

Qualidade de Informação de Sensores para Gerenciamento de Situações: um estudo de caso em monitoramento térmico

Allan F. F. Amaral¹, Matheus O. Jagi¹, José Gonçalves Pereira Filho², Silvana Rossetto³, João L. R. Moreira⁴

¹Laboratório de Informática Aplicada – Instituto Federal do Espírito Santo (IFES)
Colatina, ES – Brasil

²Departamento de Informática – Programa de Pós-Graduação em Informática
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) - Vitória, ES – Brasil

³Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ) – Rio de Janeiro, RJ – Brasil

⁴Faculty of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science (EMACS)
University of Twente – Enschede, The Netherlands

allanf@ifes.edu.br, jagi.matheus@gmail.com, zegonc@inf.ufes.br,
silvana@dcc.ufrj.br, j.luizrebelomoreira@utwente.nl

Abstract. *Ubiquitous and pervasive computing enables context-sensitive monitoring applications to use sensor networks as data sources, thereby linking the physical world to the information world. Before being consumed, the data collected needs to be evaluated for their quality dimensions. With these metadata, applications can decide to discard or use the data to detect situations of interest, which may vary over time and according to the domain of each application. In this article, we present an architecture for WSN-based monitoring applications that introduces integrated support for quality of information (QoI) and management of situations. The validation of this architecture is described with a case study in thermal monitoring domain.*

Resumo. *A computação ubíqua e pervasiva permite que aplicações de monitoramento sensíveis ao contexto utilizem redes de sensores como fontes de dados, acoplando o mundo físico ao mundo da informação. Antes de serem consumidos, a qualidade dos dados coletados precisa ser avaliada. Com base nessa avaliação, a aplicação pode decidir pelo descarte ou uso dos dados para a detecção de situações de interesse, as quais podem variar ao longo do tempo e de acordo com o domínio da aplicação. Neste artigo, apresentamos uma arquitetura para aplicações de monitoramento com suporte integrado à qualidade da informação e gestão de situações de interesse. A validação dessa arquitetura é descrita com estudo de caso em monitoramento térmico.*

1. Introdução

O progresso de tecnologias de computação ubíqua e pervasiva oferece um cenário propício para a criação de aplicações que promovem novas formas de diálogo entre o mundo virtual e o mundo físico (Miorandí *et al.*, 2012). Essas tecnologias incluem a miniaturização de dispositivos eletrônicos baseados em sistemas micro eletromecânicos, com capacidades integradas de sensoriamento, processamento e comunicação sem fio,

os quais podem ser embarcados em praticamente qualquer objeto (ou “coisa”) do cotidiano. A Internet das Coisas (*IoT – Internet of Things*) vislumbra um cenário onde milhões desses objetos são interconectados e dinamicamente integrados à Internet, compondo uma visão que alguns autores vem comparando a uma imensa pele digital (“digital skin”) (Al-Fuqaha *et al*, 2015). Os desafios para o desenvolvimento de infraestruturas de suporte para IoT, entretanto, englobam questões que vão além da tradicional economia de recursos das Redes de Sensores sem Fio (RSSF) e adaptação de protocolos. Duas questões são especialmente relevantes: o controle da qualidade dos dados coletados e a gerência das situações de interesse das aplicações.

A primeira questão revela-se particularmente complexa, pois decisões autônomas tomadas por máquinas baseadas em dados imprecisos dos sensores e/ou em informações equivocadas geradas nos sistemas de informação a partir dos dados sensoreados, podem ter um impacto significativo nos processos de tomada de decisão e levar a consequências incalculáveis para pessoas, ambientes e negócios. Isso é especialmente crítico quando bases de dados com valores errôneos podem ser compartilhadas por serviços e aplicações, em diferentes domínios, amplificando o problema. Neste sentido, o uso de teorias e estudos sobre *Quality of Information (QoI)* (Sachidananda *et al.*, 2010) assume grande relevância na pesquisa em RSSF e IoT (Bisdikian *et al* 2013). Por exemplo, a criação de abordagens baseadas em métodos estatísticos para avaliar a relevância e a confiabilidade dos dados coletados pelos nós sensores pode ser bem útil para as infraestruturas de RSSF e, particularmente, para o universo de IoT, onde as soluções devem promover confiabilidade em ambientes caracterizados pela alta heterogeneidade de hardware.

A segunda questão está relacionada à definição e detecção das situações de interesse em aplicações sensíveis ao contexto (Dey, 2001) (Baldauf *et al*, 2007). As situações definidas pelas aplicações revelam um estado particular de interesse e servem de apoio para o especialista do domínio. Por exemplo, no monitoramento térmico de equipamentos de uma rede de frios, o aumento da temperatura de uma entidade seguido do aumento da temperatura de seu equipamento evaporador pode indicar estados relevantes como degelo ou histerese. Inferir a ocorrência das situações de interesse é, portanto, um aspecto essencial ao processo de tomada de decisão e uma funcionalidade desejável nas infraestruturas de suporte à RSSF. Do mesmo modo, a funcionalidade de gerência de situações é também de particular interesse para a IoT, tendo em vista a variedade e a quantidade de potenciais situações de interesse, dada a diversidade e a abundância de fontes contextuais proporcionada pelos dispositivos de IoT.

A partir de um problema real de monitoramento térmico em uma rede de frios, este trabalho propõe uma infraestrutura baseada em RSSFs com suporte integrado à QoI e situações contextuais. A reunião destas duas importantes funcionalidades é ainda pouco explorada pelas arquiteturas correntes de RSSF/IoT e constitui o diferencial da infraestrutura concebida. A possibilidade de economia de energia dos nós da rede é um benefício adicional da proposta.

Este artigo está assim estruturado: a Seção 2 introduz os fundamentos da pesquisa desenvolvida e alguns trabalhos correlatos. A Seção 3 descreve o cenário de aplicação usado no estudo de caso para ilustrar, na prática, os benefícios do suporte integrado à QoI e gestão de situações. A arquitetura da solução é apresentada na Seção IV. A Seção V reporta um experimento de validação da arquitetura com base nos dados

coletados no cenário escolhido. A Seção VI conclui o artigo e aponta perspectivas futuras para a pesquisa iniciada neste trabalho.

2. Fundamentos e Trabalhos Relacionados

As Redes de Sensores sem Fio (RSSFs) são provedoras de dados obtidos a partir do sensoriamento de grandezas físicas, como temperatura, luminosidade e ruído. Essas informações podem ser usadas por uma aplicação específica (projetada com a RSSF) ou por aplicações distintas sem que necessariamente se conheça a priori essas aplicações e suas finalidades. Como discutido em (Bisdikian *et al*, 2013), a capacidade da RSSF desempenhar bem a sua tarefa de coletar e prover informações de grandezas físicas está relacionada com os atributos de Qualidade da Informação (QoI) e quão bem os valores dessas propriedades suprem as demandas das aplicações finais. QoI pode ser definida como um conjunto de características ou atributos inatos da informação através dos quais é possível fazer julgamentos sobre a adequação do uso e utilidade dessa informação para um determinado propósito (Bisdikian *et al*, 2013).

Os dados coletados por um sensor podem não refletir exatamente o valor real da grandeza física mensurada devido à imprecisão do próprio dispositivo ou às interferências do meio (e.g., presença de ruídos). Associar ao dado sensorizado propriedades de QoI permite que as aplicações finais avaliem o valor/significado desse dado para as finalidades da aplicação. A imprecisão das medidas, por exemplo, é uma característica que, dependendo da aplicação, pode ser compensada com algum tipo de processamento estatístico. Quando RSSFs são usadas como fontes de dados para aplicações distintas, os atributos de QoI ganham maior relevância, uma vez que os mesmos dados poderão ser usados em circunstâncias diferentes (Su, 2013).

A escolha de atributos para representar QoI deve ser determinada de acordo com sua relevância para aplicações que usam a RSSF como fonte de dados. Sachidananda *et al* (Sachidananda *et al*, 2010) destacam a importância de atributos como precisão, pontualidade e reusabilidade dos dados. Guo *et al* (Guo *et al*, 2015) propõem um framework para dinamicamente admitir QoI em aplicações de RSSF com foco em precisão e pontualidade dos dados coletados. Trabalhos como (Fawzy *et al*, 2013) (Zhang *et al*, 2010) e (Abid *et al*, 2014) abordam QoI com base na análise do conjunto de dados produzidos pelos nós da RSSF. Isto é feito por meio de técnicas estatísticas, mineração de dados, inteligência artificial, aprendizado de máquina ou teoria da informação. O termo comumente usado por essas técnicas é *outlier* (ou anomalia), o qual consiste de uma observação ou um subconjunto de observações que parece ser inconsistente com as demais. Nas RSSFs, testes estatísticos podem ser aplicados para detectar *outliers*, uma vez que possuem baixa complexidade computacional e resultados matemáticos justificáveis (Zhang *et al*, 2010). Dentre os testes mais comuns destacam-se o teste de Dixon, Chauvenet e Grubbs (Oliveira, 2008), além do teste dos Quartis (NISHA *et al*, 2014). Os valores anômalos normalmente são associados a valores dispersos caracterizados como erros aleatórios, os quais devem ser minimizados para que as informações geradas, p. ex., a média dos valores lidos por um subconjunto de sensores, não fique distorcida (Oliveira, 2008). Zhou *et al* (Zhou *et al*, 2015) utilizam algoritmos para verificar a confiabilidade do dado fornecido pelos sensores e, a partir dessa avaliação, identificar e reconstruir dados anormais coletados em ambientes de larga escala.

Uma série de trabalhos exploram QoI em aplicações sensíveis ao contexto (também chamadas de aplicações sensíveis às situações). Essas aplicações geralmente implementam um mecanismo de identificação de situações pré-determinadas para endereçar os requisitos dos usuários. Uma situação pode ser entendida como um estado particular da realidade de interesse de uma aplicação (Costa *et al.*, 2016). Por exemplo, no monitoramento da temperatura de redes de frio, o tipo de situação “refrigerador em degelo” é fundamental para o controle de qualidade dos produtos. Uma aplicação sensível às situações requer, em tempo de projeto, suporte para especificar os tipos de situação e para implementar um mecanismo de identificação de situações. Em tempo de execução (“*runtime*”), a aplicação deve processar (detectar e manter) dados contextuais relacionados aos tipos de situação (Moreira *et al.*, 2015).

Para abordar o primeiro requisito, a estratégia de especificação deve considerar a reificação do conceito “tipo de situação”, estabelecendo regras sobre os valores das propriedades e relacionamentos entre os elementos percebidos no contexto, assim como suas propriedades temporais. Para endereçar o segundo requisito, sistemas baseados em regras podem ser utilizados (Pereira *et al.*, 2013), pois abordam a captura, armazenamento, distribuição e raciocínio do conhecimento. O conhecimento é representado como conjuntos de regras repetidamente aplicadas a um conjunto de fatos armazenados na memória de trabalho do sistema. Esses fatos representam um determinado estado observado no mundo real, ou seja, a interpretação dos dados de contexto.

Alguns sistemas baseados em regras também oferecem suporte ao processamento de eventos complexos (CEP), possibilitando a execução de regras temporais específicas, como relações temporais de Allen e ocorrência de eventos em determinadas janelas de tempo. *Drools* (www.drools.org) é um exemplo de um sistema baseado em regras que fornece capacidades complexas de processamento de eventos para relacioná-los através de construções temporais com operadores Allen. As funcionalidades do *Drools* foram exploradas por (Pereira *et al.*, 2013) e (Costa *et al.*, 2016), para propor o SCENE, uma plataforma aberta baseada na teoria da ciência de situação, e que permite a implementação de situações e o seu processamento em tempo de execução. A plataforma SCENE estende o *Drools Rule Language (DRL)* adicionando atributos de metadados que especificam os tipos de situações e as participações de contexto. O SCENE suporta a implementação de tipos de situação, assim como a implantação, detecção e controle de ciclo de vida de situações em *runtime*, oferecendo as funcionalidades de gestão de situações requeridas pela arquitetura conceitual proposta neste trabalho.

3. Cenário de aplicação: monitoramento térmico de uma rede de frios

Atualmente, devido à crescente cobrança de normas e padrões de órgãos públicos e de consumidores, as empresas ligadas à cadeia de comercialização de alimentos têm buscado nas ferramentas tecnológicas auxílio para atender as exigências legais e garantir a qualidade de seus produtos. Um dos maiores problemas deste cenário é a perda ou degradação dos produtos pela inexistência ou falha de um monitoramento constante da temperatura. Espera-se, então, que o funcionamento dos equipamentos de refrigeração seja monitorado com certa frequência e a possível ocorrência de eventos de alerta de falhas de operação seja detectada e expressa em intervalos de tempo aceitáveis.

Ambientes com estas características normalmente geram uma grande quantidade de dados, variando de acordo com o intervalo de medições requerido. Em princípio, todas as amostras coletadas pelos sensores devem ser consideradas (pois podem apontar uma variação no funcionamento do equipamento), mas nem todas serão relevantes para a aplicação alvo por não apresentarem alterações significativas. Nesse caso, pode-se economizar recursos de hardware evitando o encaminhamento desnecessário desse dado até a aplicação final. Por outro lado, ainda que o dado seja relevante para a aplicação, é necessário considerar que ele pode ser resultado de um erro de medição, o que pode levar o sistema a desencadear alertas falsos ou deixar de emitir um alerta quando o equipamento de fato apresenta falha. Em ambos os casos, verificar a qualidade da informação coletada torna-se um requisito da aplicação, o que pode ser feito avaliando-se atributos como a relevância e a exatidão dos dados coletados. Essa avaliação pode empregar técnicas estatísticas dentro da própria rede de sensores (permitindo economia na transmissão de dados), quanto na aplicação (permitindo economia de processamento dentro da rede e maior independência entre a aplicação e a rede de sensores).

As temperaturas dos equipamentos oscilam por causa do seu ciclo de funcionamento, como congelamento, degelo, etc., ou por causas externas, como desligamento, funcionamento irregular, etc. Esses eventos podem representar situações de interesse para o usuário final ou para um sistema de controle automático do ambiente. A partir da notificação desses eventos é possível tomar as medidas cabíveis em tempo hábil. A Figura 1(a) ilustra o cenário de aplicação descrito acima.

4. Arquitetura Proposta

Algumas infraestruturas de IoT reportadas na literatura exibem arquiteturas conceituais complexas para atender diferentes visões da IoT (indústria, governo, academia, comércio, entretenimento, etc.). Ao contrário destas, a arquitetura proposta neste trabalho segue um modelo básico de IoT (Al-Fuqaha *et al*, 2015). Este modelo, via de regra, apresenta na sua base uma camada de baixo nível de abstração, onde são abordadas preocupações tecnológicas e, no topo desta, dois ou mais níveis com recursos, conceitos e funcionalidades voltadas à transformação, armazenamento e comunicação dos dados provenientes da camada tecnológica, bem como à produção de informação mais abstrata para atender aos requisitos de serviços, aplicações e processos de negócios usuários da arquitetura.

Diferentemente das arquiteturas investigadas, a infraestrutura aqui proposta incorpora ao modelo básico uma camada transversal de gerenciamento, dotada de recursos para gerência da qualidade da informação coletada de redes de sensores e dispositivos de IoT e das situações contextuais de interesse das aplicações. Esta característica de suporte integrado a QoI e Situações é ainda pouco explorada e constitui o foco principal da infraestrutura desenvolvida.

Na nossa proposta, ilustrada na Figura 1(b), um módulo de gerenciamento integrado de QoI e Situações está acoplado transversalmente numa arquitetura básica de quatro camadas sobrepostas, de forma que os elementos das camadas mais baixas suportam a operação das camadas mais altas. A camada de *Infraestrutura* se localiza no nível mais baixo da arquitetura onde está fisicamente a RSSF. Nesse nível, o desenvolvedor define os protocolos de comunicação entre os sensores e o código que executará em cada sensor para coletar dados e enviá-los até a estação base (ou roteador

de borda) da rede. A camada de *Dados* é responsável por armazenar os dados das leituras e outros metadados coletados pela RSSF (e.g., identificador do sensor, nível de bateria do nó, etc.), permitindo manter um histórico das medições realizadas e do funcionamento da rede. Dependendo da solução projetada, os dados coletados podem ser armazenados em mais de uma base de dados, usando banco de dados relacionais ou de triplas RDF. A camada de *Serviços* visa fornecer uma representação padrão dos dados coletados para atender aos interesses das aplicações finais. Esta representação é baseada no conceito de *Web Services (WS)*. Alguns serviços têm foco no domínio da aplicação, por exemplo, a temperatura média da entidade monitorada; outros são voltados à infraestrutura de monitoramento, por exemplo, quais entidades estão sendo monitoradas. A camada de *Aplicação* está localizada no topo da arquitetura.

Posicionada transversalmente na arquitetura, a camada *Gerenciamento* provê mecanismos que permitem gerenciar elementos de outras camadas. É nesta camada que são definidos os módulos que implementam a funcionalidade de gestão integrada de QoI e de Situações. O módulo de *Gerenciamento de QoI* tem duplo papel na arquitetura. Na camada de *Infraestrutura* é o responsável por avaliar a relevância do valor obtido pelo sensor para o domínio ao qual é aplicado; na camada de *Dados* seu papel é realizar avaliações sobre os dados recebidos pelos sensores e inferir (por exemplo, através de métodos estatísticos) a confiabilidade desses dados. O módulo de *Gerenciamento de Situações* tem suas preocupações voltadas à sensibilidade ao contexto. O gerenciamento de situações pode implicar, por exemplo, na geração de notificações para as aplicações finais, cabendo a estas fazer as intervenções ou tomar as ações necessárias.

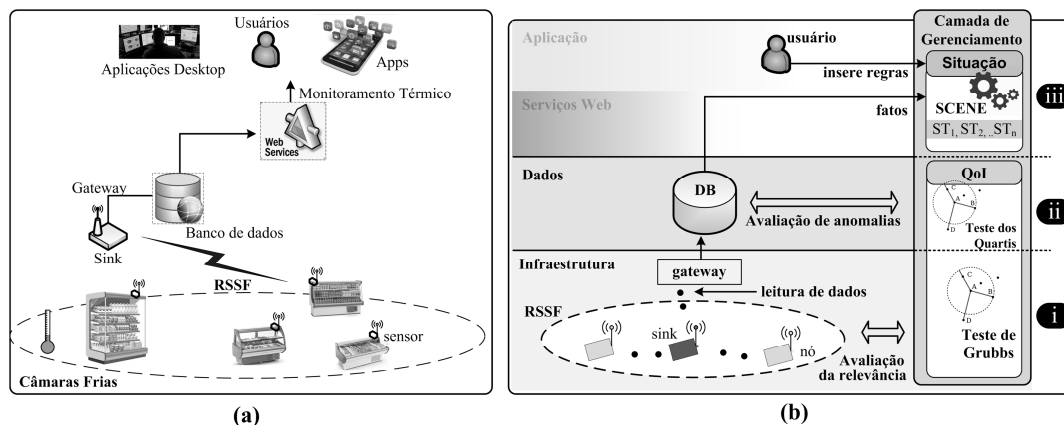


Figura 1. (a) Cenário de aplicação. (b) Arquitetura conceitual instanciada

5. Experimento de instanciação e avaliação da arquitetura proposta

Usamos o cenário de aplicação descrito na Seção 3 para instanciar e avaliar a arquitetura conceitual proposta. A Figura 1(b) ilustra essa instanciação. O gerenciamento de QoI é baseado em testes de valores extremos (*outliers*). Na camada de *Infraestrutura*, a relevância do valor obtido pelo sensor de temperatura é avaliada por meio de um algoritmo estatístico baseado no *Teste de Grubbs* (Figura 1(b)(i)) e utiliza como parâmetro o cálculo do nível de significância sobre os valores das temperaturas coletadas. Caso o último valor lido ultrapasse o índice crítico comparado aos valores previamente coletados, o dado é transmitido pelo nó sensor e armazenado na base de

dados. Assim, recursos da RSSF, como energia e banda, são economizados, uma vez que apenas dados relevantes serão transmitidos para uso pela aplicação. Na camada de *Dados*, o módulo de QoI realiza avaliações sobre a confiabilidade dos dados entregues pela RSSF (Figura 1(b)(ii)). Essa avaliação utiliza um algoritmo estatístico baseado no teste dos *Quartis*, que realiza a avaliação de um dado perante um subconjunto de dados previamente lidos e divididos em quatro partes. Dessa forma, os valores que pertencerem ao subconjunto dos dados que são maiores ou menores do que determinada amplitude (valor configurável) serão marcados como valores anômalos ou inválidos.

A gerência de situações é suportada pela plataforma SCENE (Pereira *et al.*, 2013) (Costa *et al.*, 2016) (Figura 1(b)(iii)). Os *Situation Types* (STs) especificados no SCENE revelam estados particulares de interesse e servem de apoio para o especialista do domínio. Por exemplo, no cenário de rede de frios, o aumento da temperatura da entidade seguido do aumento da temperatura de seu equipamento evaporador pode indicar alguns estados de interesse (degelo, histerese, etc). Uma vez que os ciclos de funcionamento das entidades monitoradas são dinâmicos, o gerenciamento do ciclo de vida da situação se mostra fundamental, pois é possível identificar os momentos em que as situações são ativadas ou desativadas. Observa-se, ainda, que a estratégia de ciclo de vida da situação empregada no SCENE se beneficia de um recurso do *Drools* chamado *Truth Maintenance System (TMS)*, que garante automaticamente a integridade lógica dos fatos que são inseridos na memória de trabalho.

5.1 Implantação do experimento

Os experimentos foram realizados em cinco câmaras frias nas quais foram acoplados, externamente, nós MEMSIC IRIS e, internamente, sonda de temperatura. Em 100 horas de testes, aproximadamente 5500 amostras foram coletadas e transmitidas para um nó *sink* MIB520. Levando em consideração a funcionalidade proposta pelo gerenciamento de QoI na camada de *Infraestrutura* e as demandas do cenário, a aplicação embarcada nos sensores tem os seguintes comportamentos: (i) observa dados obtidos pelo sensor de temperatura em intervalos de 120s; e (ii) avalia a relevância do dado atual considerando as três últimas leituras. Na visão do especialista do domínio, uma leitura a cada 120 segundos é suficiente para atender aos propósitos do monitoramento das câmaras frias.

Na camada de *Infraestrutura*, o algoritmo estatístico avalia a relevância dos dados coletados. Após testes empíricos nas bases de dados previamente coletadas, o índice de 90% da tabela do *teste de Grubbs* referente às três últimas amostras ($n=3$) lidas pelo sensor se mostrou como o mais adequado. Na camada de *Dados*, o algoritmo baseado no teste dos *Quartis* avalia se o dado coletado pertence ao subconjunto de dados previamente lidos, uma vez que o algoritmo dos nós sensores não detectam dados anômalos. Para isso, o algoritmo leva em consideração a normalização dos dados, que garante equidade temporal das leituras transmitidas pelos nós sensores. Com isso, é possível avaliar o mesmo subconjunto de dados observados pelos sensores em busca de *outliers*. O processo de avaliação utiliza a base de dados normalizada e aplica um algoritmo estatístico em busca de valores extremos, isto é, o objetivo é detectar aqueles que não pertencem ao subconjunto da amostra.

5.2 Avaliação do experimento

A Tabela 1 resume os principais resultados dos algoritmos de QoI aplicados em três bases de dados reais de câmaras frias. Na camada de *Infraestrutura*, os *outliers*

representam o total de pacotes relevantes transmitidos. Os resultados mostrados na tabela apontam uma economia de até 50% de transmissões de pacotes na rede se comparados com as amostras coletadas.

Tabela 1. Resultados do algoritmo de QoI nas Camadas de Infraestrutura e de Dados

| Coleta de dados | | <i>Camada de Infraestrutura</i> | | <i>Camada de Dados</i> | |
|-----------------|----------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------|
| Câmara | Amostras | Outliers | Economia de Transmissões | Valores Anômalos Detectados | Falsos Positivos |
| A | 1269 | 635 | ~50% | ~94% | 0,79% |
| B | 1279 | 740 | ~41% | 100% | 0% |
| C | 1331 | 797 | ~40% | ~97% | 0,47% |

Na camada de *Dados*, o algoritmo baseado no teste dos *Quartis* avalia se o dado coletado é anômalo ou não. A fim de verificar o comportamento do algoritmo na presença de valores anômalos, ~2% dos valores da base de dados foram substituídos aleatoriamente por valores irregulares. Estes valores foram inseridos no subconjunto de dados testados de tal forma que se distanciam se confrontados com os demais. Como parâmetro, o distanciamento utilizado nos testes leva em consideração *outliers* extremos no intervalo de sete amostras. Os resultados mostrados na Tabela 1 indicam a porcentagem de valores anômalos detectados e falsos positivos. Os resultados mostram que, aproximadamente, 97% de dados anômalos são detectados e que o número de falsos positivos totaliza, em média, 0,42% do total de amostras.

Já no caso do gerenciamento de situações, é possível verificar o comportamento das entidades monitoradas através das *Situation Types (STs)* desenvolvidas no SCENE para o cenário de aplicação. Três STs foram implementadas: *IncreasingValue* (ST1), *DecreasingAfterIncreasing* (ST2) e *DecreasingValue* (ST3). Na Figura 2(a) é possível observar o gráfico do ciclo de funcionamento de uma entidade monitorada.

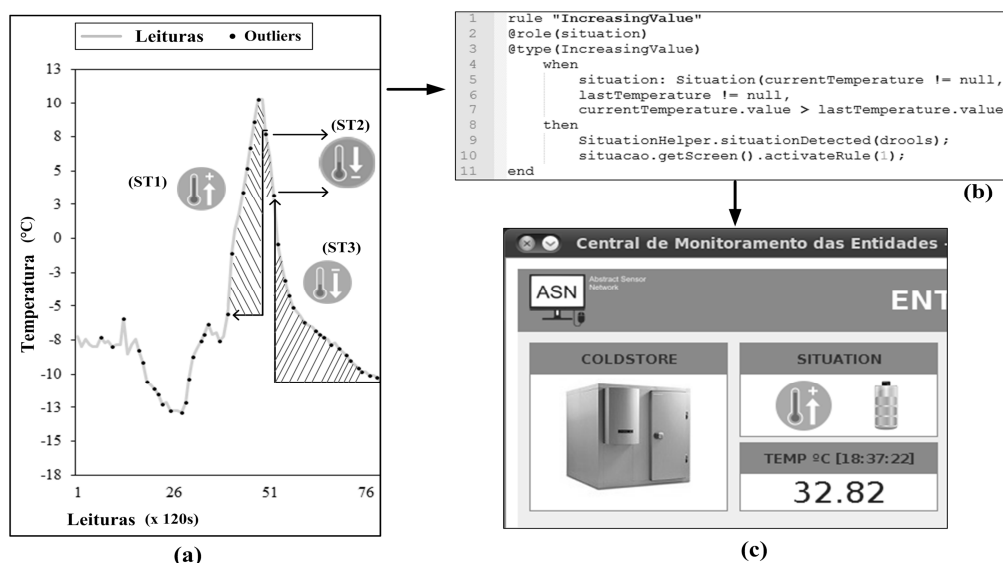


Figura 2. Fluxo das STs desenvolvidas. (a) Gráfico dos ciclos do cenário. (b) Definição da ST "IncreasingValue". (c) Interface da aplicação cliente.

A linha contínua (*Leituras*) indica todas as leituras dos valores das temperaturas coletadas pelo sensor posicionado na entidade. Os pontos pretos nesta linha são os *outliers* da RSSF e representam os valores relevantes. Ainda na Figura 2(a), os STs *IncreasingValue* (ST1), *DecreasingAfterIncreasing* (ST2) e *DecreasingValue* (ST3) utilizam os valores relevantes para detectar as situações conforme as regras estabelecidas. A implementação da ST *IncreasingValue* é mostrada na Figura 2(b) como exemplo.

Com a finalidade de acompanhar os resultados dos ciclos das STs desenvolvidas para o cenário, uma aplicação Java implementa as funcionalidades de controle de atividades das câmaras e, adicionalmente, o monitoramento da situação da matriz energética dos nós da RSSF. A Figura 2(c) ilustra um fragmento da interface da aplicação desenvolvida e demonstra os resultados do monitoramento de uma entidade teste. No fragmento da interface disponibilizada é possível observar que o resultado da execução da ST1 *IncreasingValue*, de acordo com a Figura 2(b) linha 10, é a ativação da regra na qual um ícone ilustrativo é plotado na tela como forma de notificar ou alertar o usuário de que a situação de aumento da temperatura está ocorrendo.

6. Conclusões

Este trabalho apresentou uma proposta de arquitetura conceitual para o desenvolvimento de aplicações de RSSF/IoT com foco na integração entre Qualidade da Informação e Detecção de Situações. Uma instanciação dessa arquitetura foi concebida para implementar uma aplicação de monitoramento da temperatura de alimentos resfriados/congelados. Algoritmos estatísticos foram utilizados na instanciação da arquitetura contribuindo de duas formas: filtrando apenas os dados relevantes para a aplicação alvo e avaliando a confiabilidade do dado coletado. No estudo de caso realizado, a avaliação de relevância dos dados coletados pelos sensores representou uma redução de até 50% de transmissão de pacotes na rede, economizando recursos da infraestrutura, como banda e energia. Trabalhos futuros incluem explorar outros indicadores de QoI além daqueles que foram abordados nesta proposta, assim como novas abordagens para avaliação dos dados, como a comparação de dados obtidos de outros sensores sob as mesmas condições. Questões como a reputação dos sensores também podem ser explorados em novos trabalhos, informando ao usuário ou aplicação qual é o grau de confiança que determinado sensor possui. Por último, a experiência deste trabalho nos leva a acreditar que a arquitetura pode se adequar em outros domínios, por exemplo, na agricultura de precisão, na qual esta proposta está sendo testada para coletar e avaliar dados e situações da umidade do solo com o objetivo de monitorar o ambiente e automatizar os sistemas de irrigação.

Referências

- AL-FUQAHA, A. *et al.* Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, 17(4):2347–2376, 2015.
- ABID, A.; KACHOURI, A.; MAHFOUDHI, A. Anomaly Detection in WSN: critical study with new vision. *International Conference on Automation, Control, Engineering and Computer Science (ACECS'14) Proceedings*, p. 1–9, 2014.

- BALDAUF, M.; DUSTDAR, S.; ROSENBERG, F. A survey on context-aware systems. *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, v. 2, n. 4, p. 263, 2007.
- BISDIKIAN, C.; KAPLAN, L. M.; SRIVASTAVA, M. B. On the Quality and Value of Information in Sensor Networks. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, v. 9, n. 4, p. 1–26, 2013.
- COSTA, P. D. *et al.* Rule-Based Support for Situation Management. *In*: ROGOVA, G.; SCOTT, P. (Eds.). *Fusion Methodologies in Crisis Management*. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 341–364.
- DEY, A. K. Understanding and using context. *Personal and Ubiquitous Computing*, v. 5, n. 1, p. 4–7, 2001.
- FAWZY, A.; MOKHTAR, H. M. O.; HEGAZY, O. Outliers Detection and Classification in Wireless Sensor Networks. *Egyptian Informatics Journal*, v. 14, n. 2, p. 157–164, 2013.
- GUO, H. *et al.* A Flexible Framework for Assessing the Quality of Information in Wireless Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, v. 2015, p. 1–15, 2015.
- MIORANDI, D. *et al.* Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, v. 10, n. 7, p. 1497–1516, 2012.
- MOREIRA, J. L. R. *et al.* Ontology-driven Conceptual Modeling for Early Warning Systems : Redesigning the Situation Modeling Language. n. *Modelsward*, p. 467–477, 2015.
- NISHA, U. B. *et al.* Statistical Based Outlier Detection in Data Aggregation for Wireless Sensor Networks. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, v. 59, n. 3, p. 770–780, 2014.
- OLIVEIRA, E. C. DE. Comparação das diferentes técnicas para a exclusão de “outliers”. *Metrologia*, 2008.
- PEREIRA, I. S. A.; COSTA, P. D.; ALMEIDA, J. P. A. A rule-based platform for situation management. *IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSIMA)*. Anais. IEEE, fev. 2013.
- SACHIDANANDA, V. *et al.* Quality of Information in Wireless Sensor Networks : A Survey. *Proceedings of the 15th International Conference on Information Quality (ICIQ-2010)*, v. 1, p. 1–15, 2010.
- SU, L. *Resource Efficient Information Integration In Cyber-Physical Systems*. [s.l.] Universidade de Illinois, Urbana-Champaign, 2013.
- YANG ZHANG; MERATNIA, N.; HAVINGA, P. Outlier Detection Techniques for Wireless Sensor Networks: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 12, n. 2, p. 159–170, 2010.
- ZHOU, P. *et al.* Wireless sensor network based monitoring system for a large-scale indoor space: Data process and supply air allocation optimization. *Energy and Buildings*, v. 103, p. 365–374, 2015.