

## 04

# Avaliação da *Confiança* no *Funcionamento* de Sistemas de Detecção e Alerta de Quedas

Andressa B. Ferreira<sup>1</sup>

Leonardo S. Piva<sup>2</sup>

Reinaldo B. Braga<sup>3</sup>

Rossana M. C. Andrade<sup>4</sup>

**Abstract.** *Systems in the area of fall detection and warnings are becoming increasingly popular. However, a high precision on the service provided is necessary, so that the user can accept and trust the system. Therefore, it is important that the system is able to identify normal behavior (i.e., sitting, lying down) and abnormal (i.e., falling), without any loss. Looking to contribute to the achievement of that trust, this paper presents a set of software quality measurements for the evaluation of the confidence of fall detection and warning systems. The measurements are collected by an Android system and the results obtained are presented and analyzed.*

**Resumo.** *Sistemas na área de detecção e alerta de quedas estão se tornando cada vez mais populares. Entretanto, é necessária uma alta precisão no serviço provido pelo sistema para que o usuário possa aceitá-lo e confiar no seu funcionamento. Para tanto, é importante que o sistema seja capaz de identificar comportamentos normais (i.e., sentar, deitar) e anormais (i.e., queda), sem causar qualquer prejuízo ou dano. Buscando contribuir para o alcance dessa confiança, este trabalho apresenta um conjunto de medidas de qualidade de software para a avaliação da confiança no funcionamento em sistemas de detecção e alerta de quedas. As medidas são coletadas em um sistema Android e os resultados obtidos são apresentados e analisados.*

1. Universidade Federal do Ceará (UFC), CEP 60455-900 – Fortaleza – CE – Brasil; Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat), CEP 60455-900 – Fortaleza – CE – Brasil; Bolsista de mestrado financiada pela Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico

2. Universidad Miguel Hernandez, Alicante – Spain; e-mail: leonardopiva@gmail.com

3. Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat), CEP 60455-900 – Fortaleza – CE – Brasil; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

CEP 62800-000 – Aracati – CE – Brasil.

4. Universidade Federal do Ceará (UFC), CEP 60455-900 – Fortaleza – CE – Brasil; 2Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat), CEP 60455-900 – Fortaleza – CE – Brasil; Bolsista do CNPq de Produtividade DT 2 (número do processo 314021/2009-4); e-mail: rossana@great.ufc.br

## 1 Contextualização

Segundo Abrantes et al. (2013), as quedas em idosos representam um grave problema de saúde pública, devido a fragilidade física de pessoas com mais de 65 anos. Além disso, dados apontam que a população mundial de pessoas com idade superior a 65 anos tem a expectativa de dobrar de 375 milhões em 1990 para 761 milhões em 2025 (JER VUI et al., 2013). Com o intuito de auxiliar a vida de pessoas com esse perfil, muitas soluções técnicas têm sido estudadas e desenvolvidas para detectar e alertar quedas.

Os métodos de detecção são normalmente divididos em três tipos (DOUGHTY et al., 2000): dispositivos vestíveis (*wearables*), dispositivos presentes no ambiente e aplicativos para dispositivos móveis (e.g., *smartphones*). Apesar da existência de diferenças consideráveis entre os métodos existentes, as soluções têm evoluído ao longo dos anos, buscando diminuir o custo de aquisição do sistema e aumentar a autonomia no processo de detecção e alerta de quedas (DIRACO et al., 2010).

A autonomia desses sistemas pode ser proporcionada por meio da sensibilidade ao contexto (DOUGHTY et al., 2000). Segundo Dey e Abowd (1999), um sistema é dito sensível ao contexto quando utiliza informações que caracterizam a situação atual do usuário para prover serviços relevantes.

Com o uso de informações contextuais, o usuário não precisa necessariamente realizar operações diretas (ex.: clicar em um botão para indicar que houve uma queda) para que o sistema forneça o serviço esperado (SANTOS et al., 2013). Entretanto, delegar o monitoramento de pessoas que necessitam de cuidados especiais a um sistema de *software* é uma ação que requer confiança no funcionamento (*dependability*<sup>5</sup>) do sistema.

Uma das possíveis técnicas para a avaliação da confiança no funcionamento de um sistema é a realização de medições. Uma medição consiste no processo contínuo de definição, coleta e análise de dados sobre o processo de desenvolvimento de software e seus produtos, fornecendo informações significativas com o objetivo de melhorá-los (ISO 25010). O resultado da medição é chamado de medida (ISO/IEC 9126).

Como apoio à atividade de avaliação da qualidade em sistemas de detecção e alerta de quedas, o objetivo deste trabalho é propor um conjunto de medidas de qualidade de software para a avaliação da *Confiança no Funcionamento*. Além disso, como prova de conceito, são apresentados os resultados obtidos com a coleta dessas medidas em um sistema *Android* para detecção e alerta de quedas.

Espera-se, com este trabalho, poder auxiliar a identificação de quais possíveis atributos de qualidade estão impactando a confiança do usuário no funcionamento do sistema e impulsionar melhorias que possibilitem o aumento da aceitação e utilização desse tipo de sistema.

Na seção 2 são apresentadas diversas técnicas encontradas na literatura com o propósito de detectar e alertar quedas, a seção 3 introduz as medidas de qualidade que podem ser utilizadas para a avaliação dos sistemas apresentados, as seções 4 e 5 apresentam um sistema *Android* para detecção e alerta de quedas e a sua respectiva avaliação com as medidas propostas. Por fim, a seção 6 apresenta a conclusão e os trabalhos futuros.

Este trabalho é uma extensão do artigo “Avaliação da Confiança no Funcionamento de Sistemas de Detecção e Alerta de Quedas” aceito e apresentado no VII Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva, realizado no ano de 2015, na cidade de Recife-PE, como parte do Congresso da Sociedade Brasileira de Computação 2015. Como adição ao trabalho original, esse artigo apresenta novos resultados na Seção 6 e a validação dos novos resultados na Seção 7. Além de, conseqüentemente, novas conclusões na Seção 8.

## 2 Técnicas Existentes para Detecção e Alerta de Quedas

Como mencionado anteriormente, é possível encontrar diversas soluções para o problema de detecção e alerta de quedas. De acordo com Doughty et al. (2000), a maior diferença entre os vários mecanismos existentes está nos sensores envolvidos no processo de detecção. Segundo Chen e Chang (2006), quanto menos intrusivo for o conjunto de sensores utilizados, mais promissora é a solução.

As soluções para dispositivo móvel (JER-VUI et al., 2013; SPOSARO; GARY et al., 2009; PIVA et al., 2014) são vantajosas, pois são capazes de prover o

5. Neste trabalho, o conceito *dependability* é traduzido como confiança no funcionamento, baseado em discussões de pesquisadores da área que tentam chegar a um consenso sobre a tradução correta do termo para o português [<http://www.cs.kent.ac.uk/people/staff/rdl/CoF/>]

serviço sem necessidade de custo extra com mudança de *hardware* ou *software*. Porém, o funcionamento correto da aplicação está associado ao fato do usuário estar portando o dispositivo junto a si.

Outras técnicas, desenvolvidas para um ambiente específico (YU et al., 2012; AGUILAR et al., 2014; AUVINET et al., 2011), por sua vez, não possuem essa dependência do usuário estar com o dispositivo consigo, porém, o provimento do serviço está restrito a cômodos ou locais determinados, não acompanhando o usuário em todo lugar.

Por fim, apesar de promissores, os sistemas vestíveis (Chen et al., 2006; DUMBITRACHE; PASCA, 2013; FUDICKAR et al., 2012) podem ser desconfortáveis dependendo do tamanho ou da posição no corpo. Muitas vezes, dependendo do local onde o dispositivo se encontra alocado e da atividade que o usuário está desempenhando, o sistema pode interpretar movimentos de maneira errônea e gerar alertas incorretos, sendo

este um problema também das soluções para dispositivos móveis.

Apesar das diferenças de desenvolvimento e implantação, todas as técnicas tratam os mesmos requisitos não funcionais: confiança e facilidade de uso (DOUGHTY et al., 2000). Para que esses requisitos sejam respeitados, é necessário avaliar o sistema que está sendo proposto e garantir que os requisitos necessários estão sendo respeitados (FERREIRA et al., 2014). Essa avaliação pode ser feita com o uso de medidas de qualidade (FERREIRA; BRAGA; ANDRADE, 2014).

A maioria dos trabalhos referenciados aqui propõe as soluções para o problema de detecção e alerta de quedas, deixando a avaliação fora do escopo ou, preocupando-se apenas com a capacidade do sistema de identificar quedas, deixando em segundo plano comportamentos errôneos, por parte do sistema, quando a ação do usuário não foi de fato uma queda.

### 3 Medidas de Qualidade de *Software* Propostas

As medidas apresentadas neste trabalho foram definidas segundo a metodologia *Goal-Question-Metric* (GQM). Essa abordagem é baseada na premissa de que as medições de *software* devem ser orientadas aos objetivos de medição, que por sua vez devem ser orientados aos objetivos da organização (BASILI; ROMBACH, 1994). Esta técnica é a mais adequada quando o objetivo da medição é claro e específico, como é o caso deste trabalho, onde o objetivo é avaliar a confiança no funcionamento de sistemas de detecção e alerta de quedas. Por esse motivo, essa metodologia foi a escolhida.

É importante ressaltar também que as medidas apresentadas neste trabalho seguem o formato da norma (ISO/IEC 25000) e são compostas por identificador, nome, definição, função de medição e método de coleta.

Essa norma, também conhecida como SQuaRE, é referência quando se trata de medidas de qualidade de *software*. O seu formato foi adotado nesta pesquisa pois, para que medidas de qualidade sejam consideradas como uma forma de avaliação repetível e aplicável é necessário seguir um formato de padronização.

A Tabela 1 apresenta as medidas propostas. Algumas delas foram retiradas da literatura, pois já se encontram formatadas de acordo com a (ISO/IEC 25000), outras medidas possuíam apenas nome e descrição, ou nome e função de medição, necessitando, portanto, de uma adaptação. Por fim, algumas medidas foram definidas com base em outras. Informações sobre a origem das medidas e os trabalhos que as embasam podem ser encontradas na última coluna da Tabela 1.

Tabela 1 - Medidas

Id	Nome	Descrição	Função de Medição	Interpretação	Ref
M1	Grau de Precisão	Representa a capacidade do sistema de detectar somente quedas, avaliando, para tal, a fração de contextos sentidos ou inferidos que são relevantes para o sistema.	$\frac{P}{P + FP}$	Quanto mais próximo de 1, melhor.	Adaptada de Noury et al. (2007)
M2	Grau de Sensibilidade (Recall)	Representa a capacidade do sistema de detectar quedas, avaliando, para tal, a fração de contextos relevantes para o sistema que foram corretamente sentidos ou inferidos.	$\frac{P}{P + FN}$	Quanto mais próximo de 1, melhor.	Adaptada de Noury et al. (2007)
M3	Grau de Disponibilidade	Representa a capacidade do sistema de prestar serviço quando requisitado.	$\frac{TmF}{TmF + TmR}$	Quanto mais próximo de 1, melhor.	Retirada de Lee e Yun (2012)
M4	Grau de Especificidade	Representa a fração entre os alertas não gerados, decorrentes da ausência de quedas e a soma destes com o total de alertas gerados para quedas que não ocorreram.	$\frac{N}{N + FP}$	Quanto mais próximo de 1, melhor.	Baseada em M1 e M2
M5	Grau de Desempenho	Representa a média ponderada entre o Grau de Precisão e o Grau de Sensibilidade (Recall).	$\frac{2 * (\frac{P}{P + FP} * \frac{P}{P + FN})}{\frac{P}{P + FP} + \frac{P}{P + FN}}$	Quanto mais próximo de 1, melhor.	Baseada em M1 e M2
M6	Grau de Acurácia	Representa a fração de quedas corretamente sentidos ou inferidos	$\frac{P + N}{FP + P + FN + N}$	Quanto mais próximo de 1, melhor.	Adaptada de Ranganathan (2005)

Fonte: Vide coluna "Ref." desta tabela (1)

TmF e TmR representam respectivamente o tempo médio entre falhas e o tempo médio para reparar as falhas. P representa que ocorreu uma queda e o sistema detectou, N representa que não houve queda e o sistema não detectou, FP representa que não houve queda e o sistema detectou e, FN representa que houve queda, mas o sistema não identificou.

## 4 Prova de Conceito: *fAlert*

O *fAlert* (*Fall Alert*) é um protótipo de aplicação para smartphones com sistema operacional *Android* (PIVA et al., 2014). O seu funcionamento consiste em utilizar os dados obtidos em tempo real dos sensores acelerômetro, microfone e magnetômetro para detectar uma possível queda.

A Figura 1 mostra o funcionamento do sistema, detalhando as configurações do dispositivo e o processo de ativação do monitoramento dos dados dos sensores.

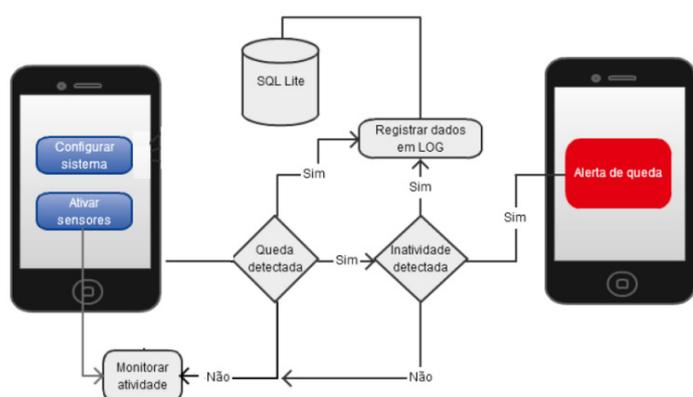


Figura 1 - Funcionamento do Sistema *fAlert*

Fonte: Piva et al. (2014)

Com base na fusão da informação dos três eixos (x, y e z) do acelerômetro e os dados obtidos pela leitura do magnetômetro, a aplicação pode identificar quedas. Isso é possível devido a capacidade do sistema de perceber situações de queda livre seguida da ocorrência de impacto.

Depois de detectada uma possível queda, o sistema ativa o *Google Speech Recognizer* para identificar se o usuário se encontra bem ou não. A interação deve ocorrer em voz alta, por meio do uso de palavras-chave, no tempo máximo de 25 segundos.

No caso do usuário estar bem, a aplicação volta ao seu estado inicial de monitoramento. Caso contrário, quando não há reconhecimento de voz ou o usuário fala que não está bem, o sistema gera o alerta, caracterizado pela realização de uma ligação telefônica para um contato previamente configurado.

De acordo com os sensores presentes no dispositivo do usuário, há variação nas informações disponíveis para a realização dos cálculos feitos pelo sistema e, conseqüentemente na precisão das detecções realizadas. Os dados disponíveis, de acordo com cada sensor, são apresentados na Tabela 2 (presente apenas nesta versão estendida deste trabalho).

Tabela 2 - Informações providas pelos Sensores Utilizados para Detecção

Informações Utilizadas para a Detecção	Acelerômetro	Acelerômetro e Magnetômetro	Acelerômetro, Magnetômetro e Microfone
Queda Livre	X	X	X
Impacto	X	X	X
Movimento Pós Impacto	X	X	X
Estabilidade	X	X	X
Orientação do Dispositivo		X	X
Confirmação Sonora			X

Fonte: dados da pesquisa.

## 5 Avaliação da Confiança no Funcionamento do Sistema *fAlert*

Antes de realizar a avaliação do sistema *fAlert* foi necessário efetuar diversos testes para que fosse possível reconhecer as atividades rotineiras do usuário, tais como andar, correr, sentar, levantar e deitar. Os testes realizados levaram em consideração diferentes atividades em um ambiente fechado, similar a uma sala de residência.

Para produzir resultados mais precisos foram realizados 1.140 testes em quatro usuários jovens e saudáveis, utilizando os dispositivos *Samsung Galaxy S3 I9300*, *Samsung Galaxy S3 Slim Duos* e *LG G2*. Estes dispositivos foram colocados em diferentes partes do corpo de cada usuário. No peito, no braço e no bolso, como ilustrado na Figura 2.

Nos testes específicos para os casos de queda foi utilizado um colchão de espuma localizado no chão. Além disso, as ações de cair e deitar foram divididas em categorias: frontal, lateral e para trás, com movimentos lentos, normais ou rápidos.



**Figura 2 - Testes realizados com o fAlert**

Fonte: dados da pesquisa/autores.

A quantidade de testes realizados por pessoa é apresentada de maneira categorizada na Tabela 3 (presente apenas nesta versão estendida deste trabalho).

**Tabela 3 - Quantidade de testes por categoria**

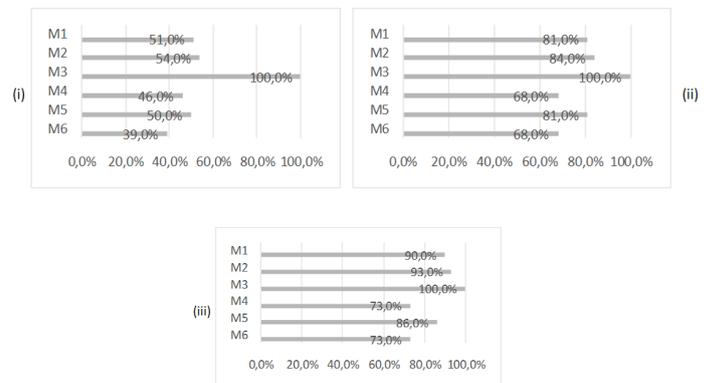
Atividades	Indoor	Outdoor	Frontal	Lateral	Para trás
Andar	15	15	-	-	-
Correr	0	30	-	-	-
Pular	30	0	-	-	-
Subir e Descer Escadas	30	0	-	-	-
Sentar Lento	30	0	-	-	-
Sentar Rápido	30	0	-	-	-
Deitar Lento	30	0	10	10	10
Deitar Rápido	30	0	10	10	10
Cair Lento	30	0	10	10	10
Cair Rápido	30	0	10	10	10

Fonte: dados da pesquisa.

Como pode-se observar na Tabela 3, para cada atividade, 30 testes foram realizados. Esse número foi considerado o suficiente pois, com essa mesma quantidade, foi possível definir o *threshold* para o algoritmo de detecção. Para as ações de deitar e cair os testes foram subdivididos de acordo com a direção do movimento.

Os resultados obtidos para a coleta das medidas da Tabela 1, com o dispositivo atado ao peito, estão

ilustrados na Figura 3. Os gráficos apresentados representam as medidas coletadas para as três diferentes configurações do sistema, apresentadas na Seção 4: (i) somente acelerômetro; (ii) acelerômetro e microfone; e (iii) acelerômetro, microfone e magnetômetro.



**Figura 3 - Resultados obtidos com a coleta das medidas para o dispositivo atado ao peito**

Fonte: dados da pesquisa.

Como pode-se observar na Figura 3, quanto mais sensores habilitados durante a configuração do sistema, maiores os valores obtidos com a coleta das medidas. Destacando-se a medida M3 que permanece constante, independentemente da configuração utilizada. Com isso, é possível afirmar que independente dos sensores habilitados, o sistema irá prover o serviço sempre que for necessário.

Para a medida M1, os valores são sempre inferiores aos das medidas M2 e M3, implicando que a capacidade do sistema de prover o serviço e detectar atividades que podem representar uma queda é superior à sua capacidade de diferenciar as ações do usuário (e.g., diferenciar as ações de deitar rapidamente e cair). A medida M5, por sua vez, é sempre superior as medidas M4 e M6, o que confirma os resultados obtidos com as medidas M1, M2 e M3.

Os demais resultados, para as diferentes posições e movimentos são apresentados na Figura 4 e, buscam minimizar a ocorrência de falsos positivos. Para tanto, é preciso definir qual a melhor posição para a alocação do dispositivo no corpo (peito, braço ou bolso) e qual a melhor configuração (A: acelerômetro, A e Ma: acelerômetro e magnetômetro ou A, Ma e Mi: acelerômetro, magnetômetro e microfone).

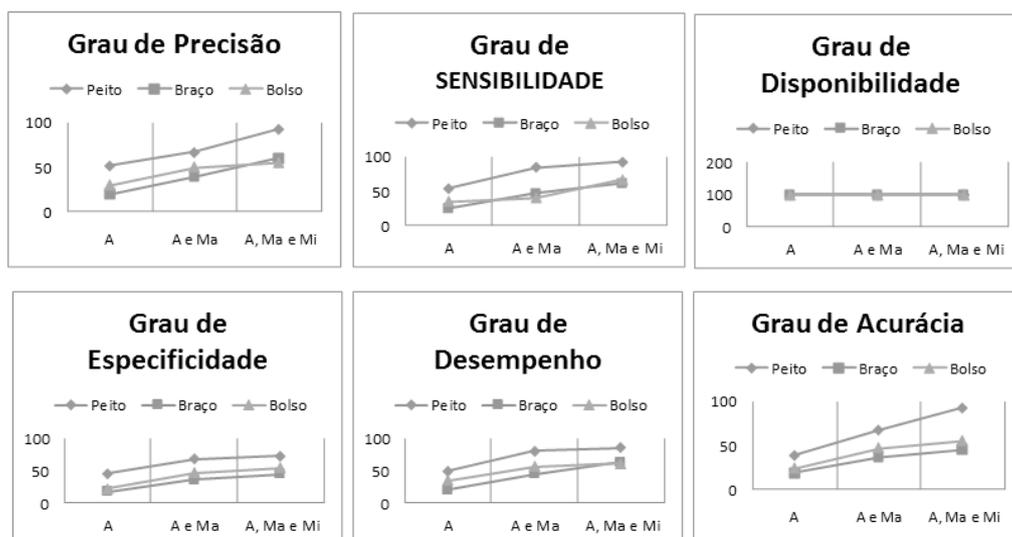


Figura 4 - Resultados obtidos para as diferentes posições onde o dispositivo pode ser alocado

Fonte: dados da pesquisa.

Como mencionado na Seção 2, as soluções propostas para dispositivos móveis podem agir de maneira incorreta (e.g., detectar e alertar uma queda com a atividade de deitar) dependendo da localização do dispositivo junto ao corpo do usuário. Além disso, por ser uma solução baseada em *threshold*, o *fAlert* não é capaz de reconhecer padrões que identifiquem as atividades cotidianas do usuário, acarretando na possível ocorrência de detecções e alertas para ações que não representam uma queda (e.g., deitar rapidamente).

Como pode-se observar na Figura 4, com a coleta da medida M1, na primeira configuração, é possível perceber, por meio da sua função de medição, que o número de falsos positivos (FP) gerados pelo sistema é significativo. Com isso, ações como sentar, levantar e deitar são incorretamente identificadas como queda. Além disso, independentemente da posição de alocação do dispositivo, mais de 45% das quedas ocorridas não foram detectadas, reforçando a necessidade do uso da combinação de outros sensores do dispositivo.

Na segunda configuração, os valores coletados foram melhores, porém, eles não alcançaram os mesmos níveis dos sistemas de detecção de quedas encontrados nos trabalhos de (SPOSARO; GARY, 2009; YU et al., 2012; CHEN; CHANG, 2012). Além disso, um número significativo de falsos positivos foi gerado para as ações de sentar, correr e deitar.

Finalmente, na terceira configuração foi possível eliminar, para o celular alocado no peito, as ações de andar, correr, pular, sentar e levantar, pois não houve a

geração de falsos positivos. Isso revela indícios de que esta é a melhor posição para alocação de dispositivos com esse tipo de solução.

Com relação a orientação e intensidade das ações do usuário, foi possível perceber, com a coleta das medidas, que atividades laterais ou para trás geram uma quantidade menor de falsos positivos do que ações frontais.

Avaliando a orientação e intensidade das ações realizadas pelo usuário, é possível perceber que situações de queda livre seguidas de impacto são bem identificadas pelo dispositivo alocado no braço, porém, a orientação do dispositivo após o impacto e o ângulo formado entre o celular e o chão influenciam o algoritmo erroneamente.

Quando alocado no bolso, o sistema também gera uma quantidade significativa de falsos positivos. Ao sentar bruscamente o sistema identifica a queda livre e o impacto, após isso, dependendo da altura do usuário, o celular se aloca no bolso de maneira horizontal, caracterizando situações onde a orientação do dispositivo corresponde a uma queda. Além disso, quando a detecção ocorre de maneira correta, a distância da boca até o bolso impede a confirmação sonora, causando atrasos ou erros no processo de detecção.

Quando posicionado junto ao peito, por manter um padrão de movimentos mais estável, independentemente da orientação da atividade ou intensidade relacionada ao movimento, o algoritmo de detecção funciona melhor.

## 6 Novos Resultados

Com o intuito de ampliar este artigo e a avaliação do *fAlert*, outras 4 medidas de qualidade foram utilizadas.

As novas medidas são apresentadas na Tabela 4 e fazem parte de um conjunto de vinte e cinco medidas de qualidade, fruto de um trabalho de dissertação de mestrado de Ferreira (2015).

Tabela 4 - Novas medidas

Id	Nome	Descrição	Função de Medição	Interpretação	Ref
M7	Grau de Corretude	Representa a execução correta dos mecanismos ou regras de adaptação implicando em um provimento de serviço conforme o esperado.	$X = A$ , onde A é Alto Médio (3) Baixo	Alto: execução correta das regras ou mecanismos de adaptação. M(2) Médio: execução de mais de uma regra ou mecanismo de adaptação, implicando em uma adaptação incorreta. Porém não inviabilizando o provimento do serviço. (3) Baixo: execução de mais de uma regra ou mecanismo de adaptação sobre a mesma estrutura, implicando em uma adaptação incorreta e inviabilizando o provimento do serviço.	Baseada em Cheng (2009)
M8	Grau de Adaptação	Busca identificar se o sistema se adapta sempre que necessário. Implicando na ausência de notificações equivocadas ou provimento de serviço baseado em informações atualizadas.	$X = \frac{(\sum_{j=1}^N \frac{A_j}{B_j}) * 100}{N}$	Quanto mais próximo de 1, melhor.	Retirada de Santos (2013)
M9	Grau de Concordância	O número de funções providas pelo sistema deve ser compatível com o número de funções executadas e esperadas.	$X = A/B$ Onde, A = Número de funções executadas e esperadas B = Número de funções providas pelo serviço ubíquo	Quanto mais próximo de 1, melhor.	Adaptada de Lee e Yun (2008)
M10	Grau de Independência	Mede a necessidade de requisições de ajuda, por parte do sistema, para confirmar o resultado de alguma saída e/ou serviço	$X = A$ , onde A é (1)Alto (2)Médio (3)Baixo	(1)Alto: o sistema não necessita ajuda do usuário para confirmar o resultado de nenhuma saída e/ou serviço. (2)Médio: o sistema necessita da ajuda do usuário para confirmar o resultado de alguma saída e/ou serviço, porém as requisições de ajuda estão dentro do previsto na especificação do sistema e fazem parte de um conjunto de requisições de ajuda previamente esperadas/configuradas. (3)Baixo: o sistema necessita da ajuda do usuário para confirmar o resultado de alguma saída e/ou serviço em situações onde esta requisição de ajuda não está previamente configurada/esperada.	Adaptada de Scholtz e Consolvo (2004)

Fonte: Ferreira (2015)

Onde:

A medida M7 busca avaliar aspectos do sistema que possibilitem garantir que o serviço é entregue ao usuário de forma adequada.

A medida M8 busca avaliar se as adaptações relacionadas ao provimento do serviço ocorreram no momento esperado, mesmo que de maneira errada. Essa medida foi definida pois o sistema pode não conseguir se adaptar, em alguns casos, mesmo diante de uma mudança contextual.

Para calcular essa medida, é necessário identificar quais adaptações e mudanças de contexto o sistema possui e que podem ser coletadas e, então, contar quantas vezes

uma determinada mudança contextual (requisição para a adaptação ocorrer) aconteceu durante um determinado período de uso da aplicação. Onde se faz necessário também contar em quantas dessas vezes ocorreram a adaptação. Como um sistema pode ter várias adaptações, a medida apresenta um somatório com o objetivo de somar todas as adaptações ocorridas, para depois calcular uma média ao dividir por N. Para essa medida  $A_j$  representa o nº de vezes que adaptou,  $B_j$  equivale ao nº de vezes que foi requisitada a adaptação mudança contextual e N é o nº dos tipos das diferentes adaptações.

A medida M9, por sua vez, busca avaliar se o número de funções providas pelo sistema e o número de fun-

ções esperadas é compatível. Para isso é utilizada a razão entre o número de funções providas e o número de funções requisitadas. Quanto mais próximo de 1, melhor.

Por fim, a medida M10 busca avaliar a independência do sistema para tomar decisões, isto é, a necessidade de requisições de ajuda, por parte do sistema, para confirmar o resultado de alguma saída e/ou serviço. Quanto maior o número de requisições de ajuda mais próximo de ‘Alto’ o valor da medida, quanto menor, mais próximo de ‘Baixo’.

## 6.1 Resultados Obtidos com a Coleta das novas Medidas

Tabela 5 - Resultados da coleta das novas medidas

Id	Nome	Resultado
M7	Corretude na Execução da Adaptação	X = Alto
M8	Grau de Adaptação	X = 89%
M9	Grau de Concordância	X = 0,9
M10	Grau de Independência ou Autonomia	X = Médio

Fonte: dados da pesquisa.

Segundo os usuários que realizaram os testes e as pessoas envolvidas no desenvolvimento do sistema, as medidas relativas à corretude, adaptação e concordância estão entre as mais importantes para a avaliação da confiança no funcionamento. Nesse aspecto, o *fAlert* obteve bons resultados para as medidas de corretude e concordância e resultados medianos para a medida de independência, devido a algumas ocorrências da necessidade de dupla confirmação sonora por parte do usuário. Mesmo diante disso, os resultados foram considerados positivos pois, além de não exigir custo extra com a aquisição de novos equipamentos de hardware, com o *fAlert* é possível obter um sistema com taxas de acerto equivalentes a soluções encontradas no mercado, apontadas como mais “robustas”.

É importante destacar também que, com a coleta das medidas, é possível quantificar o ganho obtido com cada novo sensor associado ao processo de detecção.

## 7 Validação dos Resultados Obtidos

Com o intuito de validar os resultados obtidos com a coleta das medidas, novos testes foram feitos, aproximadamente 50 dias após a realização dos testes anteriores. Para tanto, o número de testes realizados foi 110, por um único participante, portando o dispositivo Samsung Galaxy S2 atado ao peito (30 testes), atado ao braço (30 testes) e no bolso (frontal: 25 testes e traseiro: 25 testes).

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6, a seguir.

Tabela 6 - Validação dos resultados - *fAlert*

Id	Nome	Resultado
M1	Grau de Precisão	X = 0,53 Ou 53%
M2	Grau de Recall	X = 0,57 Ou 57%
M3	Grau de Disponibilidade	Não coletada
M4	Grau de Especificidade	X = 52%
M5	Grau de Desempenho	X = 58%
M6	Grau de Acurácia	X = 0,56 Ou 56%
M7	Grau de Corretude na Execução da Adaptação	X = Médio
M8	Grau de Adaptação	X = 61%
M9	Grau de Concordância	X = 0,6
M10	Grau de Independência ou Autonomia	X = Médio

Fonte: dados da pesquisa.

Diferentemente da coleta anterior, os resultados obtidos nessa nova coleta foram considerados baixos. Para a maioria das medidas, os valores diferem em até 40%, para menos.

Como principal fator associado a essa discrepância, aponta-se o uso de um aparelho celular diferente dos utilizados anteriormente, para o qual, a variação na calibração dos sensores não havia sido considerada no momento do desenvolvimento do *fAlert*. Com sensores de sensibilidade diferente, o sistema não funciona conforme o especificado, e com a coleta das medidas é possível perceber que essa não conformidade é significativa.

Com essa nova coleta foi possível perceber quão crítico é esse aspecto pois, ao não considerar diferentes sensibilidades e calibrações dos diferentes aparelhos,

a aplicação reduz a sua precisão, especificidade e acurácia em pelo menos metade do que é alcançado por soluções semelhantes, disponíveis no mercado.

Com isso, é possível obter novos e importantes focos de melhoria no que tange ao desenvolvimento dessa aplicação.

## 8 Conclusão e Trabalhos Futuros

Buscando auxiliar a vida de pessoas que necessitam de cuidados especiais os sistemas de detecção e alerta de quedas vêm se tornando a cada dia mais importantes. Para serem aceitos, é aconselhável que esse tipo de sistema possibilite ao usuário ter um grau satisfatório de confiança no seu funcionamento. É necessário então, levar em consideração vários elementos que podem impactar esta confiança e avaliá-los por meio de medições.

Neste trabalho, medidas de qualidade de *software* foram propostas e avaliadas por meio da coleta em um sistema *Android* para detecção e alerta de quedas. A coleta das medidas permitiu a identificação de pontos de melhoria no que tange ao desenvolvimento do sistema *fAlert*.

Com isso, foi possível proporcionar um aumento significativo no grau de *Confiança no Funcionamento do fAlert* e, conseqüentemente, na aceitação do sistema avaliado por parte dos usuários finais. Além disso, novas coletas, em um ambiente de teste diferente (i.e., com dispositivos móveis distintos dos utilizados no momento do desenvolvimento da aplicação), destacaram quão crítico pode ser não considerar diferentes dispositivos ao desenvolver esse tipo de solução para a detecção e alerta de quedas. Isso revela indícios de que as medidas propostas são capazes de avaliar características de qualidade, em específico a confiança no funcionamento de um sistema.

No entanto, entende-se que trabalhos futuros devem ser realizados, são eles: (i) necessidade de novas avaliações, pois as medidas apresentadas neste artigo foram avaliadas tendo como foco apenas um sistema *Android* para dispositivo móvel, não havendo indícios de que possam ser aplicadas em outros domínios e; (ii) avaliação em sistemas reais, pois o sistema avaliado no estudo de caso é uma prova de conceito (PoC, do inglês *proof of concept*), logo, não é possível fazer afirmações sobre a aplicação das medidas em sistemas reais.

## 9 Agradecimentos

Agradecemos aos membros do GREAt Paulo Armando Cavalcante Aguiar, Francisco Eudes Filho, Ricardo Goes de Meira e Gustavo da Silva Monteiro, pelos testes realizados com o sistema *fAlert*, e ao CACTUS – “*Context-Awareness Testing for Ubiquitous Systems*” projeto parcialmente financiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), – Universal 14/2013 Número 484380/2013-3, do qual este trabalho é fruto.

## Referências

- ABRANTES, K.S.M. et al. Caracterização das quedas em idosos socorridos pelo serviço de atendimento móvel de urgência. *ABCS Health Science*, v. 38, 2013.
- AGUILAR, P. A. C. et al. A Dynamic Evidential Network for Fall Detection. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, v. 18, n. 4, 2014.
- AUVINET, E. et al. Fall detection with multiple câmeras: Na occlusion-resistant method based on 3-d silhouette vertical distribution. *IEEE Transactions Information Technology Biomedicine*, v. 15, 2011.
- AVIZIENIS, A. et al. Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 2004.
- BASIL, V.; ROMBACH, H. Goal Question Metric Paradigm. *Encyclopedia of Software Engineering*, n.2, v.1, p. 528–532, 1994.
- CHEN, K.; KWONG, Chang D. Wearable sensors for reliable fall detection. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ENGINEERING IN MEDICINE BIOLOGY SOCIETY, *Proceedings...*, 2006.
- DEY, A. K; ABOWD, G. D. Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HANDHELD AND UBIQUITOUS COMPUTING. *Proceedings...* 1999.

DIRACO, G.; LEONE A.; SICILIANO, P. An Active Vision System for Fall Detection and Posture Recongnition in Elderly Healthcare. *EDAA*, 2010.

DOUGHTY, K.; LEWIS, R.; MCINTOSH, A. M. The design of a practical and reliable fall detector for community and institutional telecare. *Journal of Telemedicine and Telecare*, n. 6, v. 1, p.150-154, 2000.

DUMBITRACHE, M.; PASCA S. Fall Detection Algorithm Based on Triaxial Accelerometer Data. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-HEALTH AND BIOENGINEERING, *Proceedings...* 2013.

FERREIRA, A. B. et al. Trust Evaluation in an Android System for Detection and Alert Falls. BRAZILIAN SYMPOSIUM ON MULTIMEDIA AND THE WEB (WEBMEDIA), 20., 2014. *Proceedings...* 2014.

FERREIRA, A. B.; BRAGA, R. B.; ANDRADE, R. M. C. Uma Proposta de Medidas de Qualidade para Avaliação da Confiança em Sistemas Ubíquos. In: WORKSHOP DE TESES E DISSERTAÇÕES EM QUALIDADE DE SOFTWARE, 12., 2014, Blumenau/SC. *Anais...* 2014. p. 31-36.

FERREIRA, A.B. Avaliação da confiança no funcionamento de sistemas ubíquos usando medidas de qualidade. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2015. Disponível em: < <https://github.com/andressabezerra> > Acesso em: 9 maio 2016.

FUDICKAR, S. et al. Fall-detection Simulator for accelerometers with in-hardware preprocessing. In: PERSVASIVE TECHNOLOGIES RELATED TO ASSISTIVE ENVIRONMENTS (PETRA), 2012, Greece. *Proceedings...* Greece, 2012.

ISO/IEC 25000: 2011. Software Engineering - Software Product Quality Requirements and Evaluation.

ISO/IEC 9126: 2001. Software Engineering – Product Quality – Part 1.

JER-VUI, L.; YEA-DAT, C.; KENNY, T.H. Smart Elderly Home Monitoring System with an Android Phone. *International Journal of Smart Home*. v. 7, n. 3, 2013.

LEE, J.; YUN, M. H. Usability Assessment for Ubiquitous Services: Quantification of the Interactivity in Inter-Personal Services. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT OF INNOVATION & TECHNOLOGY (ICMIT), 2012. *Proceedings...*, 2012.

MIAO, Y.; ADEL, R.; SYED, M. N. A Posture Recognition-Based Fall Detection System for Monitoring na Elderly Person in a Smart Home Enviroment. In: IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE, v. 16, 2012. *Proceedings...*, 2012.

NOURY, N. et al. Fall detection – Principles and Methods. In: ANNUAL INTERNATIONAL, 29., 2007. *Proceedings...*, 2007.

PIVA, L. S. et al. fAlert: Um Sistema Android para Monitoramento de Quedas em Pessoas com Cuidados Especiais. In: WORKSHOP DE FERRAMENTAS E APLICAÇÕES DO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS MULTIMÍDIA E WEB, 20., 2014. *Proceedings...*, 2014.

RANGANATHAN, A. et al. Towards a Pervasive Computing Benchmark. In: IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, 3., 2005. *Proceedings...*, 2005.

SANTOS, M. R. et al. A Quality Model for Human-Computer Interaction Evaluation in Ubiquitous Systems. In: LATIN AMERICAN CONFERENCE ON HUMAN COMPUTER INTERACTION (CLIHIC), 6., 2013. *Proceedings...*, 2013.

SCHOLTZ, J.; CONSOLVO, S. Toward a Framework for Evaluating Ubiquitous Computing Applications. In: IEEE PERSVASIVE COMPUTING, 2004. *Proceedings...*, 2004.

SPOSARO, F.; TYSON, G. iFall: An Android Application for Fall Monitoring and Response, Florida State University USA, Engineering in Medicine and Biology Society EMBC, Set. 2009.