

**INSTITUTO FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CAMPUS CAMPINA GRANDE**

**Curso: Engenharia de Computação**

**Disciplina: Internet das Coisas - IoT**

**Professor: Alexandre Sales Vasconcelos**

**Computação de Borda em IoT**

**Equipe:**

**Ismael Marinho Rocha**

**Lavoisier Chaves Ramos**

**José Roberto Peixoto F. Filho**

**Campina Grande, 26 de julho de 2024**

## RESUMO

A computação de borda está emergindo como uma solução crucial para melhorar o desempenho e a eficiência da Internet das Coisas (IoT). Este artigo explora os conceitos fundamentais da computação de borda, suas aplicações em IoT e os benefícios que ela oferece em termos de latência reduzida, maior segurança e eficiência operacional. Através de uma revisão da literatura recente, analisamos teorias e avanços tecnológicos, destacando a importância crescente dessa abordagem na infraestrutura de IoT.

**Palavras-chave:** Computação de borda, IoT, latência, segurança, eficiência operacional.

## ABSTRACT

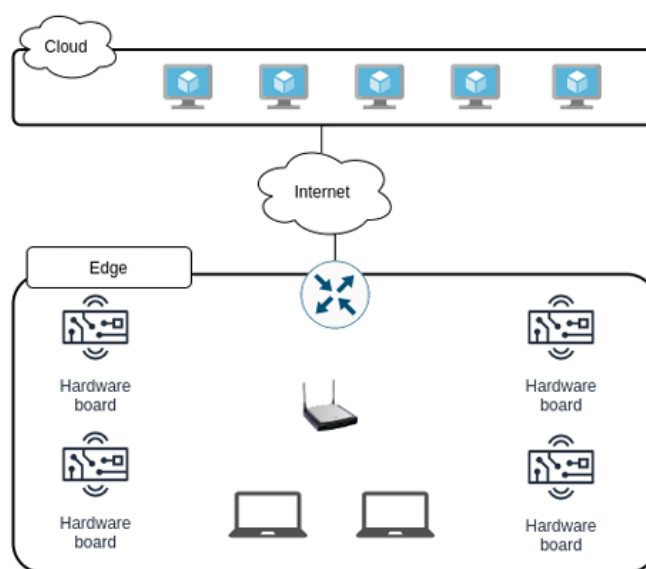
Edge computing is emerging as a critical solution to enhance the performance and efficiency of the Internet of Things (IoT). This article explores the fundamental concepts of edge computing, its applications in IoT, and the benefits it offers in terms of reduced latency, increased security, and operational efficiency. Through a review of recent literature, we analyze theories and technological advancements, highlighting the growing importance of this approach in IoT infrastructure.

**Key-words:** Edge Computing, IoT, latency, security, operational efficiency.

## 1. INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT) se tornou um componente principal para projetar soluções tecnológicas inteligentes para nossa vida diária. Para serviços de baixa latência e alta largura de banda, a IoT assistida por computação de borda se tornou o pilar para o desenvolvimento de casas inteligentes, saúde inteligente etc. A Internet das Coisas (IoT) e a Computação em Borda têm sido amplamente utilizadas, permitindo a criação de diversas aplicações e fornecendo serviços que habilitam a interconexão entre o mundo físico e

o virtual. Essas tecnologias necessitam de hardware para armazenamento de dados e execução dos serviços. O paradigma de virtualização de recursos de rede surge como solução para esse desafio [BEZERRA, Sandy F. da Costa]. A computação em borda melhora o tempo de resposta e economiza largura de banda, evitando a transferência de conjuntos de dados para um ambiente de nuvem remoto [BEZERRA, Sandy F. da Costa apud Park et al. 2021].



## **1.1. Conceito de Computação de Borda**

A computação de borda refere-se ao processamento de dados nas extremidades da rede, perto da fonte de geração dos dados, em vez de depender exclusivamente de data centers centralizados. Essa abordagem reduz a latência e a largura de banda necessárias para transmitir dados para e a partir de servidores distantes. Além disso, a computação de borda melhora a segurança, ao minimizar o tráfego de dados sensíveis através de redes públicas. [Abbas, N., Zhang, Y., Taherkordi, A., & Skeie, T. (2020)]

## **1.2. Teorias sobre Computação de Borda**

### **1.2.1. Hierarquia de Processamento**

Uma das teorias fundamentais da computação de borda é a hierarquia de processamento, onde o processamento de dados é distribuído em vários níveis, desde dispositivos de borda até data centers centrais. Cada nível processa dados de acordo com sua criticidade e urgência, permitindo que apenas dados relevantes sejam transmitidos para níveis superiores. Essa abordagem hierárquica reduz a latência e melhora a eficiência da rede, como discutido por Abbas et al. em seu estudo sobre arquiteturas de computação de borda em IoT .

### **1.2.2. Modelo de Latência Distribuída**

Outra teoria central é o modelo de latência distribuída, que foca na minimização da latência ao processar dados o mais próximo possível da fonte. A teoria sugere que a proximidade do processamento de dados reduz o tempo de resposta, essencial para aplicações sensíveis ao tempo. Hsieh et al. exploraram como a latência distribuída pode ser otimizada em redes IoT para melhorar a performance geral .

### **1.2.3. Segurança na Periferia**

A segurança é um aspecto crítico na computação de borda. A teoria da segurança na periferia propõe que, ao processar dados localmente, a exposição a riscos de segurança é reduzida. Dispositivos de borda podem implementar protocolos de segurança específicos e realizar análises locais de ameaças, minimizando a necessidade de transmissão de dados sensíveis. [Wei et al.] detalharam as abordagens de segurança na computação de borda e os desafios associados .

### **1.2.4. Gerenciamento de Recursos Distribuídos**

De acordo com AWS Computação, o gerenciamento eficiente de recursos é vital na computação de borda. A teoria do gerenciamento de recursos distribuídos sugere que a

alocação de recursos, como poder de processamento e armazenamento, deve ser dinamicamente ajustada com base na demanda local e nas condições da rede. Kim et al. propuseram métodos para otimizar o gerenciamento de recursos em ambientes de computação de borda, melhorando a eficiência operacional .

### **1.3. Aplicações da Computação de Borda em IoT**

**1.3.1. Cidades Inteligentes:** Cidades inteligentes utilizam sensores e dispositivos IoT para monitorar e gerenciar infraestrutura urbana, como iluminação pública, semáforos e sistemas de água. A computação de borda permite o processamento local desses dados, resultando em respostas mais rápidas e eficientes a eventos, como falhas de energia ou congestionamento de tráfego.

**1.3.2. Saúde:** Em ambientes de saúde, dispositivos IoT monitoram pacientes em tempo real. A computação de borda garante que dados críticos, como sinais vitais, sejam processados e analisados localmente, permitindo respostas imediatas a emergências médicas e reduzindo a dependência de conexões de rede estáveis.

**1.3.3. Manufatura:** Na manufatura, a computação de borda é utilizada para monitorar e otimizar operações em tempo real. Sensores em máquinas e linhas de produção fornecem dados contínuos que são processados localmente para identificar anomalias, prever falhas e melhorar a eficiência operacional.

**1.3.4. Carros autônomos:** veículos autônomos precisam reagir em tempo real, sem esperar por instruções de um servidor.

### **1.4. Benefícios da Computação de Borda**

**1.4.1. Latência Reduzida:** A redução da latência é um dos principais benefícios da computação de borda. Processar dados localmente evita o tempo necessário para transmitir informações para data centers distantes e aguardar respostas. Isso é crítico para aplicações que exigem respostas rápidas, como veículos autônomos e sistemas de realidade aumentada.

**1.4.2. Segurança Melhorada:** Ao processar dados localmente, a computação de borda minimiza a exposição de dados sensíveis a ataques cibernéticos durante a transmissão. Além disso, as medidas de segurança podem ser implementadas diretamente nos dispositivos de borda, criando uma camada adicional de proteção.

**1.4.3. Eficiência Operacional:** A computação de borda permite uma melhor utilização dos recursos da rede, aliviando a carga sobre a infraestrutura central. Isso resulta em uma eficiência operacional melhorada, com menor consumo de largura de banda e custos reduzidos associados à transmissão de grandes volumes de dados.

### **1.5. Como funciona a Computação de Borda**

A computação de borda funciona aproximando a computação e o armazenamento dos produtores e consumidores de dados. As implantações de borda variam para diferentes casos de uso, mas podem ser agrupadas em duas grandes categorias.

### **1.5.1. Aplicações upstream**

As aplicações upstream priorizam a coleta de dados de sensores inteligentes e outros dispositivos e, em seguida, a transmissão aos datacenters para processamento posterior. Os dados coletados se enquadram em três categorias principais:

- Dados redundantes ou irrelevantes, como dados de temperatura ambiente que um sensor mede a cada 5 minutos
- Dados úteis com requisitos de armazenamento de longo prazo, como a temperatura média em algumas horas
- Dados úteis com implicações de curto prazo, como valores de temperatura ambiente abaixo dos quais o aquecedor deve ser ligado

A computação de borda em casos de uso upstream se concentra em distinguir entre esses três tipos de fontes de dados e, em seguida, transmitir apenas informações críticas para o datacenter. As estratégias de borda podem incluir os seguintes exemplos.

***Datacenter local on-premises:*** As empresas colocam armazenamento, servidores e outros dispositivos de borda ao lado da fonte de dados. Por exemplo, uma empresa de energia pode instalar alguns racks de servidores e uma LAN remota em uma turbina eólica para coletar e processar os dados que ela gera.

***Capacidade de computação em dispositivos da Internet das Coisas (IoT):*** A empresa usa sensores com capacidade computacional suficiente para processar dados usando regras de filtragem predeterminadas antes da transmissão.

***Servidores de borda regionais:*** Uma empresa usa serviços em nuvem para processar dados de vários sensores diferentes em uma única região. Os provedores de nuvem podem localizar os serviços em nuvem para que a computação ocorra em servidores de borda locais na região necessária da empresa.

### **1.5.2. Aplicações downstream**

As aplicações downstream priorizam a entrega de dados aos usuários finais. Os exemplos incluem streaming de vídeo ao vivo em mídia e entretenimento, jogos online ou feeds de vídeo de realidade virtual. A computação de borda para casos de uso downstream se concentra na redução da latência da rede para que os usuários experimentem os eventos à medida que eles acontecem. Veja a seguir alguns exemplos de computação de borda downstream.

**Armazenamento em cache:** Uma empresa configura uma rede de entrega de conteúdo (CDN) que armazena em cache o conteúdo em servidores periféricos geograficamente mais próximos dos usuários, alcançando seus computadores muito mais rapidamente.

**Serviços de borda na nuvem:** Você pode usar um serviço de computação em nuvem para executar partes sensíveis à latência da sua aplicação localmente em endpoints e recursos em uma região geográfica específica.

**Computação de borda móvel:** Uma empresa usa infraestrutura de computação de borda móvel, como redes 5G e serviços de computação em nuvem móvel baseados em 5G, para desenvolver, implantar e escalar aplicações de latência ultrabaixa.

## 1.6 Desafios da computação de borda

**Lidar com a complexidade do gerenciamento de dados:** Sem dúvidas, um dos grandes desafios ao implementar a computação de borda em nuvem é a capacidade de lidar com um número expressivo de plataformas de nuvem empresarial. A complexidade é considerada a principal barreira para que a computação de borda se torne, de fato, convencional. Essa dificuldade no gerenciamento de informações acontece devido ao número de conjuntos de ferramentas e processos que acompanham a computação de borda, causando desordem no gerenciamento. Diante disso, as empresas tendem a obter custos mais altos, adquirem maior complexidade nos processos e ainda provoca limitações de velocidade, inovação e agilidade.

**Resistir a ataques cibernéticos:** Assim como qualquer outra tecnologia em rápida evolução, a computação de borda também carrega os seus riscos, como, por exemplo, estar mais propícia a ataques cibernéticos. Essa vulnerabilidade acontece devido a infraestrutura de dados enormemente distribuída, abrindo portas para que as ameaças virtuais se instalem. Por esse motivo, manter o mesmo nível de segurança na computação de borda tende a ser mais difícil, principalmente em uma Era onde há muitas ameaças virtuais atingindo as corporações em geral. Segundo o relatório de segurança “Cyber Attack Trends: 2021 Mid-Year Report” da Check Point, as empresas sofreram um aumento de 29% em relação às ameaças cibernéticas, desde o início de 2021. Em virtude disso, é importante que as empresas tenham consciência de que, ao adotar a computação de borda para mover os negócios, é preciso também implementar ferramentas e serviços adequados à cibersegurança para proteger os dados sensíveis.

**Escalabilidade:** Devido ao aumento significativo de dados corporativos, outro problema que pode surgir é a proliferação de dispositivos e as consequentes exigências de escala das operações. Por causa disso, a escalabilidade pode se transformar em um problema sério à medida que esses novos pontos finais de IoT proliferam. Quando mais dispositivos forem conectados a borda, consequentemente, maior será a escala geral. Além disso, a computação de borda não envolve somente servidores na ponta, como também exige que as escalas de todas as disciplinas de TI aumentem: computação, rede, armazenamento, gerenciamento, segurança e mais.

**Limitações de latência:** Embora a Edge Computing entregue análises e dados com agilidade, há algumas limitações de latência que podem dificultar os processos. A latência gerada pela distância da rede à fonte dos dados, por exemplo, acaba provocando uma ineficiência às corporações. Esse fator pode ser bastante prejudicial, principalmente quando existe a necessidade de implementar aplicações que exigem respostas cada vez mais rápidas ou imediatas.

**Falta de conectividade:** A falta de conectividade contínua com a internet, sem dúvidas, é outro fator de forte impacto, quando falamos em computação de borda em nuvem. Tudo porque a conectividade de rede é uma das ferramentas que movem o funcionamento da Edge Computing, e, sem ela, não há como armazenar dados, simplificar os processos e fazer quaisquer outras atividades. Investir em uma conexão potente e eficiente, pode ser a melhor alternativa para enfrentar esse problema.

## 1.7 Problemas atuais da computação em borda

### *Computação na Borda para Varejo*

Diante das rápidas mudanças na demanda, no comportamento e nas expectativas dos consumidores, os maiores varejistas do mundo recorrem à IA na borda para oferecer melhores experiências aos clientes. Com a computação na borda, os varejistas podem aumentar sua agilidade ao:

- **Reduzindo a perda:** com câmeras e sensores nas lojas que usam IA na borda para analisar dados, as lojas podem identificar e prevenir casos de erros, desperdícios, danos e roubos.
- **Melhorar o gerenciamento de estoque:** As aplicações de computação na borda podem usar câmeras na loja para alertar os funcionários da loja quando os estoques estão baixos, reduzindo a incidência de rupturas de estoque.
- **Simplificando as experiências de compra:** com o rápido processamento de dados da computação na borda, os varejistas podem implementar pedidos por voz ou pesquisa de produtos para melhorar a experiência do cliente para os compradores.

### *Computação na Borda para Cidades Inteligentes*

Cidades, campi escolares, estádios e shopping centers são exemplos de muitos lugares aonde a IA na borda está transformando locais em espaços inteligentes. A IA na borda ajuda a tornar esses espaços mais eficientes operacionalmente, seguros e acessíveis. A computação na borda tem sido usada para transformar operações e melhorar a segurança em todo o mundo em áreas como:

- **Reduzindo o congestionamento do tráfego:** Nota usa IA de visão para identificar, analisar e otimizar o tráfego. As cidades utilizam a sua oferta para melhorar o fluxo

do tráfego, diminuir os custos relacionados com o congestionamento do tráfego e minimizar o tempo que os condutores passam no trânsito.

- **Monitoramento da segurança nas praias:** a aplicação de detecção de imagens da Sightbit detectar perigos nas praias, como correntes de retorno e condições oceânicas perigosas, permitindo que as autoridades sinalizem com eficiência ameaças à segurança.

### ***Computação na Borda para Montadoras e Manufatura***

Fábricas, manufaturas e montadoras estão gerando dados de sensores que podem ser usados de forma cruzada para melhorar os serviços. Alguns casos de uso populares para promover eficiência e produtividade na manufatura incluem:

- **Manutenção preditiva:** Detectar anomalias antecipadamente e prever quando as máquinas falharão para evitar tempo de inatividade.
- **Controle de qualidade:** Detectando defeitos em produtos e alertando a equipe instantaneamente para reduzir o desperdício e melhorar a eficiência da fabricação.
- **Segurança dos trabalhadores:** utilização de uma rede de câmaras e sensores equipados com análise de vídeo baseada em IA para permitir que os fabricantes identifiquem trabalhadores em condições inseguras e intervenham rapidamente para prevenir acidentes.

### ***Computação na Borda para Área da Saúde***

A combinação de computação de ponta e IA está remodelando a área da saúde. A IA na borda fornece aos profissionais da área de saúde as ferramentas necessárias para melhorar a eficiência operacional, garantir a segurança e fornecer a experiência de atendimento da mais alta qualidade possível. Dois exemplos populares de computação na borda baseada em IA no setor de saúde são:

- **Salas cirúrgicas:** modelos de IA construídos em streaming de imagens e sensores em dispositivos médicos estão ajudando na aquisição e reconstrução de imagens, otimização de fluxo de trabalho para diagnóstico e planejamento terapêutico, medições de órgãos e tumores, orientação terapêutica cirúrgica e visualização e monitoramento em tempo real durante cirurgias.
- **Hospitais:** Hospitais inteligentes estão usando tecnologias como monitoramento de pacientes, triagem de pacientes, IA conversacional, estimativa de frequência cardíaca, scanners radiológicos e muito mais. A estimativa da pose humana é uma tarefa popular de IA de visão que estima pontos-chave do corpo de uma pessoa, como olhos, braços e pernas. Ele pode ser usado para ajudar a notificar a equipe quando um paciente se move ou cai da cama do hospital.

### ***O Futuro da Computação na Borda***



De acordo com o Edge Computing Spending Guide da empresa de pesquisa de mercado IDC, os gastos mundiais na borda cresceram para US\$ 274 bilhões em 2025 e deverão continuar crescendo a cada ano, com uma taxa composta de crescimento anual de 15,6%.<sup>3</sup>

A evolução da IA, IoT e 5G continuará catalisando a adoção da computação na borda. O número de casos de uso e os tipos de cargas de trabalho implantadas na borda crescerão. Hoje, os casos de uso na borda mais prevalentes giram em torno da IA de visão. No entanto, áreas de carga de trabalho como processamento de linguagem natural, sistemas de recomendação e robótica são oportunidades em rápido crescimento.

## **2. ARQUITETURA DO PROJETO**

A arquitetura tem o papel fundamental de definir a estrutura técnica a ser utilizada na implementação de soluções baseadas em Computação em Borda. Nesta fase, é possível descrever as camadas a partir dos comportamentos dos elementos da rede IoT, suas relações de prioridade e segurança, e como eles interagem entre si.

A computação de borda trata de deixar os serviços mais próximos do local onde serão entregues. Os serviços aqui incluem potência de computação e memória necessária para, por exemplo, rodar uma requisição de um aplicativo. A computação de borda, portanto, visa empurrar aplicativos, dados e poder computacional (serviços) que se encontram longe de pontos centralizados (central de dados) para locais mais próximos do usuário.

## **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A computação de borda está se tornando uma componente essencial na infraestrutura de IoT, oferecendo soluções para desafios críticos de latência, segurança e eficiência. À medida que a IoT continua a se expandir, a integração da computação de borda será vital para garantir que os sistemas possam escalar de maneira eficiente e segura. O contínuo desenvolvimento e adoção dessa tecnologia impulsionarão inovações em diversos setores, melhorando a qualidade de vida e a eficiência operacional.

## **4. REFERÊNCIAS**

1. BEZERRA, Sandy F. da Costa; BEZERRA, Jorge F. Ramos; ROCHA, Atslands R. da. Uma Abordagem de Encadeamento de Serviços para Virtualização de Funções de Rede em uma Arquitetura de Computação em Borda. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO UBÍQUA E PERVASIVA (SBCUP)*, 15. , 2023, João Pessoa/PB. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023 . p. 141-150. ISSN 2595-6183. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbcup.2023.229918>.
2. Abbas, N., Zhang, Y., Taherkordi, A., & Skeie, T. (2020). Mobile Edge Computing: A Survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(5), 5001-5020.
3. Hsieh, W., Hsu, C., & Lin, Y. (2021). Low-Latency Communication for Edge Computing-Based IoT Applications. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(2), 1523-1534.

4. Wei, Y., Liu, X., & Chen, S. (2022). Edge Computing Security: State of the Art and Challenges. Future Generation Computer Systems, 124, 45-58.
5. Kim, H., Lee, J., & Park, S. (2023). Resource Management in Edge Computing: A Comprehensive Survey. ACM Computing Surveys, 55(1), 1-36.
6. AWS, Computação - O que é computação de borda? 2024. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/edge-computing/#:~:text=A%20computa%C3%A7%C3%A3o%20de%20borda%20est%C3%A1,operacional%20e%20suas%20fun%C3%A7%C3%B5es%20comerciais.>>. Acesso em: 01/08/2024.
7. BLOG TD SYNnex, 5 desafios da computação em borda que as empresas precisam enfrentar! 2024. Disponível em: [<https://blog-pt.lac.tdsynnex.com/5-desafios-da-computacao-de-borda-em-nuvem-que-as-empresas-precisam-enfrentar>](https://blog-pt.lac.tdsynnex.com/5-desafios-da-computacao-de-borda-em-nuvem-que-as-empresas-precisam-enfrentar). Acesso em: 15/08/2024.
8. NVIDIA, O que é computação de borda? 2024. Disponível em: <https://blog.nvidia.com.br/blog/o-que-e-computacao-na-borda/>>. Acesso em: 16/08/2024.