

Smart health: using fuzzy logic in the monitoring of health-related indicators

Flávio Arthur O. Santos
Universidade Federal de
Sergipe
Departamento de
Computação
Sergipe, Brasil
flavioarthurufs@gmail.com

Galileu Santos de Jesus
Universidade Federal de
Sergipe
Departamento de
Computação
Sergipe, Brasil
galilasmb@gmail.com

Glauber Andrade Botelho
Universidade Federal de
Sergipe
Departamento de
Computação
Sergipe, Brasil
glauber.a.botelho@gmail.com

Hendrik Teixeira Macedo
Universidade Federal de
Sergipe
Departamento de
Computação
Sergipe, Brasil
hendrik@dcomp.ufs.br

ABSTRACT

The development of mobile applications focused on user's health monitoring is a recent trend. Over time, people expect applications that provide even more efficient and interactive services. In this paper, we propose a smart-health application to smartphones that evaluates the physical performance of a subject from the reading data such as the body mass index (BMI), daily steps and heart beats. Fuzzy logic and first-order logic are used to accomplish the task.

Keywords

Smart Health, Smart Cities, Mobile, Fuzzy Logic.

1. INTRODUÇÃO

As cidades crescem cada vez mais com o passar dos anos, tornando-se cada vez mais complexas, maiores e mais problemáticas. Com o deslocamento de pessoas da zona rural para a zona urbana, estes índices aumentam ainda mais. De acordo com a *United Nations Population Fund* (www.unfpa.org), 2008 foi o ano em que mais de 50% de todas as pessoas do mundo, cerca de 3.3 bilhões, viviam em áreas urbanas. Há a estimativa de que, em 2030, é esperado que se tenha cerca de 5 bilhões de pessoas morando nestas áreas [4].

Uma taxa grande de crescimento traz consigo vários problemas, dentre eles: aumento da taxa de desemprego, aumento do nível de estresse da população e a deterioração das condições do ar e do ambiente. Esses problemas motivam estudiosos a criarem, com urgência, formas de gerenciamento

e aplicações que tornem a vida das pessoas mais confortável, saudável e agradável. Tornando as cidades inteligentes[8], estamos facilitando a vida das pessoas e resolvendo boa parte destas problemáticas.

Muitos dos problemas estão relacionados à saúde. Nas grandes cidades, perdem-se horas e horas em engarrafamentos no trânsito, o aumento da carga de trabalho e de outras obrigações muitas vezes dificulta a obtenção de um acompanhamento médico adequado ou até mesmo a prática de exercícios físicos. Com isso, faz-se necessário a criação de um mecanismo que auxilie estas pessoas, avaliando seu condicionamento físico.

Pensando nisso, criamos uma aplicação[2] para avaliar indicadores relacionados à saúde. Para esta finalidade, fez-se uso de sensores disponíveis em *smartphones*, como o de batimentos cardíacos e de passos. A aplicação analisa os batimentos cardíacos depois de uma longa caminhada e verifica como está o condicionamento físico da pessoa, considerando a sua idade. Além disso, é realizada a contagem de passos dados e, assim, verifica-se a atividade ou esforço realizado durante todo o dia.

Nos mecanismos de análise, utilizamos Lógica *fuzzy* e Lógica de primeira ordem, acoplados ao desenvolvimento mobile, através da criação de uma aplicação na plataforma Android. Os sensores foram obtidos do *smartphone* da Samsung, o Galaxy S5.

O restante do artigo está dividido da seguinte forma: na segunda seção são citados alguns trabalhos relacionados, onde é apresentado um levantamento de artigos que abordam esta temática, na terceira seção, são descritos os métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho, os resultados obtidos são apresentados na quarta seção e, por fim, na quinta seção são apresentadas as conclusões e considerações para trabalhos futuros.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Na literatura, foram encontrados alguns artigos que descrevem a utilização de lógica *fuzzy* para auxiliar na realiza-

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from permissions@acm.org.

ção de tarefas relacionadas à saúde.

Em [1], os autores aplicam a lógica difusa na criação de um índice utilizado para auxiliar a decidir se a realização de uma cirurgia bariátrica deve ou não ser indicada para determinado paciente. As variáveis de entrada utilizadas são o Índice de Massa Corporal (IMC) e o percentual de gordura corporal do paciente. Segundo os autores, o excesso de gordura relacionado ao percentual de gordura corporal é um fator importante, e geralmente é negligenciado, o que justificaria o uso do índice proposto e da lógica difusa ao invés de considerar apenas o IMC para auxiliar na tomada de decisão.

Em [5], um modelo baseado em lógica *fuzzy* é construído para auxiliar na avaliação de riscos à saúde - riscos cardiometabólicos, por exemplo - considerando o fator obesidade.

Em [6] é proposto um modelo a ser usado no desenvolvimento de aplicações relacionadas a *e-health*. Dentre as funcionalidades propostas no modelo, estão: cálculo de IMC, cálculo de calorias consumidas e assistente de planejamento de refeições. O modelo proposto considera a utilização do sistema operacional Android.

Este trabalho se diferencia dos demais por construir uma aplicação que utilize smartphones como forma de medir atividades cotidianas, estando presente sem que o usuário perceba, calculando todos os passos e ao final do dia, o mesmo possa perceber que mesmo não praticando exercício físico, possui uma avaliação para uma determinada atividade, além de utilizar conceitos de análise de lógica fuzzy.

3. MÉTODOS

Neste trabalho, foi desenvolvida uma aplicação cujo objetivo é auxiliar no monitoramento de medidas como o Índice de Massa Corporal, nível de estresse e tipo de caminhada que uma pessoa realiza de acordo com a quantidade de passos de um determinado dia. Para capturar os dados de entrada da aplicação, foram utilizados os sensores de movimento e de batimentos cardíacos do *smartphone* Galaxy S5, da Samsung. Os dados capturados foram armazenados em uma base de dados, o que possibilitou a elaboração de um histórico de medidas, útil para que se acompanhe a evolução da pessoa que faz uso do aplicativo.

Os dados de entrada são normalizados para que variem no intervalo compreendido entre 0 e 1, assim se adaptando as regras *fuzzy*. Para calcular a frequência cardíaca, foi calculada a média dos batimentos cardíacos. O número máximo de batimentos por idade segue o cálculo: $220 - idade$.

Para transformar os dados de entrada referentes à caminhada e realizar a normalização, foi realizado o seguinte cálculo:

$$(mediaBatimentos / maxBatimentosPorIdade).$$

Onde $mediaBatimentos$ é a média de batimentos cardíacos e $maxBatimentosPorIdade$ é o número máximo de batimentos por idade.

Para normalizar o cálculo do nível de estresse, foi utilizado o seguinte cálculo:

$$\frac{((variacaoBatimentos \% maxBatimentosPorIdade) / maxBatimentosPorIdade)}{maxBatimentosPorIdade}.$$

Onde $variacaoBatimentos$ é a variação e calculada com base no histórico de batimentos cardíacos.

O nível de estresse é medido de acordo com vários fatores, seja pela falta de prática de exercícios físicos, problemas pessoais, entre outros. Esta medida também pode ser calculada

com base no HRV (*Heart Rate Variability*), que é a variação dos batimentos cardíacos. Segundo [8][7], esta variação é um dos fatores que permitem realizar o cálculo do estresse, é um indicador importante na verificação da capacidade de um indivíduo em se adaptar efetivamente ao estresse e a estímulos ambientais. O autor comenta também que um alto índice de HRV significa boa adaptação do Sistema Nervoso Autônomo; um baixo HRV, por sua vez, está relacionado a uma condição fisiológica anormal do estresse. O autor se utiliza do conceito de variação dos batimentos cardíacos para analisar o nível de estresse.

Uma vez capturados os dados de entrada, foi utilizada lógica *fuzzy* para tratar os dados de entrada. As regras utilizadas são apresentadas na Tabela 1 e na Tabela 2.

Para implementar as regras de lógica difusa usadas na aplicação, fez-se uso do JFuzzyLogic, uma biblioteca *open-source* que implementa padrões que objetivam facilitar o desenvolvimento de sistemas que usam lógica *fuzzy* [3].

Table 1: Regras do IMC

Regras IMC
Regra MuitoAbaixo
Se $imc \leq 17$
Então "Muito abaixo do peso!"
Regra Abaixo
Se $imc > 17$ E $imc < 18.5$
Então "Abaixo do peso!"
Regra Normal
Se $imc \geq 18.5$ E $imc < 25$
Então "Peso normal!"
Regra Acima
Se $imc \geq 25$ E $imc < 30$
Então "Acima do peso!"
Regra Obesidade1
Se $imc \geq 30$ E $imc < 35$
Então "Obesidade 1!"
Regra Obesidade2
Se $imc \geq 35$ E $imc < 40$
Então "Obesidade 2!"
Regra Obesidade3
Se $imc \geq 40$
Então "Obesidade 3!"

Na Figura 1, é mostrado a configuração das regras para IMC utilizando lógica fuzzy, através da ferramenta JFuzzy, obedecendo então os intervalos estabelecidos anteriormente da Tabela 1.

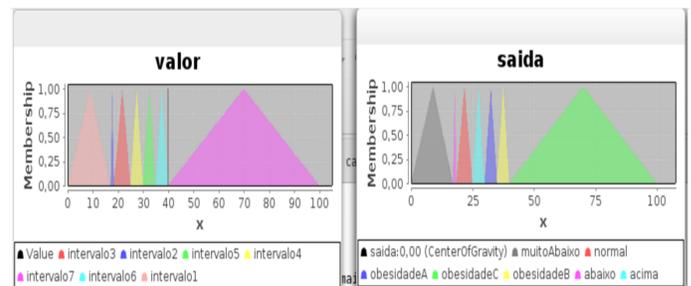


Figure 1: Regra IMC - JFuzzy

Table 2: Regras Batimentos cardíacos

Regras Batimentos	
Regra CaminhadLeve Se batPorMinuto ≥ 0.0 E batPorMinuto < 0.5500 Então "Caminhada Leve!"	
Regra CaminhadRapida Se batPorMinuto ≥ 0.5500 E batPorMinuto < 0.6500 Então "Caminhada Rápida!"	
Regra Trote Se batPorMinuto ≥ 0.6500 E batPorMinuto < 0.7500 Então "Trote!"	
Regra CLeve Se batPorMinuto ≥ 0.7500 E batPorMinuto < 0.8500 Então "Corrida leve!"	
Regra CModerada Se batPorMinuto ≥ 0.8500 E batPorMinuto < 0.9000 Então "Corrida Moderada!"	
Regra CIntensa Se batPorMinuto ≥ 0.9000 Então "Corrida intensa!"	
<hr/>	
Regra estresseBaixo Se nivel < 0.2 E nivel ≥ 0.0 Então "Baixo!"	
Regra estresseModerado Se (nivel ≥ 0.2 E nivel < 0.4) OU (nivel ≥ 0.6 E nivel < 0.7) Então "Moderado!"	
Regra estresseNeutro Se nivel ≥ 0.4 E nivel < 0.6 Então "Neutro!"	
Regra estresseAlto Se nivel > 0.7 E nivel ≤ 1 Então "Alto!"	

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O aplicativo desenvolvido é apresentado nas imagens a seguir. Na Figura 2, é mostrada a tela inicial para preenchimento de dados, onde existem os campos: Nome, Idade, Sexo, Altura, Peso, Quantidade de passos e Data. Deste campos, apenas a quantidade de passos é obtida automaticamente, utilizando o sensor de passos do *smartphone*, o restante dos dados é preenchido de acordo pelo usuário.

Na Figura 3, é apresentada a tela de resultados. Os dados lidos são enviados via JSON e é feita uma requisição ao servidor onde o processamento utilizando lógica *fuzzy* é realizado.

Na Figura 3(a) o IMC calculado está no nível normal, o tipo de caminhada é leve e o nível de estresse é baixo. Na Figura 3(b) o IMC calculado está no nível normal, o tipo de caminhada é leve e o nível de estresse é neutro.

Os dados capturados durante o dia são armazenados em uma base de dados, esses dados são usados na geração de relatórios, gerados a fim de facilitar a visualização da evolução do usuário do aplicativo.

Nos experimentos realizados, o aplicativo foi utilizado por um voluntário durante seis dias, sendo medido diariamente todos os dados: IMC, passos diários, batimentos cardíacos, armazenando para geração de aplicação para análise gráfica. Os gráficos gerados são apresentados a seguir. Na Figura 4, é apresentado o histórico de peso do usuário do aplicativo

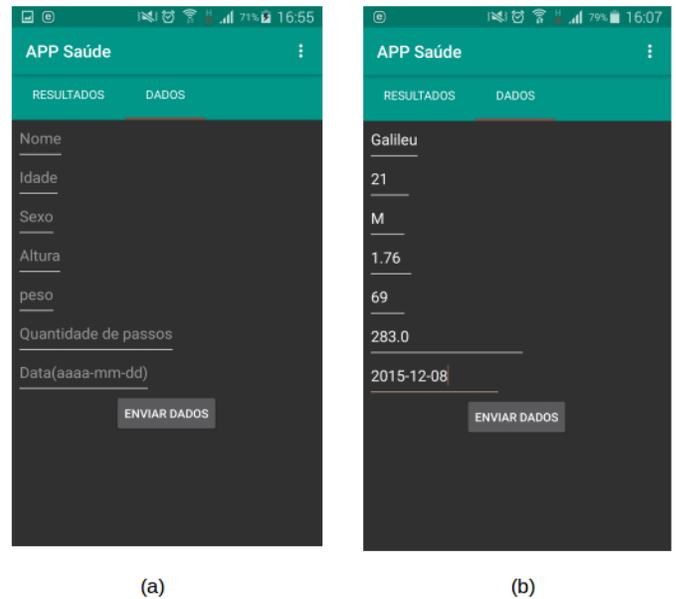


Figure 2: (a) Tela inicial para preenchimento de dados. (b) Tela inicial preenchida.

e na Figura 5 é apresentado o histórico da quantidade de passos dados por esse usuário.

A partir dos resultados apresentados, pôde-se verificar a aplicabilidade da lógica *fuzzy* à problemática proposta.

5. CONCLUSÃO

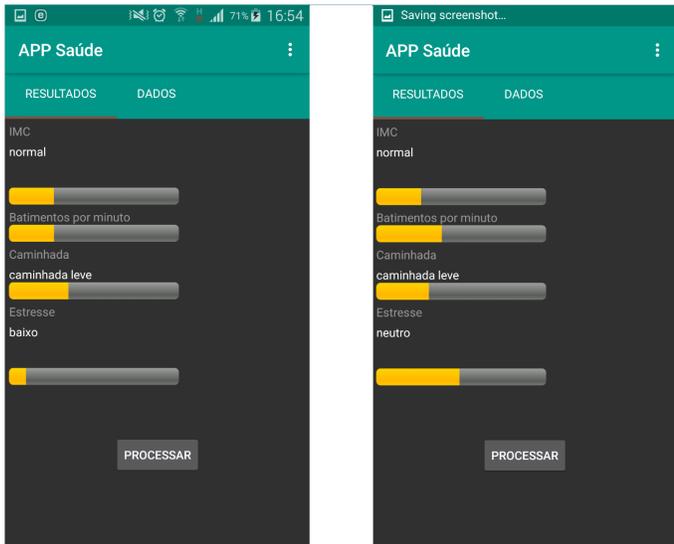
O principal objetivo deste trabalho é a implementação de uma aplicação que auxilie no monitoramento de alguns indicadores de saúde, fazendo uso dos conceitos de lógica *fuzzy* e aplicando esses conceitos no contexto de *smart health*. Foi possível alcançar o objetivo proposto e percebeu-se que o trabalho desenvolvido possui grande potencial para ser utilizado na prática, bem como possui pontos que podem ser explorados no futuro. Um desses pontos é a implementação de novas medições, e o uso de outras técnicas como redes bayesianas e regressão linear na análise dos dados. Além disso, pretende-se explorar e analisar a utilização da aplicação em bases de dados maiores, onde se possa avaliar, de fato, a sua aplicação no contexto de cidades inteligentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UFS pelo suporte financeiro concedido [Edital POSGRAP/COPES/UFS No 03/2014 14/2012 (HERMES), Processo 008325/14-72] e ao CNPq pela bolsa de produtividade concedida ao pesquisador Hendrik Macedo [Modalidade/Nível: DT-II, Processo 310446/2014-7].

6. REFERENCES

- [1] J. Azevedo, S. Miyahira, L. Leal, G. Azevedo, O. Azevedo, J. Azevedo, and G. Miguel. Fuzzy logic as a decision-making support system for the indication of bariatric surgery based on an index (obesindex) generated by the association between body fat and body mass index. In *Nature Proceedings*, pages 231–234, 2011.



(a) (b)

Figure 3: Tela dos resultados.

- [2] M. M. Baig and H. Gholamhosseini. Smart health monitoring systems: An overview of design and modeling. *Journal of Medical Systems*, 37(2):1–14, 2013.
- [3] P. Cingolani and J. Alcalá-Fdez. jfuzzylogic: a java library to design fuzzy logic controllers according to the standard for fuzzy control programming.
- [4] T. Nam and T. A. Pardo. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times*, dg.o '11, pages 282–291, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [5] T. Nawarycz, K. Pytel, M. Gazicki-Lipman, W. Drygas, and L. Ostrowska-Nawarycz. A fuzzy logic approach to the evaluation of health risks associated with obesity. In M. Ganzha, L. A. Maciaszek, and M. Paprzycki, editors, *FedCSIS*, pages 231–234, 2013.
- [6] V. S. Rao and T. M. Krishna. A design of mobile health for android applications. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 03(06):20–29, 2014.
- [7] L. Salahuddin and D. Kim. Detection of acute stress by heart rate variability using a prototype mobile ecg sensor. In *Proceedings of the 2006 International Conference on Hybrid Information Technology - Volume 02, ICHIT '06*, pages 453–459, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society.
- [8] A. Solanas, C. Patsakis, M. Conti, I. Vlachos, V. Ramos, F. Falcone, O. Postolache, P. Perez-martinez, R. Pietro, D. Perrea, and A. Martinez-Balleste. Smart health: A context-aware health paradigm within smart cities. *IEEE Communications Magazine*, 52(8):74–81, Aug 2014.



Figure 4: Gráfico que exibe o histórico de pesos de um usuário.



Figure 5: Gráfico que exibe o histórico de passos de um usuário.