

**DESENVOLVIMENTO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NEUROMÓRFICA PARA
AVALIAÇÃO POSTURAL FISIOTERAPÊUTICA INTEGRADO AO OPENCV**

**DEVELOPMENT OF NEUROMORPHIC ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR
PHYSIOTHERAPEUTIC POSTURAL ASSESSMENT INTEGRATED WITH OPENCV**

**DESARROLLO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL NEUROMORFICA PARA
EVALUACIÓN POSTURAL DE FISIOTERAPIA INTEGRADA CON OPENCV**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n7-304>

Data de submissão: 23/06/2025

Data de publicação: 23/07/2025

Antonio Wanzeler Neto

Graduando em Engenharia de Software

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: netowanzeler@gmail.com

Thiago Nicolau Magalhães de Souza Conte

Doutor em Engenharia Elétrica – Computação Aplicada

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: thiagoconte@uepa.br

Wilker José Caminha dos Santos

Especialista em Engenharia de Sistemas

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: wilker.caminha@uepa.br

Wanderson Alexandre da Silva Quinto

Doutor em Psicologia

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: w.quinto@uepa.br

Armando José de Sá Santos

Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: armando.santos@uepa.br

Beatriz Sampaio Quinto

Graduanda em Fisioterapia

Instituição: Centro Universitário do Estado do Pará (CESUPA)

E-mail: beatriz2418000043@aluno.cesupa.br

Alan Marcel Fernandes de Souza

Doutor em Engenharia Elétrica – Computação Aplicada

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: alan.souza@uepa.br

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema computacional voltado à automatização de avaliações posturais fisioterapêuticas, utilizando técnicas de inteligência artificial neuromórfica e visão computacional com a biblioteca OpenCV em Python, o sistema captura imagens dos pacientes durante as avaliações, e realiza análises avançadas, por meio de redes neuromórficas, para identificar e prever desvios posturais, contribuindo para diagnósticos mais precisos de patologias musculoesqueléticas. A proposta será aplicada em uma clínica localizada em Mocajuba-PA, visando aumentar a eficiência no monitoramento postural, reduzir erros manuais e otimizar o tempo dos profissionais de fisioterapia.

Palavras-chave: Inteligência Artificial Neuromórfica. OpenCV. Avaliação Postural Fisioterapêutica. Diagnósticos Musculoesqueléticos Automatizado.

ABSTRACT

This work presents the development of a computational system aimed at automating physiotherapy postural assessments, using neuromorphic artificial intelligence and computer vision techniques with the OpenCV library in Python. The system captures images of patients during assessments and performs advanced analyses using neuromorphic networks to identify and predict postural deviations, contributing to more accurate diagnoses of musculoskeletal pathologies. The proposal will be implemented in a clinic located in Mocajuba, Pará, aiming to increase the efficiency of postural monitoring, reduce manual errors, and optimize the time of physiotherapy professionals.

Keywords: Neuromorphic Artificial Intelligence. OpenCV. Physiotherapy Postural Assessment. Automated Musculoskeletal Diagnosis.

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema computacional para automatizar las evaluaciones posturales en fisioterapia, utilizando inteligencia artificial neuromórfica y técnicas de visión artificial con la biblioteca OpenCV en Python. El sistema captura imágenes de los pacientes durante las evaluaciones y realiza análisis avanzados mediante redes neuromórficas para identificar y predecir desviaciones posturales, lo que contribuye a diagnósticos más precisos de patologías musculoesqueléticas. La propuesta se implementará en una clínica ubicada en Mocajuba, Pará, con el objetivo de aumentar la eficiencia del monitoreo postural, reducir los errores manuales y optimizar el tiempo de los profesionales de la fisioterapia.

Palabras clave: Inteligencia Artificial Neuromórfica. OpenCV. Evaluación Postural en Fisioterapia. Diagnóstico Musculoesquelético Automatizado.

1 INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA), enquanto campo de pesquisa, teve sua origem formal no verão de 1956, sendo impulsionada por pioneiros como John McCarthy, Marvin Minsky, Alan Newell e Herbert Simon (SICHMAN, 2021). Desde então, a trajetória da IA tem sido marcada por ciclos de avanços e estagnações, configurando um percurso não linear de desenvolvimento, frequentemente comparado a uma curva senoidal.

Nas últimas décadas, observa-se um novo ciclo de expansão acelerada da IA, impulsionado sobretudo pelos modelos de linguagem de grande escala (Large Language Models - LLMs). Conforme Carraro (2023), essas tecnologias alcançaram mais de 100 milhões de usuários em apenas dois meses, tornando-se a tecnologia de adoção mais rápida da história. Ramkumar et al. (2022), destaca que: A Inteligência Artificial pode ser vista como a quarta revolução industrial e a fronteira emergente da medicina. Paralelamente, novas abordagens têm emergido com promissora abordagem prática, como a inteligência artificial neuromórfica – um paradigma que visa replicar a arquitetura neural do cérebro humano, promovendo resolver problemas complexos de forma mais eficiente e com menor consumo energético (INDIVERI; CHICCA; DOUGLAS, 2011). As possíveis aplicações da computação neuromórfica são vastas e variadas, por exemplo, esses sistemas podem ser usados para desenvolver próteses neurais que se comunicam diretamente com o sistema nervoso humano, permitindo controle mais natural e eficaz de membros artificiais (Melo, 2024).

No campo da saúde, e em particular na fisioterapia postural, a IA tem se mostrado uma ferramenta poderosa para aprimorar a exatidão no diagnóstico de problemas musculoesqueléticos, antecipar os resultados de reabilitação e ajudar na personalização dos tratamentos aprimorando diagnósticos e potencializando o trabalho de fisioterapeutas (Santos et al., 2024). De acordo com Physiopedia contributors (2024), discutindo a utilização de IA na área da saúde e reabilitação, destaca a aplicação de algoritmos de IA para: aprender, pensar, analisar e até auxiliar em práticas clínicas. Outrossim, evidencia a capacidade de buscar informações relevantes, ajudando na assertividade das decisões clínicas, impactando na redução de erros médicos nas práticas de saúde. Contudo, apesar de um grande potencial, esse tipo de soluções de saúde digital, ainda enfrenta desafios como escassez de infraestrutura tecnológicos (MV, 2023), bem como deficiência em infraestrutura elétrica principalmente clínicas de regiões rurais isoladas que se dão por gerador elétricos (GestãoDS, 2024). Modelos clássicos de aprendizado profundo dependem de GPUs de alto desempenho e apresentam consumo energético elevado, o que inviabiliza seu uso contínuo em ambientes com infraestrutura limitada (Gelles, 2024). Em contrapartida, a IA neuromórfica — baseada em redes de neurônios spiking que processam informações por “spikes” assíncronos — reduz drasticamente o consumo de

energia e a latência de resposta, graças ao processamento paralelo e à ausência do gargalo de memória típico de arquiteturas Von Neumann (Davies et al., 2018). Essas características tornam as SNNs especialmente adequadas para sistemas de avaliação postural, capazes de operar em tempo real e com baixo custo energético, preenchendo a lacuna deixada pelos modelos tradicionais.

Diante deste cenário, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema Inteligente para avaliação postural fisioterapêutica, baseado em IA neuromórfica e visão computacional, utilizando a biblioteca OpenCV em Python. A solução tem como objetivo automatizar a captura e análise de imagens posturais de pacientes, identificando padrões posturais e contribuindo para diagnósticos mais precisos e consistentes, com baixo custo energético e maior velocidade de processamento nos resultados.

O sistema será aplicado na Clínica FisioPilates, Dr^a Raisa Dias, em Mocajuba-PA, visando à validação prática da proposta em um contexto clínico real. Ao longo deste artigo, são apresentados o referencial teórico, os procedimentos metodológicos adotados, os resultados esperados e as contribuições do sistema para a prática fisioterapêutica regional.

2 PROBLEMÁTICA

A avaliação postural constitui uma etapa fundamental no processo fisioterapêutico, sendo determinante para o diagnóstico de patologias musculoesqueléticas como escoliose, hiperfíose e outras alterações posturais. Doenças musculoesqueléticas (DME) representam um desafio significativo para a saúde pública global e nacional, devido à sua alta prevalência, impacto na qualidade de vida e custos socioeconômicos associados. Segundo a Organização Mundial da Saúde (2023), estima-se que mais de 1,7 bilhão de pessoas em todo o mundo vivem com condições musculoesqueléticas, tornando-as a principal causa de anos vividos com deficiência, representando um desafio de grande magnitude para os sistemas de saúde pública. No Brasil, a situação é igualmente preocupante. Dados indicam que aproximadamente 45% da população sofre de dor crônica musculoesquelética, com maior prevalência em mulheres adultas e idosas, especialmente na região lombar. (WSCIEKLICA et al., 2023)

Apesar da importância clínica da avaliação postural na fisioterapia, a prática cotidiana ainda depende fortemente de métodos tradicionais baseados na observação visual e em registros manuais. Essas técnicas, além de exigirem alto grau de experiência do profissional, são caracterizadas por baixa padronização, alto grau de subjetividade e variações inter e intraavaliadores, comprometendo a reproduzibilidade e a acurácia do diagnóstico. Estudos demonstram que avaliações manuais podem apresentar concordância inferior a 70% entre diferentes fisioterapeutas, dificultando decisões clínicas mais seguras e consistentes (Pfeiffer & Pfeil, 2018).

Além disso, o tempo necessário para realização dessas avaliações, aliado a sobrecarga de trabalho em clínicas públicas ou com poucos recursos, contribui para atrasos no diagnóstico, filas prolongadas de atendimento e redução na personalização dos tratamentos, afetando diretamente a qualidade da atenção fisioterapêutica prestada.

Embora existam soluções tecnológicas no mercado, como o PostureScreen Mobile® e o PhysioCode, que se baseiam em visão computacional para análise postural, essas ferramentas apresentam limitações críticas para o contexto brasileiro. Primeiramente, o custo de aquisição e manutenção é elevado, exigindo assinatura mensal e dispositivos móveis de alto desempenho, o que inviabiliza sua adoção por clínicas em regiões com infraestrutura limitada. Além disso, essas plataformas não realizam análise totalmente automatizada em tempo real — ainda exigem intervenção manual para marcação de pontos anatômicos, o que compromete a eficiência do processo e perpetua o risco de erros humanos.

Outra limitação importante é que essas ferramentas operam com modelos de IA clássicos, que necessitam de grande poder computacional (GPUs ou nuvem), resultando em alto consumo energético e maior latência de resposta — aspectos incompatíveis com a realidade de clínicas públicas, rurais ou móveis, que muitas vezes operam com rede instável ou dependência de geradores elétricos (MV, 2023; GestãoDS, 2024).

Diante desse cenário, evidencia-se a necessidade de uma solução tecnológica que supere as limitações mencionadas, proporcionando avaliação postural automatizada, eficiente e de baixo custo energético. A inteligência artificial neuromórfica, baseada em redes spiking (SNNs), surge como alternativa inovadora: processa dados de forma assíncrona e paralela, com consumo energético até 1.000 vezes menor do que modelos convencionais (Davies et al., 2018). Integrada à biblioteca OpenCV em Python, essa abordagem permite a captação e análise de imagens posturais de forma autônoma e embarcada, mesmo em dispositivos de baixa potência, viabilizando aplicações clínicas em tempo real, escaláveis e acessíveis a contextos com infraestrutura limitada.

Essa proposta, representa um avanço significativo frente às soluções existentes, ao unir acessibilidade tecnológica, automação diagnóstica e eficiência energética — três elementos fundamentais para democratizar o acesso à fisioterapia de qualidade no Brasil.

2.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NEUROMÓRFICA

Diante das limitações dos métodos tradicionais de avaliação postural e das soluções comerciais existentes, torna-se imperativo explorar abordagens inovadoras que atendam às necessidades específicas da fisioterapia, especialmente em contextos com recursos limitados. Nesse cenário, a

Inteligência Artificial Neuromórfica emerge como uma solução promissora, oferecendo eficiência energética e processamento em tempo real, características essenciais para aplicações clínicas.

A inteligência artificial neuromórfica é uma abordagem inovadora da computação, que segundo Caballar e Stryker (2024), também é conhecida com: engenharia neuromórfica, onde se inspira diretamente no funcionamento do cérebro humano, para processar informações e resolver problemas complexos. Na visão de Ivanov et al. (2022), é destacado que diferentemente das redes neurais tradicionais, baseadas no modelo de Von Neumann, que operam com operações contínuas e síncronas, redes neuromórficas processam dados de forma assíncrona, com processamento paralelo, baseado em eventos, imitando a eficiência energética e a plasticidade sináptica observadas em sistemas biológico, por meio de impulsos elétricos discretos, conhecidos como "spikes", imitando o comportamento dos neurônios biológicos. Tal conceito é abordado como forma de atenuar as limitações dos sistemas da computação moderna principalmente das redes neurais baseadas na arquitetura de Von Neumann.

Redes neuromórficas utilizam neurônios spiking (Spiking Neural Networks - SNNs), que replicam fielmente o comportamento de neurônios biológicos por meio de impulsos elétricos discretos (*spikes*). Como destacado por Maass (1997), essas redes representam a "terceira geração" de modelos neurais, onde a informação é codificada temporalmente por meio de eventos discretos, em contraste com os valores contínuos utilizados em redes neurais convencionais (DNNs). Essa codificação temporal permite maior eficiência energética, uma vez que o processamento ocorre apenas quando os neurônios atingem limiares pré-definidos, reduzindo operações redundantes (DAVIES et al., 2018).

Para Schuller e Stevens (2015), a arquitetura neuromórfica busca superar as limitações da computação tradicional, como o gargalo de memória e o alto consumo energético inerentes ao modelo de Von Neumann. Além disso, plataformas como o chip Loihi, desenvolvido pela Intel Labs, demonstram que SNNs podem alcançar eficiências energéticas até 1.000 vezes superiores a sistemas convencionais em tarefas de aprendizado não supervisionado (DAVIES et al., 2018). Roy et al. (2019), comenta que a escalabilidade em sistemas neuromórficos e sua compatibilidade com paradigmas de computação em memória (*in-memory computing*) posicionam-nos como candidatos promissores para a próxima geração de inteligência artificial, especialmente em contextos onde latência e consumo energético são críticos.

No contexto da saúde, especialmente na fisioterapia, a aplicação de sistemas de avaliação postural com IA neuromórfica, oferece vantagens significativas. Esses sistemas podem operar em tempo real, com baixo consumo energético, possibilitando feedback imediato durante sessões de Avaliação postural, mesmo em ambientes com infraestrutura limitada. Abordagem semelhantes já estão em desenvolvimento como por exemplo, o sistema *PosePilot*, que utiliza inteligência artificial

para reconhecimento automático da postura humana e fornece feedback personalizado de correção postural em tempo real, superando as limitações das soluções tradicionais de fitness (Gadhvi, Desai e Siddharth, 2025).

A adoção dessa tecnologia é impulsionada pela necessidade de soluções sustentáveis no campo energético para desafios computacionais emergentes, pois segundo Gelles (2024), os data centers utilizados por IA tem grande apetite por eletricidade, devido utilizar processamento gráfico, conhecidos como GPUs, para treinamento dos modelos e consultas. O autor desta que estudos mostram que IA, pode representar 0,5% do consumo global de eletricidade até 2027, o que equivale aproximadamente ao consumo anual da Argentina.

Tais características tornam a abordagem neuromórfica, especialmente adequadas para sistemas de análise postural fisioterapêutica, atendendo às demandas por soluções acessíveis, eficientes e adaptáveis às necessidades clínicas. A integração com bibliotecas como o OpenCV em Python, permite a captura e análise de imagens posturais dos pacientes, identificando padrões posturais e contribuindo para diagnósticos mais precisos e consistentes, mesmo em ambientes com recursos limitados.

2.1.1 Simulação

Para simular os modelos de Inteligência Artificial Neuromórfica (IAN), a fim de analisar as imagens capturadas por câmeras e processadas pela biblioteca OpenCV em Python, com o intuito do desenvolvimento do sistema Inteligente para avaliação postural fisioterapêutica, baseado em IA neuromórfica, se faz necessário, estratégias distintas em software e hardware, visando equilibrar precisão biológica, escalabilidade e eficiência energética.

Em simulação por software, ferramentas como o *NEST-SIMULATOR*, que permite a modelagem biofisicamente realista de redes *spiking* complexas, suportando paralelismo em larga escala para estudos de plasticidade sináptica e dinâmica de populações neuronais (GEWALTIG; DIESMANN, 2007). Alternativamente, o *BRIAN2*, oferece flexibilidade na descrição matemática de neurônios e sinapses por meio de equações diferenciais, facilitando a prototipagem de algoritmos inspirados em processos neurofisiológicos (STIMBERG et al., 2019). Outrossim, o *NENGO*, destaca-se pela integração com sistemas de controle robótico, utilizando princípios da Teoria de Sistemas Dinâmicos para mapear funções cognitivas em arquiteturas neuromórficas (BEKOLAY et al., 2014).

No âmbito do hardware especializado, destaca-se o chip Loihi, desenvolvido pela Intel Labs, que implementa *SNNs* diretamente em silício, combinando núcleos programáveis com blocos de aprendizado online. Essa arquitetura elimina o gargalo de comunicação entre memória e processador típico do modelo de Von Neumann, reduzindo o consumo energético (DAVIES et al., 2018).

A escolha entre simulação *software* e *hardware* depende do contexto: enquanto abordagens em software são ideais para validação teórica e ajuste de parâmetros, implementações em hardware neuromórfico são críticas para aplicações embarcadas, como processamento sensorial em robótica autônoma, onde restrições de energia e latência são prioritárias (ROY et al., 2019).

Considerando que tal proposta é um sistema protótipo, a escolha para seguir com a pesquisa, foi por um modelo de simulação por software, com a intenção de aprimorar e calibrar o sistema às exigências ideais para o uso clínico, permitindo ajustar e aumentar a precisão e assertividade do sistema. No contexto deste estudo, modelo neuromórfico adotado será baseado em redes de neurônios do tipo *Spiking*, e será simulado por meio da ferramenta *NEST-SIMULATOR*, para testar a capacidade do modelo neuromórfico em identificar padrões posturais, com o objetivo de detectar possíveis patologias musculoesqueléticas, simulados a partir das imagens capturadas pelas câmeras e processadas com a biblioteca OpenCV, com o objetivo de identificar pontos de referência anatômicos, como alinhamentos articulares, ângulos entre segmentos corporais e deslocamentos posturais. Esses dados são convertidos vetores numéricos por meio da estrutura de arrays multidimensionais, para servir como entradas nas redes neurais Spiking. Uma vez validado e calibrado, o modelo poderá ser aplicado em contextos clínicos por meio da utilização do Sistemas de Avaliação Postural.

2.1.2 Aplicações Vantagens e Desafios

A inteligência artificial neuromórfica tem sido aplicada em diversos domínios, destacando-se pela eficiência energética e processamento temporal. Em contextos fisioterapêuticos tem demonstrado benefícios concretos. Por exemplo, Wang et al. (2022) desenvolveram uma cadeira inteligente que utiliza uma SNN do tipo Liquid State Machine para reconhecer 15 posturas sentadas com precisão de 88,5% em um estudo com 19 participantes. O sistema também fornece feedback imediato ao usuário, promovendo autocorreção da postura. É importante destacar o sistema do *PosePilot*, que utiliza inteligência artificial a fim de reconhecer de forma automática a postura humana, apontando de forma personalizada a correção postural, superando as limitações das soluções tradicionais de fitness (Gadhvi, Desai e Siddharth, 2025). Na robótica, sistemas como os propostos por Schuman et al. (2022) utilizam SNNs para controle motor adaptativo e integração sensoriomotora em ambientes dinâmicos, reduzindo a latência em até 40% comparado a abordagens clássicas. Em visão computacional, sensores neuromórficos baseados em eventos assíncronos para cada pixel. Os dispositivos neuromórficos não gravam dados redundantes devido à natureza assíncrona. As retinas neuromórficas (como são conhecidas) enviam pacotes de dados informando apenas o endereço do pixel que captou uma variação significativa de luminosidade (POSCH, 2008), (LIU, 2015) apud GOUVEIA (2019). Na saúde, chips

neuromórficos são empregados no processamento de sinais biomédicos, como a detecção de anomalias em EEG e ECG em tempo real, com precisão superior a 95% em ambientes de baixa potência (CHAOMING et al., 2022).

Embora a IA neuromórfica ofereça ganhos substanciais em eficiência energética, processamento em tempo real e robustez inspirada em padrões biológicos, que tem a capacidade de lidar com dados ruidosos e complexos, ela enfrenta desafios significativos que limitam sua expansão. Por se tratar de uma tecnologia emergente, não seria diferente de qualquer outra em fase primária. De acordo com Caballar e Striker (2024), podemos destacar a curva de aprendizado íngreme, pois necessita domínio em diversas áreas complexas tais como Biologia, Ciência da Computação, Matemática, Neurociência e tec.; Falta de benchmarks definido, tornando difícil avaliar o desempenho e comprovar a eficácia; Falta de normas quando se trata de Arquiteturas, Hardware e Software. Para Luna (2025), a falta de padronização, é um desafio, pois embora exista uma crescente de projetos Neuromórficos, ainda não existem um padrão amplamente consolidados, em Software e Hardware, impactando diretamente na escalabilidade comercial.

Neste trabalho, aplica-se a abordagem neuromórfica à análise postural em fisioterapia, integrando SNNs com visão computacional baseada em eventos. Como demonstrado por Chaoming et al. (2023) em processamento de sinais biomédicos, a capacidade de detectar padrões temporais complexos com baixo consumo energético permite automatizar diagnósticos posturais, reduzindo a subjetividade das avaliações clínicas e otimizando o fluxo de trabalho terapêutico.

2.2 VISÃO COMPUTACIONAL

A visão computacional, especialmente quando integrada a bibliotecas como o OpenCV, se mostrado uma ferramenta poderosa na avaliação postural fisioterapêutica. Essa tecnologia permite a captura e análise automatizada de imagens, facilitando a identificação de padrões posturais auxiliando no diagnóstico de disfunções musculoesqueléticas.

Algoritmos de detecção de pontos articulares são empregados para mapear estruturas-chave do corpo, como ombros e coluna vertebral. A partir dessa detecção, é possível analisar o alinhamento corporal comparando os dados obtidos com padrões pré-estabelecidos. Por exemplo, o estudo de Portela et al. (2019) desenvolveu uma aplicação móvel que utiliza visão computacional para avaliação postural, demonstrando a viabilidade dessa abordagem na prática clínica. Entre os métodos mais utilizados destacam-se os algoritmos baseados em aprendizado de máquina supervisionado, que engloba um grande volume de amostras de características rotuladas com alguma informação útil acerca daquelas características e a mais recentemente, as Redes Neurais Convolutivas, também conhecida por

aprendizado profundo, que revolucionaram a classificação de imagens ao permitir a extração de características visuais em diferentes camadas, processo que é biologicamente inspirado e conhecido como aprendizado em cascata (WENG, 1992) apud (GOUVEIA, 2019). Entretanto, mesmo com o avanço significativo da visão computacional nas últimas décadas, a visão computacional encontra-se longe de alcançar a eficiência na interpretação das informações de uma cena, que uma criança de três anos de idade faria facilmente, sem contar que na abordagem prática, que tal tecnologia, exige bastante poder de processamento para realizar a tarefa de atribuir significado aos valores de pixels que representam uma imagem, onerando o custo financeiro da tecnologia supra (GOUVEIA, 2019).

2.2.1 Integração com Agentes Inteligentes

A combinação da visão computacional com modelos de inteligência artificial, como as redes neuromórficas, potencializa a análise de dados visuais em tempo real. Essa integração permite que sistemas aprendam e se adaptem a variações individuais, aumentando a precisão das avaliações posturais. Segundo Santos et al. (2023), a sinergia entre fisioterapia e IA tem o potencial de revolucionar as práticas de reabilitação, oferecendo diagnósticos mais precisos e tratamentos personalizados.

Apesar dos avanços, a aplicação da visão computacional na avaliação postural enfrenta desafios, como a sensibilidade a variações de iluminação e o posicionamento do paciente durante a captura das imagens. Além disso, a calibração cuidadosa dos equipamentos é essencial para garantir a precisão das medições. Portela et al. (2019) destacam a importância de um ambiente controlado para minimizar essas variáveis e assegurar resultados confiáveis.

A avaliação postural é uma prática fundamental na fisioterapia, visando analisar o alinhamento dos segmentos corporais em relação à linha de gravidade, com o objetivo de identificar desequilíbrios musculoesqueléticos que possam predispor a lesões ou disfunções. Tradicionalmente, essa avaliação é realizada de forma qualitativa, baseando-se na observação clínica e na experiência do profissional. No entanto, estudos indicam que a subjetividade inerente a esse método pode comprometer a confiabilidade dos resultados, Iunes et al. (2009).

Com o avanço da tecnologia, métodos quantitativos têm sido incorporados para aprimorar a precisão das avaliações posturais. A fotogrametria, por exemplo, utiliza a análise de fotografias digitais para mensurar ângulos e alinhamentos corporais, oferecendo dados objetivos que complementam a avaliação visual. Pesquisas demonstram que a fotogrametria computadorizada pode reduzir a variabilidade inter observador, aumentando a consistência dos diagnósticos posturais. Iunes et al. (2009).

Para Brito et al. (2016), Além da fotogrametria, outros instrumentos têm sido desenvolvidos para a avaliação postural. O uso de softwares específicos permite a análise detalhada do alinhamento corporal, facilitando a identificação de desvios posturais e auxiliando na elaboração de planos de intervenção mais eficazes. Esses recursos tecnológicos contribuem para uma abordagem mais objetiva e padronizada na avaliação postural, minimizando a subjetividade e potencializando a eficácia das intervenções fisioterapêuticas.

No contexto da fisioterapia, Noll et al. (2013), a avaliação postural é essencial não apenas para a identificação de alterações estáticas, mas também para o entendimento das compensações dinâmicas que o corpo realiza durante o movimento. A integração de métodos qualitativos e quantitativos proporciona uma compreensão mais abrangente das disfunções posturais, permitindo intervenções mais direcionadas e eficazes.

Em suma, a incorporação de ferramentas tecnológicas na avaliação postural representa um avanço significativo na prática fisioterapêutica, oferecendo maior precisão diagnóstica e auxiliando na monitorização da eficácia das intervenções terapêuticas.

3 TRABALHOS CORRELATOS

Estudos anteriores têm investigado a integração de tecnologias para avaliação postural, com resultados promissores, porém ainda apresentam limitações significativas quanto à automação, e eficiência energética e precisão em ambientes não controlados.

Um exemplo amplamente citado é o *PostureScreen Mobile®* (PSM), voltado a análise postural estática a partir de fotografias. Em um estudo conduzido por Boland et al. (2016), o PSM demonstrou concordância quase perfeita ($ICC \geq 0,81$) em medidas como deslocamento lateral da cabeça e inclinação do quadril, mesmo entre usuários com diferentes níveis de experiência. No entanto, a precisão diminuiu em condições de vestuário completo, especialmente para marcos anatômicos obscuros (ex.: espinha ilíaca ântero-superior). O aplicativo tem com informações relevantes a vantagem de ser de baixo custo e facilidade de uso, exigindo treinamento mínimo. A limitação, por ter precisão reduzida em medidas dependentes de marcos anatômicos ocultos por roupas (ex.: inclinação do quadril, $ICC = 0,26$). Recomendação de uso em condições de vestuário mínimo para maximizar a confiabilidade (BOLAND et al., 2016, p. 3401).

Outra iniciativa relevante é o *PhysioCode*, sistema de código aberto desenvolvido em uma tese de doutorado na Faculdade de Ciências Médicas de Minas Gerais. Segundo Sabino (2023), o aplicativo utiliza inteligência artificial para identificar postos-chaves do corpo (como ombros e coluna vertebral) e compara os dados com padrões populacionais, gerando relatórios detalhados. A versão premium (R\$

17,99–R\$ 35,99) inclui funcionalidades como monitoramento de evolução postural e integração com profissionais de saúde. Possui diferencial por democratizar o acesso à análise postural, mas depende da interpretação humana para diagnósticos finais, limitando a automação (SABINO, 2023). Tem Limitação pois não utiliza redes neuromórficas spikes, resultando em alto consumo energético para processamento em tempo real.

Enquanto soluções como *PostureScreen Mobile®* e *PhysioCode* oferecem acessibilidade, nosso sistema combina IA neuromórfica (para acessibilidade tecnológica, eficiência energética e automação diagnóstica) e OpenCV (para adaptação a ambientes reais), superando limitações de automação e precisão. A integração de um banco de dados para mineração de padrões patológicos permite diagnósticos automatizados e personalizados, otimizando o tempo de profissionais e pacientes.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa possui caráter exploratório, com objetivo de investigar a integração de duas tecnologias emergentes: inteligência artificial neuromórfica, baseada Redes Neurais de Picos (SNNs) e visão computacional, utilizando a biblioteca Python OpenCV, para captura e processamento de imagens. O foco é sua aplicação na avaliação postural fisioterapêutica, visando a identificação de padrões patológicos.

Segundo Gil (2019), estudos exploratórios são comuns em áreas onde o conhecimento é incipiente ou quando se busca testar novas abordagens para problemas conhecidos ele também frisa que esse modelo de pesquisa tem familiaridade com problemas e pesquisa que visam torna-se mais explícito ou a construir hipóteses. No caso deste trabalho, a aplicação de redes neuromórficas para análise postural automatizada constitui uma inovação, exigindo a exploração de métodos de integração, calibração de parâmetros e adaptação de algoritmos a dados biomédicos.

Além disso, trata-se também de uma pesquisa quantitativa, pois utiliza métricas objetivas para validação dos resultados. Tais como:

- Avaliação de precisão, com comparação estatística (e.g., coeficiente de correlação, erro médio quadrático) entre diagnósticos gerados pelo sistema e avaliações de fisioterapeutas;
- Eficiência energética, com medição do consumo energético do sistema neuromórfico em comparação a abordagens tradicionais (ex.: GPUs);
- Tempo de processamento, avaliando a latência para da análise de imagens em tempo real.

Essas medidas permitem a realização de análises estatísticas e generalizações sobre o desempenho do sistema (GIL, 2019).

Embora não seja o foco principal, há componentes qualitativos na fase de validação, tais como:

- o feedback de profissionais, com uma avaliação subjetiva de fisioterapeutas sobre a usabilidade e confiabilidade do sistema;
- Análise de viabilidade clínica, considerando a adaptação da ferramenta a diferentes contextos terapêuticos.

Como método, será realizada uma revisão sistemática da literatura, com a leitura e análise de artigos científicos sobre a aplicação da inteligência artificial neuromórfica e visão computacional na avaliação postural. Trabalhos correlatos serão utilizados para embasamento teórico e comparações de resultados esperados.

As ferramentas escolhidas aliam agilidade de desenvolvimento, flexibilidade de uso e robustez para atender aos requisitos de visionamento e simulação neuromórfica, sendo elas:

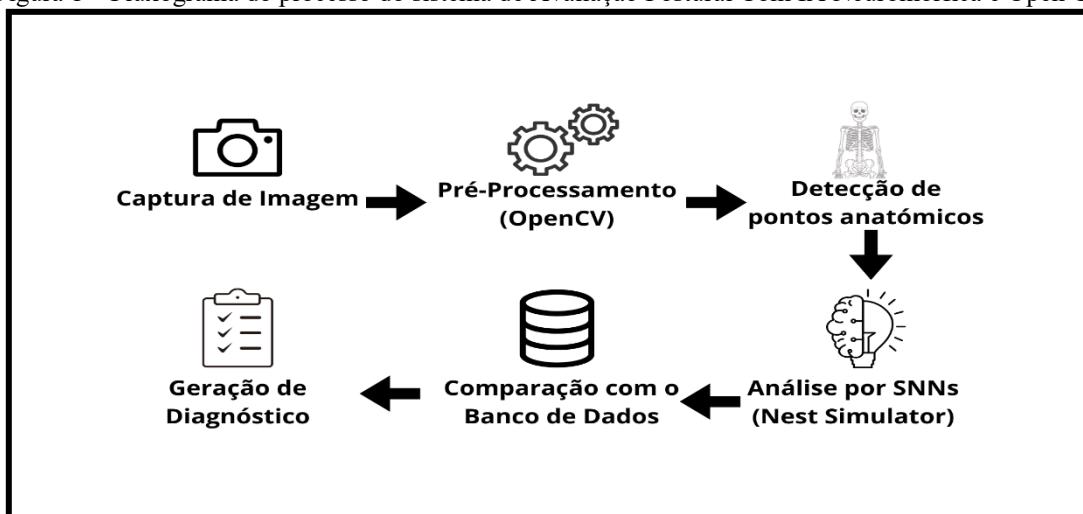
- **Python**: linguagem de alto nível com sintaxe clara e extenso ecossistema de bibliotecas. Suporta integração direta com OpenCV para visão computacional e PyNEST para simulação de SNNs. Segundo Bekolay et al. (2014), essa combinação permite prototipagem rápida de algoritmos bioinspirados e facilita a transição de modelos teóricos para aplicações clínicas.
- **OpenCV**: biblioteca Open-Source otimizada para processamento de imagens em tempo real. Oferece funções especializadas (e.g., detecção de contornos, transformações geométricas, filtragem de ruído) essenciais para localizar marcadores anatômicos como ombros e coluna vertebral.
- **NEST Simulator**: ambiente de simulação de SNNs em grande escala. Implementa modelos biofísicos e suporta paralelismo via MPI/threads, permitindo testar redes com milhões de neurônios e bilhões de sinapses antes da implantação em hardware neuromórfico.
- **Sistema de captura de vídeo**: câmeras 4K a 60 fps com sensores CMOS de alta sensibilidade, conforme recomendado por Boland et al. (2016), garantem resolução suficiente para medir microdesvios posturais e manter baixos níveis de ruído em ambientes com iluminação limitada.

A coleta de dados será realizada com voluntários que consentirem em participar do estudo. De acordo com Iunes (2009), a amostra deve seguir a resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde que foi aprovada em 10 de outubro de 1996, onde estabelece normas e diretrizes para pesquisas com seres humanos, em qualquer área do conhecimento. Imagens dos participantes serão capturadas em ambiente controlado, garantindo iluminação uniforme e fundo neutro para minimizar interferências no processamento das imagens.

As imagens capturadas serão processadas utilizando a biblioteca OpenCV para detectar pontos anatômicos relevantes, que segundo Gaffar (2021), permite a estimativa de pose humana em tempo real. Os dados obtidos serão analisados por uma rede neuromórfica implementada no NEST Simulator, ferramenta validada para modelagem de redes spiking em larga escala com precisão biológica (GEWALTIG; DIESMANN, 2007).

Os resultados obtidos pelo sistema desenvolvido serão validados por meio de comparação com avaliações realizadas por fisioterapeutas experientes, seguindo métodos tradicionais de análise postural como de ADAMS (1985), ASCHER (1976), CAILLET (1988) e MORO (1973). A concordância entre as análises será quantificada para verificar a eficácia do sistema como foi o caso de Iunes (2009), que demonstra a eficácia dessa análise comparativa conforme demonstra a Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do processo do sistema de Avaliação Postural Com IA Neuromórfica e Open CV



Fonte: Elaborada pelos Autores, 2025

Na fase final (Validação por Especialistas), os diagnósticos gerados pelo sistema são comparados com avaliações manuais de fisioterapeutas experientes. A concordância é quantificada usando métricas como Índice Kappa de Cohen (para concordância Inter observador) e Acurácia Global. Caso a precisão seja inferior a 85%, o sistema retorna à etapa de [Análise por SNNs] para ajuste de parâmetros (ex.: limiares de ativação de neurônios spiking). Esse ciclo iterativo garante a robustez do sistema antes da implantação clínica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação postural é uma prática essencial na fisioterapia, visando identificar desalinhamentos e desequilíbrios musculares que podem levar a disfunções e dores. Tradicionalmente, essa avaliação é realizada de forma qualitativa, baseando-se na observação clínica e na experiência do

profissional. Contudo, avanços tecnológicos têm permitido o desenvolvimento de métodos quantitativos que complementam essa análise, proporcionando maior precisão e objetividade.

Métodos qualitativos envolvem a inspeção visual direta, onde o fisioterapeuta observa o paciente em diferentes posturas e planos, identificando possíveis assimetrias ou desvios. Embora amplamente utilizados, esses métodos podem ser subjetivos e dependem da experiência do avaliador. Por outro lado, métodos quantitativos utilizam ferramentas como a fotogrametria, que consiste na análise de fotografias do paciente para mensurar ângulos e alinhamentos corporais. Estudos indicam que a fotogrametria aumenta a confiabilidade das avaliações posturais, reduzindo a variabilidade Inter observador Iunes et al. (2009).

A integração da visão computacional na avaliação postural tem se mostrado promissora. Aplicações móveis, por exemplo, utilizam algoritmos de reconhecimento de padrões para analisar a postura a partir de imagens capturadas, facilitando o diagnóstico e acompanhamento de pacientes Portela et al. (2019).

Além disso, sistemas de inteligência artificial têm sido desenvolvidos para monitorar a postura em ambientes laborais, identificando e classificando posturas de risco, contribuindo para a prevenção de lesões ocupacionais esses recursos tecnológicos oferecem dados objetivos que complementam a avaliação clínica, possibilitando um diagnóstico mais preciso e um planejamento terapêutico mais eficaz. Em suma, a avaliação postural evoluiu significativamente com o advento de tecnologias que permitem análises mais detalhadas e objetivas. A combinação de métodos qualitativos e quantitativos enriquece a prática fisioterapêutica, contribuindo para intervenções mais assertivas e eficazes. Da Silva e Silva (2023).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente pré-projeto propõe o desenvolvimento de um sistema computacional integrado que utiliza inteligência artificial neuromórfica e visão computacional para automatizar a avaliação postural fisioterapêutica. A inovação reside na capacidade de capturar imagens, analisar padrões posturais e fornecer diagnósticos automatizados por meio de redes neuromórficas, aumentando a precisão e a eficiência das avaliações.

Espera-se que a aplicação dessa solução contribua para otimizar o trabalho dos profissionais de fisioterapia, tornando as análises posturais mais objetivas e menos dependentes da subjetividade inerente aos métodos tradicionais. Além disso, a possibilidade de automatizar a detecção de desvios posturais pode resultar em diagnósticos mais precoces e tratamentos mais eficazes. Do ponto de vista científico, o projeto oferece uma oportunidade valiosa para explorar a combinação de redes

neuromórficas com visão computacional, uma abordagem ainda pouco explorada em estudos voltados à saúde. As tecnologias escolhidas, como a biblioteca OpenCV e o simulador NEST, são ferramentas robustas que permitirão a implementação e validação eficiente do sistema.

Contudo, há desafios a serem enfrentados, como a necessidade de calibração adequada das câmeras, a qualidade dos dados capturados e a validação clínica dos resultados. O cumprimento desses requisitos será fundamental para garantir a aplicabilidade prática do sistema. A integração de inteligência artificial neuromórfica e visão computacional tem o potencial de revolucionar a avaliação postural fisioterapêutica. Ao automatizar o processo de análise postural, o sistema proposto busca proporcionar diagnósticos mais precisos, reduzir erros manuais e otimizar o tempo dos profissionais de saúde.

Embora em fase de pré-projeto, a pesquisa apresenta contribuições significativas para o campo da fisioterapia digital e para o avanço tecnológico na área da saúde. Estudos futuros devem se concentrar na validação prática do sistema, com testes em ambiente clínico e comparação com métodos tradicionais. Se bem-sucedida, a solução poderá representar um importante avanço no cuidado personalizado e baseado em evidências.

REFERÊNCIAS

BARELLI, F. Introdução à visão computacional: uma abordagem prática com Python e OpenCV. São Paulo: Casa do Código, 2018.

BEKOLAY, T. et al. Nengo: a Python tool for building large-scale functional brain models. *Frontiers in Neuroinformatics*, v. 7, p. 48, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fninf.2013.00048>.

BEKOLAY, T. et al. Nengo: uma ferramenta Python para construir modelos cerebrais funcionais em larga escala. *Frontiers in Neuroinformatics*, v. 7, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fninf.2013.00048>. Acesso em: 7 abr. 2025.

BOLAND, D. M. et al. Inter- and intra-rater agreement of static posture analysis using a mobile application. *Journal of Physical Therapy Science*, v. 28, n. 12, p. 3398-3402, 2016. DOI: 10.1589/jpts.28.3398.

BRITO, A. et al. Métodos qualitativos e quantitativos de avaliação do alinhamento postural. *Fisioterapia Brasil*, v. 17, n. 3, p. 275, 2016. DOI: 10.33233/fb.v17i3.488.

CABALLAR, R. D.; STRYKER, C. O que é computação neuromórfica? IBM, 27 jun. 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/neuromorphic-computing>. Acesso em: 8 fev. 2025.

CARRARO, F. Inteligência artificial e ChatGPT: da revolução dos modelos de IA generativa à engenharia de prompt. São Paulo: Casa do Código, 2023.

CORRÊA, L. O. F. et al. Sinergia entre fisioterapia e inteligência artificial: tendências atuais, desafios e direções futuras. Revisão integrativa. *Revista CPAQV - Centro de Pesquisas Avançadas em Qualidade de Vida*, v. 15, n. 3, 2023. DOI: 10.36692/V15N3-23R. Disponível em: <https://revista.cpaqv.org/index.php/CPAQV/article/view/1361>. Acesso em: 30 jan. 2025.

DA SILVA, F. M.; SILVA, J. M. N. Classificação do risco postural de atividades laborais por inteligência artificial. ResearchGate, Delmiro Gouveia, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/374093193_CLASSIFICACAO_DO_RISCO_POSTURAL_DE_ATIVIDADES_LABORAIS_POR_INTELIGENCIA_ARTIFICIAL. Acesso em: 30 jan. 2025.

FANG, C. et al. Um processador compacto de biossinais neuromórficos de pico de aprendizado online. In: Simpósio Internacional IEEE de 2022 sobre Circuitos e Sistemas (ISCAS), 2022, Austin. Anais [...]. Austin: IEEE, 2022. p. 2147-2151. DOI: 10.1109/ISCAS48785.2022.9937459.

GADHVI, R.; DESAI, P.; SIDDHARTH, S. PosePilot: an edge-AI solution for posture correction in physical exercises. arXiv preprint, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2505.19186>. Acesso em: 1 jun. 2025.

GAFFAR, S. A. Estimativa de pose usando OpenCV. Analytics Vidhya, 2021. Disponível em: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/10/human-pose-estimation-using-opencv/>. Acesso em: 7 abr. 2025.

GELLES, D. Como o uso da inteligência artificial pode sobrecarregar o consumo de energia. InfoMoney, 16 jul. 2024. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/minhas-financas/como-o-uso-da-inteligencia-artificial-pode-sobrecarregar-o-consumo-de-energia/>. Acesso em: 1 abr. 2025.

GESTAODS. Como a telemedicina está aumentando o acesso à saúde em regiões remotas. GestãoDS, 8 out. 2024. Disponível em: <https://www.gestaods.com.br/como-a-telemedicina-esta-aumentando-o-acesso-a-saude-em-regioes-remotas/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

GEWALTIG, M. O.; DIESMANN, M. NEST (Neural Simulation Tool). Scholarpedia, v. 2, n. 4, p. 1430, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.4249/scholarpedia.1430>.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GOUVEIA, E. B. Identificação de objetos utilizando visão neuromórfica e redes neurais convolutivas. 2019. Graduação em Engenharia Biomédica – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <http://orcid.org/0000-0003-2135-3844>.

INDIVERI, G.; CHICCA, E.; DOUGLAS, R. Artificial cognitive systems: from VLSI networks of spiking neurons to neuromorphic cognition. Cognitive Computation, v. 1, n. 2, p. 119-127, 2009. DOI: 10.1007/s12559-008-9003-6.

IUNES, D. H. et al. Análise comparativa entre avaliação postural visual e por fotogrametria computadorizada. Revista Brasileira de Fisioterapia, v. 13, n. 4, p. 308-315, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfis/a/K3J45vByb6HgPyKP7C6vLVL/?lang=pt>. Acesso em: 30 jan. 2025.

IVANOV, D. et al. Neuromorphic artificial intelligence systems. arXiv preprint, 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2205.13037.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2025.

LUNA, J. C. O que é computação neuromórfica? DataCamp, 31 jan. 2025. Disponível em: <https://www.datacamp.com/blog/what-is-neuromorphic-computing>. Acesso em: 10 jun. 2025.

MAASS, W. Networks of spiking neurons: the third generation of neural network models. Neural Networks, v. 10, n. 9, p. 1659-1671, 1997. DOI: 10.1016/S0893-6080(97)00011-7.

MELO, L. Computação neuromórfica: explorando o futuro da IA inspirada no cérebro humano. Impulso, [s.d.]. Disponível em: <https://impulsotech.dev/blog/computacao-neuromorfica-futuro-da-ia>. Acesso em: 21 abr. 2025.

MV INFORMÁTICA NORDESTE LTDA. Saúde pública digital: desafios reais e caminhos possíveis. MV, 11 jul. 2023. Disponível em: <https://mv.com.br/blog/saude-publica-digital-desafios-e-caminhos-possiveis>. Acesso em: 16 abr. 2025.

NOLL, M.; CANDOTTI, C. T.; VIEIRA, A. Instrumentos de avaliação da postura dinâmica: aplicabilidade ao ambiente escolar. Fisioterapia em Movimento, v. 26, n. 1, p. 203-217, 2013. DOI: 10.1590/S0103-51502013000100023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-51502013000100023>. Acesso em: 30 jan. 2025.

PFEIFFER, M.; PFEIL, T. Deep learning with spiking neurons: opportunities and challenges. *Frontiers in Neuroscience*, v. 12, p. 774, 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2018.00774/full>. Acesso em: 30 jan. 2025.

PHYSIOPEDIA CONTRIBUTORS. Artificial intelligence (AI) in health care and rehabilitation. *Physiopedia*, 28 ago. 2024. Disponível em: [https://www.physiopedia.com/index.php?title=Artificial_Intelligence_\(AI\)_In_Health_Care_and_Rehabilitation&oldid=357507](https://www.physiopedia.com/index.php?title=Artificial_Intelligence_(AI)_In_Health_Care_and_Rehabilitation&oldid=357507). Acesso em: 16 abr. 2025.

PORTELA, H. M. et al. Aplicação móvel para avaliação postural usando visão computacional. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, 2019. [S.I.]: SBAI, 2019. DOI: 10.17648/sbai-2019-111491.

RAMKUMAR, P. N. et al. Sports medicine and artificial intelligence: a primer. *American Journal of Sports Medicine*, v. 50, n. 4, p. 1166-1174, 2022. DOI: 10.1177/03635465211008648.

ROY, K.; JAISWAL, A.; PANDA, P. Towards spike-based machine intelligence with neuromorphic computing. *Nature*, v. 575, p. 607-617, 2019. DOI: 10.1038/s41586-019-1677-2.

SABINO, G. App avalia postura e possibilita monitorar a evolução postural com inteligência artificial. *Setor Saúde*, 11 nov. 2023. Disponível em: <https://setorsaude.com.br/app-avalia-postura-e-possibilita-monitorar-a-evolucao-postural-com-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 30 jan. 2025.

SANTOS, A. C. C.; MARIANO, L. M. B.; ARAÚJO, G. A. F. B. Aplicações da inteligência artificial na fisioterapia: uma revisão integrativa. *Ciências da Saúde*, v. 29, ed. 140, 2024. DOI: 10.69849/revistaft/ch1020241122157.

SCHULLER, I. K. et al. Neuromorphic computing – from materials research to systems architecture roundtable. [S.I.]: [s.n.], 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.2172/1283147>.

SCHUMAN, C. D. et al. NeoN: neuromorphic control for autonomous robotic navigation. In: *IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors*, 2017, Canadá. Anais [...]. [S.I.]: IEEE, 2017. Disponível em: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1423018>. Acesso em: 1 abr. 2025.

SICHMAN, J. S. Inteligência artificial e sociedade: avanços e riscos. *Estudos Avançados*, v. 35, n. 101, p. 37-50, 2021. DOI: 10.1590/s0103-4014.2021.35101.004. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/185024>. Acesso em: 30 jan. 2025.

STIMBERG, M. et al. Brian 2, an intuitive and efficient neural simulator. *eLife*, v. 8, p. e47314, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.7554/eLife.47314>.

THORPE, S.; IMBERT, M. Biological constraints on connectionist modelling. In: PFEIFFER, R. et al. (Eds.). *Connectionism in perspective*. Amsterdam: Elsevier, 2019. p. 63-92. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-1483290469.50010-5>. Acesso em: 30 jan. 2025.

WANG, J. et al. Sitting posture recognition using a spiking neural network. *IEEE Sensors Journal*, v. 21, n. 2, p. 1779-1786, 2021. DOI: 10.1109/JSEN.2020.3016611.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Musculoskeletal conditions. WHO, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>. Acesso em: 15 out. 2023.

WSCIEKLICA, T. et al. Atualização sobre a dor crônica musculoesquelética: revisão narrativa. Revista Brasileira de Medicina da Dor, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brjp/a/9QwGq5XNxG8kC8LJ888pKRr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 31 maio 2025.

ZHANG, Y. et al. A spiking neural network for event-based endo- and exogenous attention. Journal of Neural Systems, 2020.