



Desenvolvimento e avaliação de uma arquitetura para monitoramento remoto em saúde utilizando fog e cloud computing

Development and evaluation of an architecture for remote health monitoring using fog and cloud Computing

Desarrollo y evaluación de una Arquitectura para el monitoreo remoto de la salud utilizando fog y cloud computing

Paulo Cesar Salgado Vidal¹, Ronaldo Moreira Salles^{1,2}, Marcelo Quesado Filgueiras³,
Juan Felipe Souza Oliveira⁴

1 Doutor, Professor, Seção de Engenharia de Computação, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro - RJ, Brasil

2 Doutor, Professor, CIICESI, ESTG, Instituto Politécnico do Porto, Portugal

3 Mestre, Médico, Neurocirurgião, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora-MG, Brasil

4 Mestrando, Seção de Engenharia de Computação, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro - RJ, Brasil

Autor correspondente: Juan Felipe Souza Oliveira

E-mail: oliveira.juan@ime.eb.br

Resumo

A crescente demanda por soluções de monitoramento de saúde em ambientes externos, como praias, estádios e centros urbanos, destaca a necessidade de arquiteturas eficientes e resilientes no contexto da Internet das Coisas. Objetivos: Propor uma arquitetura em camadas para o monitoramento de saúde em ambientes externos, combinando computação em névoa e nuvem para a coleta e análise eficiente e confiável de dados de saúde. Métodos: O monitoramento é realizado através de smartbands e smartphones, utilizando a computação em névoa na borda da rede para mitigar instabilidades de conexão. Resultados: A arquitetura proposta assegura a integridade dos dados mesmo em ambientes com redes instáveis. Conclusão: A solução demonstra eficácia no monitoramento de saúde em ambientes externos, oferecendo uma solução confiável para a coleta e análise de dados em tempo real, apesar das possíveis instabilidades nas redes de comunicação.

Descritores: Internet das Coisas; Monitoramento em Saúde; Computação em Névoa



Abstract

The growing demand for health monitoring solutions in outdoor environments such as beaches, stadiums, and urban centers highlights the need for efficient and resilient architectures in the context of the Internet of Things. Objectives: To propose a layered architecture for health monitoring in outdoor environments, combining fog and cloud computing for efficient and reliable collection and analysis of health data. Methods: Monitoring is conducted through smartbands and smartphones, utilizing fog computing at the network edge to mitigate connection instabilities. Results: The proposed architecture ensures data integrity even in environments with unstable networks. Conclusion: The solution demonstrates effectiveness in health monitoring in outdoor environments, offering a reliable solution for real-time data collection and analysis despite potential communication network instabilities.

Keywords: Internet of Things; Remote Health Monitoring; Fog Computing

Resumen

La creciente demanda de soluciones de monitoreo de salud en entornos exteriores como playas, estadios y centros urbanos destaca la necesidad de arquitecturas eficientes y resilientes en el contexto del Internet de las Cosas. Objetivos: Proponer una arquitectura en capas para el monitoreo de salud en entornos exteriores, combinando computación en niebla y en la nube para la recolección y el análisis eficiente y confiable de datos de salud. Métodos: El monitoreo se realiza a través de smartbands y teléfonos inteligentes, utilizando la computación en niebla en el borde de la red para mitigar las inestabilidades de conexión. Resultados: La arquitectura propuesta asegura la integridad de los datos incluso en entornos con redes inestables. Conclusión: La solución demuestra efectividad en el monitoreo de salud en entornos exteriores, ofreciendo una solución confiable para la recolección y análisis de datos en tiempo real a pesar de las posibles inestabilidades en las redes de comunicación.

Descriptores: Internet de las cosas; Monitoreo Remoto de Salud; Computación en Niebla

Introdução



O paradigma da Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things (IOT)* representa um conjunto de tecnologias, tais como sensores, dispositivos vestíveis, banco de dados, redes de telecomunicações e paradigmas computação em névoa (*fog computing*) e computação em nuvem (*cloud computing*), tendo um imenso potencial para auxiliar os profissionais de saúde em monitoramento de pacientes⁽¹⁾.

A utilização de redes corporais vestíveis sem fio, como, por exemplo, pulseiras inteligentes (*smartbands*), em monitoramento dos pacientes fora dos hospitais, clínicas e unidades de atendimento, pode gerar economia com recursos humanos e materiais, incluindo infraestrutura^(1,10), além de permitirem um acompanhamento integral de determinados pacientes que necessitam de um diagnóstico ágil de suas patologias, principalmente as com elevados índices de incapacitação e mortalidade, tais como dores crônicas e doenças cardiovasculares⁽²⁾.

Com o significativo crescimento dos sistemas de saúde e expectativa de vida da população, o mundo de hoje enfrenta muitos desafios como doenças crônicas e epidêmicas que ameaçam a saúde pública^(3,11), e se faz necessário o monitoramento contínuo dos parâmetros de saúde, tais como batimentos cardíacos, níveis de oxigenação no sangue, número de passos ao longo do dia, índice glicêmico e peso a partir de dispositivos eletrônicos e redes de comunicação.

Em muitos casos, este monitoramento requer alta integridade e confiabilidade dos dados que são transmitidos por redes móveis e pela Internet como um todo. Esses dados precisam ser armazenados de forma confiável, integrada e eficiente em bancos de dados, levando em consideração o tempo de resposta, a latência e a segurança em ambientes de computação em nuvem⁽⁴⁾.

A computação em névoa é um paradigma computacional que surge como uma evolução no campo da computação distribuída, com o objetivo de superar as limitações dos modelos atuais baseados em computação em nuvem^(4,5).

A computação em névoa processa dados e oferece recursos de armazenamento e comunicação na borda da rede, mais próxima dos usuários. Isso permite análise em tempo real e alertas com menor latência, mesmo em condições de falha na rede⁽⁶⁾. Essa abordagem é crucial para resolver desafios na área da saúde e contribui significativamente para sistemas de computação voltados para essa área.



Logo, uma das vantagens permite que os profissionais de saúde realizem o monitoramento remoto dos pacientes de maneira altamente eficaz, mesmo diante de instabilidades nas redes de comunicações. Dessa forma, é possível receber alertas imediatos em situações de emergência, garantindo uma resposta rápida e eficiente^(6,7).

Para aprimorar os sistemas de monitoramento atuais, propomos uma arquitetura que utiliza a computação em névoa para avaliar a coleta de dados e o monitoramento de saúde em ambientes externos, mesmo com falhas e instabilidade nas redes 2G, 3G, 4G, 5G e Wi-Fi. Detalhamos a implementação da arquitetura, destacando as camadas de névoa e nuvem, e discutimos os resultados dos experimentos, comparando diferentes implementações e cenários de teste.

Desafios da Computação em nuvem na Área Médica

Aplicações na área da saúde desenvolvidas e baseadas em computação em nuvem possuem alta capacidade de armazenamento e poder computacional, logo, têm sido conhecidas como formas eficientes de transferir, processar e armazenar dados^(13,14). No entanto, existem algumas deficiências dos modelos atuais⁽¹⁵⁾, tais como:

- **Infraestrutura de rede** - impossibilidade de acesso a informações, servidores e aplicações presentes na nuvem no caso de falhas nas redes de comunicações, como *Wi-Fi* ou redes móveis.
- **Largura de banda** - devido ao elevado tráfego de dados, os provedores de nuvem podem limitar a largura de banda para otimizar a rede.
- **Confiabilidade** - uma falha na nuvem pode ter diferentes consequências. A confiabilidade dos dados é fundamental para assegurar a precisão das informações e a continuidade do serviço. Em situações adversas, perdas ou adulterações dos dados e falhas em mecanismos de backup e redundância.
- **Tempo de resposta** - imprevisibilidade devido a sincronização entre os dispositivos e a camada de computação em nuvem apresentam desafios para atender os requisitos para monitoramento em tempo real.

Tendo em vista os aspectos observados, modelos de IoT utilizando apenas a camada de computação em nuvem não necessariamente oferecem a solução mais



viável para aplicativos críticos⁽¹⁶⁾ e enfrentamento dos desafios de IoT atrelados à área médica⁽¹⁷⁾.

Nesse contexto, computação em névoa surge como um paradigma de computação distribuída que estende a capacidade da nuvem para dispositivos localizados próximos aos usuários ou no limite da rede, como sensores, câmeras e redes corporais sem fio⁽¹⁸⁾

Dado o exposto é necessário desenvolver modelos arquiteturais que contenham camadas entre os dispositivos IoT e a nuvem, expandindo o armazenamento, o poder computacional, a infraestrutura de rede e o gerenciamento de dados em direção à borda da rede, mais próximos a estes dispositivos e, portanto, cobrir a lacuna entre a nuvem e os nós IoT⁽¹⁸⁾. Conseqüentemente, computação, rede, gerenciamento de dados e tomada de decisão podem ocorrer nesta camada intermediária, contribuindo na integridade, confiabilidade e otimização de processos de toda a arquitetura.

Os trabalhos relacionados nesta área de pesquisa exploraram os conceitos de latência, tolerância a falhas⁽¹⁹⁾, simulação de coleta e coleta de dados reais em sistemas de monitoramento de parâmetros de saúde.

Esses estudos investigaram abordagens para minimizar a latência na transmissão^(8,20) e processamento de dados, bem como propuseram técnicas para lidar com falhas e instabilidades nas redes de comunicações móveis⁽²¹⁾. Além disso, utilizaram simulações para avaliar o desempenho dos sistemas em diferentes cenários e também realizaram coletas de dados reais para validarem suas propostas^(10,21). A revisão dos trabalhos relacionados abordou critérios relevantes que estão alinhados com a arquitetura proposta neste artigo, tais como:

- **Latência:** minimizar o tempo de transmissão e processamento dos dados para garantir respostas rápidas e oportunas. Isso envolve a otimização da latência na computação em névoa e computação em nuvem;
- **Tolerância a falhas:** projetar arquiteturas resilientes capazes de lidar com falhas de dispositivos, redes ou processos. Isso garante que o sistema continue operacional e confiável mesmo em situações adversas;
- **Smartphone como nó da camada de névoa (Fog Node):** desempenha um papel essencial na arquitetura de computação em névoa. Ao atuar



como um nó da névoa, o *smartphone* pode executar tarefas computacionais na borda da rede devido ao seu alto poder computacional e de armazenamento, reduzindo a latência e aproveitando sua conectividade com redes móveis, *Wi-Fi* e outros dispositivos próximos.

- **Diferentes protocolos de comunicação de rede:** utilização dos protocolos da camada de aplicação, como por exemplo *HTTP*, *MQTT* e *CoAP* na área da saúde sob diferentes perspectivas. Eficiências na troca de dados clínicos, monitoramento remoto de pacientes e integração com redes corporais sem fio.

Os estudos comparativos abordaram os desafios enfrentados em ambientes internos e externos, considerando a presença ou ausência de redes de comunicação móveis, como 2G, 3G, 4G e 5G, e a utilização de *Wi-Fi*^(12,21). Ambientes internos foram identificados como oferecendo infraestrutura de rede mais estável, facilitando a comunicação entre dispositivos de monitoramento de saúde. Em contraste, ambientes externos apresentam maior variabilidade e desafios de conectividade.

Cada geração de rede móvel tem características específicas de velocidade, latência e cobertura, impactando diretamente o desempenho e a confiabilidade da coleta de dados em ambientes externos. A presença de redes *Wi-Fi* também foi considerada, especialmente em ambientes internos, por proporcionar conexões estáveis e rápidas^(20,21).

Soluções foram propostas para lidar com a falta de rede e instabilidades em ambientes externos, incluindo armazenamento temporário de dados, tecnologias de armazenamento local e redes *ad hoc*⁽²¹⁾. Essas estratégias visam garantir a confiabilidade da coleta de dados em ambientes desafiadores⁽²⁵⁾. Em suma, os estudos destacaram a importância de considerar as características de cada ambiente, a presença ou ausência de redes móveis e *Wi-Fi*, e as diferentes gerações de redes móveis no projeto de sistemas confiáveis e eficazes de monitoramento de parâmetros de saúde em diferentes contextos.

As tecnologias e ferramentas computacionais utilizadas em trabalhos anteriores, como bancos de dados *NoSQL*, sistemas de mensageria e o padrão de projeto



Transactional Outbox, contribuirão para uma implementação mais aprofundada da arquitetura desenvolvida. Essas contribuições técnicas proporcionarão melhorias significativas, permitindo uma coleta de dados mais eficiente, confiável e escalável⁽¹⁸⁾. O uso de bancos de dados *NoSQL* podem oferecer vantagens em termos de escalabilidade e flexibilidade na adaptação a diferentes tipos de dados, especialmente os relacionados à saúde, resultando em melhor desempenho.

Em relação a ferramentas de sistemas de mensageria e streaming de dados distribuídos para lidar com fluxos contínuos de dados em tempo real⁽¹⁴⁾, é empregada a comunicação assíncrona entre os componentes do sistema, tornando a troca de informações mais flexível e escalável⁽¹⁹⁾. Desempenhando papel fundamental no monitoramento em ambientes externos, onde as condições de rede podem ser instáveis. Além disso, o padrão *Transactional Outbox* garante a consistência e a atomicidade nas operações de envio de mensagens⁽²¹⁾, evitando perdas ou duplicações de dados durante a comunicação assíncrona.

Por fim, para o tráfego dos dados para a camada de nuvem, estudos recentes demonstram que o protocolo de comunicação *Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)* apresenta alta eficiência e tolerância a falhas de conexão⁽²¹⁾, permitindo reconexão automática quando há interrupção ou alteração na conectividade, sendo possível adaptar-se a diferentes níveis de qualidade de rede, incluindo as de baixa largura de banda e conexões instáveis, como as de 2G e 3G, ou em situações de sobrecarga da rede devido a vários dispositivos móveis conectados simultaneamente, otimizando o tráfego dos dados com base nas condições da rede⁽²²⁾.

Comparado aos trabalhos relacionados, o presente trabalho propõe uma avaliação abrangente da arquitetura em ambientes externos, oferecendo possíveis soluções para coleta de dados e monitoramento de saúde em tempo real. Ao integrar técnicas de armazenamento local, protocolos de transmissão adaptativos e recuperação de falhas, visa superar limitações anteriores.

Métodos

A arquitetura de monitoramento de saúde tem duas camadas principais: computação em névoa, que coleta, processa, filtra e envia dados, e computação em nuvem, que armazena dados, gera dashboards e emite possíveis alertas. A conexão



Bluetooth entre a smartband e o smartphone do paciente permite a coleta contínua de parâmetros de saúde, proporcionando um monitoramento mais eficaz e personalizado.

Processando dados próximos à fonte por meio da camada de computação em névoa, a arquitetura proposta pode assegurar uma coleta e transmissão mais eficiente e ágil, resolvendo questões de confiabilidade, requisitos temporais e tolerância a falhas. Coletando parâmetros de saúde como frequência cardíaca, passos e geolocalização, a integração proporciona uma visão precisa da saúde do paciente.

A segurança é amplificada com criptografia dos dados durante a transmissão para a nuvem e atrelado ao uso de identificadores únicos, garantindo conformidade com a LGPD e protegendo a privacidade dos pacientes.

Os dados de monitoramento coletados e processados fornecem uma percepção clara da saúde dos pacientes e são periodicamente enviados para servidores em nuvem. No contexto de e-Health, ambulâncias, enfermeiros e médicos podem acessar remotamente essas informações via Internet para avaliar a condição atual dos pacientes monitorados.

Na Figura 1 é exibido o diagrama diagrama arquitetural da camada de computação em névoa e ferramentas na computação em névoa e o aplicativo móvel (*publisher*) desenvolvido em multiplataforma *IoT* e *Android* que se comunica com a nuvem. Devido ao alto processamento e armazenamento do smartphone, o mesmo se comporta como um nó da névoa (*fog node*) e realiza os processos e envio de dados para a camada de nuvem. Os smartphones atuais têm poder de processamento e atuam como nós de névoa, processando e enviando dados de forma eficiente via *MQTT* para a camada de nuvem.

A camada de névoa, além de receber os dados dos sensores da smartband, ocorre o processo *ETL* (*Extract, Transform, Load*), os quais dados brutos são extraídos, filtrados e armazenados. Isso permite selecionar e processar apenas os dados relevantes, reduzindo a quantidade de dados enviados para a nuvem e tornando o sistema mais eficiente.

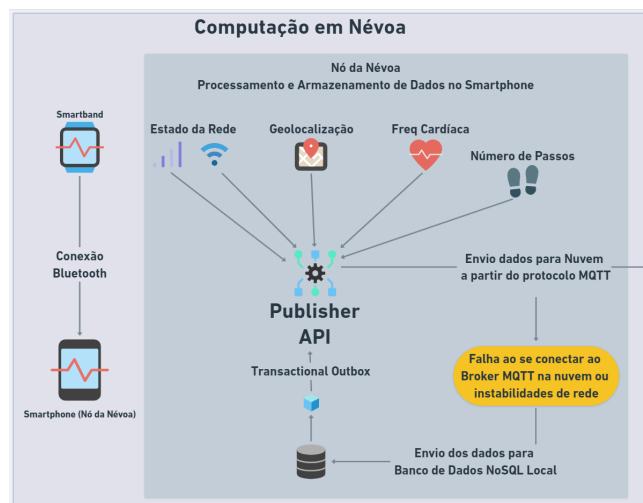


Figura 1 – Diagrama Arquitetural da Camada de Computação em Névoa

O padrão *Transaction Outbox* com banco de dados local garante a integridade dos dados mesmo em falhas nos servidores em nuvem ou instabilidades na rede. Assim, as mensagens são armazenadas localmente e retransmitidas corretamente quando há a reconexão com a nuvem.

Na Figura 2, é apresentado o diagrama arquitetural da camada de computação em nuvem. Esta camada receberá as requisições da camada de névoa através do protocolo de comunicação *MQTT* e utilizará o *Broker* para enfileirar os dados recebidos e armazenar os eventos em tópicos de logs distribuídos. A aplicação em desenvolvimento *Java* com o *framework Spring*, está inscrita no tópico do *Broker* e, assim, consome essas mensagens e as persiste em bancos de dados *NoSQL* de acordo com o contexto de cada dado, bem como logs distribuídos para métricas e observabilidade do sistema.

O desenvolvimento de dashboards e análise de métricas se faz a partir da ferramenta *Prometheus*, para obter os dados dos bancos de dados e estabelecer métricas de desempenho do sistema, permitindo a análise dos dados dos sensores e atrasos de processamento.

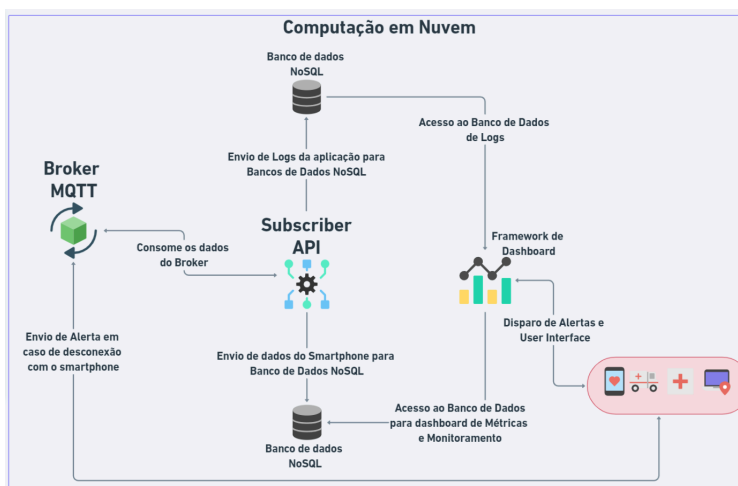
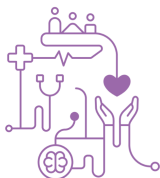


Figura 2 – Diagrama Arquitetural da camada de Computação em Nuvem

Resultados e Discussão

Foi desenvolvida uma arquitetura principal com camadas de névoa e nuvem (CEN), e uma secundária que utiliza apenas a camada de nuvem (SCEN). Na SCEN, os dados são enviados diretamente para a nuvem, sem o processamento local da névoa, utilizando o protocolo *HTTP*, que não necessariamente garante a entrega dos dados, que consiste em um sistema o qual o smartphone apenas envia os dados para a nuvem sem utilizar a camada de névoa.

Explorar as diferenças fundamentais entre a (CEN) e (SCEN), com foco na transmissão de dados para a nuvem, permitirá avaliar o impacto da computação em névoa na confiabilidade e eficiência na comunicação entre as camadas de névoa e nuvem.

Na (CEN), a estabilidade e a latência são monitoradas, aproveitando o processamento local da névoa, o que reduz a dependência de conexões instáveis e minimiza interrupções, crucial para dados de saúde críticos. Já na SCEN, sem esse processamento local, há risco de conexão menos confiável e maior vulnerabilidade a interrupções, especialmente em ambientes com redes instáveis.

A comparação dos resultados é fundamental para definir o êxito da arquitetura CEN. Espera-se melhorias nas métricas de desempenho, como redução da latência e minimização da perda de pacotes. Também é importante identificar vantagens da computação em névoa em diferentes cenários, especialmente em ambientes externos com cobertura de rede inconsistente. A análise desses resultados sustentará a adoção



contínua desse paradigma na monitorização remota da saúde, buscando melhorar a qualidade e o desempenho do monitoramento em tempo real.

Avaliações preliminares foram conduzidas em quatro cenários distintos utilizando o Software Open Signal, que oferece testes de sinal de rede, incluindo download, upload e latência. Essas avaliações permitem detectar sinal em áreas remotas, comparar o desempenho com outros dispositivos e identificar a performance da rede.

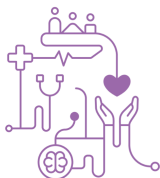
- **Praia de Copacabana, Rio de Janeiro - RJ** - testes no fim de semana com o OpenSignal revelaram que o congestionamento de redes, causado pela alta concentração de dispositivos e o relevo irregular da região, resultou em áreas de sinal fraco e bloqueios parciais, afetando a latência e qualidade da rede devido a reflexões e multipercursos do mar e construções próximas.;
- **Estádio Maracanã, Rio de Janeiro - RJ** - testes realizados em dois jogos nos finais de semana, observou-se sobrecarga da rede devido ao grande número de dispositivos conectados, resultando em instabilidade, alta latência, que pode impactar negativamente no monitoramento em tempo real.

Experimento I - Desempenho de Transmissão de Dados - Cenário Praia de Copacabana

O experimento foi realizado no Estádio Maracanã, durante o clássico entre Flamengo e Vasco, em 02/06/2024, com um público de 62.288 torcedores. Durante as duas horas do evento, foram enviados 7200 pacotes de dados. Cada pacote de dados enviado durante ambos os experimentos representa uma amostra contendo informações como nível de bateria do dispositivo, frequência cardíaca e geolocalização. Os pacotes são enviados a cada segundo, permitindo um monitoramento contínuo e em tempo real.

Observou-se uma degradação significativa na qualidade das redes móveis devido à sobrecarga de dispositivos conectados, resultando em alta latência, taxas de transferência reduzidas e perda de pacotes. A Tabela 1 compara o desempenho de cada arquitetura nesse cenário.

Tabela 1 – Comparação de Métricas de Desempenho de Transmissão de Dados



Métrica	SCEN	CEN
Total de pacotes	7200	7200
Pacotes perdidos	2569	215
Pacotes recebidos	4631	6985
Taxa de Sucesso (%)	64.32%	97.02%
Taxa de Falha (%)	35.68%	2.98%

O Maracanã, sendo um local externo e sujeito a diversas condições de rede, representa um cenário complexo para a conectividade móvel. A arquitetura CEN demonstrou maior eficiência na entrega de pacotes, com uma taxa de sucesso de 97.02% e uma taxa de falha de apenas 2.98%. Em comparação, a arquitetura SCEN apresentou uma taxa de sucesso de 64.32% e uma taxa de falha de 35.68%. Esses resultados mostram como a CEN proporcionou menor perda de dados e melhor estabilidade de conexão.

Experimento II - Latência e atrasos na emissão de alertas - Cenário Estádio do Maracanã

O experimento foi realizado na Praia de Copacabana em 23 de junho de 2024, um domingo com alta concentração de pessoas. Ambas as implementações foram testadas para monitorar sobrecargas na rede, durante o período das 10h às 18h. O objetivo foi avaliar a latência do sistema de monitoramento, configurado para enviar alertas ao detectar frequências cardíacas anômalas continuamente por 5 minutos.

Com base em recomendações médicas^(3,6), quando um segmento de 5 minutos (300 segundos) com frequência cardíaca elevada é detectado, o sistema emite alertas para os profissionais de saúde. Além disso, analisamos a latência, que influencia os atrasos acumulados na emissão dos alertas. Este atraso é medido como o tempo total desde a detecção de um evento até a emissão de um alerta, considerando a latência na rede. Para calculá-lo, multiplicamos o tempo de resposta médio em milissegundos por 300 e convertendo o resultado para minutos.

Durante ambos os experimentos, foram observadas variações na qualidade da rede, resultando em intermitências entre 5G, 4G e 3G, os resultados mostrados na tabela 2 a seguir destacam as diferenças de desempenho entre as arquiteturas:

Tabela 2 – Comparação de Latência e Atrasos acumulados para envio de alerta



Métrica	SCEN	CEN
Tempo de Resposta Médio - 5G	1116 ms	110 ms
Atraso Acumulado	5.58 min	0.55 min
Tempo de Resposta Médio - 4G	1814 ms	312 ms
Atraso Acumulado	9.07 min	1.56 min
Tempo de Resposta Médio - 3G	3308 ms	409 ms
Atraso acumulado	16.54 min	2.04 min

O atraso na emissão de alertas pode ter um impacto significativo na capacidade de resposta dos profissionais de saúde a situações críticas. No contexto do monitoramento contínuo de pacientes, a rapidez na detecção e resposta a anomalias na frequência cardíaca pode ser crucial para salvar vidas.

Conclusão

Este artigo apresentou uma arquitetura multicamadas para coleta e análise de dados de saúde em tempo real em ambientes externos caracterizados por alta densidade populacional e interferências nas redes móveis. A arquitetura proposta demonstrou maior eficiência, menor latência, maior estabilidade de conexão e baixa perda de pacotes, destacando-se na transmissão de dados em ambientes externos com computação em névoa. Diferentemente dos trabalhos anteriores, que se concentraram em ambientes controlados, a arquitetura foi testada em condições reais, enfrentando desafios do mundo real, garantindo a integridade e continuidade dos dados coletados.

Apesar dos avanços em tecnologias e mecanismos de tolerância a falhas, ainda foram observadas perdas de pacotes. Essas perdas podem ser atribuídas a interferências eletromagnéticas, sobrecarga de rede e limitações inerentes das tecnologias de telecomunicações. Trabalhos futuros podem se concentrar na mitigação dessas interferências, explorando soluções avançadas em engenharia de redes e telecomunicações para aprimorar a transmissão de dados.



Em suma, a arquitetura amplia a integridade e confiabilidade dos dados coletados em diversos cenários atendendo às necessidades crescentes do na área da saúde e telemedicina.

Referências

1. Manyika, J., Chui, M., Bisson, P., Woetzel, J., Dobbs, R., Bughin, J., & Aharon, D. (2015). Unlocking the potential of the internet of things. McKinsey Global Institute, 1, 1–2.
2. Farahani, B., Firouzi, F., Chang, V., Badaroglu, M., Constant, N., & Mankodiya, K. (2018). Towards fog-driven iot ehealth: Promises and challenges of iot. *Future Generation Computer Systems*, 78(Pt 2), 659–676.
3. Do Nascimento, M. G., Iorio, G., Thomé, T. G., Medeiros, A. A., Mendonça, F. M., Campos, F. A., ... & Dantas, M. A. (2020). Covid-19: A digital transformation approach to a public primary healthcare environment. In 2020 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC).
4. Vilela, P. H., Rodrigues, J. J., Vilela, L. R., Mahmoud, M. M., & Solic, P. (2018). A critical analysis of healthcare applications over fog computing infrastructures. In 2018 3rd International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), 1–5.
5. Ahmadi, Z., Haghi Kashani, M., Nikravan, M., & Mahdipour, E. (2021). Fog-based healthcare systems: A systematic review. *Multimedia Tools and Applications*, 69(1), 1–40.
6. Alshammari, H. H. (2023). The internet of things healthcare monitoring system based on MQTT protocol. *Alexandria Engineering Journal*, 69, 275–287.
7. Tardieu, H., Daly, D., Esteban-Lauzán, J., Hall, J., & Miller, G. (2020). Case study 2: the digital transformation of health care. -, -, 237–244.
8. Ahmed Kamal, M., Ismail, Z., Shehata, I. M., Djirar, S., Talbot, N. C., Ahmadzadeh, S., ... & Kaye, A. D. (2023). Telemedicine, e-health, and multi-agent systems for chronic pain management. *Clinics and Practice*, 13(2), 470–482.
9. Mendonça, F. M., Dantas, M. A., Fortunato, W. T., Oliveira, J. F., Souza, B. C., & Filgueiras, M. Q. (2022). Wearable devices in healthcare: Challenges, current trends and a proposition of affordable low cost and scalable computational environment of internet of things. In *Brazilian Congress on Biomedical Engineering*, -, 2022. *Proceedings...* [S.l.: s.n.], 1301–1308.
10. Júnior, C. A. M., Mendonça, F. M., Dantas, M. A. R., De Carvalho Hilgemberg, A. L., De Medeiros, Á. A. M., Oliveira, J. F. S., ... & Thomé, T. G. (2021). Presenting epidor: a management information system to support pain medicine. *Brazilian Journal of Development*, 7(2), 20539–20550.
11. Babar, K., & Ali Shah, M. (2022). Scalable and sustainable mist computing-based architecture for internet of health things. In *Competitive Advantage in the Digital Economy (CADE 2022)*, 1., 2022. *Proceedings...* [S.l.: s.n.], 111–116.
12. Stavrinos, G. L., & Karatza, H. D. (2019). A hybrid approach to scheduling real-time IoT workflows in fog and cloud environments. *Multimedia Tools and Applications*, 78(17), 24639–24655.
13. Bansal, S., & Aggarwal, H. 2022. Priority-based cloud-fog architecture for smart healthcare systems. *IEEE International Conference on Current Development in Engineering and Technology*, 1, 1–7.



14. Fernando, N., Loke, S. W., & Rahayu, W. 2013. Mobile cloud computing: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 29(1), 84–106.
15. Gomes, E., Zanatta, R., Plentz, P., Rolt, C. D., & Dantas, M. 2020. An approach of time constraint of data intensive scalable in e-health environment. In *International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing*, 1., 2020, 158–169.
16. Ni, J., Zhang, K., Lin, X., & Shen, X. 2017. Securing fog computing for internet of things applications: Challenges and solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(1), 601–628.
17. Ilyas, A., Alatawi, M., Hamid, Y., Mahfooz, S., Zada, I., Gohar, N., & Shah, M. A. 2022. Software architecture for pervasive critical health monitoring systems using fog computing. *Journal of Cloud Computing*, 2022, 84.
18. Sharma, P., & Gupta, P. K. 2023. Optimization of IoT-Fog Network Path and fault Tolerance in Fog Computing based Environment. *Procedia Computer Science*, 218, 2494–2503.
19. Luan, T., Gao, L., Li, Z., Xiang, Y., & Sun, L. 2015. Fog Computing: Focusing on Mobile Users at the Edge. *Comput. Sci.*
20. Shaji, S., Sankaran, R., Guntha, R., & Pathinarupothi, R. K. 2023. A Real-time IoMT Enabled Remote Cardiac Rehabilitation Framework. In *2023 15th International Conference on COMmunication Systems NETworkS(COMSNETS)*, 153–158.
21. Al-Joboury, I., & Al-Hemiary, E. 2018. Performance Analysis of Internet of Things Protocols Based Fog/Cloud over High Traffic. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10, 176–181.
22. Gomes, E., Zanatta, R., Plentz, P., De Rolt, C., & Dantas, M. 2020. An Approach of Time Constraint of Data Intensive Scalable in e-Health Environment. In *International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing*. Springer, 158–169.