

Monitoramento de variáveis ambientais em UTI neonatal

Arthur M. A. Melo¹, Hugo A. Souza², Andre L. L. Aquino¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Maceió – AL – Brasil

²Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Recife – PE – Brasil

Abstract. *This paper presents an embedded system to control an intensive care environment which aims to support the planning of actions that mitigate unfavorable conditions and out of safety standards in NICUs. We used to develop our embedded system the WiFi Module ESP8266 NodeMCU, DHT11 sensor, BH1750 sensor and Grove sound sensor, all on a perforated phenolite plate and controlled by an Android application with the Firebase API. The monitoring was performed at the Neonatal Intensive Care Unit of the Santa Mônica School Maternity Unit in Maceió-AL, where the devices were active for a period of 31 uninterrupted days.*

Resumo. *Este artigo apresenta um sistema embarcado para controlar um ambiente de terapia intensiva que visa dar suporte ao planejamento de ações que mitiguem condições desfavoráveis e fora dos padrões de segurança e qualidade em UTIs neonatal. Utilizamos para desenvolver nosso sistema embarcado o Módulo WiFi ESP8266 NodeMCU, sensor DHT11, sensor BH1750 e sensor de som Grove, todos numa placa de fenolite perfurada e controlados por uma aplicação Android com a API Firebase. O monitoramento foi realizado na Unidade de Terapia Intensiva Neonatal da Maternidade Escola Santa Mônica em Maceió-AL, onde os dispositivos ficaram ativos por um período de 31 dias ininterruptos.*

1. Introdução

Os ritmos biológicos são parte da fisiologia dos organismos vivos, existindo enquanto mecanismos adaptativos ao ambiente. Diversas atividades fisiológicas apresentam comportamento rítmico, sendo o ciclo sono/vigília um dos exemplos mais clássicos de ritmos circadianos manifestados pelo nosso organismo [Waterhouse et al. 2012]. Nesse contexto, os níveis de ruído, aos quais os seres humanos são expostos todos os dias podem afetar diretamente a qualidade de vida de um indivíduo. Os efeitos fisiológicos se iniciam a partir de 65 dB(A) quando o eixo hipotálamo-hipófise-adrenal é sensibilizado em adultos gerando a secreção de elevados níveis de adrenalina, noradrenalina e corticosteroides, tendo como consequência a elevação da pressão arterial, alterações do ritmo cardíaco e vasoconstrição periférica [Oliveira et al. 2013].

Distúrbios do ciclo sono/vigília são muito comuns em ambientes hospitalares, tanto em pacientes internados quanto em funcionários que realizam plantões. A interrupção de sono tem efeitos potencialmente prejudiciais à saúde, sendo que em pacientes internados pode contribuir para o aumento de tempo de internação [Lôbo et al. 2010]. O ambiente hospitalar parece agir como um dificultador da indução e manutenção do ciclo

sono/vigília, na medida em que nem sempre permite contato com a iluminação do ambiente. Isso sujeita os pacientes e funcionários à iluminação durante a noite e promove interrupção do sono em decorrência das avaliações e intervenções de rotina e emergenciais [Bano et al. 2014].

A qualidade de vida das pessoas é influenciada pela qualidade do ar que respiram [Vieira et al. 2016]. No caso específico de unidade de saúde, a qualidade do ar pode exercer uma influência direta e de grande significância na velocidade de recuperação dos pacientes e na frequência de ocorrência de infecções relacionadas à assistência a saúde, nesse contexto, temperatura e umidade são as variáveis preponderantes na qualidade do ar em ambientes climatizados artificialmente. No Brasil a resolução RE nº 9, da Anvisa [ANVISA 2003] estabelece padrões de referência para a qualidade do ar interior, em ambientes climatizados artificialmente, de uso público e coletivo. A faixa recomenda as operações das temperaturas, nas condições internas para verão, deverá variar entre 23°C a 26°C e no inverno a faixa recomendável de operação deverá variar entre 20°C a 22°C. No caso da Umidade Relativa do ar, a faixa recomendada nas condições internas para verão necessitará variar entre 40% a 65%, já no inverno a faixa recomendável fica entre 35% a 65%.

Todos esses aspectos físicos do ambiente podem desequilibrar o comportamento humano, principalmente em recém-nascidos, nos quais qualquer alteração é capaz de acarretar déficit no desenvolvimento neuropsicomotor ao longo de suas vidas [Cioni and Sgandurra 2013]. Sendo assim, é necessário manter o ambiente da Unidade de Terapia Intensiva Neonatal (UTIN) o mais acolhedor e confortável possível, mantendo níveis de iluminação, ruído, temperatura e umidade com o padrão de qualidade esperado, propiciando um tratamento seguro e eficaz.

Com isso, o objetivo desse trabalho foi desenvolver e aplicar um sistema de monitoramento passivo em tempo real que caracterize as variáveis ambientais na UTIN da Maternidade Escola Santa Mônica. Com nosso protótipo foi possível determinar os níveis de ruídos em decibéis, iluminância em lux, temperatura em celsius e a taxa de umidade no ambiente monitorado. Ademais, foi possível alertar os plantonistas sobre as condições nas quais os pacientes estavam expostos.

Para desenvolver esse estudo analisamos alguns trabalhos que representam o estado da arte e que se propõem a resolver problemas similares ao nosso. De forma geral, o estudo de [Hassanalieragh et al. 2015] destaca as oportunidades e desafios para a *Internet of Things (IoT)* na concretização dessa visão do futuro dos cuidados de saúde. Em particular, [Coronato and Esposito 2008] propõem uma implementação concreta de um Hospital Inteligente e discute como os serviços e aplicativos de e-Health podem ser aprimorados por informações de localização. [Ghosh et al. 2016] apresenta um sistema de saúde para gerenciamento hospitalar, permitindo que os cuidadores, juntamente com os médicos, monitorem remotamente as condições de saúde dos pacientes via internet. [Kelly et al. 2013] implementa um modelo eficaz para a IoT, usada para monitorar as condições regulatórias do ambiente, por meio do sistema onipresente de sensoriamento de baixo custo. [Noury et al. 2008] relata um estudo sobre a atividade cotidiana de idosos em uma unidade hospitalar, com presença de sensores infravermelhos. Desses trabalhos visitados, não identificamos trabalhos que se visam atender aos requisitos operacionais de um UTI neonatal, portanto esse é o principal diferencial do estudo aqui apresentado.

Nosso trabalho segue com a seção 2 que apresenta o nosso sistema de monitoramento; seção 3 que discute sobre os principais resultados encontrados; e seção 4 que conclui o trabalho e apresenta os principais trabalhos futuros.

2. Sistema embarcado para monitoramento de UTIN

Este trabalho propõe uma solução para auxiliar os gestores e profissionais envolvidos na qualidade do antedimento em UTINs. Para atingir esse objetivo, o sistema foi desenvolvido levando em consideração os requisitos preconizados pelas normas nacionais e internacionais.

Segundo pensamos nosso sistema seguindo uma arquitetura dividida em três módulos principais: *Sistema embarcado* composto por sensores de ruído, luz, temperatura e umidade. Além de um controlador com conexão WiFi e leds. Os sensores de som foram calibrados de acordo com a norma [ABNT 2003]. O sensor de temperatura e umidade tem uma precisão de medição de temperatura igual a 2.0°C e de umidade em 5.0%. Já o sensor de iluminância tem uma faixa de medição de 0 à 65535 lux; *Aplicação mobile* como software nativo Android, desenvolvido usando linguagem Java. Sua função é mostrar os dados monitorados em tempo real; e *Serviço de nuvem* onde utilizamos a plataforma Firebase que provê todos os recursos necessários para a utilização de nossa aplicação *cloud IoT* [Moribe 2016].

Nesse sistema, um ou mais dispositivos se conectam a nuvem e enviam os dados dos sensores, onde o aplicativo consegue receber os novos dados assim que eles estão no banco de dados da cloud, disponibilizando o comportamento das variáveis diretamente num smartphone Android.

Para conceber esse sistema, o primeiro requisito foi um controlador com o preço acessível e com comunicação WiFi, assim o escolhido foi o módulo WiFi ESP8266 NodeMCU [Electrodragon 2017]. Para mensurar a temperatura e a umidade foi necessário um sensor que une as duas necessidades, também foi levada em conta seu custo benefício, desta forma foi escolhido o sensor DHT11 [Aosong 2017]. Já para mensurar luminosidade foi escolhido o sensor de lux BH1750FVI, tendo em vista seu baixo custo e considerável desempenho [Rohm 2010]. O sensor de ruído escolhido foi o som grove, na qual possui um amplificador LM386 e uma interface I2C, que facilita a medição na porta analógica do controlador [Jiankai 2015]. A plataforma Firebase foi definida, pela velocidade de implementação que ela oferece ao desenvolvedor, provendo armazenamento, segurança e fácil comunicação com o sistema embarcado e o aplicativo mobile. Por fim, a aplicação Android foi escolhida por ser o sistema operacional móvel mais utilizado no mercado.

A criação do dispositivo se divide em projeto de hardware e de software. O hardware é formado pelo módulo WiFi ESP8266 NodeMCU, Sensor de Temperatura e Umidade DHT11, Sensor de Luminância BH1750FVI, Sensor Grove e três LEDs (diodos emissores de luz). Todos os componentes foram soldados a mão numa placa fenolite perfurada e colocados em uma caixa de MDF (placa de fibra de média densidade) com aberturas na parte frontal para a passagem dos sensores. Ao todo foram criados três dispositivos idênticos para a captação em três pontos diferentes no ambiente hospitalar, cada dispositivo conta com uma tomada dedicada a ele com uma alimentação 5V e 1A de corrente. A figura 1 ilustra os componentes conectados em uma *protoboard* e mostra como ficou a versão utilizada na UTIN.

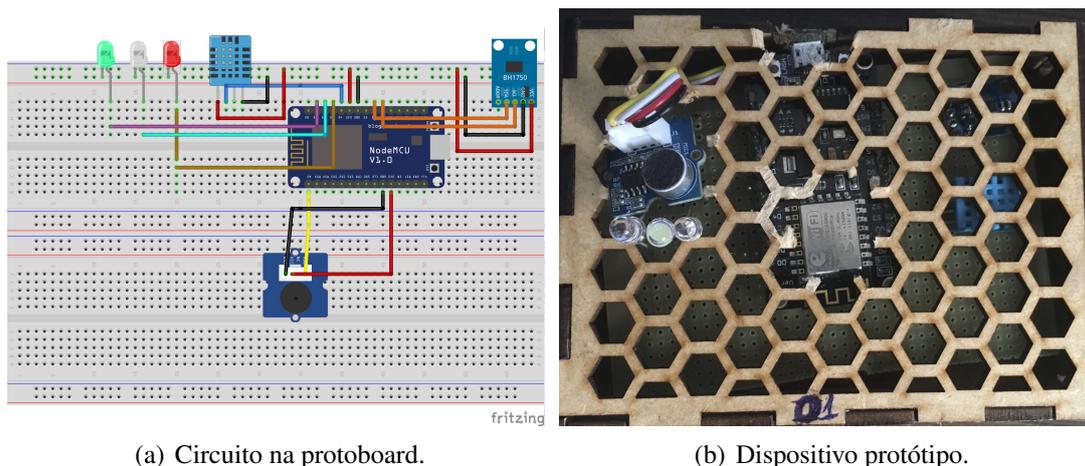


Figura 1. Protótipo do sistema para monitoramento de UTIN

O software foi desenvolvido na linguagem C++ utilizando a IDE Arduino para a programação, sendo embarcado no módulo ESP8266 WiFi NodeMCU. O sistema desenvolvido conta com as bibliotecas Firebase Arduino, DHT Adafruit, BH1750, ESP8266WiFi e NTP.

O monitoramento ocorreu em um Box, na UTIN da maternidade, figura 2, que possui área útil de 40m² (8×5m). Foram posicionados três dispositivos no ambiente, cada dispositivo ficou perpendicular ao chão na altura de um metro, seguindo a normatização. O sensores ficaram na UTIN durante 31 dias (21/06/2018 até 21/07/2018), porém devido a problemas do sinal com a Internet houve alguns momentos em que a comunicação não ocorreu ou falhou a sincronização com o protocolo NTP, logo perdemos alguns dados.

3. Resultados

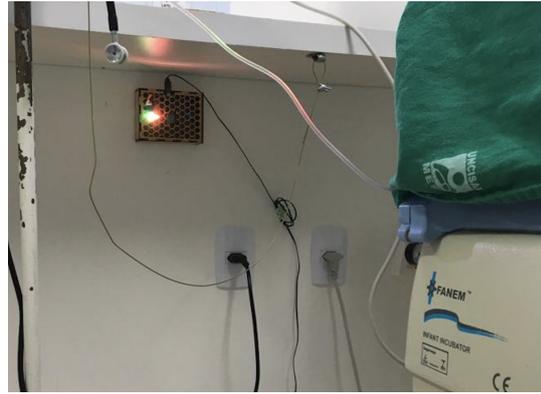
Utilizando os dados obtidos pelo monitoramento, foi realizada uma análise do comportamento da UTIN e sua relação com o posicionamento de cada grupo de sensores instalados na UTIN. Houve perda de dados de 54,52 % devido a desconexão com a internet e falha do protocolo NTP (Network Time Protocol, ao todo foram captados 406.027 dados ambientais, sendo 124.897 de iluminação, 124.916 de ruído, 78.118 de temperatura e 78.096 de umidade. Todos os gráficos e tabelas foram tratados na linguagem Python, na plataforma Jupyter, devido a sua confiabilidade e precisão ao lidar com funções estatísticas.

Segundo a [ABNT 2013], que normatiza a iluminação em ambientes de trabalho, indica que em UTIs a iluminação média ideal durante o dia é 100 lux, e durante a noite, quando os pacientes estão sob observação, de 20 lux. Com a análise gráfica, figura 7, foi observado um padrão no comportamento da luminosidade no ambiente. Todos os dias a partir de 6 horas da manhã até o começo do meio dia ocorreram os maiores picos de lux em todos os três dispositivos, inclusive nos finais de semana. Isso se deve a soma da iluminação das janelas, com o aparecimento da claridade do dia, e ao ligamento das lâmpadas pelos funcionários. A tabela 1 apresenta os resultados médios para o sensor de iluminação.

A refrigeração de toda a UTIN é feita artificialmente por aparelhos de ar condicionado. A variação da amplitude térmica ocorre devido ao fluxo de pessoas e proce-



(a) Box da UTIN.



(b) Dispositivo 1.



(c) Dispositivo 2.

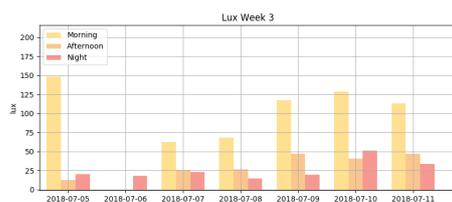


(d) Dispositivo 3.

Figura 2. Ambiente de instalação do sistema

dimentos médicos. Por vezes, os aparelhos de ar condicionado precisam ser desligados para que os profissionais possam examinar os recém-nascidos, evitando o choque térmico nos bebês. Os dados foram colhidos durante o inverno. De acordo com a [ABNT 2008] a faixa recomendável de operação das temperaturas de bulbo seco nas condições internas para inverno é de 20-22°C. Em sua maioria, os valores de temperatura se mantiveram entre 23-24°C, figura 4, lembrando que o sensor usando tem uma margem de erro de 2°C. A tabela 2 apresenta os resultados médios para o sensor de temperatura, dispositivo 3 não coletou temperatura por defeito do sensor DHT11.

A umidade, principalmente em ambientes refrigerados artificialmente por ar con-



(a) Acumulado da semana.

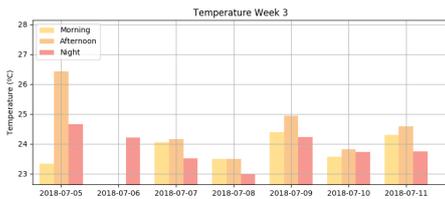


(b) Durante um dia inteiro.

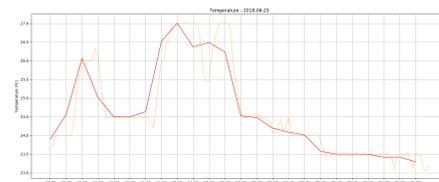
Figura 3. Monitoramento de tempo real da iluminância

Tabela 1. Níveis de iluminação dos dispositivos em lux

	Mínima	Máxima	Média
Dispositivo 1	15	175	20.42
Dispositivo 2	0	131	24.51
Dispositivo 3	0	645	70.60



(a) Acumulado da semana.



(b) Durante um dia inteiro.

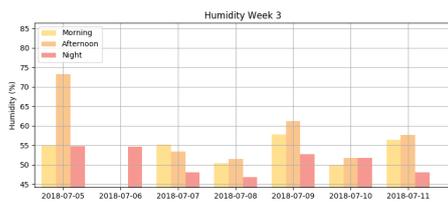
Figura 4. Monitoramento de tempo real da temperatura

dicionados, está relacionada com a temperatura do ambiente. O motivo de o ar condicionado diminuir a umidade do ar é que quando o ar quente do ambiente entra em contato com a tubulação do gás refrigerante o vapor de água se condensa. Por isso, o ar condicionado, durante seu funcionamento, expelle água pelo seu duto localizado na parte externa da sua instalação. Como o ar perdeu água ele fica mais seco, acontece junto com o processo de diminuição da temperatura do ambiente artificialmente. Essa diminuição é benéfica ao ambiente hospitalar, pois com a umidade menor, a proliferação de bactérias diminui consideravelmente. Como na temperatura, a [ABNT 2008] que preconiza a umidade relativa do ar em ambientes fechados. Os valores recomendáveis para condições internas em inverno são de 35-65%. Portanto, como é possível observar, figura 5, o comportamento da umidade nos dois gráficos se assemelham muito com o da temperatura, tanto no final de semana onde a umidade tem uma estabilidade maior, quanto no início da semana no qual os valores variam e tem uma amplitude superior. A tabela 3 apresenta os resultados médios para o sensor de umidade, o dispositivo 3 não monitorou a umidade por defeito no Sensor DHT11.

Existe um grande número de emissores de sons nas UTINs como alarmes (respiradores, oxímetros, berços aquecidos, monitores cardíacos e bombas de infusão) e pessoas circulando pela unidade o dia inteiro. Os valores preconizados pela [ABNT 2003] são de 35-45dB(A). É possível ver na figura 6 que a curva de intensidade do ruído se mostrou menor durante a madrugada e uma parte da manhã, pelo menor movimento de pessoas na área, porém no restante do dia os níveis de variação aumentaram, chegando a mais de 60

Tabela 2. Resultado da temperatura nos dispositivos em celsius

	Mínima	Máxima	Média
Dispositivo 1	21	29	24.64
Dispositivo 2	22	27	24.09
Dispositivo 3	N/A	N/A	N/A



(a) Acumulado da semana.



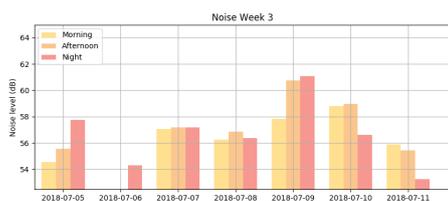
(b) Durante um dia inteiro.

Figura 5. Monitoramento de tempo real da umidade

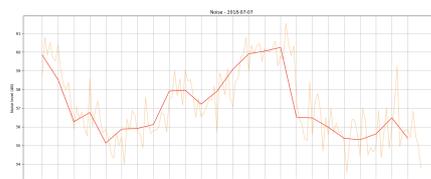
Tabela 3. Resultado da umidade relativa do ar nos dispositivos em porcentagem

	Mínima	Máxima	Média
Dispositivo 1	39	83	52.09
Dispositivo 2	39	83	52.28
Dispositivo 3	N/A	N/A	N/A

dB(A). A tabela 4 apresenta os resultados médios para o sensor de ruído.



(a) Acumulado da semana.



(b) Durante um dia inteiro.

Figura 6. Monitoramento de tempo real do ruído

Tabela 4. Resultado de níveis de ruídos nos dispositivos em dB(A)

	Mínima	Máxima	Média
Dispositivo 1	39	64	53.07
Dispositivo 2	39	64	53.07
Dispositivo 3	22	63	25,89

A aplicação Android funcionou de forma que o profissional da saúde responsável da UTIN tivesse em suas mãos dados em tempo real do ambiente, Figura 7, com essa ferramenta é possível por meio de um aviso remoto ou indo até o local alterar a qualidade do ambiente, tomando decisões contínuas e embasadas em dados confiáveis podendo criar metas a serem alcançadas pelas equipes de atendimento.

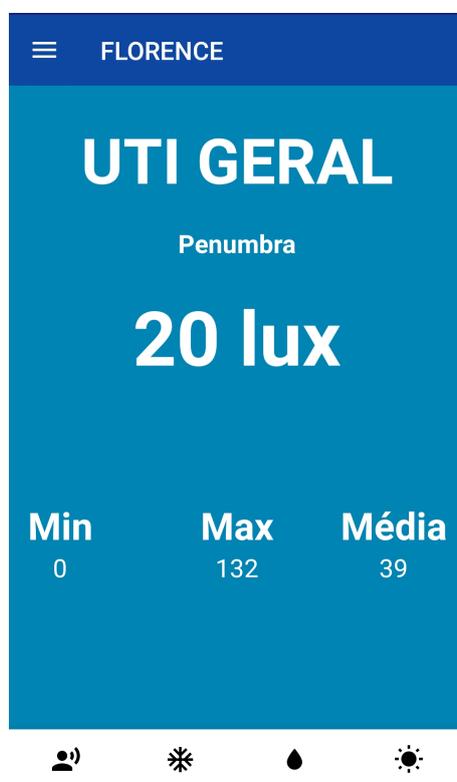


Figura 7. Dados de iluminância em tempo real.

Todas essas informações colhidas e estudadas, demonstram a importância de monitorar um espaço crítico como é uma UTIN, em que um sistema como esse pode acarretar em uma maior humanização do ambiente, pois toda a equipe de profissionais têm os dados das variáveis do ambiente medidas onde estão inseridos, sendo assim podendo tomar medidas para sua melhora, tanto para os pacientes, quanto para eles próprios.

Por fim, com todos esses dados salvos em nuvem é aberto um leque de possibilidades para a análise histórica das variáveis monitoradas, como a criação de um painel de *Business Intelligence (BI)*, auxiliando a gestão do hospital.

4. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho implementou um sistema de monitoramento e avaliou as variáveis ambientais da UTIN na Maternidade Escola Santa Mônica implementadas de acordo com as normas estabelecidas. Dos três dispositivos colocados na UTIN um obteve melhor desempenho que os demais no quesito de níveis de iluminação, isso se deu por ele estar voltado para a janela, então somou a iluminação artificial com a natural e obteve uma média muito superior dos outros. Mas um fator interessante foi que esse dispositivo demonstrou a menor média em níveis de ruídos. Os outros dois dispositivos apresentaram comportamentos parecidos. A parte mais evidente foi a média da captação de ruído que ficou acima dos 45 db(A) preconizados para tais ambientes, mostrando a necessidade de diminuir essa poluição sonora para o melhor desenvolvimento dos RNs.

Foi possível notar o baixo uso da aplicação Android no monitoramento por parte dos profissionais, ficando para as próximas aplicações a necessidade de um monitor local multiparamétrico que avise caso uma taxa esteja fora do normal para que os profissionais tenham a informação no momento e a aplicação mobile sirva como um suporte aos gestores, mostrando o comportamento dos dados ao longo do tempo. Podemos ainda realizar a aplicação de algoritmos de aprendizagem de máquina em estudos posteriores, tendo em vista a grande quantidade de dados colhidos, a fim de obter relevantes informações que podem ser melhor classificadas.

Referências

- ABNT (2003). Nbr 10151: Acústica - avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - procedimento. *ABNT*.
- ABNT (2008). *NBR 16401 - 2 - Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico*. ABNT, Rio de Janeiro.
- ABNT (2013). Nbr iso/cire 8995-1. Technical report, ABNT.
- ANVISA (2003). Resolução nº 9. *Diário Oficial da União*, (14).
- Aosong (2017). *DHT11 Product Manual: Temperature and humidity module*. Aosong, www.aosong.com.
- Bano, M., Chiaromanni, F., Corrias, M., Turco, M., Rui, M. D., Amodio, P., Merkel, C., A.Gatta, Mazzotta, G., Costa, R., and Montagnese, S. (2014). The influence of environmental factors on sleep quality in hospitalized medical patients. *Front Neurol*.
- Cioni, G. and Sgandurra, G. (2013). Normal psychomotor development. *Handbook of Clinical Neurology*, 111:3–15.
- Coronato, A. and Esposito, M. (2008). Towards an implementation of smart hospital: a localization system for mobile users and devices. In press, I. X., editor, *Sixth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, pages 715–719.
- Electrodragon (2017). *ESP-12F Esp8266 Wifi Board*. Electrodragon.
- Ghosh, A., Halder, D., and Hossain, S. (2016). Remote health monitoring system through iot. In press, I. X., editor, *5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*, pages 921–926.

- Hassanalieragh, M., Page, A., Soyata, T., Sharma, G., Aktas, M., Mateos, G., Kantarci, B., and Andreescu, S. (2015). Health monitoring and management using internet of things (iot) sensing with cloud based processing: Opportunities and challenges. In press, I. X., editor, *IEEE International Conference on Services Computing*, pages 285–292.
- Jiankai, L. (2015). *User Manual: Grove - Sound Sensor*. Seeed, www.seeedstudio.com, 1 edition.
- Kelly, S., Suryadevara, N., and Mukhopadhyay, S. (2013). Towards the implementation of iot for environmental condition monitoring in homes. *IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 13, NO. 10*.
- Lôbo, R. R., da Silva Filho, S., Lima, N., Ferriolli, E., and Moriguti, J. (2010). Delirium. *Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto Journal*, pages 248–257.
- Moribe, F. (2016). Vantagens de um baas para sua startup.
- Noury, N., Hadidi, T., Laila, M., Fleury, A., Villemazet, C., Rialle, V., and Franco, A. (2008). Level of activity, night and day alter nation, and well being measure d in a smart hospital suite. In press, I. X., editor, *30th Annual International IEEE EMBS Conference*, pages 3328–3331.
- Oliveira, F., Paixa, M., Nascimento, M., Rezende, V., Silva, A., and Silva, C. (2013). Nível de ruído da unidade de terapia intensiva pediátrica: estudo observacional correlacional. *OBJN: Online Brazilian Journal of Nursing*.
- Rohm (2010). *Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC: BH1750FVI*. Rohm Semiconductor, www.rohm.com, rev.c edition.
- Vieira, E., Falcão, C., da Silva, L., da Silva, J., and da Silva, E. (2016). Padrões de variação da qualidade do ar e fatores termofísicos na undade de terapia intensiva. *Interfaces Científicas, Saúde e ambiente*, 4(3):39–50.
- Waterhouse, J., Fukuda, Y., and Morita, T. (2012). Daily rhythms of the sleep-wake cycle. *Journal of Physiological Anthropology*, pages 5–31.