



Soluções em IoT para o monitoramento dos protocolos sanitários no retorno às aulas presenciais no estado de São Paulo

Maiara Cardoso Soares Rodrigo Diniz Juliana Freitag Borin

Technical Report - IC-21-05 - Relatório Técnico
December - 2021 - Dezembro

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO

The contents of this report are the sole responsibility of the authors.
O conteúdo deste relatório é de única responsabilidade dos autores.

Soluções em IoT para o monitoramento dos protocolos sanitários no retorno às aulas presenciais no estado de São Paulo

Maiara Cardoso Soares* Rodrigo Diniz† Juliana Freitag Borin‡

Resumo

Este trabalho é um artigo produzido para o projeto da disciplina Internet das Coisas (IoT), com o objetivo de encontrar soluções e viabilidade técnica do uso de IoT para monitorar o cumprimento dos protocolos sanitários requeridos pelo estado de São Paulo na volta às aulas de 2021 em meio ao cenário de pandemia por COVID-19. Foram realizadas pesquisas sobre soluções comerciais e acadêmicas já existentes para aplicar no monitoramento dos protocolos sanitários selecionados para pesquisa, desta maneira foram apresentadas comparações e considerações que apontam para a viabilidade técnica na implementação, e a importância dessas soluções encontradas para auxiliar na contenção do vírus frente ao momento atual em estado de pandemia.

1 Introdução

No final de fevereiro de 2020 foi identificado o primeiro caso de COVID-19 no Brasil, enquanto já havia centenas de casos registrados na Europa e na China, sendo categorizado como pandemia pela OMS no dia 11 de março de 2020. A partir de março, as cidades do estado de São Paulo começaram a implementar o lockdown, uso obrigatório de máscara, entre outras medidas preventivas com a tentativa de conter a transmissão do vírus.

Em 2021 o estado de São Paulo conseguiu ter 90% da sua população vacinada no início de novembro, com isso algumas medidas foram se estreitando como o lockdown e distanciamento social, permitindo assim a volta às aulas presenciais das escolas dentro de alguns protocolos estabelecidos pelo estado, isso com o objetivo de não regredir o quadro de contaminação com o fim do isolamento social.

Os protocolos sanitários no setor da educação são classificados em subsetores sendo eles [1], Geral, Educação Infantil, Ensino Fundamental, Ensino Médio e Educação de Jovens e Adultos (EJA), Ensino Superior, Profissional e Complementar e para desenvolvimento deste trabalho foi escolhido o subsetor Geral como fonte de pesquisa e proposta de soluções.

O objetivo específico do trabalho consiste no levantamento de soluções de Internet das Coisas (IoT) para auxiliar no monitoramento de alguns protocolos sanitários estabelecidos pelo governo do estado de São Paulo para o retorno das aulas presenciais, e também estabelecer comparações e a viabilidade técnica na implementação dessas soluções.

O trabalho está organizado da seguinte forma, na seção 2 serão apresentados os protocolos sanitário estabelecidos pelo governo do estado de São Paulo, na seção 3 serão apresentadas as soluções encontradas de acordo com os protocolos selecionados para pesquisa e por fim na seção 4 as considerações finais.

*Inst. de Computação, UNICAMP, 13083-852 Campinas, SP. m182887@g.unicamp.br

†Inst. de Computação, UNICAMP, 13083-852 Campinas, SP. r225232@g.unicamp.br

‡Inst. de Computação, UNICAMP, 13083-852 Campinas, SP. jufborin@unicamp.br

2 Protocolos sanitários

As escolas do estado de São Paulo tiveram suas aulas presenciais retomadas de forma obrigatória a 100% dos estudantes no dia 3 de novembro de 2021, tanto na rede estadual como na rede municipal e privada.

Os protocolos vigentes para o retorno às aulas no momento da produção dessa pesquisa foram publicados no dia 29 de outubro de 2021 no documento Protocolos Sanitários para a educação 2º semestre de 2021 (2ª edição - novembro) [1].

Os principais protocolos publicados no dia 29 de outubro de 2021 no documento Protocolos Sanitários para a educação 2º semestre de 2021 são:

- Uso correto e obrigatório da máscara.
- Aferição de temperatura (37,5°C não permanecer na escola).
- Higienização frequente das mãos.
- Manter sala isolada e arejada na escola.
- Ventilação e Higienização dos ambientes.
- Caso suspeito ou confirmado: Notifica a UBS local e registrar o caso no SIMED e monitorar os contactantes.
- Pessoas sintomáticas não devem ir à escola.

Essa fase 100% presencial das aulas, revogou a obrigatoriedade do distanciamento social de 1 metro entre os alunos [3], mas esta medida ainda está como recomendada caso a infraestrutura da escola possibilite a aplicação.



Figura 1: Slide da apresentação utilizada para divulgação dos protocolos sanitários [3].

A seleção dos protocolos para pesquisa foi realizada pelos autores com base em observações das possíveis tecnologias que poderiam ser aplicadas em cada um deles e conseqüentemente foram realizadas pesquisas para encontrar as soluções. Os protocolos selecionados foram:

- Uso correto e obrigatório da máscara.

- Aferição de temperatura (37,5°C não permanecer na escola).
- Higienização frequente das mãos.
- Manter sala isolada e arejada na escola.
- Ventilação e Higienização dos ambientes.

3 Soluções para monitoramento dos protocolos sanitários

3.1 Uso correto e obrigatório de máscara

3.1.1 Cenário

O uso de máscara está como um dos protocolos obrigatórios pelo estado de São Paulo no retorno das aulas, seguindo o decreto estadual 64.959, de 04 de maio de 2020 [4] que aplica o uso de máscara obrigatório no contexto de pandemia, além de ter sido comprovada sua eficiência impedindo a disseminação do vírus em diversos estudos, por exemplo no artigo publicado pela revista Nature [5] que comprova a redução da emissão e disseminação do vírus por pessoas infectadas usando máscara, assim como a baixa inalação do vírus por alguém usando máscara em contato com uma pessoa infectada.

3.1.2 Soluções

A solução já comercializada pela empresa Honeywell [6] utiliza deep learning para monitoramento do uso de máscara. Suporta o reconhecimento de mais de uma pessoa por imagem, tem grande acurácia no monitoramento em tempo real, conforme ilustrado na Figura 2. Essa solução pode ser adicionada nos equipamentos de câmera já comercializados pela empresa. Há especificações de hardware utilizadas para manter a eficiência do algoritmo, assim como ambiente específico e outras recomendações de uso.

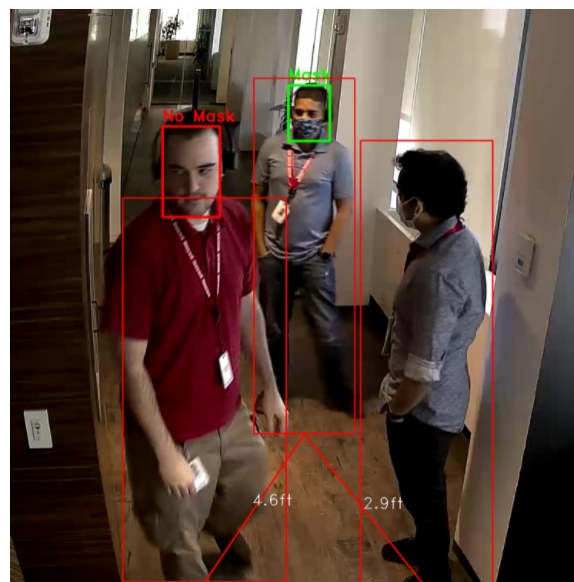


Figura 2: Demonstração do sistema da Honeywell em funcionamento [6].

Na solução comercializada por Leewayhertz [7] é usado redes neurais para identificar o uso de máscaras. É compatível com câmeras previamente instaladas, seu processamento ocorre na nuvem. A Figura 3 apresenta o reconhecimento facial através de câmeras IP, o qual permite o envio de mensagem diretamente para a pessoa que não está usando máscara, para isso a pessoa deve ter o seu cadastro no banco de dados do sistema.



Figura 3: Demonstração do sistema da Leewayhertz em funcionamento [7].

A empresa Aerialtronics [8] apresenta uma solução baseada em qualquer tipo de câmera IP que monitora o uso ou não de máscara e também o uso da máscara de forma equivocada em tempo real, conforme ilustrado na Figura 4, podendo assim gerar alertas para os responsáveis pelo software. Como forma de manter os vídeos anônimos, a face da pessoa identificada é ofuscada. Sobre a instalação do software, essa pode ser local ou na nuvem pública e permite também a integração com outros sistemas de informação.



Figura 4: Demonstração do sistema da Aerialtronics em funcionamento [8].

A empresa Trident [9] provê um sistema para detecção de uso de máscara facial que integra câmeras IP e CCTV, ilustrado na Figura 5, que utiliza análise de imagem baseada em Inteligência Artificial (AI) e visão computacional para monitorar as violações relacionadas ao uso de máscara, podendo gerar alertas em tempo real.

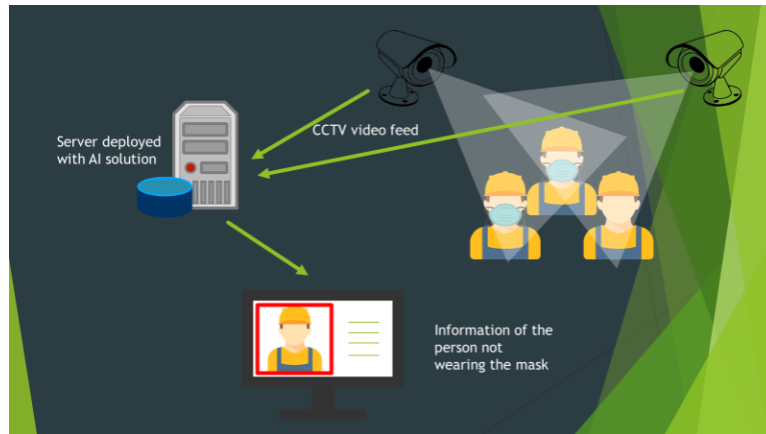


Figura 5: Ilustração da arquitetura da Trident [9].

A solução pode ser integrada ao sistema de vigilância interno do local de monitoramento, os alertas são enviados às pessoas que recebem em seu celular uma notificação avisando sobre a violação, conforme a ilustração da Figura 6.

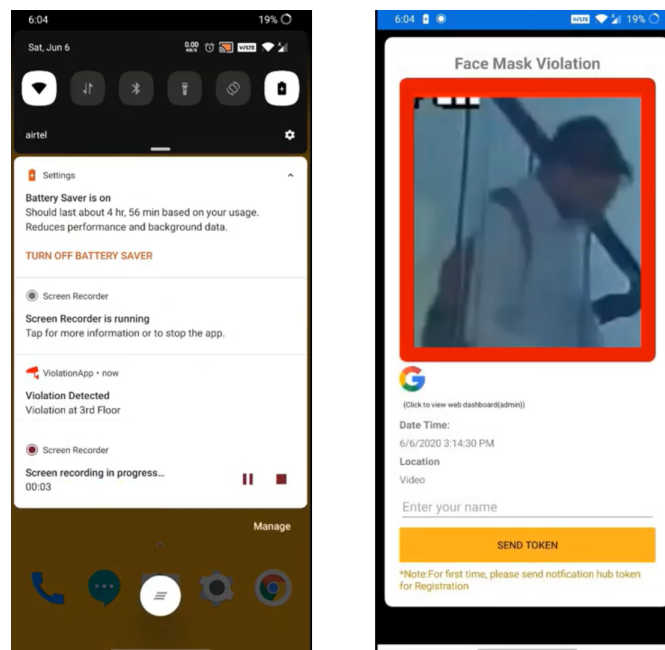


Figura 6: Demonstração da notificação via App.[9].

As análises relacionadas são apresentadas através de um dashboard via interface web ou mobile, que está ilustrado nas Figuras 7, 8 e 9.

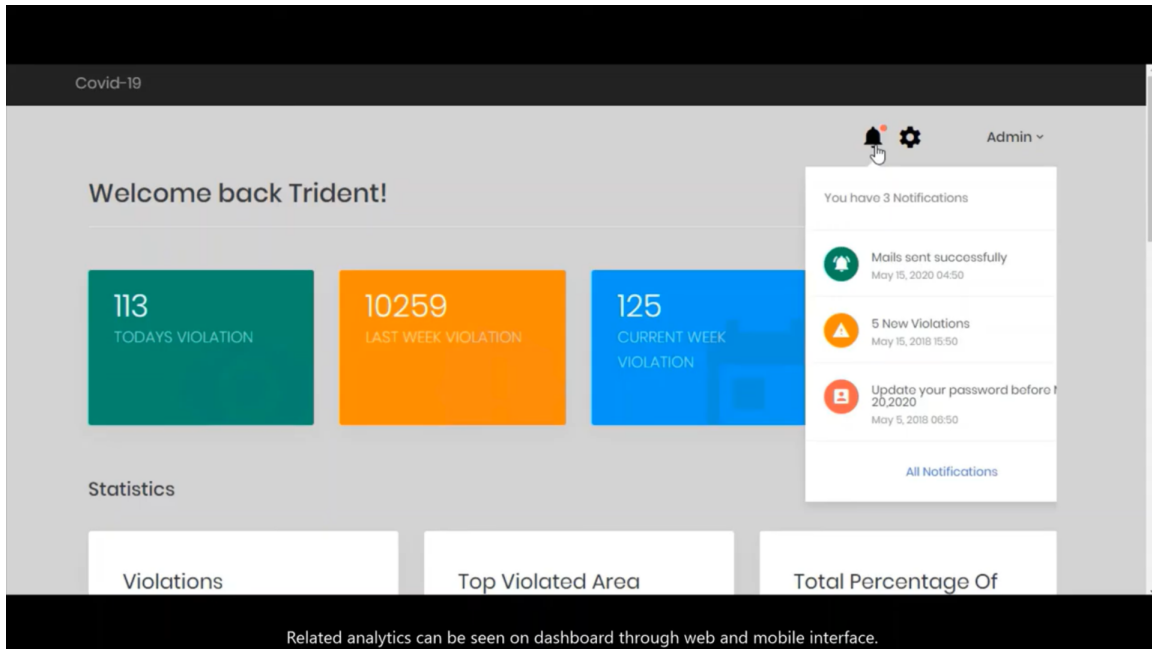


Figura 7: Demonstração do dashboard 1ª parte [9].

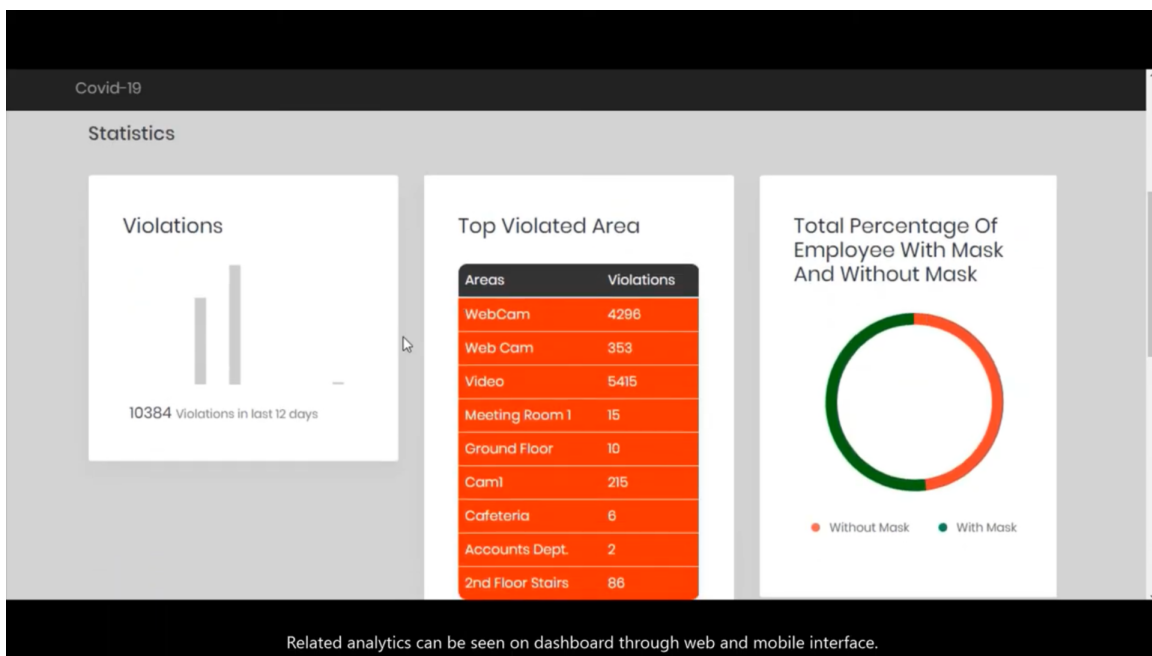


Figura 8: Demonstração do dashboard 2ª parte [9].

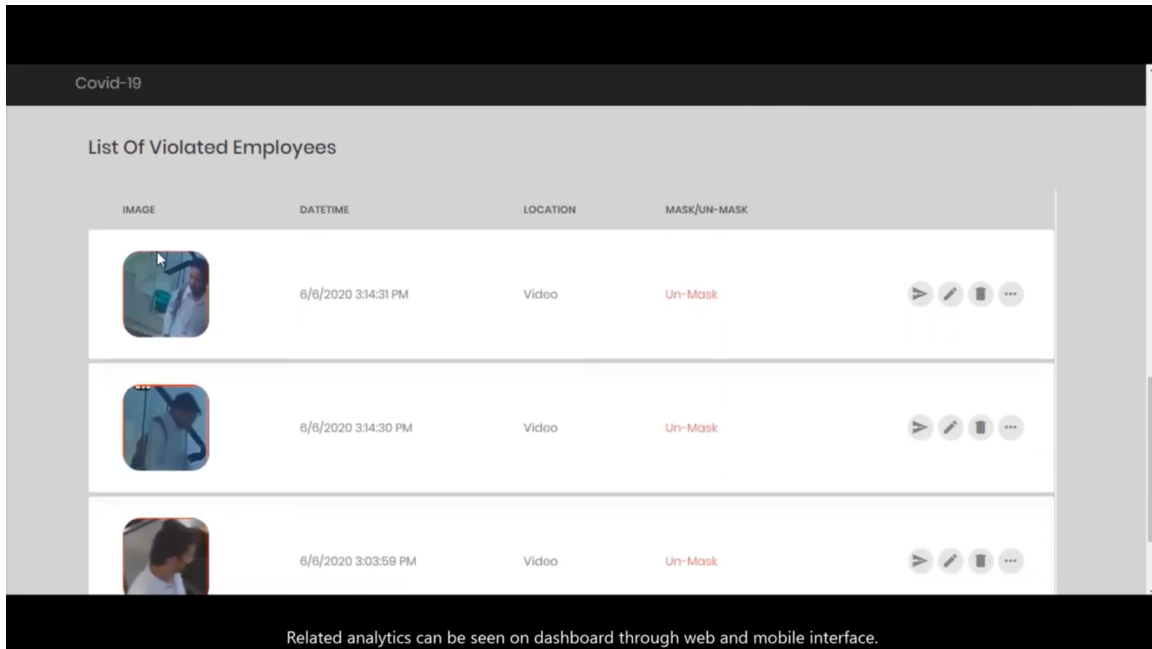


Figura 9: Demonstração do dashboard 3ª parte [9].

Foram realizadas algumas pesquisas de soluções acadêmicas e alguns artigos a seguir destacam o monitoramento do uso correto e obrigatório da máscara. No artigo *IoT-based System for COVID-19 Indoor Safety Monitoring* escrito por Nenad Petrović e Đorđe Kocić [10] é apresentada uma solução utilizando Raspberry Pi e classificadores do OpenCV, sendo possível detectar se o rosto está ou não coberto com funções da própria biblioteca. Nessa solução a imagem é processada tanto em escala de cinza quanto em preto e branco, pois foi notado que no uso de máscaras brancas o classificador do OpenCV tem melhor performance analisando a imagem em preto e branco do que na escala de cinza. O classificador do OpenCV detecta a presença ou não do nariz e da boca, assim podendo avaliar se o uso da máscara está correto. O algoritmo suporta o reconhecimento de mais de um rosto por imagem.

No artigo *IoT-Enabled smart doors for monitoring body temperature and face mask detection* produzido por Varshin *et al* [11], a solução apresentada utiliza o algoritmo CNN de deep learning, além de processar imagem colorida diferente da solução anterior, conforme a ilustração na Figura 10. Apesar de também utilizar Raspberry Pi para capturar a imagem, o treinamento foi feito em outra máquina com recursos superiores ao da Raspberry Pi. É comentado sobre o desempenho de outros algoritmos como SVM, KNN, concluindo que esses algoritmos não aprendem tanto comparado ao CNN para casos de categorização de imagem.

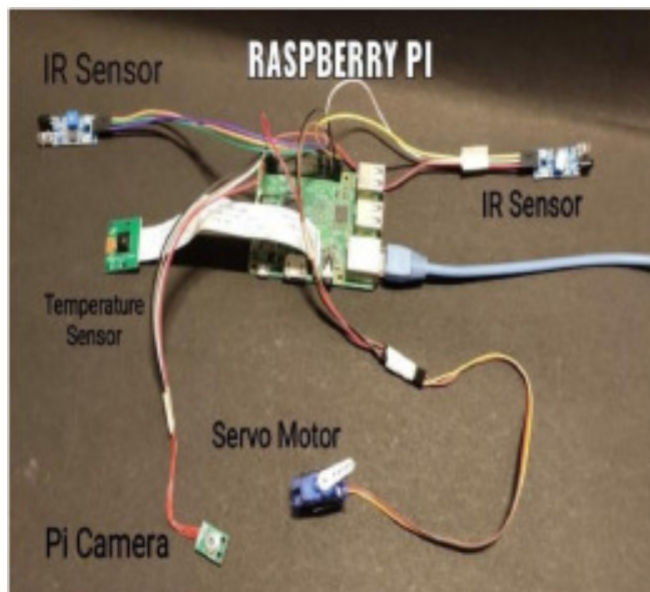


Figura 10: Representação do sistema.[10].

3.1.3 Discussões e considerações

As soluções apresentadas para detecção do uso de máscara necessitam, em sua totalidade, de câmeras presentes que atuam como sensores. Já o processamento da imagem é normalmente feito com IA, mas não necessariamente, assim esses casos acabam exigindo menos poder computacional para processamento porém acabam não sendo tão precisos. As soluções que são compatíveis com câmera IP permitem um baixo investimento inicial, podendo aproveitar a infraestrutura já instalada nas escolas. As soluções que contém reconhecimento facial permitem ir além e direcionar o aviso sobre o uso de máscara para uma determinada pessoa que está violando o protocolo. Todas as soluções são bem parecidas no que se propõem a fazer e acabam tendo diferenças no desempenho por conta das diferentes implementações.

3.2 Aferição de temperatura (37,5°C não permanecer na escola)

3.2.1 Cenário

A febre é um dos sintomas mais comuns no quadro infeccioso de COVID-19, como documentado pela Organização Mundial de Saúde [12], se tornando um dos principais indicadores para avaliação se a pessoa está ou não infectada, assim a aferição de temperatura dos alunos está como um dos protocolos sanitários obrigatórios a serem seguidos. Caso o aluno esteja com temperatura igual ou acima de 37,7°C este não deve permanecer na escola.

3.2.2 Soluções

Na empresa Hikvision [13], foi desenvolvida uma solução touch-free para monitorar a temperatura das pessoas que entram no edifício, seu produto contém uma câmera térmica que permite tanto a aferição de temperatura quanto o reconhecimento de máscara, além do reconhecimento facial confirmando a identidade da pessoa, a Figura 11 ilustra alguns modelos de produtos da empresa. Utiliza big data para processamento dos dados, junto com IA e computação em nuvem no monitoramento facial, além de ter as imagens encriptadas.



Figura 11: Apresentação dos dispositivos da Hikvision.[13].

A solução comercializada pela empresa CLEAR [14] utiliza câmera térmica em totens, na entrada de eventos e ou edifícios para liberar ou não o acesso do cliente, vide Figura 12. A utilização requer cadastro do usuário na plataforma e assinatura. O sistema tem outras verificações que avaliam a chance de contaminação do cliente além da aferição de temperatura. Há reconhecimento do usuário por identificação facial e também tem suas informações encriptadas



Figura 12: Dispositivo da clear.[14].

A empresa IEI [15] traz uma proposta de sistema de monitoramento de temperatura corporal usando um computador all-in-one, intitulado como panel PC médico IEI POCi Series AIO e uma câmera térmica, de acordo com a ilustração na Figura 13, esse sistema tem a capacidade de realizar aferição da temperatura sem gerar falsos positivos em algumas situações, como pessoas que portam bebidas quente junto ao corpo ou quando estão usando máscaras e cobrindo a cabeça com algum objeto como boné, capacete ou capuz. O monitoramento pode ser realizado com até 30 pessoas ao mesmo tempo. Em casos de detecção, são gerados alarmes e registros todos com data e hora, sendo esses armazenados e com a possibilidade de serem exportados.



Figura 13: Sistema integrado câmera e panel PC através de cabo de rede.[15].

A solução proposta pela empresa Saitell conforme ilustrado na Figura 14 e 15, [16] oferece uma integração de câmera térmica com monitor, sendo esse último modelo CWS6721 que é um Panel PC industrial multifuncional de 21,5" com tela de toque de 1920×1080 e com base em algoritmos de deep learning e IA ocorre o reconhecimento facial e aferição da temperatura corporal com emissão de alertas em tempo real em casos detecção.



Figura 14: Captura e exibição dos dados em tempo real no panel PC [16].



Figura 15: Câmera térmica, painel PC e sistema de monitoramento [16].

Ainda no texto produzido por Varshin et al [11], é apresentada uma solução para monitoramento da temperatura do usuário. Utilizando um sensor de temperatura sem contato (funcionamento por infra vermelho) com o Raspberry Pi. Apresenta lógica simples de receber a temperatura do usuário. Em casos acima da temperatura pré estabelecida como máxima permitida, não libera o acesso do usuário ao prédio.

Lin *et al* [17], apresenta um sistema dividido em algumas partes, o Intelligent pandemic prevention Temperature Measurement System (ITMS), parte essa responsável pela coleta de dados de temperatura corporal para prevenção de pandemia, no entanto que, a coleta de dados propriamente não é suficiente para atingir o objetivo da prevenção da pandemia, assim existe uma outra parte que é o Pandemic Prevention Situation Analysis System (PPAS), o qual analisa os dados coletados pelo ITMS e os apresenta em forma de gráficos os resultados, vide essa estrutura ilustrada na Figura 16. Isso ajudará o centro de prevenção da pandemia a controlar a situação geral da prevenção da pandemia e a tomar decisões oportunas sobre a prevenção.

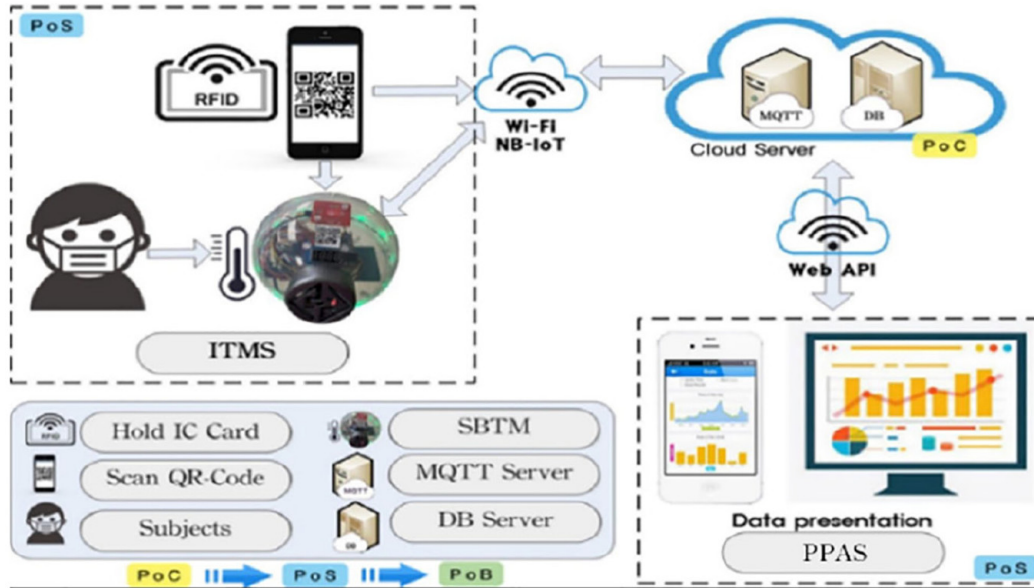


Figura 16: Integração do ITMS e PPAS.[17].

O ITMS é composto por um módulo de voz, display de sete segmentos, leitor de RFID, sensor a laser de distância, sensor de temperatura, microcontrolador e bateria, conforme é ilustrado na Figura 17.

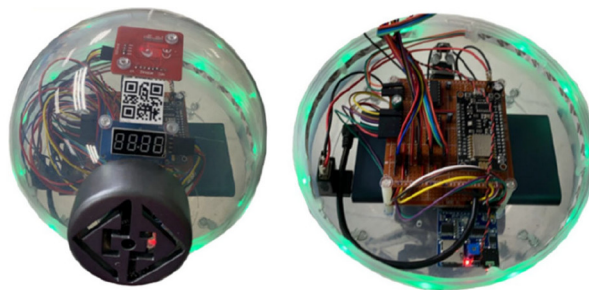


Figura 17: Aplicativo [17].

O sistema tem um módulo de aplicativo de prevenção apresentado na Figura 18, que inclui registro e login do usuário, informações da conta, temperatura corporal, histórico, senha e leitura de código QR.

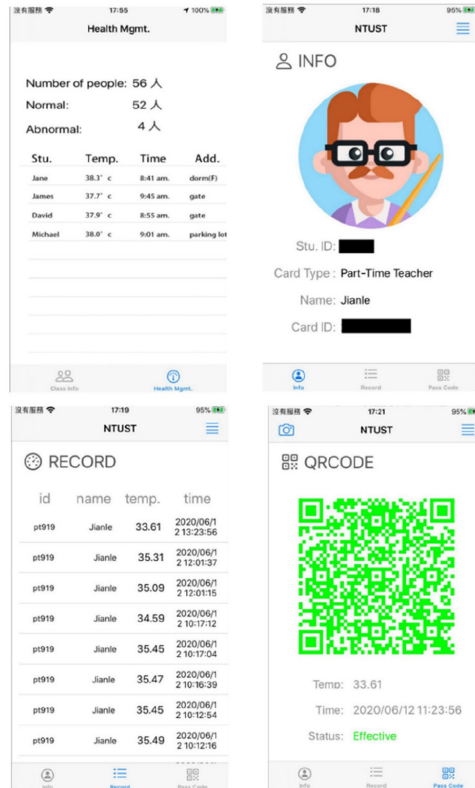


Figura 18: Integração do ITMS e PPAS.[17].

O módulo de análise de prevenção de pandemia inclui funções de gráfico, como distribuição de temperatura de pessoal, tendências de temperatura pessoal, distribuição de fluxo de pessoal, análise de alerta precoce e análise de infecção e através de big data é possível verificar os possíveis contatos realizados por uma pessoa infectada e conseqüentemente identificar os grupos de risco.

3.2.3 Discussões e considerações

Para um apontamento com mais precisão das temperaturas os fabricantes determinam alguns critérios que devem ser respeitados como a temperatura ambiente, o dispositivo não deve permanecer com iluminação intensa, o local deve ser bem arejado, as pessoas devem respeitar a distância estabelecida para ocorrer a medição, assim o não respeito das especificações técnicas podem impactar em dados imprecisos e conseqüentemente alarmes falsos, outro detalhe importante é que a grande maioria dispositivos pesquisados não são homologados pelo Food and Drug Administration (FDA) e como realizam uma avaliação da temperatura da pele, se faz necessário uma avaliação posterior com um dispositivo de avaliação clínica. As soluções apresentadas pelos artigos utilizam sensor de temperatura infravermelho, diferente das soluções apresentadas por empresas que utilizam câmera térmica. Essa diferença acaba sendo significativamente mais cara nas soluções com câmera térmica, porém há outras utilidades na câmera térmica além do aferimento de temperatura, por exemplo a possibilidade de juntar com reconhecimento facial, além de permitir a aferição de temperatura de grupos maiores, o desempenho em si do sensor infravermelho não é inferior ao da câmera térmica.

3.3 Manter a sala isolada e arejada na escola, e ventilação e higienização dos ambientes

3.3.1 Cenário

As novas Diretrizes Globais de Qualidade do Ar (AQGs) da OMS emitidas em 2021 [18] fornecem evidências claras dos danos que a poluição do ar inflige à saúde humana, em concentrações ainda mais baixas do que as previamente compreendidas. A cada ano, estima-se que a exposição à poluição do ar cause 7 milhões de mortes prematuras e resulte na perda de vidas saudáveis por milhões de anos. As novas diretrizes da OMS recomendam níveis de qualidade do ar para 6 poluentes, onde as evidências avançaram mais sobre os efeitos da exposição à saúde. Quando ações são tomadas sobre esses poluentes chamados clássicos como, material particulado (PM), ozônio (O_3), dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2) e monóxido de carbono (CO), também tem impacto sobre outros poluentes prejudiciais. Os riscos à saúde associados a partículas iguais ou menores que 10 e 2,5 microns μm de diâmetro (PM_{10}) e ($PM_{2.5}$), respectivamente são de particular relevância para a saúde pública. Tanto o ($PM_{2.5}$) quanto o (PM_{10}) são capazes de penetrar profundamente nos pulmões, mas o ($PM_{2.5}$) pode até entrar na corrente sanguínea, resultando principalmente em impactos cardiovasculares e respiratórios, e também afetando outros órgãos. PM é gerado principalmente pela combustão de combustível em diferentes setores, incluindo transporte, energia, residências, indústria e agricultura. Em 2013, a poluição do ar exterior e partículas em suspensão foram classificados como cancerígenos pela Agência Internacional de Pesquisa do Câncer da OMS (IARC).

De acordo com a Environmental Protection Agency (EPA) nos Estados Unidos, o ar interno é 100 vezes mais contaminado do que o ar exterior. A maioria das populações modernas gasta 80 a 90 por cento do tempo dentro de casa; portanto, o ar interno tem um maior impacto direto na saúde humana do que o ar exterior. [19] Em ambientes internos existem outros poluentes que também são nocivos à saúde humana, alguns deles são formaldeído, compostos orgânicos voláteis (oriundo de produtos de limpeza, materiais de construção) [20]. O estudo Harvard Chan liderado por Xiao Wu e Rachel Nethery e a autora sênior Francesca Dominici encontrou uma associação entre a poluição do ar ao longo de muitos anos com um aumento de 11% na mortalidade por infecção COVID-19 para cada aumento de 1 micrograma por metro cúbico na poluição do ar (por comparação, muitos americanos respiram ar com 8 microgramas por metro cúbico de material particulado). O estudo de Harvard é um dos vários que sugerem que a poluição do ar está afetando a mortalidade do COVID-19. Os pesquisadores que analisaram 120 cidades na China encontraram uma relação significativa entre a poluição do ar e a infecção por COVID-19, e das mortes por coronavírus em 66 regiões da Itália, Espanha, França e Alemanha, 78% delas ocorreram em cinco das regiões mais poluídas. Também há evidências de surtos anteriores como a SARS, que também era um coronavírus, bem como muitas outras infecções respiratórias, incluindo a gripe, de que respirar mais ar poluído aumentava os riscos de morte [21].

O vírus da COVID-19 ainda é um pré-requisito para a transmissão progressiva. No entanto, atualmente com significativa prevalência na comunidade, com muitos indivíduos assintomáticos, manter uma boa qualidade do ar é uma primeira linha de defesa, como dito na nota do estado de São Paulo que reforça a ventilação dos ambientes e a obrigatoriedade de manter as salas arejadas, permitindo algum grau de interação social normal [19]. Com isso, surge a preocupação em monitorar os ambientes internos com emprego de soluções IoT. Existem diversos equipamentos de purificação de partículas de ar de alta eficiência conhecidos como High Efficiency Particulate Air (HEPA), que tratam a questão da poluição do ar interno, eles são capazes de detectar automaticamente gases e partículas em ambientes internos e consequentemente purifica o ar. No entanto, uma solução mais

simples é garantir ventilação adequada através da abertura das janelas [19].

3.3.2 Soluções

Milesight [22] é uma empresa chinesa que propõe uma solução que consiste em dispositivos finais LoRa alimentados por pilhas com tempo de duração entre 0,9 a 1,2 ano, esses são conectados a um gateway LoRaWAN que se conecta a uma plataforma na nuvem, ilustrado na Figura 19. O sensor de monitoramento de ambiente interno AM107 detecta umidade, temperatura, presença de pessoas no ambiente (PIR), CO₂, luminosidade, total de composto orgânico voláteis (TVOCs) e pressão barométrica, o controlador UC114 fica responsável pelo acionamento da ventilação, já o gateway permite conectividade de até 2000 sensores com uma área de cobertura com raio de 2 quilômetros, todas as informações geradas pelo sistema são acessadas através de uma plataforma na nuvem baseada na Amazon Web Service (AWS). Para um comparativo com as próximas soluções apresentadas foi utilizado o modelo AM319, vez que esse apresenta um número maior de sensores.

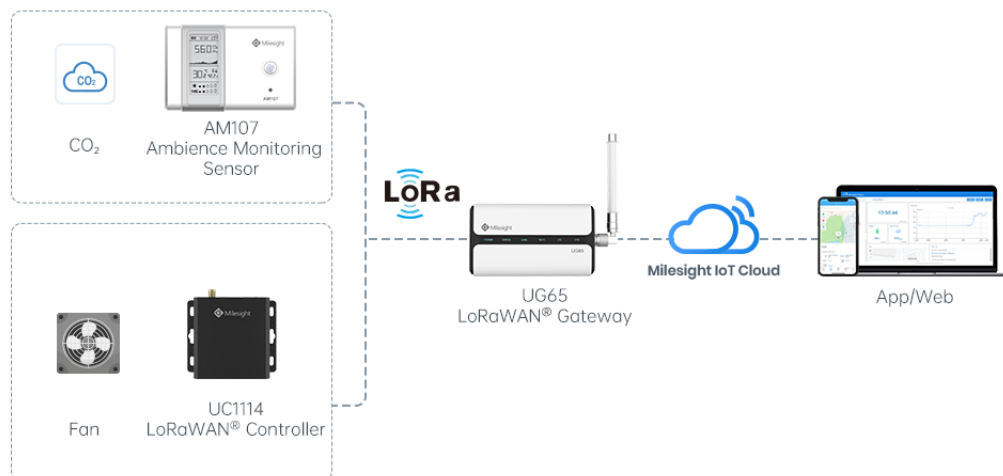


Figura 19: Arquitetura para monitoramento da qualidade do ar interno da Milesight [22].

Ziggytec [23] é uma empresa com escritórios no Reino Unido e Irlanda com uma solução composta por dispositivos finais alimentados por pilhas que têm um tempo médio de 5 anos de duração, a conexão dos dispositivos corre através de uma rede de IoT global, desta forma o cliente não tem a preocupação com a conectividade do dispositivo em sua infraestrutura local, o acesso aos dados ocorre através do portal ZiggyPortal ou com uso de Application Programming Interface (API), vide Figura 20.

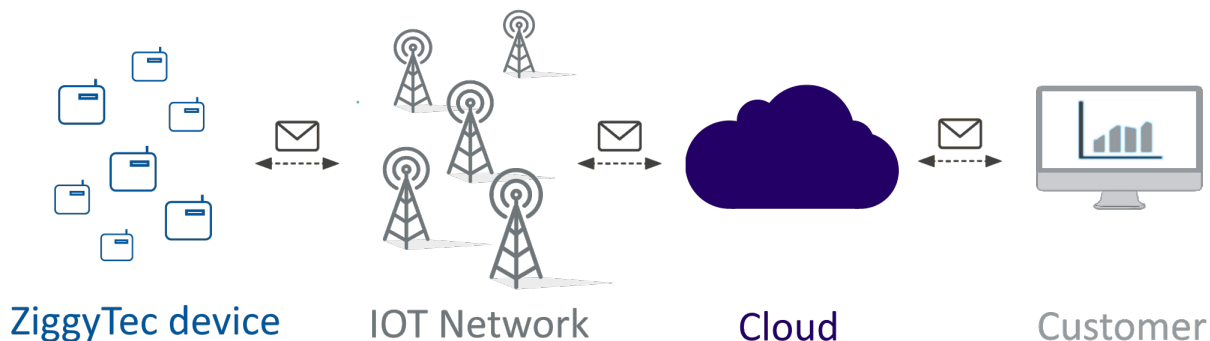


Figura 20: Arquitetura para monitoramento da qualidade do ar interno ZiggyAir [23].

A Omni-electronica [24] é uma empresa criada pelo Centro de Inovação, Empreendedorismo e Tecnologia (CIETEC) da Universidade de São Paulo (USP) que tem uma solução conhecida como Spiri composta de dispositivos finais que contêm múltiplos sensores, uma ilustração é apresentada na Figura 21. Os dispositivos são alimentados por tomadas de 110 ou 220 volts e realizam as coletas e envio dos dados para uma plataforma onde são aplicadas avaliações de estatísticas com Inteligência Artificial (AI). Para cada 25 dispositivos finais são necessários um gateway e uma tomada de alimentação.

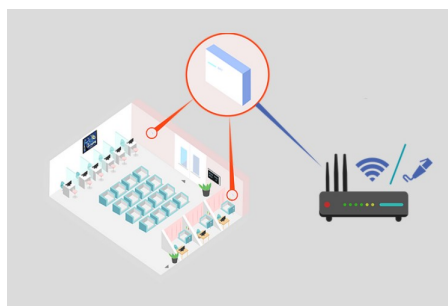


Figura 21: Representação gráfica do sistema de monitoramento SPIRI [24].

A Actility [25] é uma empresa com sede na França com soluções para Low Power Wide Area Networks (LPWAN) que em parceria com a empresa Elsys.se que desenvolve sensores para redes LoRaWAN e a WMW plataforma online que serve com um hub de dados, criou uma solução para possibilitar aos seus clientes uma melhor integração dos dados referente a equipamentos, pessoas e processos. Com uma solução para monitoramento de qualidade do ar interno conhecida como IoT Indoor Air Quality Monitoring Starter Kit representada pela Figura 22, ela permite o monitoramento de concentração de CO₂, temperatura, umidade, luminosidade, em tempo real, possibilitando ações de tratamento através de gatilhos automáticos se baseando também na presença e fluxo de pessoas.

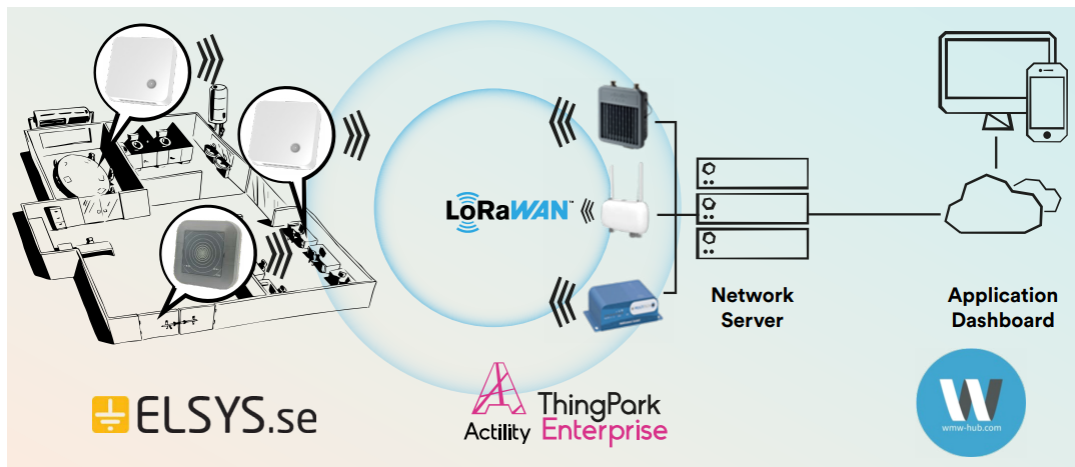


Figura 22: Arquitetura para monitoramento da qualidade do ar e ocupação da Actility [25].

Como fonte de comparação foi elaborada a Tabela 1, levando em consideração as características do dispositivo final, gateway e plataforma de cada uma das soluções, as empresas Omni-electronica, ZiggyAir e Milesight não continham todas informações no site, assim houve a necessidade de entrar em contato solicitando as informações faltantes, desta maneira houve retorno por parte da Omni-electronica e Milesight, essa última encaminhou à empresa representante emVisia, a qual foi contatado o vendedor Cassius, que prontamente forneceu as informações faltantes. Exceto a ZiggyAir todas as demais retornaram o contato, mas mesmo assim algumas informações não foram fornecidas e desta maneira a tabela de comparação possui alguns campos assinalados com o caractere asterisco apontando que o dado não foi fornecido pela empresa.

Empresa	Omni-electronica	Milesight	Ziggytec	Actility
País	Brasil	China	Reino Unido	França
Descrição	Dispositivos final, gateway e plataforma na nuvem.	Dispositivos final LoRa, gateway LoRaWAN e plataforma na nuvem.	Dispositivos final através da rede Sigfox envia os dados para plataforma na nuvem.	Dispositivos final LoRa, gateway LoRaWAN e plataforma na nuvem.
Monitoramento em tempo real	✓	✓	✓	✓
Rede - tipo	*	LoRaWAN - Classe A, B e C	Sigfox	LoRaWAN - Classe A e C
Rede - área de cobertura	100 m	2 km	Depende da disponibilidade de operadora.	2 km
Rede - topologia	Mesh	Estrela	Estrela	Estrela
Dispositivo final	Air Scan	AM319	ZiggyAir	ERS CO ₂
Dispositivo final - Bateria	✗	✓	✓	✓
Dispositivo final - longevidade da bateria	-	0,9 a 1,2 anos.	5 anos.	Depende da configuração e ambiente. < 10 anos.
Dispositivo final - alimentação	Tomada 110V ou 220V.	2 x AA ou alimentação via USB type-C.	3 x AA 3c6V	2 x 3.6V AA
Dispositivo final - sensor de material particulado	✓	✗	✗	✗
Dispositivo final - sensor de umidade	✓	✓	✓	✓
Dispositivo final - sensor de temperatura	✓	✓	✓	✓
Dispositivo final - sensor de presença	✗	✓	✓	✓
Dispositivo final - sensor de total de composto orgânico volátil	✓	✓	✓	✗
Dispositivo final - sensor dióxido de carbono	✓	✓	✓	✓
Dispositivo final - sensor de pressão barométrica	✗	✓	✗	✗
Dispositivo final - sensor de luminosidade	✓	✓	✗	✓
Presença de um gateway.	✓	✓	✗	✓
Plataforma - envio de alertas - e-mail	✗	✗	✓	✓
Plataforma - envio de alertas - notificação push	✗	✗	✓	✗
Plataforma - envio de alertas - portal	✗	✗	✓	✓
Plataforma - envio de alertas - MQTT	✗	✗	✓	✓
Plataforma - envio de alertas - SMS	✓	✓	✗	✓
Acionamento automático de ventilação	✓	✓	✗	✓
Redução da concentração	Vírus, pólen, poeira e total de composto orgânico volátil (TVOCs). Adicionalmente é possível coletar amostras para análise laboratorial para identificação do SARS-CoV-2.	Vírus, pólen, poeira e total de composto orgânico volátil (TVOCs).	Vírus, pólen, poeira e total de composto orgânico volátil (TVOCs).	Propagação de vírus.
Plataforma para armazenamento dos dados	Armazenamento Amazon S3.	Armazenamento Amazon S3.	Armazenamento Amazon S3.	SaaS ou On premise
Acesso aos dados - portal/plataforma de monitoramento	✓	✓	✓	✓
Acesso aos dados - Application Programming Interface (API)	✗	✓	✓	✓
Avaliações estatísticas com AI	✓	✗	✗	✗
Valor de implantação, equipamentos.	R\$ 2.575,00 mês por ponto.	R\$ 3.900,00 gateway - R\$ 2.900,00 sensor AM319	*	€1,250.00 - dispositivo final
* dado não fornecido pela empresa.				

Tabela 1: Comparativo das soluções para monitoramento de qualidade de ar interno.

Existem outras soluções acadêmicas como a de Wall *et al* [20], que utiliza uma arquitetura em quatro camadas, vide Figura 23.

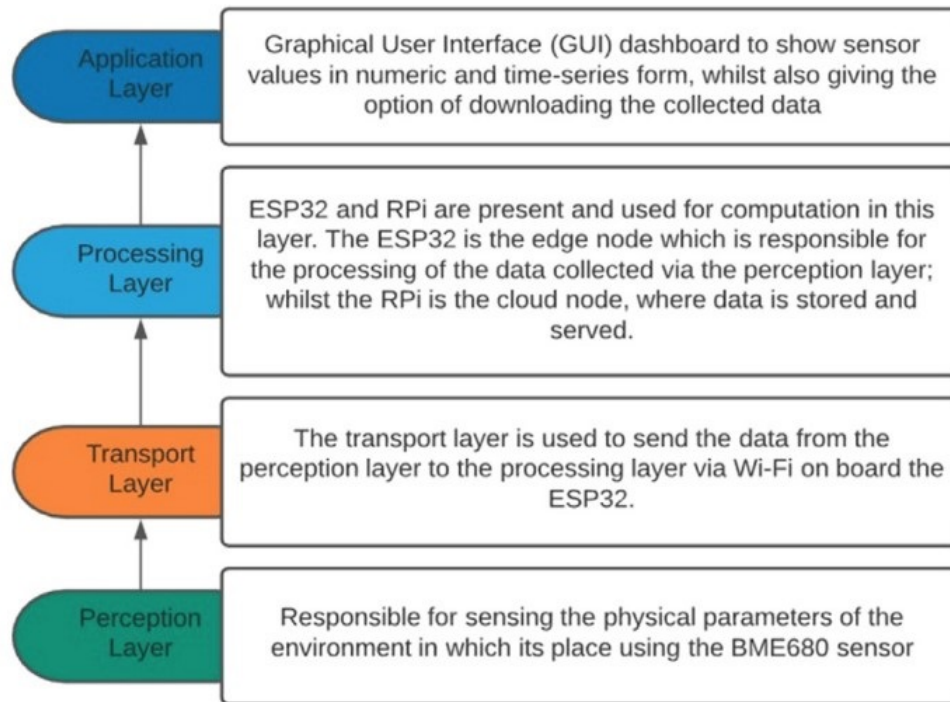


Figura 23: Arquitetura em quatro camadas [20].

A solução descrita no artigo *Development of an Internet of Things solution to monitor and analyse indoor air quality. Internet of Things* [20] é composta por um sensor BME680 da Bosch para aferir a temperatura, umidade e pressão e gás de Composto Orgânico Volátil (VOCs), em combinação a uma placa ESP32, onde os dados são coletados e calculado um índice de qualidade do ar interno (IAQ) fornecendo assim uma sinalização de qualidade de ar excelente ou ruim, os dados gerados são armazenado localmente em um cartão SD e também enviados através de uma requisição POST HTTP por uma rede sem fio 802.11 até um roteador que encaminha ao servidor que está hospedado em um Raspberry Pi. O LED RGB presente na protoboard serve como um recurso de depuração de hardware, ele funciona ficando verde se os dados do sensor foram transmitidos com sucesso para o servidor, ou vermelho caso contrário. O código do Hypertext Preprocessor (PHP) do lado do servidor é então usado para processar os dados e armazenar os resultados para o banco de dados MySQL. A representação do sistema está na Figura 24.

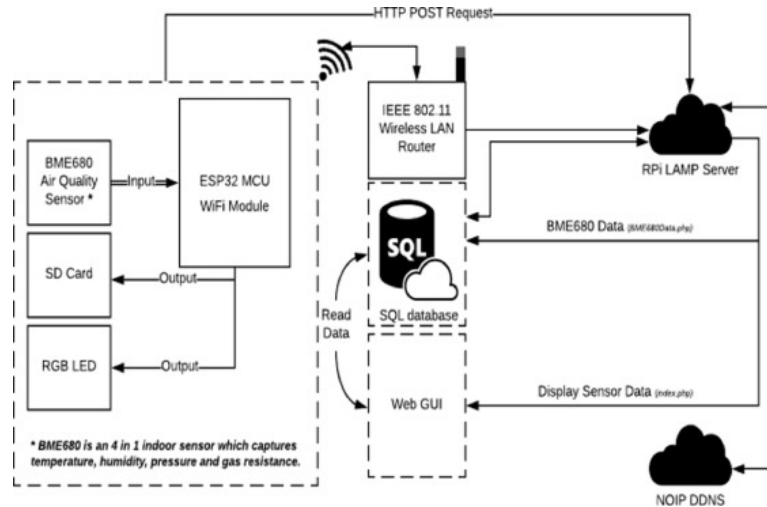


Figura 24: Componentes do sistema de monitoramento da qualidade do ar interno e sua interação [19].

Os resultados dos dois períodos de coleta de dados de 2 semanas mostram que a qualidade do ar interno (IAQ) frequentemente contrasta com o que é classificado como normal para uma vida cotidiana saudável. O conjunto de dados coletados pode fornecer uma contribuição para estudos ambientais de IAQ, pois fornece dois conjuntos de dados de IAQ de 2 semanas, para dois locais contrastantes na mesma casa. Dois fatores impactantes nos testes foram detectados pelos autores, o primeiro é sensibilidade dos sensores que tiveram que ser calibrados, ou seja, aplicados lado a lado na cozinha da casa testada, isso devido aos valores obtidos por eles, um segundo fator limitante foi à ausência da conectividade com a Internet no ESP32 em um determinado momento. Isso se relaciona com a confiabilidade de ponta a ponta do sistema. A perda de conectividade resultou na necessidade de reinicializar manualmente o ESP32 por meio do botão de reinicialização integrado, isso representa um problema se o sensor cair a conexão durante a noite e mostra que uma solução IoT pode estar comprometida por qualquer componente vulnerável, neste caso a conectividade com a Internet [19].

JunHo *et al* [19] apresenta uma solução denominada Smart-Air com a arquitetura dividida em três camadas, sendo elas camada de percepção, rede e apresentação. A ilustração do diagrama de blocos da solução Smart-Air consta na Figura 25.

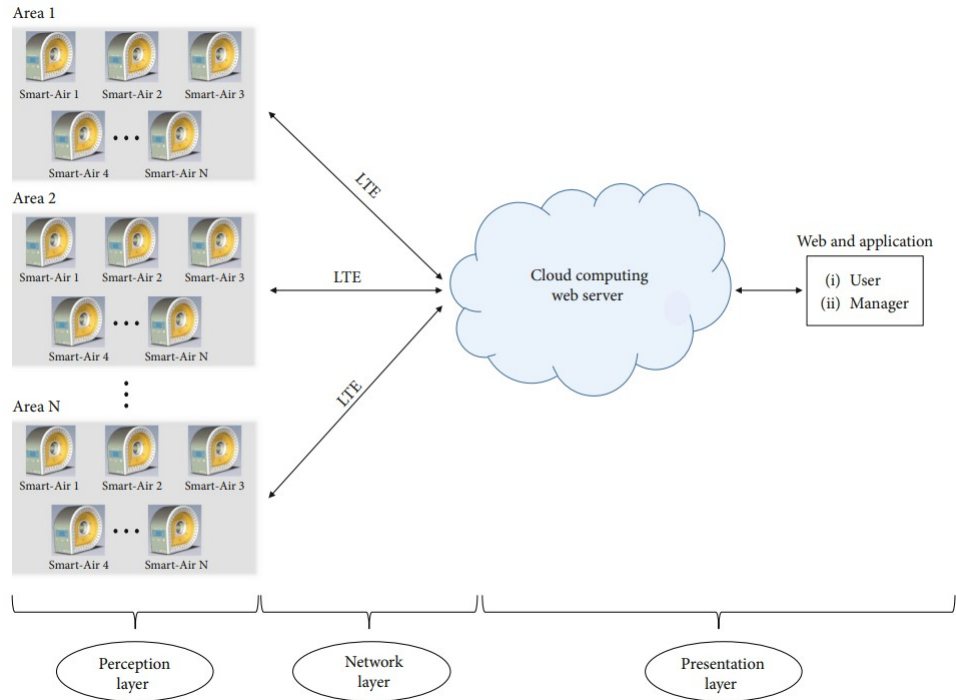


Figura 25: Diagrama de blocos da plataforma de monitoramento da qualidade do ar interno baseada em IoT [19].

Esse projeto [19] consiste em um dispositivo final com sensores que detectam, poeira através do sensor PM2007, (VOC's) e (CO) pelo sensor GSBT11-P110, (CO2) pelo sensor CM1103, sobre temperatura e umidade esses são monitorados pelo DHT11, sendo assim esses dados são recebidos por um microcontrolador STM32F407IG da STMicroelectronics que encaminham dados através de um modem acoplado ao dispositivo usando uma rede Long-Term Evolution (LTE) para uma plataforma na nuvem na Amazon Web Service (AWS), ainda no dispositivo na parte central existe uma faixa de LED para apontar a qualidade do ar por meio de cores, vide Figura 26.

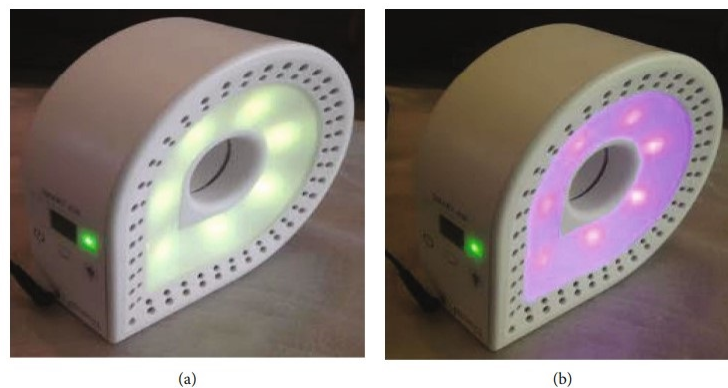


Figura 26: Representação (a) quando a qualidade do ar está boa e (b) quando está ruim. [19].

Uma vez coletados os dados pelos sensores e encaminhados para o microcontrolador, esse enviará os dados através do modem via rede LTE a plataforma na nuvem, aproveitando assim a capacidade

computacional que esse tipo de serviço oferece, e conseqüentemente os dados da qualidade do ar interno são acessados através de uma aplicação web e aplicativo móvel que foram desenvolvidos [19]. As Figuras 27 e 28 apresentam a aplicação web e aplicativo móvel respectivamente.

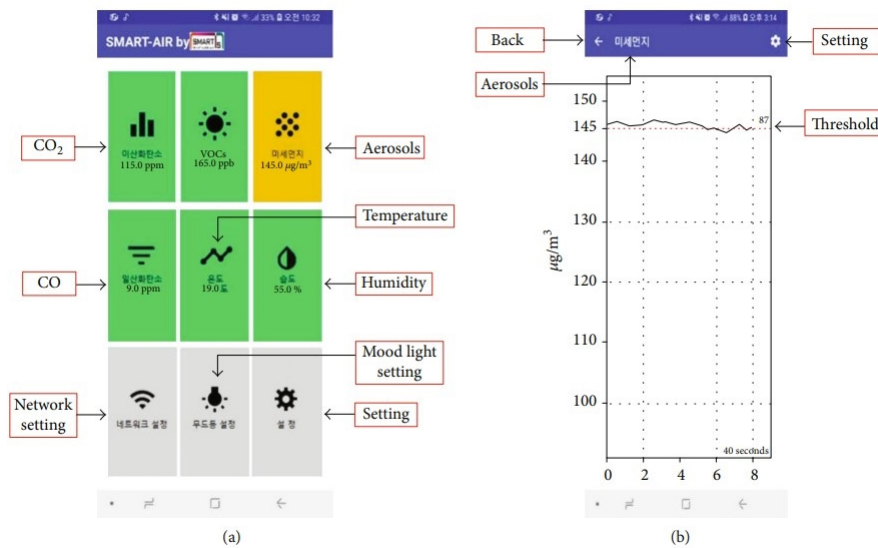


Figura 27: A aplicação da plataforma de monitoramento da qualidade do ar baseada em IoT: (a) página principal e (b) um gráfico em tempo real de dados de aerossol [19].

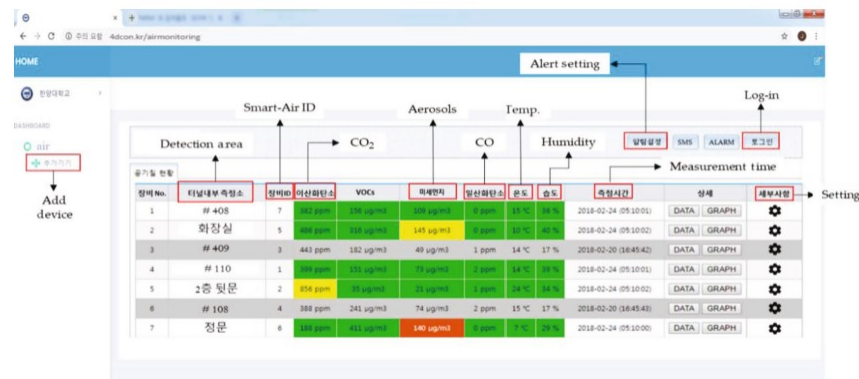


Figura 28: Servidor da web na nuvem rodando a plataforma de monitoramento da qualidade do ar interno baseada em IoT [19].

Os testes de medições realizados em alguns edifícios foram baseados em um método definido pelo ministério do meio ambiente da Coreia, nos quais foram obtidos resultados interessantes e satisfatórios, vez que ao detectar em alguns pontos de má qualidade do ar, os gerentes dos edifícios foram sinalizados através de alertas, permitindo a eles uma ação imediata para melhorar a qualidade do ar no ambiente monitorado [19].

3.3.3 Discussões e considerações

Nessa seção foram apresentadas soluções de mercado e acadêmica para monitoramento da qualidade do ar em ambientes fechados, assim ao longo das pesquisas foi possível identificar que existem soluções que podem atender melhor a qualidade do ar conforme a expectativa dos protocolos sanitários que prezam por manter a sala isolada e arejada na escola e ventilação e higienização dos ambientes, pois oferecem dispositivos que monitoram outras variáveis. Sobre a aplicação das tecnologias apresentadas algumas são mais viáveis para grandes áreas de coberturas, como campus de uma universidade, por outro lado existe a opção para atender escolas de ensino infantil que geralmente têm uma área territorial pequena. Com relação aos serviços oferecidos pelas plataformas das soluções de mercado, somente uma delas apresenta aplicação de inteligência artificial o que representa uma possibilidade para outras empresas explorarem o mesmo serviço, tendo em vista a tamanha importância desse serviço nas tomadas de decisões e ações no ecossistema de IoT. A respeito do custo de implantação em soluções comerciais, esse pode ser um grande desafio para adoção dessas tecnologias, pois pode variar muito de uma solução para outra, pois existem outras variáveis que precisam ser analisadas como a automação dos eventos, bem como ventilação (ar-condicionado, ventiladores etc.), quantos ambientes serão monitorados. Com relação às soluções acadêmicas o baixo custo da estrutura física é uma das características que chama a atenção, no entanto demanda uma mão de obra qualificada para implementação.

4 Considerações finais

Este relatório teve como objetivo validar a possibilidade e viabilidade técnica do uso de IoT para monitorar o cumprimento dos protocolos sanitários requeridos pelo estado de São Paulo, foram apresentadas soluções que podem ser implementadas nas escolas de acordo com cada sub setor, permitindo um monitoramento dos protocolos de volta às aulas presenciais. Nota interessante na comparação das soluções acadêmicas, as pesquisas apresentam soluções de menor custo e com mais demonstração sobre o funcionamento e resultados comparado às soluções já comercializadas. O protocolo de maior desafio para ser monitorado é a ventilação dos ambientes, mesmo com várias soluções já comercializadas que monitoram a qualidade do ar, o custo não é tão acessível para a maioria das escolas de São Paulo, visto alguns valores fornecidos pelas empresas. O aferimento de temperatura é um protocolo que poderia ser monitorado facilmente com o IoT, apesar das soluções mais vendidas usarem câmera térmica, o monitoramento com sensor infravermelho também tem bom desempenho. Também pode ser implementado o monitoramento do uso de máscara, pois é possível utilizar as câmeras já instaladas, somente seria necessário a contratação do serviço de reconhecimento de imagem. As soluções acadêmicas são opções válidas e consideráveis, vez que os componentes utilizados na implementação são de baixo custo, em contrapartida existe a necessidade de uma mão de obra especializada para elaboração e execução dos projetos. Frente às pesquisas realizadas e soluções encontradas, foi possível observar a possibilidade de aplicação das soluções e alguns desafios para a concretização na implementação, mas todas as soluções demonstraram viáveis tecnicamente e necessárias, pois até o término deste artigo o mundo ainda estava em estado de pandemia, o que torna essencial e contínuo o monitoramento dos protocolos sanitários para auxiliar na prevenção da disseminação do COVID-19 e contribuir na qualidade da saúde da vida humana.

Referências

- [1] GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Protocolos Sanitários - Educação - 2º Semestre de 2021 - 2ª Edição - Novembro*. Secretaria da Educação do Estado de São Paulo. Disponível em: https://www.educacao.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/29-10-2021_REV-FINAL-protocolos_sanitarios_seduc_2-edicao.pdf. Acesso em: 05 nov. 2021.
- [2] GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Volta às aulas se-guras - retomada integral da educação básica*. Disponível em: https://issuu.com/governosp/docs/coletiva_retomada_integral_da_educac_a_o_ba_sica_-_13. Acesso em: 05 nov. 2021.
- [3] GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Escolas estaduais de São Paulo iniciam nova fase com aulas presenciais sem distanciamento obrigatório entre alunos*. Secretaria da Educação do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://www.educacao.sp.gov.br/1565339-2/>. Acesso em: 05 nov. 2021.
- [4] SÃO PAULO (Estado). *Decreto nº 64.959, de 04 de maio de 2021. Dispõe sobre o uso geral e obrigatório de máscaras de proteção facial no contexto da pandemia da COVID-19 e dá medidas correlatas*. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2020/decreto-64959-04.05.2020.html>. Acesso em: 05 nov. 2021.
- [5] KWON, Sohee *et al*, *Association of social distancing and face mask use with risk of COVID-19*. *Nature Communications*, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2021.
- [6] Mask Detection & Social Distancing. *Honeywell*. 2021. Disponível em: <https://www.security.honeywell.com/uk/product-repository/mask-detection-and-social-distancing>. Acesso em: 18 nov. 2021.
- [7] Face Mask Detection System using Artificial Intelligence. *Leewayhertz*. 2021. Disponível em: <https://www.leewayhertz.com/face-mask-detection-system/>. Acesso em: 18 nov. 2021.
- [8] Face mask detection software. *Aerialtronics*. 2021. Disponível em: <https://www.aerialtronics.com/en/products/face-mask-detection-software#facedetectionintro>. Acesso em: 18 nov. 2021.
- [9] Face mask detection software. *Trident*. 2021. Disponível em: <https://tridentinfo.com/face-mask-detection-systems/>. Acesso em: 23 nov. 2021.
- [10] PETROVIĆ, Nenad; KOCIĆ, Đorđe. *IoT-based system for COVID-19 indoor safety monitoring*. IcETAN Belgrade, 2020.
- [11] VARSHINI, B. *et al*. *IoT-Enabled smart doors for monitoring body temperature and face mask detection*. *Global Transitions Proceedings*, v. 2, n. 2, p. 246-254, 2021.
- [12] Coronavirus disease (COVID-19). *OMS*. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab.3>. Acesso em: 05 nov. 2021.
- [13] How “touch-free” access control with temperature screening helps businesses in returning to work. *Hikvision*. Disponível em: <https://hikvision.com/en/newsroom/latest-news/2020/how-touch-free-access-control-with-temperature-screening-helps-businesses-in-returning-to-work/>. Acesso em: 18 nov. 2021.

- [14] Come Back Better with CLEAR Health Pass. *Clear*. Disponível em: <https://www.clearme.com/healthpass>. Acesso em: 18 nov. 2021.
- [15] Body Temperature Monitoring Solution. *iEi*. Disponível em: <https://www.ieiworld.com/medical-solution/en/body-temperature-monitoring-solution.php> Acesso em: 22 nov. 2021.
- [16] Thermal Human Temperature Monitoring Solution. *Saitell*. Disponível em: <https://saitell.com/thermal-human-temperature-monitoring/> Acesso em: 22 nov. 2021.
- [17] LIN, Wei-Ling *et al.* *Apply IOT technology to practice a pandemic prevention body temperature measurement system: A case study of response measures for COVID-19*. International Journal of Distributed Sensor Networks, v. 17, n. 5, p. 15501477211018126, 2021. Acesso em: 22 nov. 2021.
- [18] New WHO Global Air Quality Guidelines aim to save millions of lives from air pollution. *OMS*. Disponível em: <https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution> Acesso em: 05 nov. 2021.
- [19] JO, JunHo *et al.* *Development of an IoT-based indoor air quality monitoring platform*. *Journal of Sensors*, v. 2020, 2020. Acesso em: 05 nov. 2021.
- [20] WALL, Dylan *et al.* *Development of an Internet of Things solution to monitor and analyse indoor air quality*. *Internet of Things*, v. 14, p. 100392, 2021. Acesso em: 05 nov. 2021.
- [21] Coronavirus and Air Pollution. *Harvard*. Disponível em: <https://www.hsph.harvard.edu/c-change/subtopics/coronavirus-and-pollution/> Acesso em: 05 nov. 2021.
- [22] COVID-19 Solution: Indoor Air Quality Monitoring for Students in School Classroom. *Mile-sight*. Disponível em: <https://www.milesight-iot.com/blog/covid-19-solution/> Acesso em: 05 nov. 2021.
- [23] We monitor your air for you. *ZiggyAir*. Disponível em: <https://www.ziggytec.com/ziggyair/index.html> Acesso em: 05 nov. 2021.
- [24] Quando cuidamos da qualidade do ar que respiramos, damos do bem mais precioso que temos: nossa saúde. *Omni-electronica*. Disponível em: <https://www.omni-electronica.com.br/spiri> Acesso em: 05 nov. 2021.
- [25] Safer and healthier Indoor Environments with the new IoT Indoor Air Quality monitoring Solution. *Actility*. Disponível em: <https://www.actility.com/safer-and-healthier-indoor-environments-due-to-new-iot-indoor-air-quality-monitoring-solution/> . Acesso em: 05 nov. 2021.