

Uma Abordagem para Monitoramento e Inferência de Situação para Cadeiras de Rodas Motorizadas*

Pedro A. Tavares^{1,3}, Rodrigo Real³, Adenauer Yamin², Giancarlo Lucca¹

¹ Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação (MEEC)
Universidade Católica de Pelotas (UCPEL)

²Programa de Pós-Graduação em Computação (PPGC)
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)

³Divisão de Engenharia e Desenvolvimento (DED)
Freedom Veículos Elétricos LTDA

pedro.tavares@sou.ucpel.edu.br, rreal@freedom.ind.br,
adenauer.yamin@inf.ufpel.edu.br, giancarlo.lucca@ucpel.edu.br

Abstract. *Assistive Technologies aim to enhance the independence and social inclusion of individuals with motor disabilities. The Internet of Things (IoT) connects physical devices using several network standards, including wireless, enabling wheelchairs, essential artifacts of assistive technology, to also benefit from interconnected operation. This article presents an approach called SISC-Mot that explores IoT and Context Awareness concepts to benefit the entire chain of motorized wheelchairs actors. The evaluations of SISCMot conducted with Freedom motorized wheelchairs have shown promising results, indicating the continuation of the research.*

Resumo. *As Tecnologias Assistivas visam ampliar a independência e inclusão social de pessoas com deficiência motora. A Internet das Coisas (IoT) conecta dispositivos físicos utilizando diferentes padrões de rede, inclusive sem-fio, permitindo que cadeiras de rodas, importantes artefatos de tecnologia assistiva, também se beneficiem de uma operação de forma interligada. Neste artigo é discutida a concepção de uma abordagem, denominada SISCMot, que explora conceitos de IoT e Ciência de Contexto para beneficiar toda a cadeia de atores que se relacionam com as cadeiras de rodas motorizadas. As avaliações do SISCMot realizadas com cadeiras motorizadas Freedom se mostraram promissoras, indicando a continuidade da pesquisa.*

1. Introdução

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) em relatório publicado em 2022, aproximadamente 1,3 bilhão de pessoas (cerca de 16% da população mundial) possuem algum tipo de incapacidade (*disability*) [World Health Organization 2022], que consiste em um termo abrangente para definir deficiências, limitações para realizar, e restrições para participar de certas atividades. As *Tecnologias Assistivas* compreendem o conjunto de dispositivos, softwares e sistemas voltados a aprimorar a qualidade de vida e a autonomia

*Trabalho realizado com apoio da CAPES, da empresa Freedom Veículos Elétricos Ltda e FA-PERGS/CNPq (23/2551-0000126-8).

de pessoas com deficiência. Elas são projetadas para permitir que seus usuários superem as barreiras físicas, cognitivas, sensoriais ou de mobilidade que podem impedir as pessoas com deficiência de realizar tarefas cotidianas, interagir com o ambiente e participar plenamente na sociedade. Dentre estes dispositivos, as cadeiras de rodas estão entre os mais eficientes e mais utilizados do mundo.

O surgimento das cadeiras de rodas remonta ao século IV A.C., evoluindo ao longo dos séculos para se tornarem autopropelidas. Com o avanço da tecnologia de energia elétrica, as cadeiras motorizadas surgiram como solução para pessoas com deficiências nos membros superiores, incapazes de impulsionar as rodas manualmente. George J. Klein desenvolveu a primeira cadeira motorizada elétrica enquanto trabalhava para o Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá, em um programa que ajudava veteranos feridos durante a Segunda Guerra Mundial [Bourgeois-Doyle 2004]. Com o avanço da indústria, as cadeiras de rodas tornaram-se mais leves e flexíveis, mas ainda há vastas oportunidades técnico-científicas inexploradas neste segmento.

O paradigma da Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) inicialmente introduzida no trabalho [Ashton 2009], tem experimentado um crescimento significativo e, conseqüentemente, um aumento de sua importância ao longo dos anos, transformando-se em uma das tendências tecnológicas mais impactantes e promissoras do mundo atual.

O contexto, definido como a circunstância em que uma ação ocorre, complementa e dá sentido a esta ação, auxiliando na sua compreensão. Em computação distribuída, sobretudo onde há mobilidade e variações operacionais de maior amplitude envolvidas, o contexto é crucial para um melhor entendimento das condições em que se encontram os diferentes dispositivos. A Ciência de Situação, por sua vez, estuda a combinação e projeção desses contextos ao longo do tempo, para melhor embasar tomadas de decisão [Temdee and Prasad 2018].

O objetivo deste trabalho é propor uma arquitetura denominada SISCMot (Sistema de Monitoramento e Inferência de Situação para Cadeiras de Rodas Motorizadas Inteligentes) que consiste em uma abordagem para aquisição de dados contextuais e inferência de situação capaz de beneficiar toda a cadeia de atores envolvidos: fabricante, assistência técnica, cuidadores e, principalmente, os cadeirantes. A arquitetura proposta neste trabalho provê a coleta de informações de sensores instalados nos componentes eletromecânicos das cadeiras de rodas em uma perspectiva *soft real-time* através da IoT, sendo estas informações disponibilizadas em *dashboards* acessíveis pela Internet, bem como processadas por regras com o intuito de avaliar o seu comportamento ao longo do tempo.

Para um melhor entendimento do SISCMot, o artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 discorre sobre os trabalhos relacionados identificados na literatura, a Seção 3 apresenta a arquitetura detalhada do SISCMot e, por fim, a Seção 4 apresenta as considerações finais do trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

Enquanto parte dos esforços de estudo e pesquisa referentes a concepção da abordagem SISCMot foi realizada uma revisão de literatura. A partir desta foram selecionados os trabalhos discutidos nesta seção, tendo como principal critério sua maior proximidade com a SISCMot.

O trabalho de [Cho et al. 2023] propõe o desenvolvimento de um sistema de sensores sem fio e multimodais para a medição contínua da pressão, temperatura e hidratação de pacientes em cadeiras de rodas. O objetivo é fornecer um monitoramento constante e ubíquo da saúde dos usuários, com o intuito de melhorar o cuidado e a qualidade de vida desses indivíduos. Os resultados dos testes mostram que o sistema é capaz de coletar dados precisos e confiáveis de forma contínua, permitindo o monitoramento detalhado da saúde dos pacientes em cadeiras de rodas.

O trabalho desenvolvido por [Dsouza et al. 2019] apresenta o desenvolvimento de uma cadeira de rodas inteligente baseada em IoT com sensores de pressão no assento e encosto da cadeira, sensores de temperatura e umidade, sensores de batimentos cardíacos e sensores inerciais. O sistema é projetado para coletar e monitorar dados vitais do usuário, bem como dados relacionados ao ambiente da cadeira de rodas, a fim de fornecer um cuidado mais personalizado e melhorar a qualidade de vida do cadeirante.

A proposta de [Tavares et al. 2020] apresenta o desenvolvimento de um sistema de sensoriamento utilizando dispositivos baseados em FBG (*Fiber Bragg Grating*) para a prevenção de úlceras de pressão em cadeiras de rodas. O objetivo é proporcionar um monitoramento eficaz e contínuo da pressão exercida na superfície da cadeira de rodas, visando evitar o desenvolvimento de úlceras de pressão em usuários que passam longos períodos sentados.

O trabalho de [Sheikh and Jilani 2023] aborda o desenvolvimento de um sistema ubíquo para detecção de quedas em cadeiras de rodas, usando sensores inerciais de baixo custo e um algoritmo de aprendizado de máquina não supervisionado. O objetivo é oferecer uma solução eficiente e acessível para identificar quedas em usuários de cadeiras de rodas, visando melhorar a segurança e assistência nesses dispositivos de mobilidade.

A proposta de [Kanade et al. 2021] apresenta um sistema de cadeira de rodas inteligente baseado em IoT, capaz de oferecer uma forma segura e eficiente para que os cadeirantes possam se locomover de forma autônoma e receber assistência em caso de emergência ou necessidades médicas. O sistema utiliza sensores para monitorar diversas informações relevantes para a saúde do usuário, como batimentos cardíacos, temperatura corporal, pressão arterial, nível de oxigênio no sangue e posição da cadeira.

O trabalho descrito em [Ashraf et al. 2021] consiste no desenvolvimento de uma cadeira de rodas elétrica baseada em IoT com recursos avançados de registro de dados biomédicos e serviços de contingência de emergência. São utilizados sensores para coletar dados de frequência cardíaca, temperatura corporal, nível de oxigênio no sangue e posição do cadeirante. Esses sensores são conectados através de um *gateway*, a um módulo GPRS para envio dos dados, o que permite um monitoramento constante e a detecção rápida de situações de emergência para garantir sua segurança.

O TrailCare [Barbosa et al. 2018] é um sistema computacional que emprega sensoriamento para determinar a localização da cadeira de rodas, fornecendo recomendações de rotas acessíveis e seguras. O projeto implementa um sistema de apoio à acessibilidade ao sugerir recursos acessíveis contextualizados para usuários de cadeiras de rodas. Além disso, oferece uma abordagem simples para o reconhecimento de trilhas e o registro de caminhos previamente percorridos, utilizando um banco de dados relacional para armazenamento e processamento de histórico de contexto.

A proposta apresentada em [Arshad et al. 2023] descreve um *framework* para cadeiras de rodas equipadas com sensores capazes de monitorar sinais vitais do usuário e detectar sua postura, usando técnicas de aprendizado de máquina. O sistema abrange uma solução abrangente de IoT, melhorando a mobilidade e o bem-estar dos usuários, fornecendo controle e detecção de obstáculos, correção postural e monitoramento de sinais vitais.

O trabalho de [Tavares et al. 2022] descreve o desenvolvimento de um sistema baseado em uma rede de células de sensores para detectar pressão, temperatura e posição em usuários de cadeiras de rodas, visando melhorar o conforto, segurança e prevenir úlceras de pressão. Os autores destacam a eficácia do sistema na detecção postural, embora a proposta não inclua uma arquitetura de IoT para fornecer *feedback* em tempo real ao usuário ou alertas sobre correções de postura. Além disso, não há uma solução em nuvem para analisar dados coletados e gerar um histórico do usuário.

Pôde-se observar que os trabalhos relacionados têm como objetivo (i) melhorar a saúde e o bem-estar do cadeirante, (ii) aumentar o nível de segurança do cadeirante fornecendo métodos que mitiguem situações de risco e (iii) auxiliar o cadeirante quanto à navegação em ambientes não controlados.

A abordagem proposta neste artigo difere destes trabalhos por utilizar o sensoriamento das partes elétricas e mecânicas das cadeiras de rodas, com o objetivo de proteger seus componentes e aumentar sua vida útil. Desta maneira é possível melhorar o desempenho dos componentes e garantir maior segurança ao cadeirante, reduzindo o risco de acidentes por falhas de hardware e aumentando a disponibilidade de uso da cadeira. O monitoramento contínuo do comportamento da bateria também é destacado nesta proposta, fornecendo informações cruciais sobre a autonomia, especialmente em ambientes externos e não controlados. Este sensoriamento dos aspectos eletromecânicos da cadeira é viabilizada pelo autor ser profissional da Freedom Veículos Elétricos¹ (primeira fabricante nacional de cadeiras de rodas motorizadas inteligentes), parceira do projeto, que permitiu acesso ao hardware/software da cadeira de rodas para fins de pesquisa.

3. Abordagem SISCMot: Concepção e Aspectos de Implementação

Nesta seção é apresentada a concepção da abordagem SISCMot, caracterizando os módulos que compõem a sua arquitetura, bem como o *framework* que possibilita a interface com o usuário. Na Figura 1, é possível observar que o sistema está subdividido em 3 partes: (i) *SISCMot Edge*, (ii) *SISCMot Cloud* e (iii) *SISCMot User*. Estas partes estão com as suas implementações consolidadas e com os procedimentos de teste e avaliação funcional já em andamento. A descrição conjunta dos aspectos arquiteturais com aqueles pertinentes a sua implementação se deu por conta da limitação de espaço para uma descrição individualizada.

3.1. SISCMot Edge

Este módulo, denominado SISCMot Edge, é responsável por coletar dados oriundos do sensoriamento da cadeira de rodas e enviá-los para o SISCMot Cloud via comunicação *wireless* de forma autônoma, sem interação do usuário. O SISCMot Edge opera sob o paradigma de *Edge Computing* [Cao et al. 2020].

¹<https://www.freedom.ind.br/>

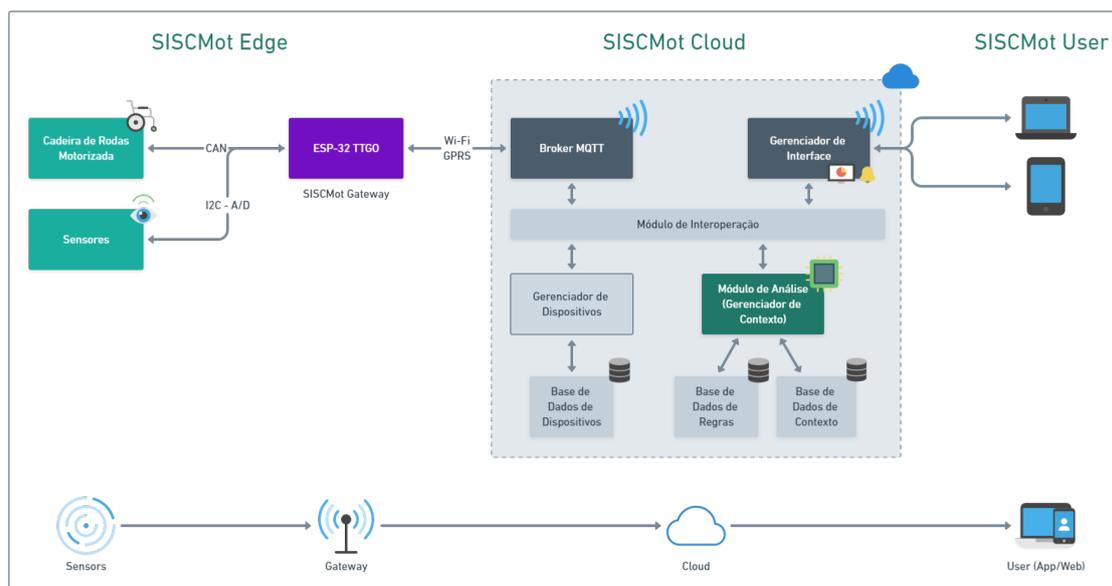


Figura 1. Arquitetura da Abordagem SISCMot

Possui três componentes: (i) a Cadeira de Rodas Motorizada Freedom, que já possui seus próprios sensores embarcados, (ii) o sub-módulo de sensores, que permite a integração de novos sensores ao sistema e (iii) o SISCMot Gateway que coleta os dados de sensoriamento, processa-os e envia de forma síncrona e assíncrona para o SISCMot Cloud através de Wi-Fi ou 4G/GPRS. O SISCMot Gateway foi implementado no microcontrolador ESP-32, com codificação em linguagem C empregando o ambiente de desenvolvimento do fabricante².

Os principais módulos concebidos para integrar a arquitetura do SISCMot Gateway são: (i) *transceiver* CAN, utilizado usado para fazer a conexão elétrica entre o gateway e o barramento CAN da cadeira de rodas, (ii) fonte 3V3 responsável por alimentar o *gateway*, (iii) sensor *shunt*, responsável pela medição de corrente elétrica nas baterias da cadeira de rodas, tanto quando em carga quanto em consumo, (iv) conversor A/D - I2C, circuito integrado externo responsável por ler o valor de A/D com resolução de 10 bits do sensor *shunt* e enviar as leituras para a ESP-32, e (v) a placa LILYGO TTGO T-SIM7000G, módulo principal do SISCMot Gateway que possui um microcontrolador ESP-32 que executa o *firmware* responsável por gerenciar o módulo. Além do microcontrolador, a LILYGO TTGO T-SIM7000G é dotada de um leitor de SIM Card, para obter acesso à conexão LTE/GPRS de uma empresa de telefonia. Também possui um modem SIMCom SIM7000G responsável pela conexão do SISCMot Gateway à rede LTE/GPRS e também à rede GPS, ambas necessárias no escopo desta abordagem. A arquitetura do SISCMot Gateway está apresentada na Figura 2.

Coleta de Dados dos Sensores: O *gateway* coleta dados da cadeira de rodas por diferentes interfaces: barramento CAN, onde, através de uma API que mantém a confidencialidade dos dados é possível adquirir informações de telemetria e status advindos dos sensores e das centrais eletrônicas da cadeira; Interface I2C, para dados do sensor *shunt*

²<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/>

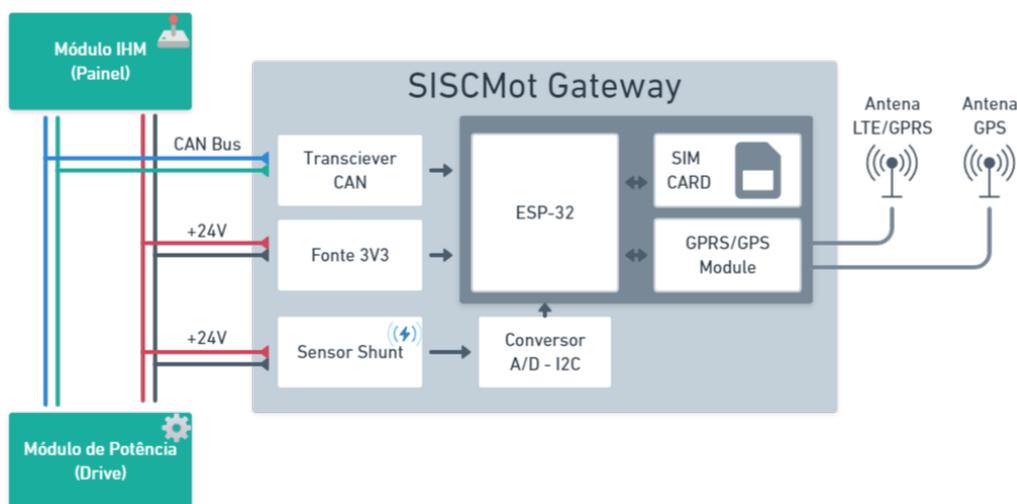


Figura 2. Arquitetura do módulo *SISCMot Gateway*

crucial para calcular a autonomia da cadeira; e diretamente em pinos de A/D. O *firmware* entra em modo *stand-by* se não detectar mensagens no barramento CAN, economizando energia.

Processamento dos Dados Coletados: Os dados coletados são processados pelo *firmware* para gerar informações contextuais. Isso inclui o cálculo da carga elétrica das baterias usando a corrente elétrica medida pelo sensor *shunt*. O método da *Integral de Riemann* é utilizado para calcular a energia da bateria em Ampère-hora. O SISCMot Gateway coleta leituras do sensor *shunt* a cada 100 milissegundos e calcula a carga acumulada, enviando os dados para o SISCMot Cloud a cada 10 segundos. Essa frequência de leitura ocorre apenas quando a cadeira está em movimento. O SISCMot Cloud usa essas informações para análises de consumo e previsões de autonomia com base no histórico de consumo do usuário.

Deteção de Alertas: O SISCMot Gateway processa alguns alertas na camada de borda, evitando a necessidade de análise na nuvem. Isso permite notificações por SMS sem a necessidade de uma conexão com o SISCMot Cloud, através do modem SIMCom SIM7000G. Alertas incluem sobretensão, subtensão, sobrecorrente, problemas de contato elétrico nos motores e freios, entre outros. Novos alertas, como superaquecimento dos motores, podem ser adicionados com sensores apropriados.

Coleta de Dados do GPS: O *firmware* da ESP-32 foi concebido para enviar comandos AT para o Modem SIMCom SIM7000G a cada 10 segundos, solicitando dados de geolocalização. Os dados brutos de latitude e longitude, com precisão de 8 casas decimais, são recebidos e processados antes de serem enviados à ESP-32. Se a ESP-32 não receber os dados após 10 tentativas, um comando de reinicialização é enviado ao modem. A geolocalização é vital para geração de contexto no SISCMot Cloud, permitindo com que ele faça inferências sobre a localização e possíveis situações incomuns, como a cadeira ficar parada em um local externo por muito tempo.

Formatação de Dados para Envio para o SISCMot Cloud: Os dados dos sensores são serializados em um arquivo JSON e enviados para o *broker* MQTT do SISCMot Cloud. Existem duas mensagens que o *gateway* pode enviar: Mensagem de Status, en-

viada a cada 10 segundos, contendo dados gerais da cadeira, sensores e geolocalização; e Mensagem de Evento, enviada imediatamente após a detecção do evento, como alertas. Ambas as mensagens possuem um identificador único do *gateway* e um *timestamp* sinalizando o momento do envio para o SISCMot Cloud. Caso o SISCMot Cloud pare de receber mensagens de status, assume-se que o *gateway* está offline, o que pode ocorrer devido a problemas de alimentação ou comunicação.

Envio dos Dados Via LTE/GPRS ou Wi-Fi: O SISCMot Gateway pode enviar dados via Wi-Fi em ambientes internos e LTE/GPRS em ambientes externos, garantindo a manutenibilidade da conexão durante o deslocamento da cadeira de rodas. O *firmware* inicialmente tenta se conectar ao Wi-Fi e, se bem-sucedido, permanece nele até a conexão falhar, momento em que muda para LTE/GPRS. Durante o uso do LTE/GPRS, a ESP-32 verifica periodicamente a disponibilidade do Wi-Fi e retorna a ele se possível, priorizando-o pela melhor qualidade de conexão e a economia do plano de dados do usuário.

3.2. SISCMot Cloud

A arquitetura concebida para o SISCMot Cloud (Figura 3) contempla a seguinte organização: (i) dois módulos que se comunicam com módulos externos - *Broker MQTT* e Gerenciador de Interface, (ii) dois módulos que gerenciam os dispositivos externos - Gerenciador de Dispositivos e a Base de Dados de Dispositivos, (iii) três módulos que formam o servidor de contexto - Gerenciador de Contexto (Módulo de Análise), Base de Dados de Regras e Base de Dados de Contexto e, por fim, (iv) um módulo de integração - Módulo de Interoperação. Este módulo atua na perspectiva de *Cloud Computing* [Shukur et al. 2020].

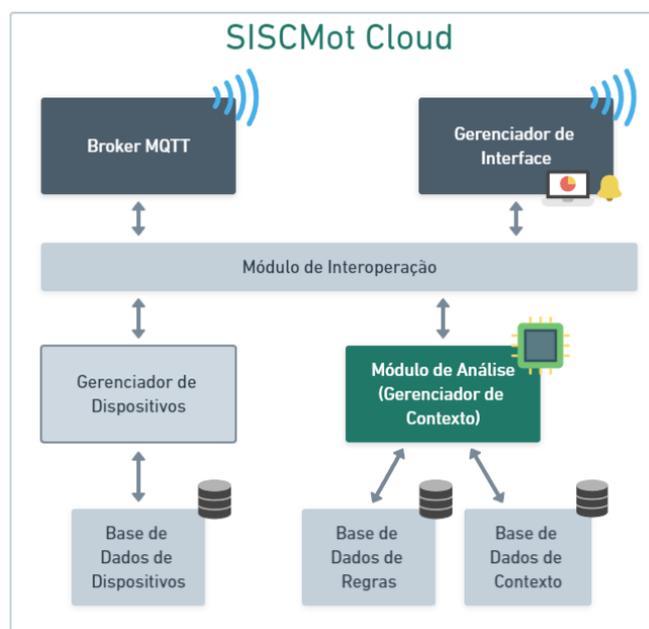


Figura 3. Arquitetura do módulo *SISCMot Cloud*

Broker MQTT: módulo que gerencia a troca de mensagens MQTT entre o SISC-Mot Gateway e o SISCMot Cloud, codificando as mensagens em JSON com informações

sobre os dispositivos e valores coletados pelos sensores. Os dados são organizados em tópicos e enviados para persistência em bancos de dados. Novos dispositivos ou sensores podem ser cadastrados dinamicamente quando novas mensagens JSON chegam ao *broker*, sem a necessidade de cadastro manual. Além disso, o *broker* MQTT fornece criptografia SSL (*Secure Sockets Layer*) para aumentar a segurança das informações transmitidas.

Gerenciador de Dispositivos: encarregado de disponibilizar e armazenar os dados dos sensores. Ele recebe dados do *broker* em formato JSON e os armazena hierarquicamente em tabelas de dados temporais e os dispositivos cadastrados em tabelas de dispositivos. Quando o Módulo de Análise solicita dados, o Gerenciador de Dispositivos os localiza, formata e disponibiliza para análise. Além disso, organiza as informações, relacionando sensores aos dispositivos correspondentes.

Base de Dados de Dispositivos: armazena persistentemente os dados dos dispositivos e sensores. Utiliza um modelo relacional e oferece uma interface SQL para operações de leitura e escrita. Todos os dados possuem um *timestamp* e um identificador do sensor, permitindo a criação de históricos e análises da variação ao longo do tempo.

Gerenciador de Contexto (Módulo de Análise): processa informações contextuais e realiza inferências em tempo real sobre os dispositivos. Pode realizar análises de diferentes tipos: (i) *Análise de Contexto por Limites:* Testa os valores dos sensores em relação a limites pré-definidos e as conclusões podem ser combinadas usando cláusulas "E" e "OU"; (ii) *Análise da Taxa de Variação do Contexto ao Longo do Tempo:* Avalia como as informações contextuais mudam ao longo do tempo; e (iii) *Análise de Histórico de Contexto ao Longo do Tempo:* Compara dados atuais com históricos para detectar desvios e gerar alertas.

As análises são realizadas assim que os dados são recebidos, com resultados enviados imediatamente para atualizar os *dashboards* e alertar o usuário. Análises síncronas também podem ser programadas no SISCMot Cloud.

Base de Dados de Regras: armazena as regras utilizadas pelo Módulo de Análise. Usa um modelo relacional com interface SQL para armazenar códigos de scripts, limites, sensores aplicáveis e se geram alertas ou são apenas informativas. As regras são solicitadas pelo Módulo de Análise quando novos dados de sensores chegam ao SISCMot Cloud ou em execuções com períodos pré-definidos e se disparam alertas ou se apenas produzem informações.

Base de Dados de Contexto: aqui são armazenadas informações contextuais sobre o ambiente, usuários, sensores e dispositivos relacionados à cadeira de rodas. Utiliza-se o mesmo modelo relacional com interface SQL. Alguns dados são brutos, obtidos diretamente dos sensores do SISCMot Edge, enquanto outros são pós-processados pelo Módulo de Análise para extração de informações relevantes. Todos os dados possuem *timestamps* possibilitando a criação de históricos de contexto.

Gerenciador de Interface: proporciona uma interface web entre o usuário e o SISCMot, organizando informações dos dispositivos em widgets visuais de fácil compreensão. Esses widgets podem incluir gráficos, indicadores, tabelas, textos, imagens e mapas, permitindo visualizar em tempo real dados dos sensores e informações contextuais processadas pelo Módulo de Análise. O Gerenciador de Interface também pode indicar alertas e solicitar notificações imediatas aos usuários através do SISCMot User.

Módulo de Interoperação: este módulo é um *broker* de mensagens que integra e gerencia a troca de informações entre os módulos do SISCMot Cloud. Ele garante que dados de sensoriamento atualizados estejam disponíveis simultaneamente para todos os módulos interessados, como o Gerenciador de Dispositivos, Módulo de Análise e Gerenciador de Interface, permitindo o processamento em paralelo e a eficiência do sistema.

O SISCMot Cloud foi implementado explorando recursos da plataforma de IoT *TagoIO*³, com as regras do Gerenciador de Contexto codificadas em JavaScript.

3.3. SISCMot User

Este módulo foi concebido com a finalidade de proporcionar uma interface visual que permita aos usuários monitorar, gerenciar e interagir com as cadeiras de rodas conectadas em tempo real. Os dados são apresentados em um formato de *dashboard* e podem ser acessados via internet através de um navegador (SISCMot User Web) ou pelo emprego de um aplicativo para *smartphones* (SISCMot User App). Ambos também exploram recursos oferecidos pela plataforma *TagoIO*.

Os dados são apresentados em componentes chamados *widgets* que são atualizados assim que novos dados chegam e são processados pelo SISCMot Cloud. Os *widgets* do SISCMot User, tanto na versão web como no aplicativo para *smartphone*, podem apresentar os dados nos formatos de valores numéricos, textos de status, gráficos, tabelas ou mapas.

Dentre os exemplos de dados que podem ser visualizados diretamente através do SISCMot User estão: Carga da Bateria, Tensão Elétrica da Bateria, Corrente Elétrica da Bateria, Corrente Elétrica dos Motores, Autonomia das Baterias, Consumo Recente das Baterias, Status do Gateway, Status da Cadeira de Rodas, entre outros.

O SISCMot User também oferece painéis que informam os usuários sobre alertas ativos e histórico de alertas da cadeira de rodas. Usuários que usam o aplicativo para *smartphones* são notificados imediatamente, na ocorrência destes eventos. Notificações contextuais também podem ser configuradas como, por exemplo, ser alertado quando a cadeira ficar sem carga apenas caso esteja fora de uma área delimitada por uma *geofence*.

Alguns exemplos de eventos de alerta detectados pelo SISCMot são: Carga Baixa nas Baterias, Sobrecorrente nos Motores, Sobretensão nas Baterias, Joystick Ausente, Joystick Com Falha, Falha no Barramento CAN, Motor Ausente, Motor em Curto-Circuito, Falha do Sensor de Corrente, Gateway Offline, Cadeira Fora da Geofence, Cadeira em Alerta Fora da Geofence, entre outros.

O SISCMot User oferece a opção de configurar *widgets* conforme os interesses dos usuários, adaptando-se às necessidades individuais. As notificações também podem ser ativadas/desativadas individualmente conforme a preferências dos usuários.

4. Considerações Finais

Considerando o cenário atual da IoT e os Trabalhos Relacionados entende-se que o SISCMot se destaca por ser a única abordagem que apresenta uma proposta de sensoriamento direcionada as partes elétricas e mecânicas da cadeira de rodas com o objetivo de proteger

³<https://tago.io/>

seus componentes e aumentar sua vida útil. A melhoria do desempenho destes componentes e o aumento do grau de proteção da cadeira de rodas, resulta em benefícios diretos ao cadeirante, pois reduz o risco de acidentes por falhas de hardware e aumenta consideravelmente a disponibilidade da cadeira, artefato este que é imprescindível para a mobilidade e bem-estar do indivíduo portador de deficiência. Além disso, o monitoramento constante do comportamento da bateria, tanto durante a carga quanto em descarga, permite fornecer informações de autonomia que são cruciais quando o usuário da cadeira de rodas trafega em ambientes externos e não controlados.

Na continuidade do trabalho, o SISCMot será avaliado por uma ferramenta que possa sistematizar as opiniões dos usuários. Para esse propósito, será adotado o Modelo TAM (*Technology Acceptance Model*), que permitirá avaliar a utilidade e a facilidade de uso da arquitetura proposta [Knappmeyer et al. 2013].

Referências

- Arshad, J., Ashraf, M. A., Asim, H. M., Rasool, N., Jaffery, M. H., and Bhatti, S. I. (2023). Multi-mode electric wheelchair with health monitoring and posture detection using machine learning techniques. *Electronics*, 12(5):1132.
- Ashraf, T., Islam, N., Costa, S. L., Arefin, M. S., and Azad, A. A. M. (2021). Developing an iot based wheelchair: Biomedical data logging & emergency contingency services. In *2021 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pages 1–5. IEEE.
- Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. *RFID Journal*.
- Barbosa, J., Tavares, J., Cardoso, I., Alves, B., and Martini, B. (2018). Trailcare: An indoor and outdoor context-aware system to assist wheelchair users. *International Journal of Human-Computer Studies*, 116:1–14.
- Bourgeois-Doyle, R. I. (2004). *George J. Klein: The Great Inventor*. Biography series. NRC Press.
- Cao, K., Liu, Y., Meng, G., and Sun, Q. (2020). An overview on edge computing research. *IEEE Access*, 8:85714–85728.
- Cho, S., Han, H., Park, H., Lee, S.-U., Kim, J.-H., Jeon, S. W., Wang, M., Avila, R., Xi, Z., Ko, K., et al. (2023). Wireless, multimodal sensors for continuous measurement of pressure, temperature, and hydration of patients in wheelchair. *npj Flexible Electronics*, 7(1):8.
- Dsouza, D. J., Srivastava, S., Prithika, R., and Sahana Rai, A. (2019). Iot based smart sensing wheelchair to assist in healthcare. *Methods*, 6(06).
- Kanade, P., Prasad, J. P., and Kanade, S. (2021). Iot based smart healthcare wheelchair for independent elderly. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 5(5):4–9.
- Knappmeyer, M., Kiani, S. L., Reetz, E. S., Baker, N., and Tonjes, R. (2013). Survey of context provisioning middleware. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(3):1492–1519.
- Sheikh, S. Y. and Jilani, M. T. (2023). A ubiquitous wheelchair fall detection system using low-cost embedded inertial sensors and unsupervised one-class svm. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(1):147–162.
- Shukur, H., Zeebaree, S., Zebari, R., Zeebaree, D., Ahmed, O., and Salih, A. (2020). Cloud computing virtualization of resources allocation for distributed systems. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 1(3):98–105.
- Tavares, C., Domingues, M. F., Paixão, T., Alberto, N., Silva, H., and Antunes, P. (2020). Wheelchair pressure ulcer prevention using fbg based sensing devices. *Sensors*, 20(1).
- Tavares, C., Real, D., Domingues, M. d. F., Alberto, N., Silva, H., and Antunes, P. (2022). Sensor cell network for pressure, temperature and position detection on wheelchair users. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4):2195.
- Temdee, P. and Prasad, R. (2018). *Context-Aware Communication and Computing: Applications for Smart Environment*.
- World Health Organization (2022). Global report on health equity for persons with disabilities. page 312.