

Plano de Pesquisa de Pós-doutorado

Internet das Coisas aplicada a sistemas de fenotipagem digital

Cícero Costa Quarto

Supervisor: Prof. Dr. Francisco José da Silva e Silva

Dezembro 2023
São Luís - MA

1 Contextualização

Ala Al-Fuqaha et al. (2015) em [7], tem-se que um número crescente de objetos físicos está sendo conectado à Internet em um ritmo sem precedentes, percebendo-se a ideia da Internet das Coisas (IoT, do inglês Internet of Things). Um exemplo básico de tais objetos incluem termostatos e HVAC (sigla em inglês de Heating (Aquecimento), Ventilating (Ventilação) e Air Conditioning (Ar Condicionado) sistemas de monitoramento e controle que habitam casas inteligentes, destacam [7]. Estes autores ainda ressaltam que existem também outros domínios e ambientes nos quais a IoT pode desempenhar um papel notável e melhorar a qualidade de nossas vidas, incluindo dentre essas aplicações transporte, saúde, automação industrial e resposta de emergência a desastres naturais e provocados pelo homem, onde a tomada de decisão humana é difícil.

A computação ubíqua é um termo que se refere a onipresença da informática no cotidiano das pessoas, em que os dispositivos fornecem conexão em todos os lugares e tornam-se parte da nossa vida de tal forma que não os percebemos mais [22]; [11]. Atualmente, dispositivos de computação móvel e vestível, como smartphones, smartbands e smartwatches estão amplamente difundidos na rotina diária de considerável parcela da população [16]. Através de seus sensores físicos pode-se obter uma grande quantidade e variedade de dados. Adicionalmente, através de sensores virtuais pode-se coletar dados sobre a interação do usuário com o dispositivo, como uso de aplicativos, registros de chamadas e mensagens de texto. Todos estes dados podem ainda ser combinados com dados do ambiente físico que circunda o usuário (como temperatura, luminosidade, movimento e sons), obtidos através de dispositivos de IoT [15]; [7].

Kyamakya et al. (2021) em [13] relevam que os sistemas sociotécnicos inteligentes estão a ganhar impulso na atual sociedade rica em informação, onde diferentes tecnologias são utilizadas para recolher dados desses sistemas e explorar esses dados para obter *insights* úteis sobre nossas atividades diárias. Ainda em [13], tem-se que tais sistemas variam desde sistemas de assistência ao motorista a sistemas de monitoramento médico-paciente, até sistemas de reconhecimento de emoções e sistemas robóticos colaborativos complexos, sendo construídos em torno de tecnologias intrusivas, como sensores fisiológicos, utilizados por exemplo, em EEG (Eletroencefalograma), ECG (Eletrocardiograma), atividade eletrodérmica e condutância da pele e tecnologias não intrusivas que usam sensores de vibração piezo, imagens faciais, sensores de vibração diferencial transportados por cadeiras e sensores de vibração diferencial suportados por leito. No entanto, apesar das vantagens dos sistemas sociotécnicos inteligentes nas vidas diárias das pessoas, Kyamakya et al. (2021) em [13] frisam que há uma série de questões relacionadas ao *design* e desenvolvimento de tais sistemas, pois dependem da classificação da emoção e do *estresse* a partir de sinais fisiológicos. Estes autores destacam que essas questões podem ser vistas de várias perspectivas, incluindo: a) qualidade e confiabilidade de dados de sensores, b) desempenho de classificação em termos de exatidão, precisão, especificidade, recall e medida F1, c) robustez do reconhecimento independente do assunto, d) portabilidade do sistema de classificação para diferentes ambientes e e) a estimativa do estado emocional para sistemas dinâmicos.

Motti (2021) em [8] pontua que reconhecer emoções através de tecnologias difundidas tem sido o objetivo de diversas pesquisas, entretanto, ainda assim, as complexidades inerentes do reconhecimento de emoções resultam em aplicações que apoiam o processo, em vez de abordá-lo completamente. Motti (2021) em [8] ainda ressalta que permitir o reconhecimento de emoções através da tecnologia provou ser importante para diversas aplicações em domínios, beneficiando diagnósticos, monitoramento, assistência e intervenções terapêuticas. Na educação e nas plataformas de aprendizagem *online*, o reconhecimento de emoções facilita a avaliação do envolvimento dos alunos, permitindo aplicações que adaptam os seus conteúdos em conformidade para garantir melhores resultados de aprendizagem [8].

Bernardos et al. (2019) em [4] e Nirmal et al. (2021) em [17] chamam atenção que a fenotipagem digital é uma nova abordagem para se referir à quantificação momento a momento dos aspectos sociais, físicos, fenótipo cognitivo, emocional e comportamental *in situ*, usando dados de dispositivos digitais pessoais. Ainda tem-se em [4], este conceito, entendido como uma ferramenta para recuperar dados sobre o estado dos usuários, incluindo informações sobre a percepção de sua própria saúde, vem revelando como um poderoso instrumento para melhor compreender pacientes com transtornos mentais para objetivos científicos e clínicos, mas também para fornecer treinamento e apoio que podem facilitar a detecção de doenças, monitoramento e tratamento. Ainda deste autor, tem-se que a fenotipagem digital geralmente depende de dados ativos e passivos, sendo os primeiros relatados pelo usuário como, por exemplo, resultados relatados pelo paciente e outros. Já os segundos, são recuperados automaticamente por meio

de plataformas digitais como dados de smartphones (por exemplo, localização e movimento, referências bluetooth próximas, textos e registros de chamadas, gravações de voz, uso de tela, uso de aplicativos, informações de wearables de saúde ou sensores de infraestrutura podem ser adicionados com o estilo de vida. Por exemplo, para muitas doenças, por exemplo, Alzheimer, existem evidências científicas de que problemas cognitivos, comportamentais, sensoriais e mudanças motoras podem preceder manifestações clínicas de anos.

2 Justificativa e Caracterização do Problema

Bernardos et al. (2019) em [4] ressaltam que vivemos numa época em que a maior parte da população global tem um smartphone no bolso, sendo estes dispositivos uma nova mina de ouro do Século XXI, pois permitem recolher uma grande quantidade de dados potencialmente significativos do usuário. Estes autores ainda enfatizam que esses dados, convenientemente armazenados e processados, servem para analisar diferentes características comportamentais, podendo ser úteis assim para objetivos de negócios heterogêneos.

Piskioolis et al. (2021) em [18] chamam atenção que o reconhecimento de emoções é essencial para avaliar as emoções humanas e prever o comportamento do usuário para fornecer informações apropriadas e feedback personalizado. Estes autores ainda destacam que a ampla variedade de smartphones com acelerômetros, microfones, GPSs, giroscópios e muitos mais motivam pesquisadores para explorar a detecção automática de emoções através de sensores de smartphones.

Alskafi et al. (2021) em [2] frisam que na saúde, a oportunidade de construir um perfil individual que reconheça fontes de estresse, ansiedade, depressão ou doenças crônicas pode ser alcançado através do monitoramento do bem-estar e possivelmente incluindo reconhecimento e classificação de determinadas emoções a partir de aplicativos vestíveis, podendo assim ajudar no desenvolvimento de protocolos de tratamento para transtornos mentais e físicos.

Corroborando Alskafi et al. (2021) em [2], Yang et al. (2022) em [23] destacam que as emoções que sentimos todos os dias moldam nossos comportamentos e orientam nossas decisões. Por exemplo, longos períodos sob estresse e ansiedade podem não só prejudicar a saúde mental, mas também induzem em doenças relacionadas. Estes autores ainda trazem que estudos recentes demonstram uma alta correlação entre instabilidade afetiva e psicose, e concluem que o reconhecimento automático e preciso das emoções tem se tornado cada vez mais um importante tópico de pesquisa, pois pode ajudar no diagnóstico precoce, no monitoramento contínuo e pode informar intervenções para saúde mental e bem-estar. Desta forma, Yang et al. (2022) em [23] compactuam com [2] ao afirmarem que reconhecer e monitorar estados emocionais desempenham um papel crucial na gestão de saúde mental e bem-estar, assim como destacando ainda que com a adoção generalizada de dispositivos móveis inteligentes e vestíveis, tornou-se mais fácil coletar dados fisiológicos granulares e de longo prazo relacionados às emoções de forma passiva, contínua e remota, criando assim novas

oportunidades para ajudar indivíduos a gerenciar suas emoções e bem-estar de uma maneira menos intrusiva, usando soluções de baixo custo prontas para uso em dispositivos vestíveis.

Ahmad e Khan (2022) em [1] pontuam que os sinais fisiológicos são a forma mais confiável de sinais para o reconhecimento de emoções, pois não podem ser controlados deliberadamente pelo sujeito. Alskafi et al. (2021) em [2] ressaltam que sensores vestíveis têm causado impacto em cuidados de saúde e na medicina, permitindo acompanhar o paciente fora da clínica ao monitorar e prever eventos patológicos.

Rooksby et al. (2019) em [21] observam que há uma crise de saúde mental que as universidades internacionais aliadas enfrentam, bem como um corpo crescente de pesquisas interdisciplinares demonstrou que o uso de dados de sensores e de interação dos smartphones dos alunos pode fornecer informações sobre estresse, depressão, humor, risco de suicídio e muito mais. Estes autores preconizam que a abordagem chamada de fenotipagem digital tem potencial para transformar a forma como a saúde mental e o bem-estar podem ser monitorizados e compreendidos, assim como poucos trabalhos exploram o lado humano e ético da fenotipagem digital, incluindo como os alunos se sentem ao serem monitorados e compreendidos. Finalmente, o estudo de Rooksby et al. (2019) em [21] demonstra que a fenotipagem digital pode transformar como as intervenções são concebidas, entregues e avaliadas.

Considerando o contexto trazido através das Seções 1 e 2, acerca de IoT e suas tecnologias associadas (hardware, rede, sistemas distribuídos, análise de dados) e aplicações na área da saúde, especificamente no reconhecimento de emoções do indivíduo para a tomada de decisão, assim como da abordagem Fenotipagem Digital e suas aplicações, apresenta-se a seguir, por meio de questões de investigação, a caracterização do problema de pesquisa deste estágio de pós-doutorado:

- **QP1:** Quais tipos de dados de sensores são relevantes para o reconhecimento de emoções?
- **QP2:** Quais tipos de emoções podem ser reconhecidos a partir destes dados?
- **QP3:** Quais métodos computacionais apresentam melhor eficácia no reconhecimento de emoções a partir de dados de sensores vestíveis?

3 Objetivos

3.1 Geral

Avançar o estado da arte sobre reconhecimento de emoções do indivíduo tendo por base dados coletados a partir de sensores disponíveis em dispositivos computacionais vestíveis, explorando suas aplicabilidades em sistemas de fenotipagem digital.

3.2 Específicos

- Proceder uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) relativa ao reconhecimento de emoções de indivíduos a partir de dados coletados por sensores disponíveis em dispositivos computacionais vestíveis;
- Desenvolver modelos computacionais capazes de realizar inferências relativas a emoções de indivíduos a partir de dados coletados por sensores vestíveis;
- Proceder uma avaliação de desempenho dos modelos computacionais para inferência de emoções a serem desenvolvidos;
- Divulgar os resultados da pesquisa obtidos através da publicação de artigos científicos em eventos nacionais e/ou internacionais, bem como periódicos da área.

4 Metodologia

A concepção dos passos metodológicos demandados pela referente pesquisa é alcançada através da articulação de três módulos básicos, a saber: a) Módulo de Fundamentação Teórica, b) Módulo de Construção de Modelos Computacionais e c) Módulo de Integração. A seguir, são trazidas as descrições de cada módulo supracitados.

a) **Módulo de Fundamentação Teórica:** Este módulo contempla Revisão Sistemática da Literatura (RSL) acerca de reconhecimento de emoções do indivíduo tendo por base dados coletados a partir de sensores disponíveis em dispositivos computacionais vestíveis, explorando suas aplicabilidades em sistemas de fenotipagem digital. Rivero et al. (2019) em [20] e Imail et al. (2021) em [10] pontuam que a RSL é uma importante etapa na execução de uma pesquisa, haja vista que tal técnica é conduzida através de métodos e instrumentos sistemáticos, por meio de estudos secundários, permitindo identificar publicações científicas relevantes, identificar novas oportunidades de investigação, sumarizar as evidências existentes e possibilidade de replicação futura. Ainda em [20], tem-se como ferramentas de apoio à execução de RSLs o (Start) e (Parsifal). Destaca-se que nesta pesquisa de pós-doutorado, faz-se uso da ferramenta Parsifal, haja vista que a mesma já vindo sendo utilizada no desenvolvimento dos projetos de pesquisa do Laboratório de Sistemas Distribuídos Inteligentes (LSDi), da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), a partir do qual esse estágio de pós-doutorado é realizado.

Corroborando Rivero et al. (2019) em [20] e Ismail et al. (2021) em [10], Asyrofi et al. (2023) em [3] ressaltam que uma RSL é um processo rigoroso e estruturado para revisar e resumir pesquisas existentes sobre um tópico ou assunto específico. Estes autores ainda frisam que, ao contrário de outros tipos de revisões de literatura, que podem ser menos sistemáticas ou completas, as

RSLs aderem aos protocolos estabelecidos e tentam eliminar preconceito, empregando metodologias explícitas e transparentes. Donato e Donato (2019) em [6] consideram que um processo de RSL deve se alicerçar nas etapas que seguem abaixo listadas através da Tabela 1:

Etapas de uma RSL	Descrição
1	Formular uma questão de investigação.
2	Produzir um protocolo de investigação e efetuar o seu registro (itens 1 e de 3 a 8 devem constar no protocolo de elaboração da revisão sistemática.
3	Definir os critérios de inclusão e exclusão
4	Desenvolver uma estratégia de pesquisa e pesquisar a literatura - encontrar os estudos
5	Seleção dos estudos
6	Avaliação da qualidade dos estudos
7	Extração dos dados
8	Síntese dos dados e avaliação da qualidade da evidência
9	Disseminação dos resultados - publicação

Table 1: Marcos temporais dos módulos metodológicos e de atividades complementares (O autor, 2023).

b) **Módulo de Construção de Modelos Computacionais:** Este módulo é reservado para a concepção dos modelos computacionais capazes de realizar inferências relativas a emoções de indivíduos a partir de dados extraídos por sensores vestíveis. Nessa etapa, serão definidos quais tipos de emoções serão levados em consideração, quais sensores e dispositivos serão utilizados e a metodologia a ser utilizada para a inferência das emoções, a partir de abordagens de aprendizagem de máquina. Será também definido o processo de avaliação dos modelos concebidos. Para a concretização desta etapa, metodologias já existentes são utilizadas, tais como KDD (Knowledge-Discovery in Databases), CRISP-DM (CRoss-Industry Standard Process for Data Mining) e OSEMN (Obtain, Scrub, Explore, Model and iNterpret). Destas metodologias, é utilizada em uma primeira instância a CRISP-DM (Figura 1), por razão que a mesma já vem sendo empregada no desenvolvimento dos projetos de pesquisa do Laboratório de Sistemas Distribuídos Inteligentes (LSDi), da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), local de realização deste estágio de pós-doutorado. Ramos et al. (2020) em [19] destacam que na metodologia CRISP-DM, um projeto de

DM é dividido em seis fases principais, a saber: a) Entendimento do negócio, b) Compreensão dos dados, c) Preparação dos dados, d) Modelagem, e) Avaliação e f) Implantação. Referências científicas relevantes e relacionadas são também exploradas no apoio ao desenvolvimento deste projeto, tais como [14], [12], [9], [5], dentre outras a descobrir.



Figure 1: Ciclo de vida da metodologia CRISP-DM.
 . Fonte: O autor (2023).

c) **Módulo de Integração:** Neste módulo, os modelos computacionais concebidos, para realizar inferências relativas a emoções de indivíduos, serão integrados ao Framework OpenDPMH (do inglês, *Open Digital Phenotyping of Mental Health*) de fenotipagem digital que tem sido desenvolvido no Laboratório de Sistemas Distribuídos Inteligentes (LSDi), da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) para auxiliar a prototipação e desenvolvimento de aplicações neste domínio. Este framework contempla componentes de software relativos à aquisição de dados, inferência de eventos comportamentais, distribuição de fenótipos digitais, inferência de padrões comportamentais e suas mudanças, bem como persistência dos dados e padrões inferidos.

5 Cronograma de Execução

O cronograma de execução referente ao estágio pós-doutoral, contemplando os três módulos metodológicos mais a fase de escrita de artigos científicos e elab-

oração de relatórios técnicos, é trazido através da Tabela 2, a seguir:

Módulos	Marcos temporais
Fundamentação Teórica	março a maio de 2024
Construção dos Modelos Computacionais	junho a novembro de 2024
Integração dos Modelos Computacionais ao Framework OpenDPMH	dezembro de 2024 a janeiro de 2025
Escrita de relatórios técnicos e escrita de artigos científicos	fevereiro de 2025

Table 2: Marcos temporais dos módulos metodológicos e de atividades complementares (O autor, 2023).

References

- [1] Zeeshan Ahmad and Naimul Khan. “A survey on physiological signal-based emotion recognition”. In: *Bioengineering* 9.11 (2022), p. 688.
- [2] Feryal A Alskafi, Ahsan H Khandoker, and Herbert F Jelinek. “A comparative study of arousal and valence dimensional variations for emotion recognition using peripheral physiological signals acquired from wearable sensors”. In: *2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*. IEEE. 2021, pp. 1104–1107.
- [3] Rakha Asyrofi et al. “Systematic Literature Review Langchain Proposed”. In: *2023 International Electronics Symposium (IES)*. IEEE. 2023, pp. 533–537.
- [4] Ana M Bernardos et al. “Digital phenotyping as a tool for personalized mental healthcare”. In: *proceedings of the 13th EAI International Conference on pervasive computing technologies for healthcare*. 2019, pp. 403–408.
- [5] Krzysztof J Cios, Witold Pedrycz, and Roman W Swiniarski. *Data mining methods for knowledge discovery*. Vol. 458. Springer Science & Business Media, 2012.
- [6] Helena Donato and Mariana Donato. “Etapas na condução de uma revisão sistemática”. In: *Acta Médica Portuguesa* 32.3 (2019), pp. 227–235.
- [7] Ala Al-Fuqaha et al. “Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications”. In: *IEEE communications surveys & tutorials* 17.4 (2015), pp. 2347–2376.

- [8] Vivian Genaro Motti. “Towards a Design Space for Emotion Recognition”. In: *Adjunct Proceedings of the 2021 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2021 ACM International Symposium on Wearable Computers*. 2021, pp. 243–247.
- [9] Ricardo Gonzalez and Ali Kamrani. “A survey of methodologies and techniques for data mining and intelligent data discovery”. In: *Data Mining for Design and Manufacturing: Methods and Applications*. Springer, 2001, pp. 41–59.
- [10] Dimas Ismail et al. “A Systematic Literature Review and Delphi Study on Agile Software Development Challenges”. In: *2021 6th International Conference on Management in Emerging Markets (ICMEM)*. IEEE. 2021, pp. 1–6.
- [11] John Krumm. *Ubiquitous computing fundamentals*. CRC Press, 2018.
- [12] Lukasz A Kurgan and Petr Musilek. “A survey of knowledge discovery and data mining process models”. In: *The Knowledge Engineering Review* 21.1 (2006), pp. 1–24.
- [13] Kyandoghene Kyamakya et al. *Emotion and stress recognition related sensors and machine learning technologies*. 2021.
- [14] Gonzalo Mariscal, Oscar Marban, and Covadonga Fernandez. “A survey of data mining and knowledge discovery process models and methodologies”. In: *The Knowledge Engineering Review* 25.2 (2010), pp. 137–166.
- [15] Friedemann Mattern and Christian Floerkemeier. *From the Internet of Computers to the Internet of Things*. Springer, 2010.
- [16] David C Mohr, Mi Zhang, and Stephen M Schueller. “Personal sensing: understanding mental health using ubiquitous sensors and machine learning”. In: *Annual review of clinical psychology* 13 (2017), pp. 23–47.
- [17] Aayushi R Nirmal, Srinidhi Brahmavar, and Hannah W Mercier. “Digital Phenotyping for Spinal Cord Injury: Smartphone-based monitors for clinical utility”. In: *2021 IEEE 18th International Conference on Mobile Ad Hoc and Smart Systems (MASS)*. IEEE. 2021, pp. 572–573.
- [18] Orestis Piskioulis, Katerina Tzafilkou, and Anastasios Economides. “Emotion detection through smartphone’s accelerometer and gyroscope sensors”. In: *Proceedings of the 29th ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*. 2021, pp. 130–137.
- [19] Jorge Luis Cavalcanti Ramos et al. “CRISP-EDM: uma proposta de adaptação do Modelo CRISP-DM para mineração de dados educacionais”. In: *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. SBC. 2020, pp. 1092–1101.
- [20] Luis Rivero, Rodrigo Santos, and Davi Viana. “Estudos Secundários: Compartilhando Experiências Práticas de Revisões da Literatura em IHC”. In: *Anais Estendidos do XVIII Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais*. SBC. 2019, pp. 5–6.

- [21] John Rooksby, Alistair Morrison, and Dave Murray-Rust. “Student perspectives on digital phenotyping: The acceptability of using smartphone data to assess mental health”. In: *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2019, pp. 1–14.
- [22] Mark D Weiser. “Ubiquitous computing”. In: *ACM Conference on Computer Science*. Vol. 418. 10.1145. 1994, pp. 197530–197680.
- [23] Kangning Yang et al. “Mobile emotion recognition via multiple physiological signals using convolution-augmented transformer”. In: *Proceedings of the 2022 International Conference on Multimedia Retrieval*. 2022, pp. 562–570.