

AValiação Heurística em Sistemas de Vídeo sob Demanda (VOD): UMA ANÁLISE COMPARATIVA DE USABILIDADE NAS PLATAFORMAS DE STREAMING

HEURISTIC EVALUATION IN VIDEO-ON-DEMAND (VOD) SYSTEMS: A COMPARATIVE USABILITY ANALYSIS OF STREAMING PLATFORMS

Gabriel Augusto Ferreira Silva¹

Silvia Roberta de Jesus Garcia²

RESUMO: O presente estudo tem como objetivo avaliar comparativamente a usabilidade em sistemas de Vídeo sob Demanda (VoD), considerando a influência de elementos técnicos como Redes de Distribuição de Conteúdo (CDNs), algoritmos de taxa adaptativa (ABR) e métricas de Qualidade de Experiência (QoE) na percepção do usuário. A metodologia adotada caracteriza-se como qualitativa, de natureza exploratória, descritiva e documental, utilizando a Avaliação Heurística como método principal. A coleta de dados foi realizada por meio da inspeção sistemática das interfaces de plataformas de *streaming* em diferentes dispositivos, com base em princípios consolidados de usabilidade, permitindo identificar problemas e comparar soluções de *design*. Os resultados indicam que a experiência do usuário está diretamente relacionada ao desempenho técnico dos sistemas, destacando-se fatores como tempo de inicialização, estabilidade de reprodução e frequência de adaptações de qualidade. Observou-se que taxas reduzidas de *rebuffering* e tempos de *startup* mais baixos contribuem significativamente para a satisfação do usuário, enquanto mudanças excessivas de qualidade podem comprometer a percepção de estabilidade. Além disso, a eficiência das CDNs, evidenciada por altas taxas de cache e redução de latência, mostrou-se essencial para garantir uma entrega de conteúdo mais rápida e confiável. Conclui-se que a qualidade percebida em plataformas de *streaming* resulta da integração entre infraestrutura tecnológica eficiente e interfaces bem projetadas, sendo fundamental o equilíbrio entre adaptação dinâmica e estabilidade da reprodução para a otimização da experiência do usuário.

Palavras-chave: Algoritmos Adaptativos; Computação de Borda; Distribuição de Conteúdo; Experiência do Usuário; Métricas de Qualidade.

ABSTRACT: This study aims to comparatively evaluate the usability of Video on Demand (VoD) systems, considering the influence of technical elements such as Content Delivery Networks (CDNs), adaptive rate algorithms (ABR), and Quality of Experience (QoE) metrics on user perception. The methodology adopted is qualitative, exploratory, descriptive, and documentary in nature, using Heuristic Evaluation as the main method. Data collection was carried out through the systematic inspection of streaming platform interfaces on different devices, based on consolidated usability principles, allowing the identification of problems and the comparison of design solutions. The results indicate that user experience is directly related to the technical performance of the systems, highlighting factors such as startup time, playback stability, and frequency of quality adaptations. It was observed that reduced rebuffering rates and lower startup times contribute significantly to user satisfaction, while excessive quality changes can compromise the perception of stability. Furthermore, the efficiency of CDNs, evidenced by high cache rates and reduced latency, proved essential to ensure faster and more reliable content delivery. It is concluded that the perceived quality in streaming platforms results from the integration between efficient

technological infrastructure and well-designed interfaces, with the balance between dynamic adaptation and playback stability being fundamental for optimizing the user experience.

Keywords: Adaptive Algorithms; Edge Computing; Content Distribution; User Experience; Quality Metrics.

1 INTRODUÇÃO

A arquitetura tecnológica que sustenta os serviços de Vídeo sob Demanda (VoD) compreende uma estrutura complexa que se estende desde a captura do conteúdo por dispositivos equipados com câmeras até sua reprodução final pelo usuário, englobando as etapas de captação, inserção, processamento e distribuição. Dentro dessa estrutura, as Redes de Distribuição de Conteúdo (CDNs) disseminam vídeos a partir de servidores de borda com baixa latência e elevada Qualidade de Experiência (QoE), enquanto algoritmos de *BitRate* adaptável (ABR) executados no reprodutor do cliente lidam com a diversidade e variabilidade das condições de rede entre servidores e usuários, constituindo os aspectos que mais atraem esforços de pesquisa no estágio de distribuição (Peroni; Gorinsky, 2025).

Os arquivos de vídeo em sistemas VoD são particionados em múltiplas partes que dividem o tempo total de reprodução, sendo que cada segmento pode ser codificado em diferentes níveis de qualidade (resoluções como 720p, 1080p e 4K). Existe uma troca fundamental entre qualidade do vídeo e diversidade de conteúdo armazenado em cache: se ele armazena arquivos de alta qualidade, não é possível armazenar muitos tipos de vídeos; se armazena arquivos de baixa qualidade, aumenta-se a diversidade de conteúdos e a taxa de acerto de cache (*cache hit rate*), otimizando a entrega e reduzindo a latência (Kim, 2024).

A entrega de conteúdos em resoluções variadas, como 720p, 1080p e 4K, é viabilizada pela aplicação de algoritmos de ABR, que ajusta dinamicamente a qualidade da imagem para compensar a instabilidade nas condições de tráfego da rede entre o servidor e o usuário final (Peroni; Gorinsky, 2025). A Interação Homem-Computador (IHC) constitui campo de conhecimento que demanda investigações capazes de apreender aspectos subjetivos da relação entre usuários e sistemas, considerando que todo sistema de informação será utilizado por seres humanos que buscam alcançar suas metas de maneira rápida, eficaz e satisfatória. (Lima et al., 2016).

O ecossistema global de CDNs é dominado por *players* estabelecidos que respondem pela maior parte do tráfego de conteúdo da internet. Estudos recentes indicam que a *Akamai Technologies*, um dos pioneiros do setor, gerencia entre 20% e 30% de todo o tráfego *web* mundial, operando uma infraestrutura massiva de servidores distribuídos geograficamente. Adicionalmente, provedores de nuvem como a *Amazon Web Services*, por meio do *Amazon CloudFront*, mantêm mais de 100 locais de borda globalmente, enquanto *players* emergentes como a *BelugaCDN* vêm rapidamente estabelecendo presença significativa em 28 localidades ao redor do mundo, demonstrando a diversidade e a capilaridade das infraestruturas de entrega de conteúdo na atualidade (Ali et al., 2025).

Diante dos elementos apresentados, o presente artigo desenvolve uma análise orientada à avaliação heurística de sistemas de VoD, com foco na investigação do comportamento das CDNs, da QoE e dos algoritmos ABR no contexto da entrega adaptativa de conteúdo. O objetivo consiste em compreender como tais mecanismos técnicos se traduzem em atributos de usabilidade e qualidade percebida, considerando métricas como latência, estabilidade de reprodução e adaptação dinâmica de resolução. Assim, a pesquisa articula uma perspectiva técnico-analítica com a experiência do usuário, permitindo identificar relações entre a arquitetura de distribuição e a eficiência das interfaces de *streaming*. Os resultados apontam a articulação entre CDNs, ABR, QoE e soluções baseadas em computação de borda revelam-se essenciais para a construção de plataformas mais eficientes, escaláveis e responsivas. Assim, este estudo reforça a relevância de compreender tais elementos de forma sistêmica, fornecendo base teórica e técnica para o desenvolvimento e aprimoramento de serviços de *streaming* orientados à qualidade da experiência do usuário.

2 METODOLOGIA

A trajetória metodológica delineada para esta investigação foi estruturada com o propósito de atender aos objetivos propostos, garantindo o rigor científico necessário para uma análise comparativa de usabilidade em plataformas de *streaming*, com ênfase na compreensão das tecnologias subjacentes de entrega de conteúdo. Diante dos elementos apresentados na introdução, o artigo desenvolve uma análise comparativa orientada à avaliação heurística de sistemas de VoD, com foco na

investigação do comportamento das CDNs, da QoE e dos algoritmos ABR no contexto da entrega adaptativa de conteúdo. O objetivo consiste em compreender como tais mecanismos técnicos se traduzem em atributos de usabilidade e qualidade percebida, considerando métricas como latência, estabilidade de reprodução e adaptação dinâmica de resolução. Assim, a pesquisa articula uma perspectiva técnico-analítica com a experiência do usuário, permitindo identificar relações entre a arquitetura de distribuição e a eficiência das interfaces de *streaming*.

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa caracteriza-se como documental e descritiva. É documental porque se debruça sobre materiais que não receberam tratamento analítico aprofundado, especificamente as interfaces das plataformas de *streaming*, bem como a documentação técnica que descreve suas arquiteturas de distribuição de conteúdo. Segundo a sistematização metodológica proposta por Sá-Silva, Almeida e Guindani (2009), a pesquisa documental utiliza fontes primárias ainda não organizadas ou que não receberam tratamento analítico, sendo especialmente útil quando se deseja compreender fenômenos a partir de materiais institucionais ou técnicos. Paralelamente, assume um caráter descritivo na medida em que objetiva caracterizar minuciosamente o fenômeno da usabilidade nessas plataformas, descrevendo as funcionalidades, os fluxos de navegação e os elementos de interface que compõem a experiência do usuário. A pesquisa descritiva, conforme Gil (2008), tem como finalidade primordial descrever características de determinada população ou fenômeno, estabelecendo relações entre variáveis e utilizando técnicas padronizadas de coleta de dados.

No que concerne aos objetivos, esta investigação enquadra-se como pesquisa exploratória. Conforme a literatura especializada, a pesquisa exploratória tem como finalidade precípua proporcionar maior familiaridade com o problema de pesquisa, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses, sendo especialmente adequada quando o tema é pouco explorado ou quando se busca uma aproximação inicial com o objeto de estudo (Gil, 2008). Essa abordagem revela-se adequada ao presente estudo, uma vez que, embora existam investigações isoladas sobre usabilidade em *streaming*, a análise comparativa específica entre as três plataformas selecionadas — considerando suas particularidades no mercado brasileiro e suas distintas arquiteturas de distribuição — demanda um esforço inicial de aproximação com o objeto. Estudos que investigaram a usabilidade em plataformas de *streaming* sob uma perspectiva exploratória demonstraram que esse tipo de abordagem permite

identificar categorias de análise e orientar a aplicação sistemática de métodos avaliativos, como a inspeção heurística, em contextos ainda pouco consolidados academicamente (Ribeiro, 2022; Salvador, 2021).

A abordagem qualitativa foi selecionada por sua adequação à natureza do objeto de estudo — a usabilidade de interfaces em sistemas de VoD e sua relação com as tecnologias de entrega (CDN, ABR, QoE) — que envolve nuances e subjetividades inerentes à experiência do usuário, as quais não seriam plenamente capturadas por métodos exclusivamente quantitativos. Nesse contexto, a avaliação qualitativa por meio de inspeção heurística permite identificar barreiras de usabilidade que comprometem a interação entre usuário e sistema, sendo particularmente útil para comparar soluções de *design* concorrentes no mercado de *streaming*. Estudos que aplicaram o método de avaliação heurística em sistemas de informação confirmam sua eficácia na identificação de problemas de usabilidade quando conduzidos por avaliadores especialistas (Lima et al., 2016).

Para operacionalizar a análise, adotou-se como método principal a Avaliação Heurística, conforme proposta por Nielsen (1994), que consiste na inspeção sistemática da interface por avaliadores especialistas, baseada em princípios consagrados de usabilidade. Este método é amplamente reconhecido na literatura de IHC como eficaz para identificar violações de *design* em sistemas interativos, incluindo plataformas digitais de entretenimento. A coleta de dados foi realizada por meio da interação direta com as três plataformas em dois dispositivos (*desktop* e dispositivos móveis), permitindo a observação in loco dos fluxos de navegação, das funcionalidades disponíveis e dos possíveis pontos de fricção. Os dados obtidos foram registrados em protocolos de avaliação estruturados, possibilitando a comparação sistemática entre as plataformas e a identificação das violações mais recorrentes às heurísticas de Nielsen. A pesquisa bibliográfica complementar foi conduzida em bases científicas como *SciELO*, *IEEE Xplore*, *ScienceDirect*, *ACM Digital Library*, *SpringerLink* e *Scopus*, além de repositórios institucionais de universidades brasileiras, visando à fundamentação teórica sobre arquiteturas de CDN, algoritmos *Adaptive Bitrate* (ABR), métricas de Qualidade de Experiência (QoE), computação de borda e usabilidade em sistemas de Vídeo sob Demanda (VoD). Para a realização das buscas, foram utilizados descritores em português e inglês, tais como: “HTTP Adaptive Streaming”, “Quality of Experience”, “Adaptive Bitrate”, “Content Delivery Network”, “Edge Computing”, “Video on Demand”, “Streaming Usability”, “Heuristic

Evaluation”, “*QoE in Streaming Services*” e “*CDN-assisted HAS*”. O recorte temporal adotado priorizou publicações entre 2014 e 2025, período selecionado devido à consolidação das arquiteturas modernas de streaming adaptativo baseadas em HTTP, bem como à intensificação das pesquisas relacionadas à integração entre CDNs, MEC, SDN e algoritmos inteligentes de adaptação de bitrate. Além disso, foram incluídas obras clássicas anteriores ao período delimitado, como Nielsen (1994) e Gil (2008), em razão de sua relevância teórica consolidada nas áreas de usabilidade e metodologia científica. A seleção das referências considerou critérios de relevância temática, quantidade de citações, aderência ao escopo da pesquisa e disponibilidade de acesso livre aos conteúdos científicos, permitindo a construção de uma base teórica consistente para subsidiar a análise comparativa proposta.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A fundamentação teórica deste artigo está estruturada em três eixos principais que se complementam para fornecer a base conceitual necessária à análise comparativa de usabilidade em plataformas de *streaming*, com ênfase na compreensão das tecnologias subjacentes de entrega de conteúdo. Primeiramente, aborda-se a arquitetura tecnológica dos sistemas de VoD sob uma perspectiva integrada de ponta a ponta, contemplando as etapas de captura, processamento e distribuição de conteúdo. Em seguida, aprofunda-se a discussão sobre a evolução do mercado de *streaming* no Brasil e o cenário competitivo atual, destacando as particularidades das plataformas analisadas. Por fim, apresenta-se o referencial teórico sobre QoE, algoritmos de ABR e o comportamento dinâmico dos usuários, elementos fundamentais para compreender a experiência percebida em sistemas de vídeo sob demanda.

3.1 ARQUITETURA DE PONTA A PONTA EM VOD E CDNS

A compreensão dos sistemas de VoD exige uma visão integrada do *pipeline* de *streaming*, que abrange desde a captura do conteúdo até a sua reprodução final. Este fluxo é estruturado em três estágios fundamentais: ingestão, onde o conteúdo bruto é codificado; processamento, que envolve a segmentação e transcodificação em

múltiplas resoluções; e distribuição, responsável pela entrega escalável via CDNs (Peroni; Gorinsky, 2025).

Abordagens puramente *client-side*, destacado por Huang et al. (2014), apresentam limitações relacionadas à ausência de visão global do estado da rede, ocasionando decisões instáveis de *bitrate* e maior ocorrência de *rebuffering*. Em resposta a essas limitações, modelos de *Network-Assisted Video Streaming* (NAVS) passaram a incorporar componentes da própria rede no processo decisório do streaming adaptativo, fornecendo informações sobre congestionamento, latência e disponibilidade de banda em tempo real. Segundo Seufert et al. (2021), essa abordagem permite maior previsibilidade no controle de qualidade, reduzindo oscilações excessivas e melhorando a estabilidade da reprodução em ambientes heterogêneos e de alta concorrência de tráfego.

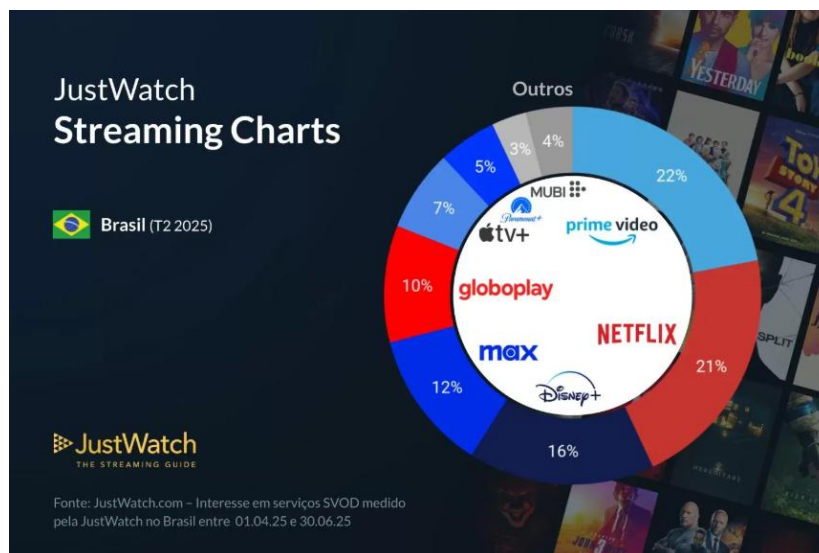
A evolução das arquiteturas de distribuição de conteúdo passou a incorporar paradigmas como *Software-Defined Networking* (SDN), *Network Function Virtualization* (NFV) e *Multi-access Edge Computing* (MEC), promovendo maior flexibilidade operacional e capacidade de adaptação dinâmica das redes de streaming. Xiao et al. (2018) afirmam que a utilização integrada dessas tecnologias possibilita a implementação de *frameworks* assistidos, nos quais funções tradicionalmente centralizadas são deslocadas para servidores de borda próximos ao usuário final. Os autores demonstram que estruturas baseadas em MEC conseguem reduzir significativamente a latência de entrega e otimizar o consumo de banda ao executar transcodificação, cache e gerenciamento de tráfego diretamente na borda da rede. Complementarmente, Yao et al. (2019) ressaltam que arquiteturas assistidas por SDN permitem o monitoramento centralizado do tráfego e a realocação dinâmica de recursos conforme a demanda, contribuindo para maior eficiência operacional. Em experimentos realizados em ambientes de nuvem e *edge computing*, observou-se melhora significativa na QoE e redução expressiva no consumo de banda em comparação com arquiteturas tradicionais centradas exclusivamente no cliente.

3.2 DINÂMICA DO MERCADO DE *STREAMING* E CENÁRIO COMPETITIVO DE CDNS

A experiência do usuário em serviços de VoD é diretamente influenciada pela interação entre elementos técnicos — como CDNs, algoritmos de ABR e métricas de QoE — e aspectos de usabilidade percebida nas interfaces. O Gráfico 1 apresenta a

participação das principais plataformas de *streaming* no Brasil em 2025, com base em dados do *JustWatch*.

Gráfico 1 - Participação de mercado das plataformas de *streaming* no Brasil em 2025



Fonte: JustWatch(2025)

De acordo com os dados, plataformas como *Netflix* e *Amazon Prime Video* mantêm liderança no mercado, seguidas por serviços regionais como *Globoplay*. Essa distribuição reflete não apenas estratégias comerciais, mas também diferenças nas arquiteturas tecnológicas e na qualidade de entrega de conteúdo.

A rede global de CDNs apresenta uma diversidade de arquiteturas adaptadas a diferentes requisitos operacionais, incluindo tipologias híbridas P2P, móveis, baseadas em nuvem, multi-CDN, além de modelos emergentes fundamentados em *blockchain* e *fog computing*. O mercado é dominado por grandes provedores como *Akamai Technologies*, que gerencia entre 20% e 30% do tráfego *web* mundial, além de *Amazon Web Services (CloudFront)* e *Cloudflare* (Ali et al., 2025).

O gerenciamento dessa infraestrutura impõe aos provedores o desafio de equilibrar custos operacionais entre armazenamento e transcodificação em sistemas VoD multi-versão. A otimização envolve armazenar versões populares em múltiplos *datacenters* enquanto versões menos requisitadas são transcodificadas sob demanda, um problema de alta complexidade frequentemente tratado por técnicas heurísticas de otimização iterativa (Zhang et al., 2016).

Adicionalmente, a exploração conjunta de MEC com CDNs tradicionais permite mitigar os atrasos imprevisíveis de redes de longa distância. Ao posicionar

infraestruturas de cache e transcodificação em tempo real em maior proximidade ao usuário final, esses modelos híbridos conseguem satisfazer demandas arbitrárias de múltiplas taxas de *bits* com eficiência superior, impactando diretamente a estabilidade da reprodução (Kim, 2024).

3.3 QUALIDADE DE EXPERIÊNCIA, ALGORITMOS ADAPTATIVOS E COMPORTAMENTO DINÂMICO DO USUÁRIO

A QoE tem se consolidado como métrica central para avaliação de serviços de *streaming*, superando as tradicionais métricas de Qualidade de Serviço (QoS) na predição da satisfação do usuário. Pesquisas que avaliam algoritmos ABR heurísticos demonstram que o modelo ITU-T P.1203 (modo 1) permite a predição algorítmica de um *Mean Opinion Score* (MOS) subjetivo por meio da combinação de múltiplos fatores técnicos – incluindo tempo de carregamento inicial, duração de pausas, mudanças de qualidade e resolução exibida – alcançando correlações superiores a 0,80 com testes subjetivos reais (Taraghi et al., 2021).

Interações dinâmicas do usuário, como avanços rápidos (*seeking*), pausas e abandono de vídeo, impactam significativamente os padrões de tráfego utilizados como entrada para modelos de estimação de desempenho de *streaming*. Estudos avaliam o desempenho de modelos de classificação de *Key Performance Indicators* (KPIs) treinados em conjuntos de dados sem interações, revelando que para aplicações em sessões de *streaming* realistas é necessário incluir diferentes tipos de interações no procedimento de treinamento para que as estimativas reflitam adequadamente a experiência percebida (Bartolec et al., 2025).

A personalização da experiência do usuário tem se tornado um eixo central no desenvolvimento de algoritmos ABR. Pesquisas em larga escala realizadas em plataformas de produção demonstram que estratégias de otimização personalizada, baseadas em aprendizado por reforço e adaptadas às preferências individuais de cada usuário, superam significativamente os métodos tradicionais, alcançando melhorias consistentes na QoE medida por métricas como MOS, tempo de *rebuffering* e estabilidade de qualidade (Jia et al., 2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da QoE em sistemas VoD tornou-se um dos principais parâmetros para mensurar o desempenho percebido pelo usuário durante a reprodução de conteúdo multimídia. Diferentemente das abordagens tradicionais focadas exclusivamente em métricas de rede, como QoS, *throughput* e latência, os modelos atuais de QoE consideram fatores diretamente relacionados à percepção humana, incluindo tempo de *startup*, duração de interrupções (*rebuffering*), estabilidade de *bitrate* e frequência de mudanças de resolução. Em estudo experimental conduzido por Mehr, Jogalekar e Medhi (2021), os autores identificaram que variações abruptas de qualidade impactam negativamente a percepção de estabilidade do serviço, mesmo em cenários com largura de banda suficiente para manter a reprodução contínua. Esses resultados demonstram que a experiência do usuário em plataformas de streaming depende não apenas da capacidade de transmissão da rede, mas também da consistência visual e da fluidez da reprodução ao longo da sessão em diversas localidades.

No contexto dos algoritmos de ABR, a literatura demonstra que os mecanismos de adaptação dinâmica desempenham papel central no equilíbrio entre qualidade visual e continuidade da reprodução. Os sistemas HAS (*HTTP Adaptive Streaming*) utilizam múltiplas versões do mesmo conteúdo codificadas em diferentes *bitrates*, permitindo que o cliente selecione automaticamente a qualidade mais adequada conforme as condições instantâneas da rede. Entretanto, pesquisas recentes apontam que algoritmos excessivamente reativos podem provocar instabilidade perceptiva devido à alta frequência de trocas de resolução. Lyko et al. (2024) observaram que algoritmos agressivos de adaptação reduziram a estabilidade do streaming em cenários de baixa latência, aumentando oscilações perceptíveis de qualidade durante a reprodução. Em contrapartida, abordagens baseadas em aprendizado por reforço e otimização preditiva apresentaram melhor equilíbrio entre *bitrate* médio, redução de *buffering* e estabilidade visual. Kang e Chung (2022) demonstraram que modelos de *reinforcement learning* aplicados ao DASH conseguiram melhorar simultaneamente QoE e eficiência de adaptação ao prever condições futuras da rede antes da seleção de segmentos. Esses resultados evidenciam que a eficiência dos algoritmos ABR depende da capacidade de evitar decisões abruptas de troca de qualidade, priorizando estabilidade perceptiva em vez de maximização instantânea de resolução.

Além dos mecanismos de adaptação, a infraestrutura de distribuição exerce influência decisiva sobre o desempenho geral das plataformas de streaming.

Estratégias modernas de CDN associadas à computação de borda (*edge computing*) têm sido empregadas para reduzir latência, minimizar congestionamentos e melhorar a eficiência do cache em ambientes de alta demanda. Estudos sobre MEC-assisted streaming demonstram que a proximidade entre servidores de borda e usuários finais reduz significativamente o tempo de resposta da rede e melhora a estabilidade do throughput durante sessões de vídeo adaptativo. Rahman et al. (2021) verificaram que arquiteturas MEC-assisted apresentaram ganhos superiores de QoE em comparação aos modelos tradicionais client-based HAS, principalmente em cenários com múltiplos usuários concorrentes e oscilações frequentes de banda. Paralelamente, Liotou et al. (2023) identificaram que mecanismos inteligentes de cache integrados às arquiteturas DASH aumentaram a eficiência da distribuição de conteúdo e reduziram atrasos de carregamento em ambientes heterogêneos. Esses dados demonstram que a qualidade percebida em serviços de streaming resulta da integração entre algoritmos adaptativos eficientes e infraestruturas de distribuição otimizadas, capazes de responder dinamicamente às condições variáveis de rede e ao comportamento dos usuários.

Os algoritmos de Adaptive Bitrate (ABR) constituem um dos principais mecanismos responsáveis pela estabilidade da reprodução em plataformas modernas de streaming. Seu funcionamento baseia-se na seleção dinâmica de segmentos codificados em diferentes níveis de qualidade conforme as condições instantâneas da rede, ocupação do buffer e capacidade do dispositivo cliente. Em sistemas DASH, os bitrates podem variar de valores inferiores a 300 kbps até transmissões superiores a 25 Mbps em conteúdos de alta resolução, permitindo adaptação contínua às oscilações de conectividade. Entretanto, pesquisas recentes demonstram que o aumento excessivo da frequência de mudanças de qualidade pode gerar degradação perceptiva (redução de qualidade) mesmo quando não há interrupções na reprodução. Estudos realizados por Uddin et al. (2025) evidenciaram que algoritmos de baixa latência altamente reativos apresentaram maior número de oscilações de resolução por sessão, reduzindo significativamente a estabilidade visual percebida pelos usuários. Os autores observaram que usuários tendem a tolerar pequenas reduções de qualidade desde que a reprodução permaneça contínua, enquanto alterações frequentes de resolução afetam negativamente a sensação de fluidez do serviço.

Outro aspecto relevante refere-se ao comportamento competitivo entre múltiplos clientes compartilhando os mesmos recursos de rede. Em ambientes

congestionados, algoritmos *client-based* HAS frequentemente tomam decisões independentes sem conhecimento global das condições da infraestrutura, ocasionando competição por largura de banda, oscilações abruptas de *bitrate* e aumento do *buffering*. Para mitigar esse problema, abordagens recentes incorporam estratégias MEC-assisted e modelos baseados em inteligência artificial capazes de utilizar informações coletadas diretamente na borda da rede. Rahman et al. (2021) demonstraram que arquiteturas MEC-assisted melhoraram simultaneamente o equilíbrio entre usuários, estabilidade de *bitrate* e eficiência na utilização da banda disponível em comparação aos métodos convencionais de adaptação local. Além disso, modelos de aprendizado profundo aplicados ao ABR vêm sendo desenvolvidos para prever degradações futuras de *throughput* e reduzir decisões abruptas de troca de qualidade. Essas abordagens representam uma evolução dos sistemas tradicionais, deixando de priorizar exclusivamente *bitrate* máximo para considerar métricas compostas de QoE associadas à estabilidade da experiência percebida pelo usuário.

Complementarmente, pesquisas conduzidas por Yin et al. (2015) demonstram que algoritmos ABR tradicionais, baseados exclusivamente na largura de banda instantânea, apresentam oscilações frequentes de qualidade em cenários de rede heterogêneos. Em testes realizados com diferentes condições de tráfego, os autores identificaram que algoritmos sem mecanismos preditivos podem realizar entre 10 e 15 trocas de qualidade por sessão, gerando instabilidade perceptível ao usuário. Em contrapartida, abordagens mais modernas baseadas em *buffer occupancy* conseguiram reduzir em até 60% o número de mudanças de *bitrate* e diminuir significativamente o *rebuffering*, mantendo níveis mais estáveis de QoE. Os resultados evidenciam que a eficiência dos algoritmos adaptativos não depende apenas da capacidade de elevar a qualidade visual, mas principalmente da manutenção de estabilidade durante a reprodução, especialmente em dispositivos móveis e redes com alta variabilidade de latência.

Com base na literatura científica recente, é possível identificar intervalos típicos de desempenho para sistemas de *streaming*, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Métricas técnicas de QoE, ABR e CDN em sistemas VoD

Aspecto	Métricas Afetadas	Funcionalidade	Valores observados na	Impacto na experiência
---------	-------------------	----------------	-----------------------	------------------------

			literatura	
QoE	Tempo de <i>startup</i> ; <i>Rebuffering</i> ;	Avalia a qualidade de uso do usuário com base em sua satisfação na experiência.	Maior que 5 s	Afeta percepção inicial
ABR	Trocas de qualidade; <i>Bitrate</i> ; <i>throughput</i> ;		–	Aumenta abandono e insatisfação (MOS)
CDN	<i>Cache hit rate</i> ;	Trocas de qualidade	10 a 15 por sessão	Reduz QoE
ABR		<i>Bitrate</i>	300 kbps – 25 Mbps	Define resolução e fluidez

Fonte: Elaboração pelo autor (2026).

A análise dos dados apresentados, evidencia que a QoE em sistemas de VoD está diretamente associada ao desempenho inicial e à continuidade da reprodução. O tempo de *startup*, até 5 segundos, revela-se um fator crítico para a primeira impressão do usuário, influenciando sua permanência na plataforma. Da mesma forma, a taxa de *rebuffering*, ainda que em níveis baixos, impacta negativamente a fluidez do consumo, demonstrando que a ausência de interrupções é um dos principais elementos para garantir uma experiência satisfatória.

No que se refere aos mecanismos de adaptação, os algoritmos de ABR apresentam papel essencial na manutenção do equilíbrio entre qualidade visual e estabilidade. A variação entre 10 e 15 trocas de qualidade por sessão indica que o sistema responde constantemente às condições da rede, porém, quando essas mudanças ocorrem de forma excessiva, podem gerar desconforto perceptivo. Além disso, a ampla faixa de *bitrate* observada (de 300 kbps a 25 Mbps) evidencia a flexibilidade dos sistemas em atender diferentes cenários de conectividade, ao mesmo tempo em que reforça a necessidade de estratégias que evitem oscilações bruscas de qualidade.

Por fim, os resultados destacam a importância da infraestrutura de distribuição no desempenho geral dos serviços de *streaming*. As taxas elevadas de *cache hit* indicam eficiência na entrega de conteúdo, contribuindo para a redução da latência e melhoria do tempo de resposta. Somado a isso, a utilização de computação de borda potencializa esses benefícios ao aproximar os recursos do usuário final, possibilitando ganhos expressivos na qualidade percebida. Dessa forma, observa-se que a

experiência do usuário é resultado da integração entre adaptação inteligente e uma infraestrutura de distribuição otimizada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu compreender que a experiência do usuário em serviços de VoD é resultado de uma combinação complexa entre arquitetura tecnológica e aspectos de usabilidade. A análise evidenciou que elementos como CDNs, algoritmos de ABR e métricas de QoE não atuam de forma isolada, mas sim de maneira integrada, influenciando diretamente a percepção de qualidade durante o consumo de conteúdo. Dessa forma, a eficiência técnica da infraestrutura se mostra determinante para garantir uma reprodução estável, com baixa latência e adequada adaptação às condições de rede.

A investigação também demonstrou que o equilíbrio entre qualidade de vídeo e estabilidade da reprodução é um dos principais desafios enfrentados pelas plataformas de *streaming*. Embora os algoritmos ABR permitam ajustar dinamicamente a qualidade conforme a variação da rede, a ocorrência excessiva de mudanças pode comprometer a experiência do usuário. Paralelamente, a utilização eficiente de mecanismos de cache em CDNs e a adoção de tecnologias como computação de borda contribuem significativamente para a redução de atrasos e melhoria do desempenho geral, reforçando a importância de arquiteturas distribuídas e escaláveis. A análise dos dados evidencia que a qualidade percebida não depende apenas de fatores técnicos, mas também da forma como esses recursos são implementados e integrados à interface do usuário. A usabilidade, associada à eficiência da entrega de conteúdo, desempenha papel fundamental na consolidação das plataformas no mercado.

Destaca-se que o avanço contínuo das tecnologias de *streaming*, aliado ao aumento da demanda por conteúdos em alta resolução, impõe a necessidade de soluções cada vez mais inteligentes e adaptativas. Como perspectivas futuras, recomenda-se o aprofundamento de estudos que integrem análise técnica com comportamento do usuário em cenários reais, bem como a investigação de novas abordagens baseadas em serviços vinculados com inteligência artificial e otimização em tempo real. Tais iniciativas podem contribuir para o desenvolvimento de sistemas

mais eficientes, capazes de oferecer experiências cada vez mais personalizadas e de alta qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, Waris; FANG, Chao; KHAN, Akmal. **A survey on the state-of-the-art CDN architectures and future directions**. 2025. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1084804525000037>>. Acesso em: 19 mar. 2026.

BARTOLEC, Ivan; SKORIN-KAPOV, Lea. **Modeling of user interactions for adaptive video streaming services on smartphone devices**. 2025. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/11197362>>. Acesso em: 24 mar. 2026.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 2008.

JUSTWATCH. **Prime Video é streaming líder no Brasil em ranking da JustWatch**. 2025. Disponível em: <<https://telaviva.com.br/22/07/2025/prime-video-e-lider-no-mercado-de-streaming-brasileiro-pela-primeira-vez-segundo-o-justwatch/>>. Acesso em: 24 mar. 2026.

KIM, Junghwan. **Caching, transcoding, delivery and learning for advanced video streaming services**. 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959524000626>>. Acesso em: 18 mar. 2026.

LIMA, João Marcos; MENDONÇA, Simone Queiroz; BRITO, Maria Lúcia Alves; FONSECA, Gustavo Freire. **Avaliação da usabilidade segundo as heurísticas de Nielsen: teste de usuários do Portal de Periódicos da CAPES**. Revista Espacios, v. 37, n. 31, 2016. Disponível em: <<https://www.revistaespacios.com/a16v37n31/16373131.html>>. Acesso em: 23 mar. 2026.

PERONI, Lorenzo; GORINSKY, Sergey. **An end-to-end pipeline perspective on video streaming in best-effort networks: a survey and tutorial**. 2025. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3742472>>. Acesso em: 18 mar. 2026.

NIELSEN, Jakob; MACK, Robert L. **Usability inspection methods**. New York: John Wiley & Sons, 1994.

RIBEIRO, Edvaldo Ferreira. **Um conjunto de melhorias nos serviços de streaming de vídeo: Netflix, Globoplay e Amazon Prime Vídeo baseadas na percepção de seus usuários**. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/25203>>. Acesso em: 23 mar. 2026.

SÁ-SILVA, Jackson Ronie; ALMEIDA, Cristóvão Domingos de; GUINDANI, Joel Felipe. **Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas**. Revista Brasileira

de História & Ciências Sociais, v. 1, n. 1, 2009. Disponível em:
<https://www.rbhcs.com/index_arquivos/Artigo.Pesquisa.documental.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2026.

SALVADOR, Luiz Miguel. **Conjunto de heurísticas para avaliação de usabilidade nas plataformas de streaming de vídeos em dispositivos móveis com foco para as habilidades dos usuários idosos**. 2021. Disponível em:
<<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/23399>>. Acesso em: 23 mar. 2026.

SEUFERT, Michael; EGGER, Sebastian; SLAHOVIC, Amela; ZINNER, Thomas; HOßFELD, Tobias. **A survey on quality of experience of HTTP adaptive streaming**. Multimedia Systems, v. 27, 2021. Disponível em:
<<https://link.springer.com/article/10.1007/s00530-021-00754-8>>. Acesso em: 25 mar. 2026.

TARAGHI, Babak. **End-to-end Quality of experience evaluation for HTTP adaptive streaming**. Sensors, v. 21, n. 7, 2021. Disponível em:
<<https://dl.acm.org/doi/epdf/10.1145/3474085.3481025>>. Acesso em: 25 mar. 2026.

TARAGHI, Babak; BENTALEB, Abdelhak; TIMMERER, Christian; ZIMMERMANN, Roger; HELLWAGNER, Hermann. **Understanding quality of experience of heuristic-based HTTP adaptive bitrate algorithms**. ACM Multimedia Systems Conference. New York: ACM, 2021. Disponível em:
<<https://dl.acm.org/doi/epdf/10.1145/3458306.3458875>>. Acesso em: 24 mar. 2026.

ZHANG, Yu; ZHANG, Jian; FENG, Yong; JIANG, Wei; HU, Zhijun; SHEN, Kai. **Storage and transcoding trade-off for multi-version VoD systems in the cloud**. IEEE Transactions on Multimedia, v. 18, n. 12, 2016. Disponível em:
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/7549397>>. Acesso em: 24 mar. 2026.

KANG, Jeongho; CHUNG, Kwangsue. **HTTP Adaptive Streaming Framework with Online Reinforcement Learning**. Applied Sciences, Basel, v. 12, n. 15, 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/15/7423>>. Acesso em: 13 maio 2026.

LIOTOU, Eirini; PASSAS, Nikos; MERAKOS, Lazaros; PAPANIKOLAOU, Vasileios. **Cache-Enabled Adaptive Video Streaming: A QoE-Based Evaluation Study**. Future Internet, Basel, v. 15, n. 7, 2023. Disponível em:
<<https://www.mdpi.com/1999-5903/15/7/221>>. Acesso em: 13 maio 2026.

LYKO, Tomasz; JANOWSKI, Lukasz; LESZCZUK, Mariusz; ROMANIUK, Ryszard. **Improving quality of experience in adaptive low latency live streaming**. Multimedia Tools and Applications, v. 83, 2024. Disponível em:
<<https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-023-15895-9>>. Acesso em: 13 maio 2026.

MEHR, Sheyda Kiani; JOGALEKAR, Prasad; MEDHI, Deep. **Moving QoE for monitoring DASH video streaming: models and a study of multiple mobile clients**. Journal of Internet Services and Applications, v. 12, 2021. Disponível em:

<<https://link.springer.com/article/10.1186/s13174-021-00133-y>>. Acesso em: 13 maio 2026.

RAHMAN, Waqas ur; CHEN, Liang; LI, Xiaofei; AHMAD, Jamil; KHAN, Muhammad Awaiz. **QoE optimization for HTTP adaptive streaming: performance evaluation of MEC-assisted and client-based methods**. Journal of Visual Communication and Image Representation, v. 82, 2021. Disponível em: <<https://www.open-access.bcu.ac.uk/12616/>>. Acesso em: 13 maio 2026.

UDDIN, Syed; AHMED, Tanvir; HOSSAIN, Mohammad; RAHMAN, Ashiqur. **Evaluating HAS and Low-Latency Streaming Algorithms for Enhanced QoE**. Electronics, Basel, v. 14, n. 13, 2025. Disponível em: <<https://www.open-access.bcu.ac.uk/16485/>>. Acesso em: 13 maio 2026.

YIN, Xiaoqi; SEKAR, Vyas; SINHA, Ramesh; WANG, Hui. **A control-theoretic approach for dynamic adaptive video streaming over HTTP**. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, New York, v. 45, n. 4, p. 325-338, 2015. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/2829988.2787486>>. Acesso em: 13 maio 2026.

HUANG, Te-Yuan; JOHARI, Ramesh; MCKEOWN, Nick; TRUNNELL, Matthew; WATSON, Mark. A buffer-based approach to rate adaptation: evidence from a large video streaming service. In: ACM SIGCOMM 2014 Conference. Chicago: ACM, 2014. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/2619239.2626296>>. Acesso em: 18 maio 2026.

XIAO, Meng; ZHOU, Jiayi; LIU, Yong; WANG, Ming. **Edge computing for video streaming: opportunities and challenges**. Future Internet, Basel, v. 10, n. 8, 2018. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1999-5903/10/8/72/pdf>>. Acesso em: 18 maio 2026.

YAO, Huaxin; BAI, Chao; ZHANG, Peng; ZHANG, Xianbin. **Joint optimization of caching and routing in software-defined networking enabled information-centric networking**. IEEE Access, v. 7, 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8613880>>. Acesso em: 18 maio 2026.

JIA, Lianchen; ZHOU, Chao; LI, Chaoyang; LIU, Jiangchuan; SUN, Lifeng. **Towards User-level QoE: Large-scale Practice in Personalized Optimization of Adaptive Video Streaming**. ACM SIGCOMM 2025 Conference, New York: ACM, 2025. Disponível em: <<https://arxiv.org/html/2508.16454v1>>. Acesso em: 24 mar. 2026.