impacto ambiental e incrementação de formas de transporte que utilizam energia ou formas de utilização com menor impacto ambiental.

### 6.1 Requisitos Actuais

Um forte componente inovadora neste domínio de transportes são os veículos autónomos designados CyberCars.

Os CyberCars desenvolvem-se em três vectores chave: navegação autónoma, sistemas de anti-colisão e interfaces avançados com o utilizador, que permitem o desenvolvimento de sistemas de veículos totalmente autónomos, não poluentes concebidos a pensar no transporte individual de pessoas nos mais variados ambientes. O principal factor diferenciador destes sistemas é serem flexíveis e ser significativamente mais simples e económica a alteração dos seus trajectos face às tecnologias que utilizam carris. Por outro lado mantêm o princípio de um transporte com característica individual ou de pequenos grupos, com a possibilidade de se efectuarem paragens, para a saída ou entrada de passageiros, em qualquer ponto do trajecto.

Uma mais valia deste tipo de transporte reside no facto de não ser poluente, uma vez que os veículos são movidos a energia eléctrica e fazem a sua própria racionalização de energia, visto utilizarem algoritmos de caminho mais curto para o cálculo da rota óptima consoante as paragens que têm de servir. A somar a estas vantagens temos o facto de haver uma gestão da frota a cada instante, em que, de acordo com o número de utilizadores, serão disponibilizados mais ou menos recursos.

Demonstrações públicas realizadas em três cidades Portuguesas, serviram para confirmar que este é um sistema perfeitamente adaptado para ser aplicado no transporte de passageiros e bagagens entre os locais de desembarque e os terminais dos aeroportos, no transporte de pessoas em zonas históricas das cidades, parques temáticos e resorts turísticos, pólos universitários e no apoio a pessoas com mobilidade reduzida em ambiente hospitalar.

### 6.2 Capacidades Instaladas

A tecnologia de transporte dos *CyberCars* tem origem nos desenvolvimentos realizados em sistemas de controlo e gestão de frotas de AGVs – *Automatic Guided Vehicles*. Existem vários tipos destes veículos no mercado, mas dedicados ao transporte de mercadorias em

ambientes fabris. Estes sistemas não reúnem as características necessárias para fazerem o transporte de pessoas, nem para serem colocados em ambientes exteriores. Deste modo vários grupos internacionais e também Portugueses têm desenvolvido sistemas integrados em AGVs de modo a adaptá-lo para o transporte de pessoas nos mais variados tipos de ambientes. Com esta adaptação os veículos ficam munidos com sistemas de detecção de obstáculos – sensores de ultrasons e de telemetria laser - prevenindo colisões com qualquer tipo de objectos ou pessoas que interceptem a sua trajectória.



[Cybercars -  
cortesia ISR-Coimbra]

Os actuais protótipos desenvolvidos em Portugal permitem ao utilizador destes sistemas, fazer a chamada de um veículo remotamente, através de um aparelho que possua tecnologia Wi-Fi, como um computador portátil ou PDA. Depois de se efectuar a chamada, o AGV que se encontra mais próximo dirige-se ao local, e o utilizador, já dentro do carro, poderá escolher a paragem de destino.

Estes desenvolvimentos em Portugal neste domínio da tecnologia têm sido realizados em várias entidades. Duas entidades, ligadas à Universidade de Coimbra – o Laboratório de Automática e Sistemas do Instituto Pedro Nunes apresenta capacidades relevantes na vertente de transferência de tecnologia e no Instituto de Sistemas e Robótica apresenta capacidades relevantes na vertente de pesquisa.

Outros trabalhos de relevo feitos em Portugal incluem os estudos de mobilidade actualmente em curso pelo Centro de Excelência e Inovação da Indústria Automóvel (projecto MOBI) e o trabalho actualmente em curso para o desenvolvimento de sistemas certificáveis para condução automática de veículos feito pela Critical Software.



[ATLASCar – cortesia U. Aveiro]

No âmbito da prova de Condução Autónoma do Festival Nacional de Robótica, a Universidade de Aveiro, através de grupos do DEM e do IEETA, tem-se distinguido pela apresentação de soluções para veículos autónomos capazes de seguir (em ambientes interiores) uma pista semelhante a uma estrada com faixas laterais contínuas e uma divisória tracejada, fora e dentro de túneis, interpretar sinalização de semáforos e agir em conformidade, manobrar para evitar

obstáculos e percorrer caminhos alternativos, sinalizados como “zona de obras” com “pimenteiros”. Os veículos utilizados têm estrutura cinemática do tipo automóvel/triciclo. Na sequência de várias participações de sucesso, o Departamento de Engenharia Mecânica da UA iniciou o desenvolvimento de um automóvel autónomo (ATLASCar) que é presentemente capaz de condução autónoma.

### 6.3 Visão Crítica

A solução para transporte de pessoas, baseada em veículos eléctricos autónomos (sem condutor) ainda não é explorada comercialmente, de forma massificada. Em todo o mundo existem apenas protótipos ainda em fase de teste (e.g. <http://www.2getthere.eu/>), ou em

fase de projecto (e.g. <http://www.atsltd.co.uk>). Há no entanto exemplos comerciais de condução assistida com actual exploração comercial, e.g. Phileas ([www.aphileas.com](http://www.aphileas.com)), Frog ([www.frog.nl](http://www.frog.nl)).

Como a performance do sector de transportes em ambiente urbano, não é satisfatória em Portugal, verifica-se um crescimento acentuado da utilização de veículos individuais de combustão como principal meio de mobilidade.

No entanto têm vindo a ser desenvolvidas novas soluções de mobilidade para alterar esta tendência, nomeadamente o “SATU” que é um sistema automático de transporte urbano em Oeiras, um veículo eléctrico apoiado sobre um viaduto de betão e com tracção por cabo, não necessita de condutor, sendo operado através de uma central localizada remotamente; tendo a vantagem de não ser poluente, dado que funciona a electricidade. Têm surgido algumas críticas em relação a esta alternativa de transporte, nomeadamente ao ruído que emite, assim como necessitar de grandes custos de manutenção, tendo tido um investimento inicial elevado.

A solução baseada em Cybercars apresenta várias vantagens face às alternativas existentes, nomeadamente um custo de infra-estrutura reduzido, flexibilidade de trajectos, silencioso e com uma forte capacidade de adaptação à procura existente [...]

A solução baseada em Cybercars apresenta várias vantagens face às alternativas existentes, nomeadamente um custo de infra-estrutura reduzido (também pode utilizar vias pré existentes), flexibilidade de trajectos (possibilidade de modificar a rede), silencioso e com uma forte capacidade de adaptação á procura existente (disponibilizando uma resposta sempre que o utilizador necessite de se deslocar).

A solução baseada em “trams on tyres” é neste momento a que parece ter maior viabilidade económica. Por um lado, os custos de infra-estrutura são muito baixos dado que este pode operar em faixas de transporte público assim como misturado com o trânsito. Por outro lado, os custos de manutenção do veículo não são muito superiores à manutenção do autocarros actualmente existentes. Por outro lado estes veículos são vistos como uma real alternativa ao conceito de metro de superfície, dado o design do veículo, o facto de se conseguirem ter veículos com mais eixos do que o habitual (uma vez que estes são todos direccionáveis) podendo transportar mais de cem pessoas por viagem. Esta factor faz com que os governos locais consigam que projectos para compra de “trams on tyres” sejam financiados pelos governos centrais, algo que tradicionalmente não acontece com as aquisições de autocarros. Por outro lado, ao contrário que que acontece com o conceito Cybercars, o conceito *Tram on Tyres* está actualmente em fase de homologação de acordo com normas para veículos de estrada e para transporte ferroviário.



## 7 Segurança, Vigilância e Monitorização

As dimensões espaciais e temporais relativas à recolha de dados e intervenção em vastas áreas em terra, no mar e no ar requerem, para além da utilização de meios de detecção remota (tais como satélites), a utilização de robôs (terrestres, aéreos e aquáticos), de sensores (fixos ou móveis) e de meios de comunicação heterogéneos. Requerem ainda a intervenção de operadores humanos, não só a nível de planeamento, como também a nível de controlo de execução, num ambiente denominado de iniciativa mista (homem-robô) na terminologia anglo-saxónica.

A utilização de robôs na recolha de dados permite considerar estratégias de amostragem adaptativas, em que a taxa de amostragem é ajustada às características espaciais e temporais dos fenómenos de interesse.

A utilização de robôs em actividades de intervenção tem sido motivada fundamentalmente por actividades de construção e de operação de infra-estruturas em locais inacessíveis ao homem e, mais recentemente, por operações militares e de segurança. Estas intervenções requerem, de um modo geral, a presença de operadores humanos que controlam remotamente os robôs. Para o efeito, é necessário fornecer ao operador informação em tempo real sobre o ambiente de operação. Esta informação consiste, de um modo geral, em imagens vídeo captadas por câmaras colocadas a bordo dos robôs, e que são complementadas por dados obtidos com outros sensores.

No sector da segurança e monitorização existem alguns requisitos que poderão ser resolvidos recorrendo à robótica móvel, em mercados variados, desde o mercado do terciário (centros comerciais em que a vigilância é executada autonomamente) até ao mercado institucional, e.g. vigilância de fronteiras, passando pela vigilância marinha e fluvial, incluindo a que é realizada com fins científicos.

### 7.1 Requisitos Actuais

Na última década registaram-se avanços tecnológicos que permitem melhorar significativamente os valores dos principais parâmetros utilizados no projecto de robôs para operações em terra, no mar e no ar. Esses parâmetros são o peso, o tamanho, o consumo de energia e o custo. A introdução de materiais compósitos permite reduzir de uma forma significativa o peso e o volume das estruturas mecânicas. A miniaturização dos meios computacionais e dos sensores permite a utilização de novos sensores e de sistemas computacionais de reduzidas dimensões, de baixo consumo e de elevada performance. As células de combustível que armazenam energia com elevados níveis de densidade permitirão alargar, de forma considerável, a autonomia de veículos autónomos. Os progressos em Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) permitem antever a utilização de sistemas de navegação miniaturizados com níveis de desempenho antes só possíveis com equipamentos mais volumosos, e de custo mais elevado. A tendência para a utilização de software gratuito, ou freeware, permite ultrapassar os elevados custos associados à aquisição de sistemas operativos e de sistemas de desenvolvimento de software, tal como era regra nos anos 90. Os avanços nos dispositivos de comunicação “wireless” e nos protocolos para redes “ad-hoc” permitem antever uma maior capacidade de interligação de veículos e sistemas, pelo menos em terra e no ar, já que as comunicações no meio subaquático continuam a ser dominadas pela tecnologia das comunicações acústicas. Os avanços nas áreas de modelos de computação para sistemas distribuídos, de linguagens de programação e de mobilidade de processos e de código permitem antever novos

paradigmas para a programação de sistemas compostos por veículos, observatórios e redes de sensores. Neste âmbito é possível antever a transferência de computações de um veículo para outro, ou a actualização do software instalado a bordo de veículos, mesmo durante a operação dos mesmos. Os desenvolvimentos em redes de sensores “wireless” baseadas em nós de sensores – que são caracterizados por limitações significativas a nível de energia armazenada e de comunicações – oferecem modelos e protocolos para a operação de redes de veículos. Os paradigmas de iniciativa mista – que tratam do problema de articular o que de melhor operadores humanos e agentes de software podem contribuir para o

Neste sector existem alguns requisitos que poderão ser resolvidos recorrendo à robótica móvel, em mercados variados, desde o mercado do terciário (centros comerciais em que a vigilância é executada autonomamente) até ao mercado institucional, e.g. vigilância de fronteiras, passando pela vigilância marinha e fluvial, incluindo a que é realizada com fins científicos.

planeamento de operações e controlo de execução das mesmas – são seguramente uma referência a seguir, uma vez que o planeamento e o controlo da execução de operações de recolha de dados e de intervenção são de natureza e complexidade tais que transcendem, por um lado, as possibilidades da sua completa automatização e, por outro lado, a capacidade e a eficiência da intervenção de operadores humanos.

As plataformas robóticas para aplicações neste domínio deverão estar preparadas para missões de longa duração, por vezes em ambientes de extrema hostilidade e deverão desempenhar tarefas de forma extremamente fiável. Os requisitos actuais na Europa flutuam à volta das necessidades de monitorização de espaços públicos (e.g. aeroportos, estádios), inspecção de explosivos, monitorização distribuída de fronteiras e equipamento de resposta desastres (e.g. derrocadas, incêndios em ambientes inacessíveis). No sector privado existem alguns requisitos para a monitorização de áreas industriais e armazéns. No documento de definição da agenda estratégica do EURON detalha-se:

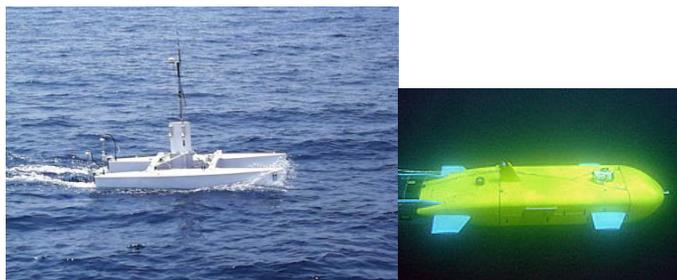
- As tarefas de monitorização distribuída (e.g. fronteiras) exigem um controlo autónomo de missão e capacidades cognitivas avançadas. Estas aplicações exigem uma elevada capacidade de reconfiguração, aprendizagem e robustez em ambientes total ou parcialmente desconhecidos utilizando agentes no ar e no terreno.
- Para a monitorização de propriedade privada são necessárias boas capacidades de coordenação entre robôs, bem como a implementação de interfaces homem-máquina robustos e implementação de meios dissuasores.
- A robótica para resposta a catástrofes apresenta requisitos muito exigentes de mobilidade em ambientes não estruturados e de coordenação entre meios. Mais uma vez, existe um requisito para a coordenação entre meios no ar e no terreno com sistemas reconfiguráveis de comunicações e de elevada modularidade. Requisitos específicos são os de planeamento automático, uma vez que o ambiente muda frequentemente, gestão de recursos e de prioridades. Outros requisitos específicos desta aplicação são os sensores químicos entre outros e sistemas de manipulação.

Outro tipo de requisitos nesta área diz respeito a tarefas de monitorização de eco-sistemas e/ou de apoio a missões científicas, onde as plataformas robóticas, autónomas ou tele-

operadas, funcionam como uma extensão do alcance humano, no seu objectivo de explorar o fundo dos oceanos, planetas remotos ou áreas de difícil acesso, como vulcões activos.

## 7.2 Capacidades Instaladas

Existem em Portugal vários grupos envolvidos no desenvolvimento de robôs para operações em terra, no mar e no ar. Para tal tem contribuído um investimento sustentado de I&D realizado fundamentalmente em instituições académicas nacionais. Este permitiu grangear um reconhecimento internacional em algumas áreas chave, como sejam a da robótica submarina, e mais recentemente na área das aeronaves sem piloto. Este reconhecimento poderá, e deverá, potenciar a transição destas tecnologias para o mercado internacional. A área da robótica submarina está mais madura, e existe em Portugal a capacidade de projecto, construção e operação de veículos submarinos e de superfície para aplicações diversas, como pode ser confirmado pelo número de veículos inteiramente projectados e construídos em Portugal nos últimos anos.



[robôs oceanográficos do ISR/IST]

A área das aeronaves sem piloto registou recentemente desenvolvimentos interessantes em Portugal. Tal deveu-se à conjugação de três factores: transferência de tecnologias associadas à robótica submarina; cooperação interdisciplinar e necessidades aplicacionais.



[robô submarino autónomo ISURUS – cortesia ISR-Porto/FEUP]

O laboratório de Sistemas Dinâmicos e Robótica Oceanográfica do ISR Lisboa apresenta uma actividade diversificada na I&D relacionada com a operação de robôs marinhos, com especial ênfase nos problemas de condução, navegação e controlo. O grupo tem estado envolvido em inúmeros projectos europeus, um dos quais (MARIUS/SOUV) levou ao desenvolvimento do primeiro AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*) europeu. Posteriormente, foram construídos em Portugal, em colaboração com empresas nacionais, AUV INFANTE e o *catamaran* autónomo DELFIM. Normalmente, para além do desenvolvimento de metodologias científicas nas áreas já mencionadas, o grupo tem uma estreita colaboração com parceiros internacionais (como a IFREMER, França e o *National Institute of Oceanography*, Goa, India) e nacionais (nomeadamente o IMAR/Açores) na utilização destes veículos para missões de investigação científica em Biologia Marinha. Mais recentemente, o trabalho tem vindo a ser estendido à condução, navegação e controlo de helicópteros autónomos, tendo como potenciais aplicações a vigilância de zonas costeiras, e o estabelecimento de redes de veículos aéreos, de superfície marinha e submarinos em missões de observação científica.

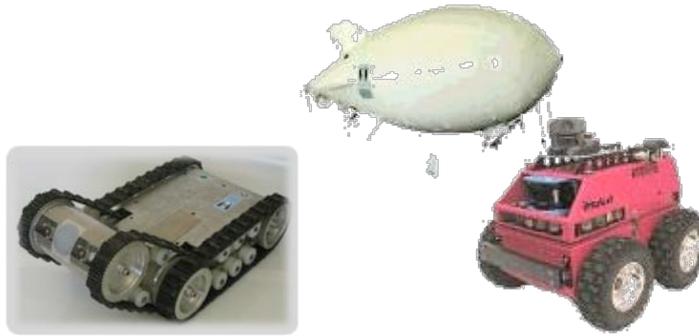


[robôs marinhos e aéreo do INESC-TEC]

Na FEUP existem também dois grupos de investigação com considerável actividade em robótica marinha: o Grupo OceanSys (<http://oceansys.fe.up.pt>) do INESC/FEUP e o Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática (LSTS - <http://whale.fe.up.pt/~lsts/wiki/index.php/Inicio>) do ISR/FEUP. O primeiro desenvolve investigação em navegação e controlo de múltiplos veículos, modelação de processos oceanográficos e amostragem adaptativa de variáveis físicas em tempo real usando veículos autónomos, tendo desenvolvido projectos em consórcio com as Águas de Portugal, tendo recentemente vendido um robô submarino de inspecção para o Brazil (TRIMARES). O segundo tem como missão o projecto e implementação de soluções inovadoras para oceanografia em tempo real e monitorização ambiental, baseadas em recentes desenvolvimentos em sistemas de controlo, computação, em redes de sensores e em tecnologias subaquáticas. Este grupo tem uma considerável componente de coordenação de sistemas de múltiplos veículos e aplicações de protótipos de veículos marinhos de superfície e submarinos autónomos e tele-operados, bem como de aviões autónomos, em inspecção de portos e vigilância de fogos em florestas. Com o LSTS tem colaborado também o Laboratório de Sistemas Autónomos do Instituto Superior de Engenharia do Porto, do Instituto Politécnico do Porto (LSA/ISEP/IPP). Este laboratório é reconhecido internacionalmente pela tecnologia desenvolvida em robots terrestres e, sobretudo, aéreos e marinhos, destacando-se os robôs FALCOS, uma aeronave não tripulada para a detecção de fogos florestais e vigilância marítima, e ROAZ, um robot de monitorização marítima de superfície que pode analisar a qualidade da água e detectar naufragos.

Uma das linhas temáticas de investigação do ISR-Lisboa (Laboratório Associado) diz respeito a monitorização e vigilância robotizada, baseada em redes de sensores autónomos distribuídos, compostos por sensores estáticos e robôs móveis dotados de sensoriamento. Em particular, algum trabalho tem sido desenvolvido na área da navegação de robôs terrestres e aéreos (dirigíveis) em ambientes exteriores, demonstrando a sua aptidão para actuarem individual e cooperativamente em operações de busca e salvamento (BeS) num ambiente semelhante a cenários de catástrofe. Um projecto em consórcio com a PME IdMind, um *spinoff* do ISR Lisboa, e o Regimento de Sapadores Bombeiros de Lisboa (RSBL), permitiu desenvolver um robô semi-autónomo para operações de salvamento (RAPOSA) que foi testado em cenários de treino para humanos e cães e participou mesmo num ensaio de Protecção Civil à escala europeia – EUROSOT. A IdMind já exportou entretanto uma nova versão deste robô (RAPOSA NG) para uma universidade do Dubai. Os objectivos a longo prazo do projecto consistem em aplicações de BeS a cenários de catástrofe em grande escala, nomeadamente terremotos.

A Albatroz Engª, outro spinoff do ISR/IST, desenvolveu um método de inspecção de linhas de transmissão de energia eléctrica baseado em varrimento a laser, infravermelhos e visao, a partir de um helicóptero tripulado, que inclui detecção



[robôs do projecto Rescue – cortesia ISR/IST]

de anomalias, análise termográfica (por infravermelhos), registo de anomalias físicas utilizando imagens de vídeo, e inspecção da faixa com um laser (LIDAR). O sistema aéreo desenvolvido permitiu inspecionar 19% da rede de transmissão portuguesa (1346 Km) em 15 dias. A Albatroz faz também outros trabalhos de reconstrução e mapeamento 3D de locais para visita virtual, como por exemplo as ruínas romanas de Lisboa.

Outras empresas começam a afirmar-se na área dos veículos autónomos para aplicações de vigilância, segurança e defesa, como por exemplo a UAVision (*quadcopters* exportados para Angola, sistemas de monitorização agrícola, redes de bóias para informação online sobre praias), ou a TEKEVER (*spinoff* Autonomous Systems produz veículos autónomos em terra, mar e ar para aplicações civis e militares).



[RAPOSA NG – cortesia IdMind]

Na área das soluções de videovigilância digital e gestão de grandes instalações de CCTV, soluções de detecção automática de incidentes em auto-estradas com base em visão por computador, e soluções de televisão digital por IP, a PME Observit, *spinoff* do ISR Lisboa, tem marcado presença em projectos como a vigilância por redes de câmaras em centros comerciais (por ex.º: Vasco da Gama, em Lisboa). A Observit tem estado envolvida em

projectos em consórcio com o ISR Lisboa, cujo grupo de Visão Robótica tem trabalho na área de detecção e reconhecimento de actividade humana, incluindo presentemente um projecto CMU-Portugal, liderado pelo INESC-ID.

Alguns passos começam a ser dados no desenvolvimento de robôs autónomos em ambientes exteriores. Exemplos são um robô que apanha bolas de golfe em *driving ranges*, desenvolvido na Universidade do Minho em colaboração com a empresa SAR, sua *spinoff*, e o robô corta-relva, concebido e construído pela empresa SelfTech, *spinoff* do ISR/IST.

### 7.3 Visão Crítica

O potencial tecnológico para o desenvolvimento de novos conceitos para a operação de robôs na terra, no mar e no ar é, hoje em dia, significativo. Contudo, são vários os desafios que se colocam à transformação deste potencial em sistemas operacionais. Em primeiro lugar, torna-se necessário considerar abordagens multi-disciplinares para o projecto de sistemas que possam tomar partido efectivo de sinergias potenciadas por desenvolvimentos tecnológicos em áreas muito diversas. Em segundo lugar, importa eliminar as barreiras –

entre as quais se destacam o custo e a facilidade de operação – a uma maior utilização de novas tecnologias em aplicações civis. Em terceiro lugar, importa desenvolver novos conceitos de operação que tirem partido efectivo de novos sistemas e tecnologias. Em quarto lugar, será necessário desenvolver novos modelos de utilização destes sistemas e tecnologias. Em quinto lugar, importa articular desenvolvimentos tecnológicos orientados para aplicações específicas, com desenvolvimentos tecnológicos de uso múltiplo, no sentido que em que podem ser utilizados não só em aplicações específicas como noutras classes de aplicações, de forma a reduzir os custos de desenvolvimento. Em sexto lugar, é necessário desenvolver protocolos e standards de interoperabilidade que visem uma utilização universal de robôs heterogéneos. Finalmente, é necessário desenvolver enquadramentos legais para a operação de robôs em terra, no mar e no ar.

A questão mais premente neste grupo de aplicação é determinar se existe ou não procura interna uma vez que na generalidade dos países com este tipo de requisitos haverá a tendência a proteger a propriedade intelectual dentro de fronteiras caso não exista uma solução estabelecida no mercado.

No que toca à indústria Portuguesa nota-se, como é habitual, que falta um integrador com experiência no domínio.

Existem preconceitos enraizados em relação às aplicações militares, embora estas sejam um dos principais impulsionadores no mercado da robótica em países como os EUA. É possível trabalhar nesta área sem que ela tenha uma aplicação violenta, embora na generalidade dos casos seja isso que acontece com as aplicações actualmente no terreno (e.g. packBots da iRobot).

No mercado internacional nota-se a existência de investimentos nesta área. O QinetiQ tem trabalhado no desenvolvimento de plataformas móveis em conjunto com a Foster-Miller. A GE Aviation (anteriormente conhecida como Smiths Aerospace) ganhou recentemente um contrato de dimensão significativa para fornecer instrumentos de detecção e identificação química para equipar robôs móveis.

Conclui-se que é necessária uma forte articulação internacional para fazer face a estes desafios. Para além dos objectivos do 7º Programa Quadro da União Europeia, nas suas várias vertentes, haverá que dar particular atenção ao desenvolvimento de standards de interoperabilidade e de enquadramentos legais para a operação de robôs em terra, no mar e no ar.

## 7.4 Referências

- EUROP, Strategic Research Agenda, May 2006.
- WTEC Workshop: Review of U.S. Research in Robotics ([http://www.wtec.org/robotics/us\\_workshop/](http://www.wtec.org/robotics/us_workshop/)), em particular o ponto para Networked Robots: An Enabling Technology for Remote and Coordinated Operations, Ken Goldberg, Daniela Rus, Ning Xi
- Association for unmanned vehicle systems international <http://www.auvsi.org/>

## 8 Educação e Entretenimento

A educação e o entretenimento é uma das áreas de aplicação mais relevantes da robótica actual, quer pelo potencial de investigação pluri-disciplinar que encerra, como pelo grande impacto no ensino da ciência e tecnologia e, sobretudo, pelo volume de negócio que tem gerado internacionalmente.

### 8.1 Requisitos Actuais

Os requisitos são de natureza bem diversa, dependendo do tópico sob consideração. Os brinquedos, para além de necessitarem certificação (por exemplo, devido às necessidades de segurança de crianças), têm outros requisitos mais subjectivos e potenciadores de maior ou menor capacidade de mercado, como o tempo durante o qual se mantém a sua atracção – um brinquedo pode rapidamente aborrecer o seu utilizador se não mantiver a sua capacidade de surpreender, por exemplo através de aprendizagem e da exploração permanente de aspectos sensoriais e de actuação, manipulação, etc. Já as competições de robótica devem, por um lado, reunir a capacidade de estimular o interesse dos jovens e do público em geral, mas, por outro lado, evitar transformarem-se num concurso ou em pura competição e/ou forma de resolver um problema específico: uma competição com impacto científico deve estimular os seus participantes a produzir resultados de interesse para outras aplicações, e a inovação permanente, através da evolução regular das regras. As actividades educativas visam estimular os jovens para a ciência e a tecnologia, explorando o carácter pluri-disciplinar da robótica.

### 8.2 Capacidades Instaladas

#### Brinquedos

O mercado dos brinquedos robóticos tem um potencial enorme para estimular a aprendizagem de conhecimento técnico nos mais jovens, mas também em geral como produtos de grande sucesso comercial, desde que adequadamente projectados e se apresentarem um boa relação capacidade de entretenimento/preço. Normalmente consistem num conjunto de peças para construir, com algum software para programar o dispositivo construído. Esse software pode ir desde a programação de baixo nível até à implementação de aprendizagem a partir de interacção com o utilizador, passando pela interligação de comportamentos predefinidos através de fluxograma.



[Prova de Condução Autónoma do Festival Nacional de Robótica]

Alguns exemplos destes desenvolvimentos em Portugal são os robôs da SAR (Bot'n Roll) ou da IdMind (Robot GT Circular). No panorama internacional nota-se a existência de inúmeras soluções tais como as criadas pela LEGO (MindStorms), pela Sony (Aibo), ROBONOVA-I, ELEKIT, MOVIT, RoboSapiens, Tamagoshi, Furby entre outras.

#### Demonstrações de Tecnologia e Arte

Trata-se uma área com alguns exemplos interessantes em Portugal, destacando-se 2 exemplos:



[robôs Ciudad Santander – cortesia YDreams]

- Os robôs pintores de Leonel Moura, em parceria com a IdMind
- Os robôs da Ciudad Santander, Madrid, encomendados à YDreams e realizados por esta em parceria com a IdMind.

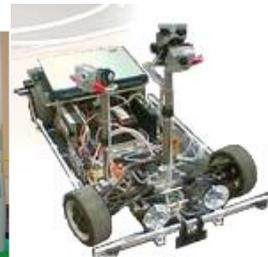
### Competições de robôs

Existem em Portugal uma variedade de eventos e competições focados na robótica, nomeadamente:

- **Festival Nacional de Robótica:** (FNR) teve a primeira edição em Abril de 2001. Anualmente muda de local, e tem uma comissão organizadora local, mas é coordenado pela respectiva Comissão Especializada da Sociedade Portuguesa de

No que se refere às competições de robôs e aos eventos educativos, Portugal está cotado entre os países mais activos a nível mundial, sendo aconselhável manter ou mesmo reforçar essa posição.

R  
o  
b  
ó  
t  
i  
c  
a



d [Robôs de competição made in Portugal. Da esquerda para a direita: equipa  
e SocRob (ISR/IST), equipa CAMBADA, uma vez campeão do mundo na MSL do  
s RoboCup (U. Aveiro) e ATLAS (U. Aveiro), vencedor de 6 edições consecutivas  
d da Condução Autónoma do FNR.]

e 2006. O número de participantes em vindo a crescer desde a primeira edição tendo estabilizado em torno dos 800 desde 2006. O evento inclui um encontro científico, com apresentação de artigos e co-patrocínio técnico do IEEE, e várias competições em paralelo, tendo algumas destas provas as mesmas regras que as do RoboCup (evento internacional). A prova de Condução Autónoma foi inteiramente concebida em Portugal e realiza-se desde a primeira edição do Festival Nacional de Robótica (anteriormente conhecida como classe UIP).

- **MicroRato:** teve a primeira edição em Dezembro de 1995, sendo organizado pelo Departamento de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro. Consiste num labirinto onde os robôs têm que autonomamente descobrir o seu caminho até ao final onde se encontra um emissor de infravermelhos..
- **Robô Bombeiro:** Teve a primeira edição em em Outubro de 2003, sendo organizado pelo Departamento de Informática do Instituto Politécnico da Guarda. Consiste na construção de robôs móveis e autónomos que sejam capazes de encontrar e extinguir um incêndio (simulado por uma pequena vela), dentro de um modelo de uma casa formado por corredores e quartos.
- **Actividades educativas curriculares ou extracurriculares com supervisão de um adulto:** algumas escolas, através de alguns dos seus professores, criaram grupos de trabalho para construir pequenos robôs, de forma a participarem em eventos de competições robóticas e/ou para fazerem algumas demonstrações na sua escola ou

noutras escolas a pedido. Existem ainda alguns clubes de robótica com ou sem qualquer afiliação espalhados por todo o país e normalmente com alguma dinâmica. Anualmente, diversos grupos de investigação organizam, com o apoio do Ciência Viva, actividades de ocupação científica de jovens nas férias do verão.

- **RoboParty:** organizado pelo Grupo de Automação e Robótica da Universidade do Minho, realiza-se em Guimarães, e tem como principal objectivo ensinar aos participantes como construir um pequeno robô móvel autónomo. No final de três dias de actividades, há uma prova opcional onde os participantes podem testar o seu robô e competir com outras equipas. O RoboParty reúne 400 estudantes que ganham e aplicam conhecimentos de mecânica, electrónica, e programação.



### 8.3 Visão Crítica

Há um enorme potencial por explorar relativamente ao impacto comercial das aplicações de robótica ao entretenimento, que envolve o desenvolvimento de robôs que interajam com os utilizadores de forma a surpreenderem permanentemente, mantendo o seu interesse e atenção por períodos que justifiquem o seu custo. As PMEs portuguesas na área têm investido mais no aspecto educativo que, apesar de interessante, está algo limitado ao mercado nacional. O alargamento ao mercado internacional deverá exigir o desenvolvimento de robôs também utilizáveis por laboratórios de investigação. Em ambos os casos, e particularmente para os robôs-brinquedos, o investimento inicial necessário poderá ser uma limitação forte para estas empresas.

No que se refere às competições de robôs e aos eventos educativos, Portugal está cotado entre os países mais activos a nível mundial<sup>1</sup>, sendo aconselhável manter ou mesmo reforçar essa posição, e tirar dela partido para potenciar a Robótica como um nicho tecnológico nacional.

---

<sup>1</sup> Nota do Editor Paolo Fiorini ao artigo “Robotics Educational Activities in Portugal: A Motivating Experience”, P. Lima, IEEE Robotics and Automaiton Magazine, June 2007



## 9 Robótica Espacial

As aplicações de robótica no espaço têm imensas ramificações, destacando-se os manipuladores para actividade intra e extra-veicular (por exemplo na Estação Espacial Internacional), os *rovers* planetários e os satélites. A robótica no âmbito do espaço é actualmente um mercado bastante restrito. Os principais actores são normalmente os grandes grupos a operar nestes mercados, e.g. *EADS Astrium*, *Dutch Space* (parte do grupo EADS) e *Galileo Avionica*. Para empresas na cadeia de fornecimento de projectos nesta área o espaço é um sector apelativo do ponto de vista do prestígio. Não sendo um mercado com um volume de encomendas estável, deve ser equacionada a criação de actividades empreendedoras puramente dedicadas a este. A ESA cita recursivamente que as PME's a operar no espaço devem tentar manter o volume de vendas neste sector abaixo dos 30% do volume de vendas total.

### 9.1 Requisitos Actuais

#### 9.1.1 Introdução

O sector da robótica espacial tem tido evoluções significativas. Após os sucessos no envio de robôs móveis a Marte pela NASA, antevê-se que as missões com requisitos de autonomia vão aumentar no futuro próximo. Devido a restrições geopolíticas os requisitos com maior relevo para a indústria portuguesa são gerados pela indústria espacial europeia ligada ao mercado institucional. Neste domínio, há intenções claras no sentido de enviar rovers ou sondas com algum nível de autonomia a outros corpos do sistema solar, sendo a Lua o mais imediato, mas também Vénus e Mercúrio.

Existem também sinais que apontam para o aparecimento, no futuro próximo, de requisitos no mercado global de satélites de telecomunicações que podem ser relevantes, nomeadamente no rendez-vous e correcção de satélites para prolongamento de vida útil.

Os requisitos no mais longo prazo expressos pela ESA são:

- Robótica para manutenção e operação da ISS (*International Space Station*)
  - Robô Assistente para a ISS, para suportar operações na estação.
- Manutenção de infra-estrutura geoestacionária
  - Robôs de serviços para assistir plataformas geoestacionárias - mencionado também na SRA (*Strategic Research Agenda*) da plataforma tecnológica europeia EUROP (*European Robotics Platform*) sob “*Assembly and Repair in Space*”.
- Participação em actividades lunares
  - Robôs para apoio a operações humanas
  - Robôs para exploração
- Recolha e retorno de amostras de Marte
  - Robôs exploradores para recolha e retorno de amostras em corpos celestes
  - Integração de instrumentos científicos para recolha de amostras na atmosfera e no subsolo de corpos celestiais
- Envio de sondas robotizadas a outros planetas e luas do sistema solar

Num documento de 2007 da *Eurospace* sublinha-se a necessidade de especificação, desenvolvimento, verificação e operação de:

- Braços robotizados para inspecção, manutenção e montagem de infra-estruturas espaciais e *payloads*;
- Robôs móveis para exploração da superfície de corpos celestes;
- Automação de laboratórios espaciais, sistemas de controlo de *payloads* em missões tripuladas e não tripuladas;

Na visão da ESA o mercado de robôs para espaço vai ser exclusivamente institucional e enquadrado na ISS e na exploração de corpos celestes. Os valores envolvidos na ISS são da ordem dos 20~50 M€ para os próximos dez anos.

A missão a Marte tem dois componentes robóticos: o “*Mars Rover*” e o instrumento Pasteur. Os dois componentes têm um financiamento entre os € 50M e os € 100M. Outros financiamentos serão aplicados por forma a manter capacidades estratégicas.

### 9.1.2 Relatórios Existentes

Existem já exercícios de *roadmapping* da robótica no sector do espaço, como por exemplo o de mapeamento de requisitos realizado pela ASD *Eurospace* em 2007.

### 9.1.3 Requisitos Futuros

#### 9.1.3.1 Percepção

- Com o aumento do número de sensores vem a necessidade de implementar a fusão sensorial in-loco por forma a evitar requisitos de largura de banda demasiado exigentes.
- Implementação de algoritmos de visão computacional em hardware por forma a atingir elevado desempenho dos pontos de vista energético e de velocidade de processamento.
- Sensores de tacto que forneçam informação de toque e pressão são considerados cada vez mais importantes.
- *Encoders* capacitivos são vistos como uma solução cada vez mais adequada à medição da rotação de juntas.

#### 9.1.3.2 Autonomia, Inteligência e Controlo

- Implementação de arquitecturas, normalmente com três camadas:
  - a camada mais baixa (“camada funcional”) controla os componentes do robô directamente, recebendo comandos da
  - camada intermédia (i.e. “camada operacional”). Esta camada é operada pela
  - camada de topo (i.e. “camada de missão” ou “camada de decisão”) que recebe objectivos de um operador humano.
- No contexto da autonomia, da inteligência e do controlo as tendências são para o desenvolvimento de sistemas flexíveis (i.e., capazes de gerir situações inesperadas), robustez, colaboração homem-máquina e segurança (a indústria através da participação no grupo de trabalho para a elaboração da agenda estratégica para a robótica no arranque do EU-FP7 colocou requisitos muito definidos para o desenvolvimento de sistemas cognitivos, com capacidade de aprendizagem).

#### 9.1.3.3 Actuadores e Mecanismos

Para aplicações orbitais, são necessários motores BLDC (que necessitam de materiais magnéticos raros) e engrenagens harmónicas de elevada desmultiplicação.

Os *rovers* e os manipuladores utilizados em missões de exploração planetária necessitam de motores DC com engrenagens epicíclicas. Para outras aplicações em geral a utilização de motores de passo continua a ser preferida.

A integração de electrónica de controlo em mecanismos com múltiplos graus de liberdade não tem ainda maturidade suficiente.

#### 9.1.3.4 Interfaces para Robôs

No que se refere a agentes robóticos teleoperados, existe uma tendência para utilizar interfaces hápticas “amigáveis” que permitem a operação intuitiva do sistema robótico remoto.

Já para robôs autónomos, o foco de atenção está sobre o aumento do realismo dos simuladores para permitir a validação dos comportamentos autónomos programados.

A utilização crescente de software autónomo imporá algoritmos de verificação formal de software aos vários níveis de produção do software.

O desenvolvimento de interfaces multimodais, com especial atenção à ergonomia, é actualmente uma prioridade para as interfaces homem-máquina.

#### 9.1.3.5 Ambiente de Testes em Terra

Ferramentas de simulação dedicadas são necessárias durante as fases de desenho e na operação. Estas ferramentas só podem ser validadas com meios de teste repetitivos. A Galileo Avionica está a desenvolver uma instalação de teste no ESTEC (projecto CONTEXT).

## 9.2 Capacidades Instaladas

As principais capacidades existentes em Portugal em áreas de potencial (ou actual) aplicação ao espaço situam-se nas seguintes disciplinas (alguns exemplos de instituições são destacados):



[rover ExoMars – cortesia da ESA]

- Manipulação
- Visão Robótica (e.g., *Hazard Avoidance*) (DEIMOS Engenharia, UNINOVA/UNL)
  - Navegação autónoma de robôs terrestres, marinhos e aéreos (GMV Skysoft, TEKEVER, ISR/IST)
  - Planeamento de tarefas robóticas (ISR/IST, TEKEVER)
    - Teleoperação (o Centro de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra desenvolveu software utilizado a bordo do *Space Shuttle*.)
    - Robôs Assistentes (U. Minho, ISR/IST)
    - Condução, controlo e navegação de formações de satélites (GMV Skysoft, DEIMOS Engenharia, o grupo de Sistemas Inteligentes do ISR/IST foi coordenador de um projecto ESA na área das formações de satélites)
- Mecânica de precisão
- Arquitecturas e *middleware* para sistemas robóticos (a Critical Software desenvolveu o software em tempo real xLuna, usado como referencia pela ESA).

### 9.3 Visão Crítica

As aplicações de robótica no espaço sofrem de uma associação à exploração com humanos. Dentro da comunidade científica existe uma grande separação entre os mundo das aplicações científicas e as missões tripuladas. A imagem que as missões tripuladas criaram é de que são extremamente politizadas sendo vistas como a versão moderna das demonstrações de força no período de guerra fria. Do ponto de vista científico há pouco a ganhar com missões como a Estação Espacial Internacional ou com a criação de infraestruturas habitadas noutros planetas. Assistiu-se recentemente a um extremar destas posições com o apoio do ex-presidente norte americano a missões tripuladas em detrimento de missões de cariz científico.

O distanciar da robótica desta imagem negativa é um desafio bastante actual. O desafio de colonização da Lua e os recentes sucessos da exploração robótica de Marte poderão ser alavancas na direcção correcta, por exemplo.

Os grupos universitários buscam normalmente projectos com uma forte componente científica e menos tecnológica, pelo que tipicamente a sua intervenção está restringida aos níveis mais baixos de *Technology Readiness*, e focalizada na concepção e teste de técnicas de utilização futura num prazo relativamente longo.

Os grupos universitários buscam normalmente projectos com uma forte componente científica e menos tecnológica, pelo que tipicamente a sua intervenção está restringida aos níveis mais baixos de *Technology Readiness*, e focalizada na concepção e teste de técnicas de utilização futura num prazo relativamente longo. Nesse sentido, a colaboração com as empresas da área, onde existe actualmente uma capacidade instalada e um grande nível de competitividade em projectos ESA a níveis mais elevados de *Technology Readiness* apresenta-se como fundamental para ambas as partes e para a presença nacional no espaço, simultaneamente levando ao desenvolvimento de tecnologia avançada para utilização não espacial. Portugal contribui para programas opcionais da ESA como o ExoMars, MREP ou Lunar Lander, que têm fortes componentes de Robótica envolvidas.

### 9.4 Referências

- EUROP, *Strategic Research Agenda*, May 2006.
- ASD Eurospace, *Harmonisation Mapping 1st Round 2007, Automation and Robotics, Draft B, Industry position with comments received before 31/01/2007.*

## 10 Notas Finais

Procurou-se neste documento demonstrar que existe em Portugal um forte nicho de conhecimento e desenvolvimento de tecnologia em torno da Robótica, nas suas mais diversas vertentes, que pode alavancar a capacidade instalada nesta area em Portugal para se transformar numa fonte de criação de produtos avançados tecnologicamente e comeptitivos no mercado global, não só estritamente robôs mas muitos outros produtos em áreas afins e resultantes do conhecimento adquirido nesta área.

Procurámos sermos abrangentes, mas seguramente não teremos sido exaustivos. Para uma lista (também ela não exaustiva) de instituições e empresas na area da Robótica em Portugal, visitar a página da SPR em <http://www.spr.ua.pt/> e seguir os “Links de Robótica em Portugal.”

O nosso grande desejo é que esta seja uma primeira contribuição para um Livro Branco da Robótica em Portugal.