



ESTUDO DA VIABILIDADE DE DISPOSITIVO VESTÍVEL PARA IDENTIFICAÇÃO DE RISCO DE MORTE DE BOMBEIROS POR EXAUSTÃO EM AMBIENTES DE ALTAS TEMPERATURAS

Marcello Scarpel Contini
mscontini@gmail.com
UNIFESP

Rita de Cassia Mendonça Sales Contini
rita.sales@fatec.sp.gov.br
FATEC

Resumo: De acordo com pesquisa feita pela National Fire Protection Association nos EUA, a principal causa de mortes entre bombeiros em serviço é causada por ataque cardíaco súbito, que constituem 46% das fatalidades durante as operações, causados pela exaustão provocada de peso do equipamento de proteção e pelo calor excessivo. A roupa de proteção dos bombeiros segue as normas EN 1149-5:2008 e EN 469:2005+A1 2006 Nível 2, que determinam que a roupa tenha três camadas com funções específicas, tornando-a pesada e quente. Adicione a isso o peso do restante do equipamento padrão, como cilindro de oxigênio e máscara, mosquetões, cordas e ferramentas, mais um ambiente com alta temperatura, fumaça e escombros a serem ultrapassados e evidencia-se o risco real de stress crítico por exaustão por calor que pode levar o bombeiro a óbito. Neste cenário se faz imperativo o uso de técnicas que aumentem a segurança desses profissionais, o que justifica o desenvolvimento de um dispositivo vestível apto a monitorar os sinais vitais do bombeiro e identificar situações potenciais de exaustão por calor, alertando o bombeiro e um supervisor responsável pelo monitoramento desses indivíduos. Esse trabalho se propõe a identificar uma arquitetura viável de dispositivo vestível que possa ser desenvolvido para ser integrado a roupa de proteção do bombeiro e que possa ser desenvolvido com componentes de

confiabilidade e baixo custo.

Palavras Chave: Dispositivo Vestível - Sensores - bombeiros - wifi - arduino

1. INTRODUÇÃO

De acordo com pesquisa feita pela *National Fire Protection Association* nos EUA, A principal causa de mortes entre bombeiros em serviço é causada por ataque cardíaco súbito, que constituem 46% das fatalidades durante as operações, provocado pela exaustão provocada pelo excesso de peso do equipamento de proteção e pelo calor excessivo (*National Fire Protection Association*, n.d.). A proposta deste trabalho é investigar a viabilidade de um Dispositivo Vestível, conhecido como *wearable device* (WD), que permita monitorar eletronicamente os sinais vitais do bombeiro durante seu trabalho, alertando a ele e a um sistema de supervisão a ocorrência de um possível quadro de stress excessivo com risco de fatalidade. Esse dispositivo necessita atender a requisitos específicos:

Baixo peso e dimensões. O dispositivo deverá ser incorporado ao traje de proteção do bombeiro, portanto não deve ser volumoso a ponto de interferir na operação normal do profissional ou com os demais equipamentos de segurança. Esse equipamento deve ser leve, para não acrescentar carga ao já pesado equipamento;

Robustez. O dispositivo deverá operar em ambiente extremamente agressivo, sujeito a altas temperaturas, choques e água;

Facilidade de uso. Esse dispositivo não deve tomar tempo dos bombeiros na sua resposta aos chamados de emergência. Da mesma forma seu uso deve ser intuitivo e fácil, sem sobrecarregar a atenção dos profissionais durante o atendimento as chamadas de emergência.

Devido ao desenvolvimento do *home care* existem diversos dispositivos comerciais que permitem monitorar variados tipos de sinais vitais e transmiti-los aos profissionais de saúde utilizando vários protocolos de comunicação. Porém, o cenário de utilização de um equipamento desse tipo, para uso em bombeiros durante suas operações de emergência diverge muito do ambiente doméstico e hospitalar para os quais esses dispositivos foram desenvolvidos. Faz-se necessário portanto avaliar o cenário de operações dos bombeiros e investigar quais os tipos de sensores que podem ser utilizados, como o dispositivo deve ser instalado, quais sistemas de energia e sistemas de transmissão que seriam os mais apropriados para esse uso e assim sugerir uma arquitetura básica para um dispositivo vestível.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção é feita uma descrição das tecnologias passíveis de serem usadas no WD a ser proposto.

2.1. DISPOSITIVOS VESTÍVEIS

Este termo define dispositivos tecnológicos que podem ser utilizados como peças de vestuário. De acordo com (FERGUSON, 2013) esse tipo de equipamento é definido como "componentes eletrônicos ou computadores projetados para serem usados no corpo humano". (SZYDLO & KONIECZNY, 2015) sugerem em seu artigo que o uso de dispositivos vestíveis (DW) pode contribuir para reduzir os custos de tratamentos de certas doenças crônicas, ao permitir que o paciente seja tratado em casa, sendo constantemente monitorados por sensores de parâmetros biológicos embutidos em suas roupas e isso permitiria identificar e transmitir o estado de saúde do paciente continuamente, portanto possibilitando impedir a progressão de alterações fisiológicas que poderiam colocar em risco a vida desse paciente. O trabalho de (CHEN & POMPILI, 2011) sugerem um dispositivo para o monitoramento de pessoas idosas de forma a aumentar sua independência e segurança. Esse artigo propõe uma arquitetura, mostrada na Figura 1 que possibilita monitorar remotamente a saúde do paciente (*Home Care*)

utilizando uma roupa contendo diferentes sensores de parâmetros biológicos, como temperatura corporal, frequência cardíaca, postura corporal, entre outras possibilidades. Esses parâmetros são processados e transmitidos através do protocolo sem fio, que poderia ser *Bluetooth*, *Wi-Fi* ou via *GSM (Global System Mobile)* para um *smartphone* com acesso à Internet ou um roteador. Essas informações seriam acessadas pelos profissionais de saúde, que monitorariam eventuais de riscos à saúde desse paciente.

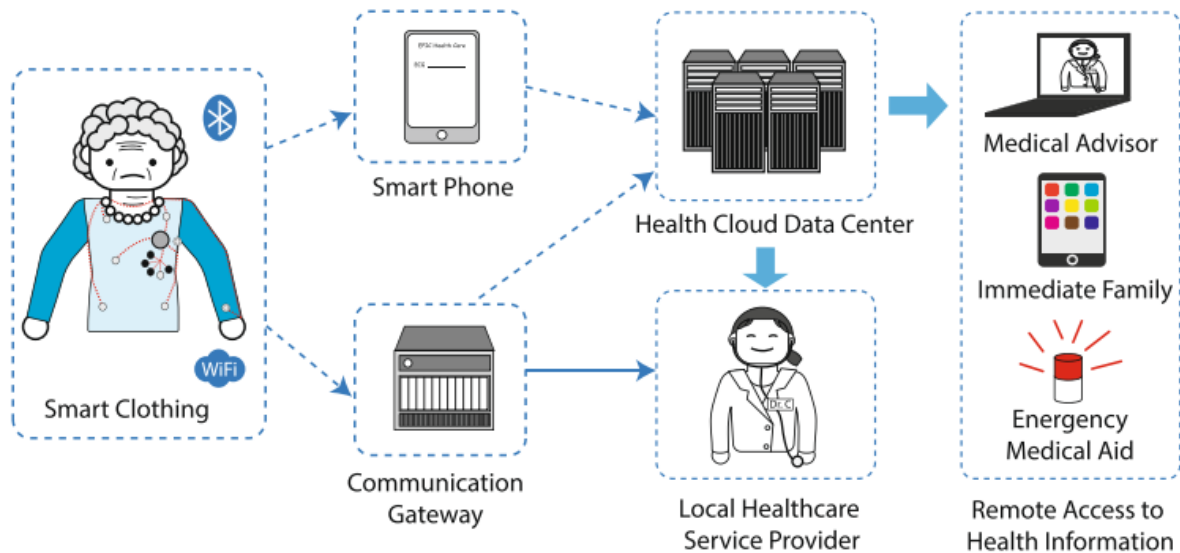


Figure 1: Arquitetura de uma roupa inteligente (WD) para *home care*

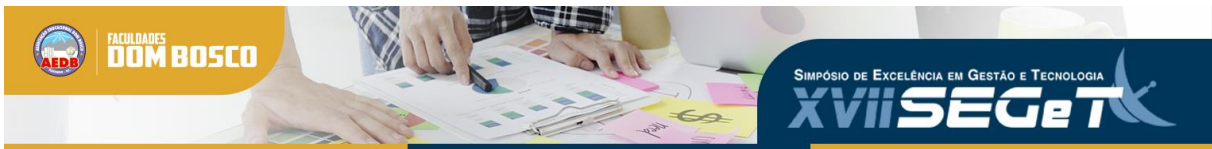
Fonte: Chen & Pompili (2011)

2.2. MICROPROCESSADOR

O microprocessador é um circuito integrado que consiste em uma unidade de controle, registradores e unidade aritmética e lógica capaz de seguir um conjunto predeterminado de instruções e ser usado como a unidade central de processamento de um microcomputador. O microprocessador executa instruções fornecidas por um programa de software que permite executar tarefas complexas e interagir com o ambiente, lendo os dados e processando-os ou enviando comandos. Essa interação ocorre através de periféricos (BINDAL, 2016). A função do microprocessador em um WD é a de ler as informações dos sensores, processá-las e transmiti-las a um dispositivo receptor. Plataformas de desenvolvimento baseados nos microprocessadores Atmel e Intel, a família Zilog de microcontroladores PIC e Z80 e vários outros formas (também chamadas de Shields) são atualmente usadas para desenvolvimentos de dispositivos deste tipo, destacam-se as da família Arduino, *Raspberry Pi* e *BeagleBone*. Essas plataformas de desenvolvimento podem ser aplicadas em vários projetos acadêmicos e industriais, como um nó sensor (FERDOUSH & LI, 2014), obtendo sinais biológicos (HAGHI et al., 2017), possibilitando a comunicação de dados (WANG et al., 2016).

2.3. TECNOLOGIA ECG

A tecnologia do eletrocardiograma (ECG) efetua a leitura dos sinais elétricos emitidos para fazer o músculo cardíaco se contrair, realizando o bombeamento sanguíneo (HAMPTON, 2013). O ECG exibe uma representação gráfica dos sinais elétricos que acionam o coração ao longo do tempo. Portanto, o ECG apresenta um gráfico de voltagem temporal dos batimentos cardíacos.



O dispositivo usado para obter e mostrar o ECG é chamado eletrocardiógrafo. Ele registra correntes elétricas que acionam o coração (voltagens ou potenciais) usando eletrodos condutores posicionados em regiões específicas na superfície do corpo.

2.4. TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO ELETRÔNICA DA TEMPERATURA CORPORAL

A temperatura corporal é definida como a temperatura média do organismo. Essa temperatura gira em torno de um valor característico para cada indivíduo, sendo que ocorrem variações desta em função das atividades exercidas, temperatura ambiente e momento do dia, entre os principais fatores. A temperatura corporal é controlada pelo hipotálamo, podendo essa temperatura ser modificada em caso de doença ou esforço físico. Também pode haver uma variação da temperatura corporal sem alterar o ponto de ajuste devido a fatores ambientais. Nesse caso, hipertermia (aumento da temperatura corporal) e hipotermia (diminuição) são incluídas (BLATTEIS, 2011). Para monitorar essa temperatura corporal existem várias tecnologias, baseadas em dispositivos físicos, químicos e eletrônicos. Os dispositivos eletrônicos são baseados em um transdutor, responsável por transformar a variação de temperatura monitorada em uma variação de sinal elétrico, proporcional à temperatura, e posteriormente processada e apresentada, podendo então ser transmitida de forma eletrônica. Os dispositivos baseados em transdutores eletrônicos de temperatura permitem a confecção de dispositivos remotos de medição da temperatura corporal, possibilitando a transmissão dessas informações e seu processamento por ferramentas computacionais. O uso desses tipos de sensores permite a implementação de vários dispositivos utilizados em monitoramento médico (Wcislik et al., 2015).

2.5. TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO DE DADOS VIA RF

- A comunicação por radiofrequência é uma maneira de transmitir informações remotamente via ondas de rádio. Exemplos típicos são transmissões de televisão, rádio e celular. Radiofrequência é sinais irradiados no ar usando um dispositivo de irradiação, conhecido como antena. Este dispositivo converte um sinal elétrico para ele por um cabo condutor em um sinal eletromagnético (ondas de rádio) e vice-versa. Este sinal por ondas de rádio sofre atenuações em seu percurso, devido à perda no espaço livre e obstáculos, influenciando em seu alcance. No geral, quanto mais alta a frequência de transmissão, maior a capacidade de dados que pode ser transmitida, porém menor é o alcance. As bandas de frequência mais frequentemente usadas para transmissão de dados são UHF, SHF e EHF. UHF é a banda de frequência mais importante para os modernos sistemas de comunicação sem fio. Começa de 300 MHz a 3 GHz. Essa faixa de frequência é usada para fornecer serviços de navegação GPS, comunicação via satélite, acesso Wi-Fi e Bluetooth, sinais de televisão e sinais de cobertura celular (GSM, CDMA, LTE) (RIBEIRO, 2013). A utilização de um sistema de transmissão de dados RF permite receber remotamente as informações de sensores eletrônicos instalados no WD. Estão disponíveis no mercado vários tipos de módulos de transmissão digital de baixo custo e peso e dimensões reduzidas, em diferentes frequências e modulações. Na Figura 2 é apresentado um desses módulos para transmissão no protocolo *wi-fi* (Pirmez et al., 2016).

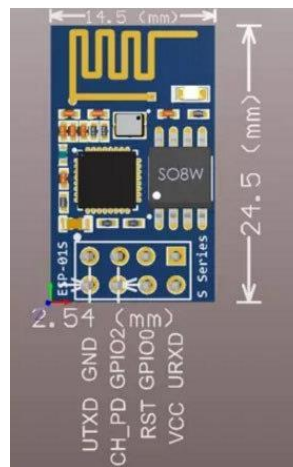


Figura 8: Módulo de Transmissão Wi-fi.

Fonte: Pirmez et al. (2016)

2.5. TECNOLOGIA DISPOSITIVOS HÁPTICOS

O adjetivo háptico, de acordo com a definição do dicionário Oxford, significa "relativo ao toque. São dispositivos destinados a transmitir a sensação de vibração na pele do indivíduo, e pode ser útil para emitir alertas onde em ambientes muito ruidosos para alertas acústicos e a utilização de alertas visuais é inviável. Um exemplo conhecido de aplicação de dispositivos hápticos é a resposta vibrátil de toque na tela do smartphone e o *feedback* de *joysticks* de videogames. Esses dispositivos podem ser motores de corrente contínua nos quais uma massa assimétrica é instalada, de modo que, quando o motor gira, o desequilíbrio dessa massa em movimento causa oscilação mecânica. A Figura 3 mostra os detalhes de um atuador háptico (VALENTIN et al., 2015).

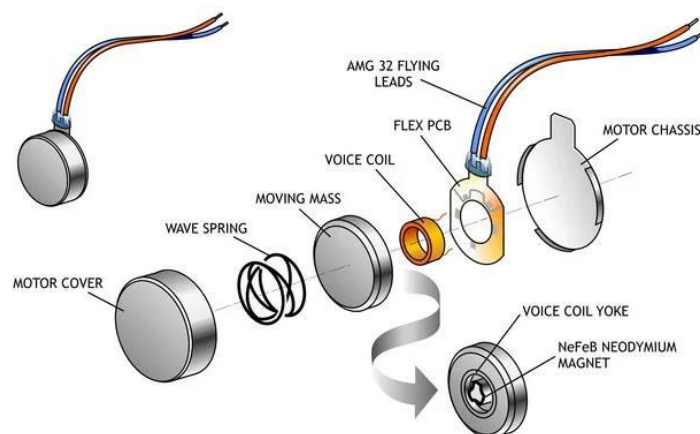


Figura 3: Atuador Háptico.

Fonte: Valentin et al. (2015).

2.5. TECNOLOGIA DA ROUPA DE COMBATE A INCENDIOS

As roupas de proteção para combate a incêndios devem obedecer as normas EN 1149-5 (2008) e EN 469:2005+A1 (2006) Nível 2, que ditam a especificação mínima deste equipamento de segurança. Esta roupa deve proteger o usuário do contato com substâncias químicas perigosas, calor excessivo e oferecer proteção contra cortes e contusões que podem ocorrer em seu ambiente de trabalho, tais como desabamentos e contato com entulhos. Esse equipamento deve contar com três camadas protetivas com suas respectivas funções de proteção (CATMAS, n.d.), que são:

1ª Camada (estrutura externa): Camada em tecido resistente a tração, abrasão e cortes, com tratamento contra raios UV e repelente de água.

2ª Camada (barreira de umidade): Camada intermediária com filme de material plástico que atua como barreira a líquidos contaminantes.

3ª Camada (barreira térmica): Camada interna dupla, com forro interno para contato com o corpo do usuário e tecido especial que atua como barreira contra o calor.

3. DESENVOLVIMENTO

Para o estudo aqui proposto foram estudados vinte e oito artigos, de quatro bases de dados (*IEEE, ACM, Springer Link e Science Direct*) escolhidas pela qualidade de seus artigos no que tange ao tema de inovação tecnológica. Esses artigos foram selecionados pela sua relevância em relação aos temas Transmissão de dados, sensores ambientais, sensores de sinais biológicos, plataforma móvel de sensores e *wearable device*. A Tabela 1 apresenta o número de artigos escolhidos para estudos após a seleção inicial usando *strings* de busca e posteriormente após análise dos *abstracts*.

Tabela 1: Número de artigos selecionados após aplicação de *string* de buscas e leitura de abstracts.

| Database | Nº de artigos | Nº de artigos após Análise de abstracts |
|----------------|---------------|---|
| IEEE | 399 | 17 |
| ACM | 257 | 4 |
| Springer Link | 1504 | 4 |
| Science Direct | 439 | 3 |
| TOTAL | 2.599 | 28 |

Fonte: Autor

Após esses estudos foi possível selecionar os vinte e oito artigos usados como base para a identificação das tecnologias mais apropriadas para o uso proposto nesse trabalho. Esses artigos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Lista de Artigos Selecionados para Estudo

| Título | Referencia |
|---|---|
| SensoMan: Remote management of context sensors | Paphitou et al. (2015) |
| Smart Computing and Sensing Technologies for Animal Welfare: A Systematic Review | Jukan et al. (2016) |
| The Challenges of Wearable Computing for Working Dogs | Valentin et al. (2015) |
| Continuing Progress in Augmenting Urban Search and Rescue Dogs | Tran et al. (2010) |
| Application specific study, analysis and classification of body area wireless sensor network applications | Nadeem et al. (2015) |
| Wireless Health Monitoring System | Wcislik et al. (2015) |
| Performance evaluation of a cheap, open source, digital environmental monitor based on the Raspberry Pi | Lewis et al. (2016) |
| Natural Disaster Monitoring with Wireless Sensor Networks: A Case Study of Data-intensive Applications upon Low-Cost Scalable Systems | Chen et al. (2013) |
| Transmission of Patient Vital Signs Using Wireless Body Area Networks | Chen & Pompili (2011) |
| Body Sensor Network Mobile Solutions for Biofeedback Monitoring | Pereira et al. (2011) |
| Smart Clothing: Connecting Human with Clouds and Big Data for Sustainable Health Monitoring | Chen et al. (2016) |
| A Low-Power Wireless Piezoelectric Sensor-Based Respiration Monitoring System Realized in CMOS Process | Mahbub et al. (2017) |
| Towards Non-intrusive Continuous Healthcare Monitoring with the Smart Hospital Gown | Guru et al. (2017) |
| Capacitively Coupled Electrocardiogram Measuring System and Noise Reduction by Singular Spectrum Analysis | Yang et al. (2016) |
| An ECG Monitoring System Through Flexible Clothes with Elastic Material | Takahashi & Suzuki (2016) |
| A Wearable Device for Continuous Cardiorespiratory System Monitoring | Mohammadi-Koushki et al., (2017) |
| Low Power Wearable System for Vital Signs Measurement in All Day Long Applications | Dionisi et al. (2015) |
| Implementation of a Wearable Cardiorespiratory Monitoring Device | Vishwaracharya & Mohan, (2017) |
| Autonomous Wearable System for Vital Signs Measurement With Energy-Harvesting Module | Dionisi et al. (2016) |
| A Low Power Wireless Breathing Monitoring System Using Piezoelectric Transducer | Mahbub et al. (2016) |
| Internet of Things for Human-Pet Interaction Internet of Things for Human | Haghi, M., Thurow, K., & Stoll, R. (2017) |
| HRV-Based Operator Fatigue Analysis and Classification Using Wearable Sensors | Al-libawy et al. (2013) |
| Comparison of Wireless Electrocardiographic Monitoring and Standard ECG in Dogs | Krvavica, et al. (2016) |

| | |
|---|--------------------------|
| Wearable Heart Rate Sensor Systems for Wireless Canine Health Monitoring | Brugarolas et al. (2015) |
| Towards a wearable system for continuous monitoring of sniffing and panting in dogs | Brugarolas et al. (2016) |
| Smart Connected Canines: IoT Design Considerations for the Lab, Home, and Mission-critical Environments (Invited Paper) | Majikes et al. (2017) |
| 3D terrain mapping vehicle for search and rescue | Wang et al. (2016) |
| Wearable Wireless Biophotonic and Biopotential Sensors for Canine Health Monitoring | Brugarolas et al. (2014) |

Fonte: Autor

O estudo dos artigos listados possibilitou responder questões relativas aos tipos de sensores mais viáveis para a utilização no cenário estipulado, assim como métodos de transmissão, permitindo a elaboração de uma arquitetura de sistema visando a utilização de um *wearable device* que possa atuar na monitoração do status de saúde do bombeiro durante a operação de emergência e identificar possíveis ameaças provocadas pelo stress excessivo que possam levar o bombeiro a óbito (*National Fire Protection Association, n.d.*).

A arquitetura sugerida é apresentada na Figura 4 e se constitui de cinco subsistemas, estruturados de forma a atender os requisitos de funcionamento do sistema:

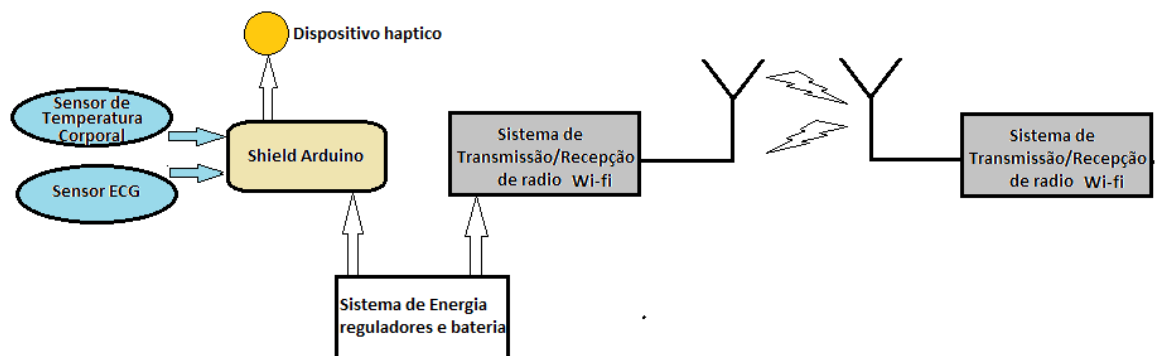


Figura 4: Arquitetura sugerida para o *Wearable Device* proposto.

Fonte: Autor

3.1. SUBSISTEMA DE SENSORES

O objetivo desse sistema é obter a leitura de sinais biológicos do usuário de forma a poder intuir seu estado geral de saúde e detectar possíveis situações de stress em nível perigoso. Uma forma eficiente de se detectar o nível de stress de uma pessoa é monitorando seus batimentos cardíacos. As respostas biológicas ao stress passíveis de serem medidas eletronicamente são o aumento da sudorese (STORI et al., 2006), alterações no ritmo cardíaco (LAUTERT et al., 1999), aumento na pressão arterial (DOS & ALVES, 2006), aumento na frequência respiratória e dilatação da pupila (RIOS, 2006). Para a definição da tecnologia mais apropriada para uso em um WD incorporado em um traje de proteção foram estudadas as técnicas de monitoramento cardíaco acústico (MOHAMMADI-KOUSHKI et al., 2017), piezoelétrico (VISHWARACHARYA & MOHAN, 2017) e por ECG (HAGHI et al., 2017). O método acústico e piezoelétrico não são adequados devido ao alto nível de ruído captado pelo dispositivo, como a fricção do tecido nos escombros e os ruídos inerentes as estruturas colapsando devido ao fogo. O ECG, por sua vez, se mostra mais adequado, além de existirem módulos de baixo custo, dimensões e consumo aptos a exercer essa função. Entre os artigos

analisados nesse estudo, a maioria opta por esse tipo de dispositivo para esse tipo de monitoração. Particularmente, o ECG com eletrodos secos (HAGHI et al., 2017) é a variação da técnica mais utilizada e a mais apropriada para uso em trajes de proteção, pois não demanda uma preparação prévia da área do corpo onde se aplicará o eletrodo. Na Tabela 3 pode-se perceber a predominância da técnica de ECG com eletrodos secos para a função estudada. O pequeno tamanho e peso do módulo ECG e a flexibilidade de instalação de seus eletrodos possibilita que esse sistema seja posicionado dentro da 3ª camada da roupa de proteção.

Tabela 3: Porcentagem de utilização por técnica de ECG nos artigos estudados

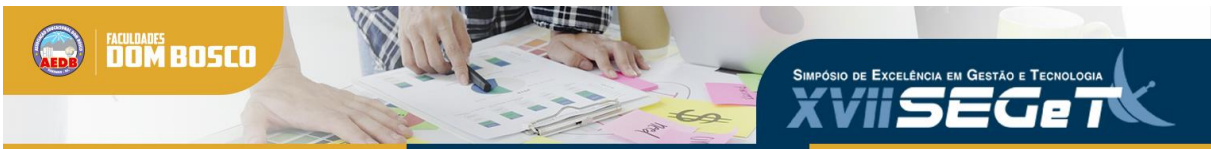
| Signa | Tecnologia do sensor | % |
|--------------------|--|-------|
| Batimento cardíaco | ECG com eletrodos secos (capacitivo e condutivo) | 44.44 |
| | ECG com eletrodo em gel condutivo | 11.11 |
| | ECG com eletrodo capacitivo | 5.56 |
| | Piezoeétrico (sensor do pulso cardíaco) | 5.56 |
| | Sensor acústico (som do coração) | 11.11 |
| | Não especificado | 22.22 |

Fonte: Autor

A Utilização de sensores de pressão sanguínea não se mostraram apropriados para uso em trajes de proteção, pois os mesmos necessitam de transdutores cuja utilização não é eficiente em um cenário que exige muita movimentação do usuário. Assim também os sensores de temperatura corporal se mostrariam pouco eficientes, pois os bombeiros já estão trabalhando no limite de seu conforto térmico (LAMBERTS et al., 2011). Sensores para detectar o aumento da sudorese e de temperatura corporal também não são efetivos, pois a roupa de proteção possui uma barreira térmica (CATMAS, n.d.) que aumenta a temperatura corporal, o que associado ao esforço físico inerente a operação dos bombeiros, aumenta a sudorese e a temperatura corporal. Quanto a dilatação da pupila, existem métodos eletrônicos que possibilitam esse tipo de sensoriamento, porem os mesmos são sofisticados, sensíveis e caros, o que os torna inapropriados para a finalidade deste trabalho.

Em acréscimo a esse monitoramento é possível integrar um sensor ambiental de temperatura no WD, de forma que se possa monitorar a temperatura ambiente e assim se ter um parâmetro para se comparar o nível de stress do bombeiro em relação ao cenário de seu ambiente de trabalho. A tecnologia de sensoriamento usando transdutor resistivo tipo NTC seria a mais apropriado devido ao seu baixo custo e simplicidade de implantação (PAPHITOU et al., 2015). Porém este sensor suporta temperaturas até 125° C, e a temperatura no lado externo da roupa de proteção pode chegar a 200°C, obrigando ao uso de sensores com tecnologia de termopar (BRAGA et al., 2016). Essa tecnologia tem um nível de sofisticação maior, mas ainda é viável de se implementar em termos de custo.

A variedade de módulos sensores também permitem flexibilizar o projeto, existindo também a possibilidade de se identificar contaminantes gasosos, tais como gases combustíveis (ABRAHAM & LI, 2014), e também sensores inerciais, que permitiriam identificar ocorrências de queda do bombeiro, indicando um possível desmaio que seria imediatamente comunicado ao responsável pela monitoração (BRUGAROLAS et al., 2015).



3.2. SUBSISTEMA MICROPROCESSADOR

Esse subsistema é o “cérebro” do WD, com a capacidade de ler as informações dos sensores receber comandos, transmitir dados e acionar atuadores, mediante uma programação. Existe uma gama de plataformas de microprocessadores de baixo custo, com variadas capacidades e funções, destinadas ao desenvolvimento de dispositivos de eletrônica embarcada, tais como o WD proposto neste trabalho. O microprocessador apropriado para a função é o Arduíno, devido ao seu baixo custo e possuir conversores analógico/digitais incorporados, o que aumenta a flexibilidade no uso de diferentes tecnologias de sensores (PAPHITOU et al., 2015). Essa plataforma, também chamada de *Shield*, possui pequenas dimensões, baixo peso e baixo consumo energético, somando vantagens em sua utilização.

3.3. SUBSISTEMA DE ENERGIA

A função deste subsistema é prover a alimentação elétrica aos subsistemas do WD. Esse módulo é constituído de bateria e reguladores de tensão. Pode ser previsto também o uso de sistemas de coleta de energia pelo calor corporal (THIELEN et al., 2017) ou através do movimento corporal (KUMAR et al., 2017), o que permitiria a recarga da bateria, ampliando a autonomia do WD. Quanto as baterias, as de íons de lítio são as que possuem melhor relação entre peso e densidade de potência, porem são suscetíveis a explosões na eventualidade de calor extremo ou impactos (KONG et al., 2018) o que inviabiliza seu uso neste WD. Esse subsistema requer um estudo dedicado, visando identificar a solução mais viável em termos de densidade de potência versus peso dentro de parâmetros de uso seguros.

3.4. SUBSISTEMA DO ATUADOR HAPTICO

A função deste subsistema é gerar um alarme ou aviso perceptível ao bombeiro durante a operação de combate a incêndio sem fazer uso de sinais sonoros ou visuais, inapropriados para este cenário. O atuador háptico produz uma vibração perceptível na pele do usuário, permitindo que este receba um alerta por parte da programação do WD identificando uma situação de risco (AALTONEN & LAARNI, 2017). Existe ainda a possibilidade de o responsável pelo monitoramento dos bombeiros envie um alerta a um indivíduo específico. Utilizando-se acionadores hápticos em outras partes do corpo pode-se enviar diferentes alertas pré-combinados.

3.5. SUBSISTEMA DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO DE RADIO

Esse subsistema é responsável pela transmissão dos dados dos sensores para o sistema de monitoração. Existem vários dispositivos comerciais em diferentes tecnologias, aptos a transmissão de dados, entre eles o NORA (DIONISI et al., 2015) que possui baixíssimo consumo energético e alcance ente dezenas e centenas de metros, além de ter sido desenvolvido visando o uso em plataformas de sensores. Outros tipos de tecnologia de baixíssimo consumo são o *bluetooth* (GUERREIRO et al., 2013) e o *Zigbee* (FERDOUSH & LI, 2014), porem estas se deparam com o alcance pequeno, na ordem de dez metros. Já a utilização do protocolo 802.11 (*wi-fi*), apesar de não ter a melhor desempenho para essa aplicação, principalmente no que tange ao consumo e necessidade de antena externa (HAYAJNEH et al., 2014), possui a inerente vantagem de ser muito difundido, podendo ser encontrado uma grande gama de equipamentos compatíveis com esse protocolo. Isso permite que se simplifique sobremaneira o sistema de monitoramento, que pode ser um notebook,

tablete ou mesmo um smartphone. A possibilidade de se criar um aplicativo em ambiente Android ou IOS permite a facilidade de, em instantes, transformar um smartphone em um monitor (FU & LIU, 2015). Outra possibilidade interessante é a possibilidade de se criar uma rede *ad-hoc*, onde todos os bombeiros em um cenário de desastres poderiam estar interconectados, funcionando como retransmissores e aumentando a confiabilidade da comunicação.

4. CONCLUSÕES

A utilização de *wearable devices* para o monitoramento de sinais vitais é uma realidade, impulsionado pela necessidade de ampliação do *home care* devido ao envelhecimento da população mundial tem-se hoje equipamentos desenhados para esta função, além de módulos eletrônicos comerciais baratos e altamente confiáveis que tornam possível sua implementação. A utilização desta base tecnológica e acadêmica para o desenvolvimento de uma roupa de proteção para bombeiros é plenamente factível, como este artigo sugere. O desafio é a utilização destes módulos de forma a poderem atuar em um ambiente altamente agressivo, no que tange a altas temperaturas, riscos de choques e contusões e exposição a contaminantes perigosos.

Obviamente o melhor resultado se obteria integrando o projeto da roupa de proteção aos dispositivos eletrônicos necessários. Hoje a indústria dispõe de novos materiais de proteção, mais eficientes e mais leves, que agregariam conforto e segurança aos bombeiros. Um exemplo desses novos materiais é o Nomex®, da empresa DuPont™, material com excelentes qualidades de resistência ao fogo, durabilidade e peso, que permitiriam a confecção de roupas de proteção com excelentes características.

A aplicação deste dispositivo não se restringe apenas a bombeiros, podendo ser modificada e estendida a profissionais que trabalham em ambientes de alto risco ou insalubres, provendo uma proteção adicional.

5. REFERÊNCIAS

- Aaltonen, I., & Laarni, J. (2017). Field evaluation of a wearable multimodal soldier navigation system. *Applied Ergonomics*, 63, 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.04.005>
- Abraham, S., & Li, X. (2014). A cost-effective wireless sensor network system for indoor air quality monitoring applications. In *Procedia Computer Science* (Vol. 34). Elsevier Masson SAS. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.07.090>
- Bindal, A. (2016). *FUNDAMENTALS OF COMPUTER ARCHITECTURE AND DESIGN*. Springer US.
- Blatteis, C. M. (2011). *Fisiologia e Patofisiologia da Regulação da Temperatura* (EDUSP (Ed.)).
- Brugarolas, R., Latif, T., Dieffenderfer, J., Walker, K., Yuschak, S., Sherman, B., Roberts, D., & Bozkurt, A. (2015). Wearable Heart Rate Sensor Systems for Wireless Canine Health Monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 16(10), 1–1. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2015.2485210>
- C. Braga, G., P. Lisboa Neto, J., & de F. Salazar, H. (2016). A Temperatura e Fluxo de Calor em Uma Situação de Incêndio e as Consequências para os Bombeiros. *Revista FLAMMAE*, 2(4), 9. <https://doi.org/10.21628/2359-4837/flammae.v2n4p9-28>
- CATMAS. (n.d.). *ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO CONJUNTO DE COMBATE A INCÊNDIO PADRÃO NFPA*. <http://arquivossiad.mg.gov.br/Patrimonio/Especificacoes/Materiais/001202952.pdf>
- Chen, B., & Pompili, D. (2011). Transmission of Patient Vital Signs Using Wireless Body Area Networks. *Mobile Networks and Applications*, 16(6), 663–682. <https://doi.org/10.1007/s11036-010-0253-7>
- Dionisi, A., Marioli, D., Sardini, E., & Serpelloni, M. (2015). Low power wearable system for vital signs measurement in all day long applications. *2015 IEEE International Symposium on Medical Measurements*



- and Applications, *MeMeA 2015 - Proceedings*, 537–542. <https://doi.org/10.1109/MeMeA.2015.7145262>
- Dos, A., & Alves, S. (2006). a Atividade Física No Controle Do Stress. *Corpus*, 2(1998), 5–15.
- Ferdoush, S., & Li, X. (2014). Wireless sensor network system design using Raspberry Pi and Arduino for environmental monitoring applications. *Procedia Computer Science*, 34, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.07.059>
- Ferguson, I. (2013). *Wearable Devices*. 287–290.
- Fu, Y., & Liu, J. (2015). System Design for Wearable Blood Oxygen Saturation and Pulse Measurement Device. *Procedia Manufacturing*, 3(Ahfe), 1187–1194. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.197>
- Guerreiro, J., Lourenco, A., & Fred, A. L. N. (2013). A Biosignal Embedded System for Physiological Computing. *Instituto Superior De Engenharia De Lisboa, October*. <https://doi.org/10.13140/2.1.4596.0481>
- Haghi, M., Thurow, K., & Stoll, R. (2017). Wearable devices in medical internet of things: Scientific research and commercially available devices. *Healthcare Informatics Research*, 23(1), 4–15. <https://doi.org/10.4258/hir.2017.23.1.4>
- Hampton, J. (2013). *The ECG Made Easy, International 8th Edition* (Vol. 002). Churchill Livingstone.
- Hayajneh, T., Almashaqbeh, G., Ullah, S., & Vasilakos, A. V. (2014). A survey of wireless technologies coexistence in WBAN: analysis and open research issues. In *Wireless Networks* (Vol. 20, Issue 8). <https://doi.org/10.1007/s11276-014-0736-8>
- Ribeiro. (2013). *TELECOMUNICAÇÕES 5º Volume* (Vol. 1, pp. 1–72).
- Kong, L., Li, C., Jiang, J., & Pecht, M. G. (2018). Li-ion battery fire hazards and safety strategies. *Energies*, 11(9), 1–11. <https://doi.org/10.3390/en11092191>
- Kumar, R., Subramanyam, G., & Chodavarapu, V. (2017). Energy harvesting flexible regenerative power source for wearable devices. *Proceedings of the IEEE National Aerospace Electronics Conference, NAECON*, 129–132. <https://doi.org/10.1109/NAECON.2016.7856786>
- Lamberts, R., Prof, A., & Augusto, A. (2011). *Centro Tecnológico - Departamento De Engenharia Civil Conforto E Stress Térmico*.
- Lautert, L., Chaves, E. H. B., & Moura, G. M. S. S. De. (1999). O estresse na atividade gerencial. *American Journal of Public Health*, 6(5), 415–425.
- Mohammadi-Koushki, N., Memarzadeh-Tehran, H., & Goliaei, S. (2017). A Wearable Device for Continuous Cardiorespiratory System Monitoring. *Proceedings - Conference on Local Computer Networks, LCN*, 230–235. <https://doi.org/10.1109/LCN.2016.052>
- National Fire Protection Association. (n.d.). <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Emergency-Responders/Firefighter-fatalities-in-the-United-States/Firefighter-deaths-by-cause-and-nature-of-injury>
- Paphitou, A. C., Constantinou, S., & Kapitsaki, G. M. (2015). SensoMan: Remote management of context sensors. *ACM International Conference Proceeding Series*, 13-15-July. <https://doi.org/10.1145/2797115.2797121>
- Pirmez, L., Zomaya, A. Y., & Pires, P. F. (2016). A Systematic Review of Shared Sensor Networks. *ACM Computing Surveys*, 48(4).
- Rios, O. D. F. L. (2006). *Níveis de stress e depressão em estudantes universitários Níveis de stress e depressão em estudantes universitários*. 1–173.
- Stori, W. D. S., Coelho, M. D. S., Guimarães, P. D. S. F., Neto, N. B., & Pizarro, L. D. V. (2006). Thoracic sympathetic block by clamping for treatment of hyperhidrosis. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 81(5), 425–432. <https://doi.org/10.1590/s0365-05962006000500004>
- Szydło, T., & Konieczny, M. (2015). Mobile devices in the open and universal system for remote patient monitoring**The research presented in this paper was partially supported by the Polish Ministry of Science and Higher Education under AGH University of Science and Technology Grant 11.11.2. *IFAC-PapersOnLine*, 48(4), 296–301. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.07.050>
- Thielen, M., Sigrist, L., Magno, M., Hierold, C., & Benini, L. (2017). Human body heat for powering wearable devices: From thermal energy to application. *Energy Conversion and Management*, 131, 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.005>



- Valentin, G., Alcainho, J., & Jackson, M. M. (2015). The challenges of wearable computing for working dogs. *UbiComp and ISWC 2015 - Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and the Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers*, 1279–1284. <https://doi.org/10.1145/2800835.2807925>
- Vishwaracharya, M., & Mohan, R. (2017). Implementation of a wearable cardiorespiratory monitoring device. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, 344–349. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2016.7848018>
- Wang, K. I. K., Singh, O., Teh, E. L., & Aw, K. (2016). 3D terrain mapping vehicle for search and rescue. *Proceedings of the International Conference on Sensing Technology, ICST*. <https://doi.org/10.1109/ICSensT.2016.7796236>
- Wcislik, M., Pozoga, M., & Smerdzynski, P. (2015). Wireless health monitoring system. *IFAC-PapersOnLine*, 28(4), 312–317. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.07.053>