

Uma Abordagem para Detecção de Quedas Utilizando Redes Neurais Artificiais

Luan M. M. Pereira¹, Nilton N. G. Júnior¹, Laiana S. de Andrade Mesquita²,
Hermes M. G. Castelo Branco³, Nayra C. Branco⁴

¹Centro de Tecnologia e Urbanismo – Universidade Estadual do Piauí (UESPI)
Caixa Postal 381 – 64.002-223 – Teresina – PI – Brasil

²Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade Estadual do Piauí
Teresina – PI.

{luanmarinho94, hermesmanoel, usb171, nayraferreiralima}@gmail.com
laianasepulveda@hotmail.com,

Abstract. *Fall is a serious public health problem, especially in the elderly, and several approaches to risk detection or monitoring of the elderly have been proposed in the literature. This work used a prototype of monitoring kinetic signals (with accelerometers and gyroscopes), signal processing techniques and an Artificial Neural Network (ANN) to detect if a volunteer experienced a fall episode. The results of the proposed approach were promising, with hit rates higher than 96%.*

Resumo. *A queda é um grave problema de saúde pública, principalmente em idosos, e diversas abordagens para detecção de risco ou monitoramento de idosos vêm sendo propostas na literatura. Este trabalho utilizou um protótipo de cinta de monitoramento sinais cinéticos (com acelerômetros e giroscópios) técnicas de processamento de sinais e uma Rede Neural Artificial (RNA) para detectar se um voluntário sofreu um episódio de queda ou se está realizando alguma outra atividade. Os resultados da abordagem proposta mostraram-se promissores, com taxas de acerto superiores a 96%.*

1. Introdução

Estudos apontam que a prevalência de quedas em idosos, principalmente em idosos institucionalizados, é alta variando entre 28% e 42% dependendo da faixa etária e país estudados, e mostram também que os agravos decorrentes das quedas em idosos são preocupantes [CARVALHO 2011; RASHID 2008; VARSHNEY e SNEHA 2005; REZENDE 2012; DELLAROZA 2014; FHON 2013; ALMEIDA 2012; CRUZ 2012]. As quedas ocorrem por diversos fatores, que podem ser intrínsecos ou extrínsecos.

Os fatores intrínsecos estão relacionados ao próprio sujeito, o qual pode apresentar: redução da função dos sistemas que compõem o controle postural, doenças, transtornos cognitivos e comportamentais, incapacidade em manter ou para recuperar o equilíbrio, faixa etária mais elevada; autopercepção ruim da visão e autopercepção ruim da saúde [ALMEIDA 2012]. O levantamento realizado por [DELLAROZA 2014] constatou na população observada os seguintes fatores intrínsecos de risco mais frequentes para queda: a alteração de marcha, a debilidade muscular e a incapacidade para as atividades básicas de vida diária (ABVD) e para as atividades instrumentais de vida diária (AIVD).

Como fatores extrínsecos apontam-se aqueles relacionados ao ambiente, tais como iluminação, superfície para deambulação, tapetes soltos, degraus altos ou estreitos [ALMEIDA 2012]. Além disso, algumas medicações provocam reações indesejadas, e uma das principais consequências iatrogênicas no idoso é a queda [ALMEIDA 2012]. Algumas doenças também influenciam no nível de risco de queda. A importância de identificar os fatores de risco para quedas em idosos está na possibilidade de planejar estratégias de prevenção. Para auxiliar na identificação de risco de queda podem ser utilizados sensores que monitoram sinais dos idosos, o ambiente em que o idoso se encontra, sua posição e movimentos. Além disso, a detecção da queda no menor tempo possível pode auxiliar no socorro prestado, evitando ou amenizando inúmeras complicações que podem surgir em idosos em decorrência dos episódios de quedas.

Este trabalho busca identificar se um voluntário sofreu um episódio de queda ou se está realizando outra atividade. Para tanto emprega-se um dispositivo de monitoramento dos sinais cinéticos, para com base nos dados monitorados uma Rede Neural Artificial (RNA) identificar o que acontece com o voluntário a cada momento. Os voluntários são pessoas jovens, contudo o intuito é posteriormente testar a metodologia proposta também com idosos. O restante deste artigo está organizado nas seguintes seções: 2 Metodologia; 3 Resultados; 4 Conclusões.

2. Metodologia

Nesta seção descreve-se o protótipo que foi utilizado na aquisição de dados, as ferramentas de extração de características utilizadas, a RNA proposta, e a estratégia empregada para coleta de dados.

2.1 Dispositivos de Aquisição de Dados e Servidor de Aplicação

O protótipo de coleta de dados foi projetado em uma Placa de Circuito Impresso (PCI), alimentado por uma bateria de 3.7v, 3000 mAh e com aproximadamente 45x66 mm de dimensão. Esse circuito é composto por ilhas de cobre destinadas à conexão da placa *Particle Photon*, que fornece interconexões entre todos os periféricos do circuito através de protocolos de comunicação, sendo os principais o *Inter-Integrated Circuit* (I2C), *Serial Peripheral Interface* (SPI) e *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART).

Um cartão *Secure Digital* (SD) utilizado para armazenar localmente um *buffer* dos dados amostrados, até estes serem enviados ao servidor. Além do cartão SD, foram destinadas conexões para um *buzzer*, um *Global Positioning System* (GPS) e um sensor GY-80 que contém um sensor acelerômetro ADLX345 e um sensor giroscópio L3G4200D. No contexto geral dessa arquitetura, todos os periféricos são gerenciados por um sistema operacional embarcado de tempo real FreeRTOS. Esse Sistema Operacional (SO), através de um *firmware* realiza aquisição, processa e manipula os periféricos, desde a coleta dos dados dos sensores cinéticos até o envio de sinais sonoros pelo *buzzer* e dos dados para o servidor de aplicação. Os dados foram coletados a uma taxa de 125 Hz, suficiente para amostrar o sinal a ser monitorado. Cabe destacar que a taxa adotada neste trabalho é superior à adotada em trabalhos semelhantes como [JUNIOR e ADMAI 2018] e [LI 2009]. A Figura 1 a seguir apresenta registro fotográfico do protótipo descrito.



Figura 1. Protótipo da Cinta

No desenvolvimento do software para a coleta dos dados foram utilizadas as seguintes ferramentas de comunicação e desenvolvimento:

- *HyperText Transfer Protocol* (HTTP), empregado na transferência de imagens e textos de maneira rápida fácil e estável entre os hosts dos avaliadores com o servidor;
- *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), utilizado na comunicação M2M entre os dispositivos inseridos na rede local com os hosts dos avaliadores e o servidor;
- *Django*, no desenvolvimento ágil da aplicação web do avaliador.

Um *BeagleBone* foi empregado como um servidor de aplicação e *broker* para comunicação MQTT. O cenário é composto de uma rede de área local (LAN), um servidor *Django*, um servidor MQTT para aplicação do avaliador (pessoa responsável por monitorar o voluntário) e comunicação dos dispositivos de coleta de dados. A Figura 2 explica os principais componentes da arquitetura empregada.

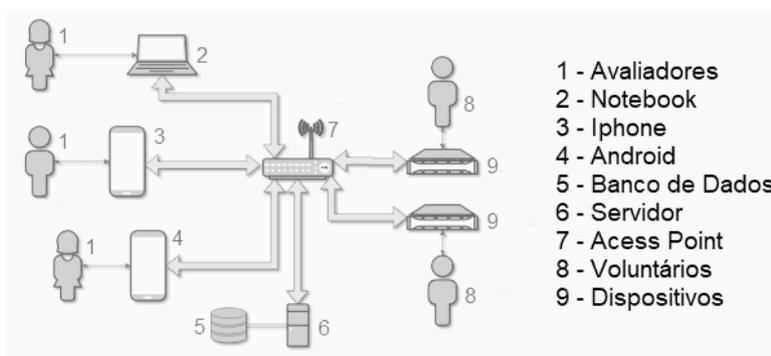


Figura 2. Cenário de coleta de dados.

2.2. Extração de Características

Na etapa de pré-processamento dos dados foram extraídas características dos sinais no domínio da frequência e no domínio do tempo. Cabe lembrar que os dados foram amostrados com uma taxa de 125 Hz, como explicado anteriormente.

A técnica utilizada para extração de características no domínio da frequência foi a Transformada de *Fourier* de Tempo Discreto (DTFT) através do algoritmo da transformada rápida de *Fourier* (FFT) que reduz o custo computacional significativamente das operações [SILVA 2013]. Uma vez com os dados no domínio da frequência, verificou-se de forma empírica que cada tipo de atividade está relacionado a um modelo de distribuição de frequências. No domínio do tempo foram utilizadas as

seguintes métricas: o maior pico do sinal, maior vale do sinal, cadência de picos, média do sinal, mediana do sinal, valor eficaz, desvio padrão e variância.

Uma vez que cada um dos dois sensores (acelerômetro e giroscópio) possui 3 eixos (XYZ), deve-se realizar o processo de extração de características para cada eixo. Foram extraídas 20 características para cada eixo de cada sensor, totalizando um vetor de entrada com 120 características. As características extraídas de cada sinal foram: as 10 frequências de maior ganho para cada sinal (10 frequências de pico), centroide espectral, Densidade Espectral de potência, além das 8 métricas já descritas para o sinal no domínio do tempo.

2.3. Redes Neurais Artificiais

As Redes Neurais Artificiais possuem capacidade de aquisição e manutenção do conhecimento (baseado em informações) e podem ser definidas como um conjunto de unidades de processamento, caracterizadas por neurônios artificiais, que são interligados por um grande número de interconexões (sinapses artificiais), sendo as mesmas representadas aqui por vetores/matrizes de pesos sinápticos [SILVA, SPATTI e FLAUZINO 2010]. Existem diversos tipos de redes neurais e neste trabalho utilizou-se a rede *Perceptron Multicamadas* (MLP) por sua capacidade de resolver problemas não-linearmente separáveis, adequando-se as necessidades do trabalho. A Figura 3 apresenta a configuração da rede MLP adotada por este trabalho.

A MLP proposta possui 120 entradas, uma primeira camada neural composta também com 120 neurônios, e 8 neurônios na camada de saída, parâmetros escolhidos segundo dimensionalidade do problema e após realização de um conjunto de testes. A função de ativação *softmax* [HAYKIN 2007] utilizada nos neurônios da camada de saída, e a função logística [HAYKIN 2007] foi utilizada para os demais neurônios. A Camada de saída deve indicar a classificação da amostra de dados de entrada dentre uma das 8 classes a seguir: (andar, correr, pular, cair, sentar, deitar, levantar, permanecer parado). Cada neurônio na camada de saída está associado a uma classe, assim, para indicar que um padrão de entrada corresponde a uma determinada classe, o neurônio associado a esta classe deve apresentar o valor 1 na saída, enquanto os demais neurônios da camada de saída devem apresentar o valor zero.

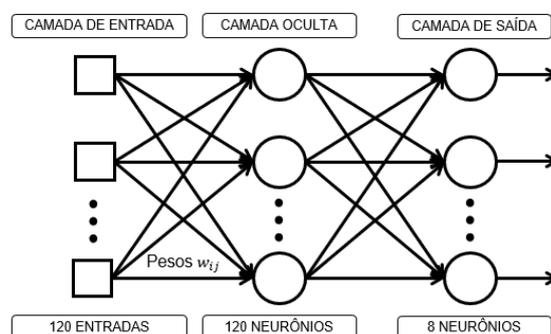


Figura 3. MLP proposta.

Para o treinamento da rede utilizou-se o algoritmo *backPropagation* com taxa de aprendizagem de 5×10^{-5} . Mais detalhes sobre a implementação de uma MLP e o algoritmo de treinamento podem ser encontrados em [SILVA, SPATTI e FLAUZINO 2010].

2.4. Coleta de Dados

As coletas de dados foram realizadas com 10 voluntários diferentes, sendo que cada um realizou 8 atividades (andar, correr, pular, cair, sentar, deitar, levantar, permanecer parado), para cada atividade foi realizada uma coleta, totalizando 80 coletas de, no máximo, 15 segundos cada. Os testes foram realizados com voluntários jovens, uma vez que se torna bastante oneroso realizar coletas de quedas em idosos.

3. Resultados

Após finalizar a coleta de dados, foram utilizadas 70% das coletas para treinamento da RNA e 30% para testes. O treinamento ocorreu de forma janelada, dividindo cada sinal em janelas de 150 amostras, assim um vetor de características, com 120 entradas, foi calculado para cada janela de dados e todas as janelas dos conjuntos de treinamento e de teste foram fornecidas à RNA. Cabe destacar que também foram testadas janelas de outros tamanhos, como por exemplo, com 300 amostras e 450 amostras, contudo os melhores resultados foram obtidos para janelas de 150 amostras.

Foram testadas redes MLP com diferentes quantidades de neurônios nas camadas intermediárias e de saída, contudo a topologia apresentada, com 120 neurônios na camada intermediária e um neurônio na camada de saída, apesar de simples, apresentou resultados satisfatórios para janelas de 150 amostras. Para a MLP proposta configurou-se a taxa de aprendizagem com 5×10^{-5} , e como critério de parada utilizou-se 10^5 épocas de treinamento ou quando a tentativa de minimizar o erro não atingiu a tolerância de pelo menos 10^{-14} por 10 vezes. A rede convergiu com 17013 épocas com Erro Quadrático Médio (EQM) igual a $6,7 \times 10^{-5}$.

Durante a fase de teste a rede obteve 96,2% de acerto para janelas de 150 amostras. A Figura 4 a seguir ilustra a classificação para um dos casos de teste. Nela observa-se que a RNA aponta corretamente, para todas as janelas, a situação que está ocorrendo. A RNA apresentou resposta semelhante para os demais casos de teste. Em caso de um episódio de queda, o GPS disponível no protótipo fornece a localização do voluntário monitorado com precisão, para que o socorro possa ser prestado.

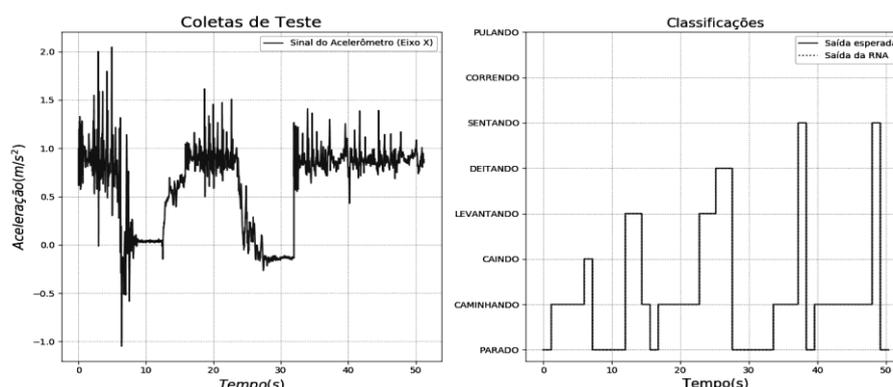


Figura 4. Caso de teste considerando janela com 150 amostras para cálculo das 120 características de entrada.

4. Conclusões

A queda é um grave problema de saúde pública, principalmente em idosos, no intuito de contribuir para prevenção e mitigação deste problema, este trabalho utilizou um protótipo de cinta de monitoramento de sinais cinéticos, técnicas de processamento

de sinais e uma RNA para detectar se um voluntário sofreu um episódio de queda ou se está realizando outra atividade, dentre 8 possíveis. A posição do voluntário também é fornecida por um GPS, para que o socorro possa ser fornecido de forma rápida em caso de queda.

O sistema proposto utiliza uma taxa de amostragem de 125 Hz, e os dados são fornecidos com uma janela de 150 amostras. Para cada janela um vetor de entrada para a RNA com 120 características é calculado. A rede utilizada foi a MLP com 120 neurônios na camada intermediária e 1 neurônio na camada de saída. A metodologia proposta mostrou-se satisfatória pois possibilitou taxa de acerto superior a 96% das situações monitoradas. Como trabalhos futuros pretende-se integrar a metodologia proposta a um aplicativo de celular, que também já foi produzido pelo grupo, permitindo ao usuário ser informado com mensagens de alerta sobre a atividade que o voluntário monitorado está realizando. Pretende-se também treinar a RNA e aplicar o sistema proposto com idosos para que o utilizem em suas atividades diárias.

Referências

- ALMEIDA, Sionara Tamanini de et al. Análise de fatores extrínsecos e intrínsecos que predisõem a quedas em idosos. *Rev. Assoc. Med. Bras.*, São Paulo, v. 58, n. 4, p. 427-433, Aug. 2012.
- CARVALHO, Maitê Peres de et al. Quedas e fatores associados em idosos institucionalizados no município de Pelotas (RS, Brasil). *Ciênc. saúde coletiva*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 6, p. 2945-2952, June 2011.
- CRUZ, Danielle Teles da et al. Prevalência de quedas e fatores associados em idosos. *Rev. Saúde Pública*, São Paulo, v. 46, n. 1, p. 138-146, Feb. 2012.
- DELLAROZA, Mara Solange Gomes et al. Associação entre dor crônica e autorrelato de quedas: estudo populacional - SABE. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 30, n. 3, Mar. 2014.
- FHON, Jack Roberto Silva; et al. Prevalência de quedas de idosos em situação de fragilidade. *Rev. Saúde Pública*, São Paulo, v. 47, n. 2, Apr. 2013.
- HAYKIN, Simon. *Redes neurais: princípios e prática*. Bookman Editora, 2007.
- JUNIOR, Cesar Luis Buzin; ADAMI, Andre Gustavo. SDQI-Fall Detection System for Elderly. *IEEE Latin America Transactions*, v. 16, n. 4, p. 1084-1090, 2018.
- LI, Qiang et al. Accurate, Fast Fall Detection Using Gyroscopes and Accelerometer-Derived Posture Information. In: *BSN*. 2009. p. 138-143.
- RASHID, Rozeha et al. Home healthcare via wireless biomedical sensor network. In: *RF and Microwave Conference 2008, IEEE International. RFM 2008*. 2008. p. 511-514.
- REZENDE, Cristiane de Paula et al. Queda entre idosos no Brasil e sua relação com o uso de medicamentos: revisão sistemática. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 28, n. 12, Dec. 2012.
- SILVA, Fernando Ginez da. Reconhecimento de movimentos humanos utilizando um acelerômetro e inteligência computacional. 2013. Tese de Doutorado, USP.
- SILVA, IN da; SPATTI, Danilo Hernane; FLAUZINO, Rogério Andrade. *Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas*. São Paulo: Artliber, 2010.
- VARSHNEY, Upkar; SNEHA, Sweta. Wireless patient monitoring: reliability and power management. In: *Broadband Networks, 2005. BroadNets 2005. 2nd International Conference on. IEEE*, 2005. p. 1034-1040.