

Provendo Ambientes de Vida Assistida para Assistência Médica Remota com Smart Gateways na Web das Coisas

Rafael Hoffmann¹, Jonas Cesconetto, Douglas Melo, Michelle Wingham

Resumo

Os Ambientes de Vida Assistida são concebidos para proverem suporte a pessoas em suas rotinas diárias, por meio do uso de tecnologias da informação e comunicação, o que possibilita que qualquer dispositivo pessoal de saúde esteja conectado à Internet. A disponibilidade de informações clínicas auxilia no tratamento e na medicação dos pacientes. Este trabalho tem por objetivo descrever um sistema distribuído, baseado nos conceitos Web das Coisas, Smart Gateways e Nuvem, para conceber Ambientes de Vida Assistida. A solução proposta possibilita serviços de assistência médica e de monitoramento remoto de dispositivos para que profissionais especializados acompanhem os pacientes diariamente por meio da Internet. Tais informações auxiliarão os médicos na tomada de decisão e, conseqüentemente, a um diagnóstico mais preciso. Para garantir a proteção destes dados sensíveis, a solução provê ainda a gestão de identidades de usuários, utilizando o framework OpenId Connect. Como prova de conceito, um protótipo foi desenvolvido e avaliado considerando um estudo de caso. Os resultados obtidos comprovam a viabilidade e aplicabilidade da solução.

Palavras-chave: Web das Coisas, Saúde Eletrônica, Ambientes de Vida Assistida, Smart Gateways

Abstract

Ambient Assisted Living (AAL) is designed to provide support for individuals in their daily routines through information and communication technologies that enable any personal health device to be connected to the Internet. The availability of medical information helps in the patient's treatment and medication. This work aims to describe how to provide Ambient Assisted Living using Web of Things, Smart Gateways, and Cloud Computing. The proposed solution enables healthcare services and device remote monitoring so that professionals can daily monitor patients through the Internet. This information will assist physicians in decision-making and consequently, a more accurate diagnosis. The solution still provides user identity management to ensure sensitive data protection using OpenID Connect framework. As a proof of concept, a prototype was developed and evaluated based on a case study. The obtained results confirmed the feasibility of the solution in this case study.

Keywords: Web of Things, E-Health, Ambient Assisted Living, Smart Gateway

¹Universidade do Vale do Itajaí, São José – SC – Brasil
E-mail: {raelhoff, jonasesconetto}@edu.univali.br; {drm, wingham}@univali.br

1 Introdução

Os avanços da medicina permitem grandes melhorias na qualidade de vida das pessoas e o aumento da longevidade. O envelhecimento da população está acontecendo em todo mundo, resultando na sobrecarga dos serviços de saúde causado pela grande demanda populacional, tendo que ser estabelecidas novas soluções que contribuam para a diminuição desta problemática (FIGUEIREDO et al., 2010; RASHIDI; MIHAILIDIS, 2013).

A evolução tecnológica desempenha um papel importante nos sistemas de saúde, melhorando os serviços, o acesso a estes e o atendimento dos usuários, possibilitando a realização de procedimentos mais seguros e eficientes. O conceito de Ambiente de Vida Assistida (*Ambient Assisted Living - AAL*) se tornou interessante nos últimos anos, pois possibilita a assistência médica de pacientes em suas casas, visando mantê-los independentes das infraestruturas de saúde, como os hospitais (DOHR et al., 2010). Este conceito possibilita a criação de soluções inovadoras e de baixo custo, mantendo as despesas de saúde dentro dos limites econômicos, possibilitando oferecer condições necessárias para que familiares e profissionais da saúde consigam monitorar remotamente os sinais vitais e as atividades diárias do paciente (KLEINBERGER et al., 2007; LIMA, 2010).

Um estudo realizado pelo distrito de Kaiserslautern, na Alemanha, apontou que 44% dos recursos médicos de emergências são destinados a pacientes idosos, os quais resultam em um custo elevado nos tratamentos ou na redução da qualidade dos serviços prestados. Além disso, alguns hospitais geralmente não oferecem atendimentos adequados aos pacientes devido à falta de recursos financeiros, disponibilidade de profissionais, quantidade de leitos, entre outros fatores (KLEINBERGER et al., 2007). Dessa forma, soluções em Ambiente de Vida Assistida podem minimizar esses impactos, acionando a equipe médica somente quando houver alguma situação de risco à vida, tais como acidentes domésticos, ataque cardíaco, derrames cerebrais, dentre ou-

tros (ARAMUDHAN; MOHAN, 2010).

O Ambiente de Vida Assistida tem uma forte relação com o conceito de Ambientes Inteligentes, uma das principais aplicações da Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*). A IoT possibilita que qualquer dispositivo físico do cotidiano esteja conectado à Internet, tornando-se um transmissor e receptor de informações em rede (DOHR et al., 2010). Na literatura, se reconhece o potencial da tecnologia de IoT para criação de ambientes inteligentes por meio de *Smart Gateways*. Esses *Smart Gateways* servem como uma ponte para integrar dispositivos médicos heterogêneos entre si e com sistemas na Internet, tornando-os dispositivos inteligentes (*smart devices*) (GUINARD et al., 2011).

O objetivo deste artigo é descrever uma solução para conceber Ambientes de Vida Assistida, que fornece assistência médica e serviços de monitoramento remoto para que profissionais dessa área acompanhem os seus pacientes diariamente em qualquer lugar. O presente artigo estende a solução preliminar proposta e descrita em (HOFFMANN; WANGHAM; MELO, 2017) incluindo uma seção de contextualização sobre Ambientes de Vida Assistida, uma atualização dos trabalhos relacionados, uma nova versão da arquitetura proposta (mais flexível e segura) e novos resultados da avaliação do protótipo desenvolvido e integrado a um estudo de caso.

A solução proposta está baseada nos conceitos de Web das Coisas, *Smart Gateways* e Computação em Nuvem e nesta versão estendida faz uso do *framework* OpenId Connect para prover a gestão de identidades dos usuários, conforme proposto em (DOMENECH; COMUNELLO; WANGHAM, 2014). Esta solução visa beneficiar os indivíduos envolvidos, principalmente idosos e deficientes, concedendo maior autonomia, qualidade de vida, redução de custos e acesso seguro.

O restante do trabalho está dividido da seguinte forma. A Seção 2 introduz os conceitos e características de ambientes de vida assistida. A Seção 3 analisa e compara os trabalhos relacionados. A solução proposta para conceber

AALs é descrita na Seção 4. O foco da Seção 5 é descrever como o protótipo foi desenvolvido. A Seção 6 apresenta como o trabalho foi avaliado e analisa os resultados obtidos. Por fim, as conclusões e os trabalhos futuros são apresentados na Seção 7.

2 Ambiente de Vida Assistida

Segundo Kleinberger et al. (2007), os seres humanos estão vivendo mais tempo, principalmente por conta do progresso farmacêutico e da medicina. Sendo assim, o envelhecimento populacional está correlacionado com a perda da autossuficiência dos idosos, devido a doenças crônicas, deficiências físicas ou mentais. Nos Estados Unidos da América, 84% das pessoas que possuem uma idade superior ou igual a 65 anos apresentam doenças crônicas, como doença cardíaca, doença pulmonar, hipertensão, diabete, dentre outras (REICHMAN; ZWILING, 2011).

De acordo com Rashidi e Mihailidis (2013), o crescente número de idosos contribui para o aumento das dificuldades na sociedade e nos sistemas de saúde.

A assistência médica é considerada promissora em países em desenvolvimento, principalmente pela integração dos dispositivos (computadores, smartphones, tablets, dispositivos médicos pessoais) que estão cada vez mais interligados à rede, independentemente da área geográfica, arquitetura, etc (MARIN; LORENZI, 2010).

Os serviços eletrônicos de saúde (*e-health*) proporcionam aos médicos e familiares o monitoramento das informações clínicas do paciente, incluindo os sinais vitais, avaliações e decisões médicas, por meio de registros eletrônicos de saúde via Internet. Os avanços dessa tecnologia permitem manter os históricos clínicos dos pacientes, de forma que profissionais de saúde tomem decisões mais precisas. Tais sistemas são baseados nos dados coletados e auxiliam na prestação segura e correta do atendimento (ARAMUDHAN; MOHAN, 2010).

Esse serviço pode ser utilizado no Ambiente de Vida Assistida, tornando-se ideal para ar-

mazenar diferentes dados de forma padronizada e compartilhada com diferentes aplicações, sendo possível o acesso rápido às informações clínicas dos pacientes (OSORIO et al., 2013).

As tecnologias de Ambiente de Vida Assistida oferecem alarmes para detectar situações de perigo ou ameaça, monitorando constantemente a saúde e o bem estar do paciente. O Ambiente de Vida Assistida abrange ambientes sociais, com a finalidade de melhorar e aumentar a qualidade de vida das pessoas, em todas as fases da vida. Oferece também assistência a diferentes usuários, tais como deficientes visuais, auditivos, além daqueles com dificuldades de mobilidade (MULVENNA et al., 2011; PIEPER; ANTONA; CORTÉS, 2011). Tecnologias habilitadoras para estes ambientes incluem sensores inteligentes, computação ubíquas, comunicação sem fio, interfaces inteligentes com o usuário e Internet das Coisas. Estas tecnologias podem ser adaptadas para as diferentes condições de saúde dos pacientes (WILKOWSKA; ZIEFLE, 2012).

A IoT indica ser capaz de fornecer todas as características necessárias para um AAL. A possibilidade de ter dispositivos médicos de baixo custo que monitoram o estado de saúde do paciente em tempo real contribui para tornar possível a concepção de um AAL. A integração com serviços em nuvem é facilitada, devido à conectividade completa desses dispositivos com a Internet (DOMENECH; COMUNELLO; WANGHAM, 2014).

Um conceito importante no cenário da IoT é o de Web das Coisas (*Web of Things* - WoT). A WoT visa a interação entre dispositivos da IoT por meio do uso de protocolos da Web, o que facilita a comunicação entre dispositivos e com aplicações na Internet (GUINARD et al., 2011). Uma maneira de permitir esta interação é através do uso de serviços Web RESTful. As características da Web fazem desta uma alternativa considerada para o compartilhamento de informações de saúde de uma maneira interoperável e amigável com o paciente e com os profissionais envolvidos no seu tratamento.

Dessa forma, o Ambiente de Vida Assis-

tida pode melhorar a qualidade de vida da população, proporcionando controle, independência, segurança, atendimento de qualidade, etc., disponibilizando diversos serviços e soluções de baixo custo, permitindo a comodidade dos pacientes que podem viver no conforto de suas próprias casas, sendo monitorados remotamente (REICHMAN; ZWILING, 2011; FIGUEIREDO et al., 2010; GAO; ZHANG; SUN, 2011).

Nesses ambientes, é necessário prover autenticação de usuários e de dispositivos, bem como controle de acesso à informação que será consumida ou oferecida pelos dispositivos ou usuários (MIRKOVIC; BRYHNI; RULAND, 2011). Uma maneira de prover tais mecanismos é por meio do uso de uma infraestrutura de autenticação de autorização (*Authentication and Authorization Infrastructure - AAI*). Com esta infraestrutura, é possível prover a gestão de identidades (*Identity Management - IdM*) em um ambiente de AAL. Neste contexto, o presente trabalho faz uso da solução proposta em (DOMENECH; COMUNELLO; WANGHAM, 2014) para prover a gestão de identidades de usuários envolvidos nestes ambientes, utilizando o *framework* OpenID Connect.

3 Trabalhos Relacionados

Esta seção analisa oito trabalhos relacionados que apresentam soluções para monitoramento e concepção de Ambientes de Vida Assistida, com funcionalidades similares as que foram desenvolvidas neste trabalho.

O trabalho de Bose et al. (2013) descreve uma solução que tem por objetivo supervisionar o bem estar das pessoas idosas. Dessa forma, os idosos são monitorados remotamente por meio de sensores sem fio acoplados junto aos mesmos, possibilitando oferecer diferentes tipos de serviços dependendo da condição de saúde do usuário. Por exemplo, ao detectar alguma situação de emergência, o sistema automaticamente alertará os familiares e amigos transmitindo uma mensagem de texto ou realizará ligações para o centro de emergên-

cia.

Parra et al. (2014) tratam de alguns desafios que existem nos Ambientes de Vida Assistida, tais como a heterogeneidade das tecnologias e dos dispositivos. Para tanto, esse projeto baseou-se na arquitetura REST, por considerar uma tecnologia mais flexível, facilitando a integração e escalabilidade. Essa proposta utiliza vários sensores de monitoramento à saúde que estão disponíveis no mercado, tendo a capacidade de se comunicar em redes heterogêneas. Um conjunto de sensores coleta diferentes parâmetros fisiológicos, como a pressão arterial, temperatura, glicemia, colesterol e eletrocardiograma (ECG), que permite capturar e armazenar os dados clínicos do paciente, exibindo os mesmos por meio de aplicações que funcionam em SmartTVs e tablets.

Magaña-Espinoza et al. (2014) propõem um sistema de tempo real para monitorar a frequência cardíaca e a movimentação de idosos em suas casas, alertando remotamente os profissionais de saúde, cuidadores e familiares por meio de um smartphone em caso de quedas, taquicardia ou bradicardia. Esse trabalho auxilia o setor da saúde, tornando os serviços mais confiáveis e seguros, contribuindo com o monitoramento da frequência cardíaca e possibilitando que os indivíduos vivam independentes.

O trabalho de Cubo, Nieto e Pimentel (2014) tem por objetivo ajudar os profissionais da saúde a monitorar os dados clínicos de diferentes pacientes. Para tanto, cada indivíduo possui uma pulseira com o seu identificador que se autentica utilizando a comunicação NFC. Dessa forma, os profissionais da saúde podem especificar quais sensores estão associados a um determinado paciente e assim verificar os sinais vitais do mesmo. Foi adotada uma rede de sensores sem fio para permitir a integração de vários dispositivos, os quais podem ser utilizados para monitorar temperatura, umidade, pressão, oxigênio, dióxido de carbono, frequência cardíaca, respiração, etc.

Liang et al. (2014) propuseram uma nova abordagem para monitorar os sinais vitais do paciente com o auxílio de um eletrocardio-

Tabela 1: Trabalhos Relacionados

Referências	API REST	Nuvem	Ambiente Web	Assistência remota	Interação com usuário	Smart Gateway	Autenticação
Bose et al. (2013)	-	Sim	Sim	-	Sim	Sim	-
Parra et al. (2014)	Sim	-	Sim	-	-	Sim	-
Espinoza et al. (2014)	-	-	-	Sim	-	Sim	Sim
Cubo et al. (2014)	Sim	Sim	Sim	Sim	-	Sim	-
Liang et al. (2014)	-	-	-	Sim	-	Sim	-
Skocir et al. (2016)	-	-	Sim	-	-	Sim	-
Al-Hamadi et al. (2017)	-	-	Sim	-	Sim	Sim	Sim
Fan et al. (2017)	-	-	Sim	Sim	Sim	Sim	-
Este trabalho	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

grama em um ambiente ao ar livre, ao contrário das técnicas tradicionais que visam recolher e processar os sinais vitais do paciente deitado no leito dos hospitais. Os pacientes são equipados com dispositivos médicos acoplados ao corpo, os quais ficam monitorando e enviando periodicamente os sinais vitais recolhidos para um dispositivo externo, facilitando a detecção de ataque cardíaco em tempo real.

Skocir et al. (2016) propuseram detectar atividades em um ambiente doméstico, identificando a entrada e saída do paciente nos cômodos da casa. Esta informação auxilia o controle do sistema de aquecimento, ventilação e de iluminação e pode ser utilizada para identificar as atividades do paciente, por exemplo, dormir, comer, ir ao banheiro, assistir TV ou entrar e sair de casa. Dessa forma, as atividades realizadas podem ser analisadas para detectar padrões de comportamento. Nessa solução, foram utilizados dois tipos de sensores: sensor de infravermelho, para monitorar a presença do paciente; e sensor de efeito *hall*, que monitora se as portas estão abertas ou fechadas.

O trabalho de Al-Hamadi, Gawanmeh e Al-Qutayri (2017) propõe um protocolo de segurança leve e robusto, visando o uso seguro de vários tipos de sensores médicos. O protocolo de segurança proposto, aplicado em uma rede sem fio, utilizou um sensor de eletrocardiograma que atendeu aos requisitos de desempenho. O protocolo proposto foi avaliado usando a ferramenta Pro Verif, para verificar a presença de vulnerabilidades.

Fan et al. (2017) propuseram desenvolver um sistema híbrido, com diferentes sensores e dispositivos heterogêneos, visando criar algoritmos que reconheçam atividades do paciente com auxílio de serviços Web, e também armazenar os dados monitorados localmente, protegendo os mesmos de alguma falha ou vulnerabilidade externa. Além disso, os registros de saúde puderam ser acessados por meio de um aplicativo móvel. Na validação, o sistema foi capaz de notificar os enfermeiros quando anomalias no sensor de frequência cardíaca ou de pressão arterial foram detectadas.

A Tabela 1 compara o presente trabalho com os trabalhos relacionados, considerando:

(i) o uso de API REST; (ii) o emprego de nuvem computacional; (iii) se a solução está baseada em ambientes Web; (iv) se provê a assistência remoto; (v) se oferece a possibilidade de interação com o usuário (paciente); (vi) se faz uso de *Smart Gateways* e (vii) se oferece autenticação de usuários e de dispositivos. Observa-se que alguns trabalhos analisados possuem características semelhantes as da solução proposta, em especial, o uso de *Smart Gateways* e o monitoramento remoto. Três soluções proveem a assistência remota ao paciente. Porém, apenas dois trabalhos (BOSE et al., 2013; CUBO; NIETO; PIMENTEL, 2014) fazem uso de nuvem computacional para a persistência de dados de monitoramento e dois utilizam API REST (PARRA et al., 2014; CUBO; NIETO; PIMENTEL, 2014). Por fim, apenas (MAGAÑA-ESPINOZA et al., 2014; AL-HAMADI; GAWANMEH; AL-QUTAYRI, 2017) proveem autenticação mútua entre os dispositivos e o *Smart Gateway*, porém, a solução não trata especificamente da autenticação dos usuários.

4 Solução Proposta

Este artigo descreve uma solução distribuída para conceber Ambientes de Vida Assistida por meio de uma arquitetura, baseada na Web das Coisas, *Smart Gateways* e Computação em Nuvem, que promove a assistência médica e o monitoramento remoto dos pacientes. Na solução proposta são previstos dispositivos dos tipos fixo e móvel. Os dispositivos fixos estão localizados no ambiente em que o usuário se encontra e podem ser, por exemplo, sensores de presença, de qualidade do ar ou de temperatura. Já os dispositivos móveis são vinculados ao usuário, por exemplo, um sensor que registre as atividades diárias do paciente, tais como uma pulseira que detecte exatamente os batimentos cardíacos ou a quantidade de passos do usuário durante o dia.

O provisionamento de serviços de monitoramento em Ambientes de Vida Assistida enfrenta desafios devido à heterogeneidade das redes e tecnologias de acesso. Neste contexto,

a solução proposta faz uso de *Smart Gateways* como agregadores das informações obtidas pelos dispositivos médicos e sensores de ambiente, que utilizam interfaces de comunicação sem fio distintas, como Bluetooth e Wi-Fi.

Como muitos dispositivos médicos não suportam o protocolo IP ou não possuem servidores Web embarcados, um padrão de integração indireta foi adotado conforme proposto em Guinard et al. (2011). A solução proposta usa um *proxy*, chamado *Smart Gateway*, localizado entre os dispositivos médicos e a Internet, conforme ilustrado na Figura 1.

Os *Smart Gateways* servem como uma ponte entre a Internet e os dispositivos (Web das Coisas) e são responsáveis por disponibilizar, na forma de Serviços Web RESTful, os recursos dos dispositivos médicos e outros sensores presentes no ambiente. Dessa forma, os dados monitorados poderão ser acessados remotamente por serviços clientes Web RESTful (por exemplo, um aplicativo em um dispositivo móvel) ou por uma aplicação Web. Além disso, o *Smart Gateway* envia periodicamente os dados monitorados para um serviço de Web responsável pela persistência dos dados e manutenção de um histórico clínico do paciente. Os dados monitorados pelos dispositivos podem ser acessados por médicos, familiares e pelo próprio paciente a qualquer hora e de qualquer lugar.

Vale ressaltar que, em um ambiente residencial, cada cômodo pode ter um *Smart Gateway* que possibilite a comunicação com os dispositivos médicos e sensores deste cômodo. Esse pode se comunicar com um *Smart Gateway* central, responsável pela comunicação com a Internet.

A solução proposta segue uma arquitetura orientada a micro serviços, a qual aborda o desenvolvimento de pequenos serviços, cada um executando seu próprio processo independente. Esses serviços são gerenciados de forma centralizada, podendo ser desenvolvidos em diferentes linguagens de programação e tecnologias. Dessa forma, esta solução é composta pelos serviços descritos a seguir (Figura 2):



Figura 1: Troca de informações no Ambiente de Vida Assistida

- *Device Driver*: responsável por permitir a comunicação entre o *Smart Gateway* e os dispositivos médicos ou sensores de ambiente por meio de diferentes interfaces de comunicação sem fio (ex.: Bluetooth e Wi-Fi) com o objetivo de obter acesso aos recursos de cada dispositivo. Abstrai os protocolos e APIs de cada dispositivo.
 - Serviços Web RESTful: disponibiliza os recursos monitorados via interface REST para o acesso via dispositivos móveis ou via aplicação Web.
 - Cliente Web RESTful: envia para o Serviço Web de Recebimentos de Dados na Nuvem as informações recolhidas pelos dispositivos médicos e sensores de ambiente.
 - Serviço Web RESTful de Recebimento de dados: recebe os dados monitorados pelos dispositivos e persiste em um banco de dados não relacional para manter um histórico clínico do paciente e do ambiente monitorado.
 - Aplicação Web de monitoramento e assistência médica aos pacientes: possibilita que os usuários do sistema visualizem o histórico das informações coletadas pelos dispositivos médicos e sensores de ambiente. Por meio desta aplicação, médicos e profissionais de saúde podem enviar mensagens para o paciente em caso de algum lembrete ou recomendação médica.
 - OpenId Connect Provider (OIDC): provedor de identidade responsável tanto pela autenticação de usuários quanto pela autenticação de dispositivos.
- Na solução proposta, foi adotado o padrão JSON, por possuir processamento e largura de banda menor do que comparado com XML, além do mesmo auxiliar no armazenamento e na transmissão dos dados (WU et al., 2012).

5 Desenvolvimento do Protótipo

Esta seção apresenta os dispositivos e tecnologias utilizados, bem como o protótipo desenvolvido como prova de conceito da solução descrita na Seção 4.

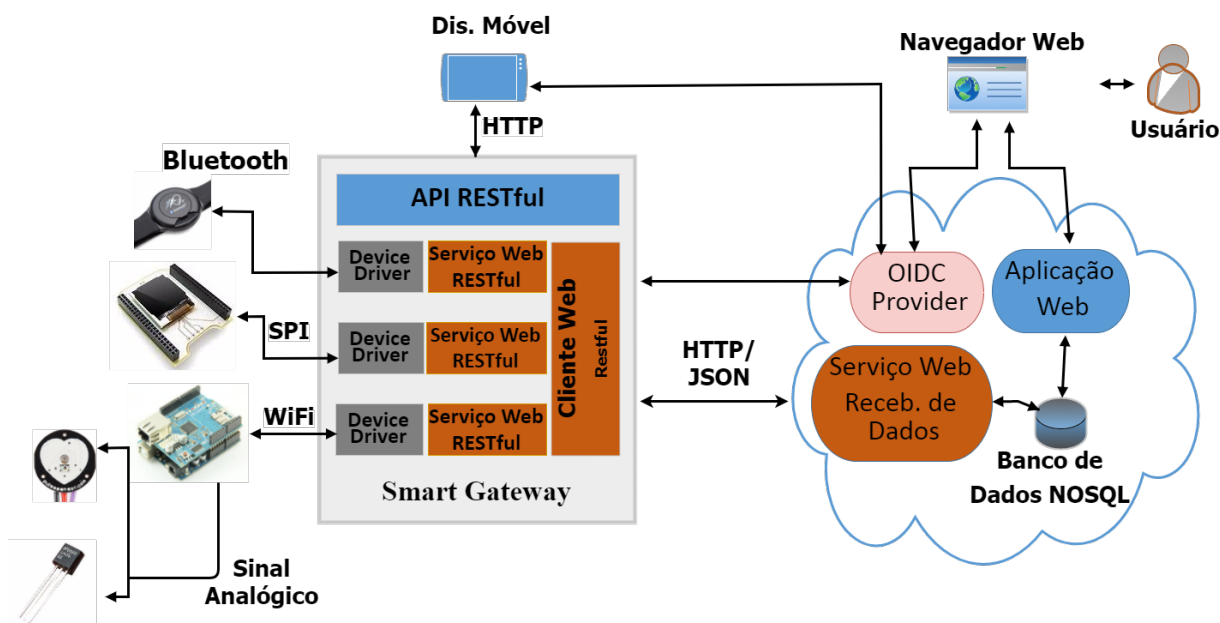


Figura 2: Arquitetura da Solução Proposta

5.1 Hardware

Como *Smart Gateway*, foi utilizada a plataforma de hardware aberta BeagleBone Black (BBB), projetada pela Texas Instruments, por atender as necessidades do projeto. Essa plataforma possui um processamento de 1GHz, memória RAM de 512MB, entrada para cartão SD, uma porta USB, uma saída HDMI, interface Ethernet, além da GPIO (General-Purpose Input/Output), que viabiliza o acesso às portas de entrada e saída do circuito, sendo 7 analógicas, 4 seriais, 2 SPI, 2 I2C, 8 PWMs e 4 temporizadores.

No protótipo, utilizou-se um Minidisplay LCD com a interface de comunicação SPI, para exibir as mensagens que os profissionais da saúde podem enviar para notificar o paciente em caso de alguma recomendação médica ou algum lembrete. O mesmo foi acoplado à BeagleBone Black, permitindo a visualização das notificações enviadas.

Foram também utilizados dispositivos fixos e móveis no sistema proposto. Os dispositivos fixos estão localizados no ambiente em que o usuário se encontra, e são: (i) sensor de temperatura (LM35), fabricado pela National Semiconductor e que opera entre -55 e 150°C; e (ii) sensor de ritmo cardíaco (Pulse Sensor), utili-

zado para coletar os dados de frequência cardíaca em tempo real. Os dispositivos móveis empregados foram: (i) fita peitoral (Spovan), utilizada em torno do peito do usuário durante atividades diárias, transmitindo os batimentos cardíacos por meio da comunicação Bluetooth; e (ii) smartphone ou tablet, com o sistema operacional Android, executando uma aplicação que utiliza a câmera do dispositivo para capturar a frequência cardíaca do paciente. A Figura 3 apresenta todos os dispositivos que foram empregados no protótipo.

5.2 Software

Diversas ferramentas e linguagens de programação foram utilizadas, tais como as ferramentas Eclipse, Node.JS (ambiente de execução JavaScript), os frameworks AngularJS (Modelo, Visão e Controle para JavaScript) e Express (desenvolvimento Web para Node). Além das linguagens C++ e Shell Script, que possibilitaram a criação dos drivers de acesso ao Minidisplay LCD, ao sensor de temperatura e ao sensor de frequência cardíaca.

Vale ressaltar que as aplicações Cliente Web Restful, Serviço Web de Recebimentos de Dados e Web foram desenvolvidas com auxílio do framework AngularJS e o Node.JS. O Node.JS

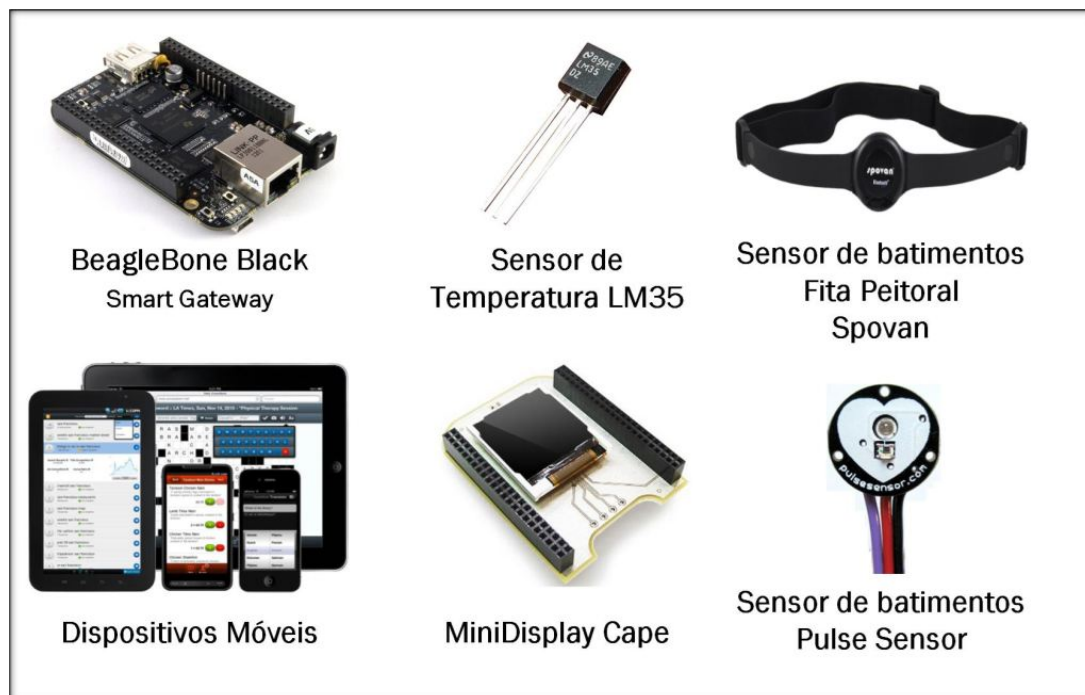


Figura 3: Dispositivos utilizados na prototipação

segue o modelo totalmente não bloqueante, apresentando um baixo consumo de memória, além de ser altamente escalável e implementar diferentes protocolos de comunicação em rede. O banco de dados MongoDB, que utiliza o modelo não relacional NoSQL (Not Only SQL), foi o escolhido, pois oferece maior escalabilidade horizontal (integrar facilmente mais servidores). Vale destacar que foi utilizado o sistema operacional Debian Linux no *Smart Gateway* - BBB. O Passport é um *middleware* designado para prover autenticação em aplicações Node.JS. Por suportar o OpenId Connect, este foi adotado no trabalho.

Os usuários dos sistemas podem visualizar os dados clínicos do paciente por meio da Aplicação Web, além de possibilitar que médicos enviem uma mensagem de assistência em caso de algum lembrete ou recomendação. A Figura 4 ilustra a interface que disponibiliza acesso às funcionalidades do sistema pela aplicação Web.

A Figura 5 apresenta o display que está acoplado à BeagleBone Black, exibindo, por exemplo, a mensagem de assistência enviada pelo médico “Tome seu Remédio”.

Os dados monitorados também podem ser

acessados por uma aplicação Web ou outro aplicativo para dispositivo móvel, o que possibilita a visualização das informações clínicas dos pacientes e dos sensores de ambiente em tempo real. A Figura 6 apresenta duas interfaces desenvolvidas em um aplicativo Android, que indicam o monitoramento da frequência cardíaca por meio da fita peitoral e o histórico em tempo real dos dados coletados pelos dispositivos médicos e sensores de ambiente.

6 Avaliação dos Resultados

Para avaliar o protótipo desenvolvido, foram executados testes funcionais no sistema visando a validação e verificação. Além disso, também foram realizados experimentos que quantificam os impactos no uso de recursos computacionais no *Smart Gateway*, baseando-se nas métricas de: (i) consumo de CPU; (ii) consumo de memória; (iii) espaço de armazenamento utilizado; e (iv) tempo de resposta do histórico clínico no *Smart Gateway*.

O primeiro conjunto de teste verificou o atendimento aos requisitos funcionais do sistema, composto por um total de quatro casos de testes, sendo esses: (i) autenticação da apli-

Dispositivo	Valor	Unidade	Data
AndroidFrequenciaCardiaca	88	BPS	2015-42-21 20:09:42
Spovan	88	BPS	2015-43-21 20:09:23
LM35	25.34	°C	2015-03-01 08:25:40
PulseSensor	93	BPM	2015-03-01 08:26:31
AndroidPedometroPassos	108	passos/minuto	2015-49-22 19:09:42
AndroidPedometroPassosMinutos	86	passos/minuto	2015-49-22 19:09:46
AndroidPedometroPassos	4	passos	2015-20-21 21:09:22
AndroidPedometroPassos	3	passos	2015-23-21 21:09:02
LM35	25.1	°C	2015-03-01 20:59:09
PulseSensor	90	BPM	2015-03-01 20:59:17

Figura 4: Interface de acesso aos recursos do sistema

cação Web; (ii) apresentação dos dados monitorados na interface Web; (iii) persistência dos dados monitorados no banco de dados; e (iv) envio de notificações para o paciente. Por meio desses testes, foi possível garantir que as funcionalidades do sistema estão sendo executadas corretamente.

Em seguida, foram executados testes para avaliar os impactos no uso de recursos computacionais no *Smart Gateway*. Dessa forma, o primeiro teste visou mensurar o custo computacional do *Smart Gateway* (BeagleBone Black) sem nenhuma aplicação sendo executada, baseando-se no consumo de CPU, consumo de memória e espaço de armazenamento utilizado. Para tanto, foi executado o comando *top* no sistema operacional (Debian) da BeagleBone Black, feita a coleta da saída correspondente ao uso da CPU e memória durante 9 minutos, e executado o comando *du* para obter o espaço em disco utilizado. Ao término da coleta de dados, foi realizada uma análise sobre as operações de leitura e calculada a média e desvio padrão. O resumo dos resultados obtidos é apresentado na Tabela 2.

O terceiro teste mensurou o custo computacional do SO junto com a aplicação embarcada no *Smart Gateway* sem troca de mensa-

Tabela 2: Custo computacional do Smart Gateway sem aplicação executando

Descrição	Média	Desvio Padrão
Uso de CPU	2,55%	0,73%
Memória RAM (MB)	246	9,4
Espaço em Disco (MB)	1600	-

gens. Ao término da coleta de dados foi realizada uma análise sobre as 110 operações de leitura e calculada a média e desvio padrão dos resultados, conforme apresentado na Tabela 3.

O quarto teste mensurou o custo computacional da aplicação embarcada no *Smart Gateway*, disponibilizando as mensagens recebidas por meio de serviços REST. Sendo assim, foi iniciada a aplicação embarcada no *Smart Gateway* e feita a coleta da saída correspondente ao uso da CPU e memória. Foram solicitadas (GET) 110 mensagens por meio da ferramenta POSTMAN para o *Smart Gateway*, com um intervalo de 1 segundo (Tabela 4).

Ainda no escopo dos testes, foi mensurado o tempo de resposta da solicitação dos dados salvos no banco de dados por meio da aplica-

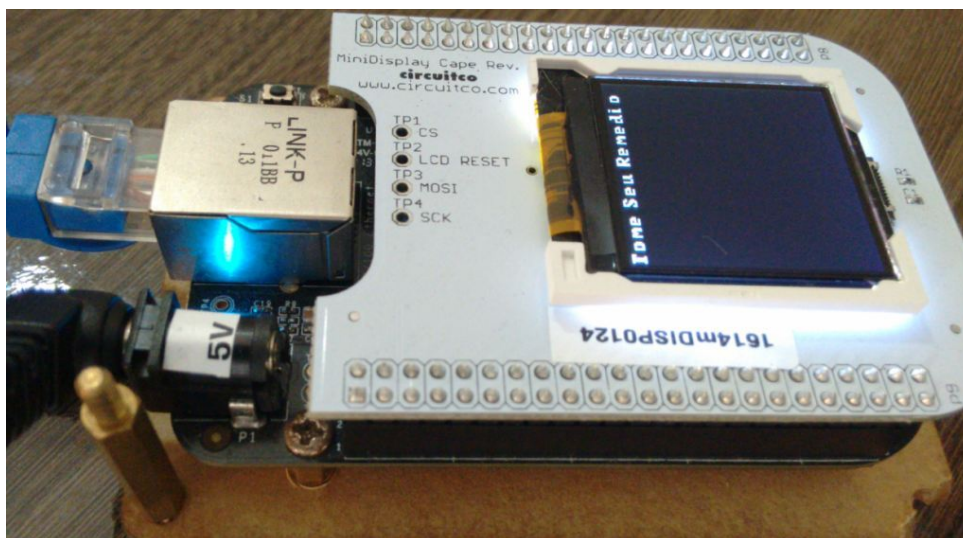


Figura 5: Minidisplay acoplado à BeagleBone Black.

Tabela 3: Custo computacional do Smart Gateway com a execução da aplicação embarcada

Descrição	Média	Desvio Padrão
Uso de CPU	3,04%	0,80%
Memória RAM (MB)	282	3
Espaço em Disco (MB)	1600	-

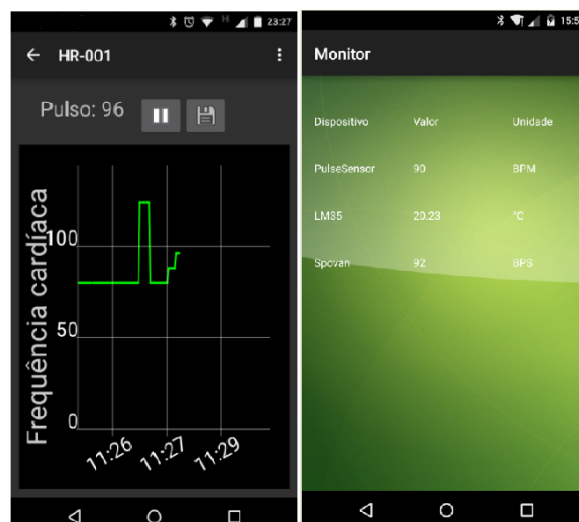


Figura 6: Interfaces do dispositivo móvel

Tabela 4: Resposta da solicitação do histórico clínico

Descrição	Média	Desvio Padrão
Uso de CPU	3,55%	9,6448%
Memória RAM (MB)	295	8,2
Espaço em Disco (MB)	1600	-
Disponibilizar as mensagens em REST (ms)	34,44	9,66

ção Web, utilizando REST. Para este teste, foi utilizada a ferramenta POSTMAN para verificar o tempo de resposta da solicitação do histórico clínico pela aplicação Web. A Tabela 5 apresenta a média e desvio padrão das leituras realizadas.

Conforme apresentado nas Tabelas 2, 3, 4

Tabela 5: Tempo de resposta do histórico clínico

Descrição	Tempo de resposta (ms)
Média	55,47
Desvio Padrão	11,87

e 5, é possível perceber que uma plataforma como a BeagleBone Black possui processamento, memória e espaço suficientes para embarcar a solução proposta diante da carga a que foi submetida, uma vez que possui 4GB de memória flash, 512MB de memória RAM e 1 GHz de processamento.

7 Conclusão

A solução proposta neste trabalho pode beneficiar diversas pessoas, principalmente idosos e deficientes, concedendo maior autonomia, privacidade, qualidade de vida e a redução de custos de vida. A solução proposta envolveu a utilização de diversas tecnologias para conceber uma solução distribuída que promove a assistência médica e o monitoramento remoto dos dispositivos médicos pessoais e dos sensores de ambiente. Logo, oferece condições necessárias para que familiares e profissionais da saúde consigam monitorar os sinais vitais e as atividades diárias do paciente remotamente. O fato de muitos dispositivos médicos e sensores ambientes não possuírem conectividade com a Internet torna o uso de *Smart Gateways* uma opção para a integração.

Após o desenvolvimento do protótipo, foram realizados testes funcionais e não funcionais do sistema, visando verificar a solução desenvolvida. Também foram realizados experimentos que quantificam os impactos no uso de recursos computacionais no *Smart Gateway*. Dessa forma, foi possível perceber que o protótipo desenvolvido é viável, pois atende a todos os pré-requisitos do sistema.

Em trabalhos futuros, sugere-se a integração de mais dispositivos médicos e sensores de ambiente, além de melhorar a visualização dos dados coletados por meio da aplicação Web e do dispositivo móvel.

Referências

AL-HAMADI, H.; GAWANMEH, A.; AL-QUTAYRI, M. Lightweight security protocol for health monitoring in ambient assisted living environment. In: IEEE. *Communications Workshops (ICC Workshops), 2017 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2017. p. 1282–1287.

ARAMUDHAN, M.; MOHAN, K. New secure communication protocols for mobile e-health system. *i-Manager's Journal on Software Engineering*, iManager Publications, v. 5, n. 1, p. 34, 2010.

BOSE, S. et al. Creation of an assisted living environment for elderly people using ubiquitous networking technologies. 2013.

CUBO, J.; NIETO, A.; PIMENTEL, E. A cloud-based internet of things platform for ambient assisted living. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 14, n. 8, p. 14070–14105, 2014.

DOHR, A. et al. The internet of things for ambient assisted living. In: IEEE. *Information Technology: New Generations (ITNG), 2010 Seventh International Conference on*. [S.l.], 2010. p. 804–809.

DOMENECH, M. C.; COMUNELLO, E.; WANGHAM, M. S. Identity management in e-health: A case study of web of things application using openid connect. In: *2014 IEEE 16th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 219–224.

FAN, X. et al. Activity recognition as a service for smart home: Ambient assisted living application via sensing home. In: IEEE. *AI & Mobile Services (AIMS), 2017 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2017. p. 54–61.

FIGUEIREDO, C. P. et al. Autonomy suitability of wireless modules for ambient assisted living applications: Wifi, zigbee, and proprietary devices. In: IEEE. *Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM), 2010 Fourth International Conference on*. [S.l.], 2010. p. 169–172.

GAO, L.; ZHANG, C.; SUN, L. Restful web of things api in sharing sensor data.

- In: IEEE. *Internet Technology and Applications (iTAP), 2011 International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 1–4.
- GUINARD, D. et al. From the internet of things to the web of things: Resource-oriented architecture and best practices. In: UCKELMANN, D.; HARRISON, M.; MICHAHELLES, F. (Ed.). *Architecting the Internet of Things*. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 97–129.
- HOFFMANN, R.; WANGHAM, M.; MELO, D. Ambiente de vida assistida na web das coisas para assistência médica e monitoramento remoto de pacientes. *Anais do Computer on the Beach*, p. 347–356, 2017.
- KLEINBERGER, T. et al. Ambient intelligence in assisted living: enable elderly people to handle future interfaces. In: SPRINGER. *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*. [S.l.], 2007. p. 103–112.
- LIANG, W. et al. A novel approach to ecg classification based upon two-layered hmms in body sensor networks. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 14, n. 4, p. 5994–6011, 2014.
- LIMA, M. N. Saúde móvel: Conceitos, iniciativas e aplicações. *Curitiba: Editora do aU-lor*, 2010.
- MAGAÑA-ESPINOZA, P. et al. Wisph: A wireless sensor network-based home care monitoring system. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 14, n. 4, p. 7096–7119, 2014.
- MARIN, H. D. F.; LORENZI, N. M. International initiatives in nursing informatics. *Nursing Informatics for the 21st Century: An International Look at Practice, Education, and EHR Trends*, HIMSS, p. 45, 2010.
- MIRKOVIC, J.; BRYHNI, H.; RULAND, C. M. Secure solution for mobile access to patient's health care record. In: IEEE. *e-Health Networking Applications and Services (Healthcom), 2011 13th IEEE International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 296–303.
- MULVENNA, M. et al. Visualization of data for ambient assisted living services. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 49, n. 1, 2011.
- OSORIO, E. et al. Interoperability in ambient assisted living using openehr. In: IEEE. *e-Health Networking, Applications & Services (Healthcom), 2013 IEEE 15th International Conference on*. [S.l.], 2013. p. 394–398.
- PARRA, J. et al. Restful discovery and eventing for service provisioning in assisted living environments. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 14, n. 5, p. 9227–9246, 2014.
- PIEPER, M.; ANTONA, M.; CORTÉS, U. Ambient assisted living. *Ercim News*, v. 87, p. 18–19, 2011.
- RASHIDI, P.; MIHAILIDIS, A. A survey on ambient-assisted living tools for older adults. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, IEEE, v. 17, n. 3, p. 579–590, 2013.
- REICHMAN, A.; ZWILING, M. The architecture of ambient assisted living system. In: IEEE. *Microwaves, Communications, Antennas and Electronics Systems (COMCAS), 2011 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 1–4.
- SKOCIR, P. et al. Activity detection in smart home environment. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 96, p. 672–681, 2016.
- WILKOWSKA, W.; ZIEFLE, M. Privacy and data security in e-health: Requirements from the user's perspective. *Health Informatics Journal*, v. 18, n. 3, p. 191–201, 2012.
- WU, Z. et al. Gateway as a service: A cloud computing framework for web of things. In: IEEE. *Telecommunications (ICT), 2012 19th International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 1–6.