

Relatório de Pesquisa: Escopo Técnico, Diretrizes e Limites para Artigos de Inteligência Artificial em FPGA na Conferência IEEE BioCAS

1 O Ecossistema IEEE BioCAS e a Filosofia de Circuitos e Sistemas para a Saúde

A conferência IEEE Biomedical Circuits and Systems (BioCAS) consolidou-se como o principal fórum internacional destinado à apresentação de atividades de pesquisa e desenvolvimento interdisciplinares localizadas na interseção exata entre a medicina, as ciências da vida, as ciências físicas e a engenharia elétrica. O objetivo central do evento é moldar e impulsionar a próxima geração de dispositivos médicos e sistemas inteligentes de cuidados de saúde. Patrocinada fundamentalmente pela IEEE Circuits and Systems Society (CASS) e com forte engajamento da Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS), a conferência não busca apenas inovações algorítmicas isoladas, mas sim soluções tangíveis que incorporem inteligência diretamente no nível do silício e do hardware.

No panorama contemporâneo da tecnologia médica, a necessidade de miniaturização, a exigência de autonomia de bateria prolongada e a demanda por análises de dados em tempo real no próprio dispositivo (*edge computing*) tornaram-se imperativos. Nesse contexto, a implementação de algoritmos de Inteligência Artificial (IA) sobre plataformas reconfiguráveis, notadamente os *Field Programmable Gate Arrays* (FPGAs), ascendeu como uma das áreas de pesquisa mais críticas e prestigiadas do simpósio. O FPGA atua como uma ponte vital de prototipagem e validação entre a abstração do software de Machine Learning e a rigidez imutável de um *Application-Specific Integrated Circuit* (ASIC) biomédico.

Contudo, para que um manuscrito científico seja aceito e reconhecido na BioCAS, o tratamento dado ao hardware não pode ser acidental ou secundário. A avaliação por pares da conferência exige um recorte de escopo extremamente preciso, caracterizado por um rigor técnico que demanda a prova de conceito de um *co-design* (co-projeto) entre hardware e software. A arquitetura da IA deve ser invariavelmente modificada, quantizada ou submetida a processos de poda (*pruning*) para explorar o paralelismo espacial do FPGA, visando atender a restrições biomédicas rigorosas, como o limite de dissipação térmica em implantes cerebrais ou a latência determinística em marcapassos.

A análise exaustiva a seguir detalha o escopo oficial da conferência, delinea as fronteiras de exclusão temáticas, descreve as exigências implícitas da microeletrônica biomédica e fornece exemplos de problemas onde o uso de FPGA é de caráter estritamente essencial.

2 Estrutura Temática e Alinhamento Explícito ao Escopo da Conferência

O programa técnico da BioCAS é estruturado de forma multidisciplinar, porém estreitamente segmentado em trilhas que garantem a aderência dos trabalhos ao núcleo de circuitos e sistemas.

2.1 Tecnologias Biomédicas (Biomedical Technologies)

Esta trilha engloba o desenvolvimento de inovações focadas diretamente no nível do hardware, topologia de circuitos e aquisição física de sinais.

- **Circuitos e Sistemas Neuromórficos e Bioinspirados:** O hardware reconfigurável é ideal para emular o paralelismo massivo de Redes Neurais Pulsantes (SNNs). Trabalhos que utilizam FPGAs para implementar neurônios do tipo LIF têm aceitação quase garantida quando bem fundamentados.
- **Sistemas de Malha Fechada, Biofeedback e Neuromodulação:** A aplicação de IA em FPGA para sistemas que exigem atuação determinística e imediata.
- **Dispositivos de Saúde Vestíveis e Implantáveis:** Projetos que utilizam FPGAs de baixo consumo integrados a sensores para processar dados de forma contínua.
- **Dispositivos de Biosensores e Circuitos de Interface:** O projeto do FPGA como parte integrante do *Analog Front-End* (AFE).

2.2 Aplicações Biomédicas (Biomedical Applications)

A ênfase transita para a utilidade clínica ou fisiológica que o circuito inteligente de IA possibilita, mantendo a necessidade da prova de hardware.

- **Inteligência Artificial das Coisas para a Saúde (AIoT for Healthcare):** O uso de FPGAs como nós de borda (*edge nodes*) inteligentes.
- **Gravação, Processamento de Biossinais e Aprendizado de Máquina:** Optimização de CNNs ou LSTMs para classificação de ECG ou EMG em bloco BRAM.
- **Imagens Biomédicas e Processamento de Imagens:** Processamento ultrarrápido de imagens de MRI ou ultrassom.

2.3 Tecnologias Emergentes (Emerging Technologies)

- **Modelos de Linguagem de Grande Escala para a Saúde:** Aceleradores de FPGA desenhados para reduzir a latência de inferências de Transformers locais.
- **Interfaces Cérebro-Computador (BCI):** Processamento massivamente paralelo para decodificar sinais extracelulares e controlar próteses robóticas.

3 Tipos de Contribuição Científica Aceitos e a Cultura de Prova Física

3.1 Submissões Regulares (Regular Papers)

O formato padrão exige um artigo em formato IEEE de duas colunas, limitado a 5 páginas (4 técnicas + 1 de referências). Este rigor obriga os autores a destilarem sua pesquisa até o núcleo técnico do co-design FPGA/IA.

3.2 Demonstrações Ao Vivo (Live Demonstrations)

A BioCAS exige demonstrações físicas de protótipos funcionais. A chamada requer a submissão de uma proposta de 1 página detalhando a configuração do equipamento e a interação humana em tempo real.

3.3 Sessões Especiais e Grandes Desafios

A conferência busca ativamente trabalhos para subtemas emergentes e promove os "Grand Challenges"(ex.: Compressão de Som Respiratório, Decodificação Neural para Controle Motor, Transceptores Totalmente Digitais).

4 Requisitos Implícitos de Hardware e Sistemas Biomédicos

4.1 O Imperativo do Co-Design Inteligente

- **Quantização Dinâmica e Resolução de Ponto Fixo:** Uso obrigatório de compactação drástica (PTQ ou QAT) para resoluções de 8 bits, 4 bits ou redes binárias, reduzindo o custo de LUTs e DSPs.
- **Arquiteturas de Fluxo em Tempo Real (*Streaming*):** Reestruturação da inferência da IA em lógicas de pipeline profundo.
- **Exploração Ativa de Esparsidade:** Abortar dinamicamente multiplicações matemáticas inúteis no fluxo de dados.

4.2 Restrições Estritas de "Edge Computing" Biomédico

Sistemas em contato íntimo com o tecido biológico respondem a tolerâncias rigorosas, exigindo respeito absoluto ao **Orçamento Térmico e Energético** (evitar necrose tecidual gerada pelo Efeito Joule) e **Manejo e Cancelamento de Artefatos Endógenos** na malha digital do FPGA.

5 Fronteiras Negativas de Exclusão: O Que Está Fora do Escopo

As seguintes abordagens incorrem em rejeição imediata (*desk reject*):

1. **IA e Machine Learning Exclusivamente em Nível de Software:** Modelos rodando inteiramente em nuvem ou processadores x86 sem RTL/HDL provado e medido.
2. **Otimização Genérica de Hardware sem Lastro Biomédico:** Topologias avançadas de hardware desvinculadas de diagnóstico ou biossinais.
3. **Redes de IoT Genéricas:** Estudos de roteamento sem fio ou mecanismos MAC genéricos.
4. **Investigações Estritamente Biomecânicas:** Ensaios epidemiológicos sem medição eletrônica associada.

6 O Paradigma da Essencialidade: Exemplos Biomédicos

A justificativa de um projeto BioCAS repousa em explicar por que o FPGA foi escolhido frente às alternativas. O problema deve requerer: Paralelismo Genuíno, Determinismo Físico de Tempo Real e Arquitetura Orientada à Aplicação.

Exemplos onde o FPGA é insubstituível:

- Decodificação Neural Direta e BCI com Centenas de Canais.
- Neuromodulação Implante Closed-Loop Preditiva.
- Inteligência e Dinâmica de Sensores Bioinspirados (Câmeras DVS).
- Reconstrução Acelerada de Imagem de Diagnóstico.
- Validação *Hardware-in-the-Loop* (HIL).

7 Validação Experimental e Métricas

A contribuição exige comprovação empírica operando sobre dados padrão mundiais validados (ex: SPRSound, MIT-BIH, CHB-MIT).

7.1 A Tabela Ouro de Avaliação de Hardware em FPGA

8 Diretrizes Estratégicas e Conclusão

A submissão triunfante exige a transmutação engenhosa do problema complexo de redes biológicas massivas em soluções lógicas de hardware compactadas de modo genial. Para o periódico TBioCAS, a arquitetura argumentativa segue três degraus:

1. **Fundamentação Contextual Biomédica de Gargalo Físico:** Situar o revisor no limite insolúvel atual.
2. **Solução Abstrativa do Ponto de Vista do Design Eletrônico:** Articular a escolha do processamento maciço em *streaming* e detalhar manobras de simplificação (como QAT em restrição de 4 bits).

Tabela 1: Matriz Paramétrica de Avaliação de Hardware

Categoria Físico-Métrica	Parâmetros de Avaliação	Propósito na Matriz Analítica
Uso Espectral de Recursos (Área/Lógica)	LUTS, FFs, Fatias Digitais (DSPs), Memória em Bloco Interna (BRAMs).	Ratificar viabilidade de encaixe em FPGAs nano-econômicos para sensores de borda sem transbordo para memória <i>Off-chip</i> .
Desempenho de Eficiência Computacional	Consumo Dinâmico do Núcleo e Estático Total ($mW/\mu W$). Energia em $mJ/inferência$.	Vetor definitivo para avaliar limite fisiológico de elevação térmica orgânica e durabilidade autônoma.
Latência e Determinismo Temporal	Ciclos de Clock operacionais; Atraso máximo de Inferência em μs ou ms.	Atestação objetiva de superação da latência de sistemas Von-Neumann (CPU) para atuar sem gerar atrasos críticos vitais.
Integridade Preditiva na Restrição (ML)	Variações em F1-Score, Precisão, Sensibilidade, Especificidade e FPR.	Avaliar se a poda agressiva e cortes de bits (ex: INT8, BNN) comprometeram a relevância confiável clínica estabelecida.

3. **Fechamento Incontestável Através do Empirismo Material:** Demonstrar resultados físicos medidos extraídos de ferramentas de síntese (como o Vivado), atestando alcance de baixos miliwatts e latências mínimas na fronteira médica.

O compromisso desta comunidade impõe a inovação exata no domínio da interface física natural do corpo e da microeletrônica de borda, validando o avanço técnico no espectro empírico e real das tecnologias médicas tangíveis.