

## **Sistema de Fusão de Sensores destinado ao monitoramento remoto de ambientes**

Rogério Esteves Salustiano  
Carlos Alberto dos Reis Filho

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/FEEC  
Caixa Postal 6101 – 13.083-852 - Campinas - SP, Brasil  
{rsalusti, carlos\_reis}@lpm.fee.unicamp.br

**Abstract.** The use of more than one sensor to monitor an environment is a common practice nowadays. Different kinds of sensors need to be integrated in a system in order to obtain some characteristic of the environment and possibly act in it. A system capable to receive, process and store data sent by the sensors was developed to monitor some remote environments controlled by different users. The system is based in Internet communication and it can apply algorithms to fuse data from remote sensors or simply collect and display the data in Internet browsers in the format of tables or graph.

**Palavras-chave:** sensor fusion, remote environmental monitoring, remote monitoring systems, fusão de sensores, monitoramento ambiental remoto, sistemas de monitoramento remoto.

### **1. Introdução**

Com o aumento no número de sensores desenvolvidos e produzidos industrialmente e a ampliação da utilização dos mesmos em diversos contextos visando o monitoramento ou controle de ambientes, a existência de uma plataforma suficientemente flexível para realizar o recebimento, o processamento e o armazenamento de dados de diferentes naturezas (imagens, sons, números, etc.) torna-se algo imprescindível.

O processo de combinação dos dados provindos de múltiplos sensores de mesma natureza ou de naturezas diferentes é denominado **Fusão de Sensores** (*Sensor Fusion*). Seu principal objetivo é fornecer aos sistemas dados de maior qualidade, permitindo assim reduzir as falhas nos processos decisórios, segundo Luo (1995).

As técnicas de Fusão de Sensores podem ser utilizadas em uma grande variedade de aplicações. Determinação da trajetória de robôs, reconhecimento de alvos, sensoriamento remoto, monitoramento ambiental, controle de tráfego, diagnóstico médico e navegação aérea são alguns exemplos.

Este trabalho resume as características e o funcionamento de um sistema computacional que permite o monitoramento de ambientes utilizando mecanismos de Fusão de Sensores.

O sistema desenvolvido permite a manipulação de dados de naturezas diversas e fornece uma estrutura de programação que facilita a incorporação de diferentes algoritmos que realizam a Fusão de Sensores. Todo o processo de recebimento dos dados produzidos e enviados pelos sensores, configuração e visualização dos resultados é realizado através da Internet.

Trata-se, portanto, de um sistema que só pode ser aplicado em monitoramentos que não dependam de uma resposta instantânea (*real-time*), visto que está sujeito aos atrasos de comunicação da rede Internet.

### **2. Descrição do Sistema de Monitoramento Remoto de Ambientes**

O modo mais simples e prático para se realizar o monitoramento de um ambiente é a utilização de um programa de computador dedicado que realiza comunicações periódicas com um servidor que recebe, processa e armazena os dados dos sensores empregados no

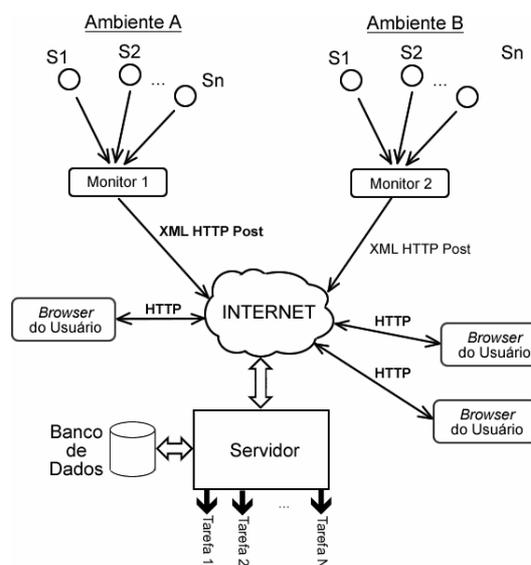
monitoramento. Desse modo, diversos usuários podem monitorar o mesmo ambiente e diversos ambientes podem ser cadastrados de forma independente no servidor.

Contudo, a necessidade de instalação do software dedicado torna-se inviável em algumas máquinas onde o usuário não possui permissões administrativas e ainda torna-se uma tarefa penosa se o usuário necessita realizar o acesso aos dados em diferentes localidades.

A utilização de navegadores de Internet (*browsers*) resolve esse problema, apesar de possuírem pouca memória, uma interface limitada e restrições de comunicação.

O sistema desenvolvido realiza a fusão dos dados de forma centralizada e a interface de monitoramento e configuração do sistema foi toda implementada em páginas HTML (*HyperText Markup Language*), facilitando o acesso de usuários cadastrados no sistema em qualquer local onde haja disponibilidade de acesso à Internet. Mecanismos de realimentação, isto é, formas de envio de avisos ou comandos para entidades (humanas ou máquinas) capazes de atuar no ambiente sensoriado foram implementados no sistema e podem ser configurados de acordo com a necessidade de cada ambiente.

A **Figura 1** ilustra o Sistema de Monitoramento Remoto de Ambientes. Cada ambiente possui um monitor que é identificado por um número único e está conectado com a Internet (através de um PC, por exemplo). Cada monitor pode ter diversos sensores (S1, S2, ..., Sn) que são denominados canais no sistema.



**Figura 1 – Arquitetura do Sistema de Monitoramento Remoto de Ambientes.**

Os monitores são responsáveis por organizar os dados dos canais em um documento XML (*eXtensible Markup Language*) que é enviado para o Servidor através da Internet. As regras do XML estão especificadas no DTD (*Document Type Definition*) da **Figura 2**, assim como um exemplo de XML. Os campos DATA e HORA não são obrigatórios (como na **Figura 2b**) e, caso não sejam enviados pelo monitor, o servidor considerará a data e hora de chegada do documento XML no servidor.

Como cada dado originado pelos sensores é diferente: pode ser um número (decimal, binário, hexadecimal, etc.), uma imagem (arquivo BMP, JPG, etc.) ou um arquivo de áudio (WAV, por exemplo), há a necessidade de adaptar os dados para que eles se tornem textos (caracteres imprimíveis) para poderem ser transmitidos através de um documento XML.

Quando se tratar de um número ou de uma cadeia alfa-numérica, não há necessidade de transformar os dados. Em caso de arquivos binários como imagens, sons ou outros tipos de

conteúdo que possuam caracteres não imprimíveis, deve-se utilizar o artifício de transformar os dados binários para Base 64, permitindo assim que eles sejam incorporados ao documento XML.

```

(a)
<!ELEMENT LEITURA (MONITOR, DATA, HORA, CANAL*)>
<!ELEMENT MONITOR (#PCDATA)>
<!ELEMENT DATA (#PCDATA)>
<!ELEMENT HORA (#PCDATA)>
<!ELEMENT CANAL (ID_CANAL, VALOR)>
<!ELEMENT ID_CANAL (#PCDATA)>
<!ELEMENT VALOR (#PCDATA)>

(b)
<?xml version="1.0"?>
<!DOCTYPE LEITURA SYSTEM "leitura.dtd">
<LEITURA>
  <MONITOR> 6 </MONITOR>
  <DATA></DATA>
  <HORA></HORA>
  <CANAL>
    <ID_CANAL> 1 </ID_CANAL>
    <VALOR> 32.656 </VALOR>
  </CANAL>
  <CANAL>
    <ID_CANAL> 3 </ID_CANAL>
    <VALOR> 32.637 </VALOR>
  </CANAL>
</LEITURA>

```

Figura 2 – (a) Especificação DTD para envio de dados ao Servidor. (b) Exemplo de um XML utilizando o arquivo “leitura.dtd” como fonte da especificação DTD.

Quando o Servidor recebe um XML, ele verifica se o documento é válido (respeita a gramática especificada pelo DTD) e retorna uma resposta (recebimento correto ou erro) para o monitor que originou o envio dos dados. Em seguida, os dados do XML entram em uma fila de processamento que executará as funções programadas para os dados de cada canal (sensor) do monitor. A Figura 3 ilustra de forma detalhada o fluxo de dados e as etapas de processamento do servidor.

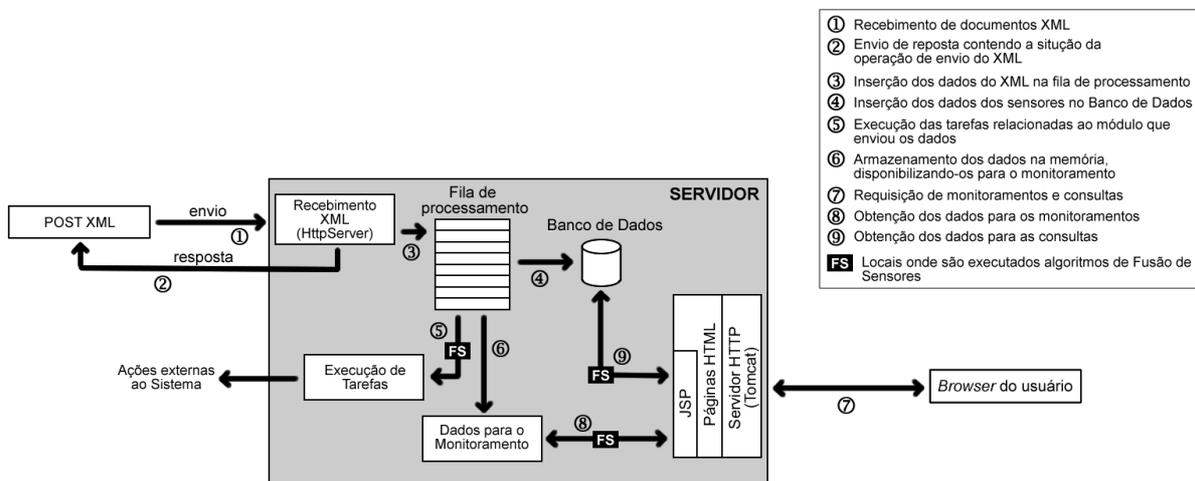


Figura 3 – Fluxo de dados e etapas de processamento do servidor.

Após o processamento (detalhado na seção 3), os dados são disponibilizados para os usuários que estão executando o monitoramento, para a realização de consultas posteriores (arquivamento dos dados no Banco de Dados) e são executadas as tarefas pertinentes à programação de cada monitor.

O Servidor foi implementado utilizando a linguagem Java e o Apache Tomcat foi servidor de Internet utilizado. As páginas dinâmicas foram desenvolvidas com a tecnologia JSP (*Java Server Pages*) e o Banco de Dados do sistema é o MySQL.

### 3. Configuração, monitoramento e consulta

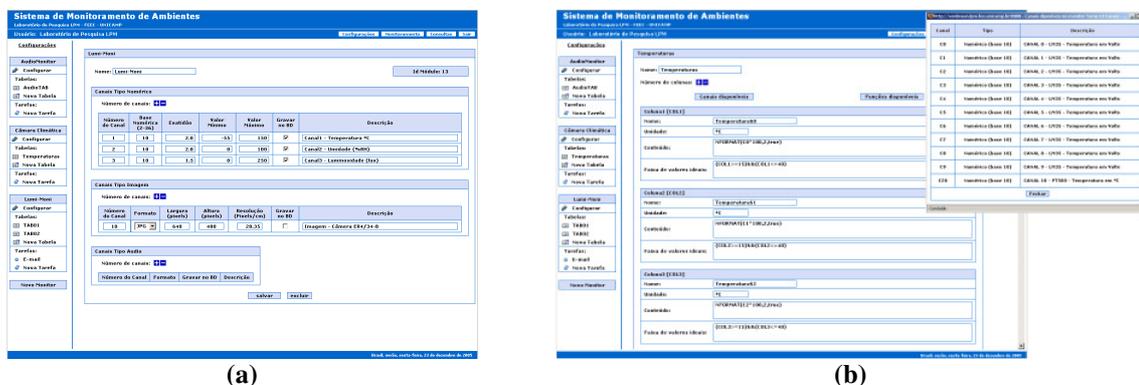
Toda configuração dos monitores e do processamento de cada canal ou conjunto de canais é realizada através da Internet utilizando um *browser*. Cada usuário pode ter um ou mais monitores cadastrados no sistema. Após o cadastro do monitor, deverá ser especificada a quantidade de sensores (canais) de cada monitor assim como a natureza do dado enviado por cada canal. A **Figura 4a** ilustra a interface de cadastro dos monitores e dos canais.

Uma vez que todos os monitores e canais estão cadastrados deve-se cadastrar uma ou mais tabelas para cada monitor. Nessas tabelas são fornecidas ao sistema as formas com que os dados recebidos dos canais serão processados e/ou combinados. A **Figura 4b** ilustra a interface HTML de configuração das tabelas.

Para cada coluna da tabela são cadastrados o nome da coluna, a unidade, o conteúdo e a faixa de valores ideais para o conteúdo daquela coluna. O conteúdo da coluna nada mais é do que o processamento dos dados dos canais. Tal processamento é inserido no sistema da mesma forma que em uma planilha eletrônica, referenciando o valor dos canais como  $C0$ ,  $C1$ ,  $C2$ , ...,  $Cn$  de acordo com o cadastramento dos canais (como no detalhe da **Figura 4b**).

As funções disponíveis para a fusão dos dados ou simplesmente para exibição dos dados em algum formato específico podem ser programadas no sistema e disponibilizadas para o usuário. Qualquer processamento (uma simples função seno,  $SEN(C0*0.1)$ , ou um processamento complexo de uma ou mais imagens,  $COMPRGB(C1,C2,C3)$ ) pode ser programado no sistema.

A faixa de valores ideais indica quando o resultado do processamento pertence a uma faixa de valores aceitáveis. Esse recurso é útil no monitoramento, visto que células da tabela que estejam fora da faixa de valores ideais são exibidas em destaque.



**Figura 4 – (a) Exemplo de interface de configuração de Monitores. (b) Exemplo de interface de configuração de tabelas.**

Essas tabelas serão as bases do monitoramento e da consulta. De forma semelhante, tarefas podem ser cadastradas no sistema, como o envio de um e-mail ou o disparo de um alarme toda vez que uma condição específica de um canal se estabelecer.

A consulta e o monitoramento possuem interfaces semelhantes, baseando-se nas tabelas já programadas e podendo-se selecionar a visualização dos dados na forma de tabela (como fora cadastrada) ou na forma de gráfico. A diferença entre a consulta e o monitoramento é que na interface da consulta o usuário fornece o intervalo (data/hora inicial e final) para a consulta dos dados e na interface de monitoramento o usuário determina a quantidade de dados que serão acumulados na janela do *browser* para a visualização. O usuário também tem a opção de exportar os dados na forma de uma planilha eletrônica (formato XLS).

A Figura 5 mostra a consulta de um monitor através de uma tabela e de um gráfico. No caso da opção monitoramento, as tabelas e os gráficos são atualizados conforme o intervalo de atualização selecionado pelo usuário.

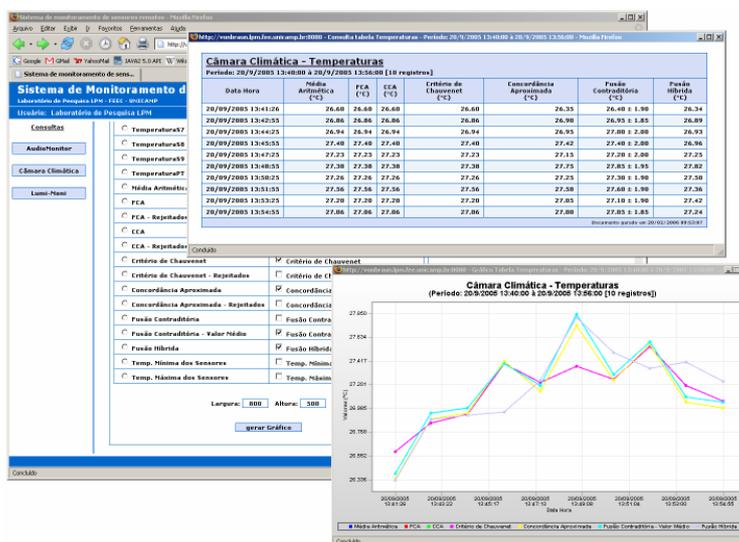


Figura 5 – Consultas de dados de um monitor: na forma de tabela ou de gráfico.

#### 4. Aplicação experimental

Com o objetivo de testar o Sistema de Monitoramento Remoto de Ambientes, uma das montagens experimentais realizadas constou da instalação de quatro sensores de naturezas diferentes (temperatura, umidade, luminosidade e imagem), ao redor de uma planta da espécie *Schefflera arboricola* com o objetivo de verificar o conforto térmico da planta e calcular a percentagem ocupada pelas manchas de um de seus ramos como possível forma de detecção de contaminação por fungos (Figura 6).

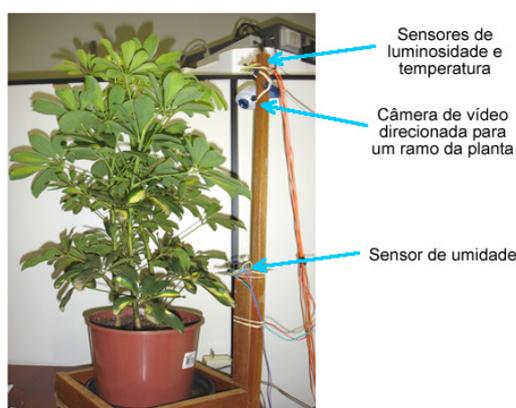


Figura 6 – Arranjos de sensores utilizados no monitoramento de uma planta.

Os parâmetros ideais de temperatura, umidade e luminosidade para o cultivo da planta *Schefflera arboricola* ainda não foram determinados experimentalmente. Considerou-se que a temperatura ideal de cultivo estaria entre 18 e 20°C e umidade relativa ideal entre 75 e 80 %RH. A luminosidade adequada para a planta estaria entre 20.000 e 50.000 lux.

As manchas típicas das folhas da *Schefflera arboricola* foram consideradas para a análise de um possível ataque por fungos nas folhas de plantas. Nesta espécie vegetal as manchas não caracterizam fungos, mas podem ser utilizadas como um teste de aplicação do Sistema de Monitoramento Remoto na detecção de fungos em folhas de outras espécies vegetais.

O emprego dos sensores de umidade e luminosidade no monitoramento foi realizado de forma direta, analisando se seus valores estão dentro das faixas de valores ideais. O sensor de temperatura foi utilizando aplicando-se uma lógica Fuzzy que determina que se a temperatura estiver entre 18 e 20°C ela está “adequada” e abaixo de 13 e acima de 25, “inadequada”.

Juntamente com a análise isolada da temperatura e umidade, calculou-se um dos índices de conforto térmico que leva em consideração apenas a umidade a temperatura, sem a necessidade da velocidade do ar, segundo Conforto Térmico (2005). Esse índice revela uma temperatura mais refinada, levando em consideração a umidade ambiente.

O sensor de luminosidade também foi utilizado como auxílio na regulação da intensidade luminosa da imagem registrada pela câmera de vídeo. Foram aplicados dois filtros à imagem: o primeiro, denominado Filtro Gamma, fez a correção do brilho da imagem de acordo com a intensidade luminosa registrada pelo sensor de luminosidade; o segundo, Filtro Lookup, realizou uma re-coloração da imagem convertendo-a de preto e branco para tons de verde. Em seguida, pode-se determinar a quantidade de *pixels* da imagem que apresentavam tonalidades de verde entre 200 e 250 (padrão RGB, com cada componente da cor variando entre 0 a 255), correspondente, aproximadamente, à tonalidade das manchas.

A análise final, ou seja, o diagnóstico da planta, foi realizado unindo as condições de luminosidade (pouca, muita ou boa), temperatura (adequada ou inadequada), umidade (baixa, alta, adequada), presença ou ausência de fungos e o índice de conforto térmico. Se a luminosidade estiver abaixo de 20.000 lux, ela é considerada “pouca”; se estiver acima de 50.000 lux, “muita”; e entre 20.000 e 50.000 lux, ela é considerada “boa”. Temperaturas com resultado da lógica Fuzzy maiores de 0,5 (ou seja,  $15,5 \leq T \leq 22,5$ ) são consideradas “adequadas” e se menores que este valor são “inadequadas”. A umidade é considerada “baixa”, se ela estiver abaixo de 70%RH, “alta” se estiver acima de 80%RH e “adequada” se estiver entre esses dois valores.

O resultado do monitoramento está na **Figura 7**.

Cheflera - Cheflera-TAB01										
Imagem e Campos (L) registradas										
Data Hora	Temperatura (°C)	Umidade (RH%)	Luminosidade (Lux)	Índice de Conforto Térmico (°C)	Imagem	Correção Luminosidade	Filtro Lookup Verde	Área Verde (px)	Temperatura Ajustada (°C)	Diagnóstico
26/12/2005 15:09:18	25,00 ± 2,00	41,01	28,36	23,99				8,8	23,99	Planta em ambiente com pouca luminosidade, temperatura inadequada e umidade baixa. Presença de fungos. Índice de conforto térmico de 23,99°C
26/12/2005 15:09:53	25,00 ± 2,00	41,01	89,91	24,61				15,9	24,61	Planta em ambiente com pouca luminosidade, temperatura inadequada e umidade baixa. Presença de fungos. Índice de conforto térmico de 24,61°C
26/12/2005 15:08:47	25,00 ± 2,00	41,00	148,80	24,61				31,8	24,61	Planta em ambiente com pouca luminosidade, temperatura inadequada e umidade baixa. Presença de fungos. Índice de conforto térmico de 24,61°C
26/12/2005 15:09:30	25,00 ± 2,00	41,00	171,80	24,61				31,7	24,61	Planta em ambiente com pouca luminosidade, temperatura inadequada e umidade baixa. Presença de fungos. Índice de conforto térmico de 24,61°C
26/12/2005 15:08:17	25,00 ± 2,00	41,01	228,53	24,61				31,8	24,61	Planta em ambiente com pouca luminosidade, temperatura inadequada e umidade baixa. Presença de fungos. Índice de conforto térmico de 24,61°C

**Figura 7 – Resultado de um monitoramento remoto das condições ambientais de uma planta.**

## 5. Conclusões

O sistema implementado para Monitoramento Remoto de Ambientes apresentou resultados satisfatórios dentro do que se espera em um ambiente computacional que depende da Internet. Apesar do atraso provocado pela comunicação, monitoramentos que não precisem de uma resposta instantânea podem se beneficiar do sistema desenvolvido.

O sistema pode ser utilizado tanto para realizar uma análise de um ambiente, extraíndo informações e verificando o seu comportamento, como para realizar o controle de ambientes dos quais se conhece a priori o comportamento e a dependência das variáveis sensorizadas.

O envio de documentos XML mostrou-se extremamente prático na organização dos dados e facilmente implementável nos monitores.

## Agradecimento

A participação de Ricardo Pureza Coimbra (LPM/FEEC/UNICAMP) foi fundamental na execução do experimento com a *Schefflera arboricola*. Seu auxílio na montagem dos circuitos e calibração dos sensores foi indispensável para a concretização dos testes e validação do Sistema de Monitoramento Remoto de Ambientes.

## Referências

Apache Tomcat Project Home Page. The Apache Software Foundation. Disponível em: <<http://tomcat.apache.org/>>. Acesso em: 15 nov. 2005.

Conforto Térmico. Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.master.iag.usp.br/conforto/index.html>>. Acesso em: 15 dez. 2005.

Java Technology Home Page. Sun Microsystems. Disponível em: <<http://java.sun.com/>>. Acesso em: 5 out. 2005.

Java Server Pages (JSP) Technology Home Page. Sun Microsystems. Disponível em: <<http://java.sun.com/products/jsp/>>. Acesso em: 10 out. 2005.

Luo, Ren C.; Kay, Michael G. **Multisensor Integration and Fusion for Intelligent Machines and Systems**. Norwood: Ablex Publishing Corporation, 1995. 688 p.

MySQL Database Home Page. Disponível em: <<http://www.mysql.com/>>. Acesso em: 2 out. 2005.

Salustiano, R. E. **Aplicação de Técnicas de Fusão de Sensores no Monitoramento de Ambientes**. 2006. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2006.

World Wide Web Consortium. Extensible Markup Language (XML). Disponível em: <<http://www.w3.org/XML/>>. Acesso em: 10 nov. 2005.

World Wide Web Consortium. Document Object Model (XML). Disponível em: <<http://www.w3.org/XML/>>. Acesso em: 10 nov. 2005.