

## ENGENHARIA INFORMÁTICA

# REDES DE SENSORES SEM FIOS COM DESEMPENHO CONTROLADO – PROJECTO FP7 GINSENG

V. PEREIRA<sup>1</sup>, J. SÁ SILVA<sup>1</sup>, A. CARDOSO<sup>1</sup>, P. GIL<sup>1,2</sup>, P. FURTADO<sup>1</sup>, R. SILVA<sup>1</sup>, J. CECÍLIO<sup>1</sup>, A. SANTOS<sup>1,3</sup>, A. GOMES<sup>1</sup>, J. GONÇALVES<sup>1</sup> e E. MONTEIRO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Informática e Sistemas da Universidade de Coimbra  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra  
Pólo II, Pinhal de Marrocos, 3030-290 Coimbra, Portugal

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Electrotécnica, FCT, Universidade Nova de Lisboa  
Campus de Caparica, Lisboa

<sup>3</sup> Instituto Superior de Engenharia de Coimbra  
Rua Pedro Nunes, Quinta da Nora, 3030-199 Coimbra, Portugal

J. DO Ó e R. EIRAS

Galp Energia/Petrogal

Rua Tomás da Fonseca - Torre C, 1600-209 Lisboa, Portugal

## RESUMO

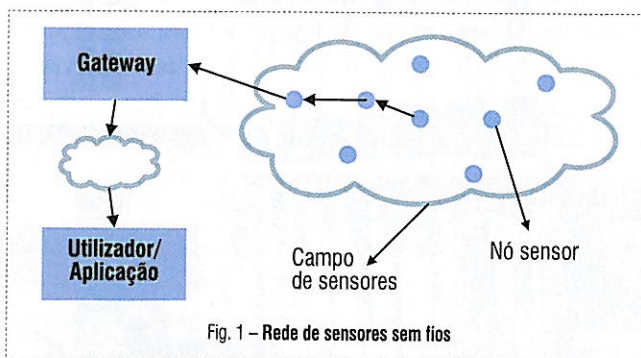
As redes de sensores sem fios são uma tecnologia recente com um âmbito de aplicações muito vasto. No entanto, a sua aplicabilidade tem sido limitada a cenários pouco exigentes ao nível do desempenho, sendo a fiabilidade assegurada por uma elevada redundância. Com a intenção de expandir a aplicação destas redes a ambientes industriais e hospitalares, onde a qualidade de serviço é uma necessidade crítica, surgiram novos desafios científicos que importa estudar, sendo alguns objecto de investigação no âmbito do projecto GINSENG.

## I. INTRODUÇÃO

As redes de sensores sem fios (RSSF) são constituídas por dispositivos computacionais autónomos, integrando sensores e/ou actuadores, designados comumente por nós sensores. Estes dispositivos têm capacidade de medir ou actuar sobre o meio onde se encontram inseridos e de comunicar com os nós adjacentes, formando uma rede de comunicações por onde a informação flui até chegar, eventualmente, a um nó base (estação base) onde esta é processada. Em 1999 a revista "Business Week" considerou as RSSF como uma das 21 tecnologias mais importantes para o século XXI, enquanto a "Technology Review" a incluiu entre as dez tecnologias emergentes com significativo impacto no futuro próximo. Uma das premissas base subjacentes a esta conclusão está inelutavelmente relacionada com o potencial vasto campo de aplicabilidade desta tecnologia, abrangendo aplicações domésticas, industriais ou militares, entre outras.

As primeiras redes de sensores sem fios eram fundamentalmente constituídas por elevado número de nós, distribuídos de modo não planeado pela área geográfica onde se encontrava o objecto a ser monitorizado. Esta abordagem de construção apresentava enormes vantagens, especialmente em cenários de catástrofe ou de acessibilidade reduzida, já que permitia a criação rápida de uma rede funcional. A distribuição dos nós podia ser feita de múltiplas formas, entre as quais é possível destacar a distribuição nó a nó, a dispersão através de aeronave ou usando *rockets*. Após distribuídos os nós pela área de observação, os protocolos específicos destas redes permitiam uma rápida auto-configuração e início da recolha de dados. Refira-se que, pelo facto dos nós terem alguma capacidade de processamento, embora limitada, parte da informação recolhida podia ser de imediato processada localmente. A reconhecida falta de fiabilidade de cada um dos nós era compensada através da existência de vários nós redundantes e pela grande capacidade de auto-configuração da rede em caso de falha de um nó particular.

As aplicações destas redes são muito vastas. Entre as principais podem-se destacar os sistemas de monitorização de variáveis ambientais, sistemas de monitorização de áreas agrícolas, sistemas de monitorização de zonas de catástrofe, aplicações militares (envolvendo reconhecimento ou espionagem, até sistemas de comunicação ou de comando), aplicações comerciais de controlo de qualidade e aplicações domésticas de segurança, bem como aplicações na área da saúde (desde que sem necessidade de fiabilidade elevada).



Entre as características dos nós sensores destacam-se o baixo custo, de modo a poderem ser usados em grande número, o baixo consumo, para não dependerem de fontes de energia externa, a polivalência, para suportar vários tipos de aplicações, a autonomia, de modo a não necessitarem de intervenções exteriores, e a possibili-

dade de comunicação sem fios, de modo a poderem comunicar com nós adjacentes e constituir uma rede. A elevada flexibilidade destes dispositivos tem, no entanto, alguns custos. Entre eles está a sua limitação em termos de capacidade computacional, a memória reduzida e as restrições em alcance da sua capacidade de comunicação. Estas restrições conduziram ao desenvolvimento de um novo conjunto de *software* específico para estes dispositivos, bem como um novo conjunto de protocolos de comunicação.

De entre as principais desvantagens desta tecnologia, destaca-se o elevado número de nós necessários, a diminuta fiabilidade de cada nó, a elevada frequência de alterações imposta à topologia da rede, o facto de não haver nenhuma entidade central de comando mas sim um conjunto de nós que se auto-organizam, a impossibilidade de garantir qualquer tipo de desempenho ao utilizador ou aplicação. A falta de fiabilidade individual dos nós é devida a limitações intrínsecas à própria tecnologia. Entre elas destacam-se as falhas de bateria, a existência de interferências do meio ou de nós adjacentes. A flexibilidade da topologia e a constante auto-organização dos nós também tem custos elevados, devido ao número de nós envolvidos, à sua falta de fiabilidade, à possibilidade de introdução de novos nós e porque todas as modificações necessitam de ter em conta os custos energéticos das várias alternativas. Outro dos grandes problemas destas redes é não garantirem um determinado nível de qualidade de serviço (QoS) aos seus utilizadores, apresentando-se pouco adequadas para aplicações que necessitem de tempos de resposta exigentes ou para aplicações dirigidas a ambientes críticos. Neste contexto, e de modo a dar resposta a alguns problemas acima reportados, uma nova geração de redes de sensores sem fios está a ser objecto de estudo e desenvolvimento.

## II. REDES DE SENSORES DE DESEMPENHO CONTROLADO

Algumas das principais causas apontadas como dissuasoras da massificação das redes de sensores sem fios, são a falta de fiabilidade e a ausência de garantias de desempenho. É pois importante dar resposta a estas questões através da criação de mecanismos que permitam fornecer uma adequada qualidade de serviço aos utilizadores e aplicações alicerçadas em RSSF. Por QoS entendem-se genericamente todas as características necessárias para que a rede possa fornecer um serviço de acordo com nível esperado. A QoS em redes de sensores é bastante mais complexa do que a referente a redes de comunicação tradicionais, em particular, devido à existência de um novo conjunto de condicionamentos, tais como restrições de energia, capacidade de armazenamento de dados, capacidade de comunicação, largura de banda, topologia variável e escalabilidade. Esta qualidade de serviço pode ainda ser subdividida em QoS da aplicação e QoS da rede. Entre as características da primeira contam-se parâmetros como a cobertura, exposição, erros de medida ou número de sensores activos, enquanto que a segunda pode ser caracterizada por parâmetros como atraso, variação no atraso, largura de banda, perdas de pacotes, capacidades de transmissão com segurança ou possibilidades de mobilidade.

Para obter a QoS pretendida não basta garantir a fiabilidade e o atraso no envio e recepção de dados. É também fundamental uma

nova forma de controlo de topologia, uma vez que este item pode, por si só, aumentar a eficiência, o desempenho, a cobertura, a conectividade e, simultaneamente, diminuir o consumo de energia. Novos mecanismos de monitorização e *debug* da rede são também necessários de modo a poder assegurar que o desempenho se mantenha constante, permitir a análise dos problemas detectados e efectuar as alterações necessárias para repor o normal funcionamento. A nova geração de redes de sensores sem fio de desempenho controlado, que está actualmente em desenvolvimento, permitirá garantir a QoS necessária a uma nova classe de aplicações. De entre estas aplicações encontram-se as de controlo e automação industrial, aplicações de apoio na área da saúde e, genericamente, em todas as aplicações onde os requisitos de desempenho sejam uma condicionante efectiva.

PROJECTO: Ginseng – *Performance Control in Wireless Sensor Networks*

INFSO-ICT-224282

DURAÇÃO: 1/Set/2008-31/Ago/2011

PARCEIROS: Universidade de Coimbra (Portugal), National University of Cork (Irlanda), Petrogal SA (Portugal), SAP AG (Alemanha), Swedish Institute of Computer Science (Suécia), Technische Universitaet Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig (Alemanha), University of Cyprus (Chipre) e Lancaster University (Reino Unido).

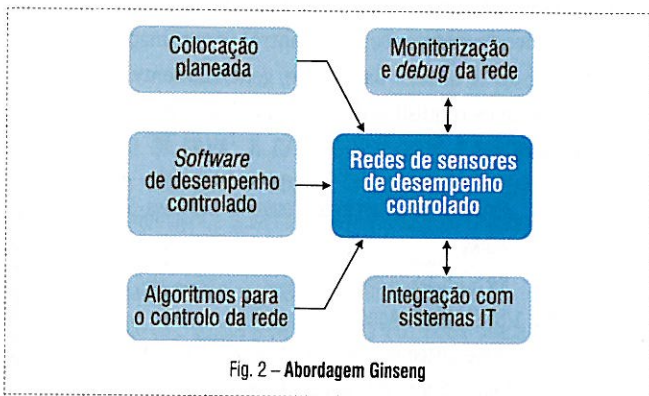
SITE: [www.ict-ginseng.eu](http://www.ict-ginseng.eu)

## III. PROJECTO GINSENG

O projecto GINSENG<sup>1</sup> é um projecto financiado pela União Europeia no âmbito do sétimo programa quadro (FP7), constituído por oito parceiros, entre os quais dois portugueses: a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e a Petrogal SA. Um dos seus objectivos consiste em desenvolver os necessários mecanismos para o suporte de desempenho controlado em redes de sensores sem fios. Estas redes constituem uma mais-valia em cenários mais exigentes em termos de desempenho, em virtude da sua rápida instalação e reconfiguração, do acompanhamento mais rápido e flexível do modelo de negócio subjacente e custos de manutenção reduzidos. Neste contexto, um dos resultados do projecto GINSENG será permitir o cumprimento dos critérios de desempenho de aplicações específicas, mesmo as usadas em ambientes críticos, e contribuir para uma fácil integração entre a RSSF e as plataformas de gestão existentes nas empresas. Para cumprir estes objectivos, a abordagem (Fig. 2) consistirá, desde logo, na substituição da distribuição aleatória, não planeada, dos nós sensores por distribuição criteriosamente planeada e subordinada ao cumprimento dos requisitos de projecto, designadamente QoS, autonomia, entre outros. No caso particular de ambientes industriais, os locais de interesse têm localizações específicas predeterminadas, como por exemplo máquinas, tubagens, válvulas, ou outros, sendo os sensores, ou os conversores, do tipo digital-analógico acoplados a estes equipamentos de modo coordenado e tendo em vista as suas funções específicas.

<sup>1</sup> [www.ict-ginseng.eu](http://www.ict-ginseng.eu)

Paralelamente, serão desenvolvidos e adaptados os necessários componentes de *software*, de modo a assegurar o nível de desempenho desejado para a RSSF, incluindo o próprio sistema operativo dos nós, assim como os protocolos de acesso ao meio. Serão igualmente desenvolvidos algoritmos específicos que permitam o controlo da topologia e tráfego de dados, bem como ferramentas de monitorização e de depuração (*debugging*). Outro aspecto fundamental que está a ser considerado envolve a interligação desta rede com os sistemas existentes na indústria.



**A. CENÁRIOS**

A escolha da refinaria de Sines da Petrogal, como plataforma de teste e protótipo do projecto GINSENG, deveu-se ao facto de ser uma instalação industrial de elevada dimensão que, além de incorporar uma grande variedade de cenários, integra ainda várias aplicações críticas, quer no domínio do controlo de processos de refinação, quer para efeito de monitorização de um grande número de variáveis, de modo a garantir permanentemente as melhores condições de operação e segurança, bem como a prevenção de acidentes.

Presentemente, existem na Refinaria da Petrogal em Sines cerca de 35 mil sensores e actuadores em funcionamento, distribuídos pela monitorização e controlo das várias operações/processos incluídos no processo de refinação, tais como sensores de pressão nas várias tubagens, detectores de fugas, sensores de temperatura, sensores de nível, entre outros, ou dispositivos de abertura e fecho de válvulas e registos. A generalidade destes dispositivos está ligada à Central de Controlo através de fios de cobre, os quais transportam os dados e a energia necessária. Apesar de ser um sistema com provas já dadas, este paradigma envolve custos muito significativos e processos de instalação morosos, pelo que o uso de redes de sensores sem fios é uma alternativa bastante apelativa, especialmente em situações que requeiram a monitorização temporária de algumas variáveis.

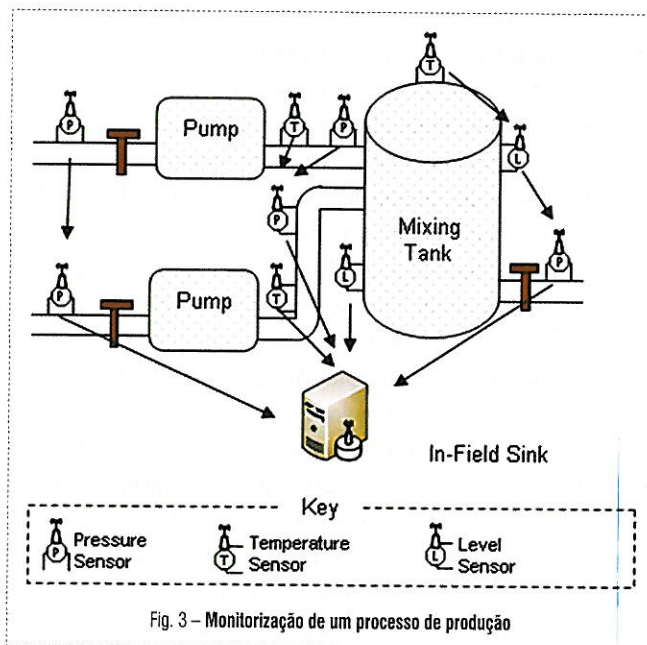
De modo a contribuir para a definição dos requisitos subjacentes às redes de desempenho controlado, e tendo em vista estudar o comportamento das soluções desenvolvidas, foram conceptualizados vários cenários em que existe a necessidade de utilização de aplicações que imponham um desempenho mínimo. Esses cenários, que reproduzem aplicações genéricas em ambientes industriais, foram posteriormente adaptados à realidade da refinaria da Petrogal em Sines. Foram idealizados cinco cenários distintos que permitem, conceptualmente, reproduzir um conjunto de aplicações específicas em ambiente industrial, subordinadas a requisitos mínimos de desempenho das RSSF que lhes estão associadas. Os cenários em causa,

integrando sensores e actuadores sem fios, consistem na Monitorização de Produção, Controlo de Produção, Controlo e Monitorização de Produção, Controlo de Fugas e Controlo de Segurança dos Trabalhadores. A Tabela 1 apresenta um resumo das características fundamentais dos cenários adoptados.

Tabela 1 – Comparação de cenários

Restrição	Monitorização de Produção	Controlo de Produção	Controlo e Monitorização de Produção	Controlo de Fugas	Controlo de Segurança dos Trabalhadores
Atraso	<3s entre sensor e estação base (nó de recolha)	<2s do sensores <1s para actuadores	Atraso entre medição do valor e resposta do actuador deve ser <2s	Atraso entre a medição do valor e resposta do actuador deve ser <2s	<5s entre sensor e estação base (nó de recolha)
Fiabilidade	Perdas mínimas de pacotes são toleradas	Não são aceites perdas de pacotes	Não são aceites perdas de pacotes	Não são aceites perdas de pacotes	Não são aceites perdas de pacotes
Segurança		Autenticação necessária	Autenticação necessária		Autenticação necessária
Mobilidade	Não	Não	Não	Não	Sim
Hops	Máximo 3	Máximo 4	Máximo 4	Máximo 10	Máximo 4
Disposição	Em árvore	Em árvore	Em árvore	Linear	Em árvore
Intervalo de Manutenção	>12 meses	>12 meses	>12 meses	>12 meses	>12 meses

O primeiro cenário, Monitorização de Produção (Fig. 3), recorre a redes de sensores sem fios para efeito de aquisição de um conjunto de variáveis físicas específicas, tais como pressão, temperatura ou nível, distribuídas por subprocessos locais à Refinaria de Sines e subsequente envio para uma Central de Controlo. Cada conjunto de sensores envia os dados recolhidos para estações base estrategicamente colocadas na refinaria. Estes dados são posteriormente objecto de processamento e apresentação em sinópticos dedicados, a partir dos quais os operadores de processo procederão à monitorização dos processos em causa e servindo-lhes de suporte no contínuo processo de tomada de decisão sobre aspectos da respectiva produção.



O segundo cenário, Controlo de Produção (Fig. 4) para além de recorrer à aquisição de sinais a partir de transmissores instalados no processo envolve também o fecho do anel através do envio de uma acção de controlo, remotamente calculada, para um nó particular

que o disponibilizará através do seu conversor digital-analógico ao actuador correspondente, como por exemplo um motor de accionamento de uma válvula. Este cenário é exemplificativo do sistema de controlo semi-automático.

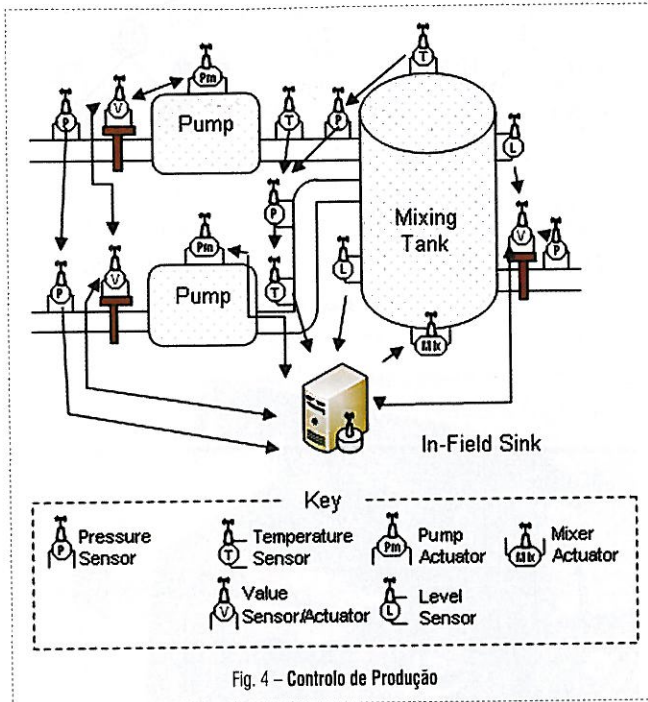


Fig. 4 - Controlo de Produção

O cenário de Controlo e Monitorização de Produção é uma variação do anterior em que a resposta é automática, sendo um exemplo de um sistema automático.

O Controlo de Fugas é um cenário muito importante, quer por razões económicas, quer de segurança. Na refinaria são constantemente controladas fugas de combustíveis e emissões de gás. Neste momento, essa verificação é feita por trabalhadores que regularmente percorrem a pé todos os *pipelines*. O controlo por sensores deste cenário implica um sistema automático constituído por sensores e actuadores dispostos de forma linear ao longo dos *pipelines* (Fig. 5).

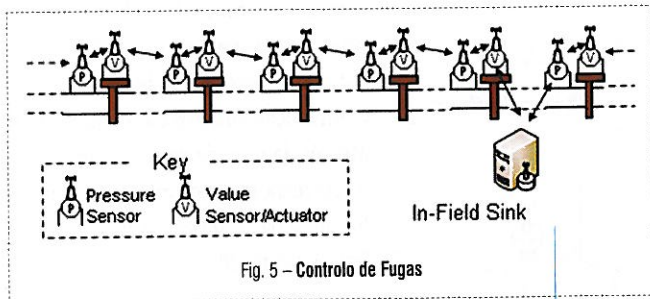


Fig. 5 - Controlo de Fugas

O último cenário, Controlo de Segurança dos Trabalhadores, é essencial em ambientes industriais, onde geralmente há áreas e/ou actividades de elevado risco para a saúde dos trabalhadores. Exemplos dessas actividades numa refinaria são a limpeza ou reparação de tanques e tubagens, muitos contendo resíduos tóxicos. Para garantir a segurança, neste cenário, os trabalhadores levam sensores que medem os seus sinais vitais e a sua orientação. Se, por exemplo, um sensor de orientação estiver na horizontal por demasiado tempo, isso poderá indicar que um trabalhador pode ter caído inanimado, pelo que um alarme será automaticamente disparado. A Fig. 6 apresenta o cenário de limpeza de um tanque (que pode ser estendido à vistoria de vários tanques).

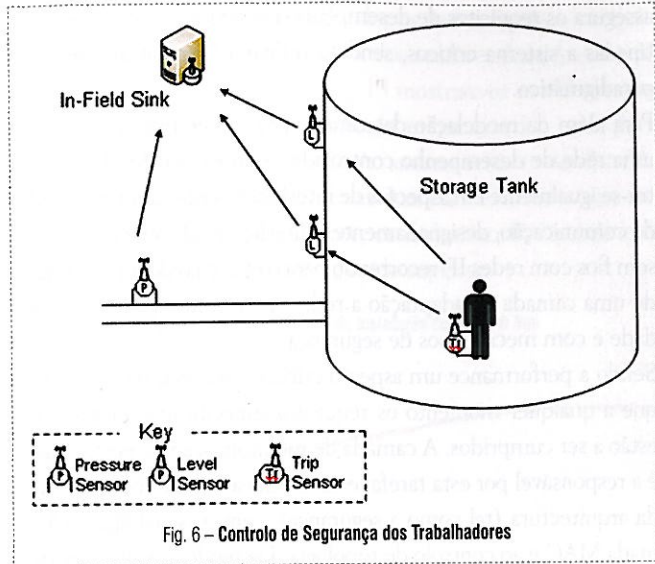


Fig. 6 - Controlo de Segurança dos Trabalhadores

**B. ARQUITECTURA FUNCIONAL**

Tendo em conta os requisitos funcionais subjacentes aos vários cenários adoptados para efeito de testes na refinaria da Petrogal em Sines, apresenta-se seguidamente a arquitectura funcional proposta (Fig. 7), cujos diversos elementos constituem linhas de intervenção no âmbito projecto GINSENG. Destes, destacamos a camada MAC, a camada de adaptação a redes IP e a monitorização de performance.

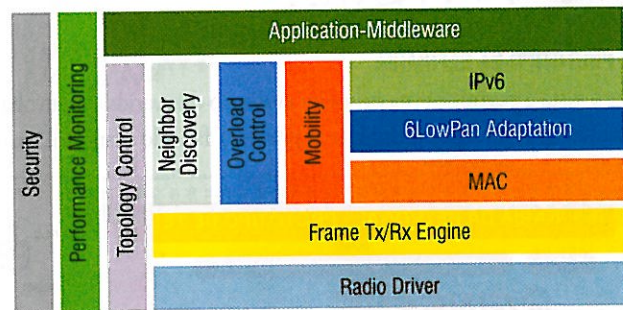


Fig. 7 - Arquitectura Funcional

Tendo em conta a especificidade de requisitos das RSSF de desempenho controlado, foi desenvolvida uma nova camada MAC (*Medium Access Control*), totalmente baseada em TDMA (*Time Division Multiple Access*) e denominada GinMAC. Devido ao reduzido número de nós e à sua concentração por área, um acesso arbitrário ao meio conduziria a um elevado número de colisões que afectariam o desempenho e a fiabilidade da aplicação geral. Como tal, tendo em vista garantir o desempenho requerido, optou-se por adoptar uma estratégia de comunicação e acesso ao meio totalmente controlada. Baseada numa topologia em árvore com um número limitado de níveis, a GinMAC começa por assumir que as comunicações na RSSF são efectuadas através do nó de recolha (*Sink Node*). Paralelamente, considera o ciclo temporal dividido em períodos e estes em janelas temporais (*slots*), atribuindo um número de *slots* fixo a cada nó da árvore. Deste modo, uma vez atribuído um *slot* temporal a um nó folha, este permanece exclusivo ao nó em questão. Assim, é assegurada a comunicação, em qualquer instante, sem colisões e com latência controlada, desde o nó folha até ao nó de recolha. Apesar de não ser um protocolo escalável, o GinMAC

assegura os requisitos de desempenho necessários a aplicações destinadas a sistemas críticos, sendo a refinaria Petrogal um exemplo paradigmático.

Para além da modelação das características mínimas necessárias a uma rede de desempenho controlado, o projecto GINSENG centra-se igualmente em aspectos de interligação entre diferentes redes de comunicação, designadamente a interligação da rede de sensores sem fios com redes IP, recorrendo para o efeito ao desenvolvimento de uma camada de adaptação a redes IPv6, com suporte a mobilidade e com mecanismos de segurança.

Sendo a performance um aspecto crítico é necessário ter a certeza que a qualquer momento os requisitos especificados inicialmente estão a ser cumpridos. A camada de monitorização de performance é a responsável por esta tarefa, estando presente em todos os níveis da arquitectura (tal como a segurança), com especial ligação à camada MAC e ao controlo de topologia. De modo a avaliar a performance foram criadas várias métricas específicas, as quais pretendem reflectir os dois níveis de requisitos de performance considerados essenciais para o Ginseng em particular e para as RSSF de desempenho controlado em geral. No primeiro nível de requisitos temos o atraso e a confiabilidade, essenciais para que a rede possa garantir a transmissão de tráfego prioritário com restrições temporais e a fiabilidade de todos os dados. No segundo nível foram identificados requisitos adicionais como a tolerância a falhas, eficiência energética, segurança e mobilidade.

**C. PROTÓTIPO NA REFINARIA**

Com vista a permitir uma primeira avaliação dos vários desenvolvimentos que emergiram durante a primeira fase do projecto, quer

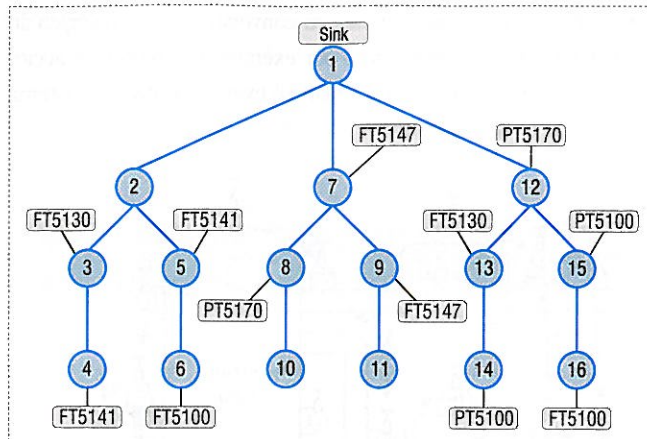


Fig. 9 - Árvore dos nós

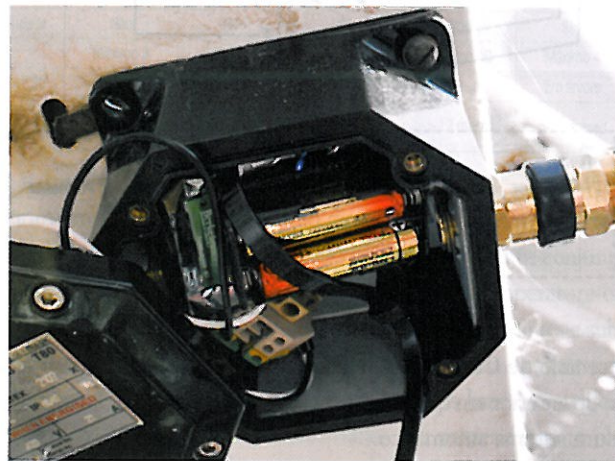


Fig. 10 - Detalhe de uma antena

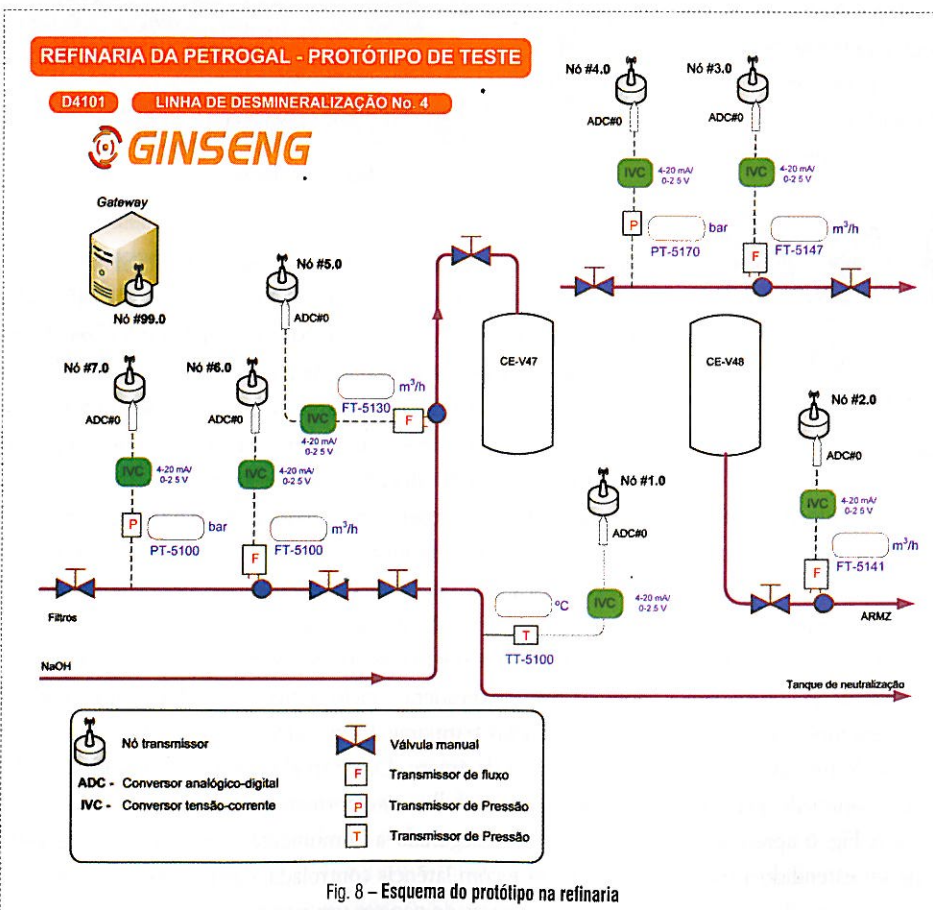


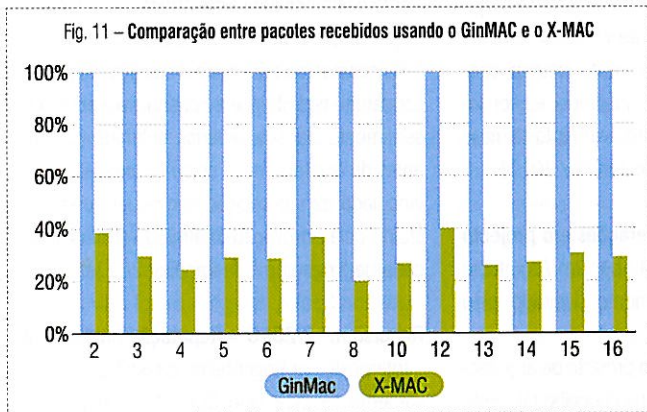
Fig. 8 - Esquema do protótipo na refinaria

em termos de metodologias quer do ponto de vista conceptual, bem como avaliar as opções tomadas em termos de *hardware* proposto, foi montado um protótipo genérico na refinaria da Petrogal em Sines. Um dos requisitos predefinidos para este protótipo consiste em possibilitar formalmente a comparação entre os dados adquiridos através da rede de sensores sem fios e os correspondentes valores disponibilizados a partir da estrutura física com fios já existente.

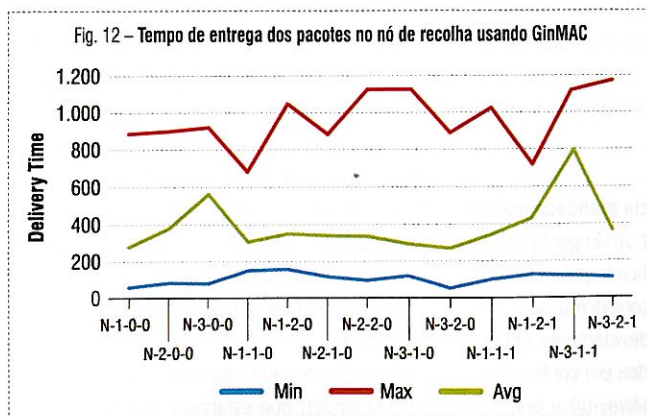
O protótipo é constituído por nós transmissores, um gateway e diversos nós sensores, dispostos segundo uma topologia particular. A escolha dos nós transmissores recaiu sobre os TelosB da marca Crossbow, devido à sua simplicidade, baixo custo e por serem *open-source*. Foi necessário também usar conversores corrente-tensão devido ao facto de, na generalidade, os sinais dos sensores presentes na refinaria serem transmitidos em corrente entre 4 e 20mA, enquanto que os conversores do tipo

analógico-digital presentes nos TelosB admitem exclusivamente sinais em tensão com configuração para a gama 0 - 2,5V. Embora a área de implantação do protótipo na refinaria não seja particularmente crítica, todo o equipamento foi colocado em caixas com certificação ATEX (conjunto de normas que definem as características do equipamento a colocar em áreas com materiais explosivos), para que os testes repliquem condições semelhantes às das zonas críticas. Foi ainda instalado um computador (PC) como *gateway* e um PC como servidor, interligados através de uma ligação WiFi. Na Fig. 8 apresenta-se o diagrama funcional do protótipo de teste na refinaria e na Fig. 9 o esquema em árvore que representa a arquitectura adoptada. Na Fig. 10 é mostrado o detalhe de uma antena externa instalada na refinaria.

Após a instalação do protótipo na refinaria procedeu-se à realização de alguns testes de aferição. Primeiro pretendeu-se avaliar o desempenho da GinMAC. Para isso, durante um período de 13 horas, cada nó recolheu dados dos sensores a uma cadência de leitura a cada três segundos, enviando de seguida os dados adquiridos para o nó de recolha. Como termo de comparação fez-se o mesmo recorrendo ao protocolo X-MAC, um protocolo bastante utilizado em redes de sensores sem fios. Apresentam-se em seguida, na Fig. 12, os resultados da percentagem de pacotes de dados correctamente recebidos pelo nó de recolha.

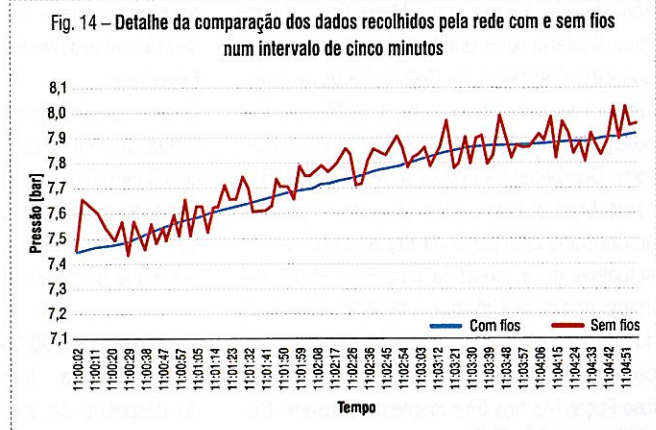
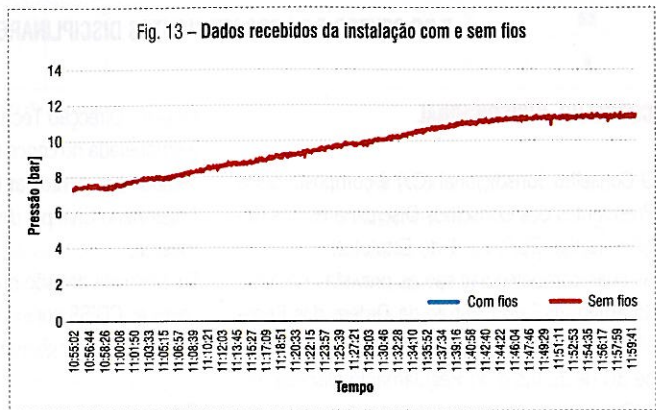


Conforme se pode constatar, através do protocolo GinMAC, quase todos os pacotes chegam ao nó de recolha, sendo o desempenho apresentado pelo protocolo X-MAC bastante fraco. Quanto ao tempo de entrega, este foi também muito abaixo do limite de três segundos definido inicialmente (Fig. 12).



Por último, foi testada a coerência de resultados entre as duas redes existentes no protótipo, a rede de sensores e a rede cablada, previa-

mente existente. Depois de analisados os dados, verificou-se que a diferença entre os dados recolhidos dos sensores era inferior a 1% para todos os nós sensores. Na Fig. 13 mostram-se os valores recebidos de um sensor de pressão, usando ambas as redes, notando-se que são praticamente coincidentes. Ao analisar mais em detalhe (Fig. 14) pode constatar-se que embora as duas curvas tenham uma evolução tendencialmente semelhante, os dados recolhidos pela rede sem fios apresentam um nível de ruído superior.



IV. CONCLUSÃO

As redes de sensores de desempenho controlado apresentam-se como uma alternativa bastante apelativa para aplicações envolvendo monitorização e controlo em ambientes que exijam níveis mínimos de desempenho, associados a requisitos de qualidade de serviço da rede de comunicações. No âmbito do projecto GINSENG pretende dar-se um contributo para a criação desta nova geração de redes, em particular na sua aplicação a ambientes industriais. Tal é conseguido através da conceptualização de uma arquitectura, do necessário *software* e de mecanismos capazes de dar resposta às novas necessidades e que assegurem um nível de qualidade de serviço compatível com as várias aplicações específicas usadas. A nova rede será constituída por sensores e actuadores com desempenho, segurança e mobilidade, estudadas e testadas para um ambiente real de elevados requisitos. Os primeiros dados de teste obtidos em ambiente real a partir de um protótipo construído na refinaria da Petrogal em Sines confirmaram as potencialidades e exequibilidade desta nova abordagem.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projecto GINSENG, n.º FP7/2007-2013, do 7.º Programa da Comunidade Europeia, acordo n.º 224282. ■