

Mestrado em Engenharia Informática
Dissertação/Estágio
Relatório Final

Solução Económica Baseada em RSSFs para Monitorização da Água Potável em Regiões Desfavorecidas

Mussa Banjai
banjai@student.dei.uc.pt

Orientador:
Jorge Sá Silva
Data: 11 de Setembro de 2012



FCTUC DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA INFORMÁTICA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Agradecimentos

A realização desta dissertação não teria sido possível sem a ajuda de muitas pessoas que se empenharam neste projecto e cuja colaboração merece os meus mais sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Professor Jorge Sá Silva, pela oportunidade que me concedeu de realizar a presente tese e pela constante disponibilidade ao longo da sua execução.

Em segundo lugar, deixo um agradecimento especial ao Professor Alberto Lebre Cardoso, que desempenhou um papel fundamental na realização deste projecto, pelo apoio técnico necessário que me concedeu e pela sua constante disponibilidade em fases decisivas do trabalho.

Deixo também uma palavra de agradecimento aos meus pais, pelo carinho e pela confiança que sempre depositaram em mim, aos quais serei sempre grato.

Agradeço à minha noiva Sílvia, pela presença em momentos difíceis e pela ajuda que me prestou durante a elaboração desta dissertação.

Agradeço também ao meu irmão Eng. Barros Banjai (Zinho), pelo incentivo e pelo apoio prestado ao conceder-me uma entrevista sobre a situação hídrica e sanitária da Guiné-Bissau.

Gostaria também de agradecer aos outros irmãos: ao Manniche, por toda a ajuda que me prestou, ao Abulai, à Fendá, à Mariama e à Satú, pela força e incentivo que me deram.

Finalmente, quero agradecer também ao Augusto Soares, pela troca de ideias que tivemos ainda durante as aulas de PCII antes do início deste trabalho, aos colegas do laboratório e aos Professores do grupo LCT-Sense, pelas ideias e pelas opiniões que me transmitiram, fora e durante as reuniões semanais.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJECTO	10
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	12
2	REDE DE SENSORES SEM FIOS	14
2.1	INTRODUÇÃO ÀS RSSFS	14
2.2	APLICAÇÕES DAS REDES DE SENSORES	14
2.3	PILHA PROTOCOLAR EM RSSFS	15
2.4	PADRÕES	16
2.4.1	<i>Armazenamento</i>	18
2.4.2	<i>Diagnóstico e debugging</i>	19
2.5	SERVIÇOS DE REDE	19
2.5.1	<i>Localização</i>	19
2.5.2	<i>Sincronização</i>	20
2.5.3	<i>Cobertura da rede</i>	20
2.5.4	<i>Compressão e agregação</i>	20
2.5.5	<i>Segurança</i>	21
2.6	FUNCIONALIDADE DE RSSFS	23
2.6.1	<i>Estabelecimento</i>	23
2.6.2	<i>Manutenção</i>	23
2.6.3	<i>Sensoriamento</i>	24
2.6.4	<i>Processamento</i>	24
2.6.5	<i>Comunicação</i>	25
2.7	SISTEMAS OPERATIVOS	25
2.7.1	<i>TinyOS</i>	25
2.7.2	<i>Contiki</i>	26
3	OBJECTIVOS DA INVESTIGAÇÃO E MÉTODO DE ABORDAGEM	27
3.1	OBJECTIVOS DO TRABALHO E REQUISITOS	27
3.2	TRABALHOS RELACIONADOS	28
3.3	REQUISITOS DE POTABILIDADE DA ÁGUA	30
3.4	SOLUÇÕES ALTERNATIVAS NO MERCADO	31
3.5	QUAL O PERFIL DOS POTENCIAIS PAÍSES NECESSITADOS?	32
3.6	AValiação DE FORNECEDORES E SOFTWARE	32
3.7	ESTUDO DE PATENTES	34
4	TRABALHO EFECTUADO E RESULTADOS	36
4.1	TECNOLOGIAS USADAS	36
4.2	PRIMEIRO PROTÓTIPO	37
4.3	CASO DE ESTUDO	40
4.4	LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE REQUISITOS DO SISTEMA	44
4.5	ARQUITECTURA FINAL DO SISTEMA	45
4.6	PROTÓTIPO FINAL	46
4.7	ESPECIFICAÇÃO FUNCIONAL	47
4.8	TESTES	52
4.9	INTERFACE GRÁFICA DO SISTEMA	54
5	PLANO DE TRABALHO E IMPLICAÇÕES	58
6	CONCLUSÕES	65

REFERÊNCIAS	66
ANEXO A. – PESQUISA E ESTUDO DAS FERRAMENTAS EXISTENTES NO MERCADO.....	69
ANEXO B. – SELECÇÃO DE SONDAS PARA CONCEPÇÃO DO PROTÓTIPO	79
ANEXO C. – TROCA DE E-MAIL COM A ZOLERTIA.....	82
ANEXO D. – TROCA DE E-MAIL COM A MAXFOR.....	83
ANEXO E. - TROCA DE E-MAIL COM A ALUNA DE DOUTORAMENTO.....	85
ANEXO F. – VAORES DOS PARÂMETROS FORNECIDOS PELA ALUNA DE DOUTORAMENTO ..	87
ANEXO G. – PH ELECTRODE DATASHEET	88

Resumo

Os recentes avanços das tecnologias de sistemas electrónicos têm proporcionado o desenvolvimento de componentes de baixo custo e de baixo consumo energético, podendo apresentar tamanhos relativamente reduzidos. Através disso, as redes de sensores sem fios tornaram-se mais presentes em diversas aplicações que envolvem comunicação entre nós sensores. O tratamento e a interpretação dos parâmetros de nós sensores são feitos por programas de computador escritos em linguagens de alto nível. A alternativa passa a ser mais eficiente quando colectam dados em tempo real, favorecendo tomadas de decisões que se reflectem em acções imediatas e com um grau de precisão satisfatório. Nos países subdesenvolvidos as análises tradicionais para determinar a qualidade da água potável não se encontra ao alcance de todos devido aos custos relativamente elevados que acarretam. A tecnologia de RSSFs é um complemento importante que pode ajudar a minimizar esses custos e, pode ainda, ajudar a evitar várias doenças de veiculação hídrica. Neste contexto, existem vários países no mundo considerados subdesenvolvidos que enfrentam várias dificuldades, principalmente económicas, essas dificuldades acabam por repercutir negativamente em vários domínios do desenvolvimento desses países por exemplo, no domínio da saúde e saneamento básico, agricultura, etc. Para superar algumas destas questões, este projecto propõe uma solução tecnológica baseada em RSSFs e de baixo custo, que permite monitorizar parâmetros químicos da água por exemplo *pH*. Os dados recolhidos são pré-processados no dispositivo sensor e, em seguida transmitidos sem fios para uma *Gateway* ligada ao servidor do sistema que exhibe esses dados indicando se os valores encontram-se dentro ou fora dos limites estabelecidos. Finalmente, os profissionais habilitados na área podem aceder a uma aplicação *Web* para a visualização e análise de informação referente a alguns parâmetros da água. Caso haja valores fora do limite estabelecido, é accionado um sinal de alerta que poderá obrigar à realização de novas análises laboratoriais.

Palavras-Chave

Água potável, monitorização, redes de sensores sem fios, parâmetros, *sink*

Lista de Figuras

- Figura 1-** Ciclo de vida RSSFs
- Figura 2-** Equipamentos utilizados no primeiro protótipo
- Figura 3-** Arquitectura do primeiro protótipo
- Figura 4-** Ambiente de execução do Sistema Operativo TyniOS
- Figura 5-** Aplicação Web (HTML, PHP, SQL e CSS) para exibir dados capturados
- Figura 6-** Administrador da base de dados com dados capturados
- Figura 7-** Mapa da Guiné-Bissau
- Figura 8-** Fontanário público rural
- Figura 9-** Arquitectura final do sistema
- Figura 10-** Protótipo final
- Figura 11-** TelosB e a sua aquitectura
- Figura 12-** Esquema electrónico da plataforma
- Figura 13-** Conectores de expansão de TelosB
- Figura 14-** Sonda para medir *pH*
- Figura 15-** Módulo de autenticação
- Figura 16-** Módulo de visualização dinâmica de últimos 9 parâmetros
- Figura 17-** Módulo estatístico, máximos, médios e mínimos
- Figura 18-** Módulo do gráfico dinâmico
- Figura 19-** Planificação inicial (Outubro 2011-Janeiro 2012)
- Figura 20-** Planificação final (Janeiro 2012-Agosto 2012)
- Figura 21-** Estrutura do funcionamento do sistema

Lista de Tabelas

Tabela 1- quadro de requisitos

Tabela 2 –comparação entre TelosB e MicaZ

Tabela 3 –componentes a soldar

Tabela 4- custo final do protótipo

Tabela 5 –teste 1 ao protótipo

Tabela 6 –teste 2 ao protótipo

Lista de Abreviaturas

BNC - *Bayonet Neil Concelman*

CCP - *Coverage Configuration Protocol*

CSMA/CA - *Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance*

CSS - *Cascading Style Sheets*

FIFO - *First In First Out*

GPS - *Global Positioning System*

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

ISA - *International Society of Automation*

ISO - *International Organization for Standardization*

MAC - *Media Access Control*

NTP - *Network Time Protocol*

pH - *Potencial Hidrogeniônico*

PHP - *Hypertext Preprocessor*, originalmente Personal Home Page

RAM - *Random Access Memory*

ROM - *Read-only memory*

RSSFs - *Rede de Senores sem Fios*

SMP - *Sensor Management Protocol*

SGBD - *Sistema de Gestão de Base de Dados*

SQL - *Structured Query Language*

TADAP - *Task Assignment and Data Advertisement Protocol*

TCP - *Transmission Control Protocol*

TI - *Texas Instruments*

UDP - *User Datagram Protocol*

WPAN - *Wireless Personal Area Network*

1 Introdução

Nos últimos anos, as redes de sensores sem fios (RSSFs) têm adquirido uma grande notoriedade, principalmente com os avanços nas tecnologias de micro-electrónica, que visam facilitar o desenvolvimento de soluções inteligentes usando redes de sensores sem fios. As vantagens procedentes do uso destas tecnologias são, principalmente, de torná-las acessíveis e adoptá-las como solução para muitos problemas dos nossos dias, em detrimento de dispositivos tradicionais de categoria semelhante, devido também ao tamanho reduzido dos seus equipamentos. Contudo, as redes de sensores sem fios têm capacidade limitada de processamento e, em geral, os seus recursos também são limitados. Nesta perspectiva, a tendência das pesquisas actuais, no que diz respeito às redes de sensores, aponta para a resolução destes problemas e para o desenvolvimento de soluções de baixo custo, aplicáveis aos mais diversificados contextos.

Os nós sensores, cuja principal característica de funcionamento é a comunicação sem fios, recebem, medem e fazem a aquisição de dados do ambiente que os rodeia e, posteriormente, transmitem os dados recolhidos para um nó central designado estação base (*Base Station*). As dificuldades maiores com as quais nos deparamos com este tipo de tecnologias são o facto de os nós sensores terem memória limitada e também o facto de serem colocados em locais de difícil acesso e, em muitos casos, em condições ambientais adversas. Outra questão relevante, que requer maior destaque, é a fonte de energia que alimenta os nós. Normalmente, a bateria é a principal fonte de energia nesses nós, todavia, o tempo de vida desta é limitado, sendo que uma fonte de alimentação secundária, como por exemplo painéis solares, poderá representar uma alternativa. Os painéis solares poderão ser ligados a nós, dependendo do lugar onde serão colocados e do tipo de sensores utilizados ou poderão ser também incorporados nos nós sensores actuadores, com a finalidade de realizar determinadas funções.

RSSFs é o termo utilizado para classificar dispositivos com capacidade de processamento e comunicação, que, se auto-organizam e em alguns casos, em redes do tipo *ad-hoc*. Apesar dos nós sensores serem estáticos, a topologia de rede das RSSFs é dinâmica. Uma RSSFs normalmente não assenta em nenhuma infra-estrutura, pois consiste num determinado número de nós sensores que trabalham conjuntamente para monitorizar e recolher dados sobre o ambiente de uma determinada localidade.

Os nós não são apenas dispositivos de *hardware*, mas integram também um software, caso concreto do sistema operativo, protocolos de comunicação e aplicações específicas para a realização de determinadas tarefas, por exemplo, a monitorização da temperatura ou de outros parâmetros da água.

Existem dois tipos de RSSFs: estruturadas e não estruturadas. As não estruturadas são colocadas de uma forma aglomerada onde os nós sensores poderão comunicar entre eles, ou seja, transmitir e receber dados reciprocamente. Neste caso, a gestão da conectividade e a detecção de falhas poderão constituir uma tarefa mais complexa, tendo em conta a quantidade de nós sensores interligados.

Perante todo este cenário e o alto custo das tecnologias tradicionais utilizadas para analisar águas, seja para o consumo seja para outros fins, justifica-se cada vez mais o aparecimento de soluções de monitorização, no que diz respeito à qualidade da água, através de redes de sensores sem fios, que se revelem eficazes e pouco dispendiosas. Este tipo de tecnologias permite monitorizar um dado ambiente de forma simples e sem custos elevados, possibilitando o auxílio aos países subdesenvolvidos e às suas populações, para ultrapassarem barreiras provocadas por elevado custo de equipamentos tradicionais e de mão-de-obra.

A incorporação de equipamentos electrónicos com capacidade sensorial vai permitir cada vez mais a monitorização permanente em vários domínios. A acessibilidade e a redução dos custos serão alguns dos benefícios mais importantes desta tecnologia, pois a sua implementação dará auxílio aos cuidados de saúde, uma vez que poderá ajudar prevenir várias situações sanitárias, nomeadamente a contaminação das águas com substâncias químicas ou bactérias de veiculação hídrica.

1.1 Contextualização do projecto

Nenhuma forma de vida, animal ou vegetal é possível sem água, razão pela qual esta é considerada um recurso de primeira necessidade. Sendo verdade que as primeiras comunidades humanas da história se organizavam para viver nas proximidades dos cursos de água, também não existem dúvidas que a água continua a constituir um dos factores mais importantes para o progresso das sociedades contemporâneas. Nenhuma comunidade pode viver ou evoluir sem um abastecimento adequado de água, que permita aos seus habitantes um estilo de vida saudável e confortável, e que contribua para o desenvolvimento da sua economia.

Para garantir o referido desenvolvimento, temos que ter em conta não apenas a existência da água, mas também a sua salubridade. De facto, além de ser essencial o seu abastecimento em quantidade suficiente, é requisito essencial que a água seja saudável e pura, uma vez que também é o veículo mais comum e relevante na transmissão de doenças. Assim, a salubridade da água deve ser considerada uma das principais

preocupações de cidadãos e técnicos de saúde, tendo em vista a salvaguarda da saúde pública.

Sistema de abastecimento da água

Uma forma adequada de abastecimento de água às comunidades, principalmente nas zonas urbanas e suburbanas, deve preencher todos os requisitos de potabilidade da água.

De forma geral, um sistema público de abastecimento é constituído pelos seguintes elementos:

- Equipamento de captação, situado em poços, rios, lagos, albufeiras, represas, barragens, etc., para recolha de água bruta;
- Conduitas para transporte da água bruta, dos locais de captação às estações de tratamento;
- Estação de tratamento, cujas dimensões e complexidade depende da dimensão da população a servir e das características da água a tratar;
- Equipamento para bombagem da água entre a estação de tratamento e reservatório;
- Reservatórios em locais estratégicos, para que a água chegue ao consumidor com a pressão desejável. Os reservatórios também permitem acumular água com o objectivo de dar resposta a situações de emergência ou atenuar eventuais défices de débito nos períodos de grande consumo;
- Rede de distribuição, constituída por vários tipos de conduitas e canalizações que terminam nos locais de consumo.

Controlo da Qualidade da Água

As características normais da água não são suficientes para garantir a sua potabilidade, portanto, a água deve ser submetida a análises laboratoriais periódicas, com a finalidade de determinar as suas características no estado bruto, para decidir a necessidade e controlar a eficácia dos métodos de tratamento.

As análises a efectuar a água de consumo são:

- **Físicas**, para determinar a temperatura, o gosto, o odor, a cor e a turvação;
- **Químicas**, para estimar a quantidade de substâncias químicas presentes, que podem ser perigosas para a saúde ou servir de indicadores de poluição;

- **Bacteriológicas**, para determinar o número total de bactérias, incluindo as bactérias de origem intestinal e microscópicas, para determinar as fontes prováveis de gostos e odores, bem como os efeitos dos microrganismos no processo de purificação.

Neste contexto, actualmente, existem várias soluções tecnológicas capazes de garantir de uma forma eficaz a qualidade da água potável para as comunidades. Apesar de existirem várias tecnologias, infelizmente, não se encontram ao alcance de todos. De facto, existem milhares de pessoas no mundo desprovidas desse bem precioso, a água. A maior parte encontra-se em países subdesenvolvidos, os quais, por serem desfavorecidos e com um nível de vida abaixo do limiar da pobreza, não possuem recursos suficientes para adquirirem e manterem tecnologias que lhes garantam a potabilidade sustentável da água. Tendo em conta o custo elevado dessas tecnologias e sabendo que as tecnologias de informação estão a evoluir de uma forma exponencial, podem existir alternativas baseadas em novas tecnologias, acessíveis e com capacidade de suprir as principais necessidades para medir a potabilidade da água. Neste caso, a ideia de utilizar um sistema baseado em rede de sensores sem fios constitui uma boa alternativa, devido às suas características típicas: o baixo custo, a flexibilidade e a robustez. Pelo facto de as RSSFs terem essas características e por ser uma tecnologia ainda em evolução, elas apenas ajudam a suprir algumas necessidades no domínio da medição e na monitorização da qualidade da água. Actualmente, existem parâmetros ou grupo de parâmetros da qualidade da água que as RSSFs são incapazes de determinar, nomeadamente a existência de bactérias na água (análise bacteriológica) e alguns parâmetros físicos e químicos.

1.2 Estrutura da Dissertação

Este subcapítulo apresenta a organização da dissertação:

No **Capítulo 1** é apresentada uma perspectiva geral do projecto, focado nos principais assuntos em relação às RSSFs. É composto por 3 subcapítulos, a descrever:

No **subcapítulo 1.1** é descrita a contextualização do projecto, destacando a sua importância no nosso quotidiano. Por fim, menciona os elevados custos dos equipamentos convencionais para garantir a potabilidade da água e apresenta ainda alternativas de baixo custo nesse domínio.

No **subcapítulo 1.2** são descritos os principais objectivos do projecto.

No **subcapítulo 1.3** apresenta a estrutura desta dissertação.

No **Capítulo 2** é apresentado o estado da arte, considerado como o alicerce deste trabalho.

No **Capítulo 3** são apresentados os objectivos da investigação e os métodos de abordagem. Neste capítulo começa-se a abordar os principais objectivos do projecto e os seus requisitos.

No **Capítulo 4** são apresentados os trabalhos efectuados e os resultados alcançados, com a descrição das tecnologias usadas, a descrição dos componentes do primeiro protótipo e do protótipo final e as suas arquitecturas, a especificação funcional e técnica, a implementação e, por fim, os testes. Ainda é descrita, de uma forma detalhada, a análise dos requisitos do projecto e é apresentado o caso de estudo real, com levantamento das necessidades, particularmente tecnológicas, baseadas em RSSFs, da Guiné-Bissau, o país onde futuramente se pensa testar o sistema a desenvolver.

No **Capítulo 5** são descritos o plano de trabalho e, ainda, são descritas de uma forma detalhada as implicações do projecto, através da ilustração de mapas de *Gantt* com o respectivo cronograma. São descritos ainda o trabalho futuro.

No **Capítulo 6** são apresentadas as conclusões do trabalho.

Finalmente são apresentados as referências bibliográficas e os anexos.

2 Rede de Sensores Sem Fios

Neste capítulo procura-se fazer o enquadramento teórico sobre as redes de sensores sem fios e sobre algumas soluções semelhantes utilizadas na monitorização da qualidade da água.

2.1 Introdução às RSSFs

As redes de sensores sem fios (RSSFs) são formadas por um determinado número de nós sensores, colocados de uma forma aleatória ou não, capazes de detectar e transmitir características físicas do ambiente. Podem ser vistas como um tipo especial de rede *ad-hoc*.

Este tipo de redes difere das redes de computadores tradicionais em vários aspectos. São normalmente constituídas por um grande número de nós distribuídos, que cooperam entre si, trocando informações. As RSSFs têm grandes restrições relativamente a energia e devem possuir mecanismos de auto-configuração para que se adaptem ao ambiente onde actuam.

2.2 Aplicações das redes de sensores

Os ambientes a serem monitorizados pelas RSSFs possuem características físicas particulares, sendo determinante para o tipo de aplicação a desenvolver. A configuração de um nó sensor também está fortemente ligada ao ambiente ou objecto que se pretende monitorizar, e à função que este nó desempenhará.

Independente da aplicação a ser desenvolvida, para que toda a RSSFs entre em actividade, precisa de dispor os nós e estabelecer a rede. Inicialmente os nós são colocados ou lançados de uma forma aleatória na área a ser monitorizada, formando assim nós sensores que irão constituir a rede. A partir desse momento, é possível fazer os nós sensores entrarem em actividade.

Há diversos domínios onde as RSSFs podem ser aplicadas, tais como:

- No sector industrial, no controlo da temperatura e pressão, nas fábricas de automóveis, celulose, siderurgia, etc.
- No sector da segurança pública, nomeadamente na monitorização do tráfego de veículos, na localização de veículos roubados, na monitorização de reclusos em penitenciárias, etc.

- Em medicina, na monitorização de sinais vitais de pacientes, como por exemplo: a temperatura corporal, a pressão arterial, a glicemia, no acompanhamento da evolução dos doentes, etc.
- No sector ambiental, a monitorização de espécies de animais, na detecção de fogos florestais, Os nós sensores podem ser colocados nos lugares estratégicos de modo a detectarem fogos e emitir alertas antes que atinjam proporções maiores, nos rios e oceanos, a monitorizar as eventuais catástrofes com óleos ou outros tipos de produtos químicos, monitorização da qualidade da água potável, etc.
- No sector militar, na monitorização de áreas inimigas, na detecção de gases tóxicos, nas áreas radioactivas, em explosões, entre outros.
- Na agricultura, no controlo da humidade do solo, no controlo de irrigação e de adubos químicos.
- Monitorização de actividades sísmicas.

2.3 Pilha protocolar em RSSFs

A pilha protocolar deste tipo de redes é semelhante à pilha protocolar das redes tradicionais, excluindo duas camadas: a camada de apresentação e camada de sessão. Esta alteração deve-se à natureza deste tipo de redes e à forma como funcionam. No fundo, a pilha protocolar das redes tradicionais sofreu alterações para que se adaptasse às características das RSSFs.

Camada de aplicação

Existem várias aplicações ou protocolos desenvolvidos para a camada de aplicação, normalmente associadas às capacidades sensoriais das plataformas, as quais, naturalmente, estão relacionadas com a finalidade para a qual se instala/desenha a RSSFs. Exemplo de alguns dos protocolos para a camada de aplicação: *Sensor Management Protocol (SMP)* e *Task Assignment and Data Advertisement Protocol (TADAP)*.

Camada de transporte

Esta camada ajuda a manter o fluxo de dados, de acordo com uma requisição originada a partir de uma aplicação. Além disso, esta camada é

usada também para a intercomunicação das diferentes redes de sensores sem fio, assim como de redes clássicas como Internet. A comunicação da rede com a estação base pode ser feita utilizando TCP/UDP, ao passo que, devido a limitação de memória, a comunicação entre a estação base e os nós sensores é estabelecida através de protocolos mais simples como o UDP.

Camada de rede

Responsável pelo encaminhamento dos dados através da camada da rede. Quando uma rede de sensores envolve protocolo com múltiplos saltos, a eficiência energética é sempre tida em consideração.

Camada de dados

Esta camada prepara os dados a serem transmitidos e é responsável por realizar a multiplexagem do fluxo de dados, a detecção de erro e o controlo de erros de transmissão. Garante ainda a comunicação extremo-a-extremo de forma segura. A camada de dados possui o protocolo MAC (*Media Access Control*) com o qual é possível minimizar colisões de dados ao transmitir dados aos nós vizinhos. O principal objectivo desse esforço é poupar o consumo energético devido a transmissão de pacotes perdidos.

Camada física

A camada física está directamente relacionada com as características intrínsecas dos dispositivos de *hardware* de um nó sensor. Ela é responsável pela selecção da frequência, pela geração da frequência portadora, pela detecção do sinal e pela encriptação dos dados.

2.4 Padrões

Os padrões de RSSFs têm vindo a ser desenvolvidos tendo como principal exigência o baixo consumo de energia. Alguns desses padrões incluem IEEE 802.15.4, ZigBee, WirelessHART, ISA100.11, etc.

IEEE 802.15.4

É o mais usado para aplicações de rede de sensores sem fios, por ser de baixa complexidade e de baixo consumo de energia, por isso, foi designado *Low-Rate Wireless Personal Area Network* (WPAN). Foi

projectado para comunicações de curto alcance, para maximizar a longevidade da bateria e da vida do nó sensor.

ZigBee

O ZigBee é um conjunto de protocolos de comunicação, concebido para rádios digitais de tamanho reduzido e baixa potência (ZigBee 2012). Foi concebida para ser mais simples do que as outras WPAN's já existentes, tais como o *Bluetooth*. Um dispositivo ZigBee complexo requer apenas 10% do *software* necessário para implementar o mesmo dispositivo, mas usando a tecnologia *Bluetooth*, enquanto os mais simples necessitam de apenas 2% de "software design" (ZigBee 2012).

O ZigBee apresenta inúmeras vantagens, nomeadamente, permite a implementação de redes sem fios fiáveis, com baixa complexidade e a baixos custos e pode ficar activo durante muitos anos com um custo de bateria muito reduzido para as aplicações de monitorização. Existem ainda boas razões para a escolha deste protocolo como tecnologia de comunicação, pois é fiável, auto-suficiente e capaz de suportar uma variedade de dispositivos. O ZigBee é indicado para aplicações que requerem pouca largura de banda de transmissão e baixo consumo energético. Actualmente, é desenvolvido para dispositivos de controlo industrial, dispositivos para alarmes de fumo, substâncias perigosas, detecção de movimentos e automação de edifícios, sistemas centralizados por exemplo, *media center*, etc.

O ZigBee usa a norma IEEE 80.15.4 *Low-Rate Wireless Personal Area Network* (WPAN) e utiliza o protocolo de acesso designado *Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance* (CSMA/CA), o qual usa um método com um grau maior de ordenação e possui também parâmetros restritivos para reduzir a ocorrência de colisões de pacotes, ou seja, antes de transmissão de um pacote, a estação avisa sobre a transmissão e o tempo no qual a mesma irá realizar a tarefa. Desta forma, as estações não tentarão transmitir, porque entendem que o canal está ocupado ou a ser usado por outra máquina.

Existem três tipos de dispositivos ZigBee: *ZigBee Coordinator* (ZC), *ZigBee Router* (ZR) e *ZigBee End Device* (ZED).

ZigBee Coordinator (ZC)

É considerado o dispositivo raiz da rede, sendo capaz de servir de ponte para outras redes e de armazenar informação sobre a rede onde opera. Apenas pode existir um dispositivo coordenador em cada rede.

ZigBee Router (ZR)

É considerado intermediário na comunicação entre dispositivos.

ZigBee End Device (ZED)

Não tem capacidade para encaminhar informação vinda de outros dispositivos. Este facto permite-lhe estar inactivo durante longos períodos de tempo, o que lhe dá uma vida útil longa em termos energéticos. Tem capacidade para comunicar com o ZigBee coordenador.

ISA100.11

É um padrão para comunicação sem fio para a indústria de automação de processos. Foi proposto e aprovado em Abril de 2009 pela comissão de Padrões ISA100 da Sociedade Internacional de Automação (ISA). É baseado no protocolo IPv6, podendo suportar redes de grandes dimensões. É fiável e seguro.

WirelessHART

Esta tecnologia é baseada em protocolos de comunicação de rede *mesh* sem fios utilizados em aplicações de automação de processos.

O protocolo *WirelessHart* utiliza medidas robustas de segurança para assegurar a constante protecção de dados numa rede. Por exemplo:

- **Criptografia:** utiliza a criptografia é de 128 bits impedindo a interceptação de dados sensíveis.
- **Verificação:** verifica a existência de códigos de integridade de mensagem para verificar cada pacote.
- **Robustez:** para superar as interferências realiza saltos entre canais definidos pelo padrão IEEE 802.15.4.
- **Gestão de chaves:** alternância de chaves impede os dispositivos não autorizados de aderirem ou de se comunicarem com a rede.
- **Autenticação:** a integridade de dados não permite a autenticação dos outros dispositivos.

2.4.1 Armazenamento

Abordagens convencionais em RSSFs requerem que os dados sejam transferidos a partir de nós sensores para uma estação base, porque a capacidade de armazenamento desses nós sensores é limitada. Por

exemplo, em tempo real, é muito importante o uso da técnica de agregar e comprimir dados, a qual reduz significativamente a quantidade de dados a serem enviados, reduzindo também o custo de energia nessa comunicação. Por isso, é necessário que cada nó sensor armazene informações do estado do seu vizinho.

2.4.2 Diagnóstico e debugging

Para garantir o sucesso de uma RSSF num ambiente real, é crucial ter um sistema de diagnóstico e de *debugging* capaz de monitorizar o desempenho de nós sensores na rede. Essas práticas ajudam a proteger e a prolongar a vida de cada nó sensor, o qual, por sua vez, ajuda a aumentar a vida útil de toda a RSSFs. Por exemplo, a *Sympathy*, é uma ferramenta de diagnóstico e de *debugging* em RSSF capaz de detectar e localizar falhas de uma forma simples. Por outro lado, ela é capaz de analisar o desempenho na entrega de pacotes e controlar o acesso à camada física. Por exemplo, quando é executada uma determinada aplicação numa rede, ela gera tráfego e inicia-se a troca de pacotes em cada instante que passa. A *Sympathy* é capaz de detectar falhas quando um determinado nó sensor da rede não receber pacotes, passado o dobro ou mais de instantes, em relação ao instante de transmissão (Sympathy 2005).

2.5 Serviços de rede

Sensores de aprovisionamento, de gestão e serviços de controlo são desenvolvidos para coordenar e gerir. Este tipo de sensores melhora significativamente o desempenho geral da rede em termos energéticos, nomeadamente na distribuição de tarefas e no uso de recursos da rede. O aprovisionamento gere de uma forma adequada os recursos da rede, tais como a energia, e maximiza a largura de banda.

2.5.1 Localização

Normalmente os nós sensores são colocados num determinado ambiente de uma forma aleatória e podem comunicar entre eles sem noção dos seus posicionamentos ou das suas localizações. Para a localização da posição de um determinado nó, é preciso recorrer ao sistema conhecido como GPS (Sistema de Posicionamento Global), e a outros tipos de sistemas, baseados na localização de proximidade. O GPS apresenta

algumas fragilidades, sobretudo devido às más condições ambientais. Por exemplo, é incapaz de funcionar em ambientes com obstáculos.

2.5.2 Sincronização

A sincronização do tempo é crucial em muitas aplicações de sistemas distribuídos. As RSSFs fazem o uso extensivo da sincronização do tempo. Para que a operação da sincronização seja possível, é necessário que os nós sensores coordenem operações entre eles de uma forma colaborativa, para alcançarem um objectivo comum. Por exemplo, a sincronização pode ser utilizada para conservar a energia nos nós sensores com a finalidade de aumentar a vida útil da rede, nomeadamente fazer com que os nós sensores adormeçam quando não fazem nada e/ou acordem quando necessário. É nesta alternância de coordenação do tempo que se verifica a sincronização. No caso da sincronização entre RSSFs e redes *NTP* (*Network Time Protocol*) ou do uso de *GPS* (*Global Positioning System*) em RSSFs, esta operação, para além da complexidade que pode acarretar, pode ainda influenciar factores como os custos e a capacidade armazenamento. Portanto, o uso da sincronização destas duas tecnologias em RSSFs não é adequado.

2.5.3 Cobertura da rede

A cobertura em RSSFs é de grande importância na medida em que a área de cobertura de uma determinada área esteja relacionada com a região da cobertura de nós sensores que compõem essa rede. A cobertura em RSSFs é determinada pelo raio de alcance entre nós sensores, e está ligada a dois factores importantes como o posicionamento de nós sensores e determinação da área de cobertura. O posicionamento de nós sensores podem influenciar a cobertura de uma dada rede, existem dois modelos de posicionamento: modelo determinístico e não determinístico. O modelo determinístico consiste em distribuição de nós sensores numa dada área de uma forma predefinida. Ao passo que o posicionamento não determinístico a distribuição é feita de uma forma aleatória.

2.5.4 Compressão e agregação

Tanto a compressão como a agregação de dados reduzem custos na comunicação e aumentam a fiabilidade na transferência de dados. Esses métodos são usados nas RSSFs com uma grande quantidade de dados a

serem enviados ao longo da rede. Um método pode ser melhor que outro dependendo da importância dos dados.

No método de compressão usa-se a técnica de comprimir o tamanho dos dados antes de serem enviados. Ao enviar dados, a descompressão ocorre sempre na estação base. No método de agregação, os dados são congregados e posteriormente enviados para a estação base. Este método é usado em abordagens baseadas em *cluster*.

2.5.5 Segurança

Devido à natureza das RSSFs, o problema da segurança deve merecer um destaque neste tipo de redes, pois apresentam vulnerabilidades e riscos de ameaças por se encontrarem muitas vezes expostas ao ambiente. As RSSFs são sujeitas aos ataques, pois a forma como transmitem dados permite que todos os receptores os captem, desde que estejam dentro do raio do sinal de transmissão, por isso, em muitos casos, é de elevada importância garantir a protecção da comunicação de uma rede e dos seus dados.

Para a implementação do sistema de segurança em RSSFs, são necessários alguns requisitos capazes de minimizar ou contornar alguns ataques os quais serão descritos mais adiante.

Requisitos de segurança:

Confidencialidade dos dados, significa impedir que a rede vizinha tenha acesso aos dados transmitidos de uma rede, mesmo que os intercepte. Uma das formas de garantir isso é através da criptografia dos dados, criar chaves para aceder esses dados.

Autenticação dos dados garante que os dados transmitidos sejam da origem correcta ou confiável.

Integridade de dados assegura ao receptor que os dados recebidos não sofreram alterações durante a transmissão.

Disponibilidade permite que os dados fiquem acessíveis no instante em que alguma entidade fora da rede pretenda realizar alguma operação.

Controlo de acesso permite que os dados sejam garantidos apenas para entidades autorizadas.

Tipos de ataques

Um dos problemas de ataque mais comuns em RSSFs é a remoção de nós sensores. Este tipo de ataque é facilitado pelo facto de nós sensores estarem expostos em lugares pouco protegidos. Quando um nó sensor é alvo deste tipo de ataque, está sujeito a que a sua chave criptográfica seja descoberta. Neste caso, corre risco de ser reprogramado e reinserido na rede. Esta prática pode seriamente comprometer o funcionamento da rede. Para contornar isso, normalmente, usam-se protocolos que enviem as mesmas mensagens por mais de um caminho de modo a evitar de depender de um nó sensor. Outra alternativa consiste em programar os nós sensores para que, logo que sejam removidos da rede, apaguem o conteúdo da sua memória e os dados criptografados neles contidos.

Existem outros tipos de ataques, que podem ocorrer em várias camadas da rede, capazes de provocar gastos energéticos.

Na camada física, para além da remoção indevida de um nó sensor da rede, pode ocorrer obstrução da rede. Neste tipo de ataques são emitidos sinais na mesma frequência usada pelos nós sensores da rede, causando interferências. Isso é facilmente conseguido posicionando dispositivos próximos da rede e fazendo com que enviem sinais de rádio na mesma banda de frequência. Quanto maior for o número de atacantes e quanto mais próximos estiverem do nó *sink*, maior será o dano provocado à rede.

Na camada de ligação, causar colisões em alguns *bits* da mensagem transmitida, é uma das técnicas usadas pelos atacantes. Este tipo de ataque pode originar perda de pacotes sem que haja esforço significativo por parte do atacante. Provocar exaustão à rede é também uma das formas de ataque com o objectivo de criar danos aos serviços da rede. Este tipo de ataque consiste em solicitar persistentemente o acesso ao meio, enviando pacotes ao mesmo destino e exigindo resposta.

Na camada de rede, os atacantes podem impedir que um nó sensor retransmita as mensagens recebidas ou podem fazer com que essas mensagens sejam enviadas para destinos incorrectos. Estes tipos de ataques podem destruir pacotes e podem provocar congestionamento na rede.

Na camada de transporte um dos ataques destacados tem a ver com o uso de armadilhas. Por exemplo, são aplicados nos pacotes números de sequências erradas a pacotes, causando inúmeras retransmissões até que a conexão seja encerrada por uma das partes.

2.6 Funcionalidade de RSSFs

As principais fases do funcionamento de uma RSSF podem ser separadas em cinco grupos, tal como é ilustrado na figura 1: estabelecimento da rede, manutenção, sensoriamento, processamento e comunicação. Estas cinco fases são simultâneas e podem estar activas em diferentes momentos do tempo de vida das redes de sensores.

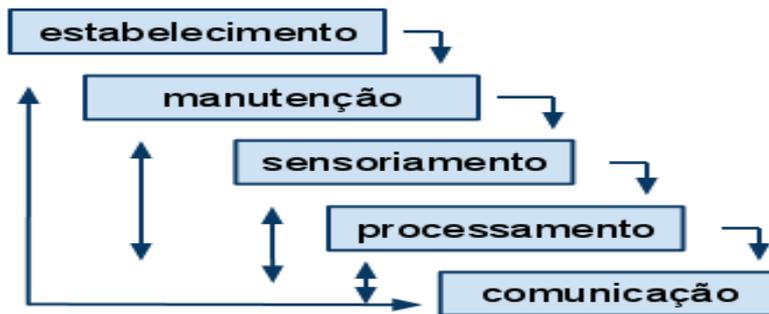


Figura 1 - Ciclo de vida de RSSFs

2.6.1 Estabelecimento

Nesta etapa os nós sensores são geralmente lançados numa área ou colocados ainda em locais específicos a monitorizar, caindo de forma aleatória e formando uma rede.

Como as RSSFs são auto-organizadas (*self-organizing*) e formadas por nós sensores, os quais podem espontaneamente criar uma rede não premeditada, quando ocorrem falhas ou danos no dispositivo, podem agrupar-se e adaptar-se dinamicamente, gerindo o movimento dos nós e reagindo às trocas de tarefas e aos requisitos da rede. Os nós podem também organizar-se para explorar a redundância resultante da alta densidade, assim como prolongar o tempo de vida do sistema.

A localização é outro aspecto importante das RSSFs. O sistema de localização é um exemplo de uma RSSFs, que envolve um conjunto de nós da rede capazes de colaborar para alcançar uma tarefa de alto nível.

2.6.2 Manutenção

O objectivo da manutenção é prolongar o tempo de vida da rede, reduzir a imprevisibilidade e atender aos requisitos da aplicação. Ao longo do tempo, alguns nós podem atingir níveis de energia capazes de restringir,

de uma forma parcial ou total, a sua capacidade. O lançamento de novos nós é outra forma de prolongar a vida útil da rede, procedendo, neste caso, à substituição dos possíveis nós desactivados, devido à falta de energia, avaria ou a ocorrência inesperada de inoperância.

Nesta etapa, a manutenção da rede pode ser reactiva, preventiva, correctiva ou adaptativa a eventos que possam ocorrer. A manutenção é funcional durante o ciclo de vida da rede, essas funcionalidades são utilizadas nas fases de estabelecimento, sensoriamento, processamento e comunicação. Essas fases não são necessariamente sequenciais porque, quando ocorrem falhas, faz com que a topologia da rede seja dinâmica mesmo com nós estáticos. Os mecanismos de manutenção são formas de prolongar o tempo de vida da rede, mas, por outro lado, requerem uma nova distribuição de nós sensores e a reorganização da rede.

2.6.3 Sensoriamento

As actividades sensoriais estão relacionadas com a percepção do ambiente e a recolha de dados. De acordo com o tipo da aplicação e os tipos de nós sensores envolvidos, nesta fase, também determina-se a distância dos nós sensores ao alvo, ruídos do ambiente, tipo de dados recolhidos, volume de informação envolvida e frequência de amostragem.

Para além disso, é importante a determinação de áreas de sobreposição dos nós sensores. A descoberta destas áreas pode resultar na alteração do estado de um nó sensor. Por exemplo, se as áreas de percepção de dois sensores se intersectam, pode resultar num cruzamento de informações antes do início da transmissão ou na alteração do estado de um destes sensores de forma que apenas um permaneça activo ou transmita os seus dados pela rede.

Quando um nó sensor falha, devido a falta de energia ou a uma avaria, é importante saber se os nós sensores activos são suficientes para executar as tarefas para as quais são destinadas. Activar ou disponibilizar mecanismos de tolerância à falha seria uma forma de evitar a falha total da rede.

2.6.4 Processamento

O processamento na rede de sensores pode ser dividido em duas categorias:

- Processamento de suporte: diz respeito a todo o processamento funcional dos sensores, ou seja, ao processamento que envolve a gestão, a comunicação e a manutenção da rede. Por exemplo, as actividades envolvendo com os protocolos.
- Processamento da informação: os dados recolhidos pelo nó sensor podem ser processados em função dos parâmetros a recolher. Os dados poderão estar sujeitos à compressão, correlação, criptografia, etc.

2.6.5 Comunicação

Sendo as RSSFs redes *ad-hoc*, os nós podem realizar a comunicação directamente entre si. Os nós de uma rede *ad-hoc* podem também mover-se de uma forma arbitrária, fazendo com que a topologia da rede mude frequentemente. Mesmo para estáticas a topologia dessas redes também é variável, devido ao recurso limitado de energia.

2.7 Sistemas Operativos

2.7.1 TinyOS

É um dos sistemas operativos mais utilizados e suportados por vários dispositivos.

O TinyOS teve a sua primeira versão em 2001. A partir desta data, foi sofrendo melhoramentos durante cinco anos. Foi totalmente reescrito e, em 2006, surgiu a versão 2.0.

A versão 2.0 de TinyOS simplifica e aumenta o suporte a várias plataformas. Além do mais, apresenta um nível de abstracção maior, assim como melhorias substanciais a nível de robustez e fiabilidade.

O TinyOS pode ser definido como uma *framework* de programação para rede de sensores sem fios contendo um conjunto de componentes que permite construir um sistema específico para cada aplicação (TinyOS 2012).

O TinyOS apresenta uma política de FIFO (*First In First Out*) não preferencial, ou seja, todas as tarefas têm o seu próprio *slot* reservado na fila de tarefas. Se um componente necessitar de inserir uma tarefa múltiplas vezes, terá de criar uma variável de estado interna, para quando a tarefa executar se inserir a si própria, desta forma este tipo de abordagem simplifica o código dos componentes.

Com o TinyOS surge o nesC (*Networked Embedded System C*), o nesC é uma extensão da linguagem de programação C desenhada para incorporar os conceitos das estruturas e os modelos de execução do TinyOS. A versão 2 do TinyOS é escrita em nesC 1.2.

NesC é linguagem de implementação do TinyOS. Ela é uma linguagem orientada a componentes, tem um modelo de execução baseado em eventos. Os componentes de nesC possuem uma certa familiaridade com os objectos de uma linguagem orientada a objectos, sendo que ambos usam encapsulamento e ainda interagem entre si através de interfaces definidas. Embora haja diferenças bastante significativas. O conjunto de componentes e as suas interações são determinadas em tempo de compilação, não em tempo de execução.

2.7.2 Contiki

O Contiki é um sistema operativo *open source* tal como o seu congénere TinyOS, tem uma boa portabilidade, é multi-tarefa para redes de sistemas embebidos com limitações a nível de memória.

Uma configuração típica do Contiki necessita de 2Kb de RAM e 40 Kb de ROM. As aplicações são carregadas e descarregadas dinamicamente em tempo de execução, através do *kernel* baseado em eventos. A memória, tanto ROM como RAM, é reservada quando o módulo é carregado (Contiki 2012).

O kernel do Contiki é reduzido e permite a multiplexagem da CPU e o carregamento dos programas. Todas as abstrações são criadas através de bibliotecas específicas.

Uma das características do Contiki é a utilização de *protothreads*. Os processos usam *protothreads* que, sobre o *kernel*, fornecem um estilo de programação semelhante às *threads*. Um *protothreads* pode parecer uma *thread* mas internamente é totalmente baseado em eventos. Não tem qualquer variável local e a *thread* é invocada em resposta a um evento, como por exemplo, evento do sensor, temporizador, comunicação, etc. Enquanto uma *thread* tradicional necessita de uma camada por *thread*, um *protothreads* partilha uma camada por todas as *threads*.

Apesar desta abordagem, o Contiki pode suportar *threads* na forma de uma biblioteca, o que permite que os sistemas mais poderosos retirem vantagem da programação com *threads*.

O Contiki possui duas camadas de comunicação, o uIP e o Rime. O uIP é compatível com a camada TCP/IP, o que permite ao Contiki a

comunicação através da Internet. Para implementar o uIP apenas são necessários 5Kb de código e 128 bytes de RAM.

O Rime é uma camada de comunicação leve desenvolvida para rádios de baixa potência. Fornece uma grande quantidade de primitivas e protocolos de comunicação. As aplicações podem escolher se usam um ou outro protocolo, os dois em simultâneo ou nenhum deles. O uIP pode correr sobre o Rime e vice-versa.

3 Objectivos da Investigação e Método de Abordagem

Definidas as tecnologias base, há que estudar o que se pretende oferecer ao mercado, ou seja, há que estudar a existência de oportunidades reais para o projecto. Neste ponto, é necessário reflectir sobre os seguintes aspectos:

3.1 Objectivos do trabalho e requisitos

O objectivo principal deste projecto é desenvolver um sistema de baixo custo baseado em rede de sensores sem fios que permite determinar, por métodos indirectos e com algum grau de precisão, se determinada água está contaminada. Em caso afirmativo poderão ser accionados alarmes que requeiram análises mais complexas e completas, nomeadamente as bacteriológicas.

A partir do objectivo principal, são definidos os seguintes objectivos específicos:

- Estudar as principais soluções económicas baseadas em redes de sensores sem fios, para monitorizar a qualidade da água potável nas regiões desfavorecidas.
- Modelar e desenvolver a solução referida, tendo como sistema operativo *TinyOS*. As linguagens de programação para desenvolvimento serão *nesC* e Java.
- Criar uma base de dados para armazenamento dos valores recolhidos através dos sensores.
- Criar uma aplicação *Web* para aceder e exibir os dados recolhidos na base de dados.
- Testar e analisar as funcionalidades e os resultados obtidos.

Para além do baixo custo, pretende-se ainda que o sistema a construir tenha como requisitos principais a facilidade de utilização, a flexibilidade e a robustez.

- **Baixo custo**

Este requisito é um dos principais objectivos do sistema a criar. Desta forma, será possível fazer com que o sistema funcione com diferentes equipamentos previamente seleccionados e incorporados de forma segura e com custos relativamente baixos.

- **Facilidade de utilização**

A facilidade de utilização é um dos aspectos a destacar, uma vez que recorrerá à Internet como meio de visualização dos dados recolhidos, o que encoraja o uso de aplicações de monitorização.

- **Flexibilidade**

Os nós sensores podem ser implantados em números necessários, com baixa complexidade. Por outro lado, podem ser colocados no lugar a monitorizar e, quando ligados para iniciarem a actividade de monitorização, eles organizam-se e comunicam-se tendo em conta ao tipo de monitorização para que são destinados.

- **Robustez**

O sistema deve ser robusto para garantir que os dados recolhidos são correctos, estão a ser guardados de uma forma segura e que sejam facilmente acessíveis em tempo real. Por outro lado, a transmissão de dados de nós sensores ao nó da estação base deve ser correcta e fiável.

3.2 Trabalhos relacionados

Nos últimos anos, vários países desenvolveram projectos similares na área de rede de sensores sem fios. Esses tipos de tecnologias têm sido usadas para resolver vários problemas, entre os quais, a monitorização da qualidade da água para o consumo e para outros fins, como a monitorização da água para irrigação, monitorização de animais, etc.

- **COMMON-Sense Net**, é um projecto-piloto desenvolvido na Índia, desde 2005, numa localidade rural chamada *Karnataka*. A

finalidade do projecto é gerir os recursos hídricos dos agricultores daquela localidade. O primeiro protótipo foi lançado desde Abril do mesmo ano (COMMON-Sense Net 2006).

- **ZebraNet Project**, é um projecto em desenvolvimento no Kénia, baseado em redes de sensores sem fios e incorporado no sistema de posicionamento global, para motorizar e acompanhar espécies de animais selvagens (ZebraNet Project 2004).
- Um projecto semelhante àquele proposto nesta dissertação foi desenvolvido no Bangladesh, com finalidade de monitorizar a qualidade da água. Nestes países, milhares de pessoas estão sem acesso a água potável devido a contaminação das águas subterrâneas com arsénio, um químico considerado altamente tóxico e mortal.
- **Aqua wsn**, é um projecto desenvolvido no Malawi, em 2007, cujo objectivo é monitorizar a qualidade da água potável naquela região, medindo os principais parâmetros, como *pH*, turbidez e outros considerados importantes para garantir a qualidade da água potável (Aqua wsn 2007).
- **Wireless Sensors for All**, também é um projecto desenvolvido no Malawi com a finalidade de monitorizar a humidade do solo e a qualidade da água para irrigação.

Todos os projectos acima referidos foram desenvolvidos em regiões subdesenvolvidas, com o intento de favorecer os povos dessas regiões.

Sendo que quase todos eles tenham sido desenvolvidos há mais de três anos, isto significa que, anteriormente, recorreu-se a infra-estruturas ligadas às tecnologias de redes de sensores sem fios um pouco mais dispendiosas. Esses dispositivos eram sondas com um valor significativo em termos económicos cujos custos podiam rondar entre 1500\$ a 2000\$ por unidade, para não falar da mão-de-obra e de outras infra-estruturas associadas.

Com esses preços, quando se pretende monitorizar uma área vasta com duas dezenas ou mais de sensores, o custo será injustificável, aproximando ou superando o custo de métodos tradicionais laboratoriais, como, por exemplo, a medição do *pH* ou da turbidez da água recorrendo a microscópio ou outro equipamento apropriado. Tais custos não são facilmente suportados pelos países subdesenvolvidos, pois estes carecem de recursos, sobretudo económicos, impedindo assim de fazerem face a

muitos flagelos que atingem as suas regiões, nomeadamente doenças veiculadas pela má qualidade da água para consumo.

Actualmente, devido a uma crescente pesquisa na área de redes de sensores sem fios, tem havido avanços significativos no fabrico e no desenvolvimento de dispositivos com preços muito mais económicos em relação aos de há dois ou três anos. Os avanços e a possibilidade de produção em larga escala desses dispositivos electrónicos, na área de sensores, também contribui para a diminuição dos custos e, conseqüentemente, torna-os mais acessíveis, proporcionando novas perspectivas aos países subdesenvolvidos.

A solução proposta neste projecto, comparativamente com àquelas anteriormente referidas, utiliza tecnologias mais recentes e muito mais económicas, robustas e flexíveis. Comparando o custo de uma sonda e de um nó sensor recente com os de há alguns anos, por unidade, a diferença é significativa. Por exemplo, neste projecto, já no primeiro protótipo, foi utilizado um dispositivo (*MICAz*) no qual é conectado outro dispositivo (*mda100*) de tamanho reduzido, este contém três tipos de sensores: de luminosidade, de temperatura e de humidade. Esses dois equipamentos formam um nó sensor. Falando em custos, pode custar entre 115\$ e 150\$, segundo a tabela de preços da companhia de distribuição (*Crosbow*).

3.3 Requisitos de Potabilidade da água

Para que fosse possível especificar os requisitos da potabilidade da água, contei com o apoio de Giovana, aluna de doutoramento em Engenharia Civil, através de uma reunião promovida pelo Professor Alberto Lebre Cardoso e pelo meu orientador Professor Jorge Sá Silva. Essa reunião foi importante uma vez que me ajudou a adquirir conhecimentos sobre a variedade de parâmetros da água e a perceber a importância que têm. A Giovana forneceu-me ainda nesse dia alguns documentos que viriam ajudar na prossecução deste trabalho. Com isso, e pelas pesquisas realizadas, foi possível definir e destacar os seguintes factores:

Qualidade Físico-Química

As impurezas físicas da água estão relacionadas com a sua cor, turvação, sabor, odor e temperatura. As impurezas químicas resultam da presença de substâncias dissolvidas e estão relacionadas com a dureza, a alcalinidade, a salinidade e a agressividade da água. Uma água potável para consumo humano não deve ser turva nem apresentar coloração. Contudo, as águas brutas subterrâneas apresentam por vezes turvação e

coloração, as quais só podem ser modificadas por processos específicos de tratamento. A água potável também não deve apresentar odores ou sabores desagradáveis, pois isso indica a presença de microrganismos e substâncias químicas, e a sua alteração pertence ao domínio do tratamento da água. A água potável deve ser límpida, incolor e não deve apresentar sabor ou odor desagradável. A seguir apresentam-se alguns parâmetros químicos que permitem classificar a água como potável: o pH, matérias em suspensão, sólidos totais, óleos minerais, etc.

Qualidade Bacteriológica

A água contaminada por dejectos pode transmitir doenças gastrointestinais. Os agentes destas doenças são, contudo, relativamente pouco numerosos quando comparados com a imensidão de microrganismos existentes no intestino humano. Devido à grande variedade de microrganismos, não é possível pesquisar individualmente a sua presença na água. Assim, a sua qualidade bacteriológica não se avalia directamente, mas sim através da pesquisa de «microrganismos indicadores» de poluição/contaminação, como as bactérias coliformes fecais, que habitam o intestino humano. Os coliformes, geralmente não patogénicos, existem em grande quantidade nas fezes e a sua presença na água indica que a mesma foi contaminada por dejectos de origem humana ou animal, sendo provável a existência de outros microrganismos intestinais patogénicos.

As doenças transmitidas ao homem através da água (doenças de veiculação hídrica)

Tanto os agentes biológicos como os produtos poluentes, químicos e radioactivos podem atingir o homem por ingestão, directa ou através de alimentos, ou por contacto com a pele e mucosas, através da higiene corporal, da preparação de alimentos, de práticas recreativas e desportivas, de actividades industriais e agrícolas (por exemplo, irrigação de terras). As principais doenças veiculadas pela água são: enterite, faringite e rinofaringite, hepatite infecciosa, cólera, diarreia infantil, febre tifóide e paratifóide, etc.

3.4 Soluções alternativas no mercado

Pelas pesquisas realizadas ao longo deste projecto, foram identificadas algumas instituições no mercado que actuam nas áreas equivalentes e, muitas delas, dedicam-se ao fabrico e à distribuição dos equipamentos para estes fins, destacando-se a *Zolertia* e a *Maxfor*.

Depois da análise dos produtos disponíveis no mercado (Anexo_A/B), verificou-se que, por um lado, não existem equipamentos adequados às exigências do nosso projecto e, por outro lado, os custos estão acima das expectativas. Em conclusão, os contactos efectuados com as instituições acima referidas não foram satisfatórios, como se pode deduzir da troca de e-mail incluídos nos Anexos C e D. Portanto, a maioria dos equipamentos distribuídos pelas instituições contactadas acabaram por não ir ao encontro daquilo que representa um dos principais objectivos do projecto, ou seja, a incorporação de soluções mais económicas possíveis para construir um sistema *low cost* para a monitorização da qualidade da água potável.

3.5 Qual o perfil dos potenciais países necessitados?

Os potenciais países que poderiam usufruir da solução *low cost* para a monitorização da água potável são sobretudo países subdesenvolvidos, nomeadamente africanos e asiáticos. O projecto será dirigido e apresentado sobretudo às instituições governamentais desses países ou às instituições internacionais não governamentais, normalmente instaladas nesses países e comprometidas a realizarem projectos sanitários nas áreas mais necessitadas. Sendo um projecto com um grande potencial a nível tecnológico, por outro lado, espera-se que esteja ao alcance desses países em termos económicos. Sabe-se que, quase em geral, e pelos escassos recursos financeiros e tecnológicos que esses países enfrentam, este projecto poderá levar grandes vantagens. No **capítulo 4**, especificamente no ponto 4.3, será abordado um exemplo concreto da possibilidade de implementação deste projecto na Guiné-Bissau, um país africano da língua oficial portuguesa, com escassos recursos económicos e com grandes potencialidades em termos hídricos.

Apesar das constantes instabilidades políticas e défices financeiros que os países destinatários apresentam, acreditamos no potencial deste projecto, uma vez que o sistema a construir é inovador em termos tecnológicos, de baixo custo, flexível e robusto, características que podem constituir um factor apelativo ao projecto.

3.6 Avaliação de fornecedores e software

Certificação

A certificação de produtos é a atestação dada por um Organismo de Certificação, com base numa decisão decorrente de uma análise, que

comprova a conformidade do produto com os requisitos especificados. A certificação de produtos é um instrumento que permite aos fabricantes demonstrarem de forma imparcial e credível a qualidade, a fiabilidade e as *performances* dos seus produtos (CERTIF 2012) Para proceder à certificação podem ser utilizados vários sistemas de certificação, conforme os definidos pela organização internacional ISO..

A certificação é uma vantagem para as empresas e as instituições, pois representa uma garantia de qualidade. Sendo assim, todos os processos de certificação estão direccionados essencialmente para atender às exigências do consumidor, por isso, devem ser vistos pelas empresas e pelas instituições como uma oportunidade de melhorar os seus produtos e os seus serviços. Neste projecto, optou-se pelos equipamentos da instituição denominada *Crossbow*, por ser uma marca muito conhecida em fabrico e distribuição de equipamentos versáteis e económicos, como por exemplo os dispositivos para redes de sensores sem fios. Por esta razão muitos destes equipamentos são utilizados para pesquisas científicas nas instituições académicas.

Hardware e Software:

Recorrer às tecnologias de RSSFs é uma mais-valia porque os equipamentos desta tecnologia são cada vez mais acessíveis comparativamente com equipamentos convencionais para efeitos de controlo da qualidade da água potável. A maior parte dos softwares usados para a concepção de sistemas, os quais utilizam equipamentos para RSSFs da plataforma que servirá como base para este projecto, são livres, particularmente o sistema operativo (*TinyOS*).

Além do mais, ainda a nível de Software, foram utilizadas neste projecto algumas tecnologias conhecidas no mercado, para desenvolver aplicação de monitorização dos parâmetros, nomeadamente servidores da base de dados e *Web*, considerados fundamentais para monitorizar via *Internet* os dados recolhidos e enviados a partir da Rede de Sensores Sem Fios, são eles: *HTML*, *PHP*, *MySql* e algumas linguagens de programação e scripts associadas para a concepção de interface *Web*, por exemplo, *JavaScript* e *CSS (Cascading Style Sheets)*. É necessário referir que todas essas linguagens de programação e scripts são *Open Source*.

Vantagem de fornecedores:

A tecnologia de RSSFs é uma tecnologia recente, por isso, nos últimos anos foram surgindo cada vez mais empresas que se dedicam à manufactura e na distribuição de equipamentos baseada nesta tecnologia, tanto ao nível de *hardware* como de *software*. Neste momento, existem algumas empresas que já consolidaram as suas posições no mercado internacionais, uma delas é precisamente a *Crossbow*, responsável pelo

fabrico e pela distribuição dos equipamentos, os quais servirão de base para este projecto.

Pela posição que a *Crossbow* assumiu no mercado internacional, particularmente no domínio das tecnologias de RSSFs, o contacto com esta empresa representa uma vantagem, além dos custos dos seus equipamentos também são convidativas as tecnologias que usa nessa área.

Existe uma grande vantagem de optar, em primeiro lugar, pelo fornecedor principal *Crossbow*, cujos equipamentos são considerados económicos, versáteis com uma série de documentação e suportes para os seus produtos. Para nós, esses equipamentos são a base para o nosso projecto, destacando o *mote TelosB*, este equipamento, será um dos equipamentos a ser utilizado neste projecto tal como foi referido anteriormente, por ser compatível com vários equipamentos, mesmo equipamentos de outras plataformas.

Necessidade de avaliação de fornecedores:

Pode haver vários motivos para avaliar um fornecedor. Neste projecto, identifica-se as principais necessidades para avaliar um fornecedor como:

Ter dados do fornecedor

- Endereço, site, e-mail, telefones, etc.

Certificação do fornecedor

- Se é ou não certificado pela ISO
- Pedir certificado ISO 9001
- Prazo de validade do certificado
- Verificação temporária de manutenção do certificado

Se o produto fornecido é fiável e de boa qualidade:

Neste caso, a *Crossbow* tem pelo menos 3 certificados, um dos quais da ISO. Em Maio de 2002 certificada pela **ISO 9001/2000**, em Janeiro de 2003 certificado **FAA AHR500GA** e em Outubro de 2004 certificado pela **FCC** para *MICAz*. Portanto, quanto a avaliação, a *Crossbow* reúne condições de fornecedor credível e fiável pela sua implantação no mercado internacional e pela qualidade dos seus produtos.

3.7 Estudo de patentes

O aumento de interesse por novas tecnologias reflecte-se no aumento de actividades de Investigação e Desenvolvimento e isso, por sua vez, reflectir-se-á no aumento de registo de patentes. A área de RSSFs é recente e promissora, sendo também notável o aumento de interesse nessa tecnologia. Nesta secção, pretende-se identificar e analisar algumas patentes que actuam no domínio das RSSFs e que, concretamente, usam essa tecnologia para monitorizar a qualidade da água potável. A seguir, são indicadas algumas patentes nessa área: *METTLER TOLEDO*, *Measurement & Control* e *Stevens*.

METTLER TOLEDO é uma companhia americana especializada em fabrico e distribuição de instrumentos de medida de alta precisão. Um destes instrumentos é a *pH/ORP (Redox)*, cuja função é medir com alta precisão os valores de *pH* na água. A *pH/ORP (Redox)* foi patenteada pela companhia referida.

TSW-10, é um módulo para medir a turbidez, criado e distribuído pela companhia *Measurement & Control*.

Stevens, é uma companhia americana líder mundial no fabrico e distribuição de uma variedade de sondas para vários fins. Destacam-se os seis tipos de sondas patenteadas por essa companhia por exemplo: *Hydrolab Data sonde 5*, *Hydrolab Mini sonde G*, *Hydrolab Data sonde5x*, *Hydrolab Quanta G*, *CTD350* e *CTDP300/CTDP 1200*.

As patentes acima referidas são especializadas em sistemas integrados para medir a qualidade da água. O equipamento *pH/ORP (Redox)* da *METTLER TOLEDO* mede um único parâmetro, mas todos os outros referidos medem vários parâmetros, acarretando assim custos muito mais elevados.

4 Trabalho efectuado e resultados

4.1 Tecnologias usadas

A parte principal das funcionalidades deste projecto assentará na tecnologia de Rede de Sensores Sem Fios. O estudo desta tecnologia encontra-se amplamente exposto no **capítulo 2** deste relatório. Foram ainda utilizadas outras tecnologias para a concepção da interface onde a monitorização ocorre, nomeadamente *java*, *php*, *css*, *java-script*, *sql*, *MySql*, *phpMyAdmin* e o servidor *Web Apache*.

JAVA

É uma linguagem de programação orientada a objectos, é portátil entre diferentes plataformas e sistemas operativos.

PHP

Significa *Hypertext Preprocessor*, *originalmente Personal Home Page*, é uma linguagem interpretada livre e utilizada para gerar conteúdos dinâmicos na *World Wide Web*.

CSS (Cascading Style Sheets)

É uma linguagem declarativa muito simples que permite, a um utilizador, associar informação de estilo a documentos estruturados XML ou HTML.

JavaScript

JavaScript é uma poderosa linguagem de scripting que pode ser inserida directamente no código HTML de uma página. Permite a criação de aplicações com conteúdo dinâmico e interativo que correm inteiramente a partir do browser sem necessitar de programação do lado do servidor. Efeitos como imagens *rollover*, janelas *pop-up*, sistemas de *menus* sofisticados e verificação de campos de formulário podem ser produzidos com esta linguagem e inseridos directamente nas páginas *Web*.

SQL (Structured Query Language)

É uma linguagem de programação estruturada e declarativa usada para manipulação e definição de dados.

MySQL

É um sistema de gestão de bases de dados (SGBD), que utiliza a linguagem SQL (*Structured Query Language*) como interface. É actualmente uma das bases de dados mais populares a nível mundial.

phpMyAdmin

É um programa de computador desenvolvido em PHP para administração do *MySQL* pela Internet.

Apache

É um dos servidores Web *open source* mais conhecidos, apresenta uma interface gráfica intuitiva para configurações.

4.2 Primeiro protótipo

A implementação do protótipo inicial visou familiarizar-me com a plataforma e as infra-estruturas que integraram o projecto. Por exemplo, o sistema operativo *TinyOS*, a linguagem de programação *nesC* e os dispositivos usados para o efeito, nomeadamente, placa de programação **MIB520**, sensores de luminosidade de temperatura e humidades embutidas na placa **mda100** e **Mote MicaZ**.

Esses dispositivos estão equipados para medir parâmetros do ambiente como a temperatura, a humidade e a luminosidade, pelo que, na implementação do protótipo inicial, apenas foram usados sensores de temperatura e luminosidade, considerados suficientes para simular a medição dos parâmetros da água potável *pH* e Turbidez.

A opção pelo sistema operativo *TinyOS* deve-se ao facto de ser um dos sistemas operativos mais utilizados pela tecnologia de redes de sensores sem fios. O *TinyOs* suporta ainda uma variedade de plataformas em detrimento de outro sistema operativo muito conhecido, *Contiki*.

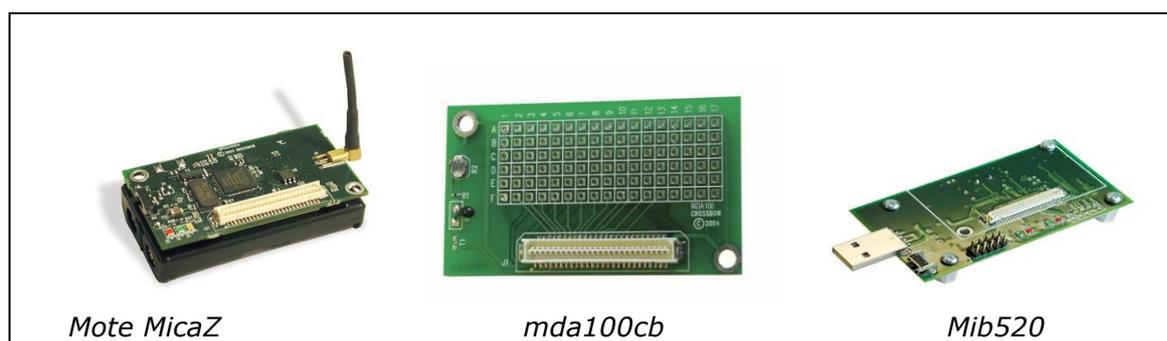


Figura 2 – Equipamentos utilizados para primeiro protótipo

O primeiro protótipo, cuja arquitectura é ilustrada na **figura 3**, serviu de base para etapas posteriores do projecto, tendo sofrido alterações significativas no decorrer do projecto.

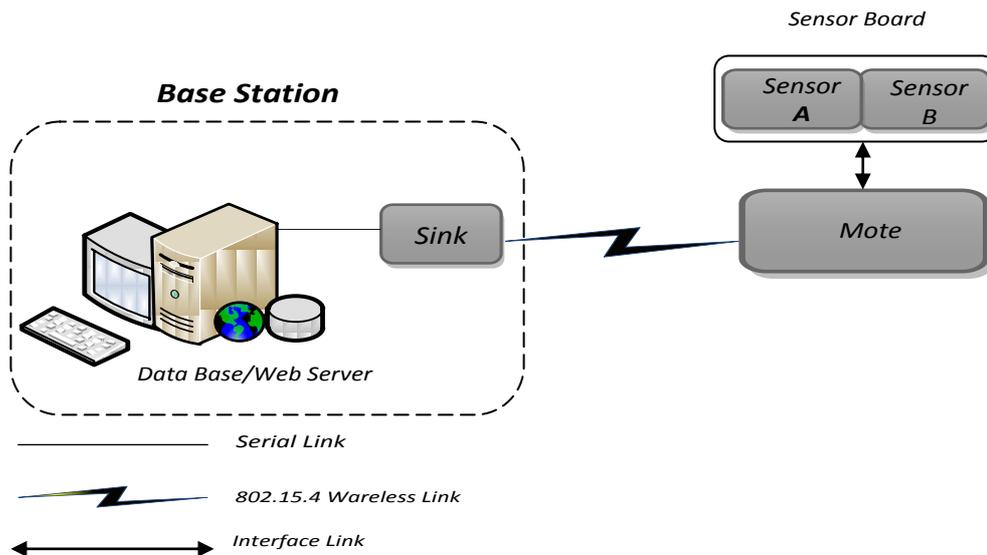


Figura 3 - Arquitectura do primeiro protótipo

Como se pode verificar, a arquitectura deste primeiro protótipo é baseada em quatro principais funcionalidades:

- Sensoriar e enviar os parâmetros em causa
- Recolha e tratamento de dados
- Recepção e armazenamento destes dados
- Acesso e exibição no *Browser*

Na **Figura 3**, podemos observar 2 *motes* (nós sensores) equipados com sensores da temperatura e luminosidade respectivamente, embutidos na placa *mda100*. Esses nós sensores foram previamente programados para recolher e enviar os dados via rádio para o terceiro nó **Sink**, situado na área de *Base Station*, o qual é responsável pela recepção desses dados e por transmiti-los, através da porta série para o computador. Este, por sua vez, estava previamente preparado para tratar, interpretar e exibir esses dados em dados lógicos. Entendem-se como dados lógicos, dados já tratados e convertidos para valores possíveis de ler e interpretar, uma vez que os dados transmitidos pelos sensores estão em modo bruto e num formato imperceptível pelos utilizadores.

Para que estes dados possam ser lidos num *browser*, o computador da estação base terá de estar equipado, como é o caso neste protótipo, com um servidor *Web*, com a Base de Dados e com uma aplicação *Web*.

Nas figuras que se seguem ilustram-se *softwares* e ambientes de desenvolvimento da aplicação em causa, exibindo apenas dois parâmetros, que incluem também data, horas, minutos e segundos.

Na **figura 4**, é ilustrado o ambiente típico do Sistema Operativo *TinyOS*, onde são visíveis os dados enviados pelos sensores. Esta aplicação

recorria à programação em *nesC* (secção 2.7.1) e Java acompanhado a uma série de comandos próprios para configuração e execução.

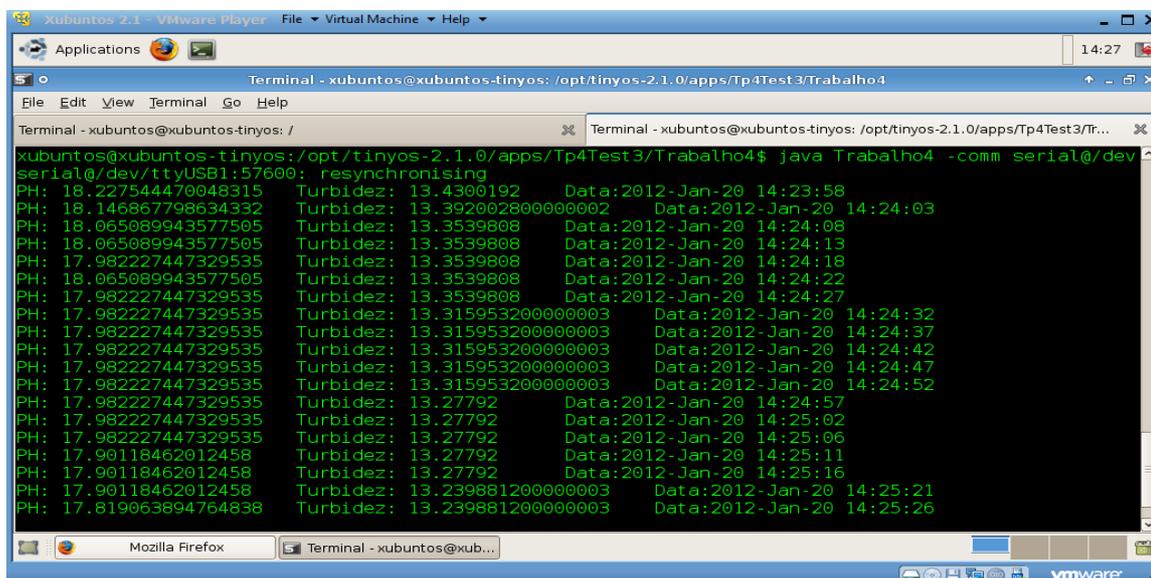


Figura 4 - Ambiente de execução do Sistema Operativo *TinyOs*

A **figura 5** é uma aplicação *web* elaborada em linguagens *HTML*, *PHP*, *SQL* e *CSS*. Esta aplicação foi concebida com a finalidade de exibir os dados apresentados na **figura 4** através de um *browser*.

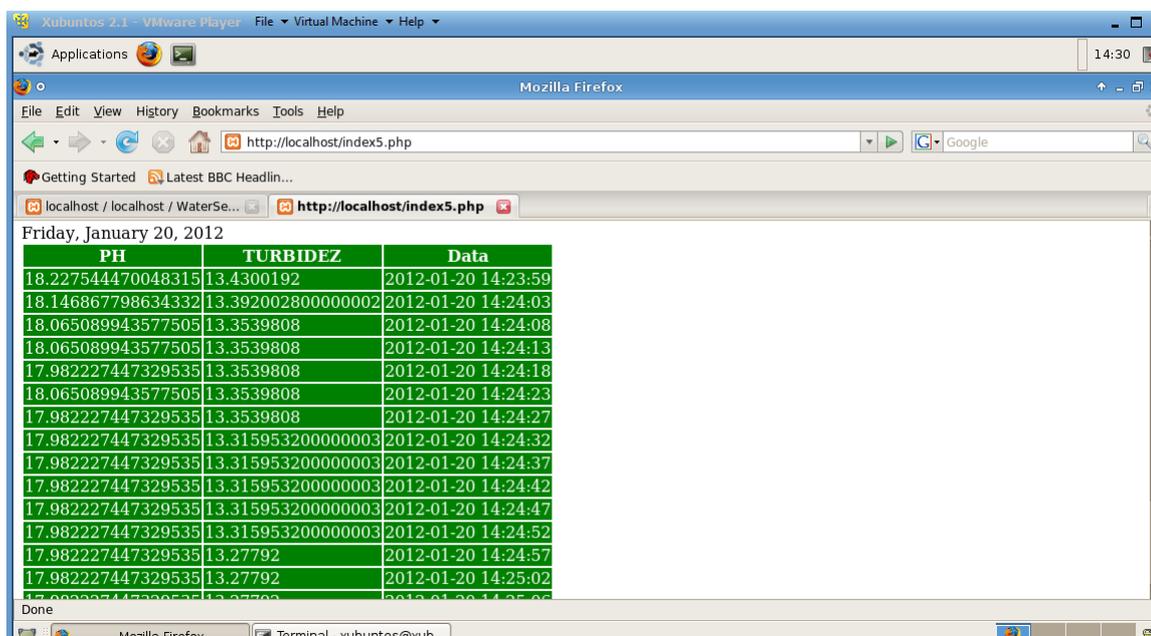


Figura 5 - Aplicação simples para exibir dados capturados

Tal como descrito anteriormente, a ferramenta ilustrada na **figura 6** é destinada à administração de bases de dados. Na figura, pode-se constatar os mesmos dados exibidos na **figura 4** e **5**, que são recolhidos pelos sensores, são tratados (conversão de valores físicos para valores lógicos), e, posteriormente, armazenados na base de dados.

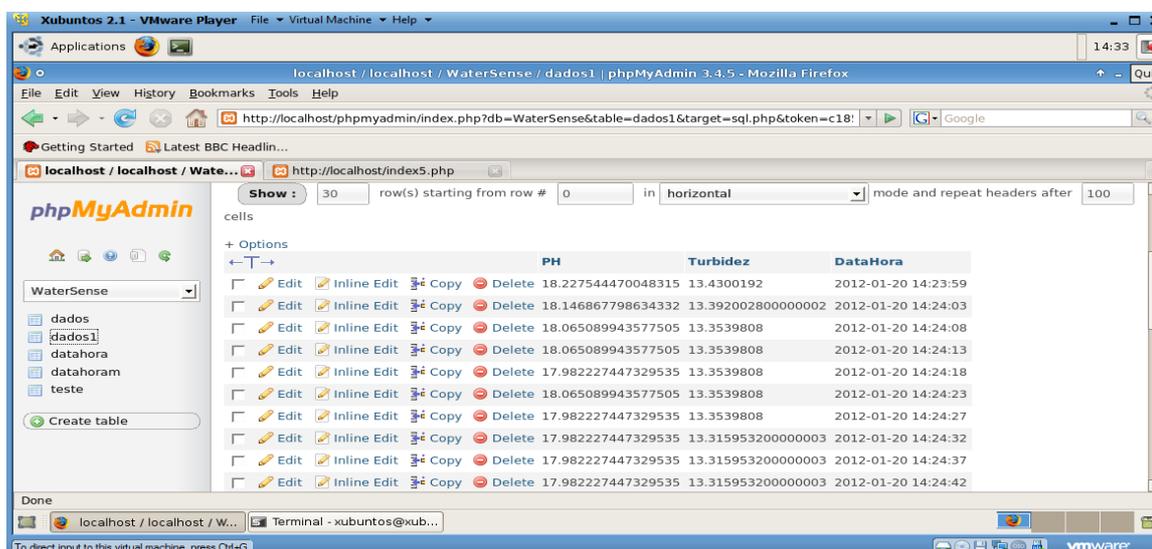


Figura 6 – Administrador de Base de Dados

4.3 Caso de Estudo

Introdução

Sendo o objectivo principal deste projecto desenvolver uma solução *low cost* baseada em RSSFs para monitorização da qualidade da água potável em países subdesenvolvidos, foi proposto que a Guiné-Bissau fosse o alvo deste projecto para eventuais testes. Nesse sentido, foi feito um levantamento das necessidades no que diz respeito ao domínio tecnológico de RSSFs para monitorização da qualidade da água. Esse levantamento foi feito através da criação de um cenário real, recorrendo a uma entrevista telefónica a um membro do governo desse país, que ocupava o cargo de Ministro de Agricultura e Desenvolvimento Rural, o Eng. Barros Banjai.

O facto de eu ser originário daquele país, conhecedor da realidade do mesmo, representa uma mais-valia para prossecução do projecto e para futuros contactos com as autoridades, para que este funcione localmente como um projecto-piloto.

Pequena descrição sobre a Guiné-Bissau

A Guiné-Bissau fica situada na costa ocidental africana e tem pouco mais de 1,5 milhões de habitantes, com uma superfície de 36.125 km². O clima é tropical húmido. O tempo chuvoso é aproximadamente de 6 meses. Tal como ilustra o mapa, a Guiné-Bissau está dividida administrativamente em 8 regiões, tendo como capital Bissau, designado sector autónomo.



Figura 7- Mapa da Guiné-Bissau

A Guiné-Bissau sofreu uma guerra civil entre 1998 e 1999, no entanto, até à data, ainda enfrenta problemas de instabilidade política, social e económica.

Devido aos problemas estruturais que enfrenta, a Guiné-Bissau sempre foi confrontada com problemas de degradação e aproveitamento indevido dos recursos hídricos, tal como a maior parte dos países africanos. Também foi confrontada com a incapacidade de monitorizar as qualidades hídricas, nomeadamente para o consumo humano, para não referir outras áreas onde esses recursos possam ser usados.

Por outro lado, existem outras causas de degradação dos recursos hídricos, relacionadas com as fossas sépticas e esgotos, estes últimos, geralmente deixados a céu aberto. Devido às características urbanísticas e à forma como são construídas as habitações, a maioria da população constrói fossas sépticas e esgotos sem cumprir normas ou procedimentos que evitem as contaminações. A maioria das fossas sépticas é construída a uma distância mínima dos poços e de outras fontes de captação de água.

Situação actual relativa à monitorização da qualidade da água potável na Guiné-Bissau

Segundo as declarações do Sr. Ministro da Agricultura e Desenvolvimento Rural, Eng. Barros Banjai, ficou claro que a situação da Guiné-Bissau é crítica quanto ao controlo da qualidade da água potável.

Na Guiné-Bissau existe uma unidade laboratorial convencional, onde são feitas as análises físico-químicas e bacteriológicas para controlo da qualidade da água potável. Segundo o Eng. Barros Banjai, neste momento, essa unidade laboratorial encontra-se inactiva há vários anos, devido à falta de reagentes químicos, facto que leva as autoridades a recorrer ao país vizinho para realizar as análises necessárias.

Público-alvo

Os projectos hidráulicos para consumo ou para outros fins, na Guiné-Bissau, normalmente, são para beneficiar toda a população em geral. Alguns desses projectos são designados projectos de hidráulica rural distribuída em regiões, onde são feitas pequenas canalizações com dois ou três furos conectados. A água extraída desses furos é posteriormente bombeada para um reservatório de água. Estima-se que entre 150 a 200 pessoas utilizem uma bomba manual numa determinada área. As distribuições são feitas para residências e fontanários públicos.



Figura 8- Fontanário público rural

Riscos associados ao consumo da água na Guiné-Bissau

Segundo o Eng. Banjai, as populações em geral correm grandes riscos, no que diz respeito ao consumo de água. Esses riscos são resultados da falta de meios para fazer face à concepção e à reabilitação de infra-estruturas no domínio hídrico. Por exemplo, as tubagens de fibrocimento para a distribuição da água são obsoletas, apresentando fissuras que provocam

perda de água na ordem dos 70%. Nessas condições, estas situações proporcionam a mistura da água com sedimentos e alguns materiais fecais responsáveis pelas doenças de veiculação hídrica.

Segundo o Eng. Barros Banjai, o consumo da água na Guiné-Bissau é considerado de grande risco, na medida em que, para além da inactividade do laboratório nacional, onde são analisadas as águas do país, também faltam diversos materiais e substâncias químicas para o seu normal funcionamento. O mais alarmante é que, desde a guerra civil de 1998 até hoje, não se têm realizado análises das águas. Durante estes tempos até hoje, de uma forma pontual, solicita-se ao país vizinho, o Senegal, a realização dessas análises, privilegiando apenas algumas regiões, casos concretos de Bissau, Gabú e Cacheu.

Em alternativa, segundo o Eng. Banjai, de vez em quando (talvez duas vezes por ano), as autoridades usam o cloro para tratamento da água para o consumo, com a finalidade de minimizar problemas relacionadas com doenças de veiculação hídrica.

Pretende-se, com este projecto, primeiramente, desenvolver um sistema *low cost* capaz de monitorizar a qualidade da água potável em tempo real, baseado em Redes de Sensores Sem Fios. Sendo uma tecnologia nova, tem capacidade para suportar soluções simples, flexíveis, reconfiguráveis, de rápida instalação e de fácil manutenção.

Assim, as soluções tecnológicas propostas neste projecto, baseadas em redes de sensores sem fios, irão proporcionar a aquisição de forma automática, em tempo real e com custos relativamente baixos, de alguns parâmetros indicadores da qualidade da água: *pH*, turbidez, oxigénio dissolvido (OD), oxidação redução de potencial (ORP) e condutividade eléctrica (EC).

A escolha desses parâmetros deve-se ao facto de, nesta fase do projecto, pretender implementar o sistema com os cinco indicadores da qualidade da água. Assim, irá recorrer-se a sondas hídricas incorporadas nos equipamentos da plataforma *Crossbow*, nomeadamente *MicaZ* ou *Telosb* para cada um dos parâmetros indicados.

Em segundo lugar, pretende-se possibilitar a análise completa físico-química e bacteriológica das águas para o consumo na Guiné-Bissau, através da determinação dos parâmetros indicadores da qualidade da água, nomeadamente parâmetros físico-químicos e bacteriológicos (anexo E/F).

Numa fase inicial, destacam-se as regiões de Gabú e Bafatá, segunda e terceira cidade respectivamente, como áreas a serem monitorizadas, sendo cidades com maior concentração de pessoas e de aldeias nos seus arredores. O sistema deve estar equipado com nós sensores ligados às

sondas inseridas nas águas a monitorizar, sejam elas das fontes, riachos ou fontanários. As sondas terão a capacidade para detectar a alteração de valores dos parâmetros indicados. Quando alguns desses parâmetros apresentar valores fora dos limites estabelecidos, deverá emitir um alerta, indicando algo anormal na medição, facto que obrigará uma nova análise laboratorial, geral, físico-química e bacteriológica.

4.4 Levantamento e análise de requisitos do sistema

Durante a fase de levantamento e análise de requisitos, foi possível identificar os seguintes requisitos:

- **Recolha de dados em tempo real:** O sistema deve recolher e disponibilizar dados em tempo real.
- **Eficácia energética:** consumo mínimo de energia possível para prologar a vida útil do nó sensor e para evitar a substituição constante das baterias.
- **Precisão de dados:** os dados a recolher deverão ser os mais precisos e completos possível, para auxiliar o profissional da área a tomar certas decisões, nomeadamente pedidos de exames laboratoriais bacteriológicos, quando se verificam oscilações de valores dos parâmetros fora dos limites.

Através dos principais requisitos apresentados, foi possível definir o seguinte quadro de requisitos do sistema:

Quadro de requisitos	
Tipos	
Funcionais	O sistema deve recolher dados dos parâmetros da água (pH e Turbidez)
	O sistema deve exibir os últimos 9 dados recolhidos
	O sistema deve exibir valores mínimos, médios e máximos dos parâmetros
	O sistema deve exibir gráfico temporal dos dados recebidos
	O sistema deve emitir alertas caso os valores ultrapassem limites estabelecidos
Não Funcionais Associados a Funcionais	Devem ser utilizados sondas de baixo custo
	Para visualização deve ser utilizado uma aplicação na Internet

Não Funcionais Suplementares	O sistema de gestão de base de dados deve ser MySQL
	O administrador de base de dados deve ser phpMyAdmin
	Para aplicação Web deve ser utilizado um servidor Web Apache com suporte para PHP

Tabela 1- quadro de requisitos.

4.5 Arquitectura final do sistema

A figura seguinte representa a arquitectura simplificada do sistema, a qual está dividida em dois blocos que se interligam.

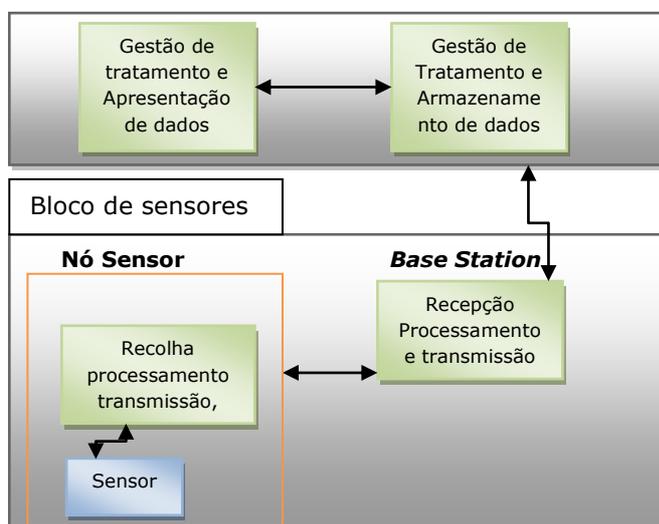


Figura 9- Arquitectura final do sistema

- **Bloco de monitorização**

Disponibiliza os serviços responsáveis pelo funcionamento da aplicação de monitorização e pela ligação com o bloco adjacente. Neste bloco foram especificadas duas principais funcionalidades:

- **Gestão de tratamento e apresentação de dados**

Recebe os dados e processa-os, para que sejam interpretáveis ou legíveis quando são visualizados.

- **Gestão de tratamento e armazenamento de dados**

Esta unidade recebe os dados processados pela unidade anterior, armazena-os na base de dados e disponibiliza-os posteriormente para que sejam visualizados. Este bloco é composto principalmente pelos servidores de base de dados e *Web*.

- **Bloco de Sensores**

Neste bloco ocorre a gestão interna do sistema desde o processamento dos dados recolhidos através dos sensores até a sua transmissão através de rádio. Este bloco é composto pelo nó sensor responsável pela actividade sensorial de grandezas físico-químicas e pela transmissão dessas grandezas por rádio. Este bloco é composto ainda pelo nó *sink* que recebe os dados do nó sensor, também por rádio, e transmite-os através da porta série para o computador.

4.6 Protótipo final

O protótipo final proposto para este projecto, ilustrado na **figura 10**, baseou-se no primeiro protótipo. O princípio arquitectural é semelhante, mas existem algumas diferenças na funcionalidade e em alguns equipamentos que compõem a plataforma, nomeadamente a *sensor board*, o sensor a utilizar e o *mote* utilizado. Quanto à funcionalidade, neste protótipo utilizou-se uma sonda hídrica para medição de *pH*, considerado um dos parâmetros fundamentais da qualidade da água.

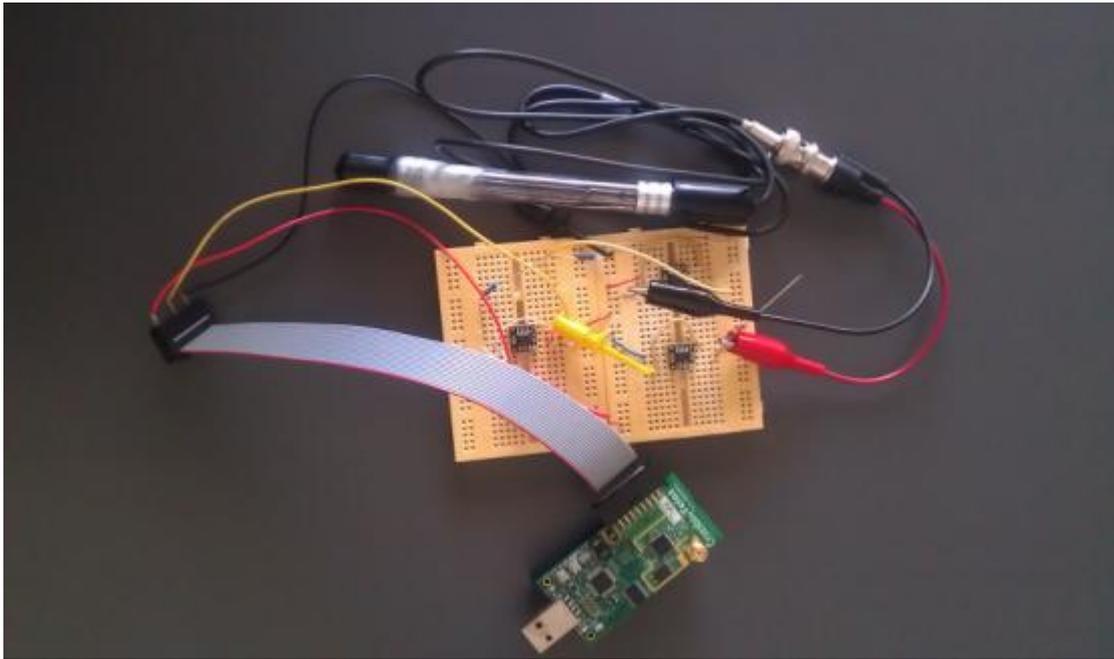


Figura 10 - Protótipo final

A incorporação de novos equipamentos específicos para a monitorização da água foi um dos objectivos fulcrais do projecto e requeria conhecimentos electrónicos. Esta tarefa teve o apoio do Professor Alberto Cardoso, foi concluída no início do mês de Agosto e consistia em projectar, soldar alguns componentes electrónicos nas respectivas placas e, posteriormente, proceder à implementação do circuito electrónico, baseado no *datasheet* da sonda.

4.7 Especificação funcional

Na **figura 10** ilustra-se o protótipo final do projecto. Aquando do desenho e da montagem do protótipo final, houve a necessidade de trocar um dos principais equipamentos, nomeadamente o *MicaZ* pelo *TelosB*, devido à incompatibilidade da interface do *MicaZ* com a plataforma do sensor de *pH*, facto que criou dificuldades a nível de funcionamento do sistema já preparado anteriormente. Verificou-se que o *TelosB* não poderia funcionar directamente com o sistema de monitorização construído por ter sido projectado para a plataforma *MicaZ* e os seus acessórios, pensando que pudesse funcionar directamente com a plataforma do *TelosB*. Apesar desta situação, elaborou-se novas tarefas para que fosse possível o funcionamento do novo protótipo, já com a plataforma *TelosB*. Portanto, houve avanços significativos quanto ao funcionamento, nomeadamente, na execução do código e na monitorização de dados, embora, em valores hexadecimais. A principal razão que levou a optar pelo *mote TelosB* foi a característica específica que possui, abaixo descrita.

TelosB

Tal como a maioria dos *motes* da plataforma *Crossbow*, o *TelosB* foi desenvolvido para estudos laboratoriais destinado à comunidade académica e em geral. O *mote TelosB* possui os seguintes recursos: a Interface *USB*, conectores de expansão, de 10 e de 6 pinos, compatível com vários equipamentos, rádio com antena integrada compatível com o padrão IEEE 802.15.4, taxa de transmissão relativamente alta, a 250 Kbps numa frequência de 2.4Ghz. Além disso, possui um microcontrolador do modelo TI MSP430 com 10 *k bytes* de memória RAM, memória *Flash* de 48 *K bytes* para programas e memória *Flash* de 1MB para armazenamento. O alcance da comunicação em ambientes fechados, pode variar entre 20 e 30 metros, em ambientes abertos varia de 75 a 100 metros. O consumo da energia é baixo e, tal como outros equipamentos da *Crossbow*, também utiliza *TinyOS* como sistema operativo.

O que diferencia o *mote TelosB* dos outros equipamentos da categoria semelhante no mercado é a interface *USB* embutida na placa de circuitos. Como se pode ver na figura que se segue, tem alguns componentes incorporados na sua plataforma, nomeadamente, sensores de temperatura, de luminosidade e de humidade. Isso é vantajoso por permitir realizar algumas tarefas sensoriais sem necessidade de adquirir outros acessórios, por exemplo, placas de expansão. Ainda tem a vantagem de reduzir custos com esses acessórios.

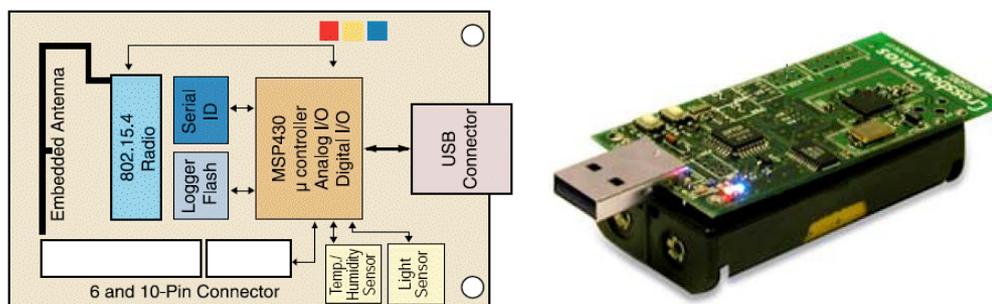


Figura 11 - TelosB e a sua arquitetura [fonte: <http://www.xbow.com>]

Tabela comparativa entre *TelosB* e *MicaZ*

A tabela seguinte mostra algumas diferenças entre os principais equipamentos utilizados neste projecto, nomeadamente o *MicaZ* e o *TelosB*.

Modelo	Frequência	Memória RAM	Flash serial	Taxa de Transmissão	Alcance	Sensores Embutidos
TelosB	2.4 GHz	10 KB	1 MB	250 Kbps	100 m	Luz Temperatura Humidade
MicaZ	2.4 GHz	4 KB	512 KB	250 Kbps	100 m	Não possui

Tabela 2 - comparação entre *TelosB* e *MicaZ*

Especificação técnica do protótipo

Antes da montagem da plataforma da sonda (*Sensor Board*), foi delineado um conjunto de tarefas preliminares, nomeadamente, a identificação de componentes a soldar, o desenho esquemático do circuito da plataforma para medir o *pH*, baseado em *datasheets* da sonda (Anexo G) e a montagem final do protótipo. Toda a especificação técnica referida teve o apoio do Professor Alberto Cardoso.

Na plataforma do protótipo final, faltou ligar um componente para determinar a temperatura. O componente em causa seria o circuito integrado **LM94022BIMG**, que serve para determinar a temperatura da solução a medir, capaz de suportar temperaturas entre -50 °C e +150 °C. Este é um componente complementar importante, cuja falta não impediu todavia o funcionamento da sonda.

Tabela de componentes a soldar

A tabela seguinte mostra alguns elementos e indicações técnicas disponibilizados pelo Professor Alberto Cardoso para a montagem da plataforma que mede o *pH*. A tabela contém as referências dos circuitos integrados que constituíram a plataforma. Cada um destes circuitos foi soldado às respectivas placas adaptadoras.

4 Componentes a soldar	
Soldar 1 integrado (de 5):	- LOW V TEMP SENS W/SEL GAIN, LM94022BIMG, RS 639-4014
Ao:	- Multiadaptador SMD SC70 SOT23, RE906, RS 728-8838
Soldar 1 integrado:	- 1.0V LDO Volt. Reference, LM4140ACM-1.0, RS 651-3417
Ao:	

- Adaptador SOIC a DIL, 6.02/7.62mm 8 vias, Winslow W9501RC, RS 158-2878
<p>Soldar 2 integrados:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3 fA Bias Curr Prec Amp. LMP7721MA, RS 517-224 <p>Ao:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adaptadores SOIC a DIL, 6.02/7.62mm 8 vias, Winslow W9501RC, RS 158-2878

Tabela 3 – Componentes a soldar

Esquema de ligação electrónica da plataforma para medir pH

A figura seguinte apresentada foi realizada na base do esquema fornecido pelo fabricante da sonda para medir o *pH* (Anexo G). A figura apresenta ligações entre circuitos integrados que constituem a plataforma e, posteriormente, ligados aos dispositivos responsáveis para medir *pH*, à sonda e a *TelosB*, responsável para processar os sinais analógicos que serão enviados para o computador através da porta série *USB*, onde serão tratados e lidos por meio de uma aplicação apropriada.

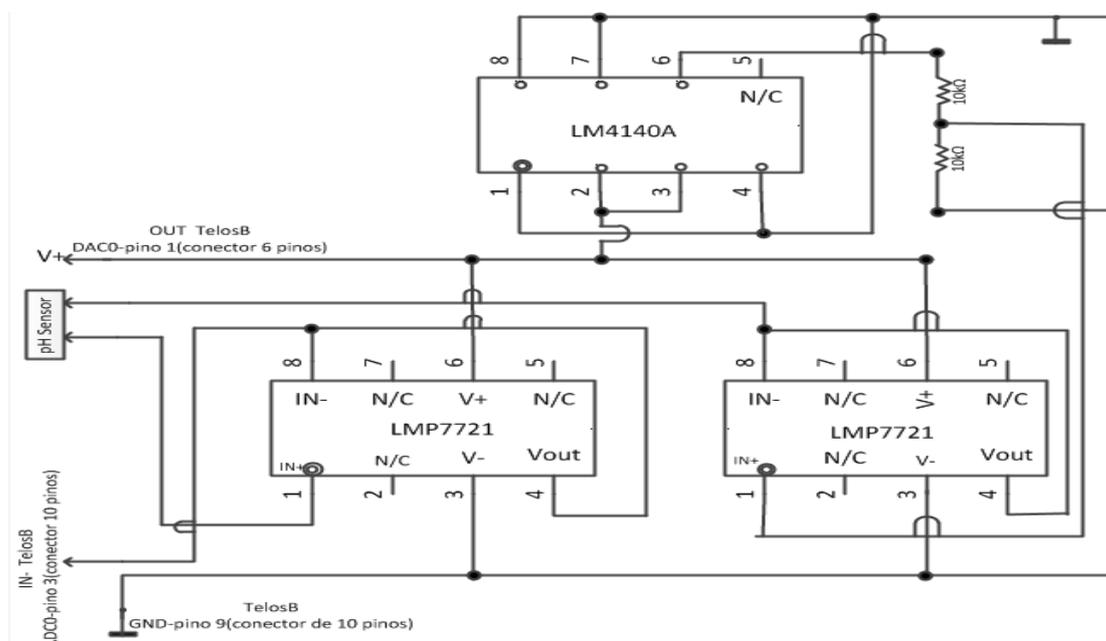


Figura 12 - Esquema electrónico da plataforma

Conectores de expansão de TelosB

A figura seguinte ilustra os conectores de expansão do *mote TelosB*. A ligação da sonda à plataforma, sendo bipolar, é feita por meio do conector *BNC* (conector para cabos coaxiais). A ligação da plataforma ao *mote TelosB* é feita através de um cabo flexível com fichas de 16 pinos fêmeas nas extremidades.

A sonda é alimentada através dos pinos 1 (*Analog VCC*) e 9 (*Analog Ground*) do *mote TelosB*, o qual, por sua vez, é auto-alimentado através de duas baterias do tipo AA, de 1.5x2 Volts ou através da porta *USB* ligada ao computador. O pino 3, *ADC0* do conector de 10 pinos, corresponde à entrada do sinal analógico da sonda para o *mote TelosB*. O pino 1, *DAC0* do conector de 6 pinos, corresponde à saída do sinal digital do *mote TelosB* para o computador, onde posteriormente é tratado e exibido.

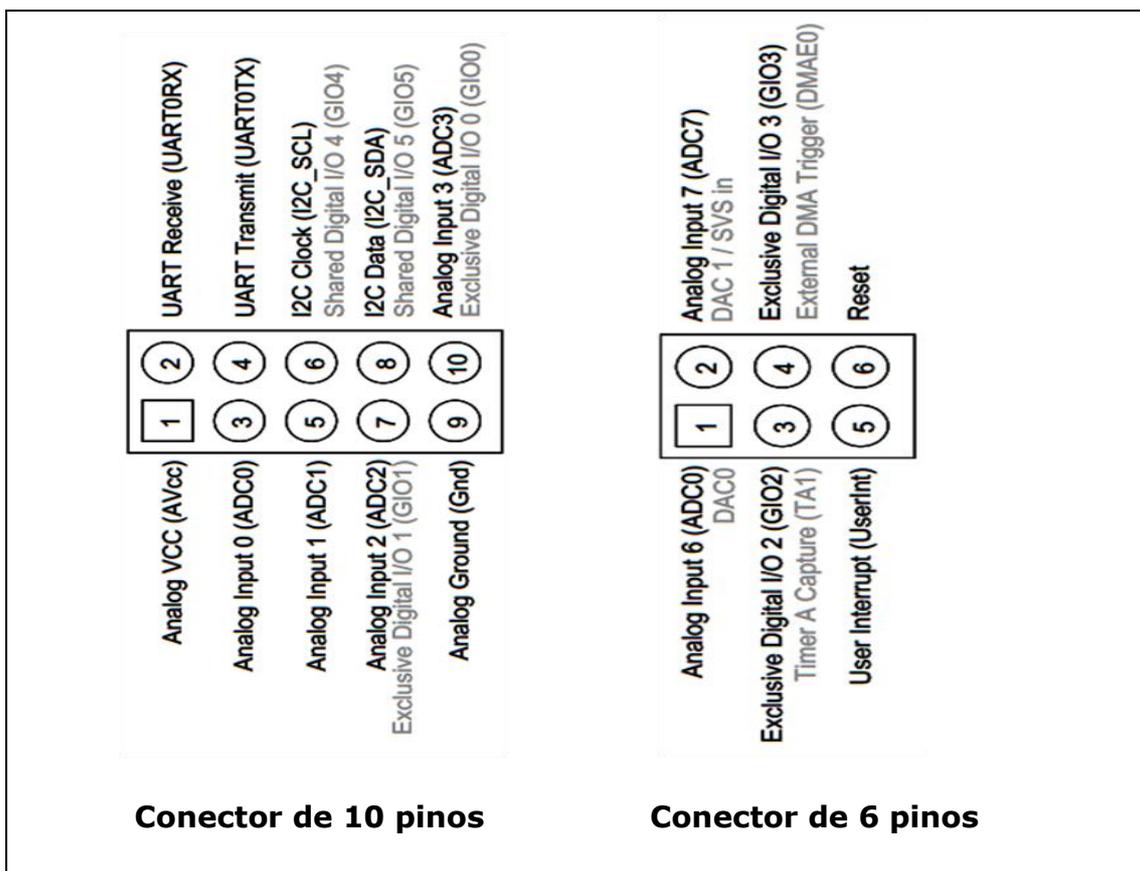


Figura 13 - Conectores de expansão de TelosB

Sensor de *pH*

A figura seguinte ilustra o eléctrodo bipolar usado para medir o *pH*, que possui o nível de impedância relativamente elevada. Devido à sua composição de vidro, é de alta resistência, com valores entre 10 M Ω e 1000 M Ω , segundo o fabricante. A sensibilidade do eléctrodo varia consoante a temperatura da solução a medir. Por motivos técnicos, nomeadamente a impossibilidade da incorporação à placa adaptadora, não foi possível incluir o módulo do circuito que determina os valores da temperatura na solução a medir, neste caso, a água. Este facto pode causar discrepâncias em relação aos valores de *pH*. Segundo o fabricante, o valor escalar de *pH* depende da temperatura da solução a medir. Quanto menor for a temperatura, menor é a sensibilidade ao *pH*. Por exemplo, para a temperatura de 25°C, considerado mínimo, a sensibilidade do eléctrodo, em termos eléctricos, é de 59.16 mV (*mili Volts*) por unidade de *pH* e o valor da saída seria +414 mV (*mili Volts*), o que corresponderia a *pH*=0, portanto, 25°C de temperatura da solução é considerada ideal para medir valores de *pH* a partir do 0 (zero).



Figura 14 - Sonda para medir *pH*

4.8 Testes

Os testes ao funcionamento do protótipo ocorreram no laboratório. Em primeiro lugar, procedeu-se às configurações necessárias para garantir o bom funcionamento do equipamento. Posteriormente, procedeu-se às ligações necessárias entre todos os equipamentos e providenciou-se um recipiente com água onde foi introduzido a sonda.

Antes da realização dos testes, surgiram algumas dúvidas em relação à forma de manusear a sonda para medir o *pH* e à manipulação do formulário para a conversão dos valores obtidos (hexadecimais para

valores lógicos). Para ultrapassar as dificuldades referidas, recorri à ajuda do Professor Alberto Cardoso, cuja opinião foi preponderante no que diz respeito às dúvidas colocadas.

Os testes seguintes são considerados os principais para realizar:

Testes de funcionamento geral do sistema, testes comparativos com outro medidor de pH , testes de precisão e testes de tempo de resposta do sistema.

Tal como referi anteriormente, realizaram-se apenas testes ao funcionamento geral do sistema. Os testes comparativos com outro medidor de pH e testes de precisão não se realizaram por dependerem de valores lógicos obtidos e de outros medidores para comparação.

Para a realização de testes, foram feitas todas as configurações e ligações necessárias e foi preparado um recipiente com água para, posteriormente, colocar a sonda. Foram inseridas duas baterias do tipo AA no *Mote TelosB*, que iria ligar à sonda para medir o pH . Em seguida, o nó sensor composto pela plataforma, *mote TelosB* e a sonda foram colocados numa extremidade do laboratório, a uma distância aproximada de 6 metros. Com estes pressupostos, iniciaram-se os testes que, tal como ilustrado na tabela, produziram os seguintes resultados:

Teste1: laboratório G6.1

1	Local de teste	Laboratório
2	Área em m ²	50 m ²
3	Distância entre nós	6 m
4	Duração	20 mn
5	Intervalo de envio de pacotes	5 segs
6	Pacotes perdidos	1
7	Falhas ou anomalias	Não se verificou
8	Tempo de resposta	2 a 3 segs
9	Comparação com outro medidor	Não se realizou
10	Precisão	Não se realizou

Tabela 5 – Teste 1 ao protótipo

Teste2: corredor do piso G6

1	Local de teste	Corredor piso G6
2	Área em m ²	14 m ²
3	Distância entre nós	2 m
4	Duração	10 mn
5	Intervalo de envio de pacotes	5 segs
6	Pacotes perdidos	0
7	Falhas ou anomalias	Algumas paragens
8	Tempo de resposta	2 a 5 segs
9	Comparação com outro medidor	Não se realizou
10	Precisão	Não se realizou

Tabela 5 – Teste 1 ao protótipo

Observando na **Tabela 5** os resultados conseguidos, em termos de funcionamento geral, houve duas situações a ter em conta: as distâncias foram relativamente curtas devido ao sinal de rádio, ou seja, depois de várias tentativas de aproximar e afastar os equipamentos em funcionamento, verificou-se que ambos os *motes*, tanto do nó sensor como do nó *sink*, possuíam apenas antenas embutidas nas suas plataformas portanto, não se encontravam disponíveis as antenas complementares que ajudasse a difundir o sinal, este facto possibilitou apenas as comunicações a curta distância. O resultado da linha 7 da tabela foi originado pela mesma situação, devido ao alcance do sinal.

4.9 Interface gráfica do sistema

As figuras que se seguem ilustram os módulos da interface gráfica do sistema de monitorização “*Water Quality Monitoring System*”.

Como ilustra a **figura 15**, este módulo é a porta de entrada para o acesso às funcionalidades do sistema. Para que o utilizador possa autenticar-se e aceder às funcionalidades, deverá introduzir a *username* e a *password* que lhes serão atribuídos previamente.

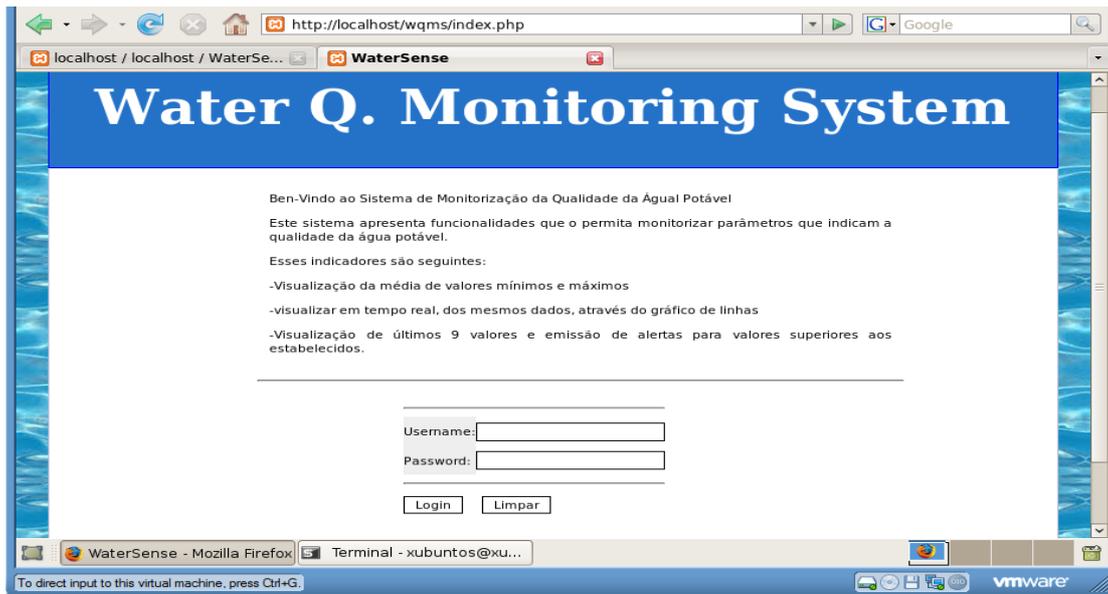


Figura 15 – Módulo de autenticação

Na **figura 16**, depois da autenticação ser bem sucedida, abre uma página *Web* onde se podem visualizar os últimos 9 parâmetros medidos em tempo real. Estes valores foram escolhidos por omissão, mas podem ser configurados. Ainda neste mesmo módulo, é possível ter acesso ao menu, situado do lado esquerdo, para visualizar valores mínimos, médios e máximos registados até ao momento. Além do mais, é possível visualizar o gráfico de uma forma dinâmica, mostrando em tempo real os dados recebidos.

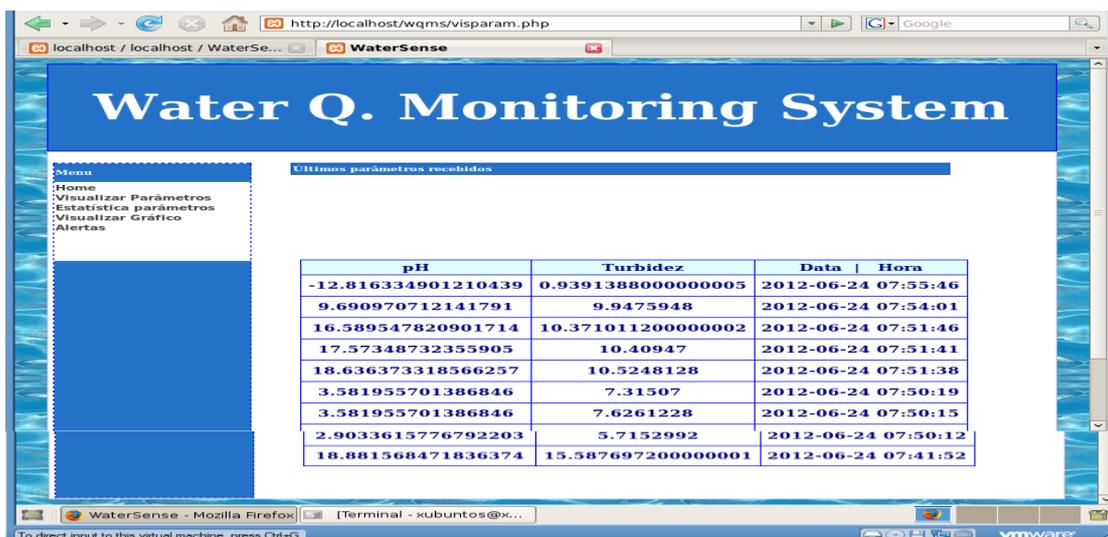


Figura 16 – Módulo de visualização dinâmica de últimos 9 parâmetros.

A **figura 17** ilustra o módulo estatístico, que nos indica os valores mínimos, médios e máximos, recebidos até ao momento. Todo este processo ocorre em tempo real, onde a actualização é feita dinamicamente à medida que os dados vão chegando.

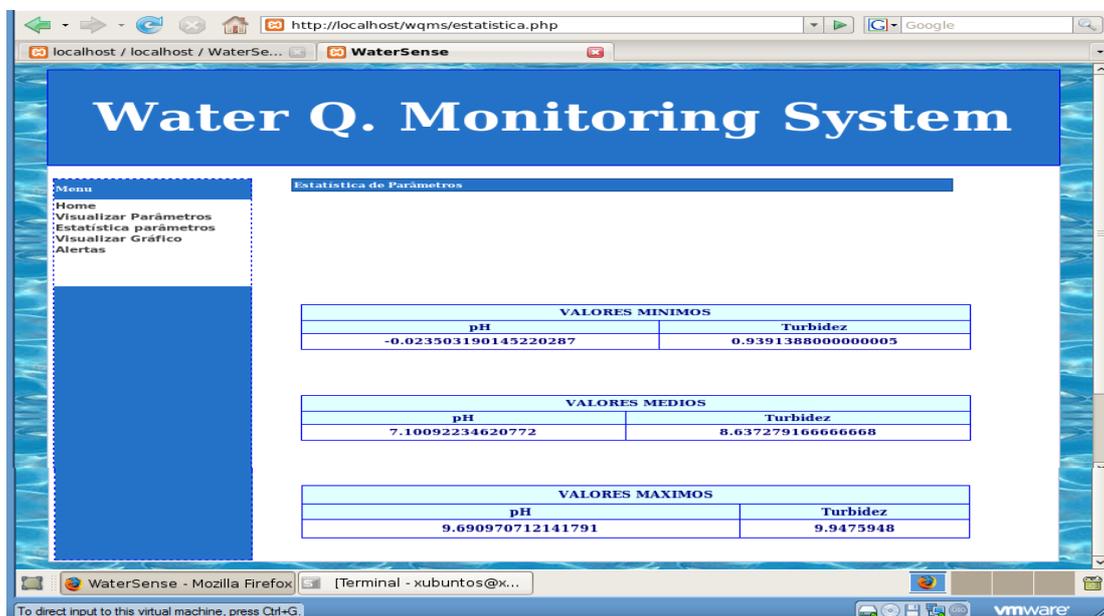


Figura 17 – Módulo estatístico, máximos, médios e mínimos.

A **figura 18** ilustra o módulo gráfico que permite visualizar a evolução dos dados de uma forma dinâmica com intervalos de 5 segundos.

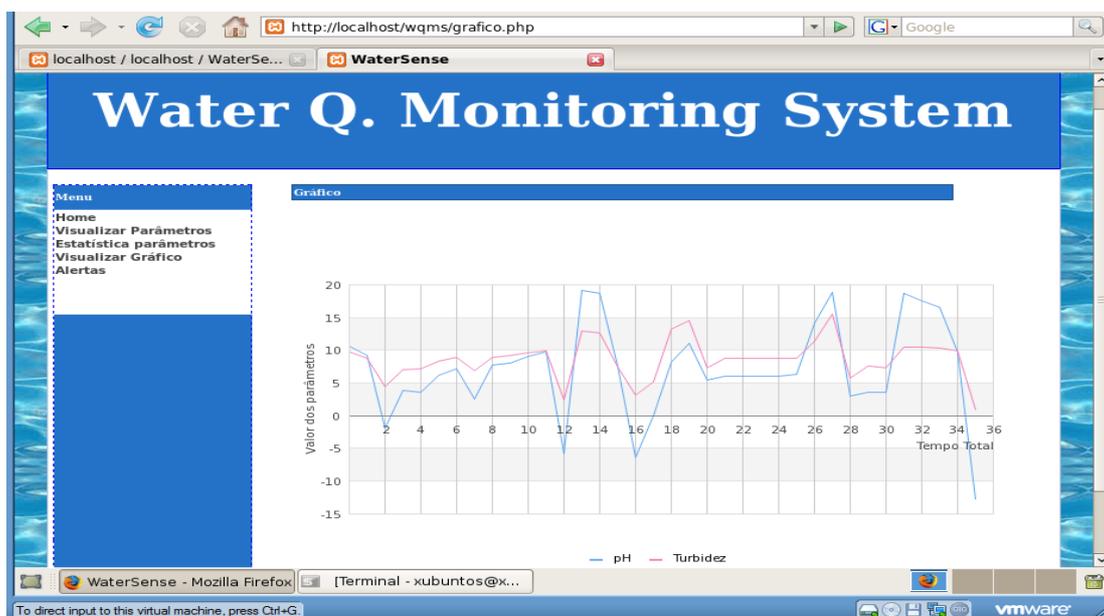


Figura 18 – Módulo do gráfico dinâmico.

É preciso realçar que os dados apresentados nestas figuras continuam a ser relativos aos parâmetros da temperatura e da luminosidade, ou seja, representam a simulação de dois parâmetros da qualidade da água potável, *pH* e Turbidez.

Por fim, o sistema emite alertas quando os valores recolhidos em tempo real ultrapassam o limite do valor estabelecido para os parâmetros.

5 Plano de Trabalho e Implicações

Semanalmente, nas segundas-feiras, realizavam-se reuniões do grupo *LCT-Sense*, dirigidas pelo meu orientador, Professor Jorge Sá Silva, durante as quais era feito o ponto das situações, o delineamento de tarefas e a verificações do estado de andamento dos trabalhos, em particular, relativamente ao projecto do qual faço parte. As reuniões representaram grandes vantagens por terem ajudado a esclarecer as minhas dúvidas. Ocasionalmente, o Professor Jorge Sá Silva sugeria que fizesse uma pequena sessão de apresentação perante o grupo, com a finalidade de receber algum *feedback* que ajudasse nos trabalhos do projecto. Esta metodologia foi muito positiva e contribuiu para a realização de algumas tarefas.

Semestre 1

Tal como ilustra o mapa de *Gantt*, **figura 19**, devido a razões administrativas, houve um atraso na formalização do processo da matrícula, o que atrasou também o arranque do projecto. Dei a conhecer o facto e as circunstâncias ao meu orientador, o Professor Jorge Sá Silva, o qual tomou diligências para que eu pudesse iniciar e acompanhar as primeiras fases, fazendo tudo o que estivesse ao seu alcance e autorizando-me de imediato a participar nas reuniões semanais do grupo. O Professor Sá Silva forneceu-me alguns artigos relacionados com o assunto do estágio como forma de me integrar na matéria, enquanto a regularização da minha inscrição nos serviços académicos decorria.

Tal como ilustra o mapa de *Gantt*, no semestre anterior, a grande parte do tempo foi dedicada ao estudo das ferramentas relacionadas com o projecto, nomeadamente ao estudo de "*motes*", *MICAz*, *Telosb*, etc. e os dos seus acessórios, como por exemplo as placas de sensores *mda100* e de programação (*Mib520*). Por outro lado, uma das tarefas fundamentais esteve relacionada com a configuração da rede, a configuração de sensores e a programação em *TinyOS*. Todas essas ferramentas, tanto *hardware* como *software*, foram novidades para mim e constituíram uma das metodologias para me familiarizar com as tecnologias das RSSFs.

A tarefa de construção do primeiro protótipo e as tarefas subsequentes culminaram com alguns avanços, em relação aos obtidos na etapa anterior, concretamente no que diz respeito ao estudo das ferramentas. Essas ferramentas tiveram um papel fundamental na construção do primeiro protótipo, incluindo uma interface gráfica simples, na qual apenas se pretendia exibir dados capturados através do nó sensor. Esse protótipo inicial visava simular dois parâmetros para medir, a qualidade da água potável, nomeadamente o *pH* e a Turbidez.

Semestre 2

No segundo semestre, com base nos mesmos princípios do semestre anterior, se aprofundaram os estudos sobre as ferramentas, para que no final do semestre, se atingisse o objectivo principal: a construção de um protótipo com equipamentos adequados para medir a qualidade da água potável, neste caso, tratando-se de sondas destinadas à medição dos parâmetros da água.

Na planificação desta fase do estágio foram feitas algumas alterações, devido às necessidades que foram surgindo, situações que consumiram algum tempo como a pesquisa das soluções equiparadas com o nosso projecto e/ou a pesquisa de ferramentas consideradas de baixo custo que pudessem ser adaptadas ao nosso caso. Para além disso, foi desperdiçado algum tempo à espera dos *feedback* dos contactos realizados pelo Professor Jorge Sá Silva, o meu orientador, com algumas instituições comerciais, sendo que a maior parte foi insatisfatória (**anexo C/D**), em relação ao que pretendíamos.

Entretanto, paralelamente com outras tarefas, fui aprofundando os estudos relativamente a tudo quanto fosse necessário para a persecução do projecto, tanto ao nível de *software* como de *hardware*. Uma das tarefas mais importantes até antes da construção do protótipo final foi o desenvolvimento do sistema de monitorização com uma nova interface gráfica, dinâmica, preparado para funcionar com o protótipo a construir, já com sondas hídricas.

Constatou-se que os equipamentos adquiridos, nomeadamente a sonda para medir o *pH* e os componentes electrónicos que a acompanharam, não eram compatíveis com aqueles utilizados desde o início deste projecto, como por exemplo, com o *mote micaZ* e os seus acessórios. Neste contexto, optou-se por *telosB*, considerado ideal para incorporar à plataforma da sonda, devido as características que possui.

O sistema de monitorização tinha sido concebido para a plataforma *micaZ* e os parâmetros a medir seriam 2. Com a plataforma *telosB* seria apenas um parâmetro, o *pH*.

A seguir, apresenta-se uma síntese das principais actividades definidas até ao momento:

- **Estudo das redes de sensores sem fios e da programação em *TinyOS***

Introdução ao estudo dos conceitos do sistema operativo *TinyOS* e das componentes, tanto *hardware* como *software*, ligadas a ele, sendo esta a plataforma onde foi desenvolvido o projecto. Incluiu

também a pesquisa de ferramentas existentes necessárias para o desenvolvimento do projecto.

- **Análise de requisitos da solução a desenvolver**

Nesta fase, discutiu-se, analisou-se e fez-se o levantamento, nas reuniões semanais, das necessidades do projecto.

- **Construção de um protótipo laboral inicial**

Desenvolvimento de um protótipo laboratorial, que apenas simulou os parâmetros para medir a qualidade da água: *pH* e turbidez.

- **Avaliação das soluções de mercado**

Pesquisa, estudo e avaliação das soluções existentes no mercado.

- **Escrita do relatório intermédio**

Elaboração e revisão do relatório intermédio de estágio

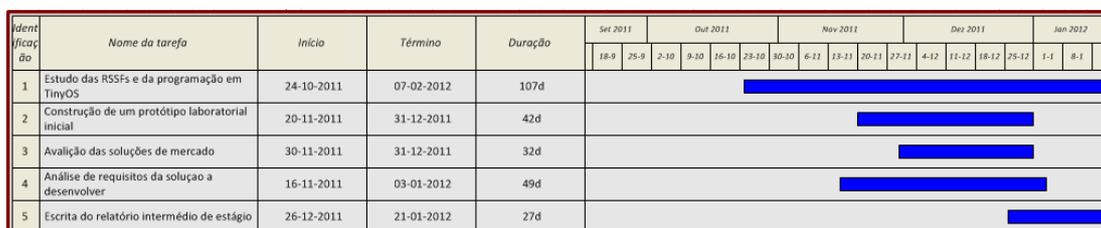


Figura 19 – Planificação inicial (Outubro 2011-Janeiro 2012)

O diagrama de Gantt, ilustrado na **figura 20** descreve o planeamento das actividades que iniciaram em Fevereiro e que se prolongaram até ao mês de Agosto, altura da submissão do relatório final.

- **Software Design**

Identificação e especificação pormenorizada de todas as funcionalidades da solução a desenvolver.

- **Desenvolvimento**

Processo que engloba toda a codificação, as respectivas revisões de código, as consequentes alterações e os eventuais testes efectuados.

- **Testes preliminares**

Consistiram em especificar testes a efectuar ao software, na execução do mesmo, e consequentes alterações ao código.

- **Testes finais**

Constituíram em especificar todos os testes efectuar ao sistema. A maior parcela deste tempo foi dedicado aos testes do protótipo final.

- **Escrita do relatório final**

Fase de elaboração e revisão da documentação produzida ao longo do estágio.

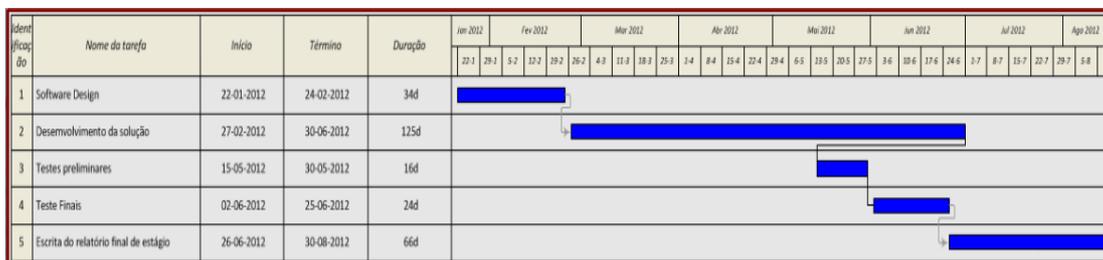


Figura 20 - Planificação final (Janeiro 2012-Agosto 2012)

Trabalho futuro

Sendo um sistema de monitorização algo complexo, existe ainda há muito a fazer para tornar este sistema um sistema completo e funcional, com maior fiabilidade e de mais fácil utilização. A água possui uma variedade de parâmetros indicadores da sua potabilidade, muitos destes, por exemplo os do grupo bacteriológico, considerados parâmetros específicos, também são medidos com equipamentos específicos. Neste projecto pretendeu-se medir apenas 2 parâmetros, *pH* e turvação, e, posteriormente, estender a outros parâmetros também considerados relevantes para medir a qualidade da água potável. Portanto, devido a alteração de decisão em relação ao tipo de *mote* a incorporar com a sonda de *pH*, decidiu-se apenas monitorizar um parâmetro, *pH* porque se adquiriu apenas sonda para este tipo de parâmetro.

Outra questão importante necessária nos trabalhos futuros deste projecto, é de estabelecer uma forma de proteger os equipamentos e de coloca-los no terreno, uma vez que há partes do protótipo que deverão estar fora do alcance da água, a fim de evitar avarias.

Depois da realização de alguns testes laboratoriais, pretende-se efectuar os testes num cenário real, nomeadamente na Guiné-Bissau, sendo que

as primeiras fases terão lugar na capital do país, Bissau, por ter a maior concentração de pessoas.

Os lugares escolhidos para os testes serão os de captação da água, onde será colocado um nó sensor, equipado com uma sonda capaz de medir um determinado parâmetro, neste caso o *pH*.

Sendo que a monitorização da qualidade da água potável em tempo real através de rede de sensores sem fios precisa da *Internet*, verificou-se que actualmente, na Guiné-Bissau, país onde se deverá testar o projecto, apesar das carências das infra-estruturas em vários domínios, particularmente no domínio das Tecnologias de Informação, a grande parte do território nacional já conta com a cobertura da rede *Internet*. Este facto ajudará na prossecução deste projecto no país referido, uma vez que algumas regiões apontadas para a realização de testes são remotas.

A monitorização começará nos arredores de Bissau, locais onde ocorre a captação da água para abastecer o único depósito de distribuição existente para toda a cidade de Bissau. Calcula-se que os lugares de captação estejam distribuídos na mesma área, por isso, a instalação de um sistema de monitorização da qualidade da água pode ser útil para detectar as alterações em alguns parâmetros físico-químicos e alertar em caso de presença de elementos nocivos na água, capazes de provocar problemas de saúde pública. Posteriormente, pode-se estender os testes de monitorização para outras regiões, nomeadamente no interior, nas regiões de Gabú e de Cacheu. Como essas regiões usam maioritariamente poços e águas de nascente, também é de elevada importância monitorizar esses locais, usando o mesmo método para colocar os equipamentos para monitorizar a água.

É preciso realçar que na cidade de Bissau, quando a água é captada, não é bombeada directamente para o reservatório principal, mas passa antes por um reservatório primário, que se encontra na superfície. Nesse reservatório, é possível colocar com facilidade o nó sensor para a monitorização.

Estrutura do sistema

Pode-se observar na Figura 21 a estrutura do sistema, que é composto por equipamentos tanto *software* como *hardware*:

Software

O Sistema Operativo, linguagens de programação como NesC, Java, PHP, CSS, etc.

Hardware

O dispositivo sensorial para medir *pH*, *motes TelosB* e a plataforma electrónica do sistema.

Para a realização dos testes, haverá parte dos equipamentos que ficará no interior de um recipiente leve, com a finalidade de protegê-lo da água.

O equipamento pode ser fixo num lugar da localidade onde será feita a recolha de parâmetros da água ou pode estar por cima de algo que lhe permita flutuar.

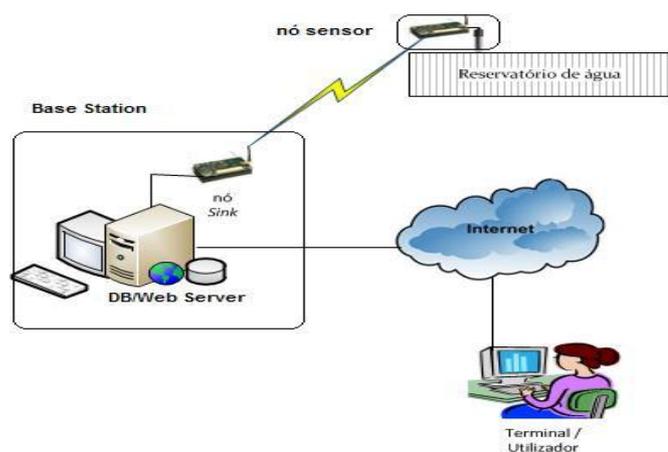


Figura 21- estrutura do funcionamento do sistema

Para que os dados sejam visualizados no terminal, o sistema dispõe da Interface gráfica, onde será possível visualizar não só dados em geral, mas também os últimos valores mínimos, médios e máximos, e onde é possível visualizar ainda a oscilação dos dados sob forma de gráficos.

A comunicação entre os dispositivos será conseguida com a utilização da norma IEEE 802.15.4. Desta forma, é possível a comunicação entre o nó sensor para medir o parâmetro da água e o nó *Sink* com baixo consumo energético. O nó sensor é alimentado por duas baterias do tipo AA de 1,5 Volts.

A distância da comunicação entre o nó sensor e o nó *Sink* da estação base deverá ser menor ou igual ao alcance da comunicação entre *motes TelosB*, o qual varia entre 75 a 100 metros, considerando, neste caso, que a comunicação será feita em ambiente aberto.

A partir do momento em que tudo está pronto, quando o sistema é executado, dá-se o início à monitorização e é possível visualizar o fluxo de dados vindos da sonda. Posteriormente, esses dados são tratados e armazenados numa base de dados. Finalmente, será possível visualizar

esses dados através de um *Browser*. Todo o processo ocorre em tempo real e a velocidade em que os dados chegam ao terminal depende da velocidade local da *Internet*. Para garantir a realização dos teste, é necessário assegurar-se que a zona onde está posicionado o equipamento possua a cobertura da rede *Internet* e, antes de colocar a sonda, que o equipamento esteja protegido, para evitar que algumas partes sejam imersas na água.

Finalmente, a tabela seguinte ilustra os custos dos equipamentos que compõem o protótipo final:

Equipamento	Quantidade	Preço/Unidade	Preço
TelosB	2	80€	160€
Baterias Alcalinas do tipo AA	2	0,75€	1,5€
Plataforma para medir pH incluindo circuitos integrados e a sonda	1	168,16€	168,16€
Software	9	0€	0€
			Total: 329,66€

Tabela 4- Custo final do protótipo

O custo do *mote TelosB* é variável ou seja, as instituições que distribuem este tipo de equipamento variam o seu preço dependendo da quantidade requisitada, portanto, os preços variam entre 20€ e 150€ (Tandre, Arod, Sasilva, Boavida 2006). Sendo assim, foi escolhido como referência quase o preço intermediário do preço máximo.

Considerando o preço total das componentes, o custo aproximado do protótipo é amplamente menor, comparado com outros equipamentos para analisar a água, nomeadamente microscópios digitais laboratoriais e ainda outros equipamentos associados.

6 Conclusões

Os países subdesenvolvidos enfrentam grandes problemas e desafios em vários domínios do seu desenvolvimento. São países onde a água potável é um bem escasso, uma vez que a maior parte desses países vive abaixo do limiar da pobreza, facto que pode repercutir na saúde e no desenvolvimento das suas populações. Este projecto pretendeu desenvolver uma solução acessível aos países acima referidos, a qual poderá ajudar a prevenir muitas doenças provocadas por microrganismos nocivos existentes nas águas, que as tornam impróprias para consumo, e poderá portanto ajudar a salvar milhares de vidas nesses países.

Existem métodos tradicionais para analisar a qualidade da água, nomeadamente análises laboratoriais que utilizam equipamentos tradicionais como microscópios, mas esses métodos ainda são de custos elevados, podendo não ser acessíveis para às populações, devido à falta de meios das instituições desses países, que são as únicas com capacidade financeira para contratar serviços do género. Esses métodos continuam a ser úteis para esse tipo de serviços, mas acarretam custos elevados a nível de tempo. De facto, para que uma única análise à água seja feita, por vezes, é necessário recorrer a vários laboratórios diferentes ou ainda a vários especialistas diferentes.

Nesse sentido, o sistema estudado permite propor uma alternativa acessível quer em termo de custos quer em termo de tempo, desenvolvendo o processo indirecto para o conhecimento inicial da qualidade da água. Através da análise efectuada com o sistema estudado, podem ser detectadas alterações dos parâmetros da água, prevenindo as situações de perigo de contaminação. A garantia de uma monitorização constante e em tempo real representa um factor relevante, porque, sempre que o sistema indicar valores preocupantes, as entidades governamentais, alertadas do possível perigo, poderão efectuar mais testes, individuando e prevenindo assim as situações de emergência.

Referências

[Aqua wsn 2007]

<http://www.tslab.ssvl.kth.se/csd/projects/0726/welcome>

[Apache 2011] <http://tomcat.apache.org/>

[CERTIF 2012] <http://www.certif.pt>

[Crossbow 2012] <http://www.xbow.com/>,

<http://www.directindustry.com/prod/crossbow/wireless-sensor-networks-wsn-19299-44511.html>

[COMMON-Sense Net 2006] <http://infoscience.epfl.ch/record/83607>

[CONTIKI 2012] "*The Contiki Operating System*":

<http://www.sics.se/contiki/>

[D. GAY 2007] D. GAY, P. LEVIS, AND R. BEHREN, "The nesC Language: A Holistic Approach to Networked Embedded Systems":

www.cs.binghamton.edu/~kang/teaching/cs580s/nesc.ppt

[EasySem 2008] "EasySen SBT80 Sensor Board Datasheet"

<http://www.easysen.com/>

[ISA100.11. 1995-2012] "Wireless Systems for Automation":

<http://www.isa.org//MSTemplate.cfm?MicrositeID=1134&CommitteeID=6891>

[JENNIFER YICK 2008] JENNIFER YICK, BISWANATH MUKHERJEE, DIPAK GHOSAL, "Wireless sensor network survey", *The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 2008:

<http://home.iitj.ac.in/~ramana/survey-wsn.pdf>

[JOHN CLEARY 2007] JOHN CLEARY, C. SLATER, F. REGAN, D. DIAMOND, B O'FLYNN, RAFAEL MARTÍNEZ-CATALÀ, S. HARTE, C. O'MATHUNA, HEATHER MURPHY, "SmartCoast: A Wireless Sensor Network for Water Quality Monitoring", 32nd IEEE Conference on Local Computer Networks:

http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4367920&tag=1

[k. Venkatasubramanian] K. Venkatasubramanian, G. Deng, T. Mukherjee, J. Quintero, V. Annamalai, and S. K. S. Gupta, "*A wireless sensor network based health monitoring infrastructure and testbed*":

http://www.seas.upenn.edu/~vkris/papers/Ayushman_Poster_CTI.pdf

[MDA100cb]“mda100cb Datasheets”:
http://bullseye.xbow.com:81/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MT_SMDA_Datasheet.pdf

[MEASUREMENT&CONTROL 2012]
<http://www.gemcs.com/pt/temperature/industrial-assemblies/turbidity-sensors.html>

[METTERLEDO2012] ORP Measurement in Pure Water:
http://us.mt.com/us/en/home/products/ProcessAnalytics/pH_family_browse/level_3_Thornton_pH-ORP-REDOX.html#

[MicaZ 2012]“Micaz DataSheet”:
http://bullseye.xbow.com:81/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MICAz_Datasheet.pdf

[MIB520 2012]“mib520 datasheet”:
http://bullseye.xbow.com:81/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MIB520_Datasheet.pdf

[MySQL 2012] <http://www.mysql.com/>

[M. ZENNARO 2008] M ZENNARO, BJORN PEHRSON. Wireless Sensor Networks: a great opportunity for researchers in Developing Countries.
<http://users.ictp.it/~mzennaro/WSN4D.pdf>

[M.ZENNARO 2007] M ZENNARO, R.STRUZAK, S.M.RADICELLA “Rural Wireless Networking in Developing Countries”: ICTP contribution Wireless Rural and Emergency Communications Conference – WRECOM, Roma, Oct. 2007:
http://ictp.academia.edu/MarcoZennaro/Papers/851380/Rural_wireless_networking_in_developing_countries_ICTP_contribution

[nesC 2004] “A Programming Language for Deeply Networked Systems”:
<http://nesc.sourceforge.net/>

[nesC 2006] D. GAY, P.LEVIS, AND R. BEHREN “The nesC Language: A Holistic Approach to Networked Embedded Systems” :
www.cs.binghamton.edu/~kang/teaching/cs580s/nesc.ppt

[NETWORK TIME PROTOCOL 2012]
http://pt.wikipedia.org/wiki/Network_Time_Protocol

[PHP 2001-2012] “ Hypertext Preprocessor”:
<http://www.php.net/>

[PORTAL SAÚDE PÚBLICA] http://www.saudepublica.web.pt/06-SaudeAmbiental/ambiente_indice.htm

[STEVENS] “Stevens Water Monitoring Systems”:
http://www.stevenswater.com/water_quality_sensors/overview.aspx

[S. JORGE SÁ] S. JORGE SÁ, S. RICARDO , P. FILIPE, V. NATÁLIA "SOS Milagres".

[Sympathy 2005] Nithya Ramanathan, Kevin Chang, Rahul Kapur, Lewis Girod, Eddie Kohler, and Deborah Estrin, UCLA Center for Embedded Network Sensing: "Sympathy for the sensor network debugger":
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1098946>

[Tandre, arod, sasilva, boavida 2006] " Redes de Sensores Sem Fios, considerações sobre a sua instalação em ambiente real":
<http://cisuc.dei.uc.pt/lct/>

[TelosB 2012]"TelosB Datasheet":
http://bullseye.xbow.com:81/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/TelosB_Datasheet.pdf

[TinyOS 2003] "Tutorial": <http://www.tinyos.net/tinyos-1.x/doc/tutorial/>

[TinyOS 2006] DAVID GAY, PHILIP LEVIS, WEI HONG, JOE POLASTRE, AND GILMAN TOLLE: "Sensors and Sensor Boards":
<http://www.tinyos.net/tinyos-2.x/doc/html/tep109.html>

[WALTENEGUS DARGIE 2007], MARCO ZIMMERLING, "Wireless Sensor Networks in the Context of Developing Countries":
<http://www.tik.ee.ethz.ch/~marcoz/pubs/witfor07.pdf>

[WirelessHART 2012] <http://www.hartcomm.org/>

[Wireless Sensors for All] <http://www.ws4all.org/>

[XAMPP 2011] <http://www.apachefriends.org>

[ZigBee 2012] "ZigBee Alliance" :<http://www.zigbee.org>

[ZebraNet Project 2004] <http://www.princeton.edu/~mrm/zebranet.html>

Anexo A. – Pesquisa e estudo das ferramentas existentes no mercado

A nível de objectivos concretos definidos, a actividade de pesquisa e reunião de ferramentas, sejam elas *Software* ou *Hardware*, foi fulcral para o desenrolar do projecto.

Pretendeu-se nessa fase, encontrar ferramentas, sobretudo *Hardware*, referindo, concretamente aos sensores ou sondas, compatíveis com "motes" da *Crossbow*, que visavam implementar sistema de monitorização da qualidade da água.

Para localizar as referidas ferramentas, foi utilizado o principal motor de busca (www.google.com). Durante, e após as pesquisas foi efectuado o estudo das características de cada ferramenta com base nas informações presentes nos respectivos *sites* incluindo documentações disponíveis.

Sendo um dos objectivos deste projecto criar um sistema *Low Cost* baseada em rede de sensores sem fios, no mesmo sentido, é interessante identificar ferramentas, ainda, de baixo custo, para levar a cabo este projecto, uma vez que é destinado a países menos desenvolvidos, caso concreto da Guiné-Bissau, país onde se pretende realizar futuros testes.

A seguir, apresento as ferramentas até agora pesquisadas. As suas descrições serão baseadas nos seguintes critérios: compatibilidade com plataforma da *Crossbow*, preço, patente, país de manufactura e outros considerados interessantes:

Imagem:



Patente: Sensorex

Tipo de sensor/sonda: oxigénio dissolvido (DO)

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: Sim

Preço: não consta

URL: http://www.sensorex.com/products/more/lab_dissolved_oxygen_sensors

Imagem:



Patente: Sensorex

Tipo de sensor/sonda: Condutividade

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: Sim

Preço: não consta

URL: http://www.sensorex.com/products/more/lab_conductivity_sensors

Imagem:



Patente: Sensorex

Tipo de sensor/sonda: Potencial de Oxidação e Redução (ORP)

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: Sim

Preço: não consta

URL: http://www.sensorex.com/products/more/lab_orp_sensors

Imagem:



Patente: Sensorex

Tipo de sensor/sonda: pH

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: Sim

Preço: não consta

URL: http://www.sensorex.com/products/categories/category/lab_ph_sensors

Imagem:

3555_0 - ASR2803-3-1M-BNC ORP Lab Electrode



Patente: phidgets-Canadá

Tipo de sensor/sonda: Potencial de Oxidação e Redução (ORP)

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: sim

Preço: \$67.90/unidade

URL: http://www.phidgets.com/products.php?category=1&product_id=3555_0

Imagem:

3550_0 - ASP200-2-1M-BNC pH Lab Electrode



Patente: phidgets-Canadá

Tipo de sensor/sonda: pH

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: sim

Preço: \$24.25/unidade

URL: http://www.phidgets.com/products.php?category=1&product_id=3550_0

Imagem:



Patente: Lab Depot-USA

Tipo de sensor/sonda: pH

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: sim

Preço: \$75.60/preço promocional

URL: http://www.labdepotinc.com/Product_Details~id~811~pid~12684.aspx

Imagem:



Patente: hanna instruments-PT

Tipo de sensor/sonda: pH

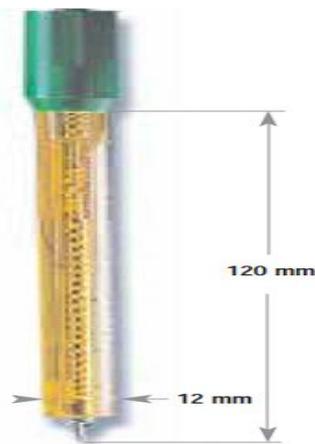
Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: uso geral

Preço: não consta

URL: <http://www.hannacom.pt/produtos.categoria.php?idCatVer=16>

Imagem:



Patente: hanna instruments-PT

Tipo de sensor/sonda: Potencial de Oxidação e Redução (ORP)

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: uso geral

Preço: 154,00 €+IVA

URL: <http://www.hannacom.pt/produtos.ver.php?idProd=412>

Imagem:



Patente: hanna instruments-PT

Tipo de sensor/sonda: Oxigénio Dissolvido

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: uso geral

Preço: 173,00 €+IVA

URL: www.hannacom.pt/produtos.ver.php?idProd=1934

Imagem:



Patente: hanna instruments-PT

Tipo de sensor/sonda: Sondas de Condutividade para Fluxo Contínuo

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: uso geral

Preço: 175,00 €+IVA

URL: <http://www.hannacom.pt/produtos.ver.php?idProd=899>

Imagem:



Patente: Global Água-PT

Tipo de sensor/sonda: Sonda por imersão para controlo de turvação

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: uso geral

Preço: ??

URL: http://www.globalagua.pt/cbx/s4_page701_158.htm

Imagem:



Patente: Global Água-PT

Tipo de sensor/sonda: sonda de temperatura

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: uso geral

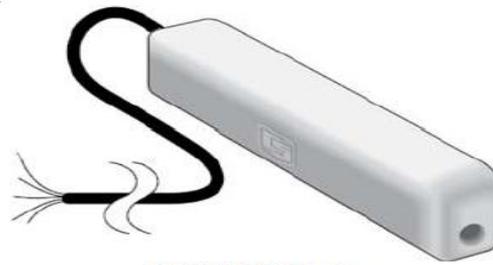
Preço: ??

URL: http://www.globalagua.pt/cbx/s4_page333_160.htm

Imagem:



A547 Interface



CS547A Probe

Patente: Campbell scientific

Tipo de sensor/sonda: temperatura e condutividade

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: não especificado

Preço: não consta

URL: <http://www.campbellsci.co.uk/index.cfm?id=235>

Imagem



Patente: Campbell scientific

Tipo de sensor/sonda: Oxigénio dissolvido (DO)

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: não especificado

Preço: não consta

URL: <http://www.campbellsci.co.uk/index.cfm?id=903>

Imagem



Patente: Campbell scientific

Tipo de sensor/sonda: pH e ORP(Oxidação de redução de potencial)

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: não especificado

Preço: não consta

URL: <http://www.campbellsci.co.uk/index.cfm?id=1146>

Imagem



Patente: Campbell scientific

Tipo de sensor/sonda: Turbidez

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: não especificado

Preço: não consta

URL: <http://www.campbellsci.co.uk/index.cfm?id=1235>

Quanto aos sites sugeridos na reunião promovida pelo Professor Sá Silva e Professor Alberto Cardoso, com a aluna de Doutorado em Engenharia Civil, Giovana, nomeadamente da LIBELIUM, MAXFOR,

ZOLERTIA E CROSSBOW, com o objectivo de encontrar soluções para o projecto.

Crossbow:

No site da Crossbow, não foram identificadas soluções para monitorizar a qualidade da água.

Zolertia:

A Zolertia tem a sua plataforma própria, designada "Z1", mas não especifica compatibilidades com quaisquer tipos de sondas para medir a qualidade da água, por outro lado, a companhia não produz sondas próprias. Os motes produzidos por Zolertia, Utilizam os Sistemas Operativos TinyOs e Contiki.

http://www.phidgets.com/products.php?category=1&product_id=3550_0

Libelium:

Existe um projecto similar na Universidade Politécnica de Valência (http://www.libelium.com/smart_water_cycle_monitoring_sensor_network/), que monitoriza o ciclo da água, mas não indicam tipos de sondas usadas nesse projecto.

A Libelium possui algumas plataformas, uma delas é o *Waspmote Proto Sensor Board*. Trata-se de uma placa de programação que se diz compatível com vários tipos de sensores, mais que 50, mas não indica se esses sensores podem ser de outros fabricantes.

Maxfor:

O sensor que identifiquei neste site não mede a qualidade de água.

Identifiquei placas de programação destacando a MTS-EM1000 com interface, talvez compatível com algum tipo de sonda. A Interface desta placa de programação, é do tipo RS-232 (9 pinos). Ou seja, caso haja alguma sonda com interface do mesmo tipo, facilitaria a tarefa de ligação electrónica. Essa placa utiliza o Sistema Operativo TinyOS para o seu funcionamento.

Existe um projecto similar para monitorizar a qualidade da água mas não especificam as sondas usadas.

Anexo **B**

Anexo B. – Selecção de sondas para concepção do protótipo

Tendo já a descrição do cenário e a pesquisa geral das ferramentas, procedi à selecção das sondas para medição de 5 parâmetros, que irão constituir o primeiro protótipo, No processo da selecção, pedi a ajuda através do e-mail (**Anexo D**), da aluna de Doutoramento em Engenharia Civil, na área de hidráulica, a Giovana, a qual aprovou as minhas escolhas, ainda fez sugestões no que diz respeito a alguns outros aspectos.

A seguir, ilustro as sondas seleccionadas, todas elas nacionais com o objectivo de facilitar e acelerar as suas aquisições.

Imagem: 1



Patente/distribuidora: [hanna instruments-PT](#)

URL: <http://www.hannacom.pt/produtos.ver.php?idProd=406>

Tipo de sensor/sonda: pH

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso recomendado: [Uso geral em laboratório](#)

Referência: [HI1615D](#)

Preço: [127,00 €+IVA](#)

Imagem: 2



Patente: [hanna instruments-PT](#)

URL: <http://www.hannacom.pt/produtos.ver.php?idProd=423>

Tipo de sensor/sonda: [Potencial de Oxidação e Redução \(ORP\)](#)

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso recomendado: Água Municipais, controle de qualidade

Referência: HI3230B

Preço: 137,00 €+IVA

Imagem: 3



Patente: hanna instruments-PT

URL: <http://www.hannacom.pt/produtos.ver.php?idProd=1934>

Tipo de sensor/sonda: Oxigénio Dissolvido

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: sem informação

Referencia: HI76409/4

Preço: 173,00 €+IVA

Imagem: 4



Patente: hanna instruments-PT

URL: <http://www.hannacom.pt/produtos.ver.php?idProd=899>

Tipo de sensor/sonda: Sondas de Condutividade para Fluxo Contínuo

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso laboratorial: uso geral

Referência: HI3001

Preço: 175,00 €+IVA

Imagem: 5



Patente: Global Água-PT

URL: http://www.globalagua.pt/cbx/s4_page701_158.htm

Tipo de sensor/sonda: Sonda por imersão para controlo de turvação

Compatibilidade Crossbow: não se verifica

Uso recomendado: controlo On / Off de turvação

Referência: CP1

Preço: não apresentado



Anexo C. – Troca de E-mail com a ZOLERTIA

Assunto: Re: information request

De: Antonio =?ISO-8859-1?Q?Li=F1=E1n?= "C." <alinan@zolertia.com>

Data: 10-04-2012 08:45 Banjai

Para: Jorge Sa Silva <sasilva@dei.uc.pt>

CC: sales@zolertia.com, Mussa Banjai <banjai@student.dei.uc.pt>, support <support@zolertia.com>

Hello Jorge,

Unfortunately we lack of this kind of solutions, but these sensors are known to work with the Z1 mote:

<http://webpages.charter.net/tdsmeter/>
http://www.phidgets.com/products.php?category=6&product_id=1130_0

Regards,

--Antonio.

On Tue, 2012-04-03 at 17:48 +0100, Jorge Sa Silva wrote:
Good afternoon,

Could you inform me if Zolertia has some solutions based on low-cost wireless sensor networks to monitor the quality of the water? We plan to build a testbed in our lab for research purposes. Could you inform me about technical details and prices for Portugal?

Best regards,
Jorge Sá; Silva

sasilva@dei.uc.pt
Department of Informatics Engineering
University of Coimbra, Portugal



Anexo D. – TROCA DE E-MAIL COM A MAXFOR

Assunto: Re: information request

De: Jorge Sa Silva <sasilva@dei.uc.pt>

Data: 10-04-2012 17:36 Banjai

Para: Sara Prior <sara.prior@advanticsys.com>

CC: Mussa Banjai <banjai@student.dei.uc.pt>

Dear Sara,

We are only implementing a small testbed in the context of a joint process with the Chemistry department. We are using TelosB motes and we want to measure basic parameters of the water like pH, conductivity and turbidity. Do you have any solution for this?

Regards,

Jorge Sá Silva

A 09/04/2012, às 08:32, Sara Prior escreveu:

Dear Jorge,

I'm contacting you regarding the mail below.

Firstly, I would like to thank you for your interest in our products.

Please, let me know more details about your testbed requirements: parameters to be measured, sensors requirements, data storage, etc in order to send you the requested information.

Have a nice day.

Best regards,

Sara

Sara Prior Peinado

R&D Engineer

ADVANTIC Sistemas y Servicios S.L.

Phone: +34 91 229 03 93

Fax: +34 91 229 13 67

[<2cctt80.png>](#)

Skype Id: sara_prior

Email: sara.prior@advanticsys.com

----- Mensaje original -----

Asunto: RE: information request

Fecha: Wed, 4 Apr 2012 13:07:15 +0900

De: Kim Young Jin <xyplan@maxfor.co.kr>

Para: 'Jorge Sa Silva' <sasilva@dei.uc.pt>

CC: Jose J. de las Heras <ijheras@advanticsys.com>, 'Sara Prior' <sara_prior@advanticsys.com>

Dear Jorge Sa Silva

Thank you very much for your concern about our WSN products.

Regarding your request, We, MAXFOR have EU reseller which is located in Spain.

The company is Advanticsys in Spain Madrid.

Maybe Mr. Jose or Ms. Sara will contact you.

Thank you very much!!

Best regards,

Kim

Kim Young Jin:<http://www.maxfor.co.kr>

Address : #2305, 23Floor, U-Tower, Heungduk KDB, 120, Heungdukjungang-ro, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, KOREA

Tel : +82-31- 627-2008, (FAX) +82-31- 212-0793, (MOBILE) +82-10-2324-4946

Email : xyplan@maxfor.co.kr, xyplanner@gmail.com

MSN : xyplan@hotmail.com

Skype : youngjin.Kim7

-----Original Message-----

From: Jorge Sa Silva [<mailto:sasilva@dei.uc.pt>]

Sent: Wednesday, April 04, 2012 1:46 AM

To: xyplan@maxfor.co.kr

Cc: Mussa Banjai

Subject: information request

Good afternoon,

Could you inform me if MAXFOR has some solutions based on low-cost wireless sensor networks to monitor the quality of the water?

We plan to build a testbed in our lab for research purposes. Could you

inform me about technical details and prices for Europe?

Best regards,

Jorge Sá Silva

sasilva@dei.uc.pt

Department of Informatics Engineering

University of Coimbra, Portugal



Anexo E. - TROCA DE E-MAIL COM A ALUNA DE DOUTORAMENTO

De: Giovana Almeida <giovana.almeida@gmail.com>

Assunto: Re: CONFIRMAÇÃO DE PARÂMETROS DA ÁGUA

Data: 4 de Abril de 2012 14h46min37s WEST

Para: Banjai <banjaib@gmail.com>

Cc: sasilva@dei.uc.pt

Boa tarde Banjai,

Confirmando que os parâmetros descritos abaixo são importantes para identificação da qualidade da água potável. Existem ainda outros parâmetros importantes, tais como: coliformes fecais e E-Coli, no entanto, estes são difíceis de se aferir por meio de sondas. Outros parâmetros como nitritos, cloro residual e amónia também são usuais em monitorização da água, se puderem ser incluídos seria óptimo. Para mim a condutividade, turvação, pH, cloro residual e amónia seria uma escolha ideal. No entanto, como a ideia é emitir um alerta, penso que os parâmetros escolhidos por Banjai atendem ao objectivo e, com o sistema de aquisição em funcionamento, adaptar as funcionalidades para aquisição de mais parâmetros não será uma grande dificuldade. Penso que agora vcs deveriam comprar uma sonda que atenda aos requisitos mínimos (CE, pH e turvação), pois, quanto maior o número de parâmetros mais cara e complicada é a sonda.

A CE tem uma boa correlação com os Sólidos totais (ST) e sólidos suspensos(SS), vide artigos que falam sobre este assunto: https://www.google.pt/search?source=iq&hl=pt-PT&rlz=1G1SVEC_PT-PTPT444&=&q=solidos+disssolvidos+atrav%C3%A9s+de+condutividade+electrica&oq=solidos+disssolvidos+atrav%C3%A9s+de+condutividade+electrica&aq=f&aql=&gs_l=google.3...1590114275101146231571571142101011311133113j111410.#hl=pt-PT&rlz=1G1SVEC_PT-PTPT444&sa=X&ei=-UV8T5S0IMiy0QW6uKi-DQ&sqi=2&ved=0CBoQvwUoAQ&q=solidos+dissolvidos+atrav%C3%A9s+de+condutividade+el%C3%A9trica&spell=1&fp=1&biw=1441&bih=621&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.r_cp.r_qf

[.cf.osb&cad=b](#). No entanto, essa relação é maior quanto maior for a turvação, por isso, ela é mais representativa em águas residuárias.

Seguem abaixo alguns links para contribuir com o conhecimento sobre este assunto: <http://www.epa.ie/downloads/pubs/water/drinking/privatewatersupplieshandbook/Section%203.pdf>

http://www.agsolve.com.br/suporte_dica.php?cod=5107

Espero ter ajudado. Bom trabalho e mande notícias.

Cumprimentos,

Giovana



Anexo F. – VAORES DOS PARÂMETROS FORNECIDOS PELA ALUNA DE DOUTORAMENTO



RESUMO PERIÓDICO
Divulgação dos resultados de acordo com o Decreto Lei n.º 306/07



LABORATÓRIO

Entidade Gestora: AC, Águas de Coimbra, E.M.
Zona de Abastecimento: Quinta das Cunhas

Período de Amostragem: 01-07-2011 a 30-09-2011

Amostra: Água Consumo Humano

Parâmetro	Exp. Resultados	Análises		Valor			Cumprimento legislação (%)
		Previstas	Realizadas (%)	Mínimo	Máximo	VP	
DL306/07 - ROTINA I							
Cloro Residual Disponível	mg/L Cl	1	100	0,27	0,27	—	—
Coliformes Totais	ufc/100 mL	1	100	0	0	0	100
Escherichia Coli	ufc/100 mL	1	100	0	0	0	100
DL306/07 - ROTINA II							
Azoto Amóniacal	mg/L NH4	1	100	< 0,15	< 0,15	0,50	100
Chelro	Factor diluição	1	100	< 1	< 1	3	100
Condutividade	µS/cm a 20°C	1	100	4,1E+02	4,1E+02	2500	100
Cor	mg/L Pt-Co	1	100	< 2,0	< 2,0	20	100
Manganes	µg/L Mn	1	100	< 10	< 10	50	100
Microorganismos 22°C	ufc/mL	1	100	0	0	SAA	100
Microorganismos 37°C	ufc/mL	1	100	0	0	SAA	100
Oxidabilidade	mg/L O2	1	100	< 1,0	< 1,0	5,0	100
Sabor	Factor diluição	1	100	< 1	< 1	3	100
Turvação	NTU	1	100	< 0,30	< 0,30	4	100
pH	Esc. Sorensen	1	100	7,8	7,8	6,5 - 9	100
DL306/07 - INSPEÇÃO							
Alumínio	µg/L Al	1	100	< 20	< 20	200	100
Chumbo	µg/L Pb	1	100	< 5	< 5	25	100
Clostridium Perfringens	ufc/100 mL	1	100	0	0	0	100
Cobre	mg/L Cu	1	100	< 0,010	< 0,010	2	100
Cálcio	mg/L Ca	1	100	61	61	—	—
Dureza Total	mg/L CaCO3	1	100	2,1E+02	2,1E+02	—	—
Enterococos	ufc/100 mL	1	100	0	0	0	100
Ferro	µg/L Fe	1	100	< 10	< 10	200	100
HAP Benzo(a)pireno	µg/L	1	100	< 0,002	< 0,002	0,010	100
HAP Benzo(b)fluoranteno	µg/L	1	100	< 0,005	< 0,005	—	—
HAP Benzo(g,h,i)perileno	µg/L	1	100	< 0,004	< 0,004	—	—
HAP Benzo(k)fluoranteno	µg/L	1	100	< 0,002	< 0,002	—	—
HAP Indeno(1,2,3-c,d)pireno	µg/L	1	100	< 0,004	< 0,004	—	—
HAP Total	µg/L	1	100	< 0,005	< 0,005	0,10	100
Magnésio	mg/L Mg	1	100	15	15	—	—
Níquel	µg/L Ni	1	100	< 5	< 5	20	100
Nitritos	mg/L NO2	1	100	< 0,10	< 0,10	0,5	100
THM Bromodiorometano	µg/L	1	100	< 3	< 3	—	—
THM Bromoformio	µg/L	1	100	< 3	< 3	—	—
THM Clorodiorometano	µg/L	1	100	3	3	—	—
THM Cloroformio	µg/L	1	100	3	3	—	—
THM Total	µg/L	1	100	6	6	100	100

Legenda: SAA - Sem Alteração Anormal
VP - Valor Paramétrico definido pela legislação em vigor (Dec. Lei 306/07)
<"X"> - O valor "X" é o Limite de Quantificação do método de ensaio.

11 de Novembro de 2011

A Responsável do Laboratório:

Fátima Coimbra
(Fátima Coimbra)

**** - Ensaio sub-contratado; Resultados referentes exclusivamente aos parâmetros ensaiados;
"n Ac" - Ensaio não acreditado; Só é permitida a reprodução integral deste Boletim Periódico.
"n Ac" e **** - Ensaio sub-contratado e não acreditado;

Estação Tratamento Águas Boavista .. Av. Dr. Luís Albuquerque, 3030-410 COIMBRA .. Tel: 239 980 935 .. Fax 239 980 949 .. Email. laboratorio@mondego.adp.pt

Pág. 1/1

Anexo G. – pH Electrode Datasheet

ANALOG

edgeSM

Designing with pH Electrodes

Application Note AN-1852

Jason Seitz, Applications Engineer

A pH electrode measures hydrogen ion (H⁺) activity and produces an electrical potential or voltage. The operation of the pH electrode is based on the principle that an electric potential develops when two liquids of different pH come into contact at opposite sides of a thin glass membrane. This was originally discovered in 1906 by Max Cremer¹. His discovery laid the foundation for Fritz Haber and Zygmunt Klemensiewicz, who published their findings in 1909, to create the first glass electrode which measured hydrogen activity². Today, modern pH electrodes use the same principles to measure pH in a variety of applications including water treatment, chemical processing, medical instrumentation, and environmental test systems.

The modern pH electrode is a combination electrode composed of two main parts, a glass electrode and a reference electrode as shown in *Figure 1*. pH is determined essentially by measuring the voltage difference between these two electrodes. At the tip of the electrode is the thin membrane which is a specific type of glass that is capable of ion exchange. It is this element that senses the hydrogen ion concentration of the test solution. The reference electrode potential is constant and is produced by the reference electrode internal element in contact with the reference-fill solution which is kept at a pH of seven.

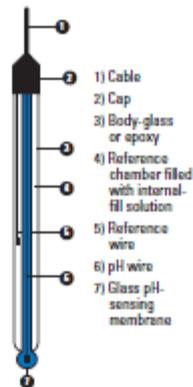


Figure 1. Typical pH Glass Electrode

pH Electrode Characteristics

When designing with a pH electrode, as with any sensor, it is important to understand the sensor characteristics and how they affect a specific application. These characteristics include whether the sensor is active or passive, unipolar or bipolar, and whether it has a voltage or current output. Sensor sensitivity, linearity, full scale range, and source impedance should also be considered.

The pH electrode is a passive sensor which means no excitation source (voltage or current) is required. Because the electrode's output can swing above and below the reference point, it is classified as a bipolar sensor. It produces a voltage output which is linearly dependent upon the pH of the solution being measured.

The source impedance of a pH electrode is very high because the thin glass bulb has a large resistance which is typically in the range of 10 MΩ to 1000 MΩ. This means that the electrode can only be monitored by a high-impedance measuring device.

The transfer function of the pH electrode is:

$$\text{pH}(X) = \text{pH}(S) + \frac{(E_S - E_X) F}{RT \ln(10)}$$

where

- pH(X) = pH of unknown solution(X)
- pH(S) = pH of standard solution = 7
- E_S = Electric potential at reference or standard electrode
- E_X = Electric potential at pH-measuring electrode
- F is the Faraday constant = 9.6485309⁹ 10⁴ C mol⁻¹,
- R is the universal gas constant = 8.314510 J K⁻¹ mol⁻¹
- T is the temperature in Kelvin

The transfer function in *Figures 2 and 3* shows that as the pH of the solution increases, the voltage produced by the pH-measuring electrode decreases.

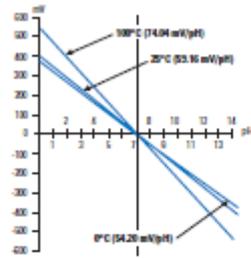


Figure 2. pH-Electrode Transfer Function

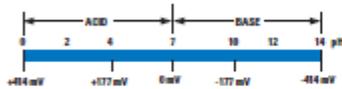


Figure 3. pH Scale

It is important to note that a pH electrode's sensitivity varies over temperature. Looking at the pH-electrode transfer function shows that the sensitivity linearly increases with temperature according to the following equation:

$$\frac{RT \ln(10)}{F} \quad \text{or} \quad 0.000198T \text{ V/pH}$$

This results in a sensor output full-scale range which is dependent on the temperature. For example at 25°C, electrode sensitivity is 59.16 mV/pH and the output of the electrode will swing from -7pH x -59.16 mV/pH = +414.12 mV (pH 0 strong acid) to +7 pH x -59.16 mV/pH = -414.12 mV (pH 14 strong base). However, if the measured solution temperature is increased to 100°C, the output will swing from -7pH x -74.04 mV/pH = +518.29 mV down to +7pH x -74.04 mV/pH = -518.29 mV. Due to this behavior, it is critical to know the temperature of the solution being measured and compensate the measurement accordingly.

An ideal electrode at 25°C will produce 0 mV when placed in a solution with a pH of seven. Of course real-world electrodes are not ideal and will have an actual reading which varies from 0 mV. This variation is called the electrode's offset error. As stated previously, the sensitivity of an ideal electrode at 25°C is 59.16 mV per pH unit. Any variation from this ideal value is specified as the electrode's span error. These errors will need to be accounted for through calibration if high system accuracy is required.

An Optimum pH-Electrode Circuit

The important sensor characteristics described need to be accounted for in order to design a circuit which will condition the sensor signal so that it can be faithfully utilized by other components (such as an ADC, microcontroller, etc.) along the signal path. First, because the pH electrode produces a bipolar signal and most applications operate on a single supply, the signal will have to be level shifted. Second, due to the high impedance of the electrode, a high-input impedance buffer will be required. Finally, the temperature of the measured solution must be known in order to compensate for the electrode's sensitivity variation over temperature.

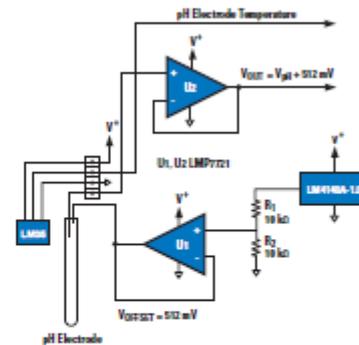


Figure 4. pH-Electrode Circuit

The circuit in *Figure 4* solves all three design challenges. Amplifier U1 offsets the pH electrode by 512 mV. This is achieved by using National's LM4140A-1.0 precision micro-power low-dropout voltage reference that produces an accurate 1.024V. That voltage is divided in half to equal 512 mV by the 10 kΩ resistor divider. The output of amplifier U1, which is set up in a unity-gain configuration, biases the reference electrode of the pH electrode with the same voltage, 512 mV, at low impedance. The pH-measuring electrode will produce a voltage which rides on top of this 512 mV bias voltage. In effect, the circuit shifts the bipolar pH-electrode signal to a unipolar signal for use in a single-supply system.

The second amplifier U2 is set up in a unity-gain configuration and buffers the output of the pH electrode. Again, a high-input impedance buffer between the pH electrode and the measurement instrument allows the circuit to interface with a greater variety of measurement instruments including those with lower input impedance. In most applications, the output voltage of the pH electrode is high enough to use without additional amplification. If amplification is required, this circuit can easily be modified by adding gain resistors to U2.

National's LM35 precision centigrade temperature sensor is added to the circuit to measure the temperature of the solution so that adjustments are made for the variance in sensitivity due to temperature. This will result in an accurate temperature-corrected pH measurement.

The circuit results in the transfer function:

$$V_{OUT} = V_{pH} + 512 \text{ mV}$$

For example, if room temperature (25°C) household ammonia (NH₃) which has a typical pH of 11.5 were measured, the voltage produced by the pH electrode would be -266 mV resulting in an output voltage of 246 mV.

Amplifier Selection

The specific design challenges of the pH electrode impose the need to select an amplifier which does not degrade the overall system performance. It is best to start with an understanding of what amplifier parameters contribute most to the voltage error in a pH-electrode application. The most significant parameter to consider is the amplifier's input-bias current. This is because even a small input-bias current can produce a large voltage error when injected into the very high impedance of a pH electrode.

That makes National's LMP7721 PowerWise® op amp, which is the industry's lowest guaranteed input-bias-current precision amplifier, a natural fit. The latest patent-pending technology of input-bias-current cancellation amplifier circuitry achieves a remarkably low input-bias-current of only 3 fA. This technology also maintains guaranteed specifications of 20 fA at room temperature and 900 fA at 85°C over the entire input common-mode voltage range of the amplifier.

With such a low input-bias current, any PCB parasitic-leakage current which reaches the input pins of the device could have a significant adverse effect on system accuracy. The LMP7721 amplifier minimizes this effect with a special pinout that isolates the amplifier's input from the power supply and output pins. As Figure 5 shows, this unique pinout makes it easy to guard the LMP7721 amplifier's input and achieve optimal system performance.

Other amplifier parameters which need to be considered are amplifier input-offset voltage and input-offset drift. In the pH-electrode circuit described above, any amplifier offset voltage is added to the pH

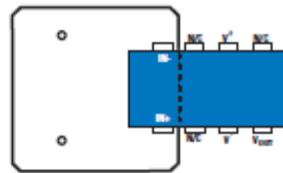


Figure 5. Circuit Board Guard Layout

sensor offset twofold. The level-shifting amplifier (U1) adds offset directly to the pH-reference electrode whose main function is to stay constant. On top of that, the buffer amplifier (U2) adds its individual offset voltage to the output of the pH-measuring electrode. These offsets will have a greater impact on the system if it is decided that amplifier gain is required. With low DC-offset voltage (150 µV maximum at 25°C) and low offset-voltage drift (1.5 µV/°C), the LMP7721 amplifier allows a designer to achieve the most accurate pH measurements.

As part of National's PowerWise products, the LMP7721 op amp provides the remarkably wide gain bandwidth product of 17 MHz while consuming only 1.3 mA of current. This wide gain bandwidth along with the high open loop gain of 120 dB enables accurate signal conditioning. With these specifications, the LMP7721 op amp has the performance to excel in pH-electrode circuits.

The pH electrode is a temperature-dependent bipolar sensor which has a very large source impedance. These design challenges are handled with level shifting and temperature compensation in a single-supply pH-electrode circuit. When deciding on an amplifier to use in this circuit, it is important to understand that using an amplifier with a low bias current is of utmost importance. Selecting an amplifier with ultra-low bias current such as National's PowerWise LMP7721 3 fA input-bias-current precision amplifier is the best choice. ■

To learn more about amplifiers, visit national.com/amplifiers

References:

- ¹ Cremer M (1906): *Z. Biol*, 47, 562
- ² Haber F and Z. Klemenstein (1909): *Z. Physik. Chem.*, 67, 385

National Semiconductor
2900 Semiconductor Drive
Santa Clara, CA 95051
1 800 272 9959

Mailing Address:
PO Box 58090
Santa Clara, CA 95052



© National Semiconductor Corporation, 2008. National Semiconductor, PowerWise, and Rocking Edge are registered trademarks and Rocking Edge is a service mark of National Semiconductor Corporation. All other brand or product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders.