

Reconhecimento de Emoções a partir de Sensores Disponíveis em Dispositivos Computacionais Móveis Vestíveis: Uma Visão do Estado da Arte

Cícero Costa Quarto

Universidade Estadual do Maranhão
Engenharia de Computação
cicero@engcomp.uema.br

Luiz Gonzaga Penha

Universidade Federal do Maranhão
Laboratório de Sistemas Distribuídos Inteligentes
luiz.penha@lsdi.ufma.br



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

- Estado da arte é uma pesquisa de revisão bibliográfica que mapeia o conhecimento atual e as tendências de um determinado tema ou área;
 - Seu objetivo é identificar o que já foi publicado, as metodologias utilizadas, os diferentes enfoques teóricos e as lacunas de pesquisas, fornecendo um panorama do conhecimento existente para justificar um novo estudo ou desenvolvimento;
 - O termo também pode se referir ao nível mais avançado de desenvolvimento técnico ou científico alcançado até um momento específico.



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Estrutura da Apresentação

- 1 Objetivo
- 2 Justificativa e Motivação
- 3 Trabalhos Relacionados
- 4 Metodologia de Pesquisa
- 5 Resultados
- 6 Conclusões
- 7 Limitações
- 8 Trabalhos Futuros
- 9 Agradecimentos



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Objetivo

Contribuir para uma melhor visibilidade e compreensão da importância, aplicabilidade e desafios do campo emergente sobre reconhecimento de emoções a partir de sensores disponíveis em dispositivos computacionais móveis vestíveis e desta forma poder apoiar a tomada de decisão dos profissionais da saúde e demais áreas de conhecimento, assim como motivar perspectivas de pesquisas futuras.



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Justificativa e Motivação

- As emoções desempenham um papel vital no comportamento humano, exercendo uma influência poderosa em processos como percepção, atenção, tomada de decisão, aprendizagem e bem-estar em geral, assim como compreender a natureza humana, a cognição e intelecto, investigar e classificar estados emocionais é de suma importância;
- Detectar emoções é muito importante no monitoramento da saúde mental e das escolhas das intervenções corretas, assim como na educação e nas plataformas de aprendizagem *online*, o reconhecimento de emoções pode apoiar a avaliação do envolvimento dos alunos, permitindo aplicações que adaptam os conteúdos em conformidade capazes de garantir melhores resultados de aprendizagem;



Justificativa e Motivação

- Reconhecer e monitorar estados emocionais desempenha um papel crucial na gestão de saúde mental e bem-estar, assim como a adoção generalizada de dispositivos móveis vestíveis se tornou 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 generalizar suas emoções e bem-estar de uma maneira menos intrusiva, usando soluções de baixo custo prontas para uso em dispositivos computacionais móveis vestíveis;
- Há uma crise de saúde mental que as universidades enfrentam, bem como um corpo crescente de pesquisas interdisciplinares demonstram que o uso de dados de sensores e interações dos smartphones dos alunos pode fornecer informações sobre estresse, depressão, ansiedade, riscos de suicídio e muito mais;



UEMA
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Justificativa e Motivação

- O avanço na tecnologia e a prevalência da IoT (*Internet of Things*) levaram à ampla adoção de dispositivos médicos vestíveis nos últimos anos, moldando o estudo e a prática da assistência médica ao permitir o monitoramento remoto e contínuo de sinais fisiológicos vitais do indivíduo;
- Dispositivos de computação móvel e vestível, como *smartphones*, *smartbands* e *smartwatches* estão amplamente difundidos na rotina diária de considerável parcela da população, podendo, através de seus sensores físicos, fornecer uma grande quantidade e variedade de dados.



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

- Nos últimos anos, o rápido desenvolvimento de sensores e tecnologia da informação tornou possível a máquina reconhecer e analisar emoções humanas, estabelecendo assim uma importante direção de pesquisa em vários campos, em especial da Computação Afetiva.



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

- Wijasena et al. (2021)
 - ① A survey of emotion recognition using physiological signal in wearable devices;
- Saganowski et al. (2022)
 - ① Emotion recognition for everyday life using physiological signals from wearables: A Systematic Literature Review;
- Cai et al. (2023)
 - ① Emotion recognition using different sensors, emotion models, methods and datasets: A Comprehensive Review.



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Trabalhos Relacionados

Semelhanças e diferenciais com esta pesquisa

- A partir dos trabalhos relacionados explorados, tem-se evidências que a proposta desenvolvida nesta pesquisa se enquadra na temática principal relacionada e que é adequada metodologicamente na ampliação da visibilidade, importância e aplicabilidade do reconhecimento de emoções do indivíduo usando sensores disponíveis em dispositivos computacionais móveis vestíveis;
 - Aspectos como a importância de monitorar estados emocionais do indivíduo usando sensores vestíveis, métodos de revisões sistemáticas da literatura e procedimentos de reconhecimento de emoções em tempo real são algumas semelhanças entre os trabalhos relacionados considerados com esta pesquisa;



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Trabalhos Relacionados

Semelhanças e diferenciais com esta pesquisa ... cont.

- Um mapeamento do estado da arte em questão a partir de 2018 à 2024, que evidenciou tipos de dados relevantes de sensores no reconhecimento de emoções, tipos de emoções reconhecidas a partir destes dados, métodos computacionais empregados no reconhecimento de tais emoções, métricas de avaliação destes métodos e desempenho de eficácia dos respectivos métodos computacionais, assim como identificar e classificar questões de pesquisa em aberto, referente à temática relacionada neste artigo, são aspectos diferenciais relevantes desta pesquisa em relação aos trabalhos relacionados trazidos, se caracterizando assim como principais contribuições deste artigo para o avanço do estado da arte em questão.



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering

Version 2.3

EBSE Technical Report
EBSE-2007-01

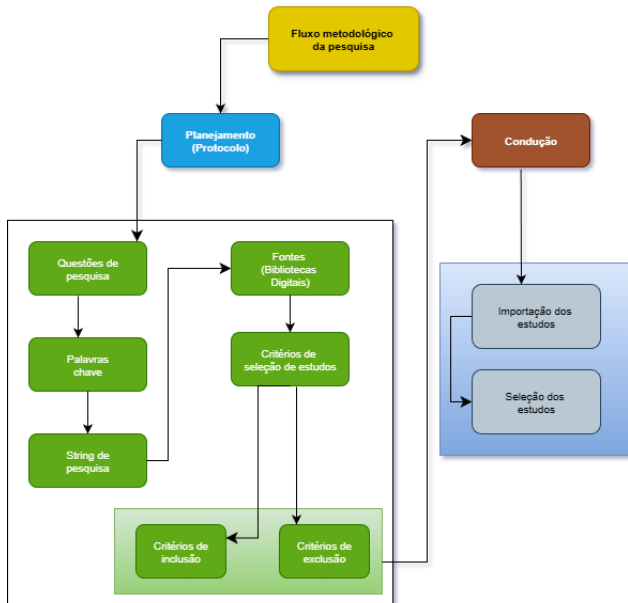
Software Engineering Group
School of Computer Science and Mathematics
Keele University
Keele, Staffs
ST5 5BG, UK

and

Department of Computer Science
University of Durham
Durham,
UK

9 July, 2007

Metodologia de Pesquisa



Metodologia de Pesquisa

Descrição das Etapas Metodológicas

- **Questões de Pesquisa (QP):** orientam toda a metodologia da revisão, identificando estudos primários que abordem as questões de pesquisa. O processo de extração de dados deve extrair os itens de dados necessários para responder às QPs, bem como o processo de análise de dados deve sintetizar os dados de tal forma que as perguntas possam ser respondidas.
 - **QP1:** Quais tipos de dados de sensores são relevantes para o reconhecimento de emoções?
 - **QP2:** Quais tipos de emoções podem ser reconhecidas a partir destes dados?
 - **QP3:** Quais métodos computacionais são empregados no reconhecimento de emoções a partir de dados de sensores?
 - **QP4:** Quais são as métricas de avaliação desses métodos computacionais empregados no reconhecimento de emoções a partir de dados de sensores?
 - **QP5:** Qual o desempenho de eficácia alcançado pelos métodos computacionais aplicados no reconhecimento de emoções a partir de dados de sensores?



Metodologia de Pesquisa

Descrição das Etapas Metodológicas

- **Palavras-chave:** palavras-chave são basicamente extraídas da população na qual as evidências são coletadas. No contexto desta pesquisa, tem-se como palavras-chave as que seguem listadas abaixo:
 - reconhecimento de emoções;
 - detecção de emoções;
 - emoções;
 - sensores;
 - sensores vestíveis



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Metodologia de Pesquisa

Descrição das Etapas Metodológicas

- **String de pesquisa:** estratégia de busca derivada apropriadamente das QPs, visando detectar o máximo de estudos relevantes possíveis da literatura.
 - A regra ouro para criar uma boa sequência de pesquisa é separar as palavras-chave e sinônimos com o operador booleano OR e separar a população, intervenção, comparação e resultados com parênteses e usando o operador AND;
 - (affective computing OR sensing emotion OR recognition emotion OR detection emotion OR identification emotion) AND (wearable devices OR wearables OR wearable technology).



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Metodologia de Pesquisa

Descrição das Etapas Metodológicas

- **Fontes:** fontes são as bases de dados a serem pesquisadas, incluindo bibliotecas digitais, periódicos e anais de conferências. No domínio desta pesquisa, foi levado em conta uma prospecção de trabalhos científicos publicados no período de 2018 à 2024, disponíveis nas bases de dados listadas abaixo:
 - ACM Digital Library;
 - IEEE Xplore;
 - PubMed



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Metodologia de Pesquisa

Descrição das Etapas Metodológicas

- **Critérios de seleção de estudos:** os critérios de seleção de estudos são usados para determinar quais estudos são incluídos ou excluídos de uma revisão sistemática, sendo aplicados em um subconjunto de estudos primários. No contexto desta pesquisa, os critérios de inclusão e exclusão são listados abaixo:
- **Critérios de inclusão:** estudos que utilizaram dados de contexto de sensores embarcados ou conectados em dispositivos ubíquos, trabalhos que avaliaram soluções para o reconhecimento de emoções, trabalhos que propuseram soluções para o reconhecimento de emoções, trabalhos que utilizaram dados de sensores fisiológicos, trabalhos que utilizaram *datasets* públicos e trabalhos que utilizaram dispositivos móveis e/ou vestíveis na coleta de dados.



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Metodologia de Pesquisa

Descrição das Etapas Metodológicas

- **CrITÉrios de seleÇão de estudos:** cont...
- **CrITÉrios de exclusão:** artigos em outro idioma que não o inglês, estudos que não utilizaram dados de sensores ubíquos para reconhecer emoções, materiais como resenhas, relatórios breves, relatórios, livros, comunicações breves, dissertações e teses, trabalhos que não avaliaram a solução proposta para o reconhecimento de emoções, trabalhos que não propuseram soluções para o reconhecimento de emoções, trabalhos que não utilizaram dispositivos móveis vestíveis na coleta de dados de sinais fisiológicos, trabalhos que não utilizaram dados de sensores fisiológicos e trabalhos que não utilizaram datasets públicos.



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Metodologia de Pesquisa

Descrição das Etapas Metodológicas

- **Importação dos estudos:** consiste em importar, a partir da ferramenta Parsifal, todos os trabalhos primários recuperados das bases de dados consultadas, ou seja da ACM, IEEE e PubMed;
- **Seleção dos estudos:** visa identificar aqueles estudos primários que fornecem evidências diretas sobre as questões de pesquisa. Nessa etapa, trabalhos relevantes são aceitos, sendo os demais trabalhos descartados como estudos duplicados, rejeitados ou não classificados, levando em consideração os critérios definidos nas fases anteriores.



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Resultados

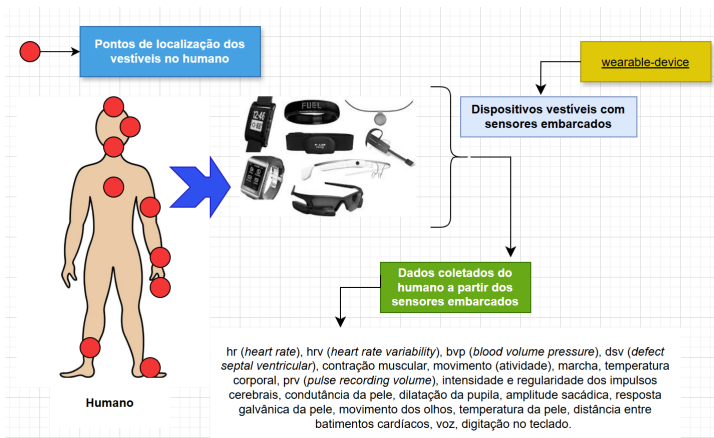
- A prospecção de trabalhos científicos obtida das consultas às bases de dados ACM, IEEE e PubMed resultou num total de 1312 artigos primários.
- Mediante os critérios estabelecidos na metodologia, foram classificados 40 trabalhos que apoiaram a visibilidade e entendimento da importância, aplicabilidade e desafios futuros da tecnologia vestíveis computacionais móveis no reconhecimento de emoções em tempo real.
- A leitura dos trabalhos classificados forneceu uma visão geral do estado da arte em questão sob duas óticas diferentes. A primeira ótica se alicerçou em responder às QPs formuladas e a segunda focou na identificação e classificação das questões de pesquisa em aberto, à qual contribuirá para uma melhor visibilidade dos principais e potenciais desafios a serem investigados e solucionados da área do reconhecimento de emoções a partir de vestíveis computacionais móveis.



Resultados

Respostas às Questões de Pesquisa (QPs)

- **QP1:** Quais tipos de dados de sensores são relevantes para o reconhecimento de emoções?

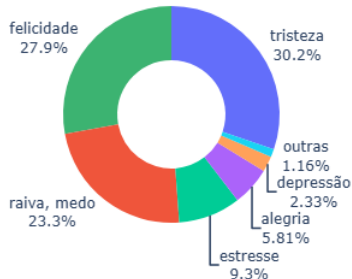


Resultados

Respostas às Questões de Pesquisa (QPs)

- **QP2:** Quais tipos de emoções podem ser reconhecidas a partir destes dados?

- tristeza;
- felicidade;
- depressão;
- alegria;
- estresse;
- fadiga mental;
- irritação;
- raiva;
- medo;
- humor;
- tédio;
- bem-estar;
- aceitação;
- Modelo de emoções 2D



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

- **QP3: Quais métodos computacionais são empregados no reconhecimento de emoções a partir dos dados de sensores?**
 - Diferentes modelos e paradigmas são utilizados no reconhecimento de emoções por meio de dados de sensores móveis vestíveis, indo desde métodos tradicionais baseados em análise estatística, como o LDA, até modelos modernos de aprendizagem profunda como LSTM e Transformers. Entre os principais paradigmas destacam-se: Ensemble Learning, Redes Neurais Artificiais, métodos baseados em instância, métodos baseados em kernel e abordagens híbridas que combinam múltiplas técnicas.
 - A utilização de metodos tradicionais pode ser vantajoso ao se considerar limitações de recursos em dispositivos móveis. Já métodos mais complexos podem detectar melhor padrões mais complexos como micro emoções ou dependencia de longo prazo.



Resultados

Respostas às Questões de Pesquisa (QPs)

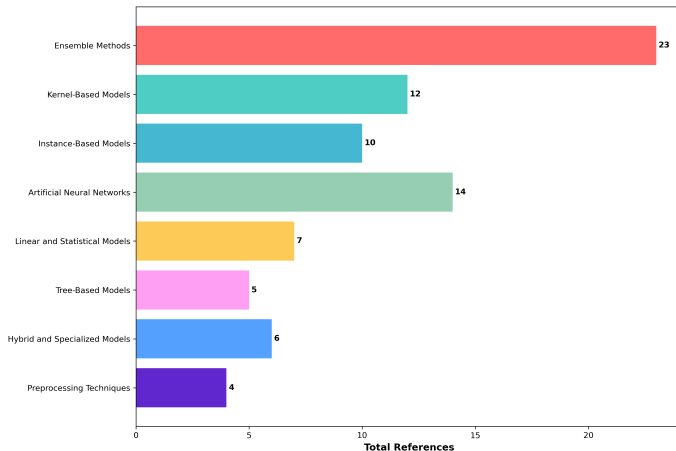


Figura: Distribuição dos métodos nos trabalhos selecionados



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Resultados

Respostas às Questões de Pesquisa (QPs)

- **QP4:** Quais são as métricas de avaliação desses métodos computacionais empregados no reconhecimento de emoções a partir de dados de sensores?
 - As métricas de avaliação mais frequentes nos trabalhos selecionados foram: Acurácia que mede a eficácia geral do modelo, a F1-Score que é útil para dados desbalanceados como os dados fisiológicos utilizados no reconhecimento de emoções e a Precisão que mede a confiabilidade das previsões positivas do modelo.



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Resultados

Respostas às Questões de Pesquisa (QPs)

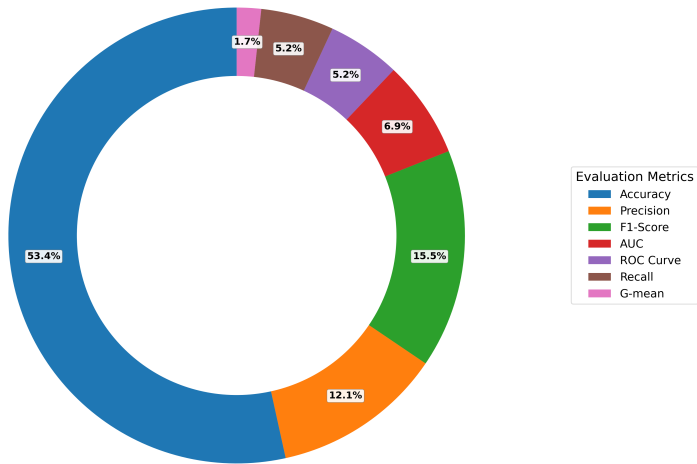


Figura: Métricas de avaliação dos métodos computacionais utilizados no

Resultados

Respostas às Questões de Pesquisa (QPs)

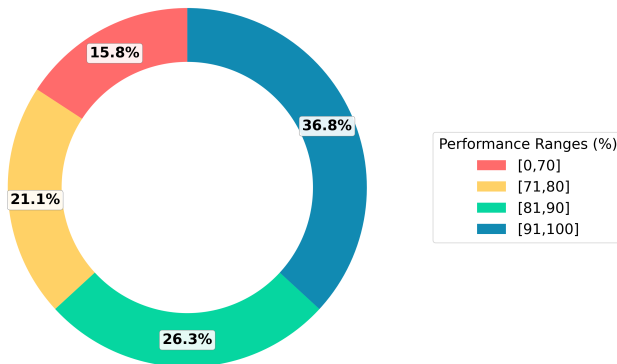
- **QP5:** Qual o desempenho de eficácia alcançado pelos métodos computacionais aplicados no reconhecimento de emoções a partir de dados de sensores?
 - A análise dos trabalhos selecionados revelou que mais da metade dos experimentos realizados (63%), obtiveram eficácia acima de 80% sendo que 36% obtiveram eficácia entre 91% e 100%.



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Resultados

Respostas às Questões de Pesquisa (QPs)



Questões de Pesquisa em Aberto (QPAs)

As questões de pesquisa em aberto (QPAs) foram formuladas a partir dos trabalhos futuros recomendados pelos autores dos respectivos artigos científicos que apoiaram o mapeamento do estado da arte em questão, às quais são trazidas a seguir:

- Pode a detecção do estresse a partir de dispositivos vestíveis computacionais móveis promover o bem-estar do indivíduo?
- O reconhecimento do estado de fadiga do indivíduo a partir de dispositivos computacionais móveis vestíveis é afetado por diferentes níveis de aptidão física?
- O monitoramento em tempo real do paciente a partir de dispositivos computacionais móveis vestíveis apoia a intervenção precoce por profissionais de saúde?
- Quais são os melhores métodos de fusão de características para maximizar a acurácia na classificação de emoções?



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Questões de Pesquisa em Aberto (QPAs)

Continuação...

- A tecnologia de dispositivos vestíveis computacionais móveis beneficia os ambientes educacionais ao apoiar o aluno e melhorando experiências de aprendizagem adaptativas?
- Dados de sensores computacionais móveis vestíveis combinados juntos melhoram o reconhecimento de emoções do indivíduo?
- Qual o impacto da combinação de sinais EEG (*ElectroEncephaloGraphy*) e BVP (*Blood Volume Pressure*) na acurácia da classificação de emoções em um modelo LSTM (*Long Short Term Memory*) otimizado?
- Como a combinação de dados multimodais (dados fisiológicos e faciais, por exemplo) pode melhorar o reconhecimento de emoções?
- Qão a taxa de reconhecimento do estresse varia em função do emprego de modelos computacionais de reconhecimento de emoções personalizados?



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Questões de Pesquisa em Aberto (QPAs)

Continuação...

- Quais são os benefícios e limitações do uso de redes LSTM em comparação a outros modelos de aprendizado de máquina no contexto de reconhecimento de emoções baseado em dados temporais?
- Como diferentes algoritmos baseados em MIL (*Multiple Instance Learning*) se comparam em termos de eficiência computacional e desempenho em tarefas de classificação emocional?
- A integração do método MIL com tecnologias de computação em nuvem pode acelerar o treinamento de modelos de reconhecimento de emoções?
- Quais os impactos da coleta de dados em tempo real na precisão do reconhecimento de emoções utilizando dispositivos móveis vestíveis?
- Como a autoavaliação dos indivíduos sobre a sua condição emocional pode ser utilizada para melhorar a precisão dos modelos de reconhecimento de emoções?



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Conclusões

- Este trabalho evidenciou que dados coletados de sensores disponíveis em dispositivos computacionais móveis vestíveis, em conjunto com a Ciência da Computação, em especial do aprendizado de máquina, é capaz de apoiar o reconhecimento de estados emocionais do indivíduo com desempenho de eficácia variando de 58,55% à 95,78%;
- O estudo revelou também que dados de natureza fisiológica são em sua totalidade os mais utilizados no reconhecimento de emoções do indivíduo a partir de sensores disponíveis em dispositivos computacionais móveis vestíveis;



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Conclusões

- A pesquisa mostrou também que as emoções tristeza, felicidade, raiva e medo foram estados emocionais do indivíduo mais reconhecidos a partir de dados coletados de sensores computacionais móveis vestíveis, seguidos das emoções estresse, alegria e depressão;
- A investigação revelou também que no reconhecimento de emoções por meio de dispositivos computacionais móveis vestíveis são utilizadas diferentes combinações de técnicas de aprendizado de máquina e métodos de aprendizado profundo, empregados nas diversas fases que concorrem para a identificação de emoções, como por exemplo engenharia de *features*, utilizando algoritmo Boruta baseado em RF (*Random Forest*), classificações, ajuste fino de predições de classificadores de níveis inferiores;
 - Também foi evidenciado que os métodos estatísticos continuam frequentemente empregados, e que os métodos de aprendizado profundo estão se tornando mais frequentes também;
 - Outro método que merece destaque é o emprego de combinações de modelos com Bagging, Boosting e Stacking, que alcançaram resultados promissores.



Conclusões

- Quanto às Questões de Pesquisa em Aberto (QPAs), os resultados do estudo revelaram que as perspectivas de direções futuras centradas nos aspectos listados abaixo são fortemente relevantes a serem investigadas e implementadas para a consolidação da importância, aplicabilidade e eficácia referente à tecnologia computacional em questão:
 - 1 Combinar dados de sensores computacionais móveis vestíveis diferentes;
 - 2 Combinar várias características de dados de sensores;
 - 3 Monitorar a saúde do indivíduo após o reconhecimento de emoções;
 - 4 Aperfeiçoar a eficácia dos métodos computacionais de reconhecimento de emoções;
 - 5 Estender o uso da tecnologia de dispositivos computacionais móveis vestíveis no reconhecimento de emoções do indivíduo a outras áreas de conhecimento além da saúde, em especial para a educação.



Limitações

- Não ter explorado outros trabalhos científicos relevantes e disponíveis em Bases de Dados como **Scopus**, **SciELO**, **WOS** (*Web of Science*), **Google Scholar**, dentre outras, que permitiriam um enriquecimento maior do mapeamento do estado da arte feito, acerca do reconhecimento de emoções a partir de sensores disponíveis em dispositivos computacionais móveis vestíveis, se constituiu uma limitação desta pesquisa, ficando essa lacuna a ser preenchida como trabalho futuro.



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Agradecimentos

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Sistemas Distribuídos Inteligentes (LSDi), do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCC), da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), assim como apoiada pelo Departamento de Engenharia de Computação (DECOMP) e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação e Sistemas (PECS), ambos da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), nossos sinceros agradecimentos.



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

● CÍCERO COSTA QUARTO

- E-mail: cicero@engcomp.uema.br;
- Website: [URL]
- Lattes: [URL]

● LUIZ GONZAGA DE SOUZA PENHA

- E-mail: luiz.penha@lsdi.ufma.br;
- Website: [URL]
- Lattes: [URL]



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

Perguntas e Respostas

