

Uma Arquitetura de Acesso Remoto Sustentável para Inclusão Digital a Partir do Reaproveitamento de Aparelhos TV-BOX Descaracterizados

Italo Thiago Felix dos Santos¹, Carlos Eduardo Correa Queiroz¹,
Adevan Neves Santos², Edgard Luciano Oliveira da Silva¹

¹ Escola Superior de Tecnologia (EST) – Universidade do Estado do Amazonas (EST/UEA)¹

²Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (ICOMP/UFAM)²

{itfds, cecq.eng23, elsilva}@uea.edu.br, adevan.santos@icompu.ufam.edu.br

Abstract. *Digital inclusion and the volume of electronic waste (e-waste) are major challenges for society, with direct impacts on the educational context. Educational institutions, especially those with limited resources, face difficulties in expanding and maintaining computer laboratories. This paper presents the implementation of a sustainable, low-cost Desktop Virtualization Infrastructure (VDI) developed through the reuse of discarded electronic equipment. The proposed solution employs a refurbished Linux server and repurposes confiscated TV Box devices (originally intended for disposal) into functional ARM-based thin clients by installing a compatible Linux distribution. This approach is aligned with the principles of the circular economy by promoting hardware reuse and seeks to reduce the costs associated with deploying computing environments for education. The paper describes the system architecture, the device repurposing process, and the observed results, indicating that this approach represents a viable alternative to support digital education initiatives with a focus on sustainability.*

Resumo. *A inclusão digital e o volume de lixo eletrônico (e-lixo) são dois grandes desafios para a sociedade, com impactos também no contexto educacional. Instituições de ensino, especialmente aquelas com recursos limitados, enfrentam dificuldades para ampliar e manter laboratórios de informática. Este artigo apresenta a implementação de uma Infraestrutura de Virtualização de Desktops (VDI) sustentável e de baixo custo, desenvolvida a partir do reaproveitamento de equipamentos eletrônicos descartados. A solução utiliza um servidor Linux reconicionado e converte aparelhos de TV Box apreendidos, originalmente destinados ao descarte, em Thin Clients funcionais baseados em arquitetura ARM, por meio da instalação de uma distribuição Linux compatível. A proposta está alinhada aos princípios da economia circular, ao promover a reutilização de hardware, e busca reduzir custos de implantação de ambientes para ensino de computação. O trabalho descreve a arquitetura, o processo de reaproveitamento dos dispositivos e os resultados observados, indicando que essa abordagem é uma alternativa viável para apoiar iniciativas de educação digital com foco em sustentabilidade.*

1. Introdução

A Receita Federal do Brasil (RFB) apreendeu cerca de 920 milhões de reais em materiais eletrônicos em 2025 [Receita Federal 2026a]. Embora parte dessas mercadorias retorne à sociedade por meio de leilões eletrônicos, diversos itens, como dispositivos de TV Box associados à pirataria, cigarros eletrônicos e bebidas, não podem ser comercializados ou redistribuídos diretamente ao público devido a riscos à saúde, segurança ou infrações de propriedade intelectual. A Receita Federal também desenvolve iniciativas voltadas à destinação de mercadorias apreendidas por meio de doações destinadas às Organizações da Sociedade Civil (OSCs). Entretanto, nem todos os dados relacionados às apreensões e aos volumes descartados são divulgados publicamente de forma detalhada. Antes da consolidação de programas como o Receita Cidadã, grande parte desses materiais era simplesmente destruída ou descartada, gerando significativo impacto ambiental, especialmente no caso de resíduos eletrônicos, plásticos, baterias e componentes potencialmente tóxicos. Para mitigar esse problema, a RFB passou a adotar políticas de descaracterização, processo que consiste na inutilização de marcas, logomarcas e etiquetas de produtos apreendidos para torná-los genéricos. Esse procedimento permite a reutilização legal de equipamentos, possibilitando sua ressignificação e posterior doação para entidades assistenciais, projetos sociais e instituições de ensino. Essa abordagem ganhou ainda mais força durante a pandemia de COVID-19 [Receita Federal 2020], quando a necessidade de reaproveitamento de materiais tornou-se crítica. Nesse período, álcool apreendido foi convertido em álcool em gel para uso hospitalar e máscaras falsificadas ou impróprias para comercialização passaram por processos de descaracterização e reaproveitamento industrial, incluindo sua transformação em insumos para compostagem e adubos. A estratégia evidenciou o potencial de transformar produtos anteriormente destinados à destruição em recursos úteis para a sociedade, reduzindo simultaneamente custos logísticos e impactos ambientais. Um exemplo recente do volume ocorreu em maio de 2026, com a apreensão de 16 toneladas de eletrônicos no Porto do Rio de Janeiro [Receita Federal 2026b], reforçando a importância de converter um passivo ambiental em ferramentas de inclusão digital, pesquisa e capacitação tecnológica.

A democratização do acesso à tecnologia em ambientes educacionais colide frequentemente com três obstáculos principais: o alto custo de aquisição de hardware, o problema ambiental gerado pelo descarte de lixo eletrônico e a recorrente dificuldade de mobilização institucional para a busca de alternativas que superem a dependência de orçamentos vultosos. O modelo tradicional de laboratórios de informática, baseado em desktops individuais, exige investimento contínuo e alimenta um ciclo de obsolescência e descarte. Observa-se que centros de descarte de lixo eletrônico e processos de renovação de parques tecnológicos frequentemente recebem computadores e dispositivos que ainda mantêm plena funcionalidade, mas que acabam subutilizados ou descartados prematuramente. Em resposta a esses desafios, este trabalho demonstra como a inovação técnica, aliada à vontade institucional, pode converter recursos escassos em infraestruturas educacionais robustas através da economia circular.

O projeto fundamenta-se na implementação de uma Infraestrutura de Virtualização de Desktops (Virtual Desktop Infrastructure, VDI) no Laboratório de Sistemas Digitais (LSDA/UEA). A iniciativa aproveita o fato de que a Receita Federal estabelece parcerias estratégicas com diversas instituições de ensino e pesquisa para a descaracterização e ressignificação de produtos contrabandeados ou apreendidos, que ori-

ginalmente seriam destinados à destruição. A principal inovação reside na transformação de aparelhos de TV Box ilegais em estações de trabalho funcionais, ressignificando seu propósito para a educação [UEA 2025]. A solução utiliza um servidor reconicionado que centraliza o processamento e entrega ambientes de trabalho completos para terminais leves, conhecidos como Thin Clients.

Estudos recentes, como o de [Sabino et al. 2017], validaram empiricamente a superioridade do modelo Thin Client em comparação ao uso de TV Boxes como computadores autônomos, demonstrando que a abordagem VDI é a mais eficiente para extrair desempenho desses dispositivos em tarefas complexas. Este artigo, portanto, documenta a viabilidade técnica de uma arquitetura baseada em um servidor Linux e comunicação via protocolo XRDP (X11 Remote Desktop Protocol) [XRDP Project 2025]. O trabalho destaca o potencial dessa iniciativa como um modelo replicável para a criação de laboratórios de baixo custo e alto impacto socioambiental, incentivando outras instituições a superarem barreiras de gestão e adotarem medidas semelhantes de inclusão digital sustentável.

2. Trabalhos Relacionados

A implementação de VDI com software livre e hardware de baixo custo é uma área de pesquisa consolidada. A convergência dessa abordagem com práticas de sustentabilidade e economia circular, contudo, é um campo emergente e de alta relevância social.

2.1. VDI, Thin Clients e Análise de Desempenho

Soluções VDI baseadas em software livre, como o protocolo RDP implementado pelo XRDP [XRDP Project 2025, Microsoft 2025], oferecem alternativas robustas às plataformas comerciais, sendo frequentemente aplicadas em laboratórios universitários para otimizar recursos. O uso de Single-Board Computers (SBCs), como o Raspberry Pi, como Thin Clients também é bem documentado, demonstrando a viabilidade de reduzir o custo das estações de trabalho [Morais 2019]. Ao analisar a capacidade de servidores físicos em ambientes VDI, Sabino e Carvalho [Sabino et al. 2017] identificaram que o hardware avaliado, composto por um servidor com 8 núcleos de processamento e 12 GB de memória RAM, suportou entre cinco e seis usuários simultâneos com desempenho considerado satisfatório. A partir de nove usuários, os autores observaram degradação perceptível da interface gráfica, associada a uma utilização total de CPU de 94,08% e apenas 5,92% de ociosidade.

Embora os autores apontem a CPU como principal gargalo do sistema, tais resultados estão diretamente relacionados à capacidade computacional limitada do servidor utilizado e à análise baseada em métricas agregadas de uso de CPU. Em cenários com maior paralelismo e número elevado de núcleos lógicos, como os avaliados no presente trabalho, a correta interpretação dessas métricas torna-se fundamental para evitar conclusões imprecisas sobre saturação do processamento. O estudo também evidenciou a natureza assimétrica do tráfego de rede em infraestruturas VDI, com taxas médias de download da ordem de 1MB/s e upload próximas de 30MB/s, decorrentes da necessidade contínua de transmissão de atualizações de tela aos terminais. Esse comportamento reforça a importância da qualidade do enlace de rede, especialmente em ambientes educacionais que utilizam conexões sem fio, aspecto considerado na arquitetura proposta neste trabalho.

Tabela 1. Comparativo técnico entre arquiteturas de VDI e uso autônomo.

Critério	Desktop	R. Pi	TV Box (Aut.)	Proposta VDI
Custo	Alto	Médio	Nulo/Baixo	Mínimo
Desempenho	Exc.	Bom	M. Limitado	Alto (via Serv.)
Latência	N/A	Baixa	N/A	Aceitável (13-25ms)
Escalabilidade	Difícil	Média	Nula	Alta
Sustentabilidade	Baixa	Alta	Altíssima	Altíssima

Nesse contexto, o trabalho de [Sobrinho et al. 2024] é particularmente relevante, pois realizou uma análise de desempenho comparativa direta entre uma TV Box operando como computador pessoal (com sistema Armbian) e outra como Thin Client. Os resultados mostraram que a versão Thin Client foi drasticamente superior em todas as tarefas, chegando a ser nove vezes mais rápida em aplicações como videoconferências, tarefa na qual a versão autônoma falhou devido às limitações de processamento gráfico e de decodificação. Essa evidência quantitativa não apenas reforça a escolha arquitetural do presente projeto, mas também justifica a necessidade de uma infraestrutura baseada em VDI para extrair utilidade pedagógica de hardware com recursos limitados. A Tabela 1 sintetiza essa superioridade, confrontando a solução proposta com outras arquiteturas de mercado. Observa-se que, enquanto soluções tradicionais como Desktops oferecem alto desempenho a custos elevados e alto impacto ambiental, e dispositivos como o Raspberry Pi possuem custo intermediário, a proposta de TV Box em modo VDI alcança o equilíbrio ideal, oferecendo desempenho aceitável para o ambiente escolar com custo mínimo e impacto ambiental positivo decorrente da economia circular.

2.2. Sustentabilidade e Iniciativas Nacionais de Reaproveitamento

O reaproveitamento de equipamentos eletrônicos para fins educacionais é uma iniciativa crescente no Brasil, alinhada a discussões sobre políticas de TI Verde [Brasil 2022]. Um exemplo notável é o projeto conduzido pelo Parque Tecnológico Itaipu em parceria com a Receita Federal e a Unioeste, que transforma TV Boxes apreendidas em mini-PCs educacionais e para aplicações de IoT [Agência Amazonas 2025].

Um aspecto importante da sustentabilidade da proposta está relacionado ao volume potencial de resíduos eletrônicos evitados pelo reaproveitamento desses dispositivos. Aparelhos TV Box possuem peso relativamente reduzido; entretanto, o peso bruto do conjunto, compreendendo o dispositivo, a fonte de alimentação, o controle remoto e o cabo HDMI, situa-se entre 300g e 500g. Em 2021, a Receita Federal destruiu aproximadamente 97 mil aparelhos de TV Box piratas [Agência Brasil 2021]. Considerando apenas o peso bruto médio conservador de 400 g por unidade, estima-se que essa operação tenha gerado aproximadamente 38,8 toneladas de resíduos eletrônicos e materiais associados. Mesmo em um cenário mais conservador, considerando apenas o peso líquido médio dos dispositivos (aproximadamente 250 g), o volume descartado ainda corresponderia a cerca de 24,25 toneladas de lixo eletrônico. Esses valores evidenciam o impacto ambiental associado à destruição em larga escala desses equipamentos e reforçam a relevância de iniciativas de ressignificação tecnológica como a proposta neste trabalho, que busca transformar parte desse passivo ambiental em infraestrutura computacional de baixo custo para inclusão digital e educação.

A Universidade do Estado do Amazonas (UEA), também em parceria com a Receita Federal, desenvolve um projeto que destina TV Boxes ressignificadas para escolas de comunidades indígenas Baniwa, na bacia do rio Içana [UEA 2025]. Outra iniciativa recente, documentada por [da Luz et al. 2025], investigou o reaproveitamento desses dispositivos para aplicações de edge computing em cidades inteligentes, destacando seu potencial inovador e baixo impacto de carbono. Essas iniciativas, incluindo a apresentada neste artigo, demonstram que o modelo de ressignificação de TV Boxes está se consolidando como uma solução viável para transformar um problema ambiental em uma solução para a inclusão digital e a educação.

3. Arquitetura e Implementação do Sistema

A infraestrutura foi projetada em um modelo cliente-servidor [Tanenbaum and Wetherall 2011], onde todo o processamento pesado é centralizado. Essa abordagem é consistente com a literatura, que aponta o modelo Thin Client como a maneira mais eficiente de extrair desempenho de hardware com recursos limitados [Sobrinho et al. 2024]. O núcleo da infraestrutura é um servidor Lenovo ThinkServer TD350 [Lenovo 2025]. Reforçando o compromisso com a sustentabilidade, o equipamento foi adquirido de um centro de descarte e recondicionamento de eletrônicos. Equipado com dois processador Intel Xeon E5-2630 v4 [Intel Corporation 2016] e 160 GB de RAM, servidor possui apenas uma GPU onboard básica, ASPEED Graphics Family, para gerenciamento de console, ele executa o Ubuntu 22.04.5 LTS [Ubuntu Team 2025] em modo "headless". O servidor possui um IP estático e conecta-se à rede via cabo Ethernet para garantir a máxima performance na entrega das sessões remotas.

As estações de trabalho foram criadas a partir de dispositivos TV Box (modelo MXQ Pro 4K), provenientes de apreensões da Receita Federal. O sistema Android original foi substituído pelo Armbian Linux [Armbian Team 2025], uma distribuição leve e otimizada para a arquitetura ARM dos dispositivos [jock 2025]. Essa modificação é o passo crucial que transforma um aparelho de consumo em uma ferramenta educacional.

O cliente de desktop remoto Remmina [Remmina Project 2025] é utilizado para estabelecer a conexão via XRDP com o servidor, atuando como a interface principal entre o usuário e o ambiente virtualizado. Nesse modelo, a TV Box desempenha exclusivamente o papel de terminal de acesso, sendo responsável apenas pela decodificação do fluxo de vídeo transmitido pelo servidor e pelo envio dos eventos de entrada provenientes do teclado e do mouse. Dessa forma, o dispositivo opera com consumo mínimo de recursos computacionais e energéticos, uma vez que todo o processamento pesado é centralizado no servidor. Essa abordagem está diretamente alinhada aos princípios da Tecnologia da Informação Verde (*Green IT*) [Directo 2016], ao prolongar a vida útil de equipamentos simples, reduzir o consumo energético individual das estações e minimizar a geração de resíduos eletrônicos. A Figura 2 ilustra uma das estações em funcionamento durante os testes realizados no ambiente de laboratório.

3.1. Gerenciamento e Experiência do Usuário

Para unificar a experiência do usuário, todas as sessões remotas utilizam o ambiente GNOME 42.9 [GNOME Foundation 2025, Desktop Icons NG 2025]. A configuração da

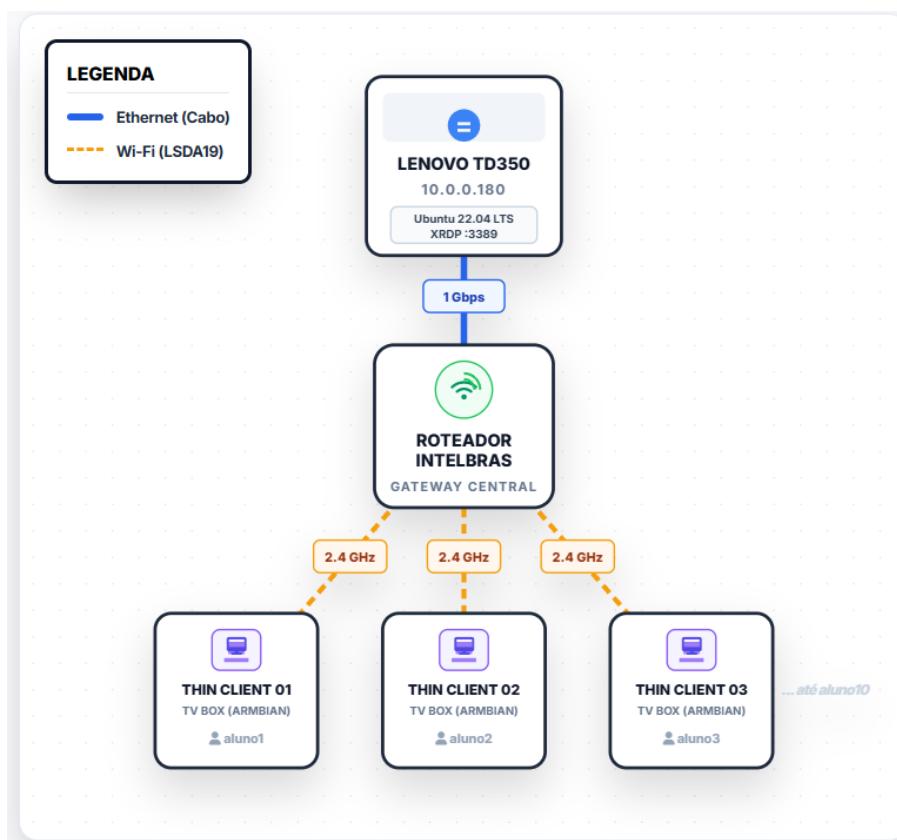


Figura 1. Topologia da infraestrutura VDI

interface é padronizada e tornada "imutável" através de regras globais no sistema dconf [GNOME Project 2025]. Isso garante que o ambiente permaneça consistente e funcional para todos os alunos, reduzindo drasticamente a necessidade de manutenção e suporte técnico.

4. Limitações do Sistema

Apesar da viabilidade da solução, é importante destacar limitações técnicas que afetam primariamente a reprodução de mídias de alta taxa de quadros (vídeo). Inicialmente, o desempenho insatisfatório na reprodução eficiente de vídeos foi atribuído à falta de aceleração gráfica por hardware (GPU) nos terminais TV Box, cuja CPU seria sobrecarregada ao decodificar o fluxo do XRDP, em linha com observações sobre SBCs operando de forma autônoma [Sobrinho et al. 2024]. No entanto, testes subsequentes conduzidos com um Thin Client de hardware não limitado (um notebook comum com CPU e GPU dedicadas) conectado ao VDI demonstraram que a fluidez de vídeo permaneceu insatisfatória e similar ao desempenho observado nos TV Boxes. Essa evidência indica que o principal gargalo de desempenho não reside na capacidade de decodificação do *cliente*, mas sim na ausência de uma GPU dedicada no servidor para realizar a renderização e codificação desse fluxo em tempo real.

Embora o servidor Lenovo ThinkServer TD350 possua uma GPU onboard, esta é destinada exclusivamente a tarefas de gerenciamento e exibição de console, não oferecendo suporte efetivo à aceleração gráfica 3D ou à codificação de vídeo por hardware.

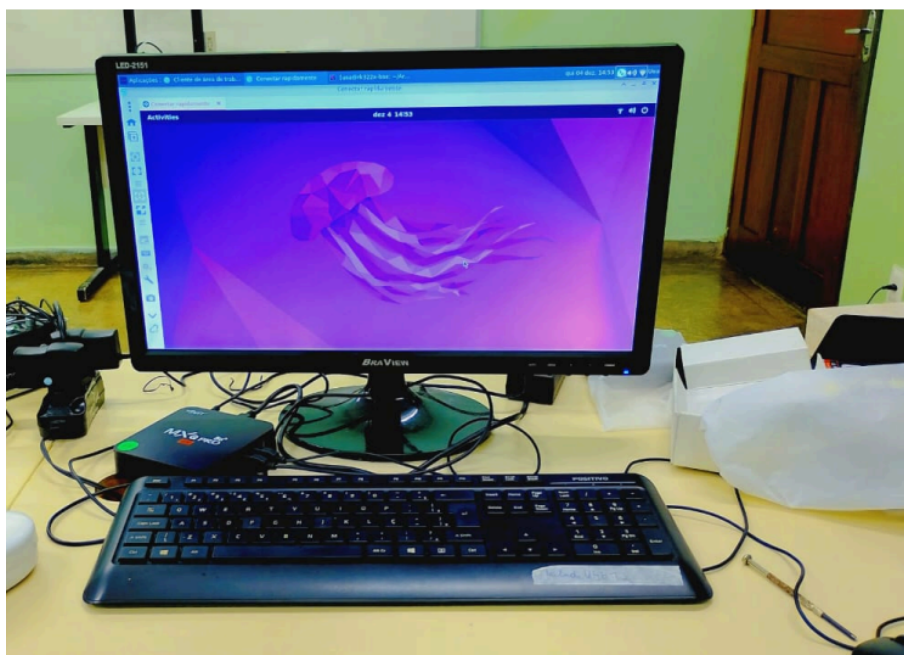


Figura 2. Estação de trabalho sustentável com TV Box reaproveitada.

Dessa forma, a renderização gráfica das sessões e a codificação do fluxo de vídeo do protocolo XRDP são realizadas integralmente via software na CPU do servidor. Essa característica explica o desempenho insatisfatório na reprodução de mídias com alta taxa de quadros, observado tanto em terminais TV Box quanto em clientes com hardware gráfico dedicado. Logs de monitoramento do sistema indicam elevada ociosidade global da CPU, combinada com uso significativo por processos gráficos como `Xorg` e `gnome-shell`, padrão típico de renderização em software, confirmando que o gargalo não reside na capacidade do cliente, mas na ausência de aceleração gráfica adequada no servidor.

Tabela 2. Distribuição do uso de CPU para um usuário ativo na infraestrutura VDI

Métrica	Valor
Processadores físicos	2
Total de núcleos físicos	20
Total de núcleos lógicos (threads)	40
Uso máximo teórico de CPU	4000%
Uso típico de CPU por usuário ativo (t_{op})	$\sim 110\%$
Equivalente em núcleos lógicos	1,10
Uso relativo da capacidade total	2,75%
Ociosidade média do sistema	93,4%
Uso total médio do sistema	6,6%

Para o cenário de uso adotado no laboratório, esta limitação é mitigada: tarefas típicas do ambiente educacional, como navegação web, edição de documentos (incluindo o uso do GIMP) e simulações (Quartus), funcionam de forma responsiva, sem impacto perceptível na experiência do usuário, mesmo com o alto número de usuários simultâneos, conforme indicado pelas baixas taxas de uso relativo de CPU do sistema (Tabela 2).



Figura 3. Estação de trabalho sustentável com TV Box reaproveitada.

Os monitores operam com resolução nativa de 1280×720 (720p), o que também reduz a carga de trabalho gráfica. A solução ideal seria a instalação de uma GPU de aceleração de virtualização (*vGPU*) no servidor para descarregar a tarefa de renderização, mas tais placas apresentam custo elevado e não são facilmente encontradas. Uma tentativa de utilizar uma placa de consumo (GT 730 4GB) foi inviabilizada pela falta de drivers estáveis para as versões mais recentes do Ubuntu, o que impossibilitou o *offloading* da CPU. A superação desse gargalo é um objetivo de trabalhos futuros.

Tabela 3. Latência percebida em função do número de usuários simultâneos.

Usuários Conectados	Latência Média Percebida (ms)
1	13
5	13
10	21
15	25

No que tange à conectividade, a interface Wi-Fi gerenciada pelo gateway Intelbras [Intelbras 2025] limita os terminais a 100 Mbps [Alencar 2010]. Apesar da restrição, não foram observados gargalos de rede para a quantidade pretendida de até 30 acessos simultâneos. A largura de banda disponível por aluno (aprox. 3,3 Mbps) é compatível

com o tráfego de sessões XRDP para uso acadêmico focado em produtividade e desenvolvimento de software [Tanenbaum and Wetherall 2011].

5. Outras Limitações

Embora o uso de TV Boxes apreendidas dependa de parcerias institucionais específicas, a arquitetura proposta pode ser reproduzida com outros dispositivos ARM descartados ou reutilizados, incluindo SBCs, mini-PCs e equipamentos embarcados provenientes de descarte tecnológico. Entretanto, a reprodutibilidade exata do modelo baseado em TV Boxes apresenta limitações práticas importantes relacionadas à heterogeneidade do hardware disponível. Os dispositivos apresentam elevada heterogeneidade de hardware, incluindo diferentes processadores, revisões de placa e configurações de memória, o que impacta diretamente a compatibilidade com distribuições Linux modernas e frequentemente exige kernels específicos ou suporte comunitário especializado [Armbian 2026]. Nesse contexto, o Armbian destaca-se como um framework comunitário baseado em Debian/Ubuntu, responsável por fornecer imagens otimizadas e kernels customizados para dispositivos ARM, ampliando a compatibilidade e a estabilidade operacional desses equipamentos.

A disponibilidade desses equipamentos varia de acordo com os lotes apreendidos pela Receita Federal em cada região do país. Frequentemente, cada unidade regional recebe conjuntos únicos de dispositivos, com características distintas entre si, dificultando a padronização completa da infraestrutura. Apesar disso, comunidades e instituições parceiras compartilham informações técnicas sobre compatibilidade e reaproveitamento desses equipamentos. Um dos principais repositórios utilizados para catalogação e documentação desses dispositivos é o projeto [EducaBox202 2024], que reúne informações sobre modelos compatíveis, imagens de sistemas e procedimentos de recuperação. De forma geral, a maioria dos dispositivos ARM apreendidos pode ser reaproveitada em alguma capacidade computacional. Entretanto, dispositivos com limitações severas de desempenho, memória ou estabilidade podem ser destinados a aplicações menos exigentes, como automação, controladores embarcados, impressão 3D ou sistemas mecânicos automatizados, estratégia também explorada por outras instituições que buscam ampliar a vida útil de hardware ainda funcional também explorada por outras instituições ligada ao [Receita Federal 2026a].

Outro fator relevante refere-se às condições ambientais. Em regiões de clima adverso, caracterizadas por altas temperaturas e elevada umidade, como a região amazônica, o impacto sobre a durabilidade desses dispositivos ainda não está completamente determinado. Nessas condições, podem ocorrer falhas prematuras relacionadas à degradação eletrônica, oxidação ou instabilidade térmica. Adicionalmente, conforme relatado pela comunidade Armbian [jock 2025], alguns dispositivos podem sofrer processos de *bricking* ou *hard lock*, situações em que o equipamento se torna permanentemente inutilizável, retornando à condição de lixo eletrônico.

Embora a Tabela 1 apresente uma análise comparativa da arquitetura proposta, não foi possível realizar uma estimativa financeira quantitativa precisa da infraestrutura. Isso ocorre porque parte significativa dos recursos computacionais empregados é composta por equipamentos recondicionados e hardware reaproveitado provenientes de descarte tecnológico, adquiridos em períodos anteriores às recentes oscilações globais no mer-

cado de semicondutores e componentes eletrônicos. Consequentemente, valores absolutos de custo poderiam não refletir com precisão o cenário econômico atual. Ainda assim, a elevação contínua dos preços de hardware reforça a relevância de abordagens fundamentadas em economia circular e reutilização tecnológica como estratégias sustentáveis e economicamente acessíveis para promoção da inclusão digital.

6. Conclusão

Os resultados obtidos indicam que é viável a construção de laboratórios de inclusão digital de baixo custo a partir do reaproveitamento de equipamentos provenientes de descarte eletrônico. A conversão de TV Boxes em Thin Clients, associada ao uso de um servidor recondicionado, demonstrou que uma infraestrutura baseada em virtualização de desktops pode atender de forma satisfatória às demandas básicas de ambientes educacionais, mesmo em contextos de restrição orçamentária. A solução apresentou funcionamento estável durante o período de testes e mostrou-se adequada para atividades acadêmicas cotidianas, como navegação web, edição de documentos e uso de ferramentas educacionais, evidenciando o potencial da abordagem para ampliar o acesso a recursos computacionais. Nesse contexto, o trabalho reforça que a adoção de práticas mais sustentáveis em tecnologia da informação pode contribuir tanto para a redução de custos quanto para a diminuição do impacto ambiental, sem comprometer os requisitos mínimos de uso em ambientes de ensino.

7. Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, recomenda-se a implementação de mecanismos de automação para o provisionamento e o gerenciamento de usuários, de modo a reduzir o esforço administrativo e aumentar a reprodutibilidade da infraestrutura. Adicionalmente, propõe-se a investigação de otimizações na camada de rede para garantir a qualidade da experiência do usuário (*Quality of Experience* - QoE), especialmente em cenários com conectividade sem fio (*Wi-Fi*) instável ou com elevada densidade de acessos simultâneos.

Uma frente de pesquisa prioritária, originada das limitações identificadas, consiste na avaliação do uso de placas de vídeo dedicadas de arquitetura comercial (segmento doméstico) instaladas no servidor. O objetivo é analisar o potencial de aceleração de hardware para a renderização gráfica e codificação de vídeo em tempo real no protocolo de acesso remoto, superando o atual gargalo de processamento em *software*. Esse estudo deve identificar limitações práticas relacionadas à compatibilidade de drivers em sistemas de código aberto, consumo energético e o impacto no custo-benefício da solução.

Ademais, planeja-se a inclusão e a avaliação de ferramentas voltadas ao ensino de microeletrônica, como o conjunto para projeto de Circuitos Integrados (CI) UNICCASS-ICDESIGN-TOOLS. Pretende-se verificar a integração dessas ferramentas com a infraestrutura proposta e seu impacto no suporte a atividades práticas de simulação eletrônica. Por fim, a realização de testes com aplicações de engenharia mais exigentes permitirá delimitar com maior precisão os limites de desempenho da arquitetura e ampliar sua aplicabilidade em diferentes cenários do ensino superior de tecnologia.

Agradecimentos

Os autores expressam sua gratidão à Receita Federal pela fundamental cooperação e pela disponibilização dos equipamentos de TV Box, base material desta pesquisa. Estendem

seus agradecimentos à Pró-Reitoria de Extensão (PROEX) da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) pelo fomento à integração entre pesquisa e extensão, através do programa PADEX. Por fim, agradecem à Universidade do Estado do Amazonas por todo o apoio institucional que tornou este trabalho possível.

Referências

- Agência Amazonas (2025). Secretaria de educação recebe 25 mil minicomputadores para ampliar inclusão digital. Portal do Governo do Estado do Amazonas. Acesso em: 05 dez. 2025.
- Agência Brasil (2021). Receita federal destrói 97 mil aparelhos de tv box piratas. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-05/receita-federal-destroi-97-mil-aparelhos-de-tv-box-piratas>. Acessado em: 13 de maio de 2026.
- Alencar, M. A. S. (2010). *Fundamentos de Redes de Computadores*. Editora da Universidade Federal do Amazonas (EDUA), Manaus. Disponível em: <https://redeetec.mec.gov.br/>. Acesso em: 13 jan. 2026.
- Armbian (2026). Documentação e suporte a placas suportadas pelo armbian. <https://armbian.com/pt/boards/>. Acessado em: 1 de maio de 2026.
- Armbian Team (2025). Armbian linux: The computing framework you can rely on. Acesso em: 05 dez. 2025.
- Brasil (2022). Projeto de lei nº 587, de 15 de março de 2022: Institui a política federal ti verde. Câmara dos Deputados. Acesso em: 01 mai. 2024.
- da Luz, G. P. C. P., Sato, G. M., Gonzalez, L. F. G., and Borin, J. F. (2025). Repurposing of tv boxes for a circular economy in smart cities applications. *Scientific Reports*, 15(1):22638.
- Desktop Icons NG (2025). Desktop icons ng (ding): Gnome shell extension. GitLab Repository. Acesso em: 05 dez. 2025.
- Directo, D. H. R. (2016). Green office computer workstations using thin client systems: Energy and financial efficiency study. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 5(3):189–196.
- EducaBox202 (2024). Repositório oficial do projeto educabox. <https://github.com/educabox/educabox>. Acessado em: 15 de maio de 2026.
- GNOME Foundation (2025). Gnome shell: version 42.9 documentation. Acesso em: 05 dez. 2025.
- GNOME Project (2025). Gnome system administration guide: Locking down specific settings. Acesso em: 05 dez. 2025.
- Intel Corporation (2016). *Intel® Xeon® Processor E5-2630 v4 Product Specifications*. Intel Corporation, Santa Clara, CA.
- Intelbras (2025). Equipamentos de rede intelbras: Manuais de gateways e roteadores. Portal de Suporte Intelbras. Acesso em: 05 dez. 2025.

- jock (2025). Rk322x: Support for generic rk3228a, rk3228b and rk3229 tv boxes. Arm-bian Community Documentation. Acesso em: 13 jan. 2026.
- Lenovo (2025). Thinkserver td350: User guide and hardware maintenance manual. Lenovo Technical Support. Acesso em: 05 dez. 2025.
- Microsoft (2025). Remote desktop protocol (rdp) specification. Microsoft Learn Documentation. Acesso em: 05 dez. 2025.
- Morais, F. L. (2019). Thin client raspberry pi: Uma alternativa para laboratórios de informática. Trabalho de conclusão de curso, Faculdade de Tecnologia de Indaiatuba (FATEC), Indaiatuba, SP.
- Receita Federal (2020). Receita federal doa 30 mil litros de bebidas alcoólicas para fabricação de álcool em gel. <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/noticias/2020/abril/receita-federal-doa-30-mil-litros-de-bebidas-alcoolicas-para/-fabricacao-de-alcool-em-gel>. Acessado em: 13 de maio de 2026.
- Receita Federal (2026a). Receita cidadã: Destinação sustentável. <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/cidadania-fiscal/novos-destinos>. Acessado em: 15 de maio de 2026.
- Receita Federal (2026b). Receita federal apreende cerca de 16 toneladas de produtos eletrônicos irregulares no porto do rio de janeiro. <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/noticias/2026/maio/receita-federal-apreende-cerca-de-16-toneladas-de-produtos/-eletronicos-irregulares-no-porto-do-rio-de-janeiro>. Acessado em: 13 de maio de 2026.
- Remmina Project (2025). Remmina: The gtk+ remote desktop client. Acesso em: 05 dez. 2025.
- Sabino, L. S., Gontijo, T. S., and Ribeiro, J. M. S. (2017). Análise da implantação de virtual desktop infrastructures (vdi) em laboratórios de informática de uma universidade. *Sistemas e Gestão*, 12(4):436–447.
- Sobrinho, M. P., Sousa, J. V. M., Carvalho, F. M. P. M. A., Silva, C. A. N., and Santos, L. R. (2024). Explorando tv boxes em ambientes educacionais: Vantagens e limitações operando como thin client. Relatório de pesquisa, Universidade Estadual do Piauí (UESPI), Picos, PI.
- Tanenbaum, A. S. and Wetherall, D. J. (2011). *Redes de Computadores*. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 5 edition.
- Ubuntu Team (2025). Ubuntu 22.04.5 lts (jammy jellyfish). Canonical Ltd. Acesso em: 05 dez. 2025.
- UEA (2025). Projetos da est/uea para reuso sustentável de equipamentos apreendidos pela receita federal ganham destaque nacional. Portal UEA. Acesso em: 05 dez. 2025.
- XRDP Project (2025). Xrdp: Open source remote desktop server. Acesso em: 05 dez. 2025.