



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E BIOMÉDICA

ALEQSSANDRO ALEXANDRE DE OLIVEIRA FARIAS

CONSTRUÇÃO DE UM CLUSTER DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO TV BOXES  
DESCARACTERIZADAS

BELÉM-PA  
2026

ALEQSSANDRO ALEXANDRE DE OLIVEIRA FARIAS

**CONSTRUÇÃO DE UM CLUSTER DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO TV BOXES  
DESCARACTERIZADAS**

Trabalho de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Antonio Roniel Marques de Sousa

Coorientador: Prof. Dr. Wellington da Silva Fonseca

BELÉM-PA

2026

ALEQSSANDRO ALEXANDRE DE OLIVEIRA FARIAS

**CONSTRUÇÃO DE UM CLUSTER DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO TV BOXES  
DESCARACTERIZADAS**

Trabalho de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Antonio Roniel Marques de Sousa

Coorientador: Prof. Dr. Wellington da Silva Fonseca

Data de aprovação: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Conceito:

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Antonio Roniel Marques de Sousa - SESI

Orientador

---

Prof. Dr. Wellington da Silva Fonseca - FEEB/ITEC/UFPA

Coorientador

---

Prof. Dr. Miércio Cardoso De Alcântara Neto - FEEB/ITEC/UFPA

Examinador interno

---

Prof. Dr. Marcos Cesar Da Rocha Seruffo - FCT/ITEC/UFPA

Examinador externo

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha mãe, Francinete Rodrigues, pois foi ela quem me forneceu estrutura emocional e financeira para correr atrás dos meus sonhos em outra cidade. Ela sempre me incentivou a ser alguém melhor e eticamente correto, buscou evolução profissional para nunca deixar faltar nada para seus filhos e permanece como minha constante fonte de inspiração. Sou grato também ao meu pai, Alexandre Farias, pois foi graças a ele que conheci o mundo da eletrônica, o qual foi o divisor de águas na decisão de qual formação eu iria seguir. Agradeço ainda aos meus irmãos, Gabriel e Lucas, pois, com o nascimento deles, precisei amadurecer e buscar ser um irmão exemplar.

Sou grato à minha noiva, Luane Mattos, que durante toda a minha formação me incentivou a evoluir de forma pessoal e profissionalmente, nunca se opondo às minhas longas rotinas de estudo, mas me acompanhando diariamente e sendo minha fonte de estabilidade emocional. Agradeço também à minha sogra, Elaine Pessoa, pelo incentivo constante aos meus estudos e pelo suporte ao longo da minha trajetória.

Além disso, sou grato a todos os meus professores e amigos que fizeram parte da minha trajetória escolar e acadêmica. Reconheço que sou resultado da colaboração de cada um deles, pois, diariamente, absorvi seus conhecimentos e habilidades. Agradeço também à família que me acolheu durante o meu Ensino Médio, a quem chamo com carinho de Tia Selma, Tio Nivaldo, Tavico e Vivi, que foram os pais e irmãos que a vida me deu.

Sou extremamente grato à família do Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON), local onde, além de desenvolvimento profissional, também me desenvolvi como ser humano. Agradeço, em especial, ao Laboratório de Concepção e Análise de Dispositivos Elétricos (LCADE), que me recebeu em uma seleção de alunos mesmo eu não possuindo cursos profissionalizantes, mas sim uma vontade incansável de vencer na vida.

No LCADE, conheci pessoas maravilhosas, como a Elen Priscila, que apostou em mim quando cheguei para a entrevista, a Iris Rodrigues, que sempre me ajudou com a escrita de artigos e relatórios e o Antonio Roniel, que sempre esteve disposto a me auxiliar na construção de protótipos. Foi também no LCADE que conheci um grupo com uma sinergia incrível, capaz de criar um ambiente de trabalho prazeroso e motivador.

Por fim, sou extremamente grato ao Prof. Dr. Wellington Fonseca, que, durante essa trajetória, não mediu esforços no meu processo de capacitação, sempre me acompanhando e me ensinando de perto, mesmo quando era perceptível que sua agenda estava cheia. Ele foi responsável pela gama de habilidades que hoje posso oferecer, pois cada novo projeto que ele

trazia representava novos desafios e uma nova vontade de vencer. Desse modo, sou profundamente grato pela colaboração de todos os envolvidos e devo meu desenvolvimento profissional ao apoio inestimável que recebi de cada um deles.

## RESUMO

A transformação digital da indústria tem ampliado a demanda por profissionais capazes de atuar com modelagem, simulação e processamento intensivo de dados, o que torna a Computação de Alto Desempenho (HPC) uma competência estratégica na formação em Engenharia. Entretanto, o alto custo de infraestrutura e a limitação de recursos em instituições de ensino dificultam o acesso a ambientes clusterizados e ao desenvolvimento prático dessas habilidades. Nesse contexto, este Trabalho de Curso apresenta a construção de um *cluster* de baixo custo a partir do reaproveitamento de TV Boxes, oriundas de apreensões da Receita Federal no combate à pirataria, após processo de descaracterização. O desenvolvimento contemplou a implantação de um Linux embarcado compatível com arquitetura ARM, por meio da geração de uma imagem híbrida baseada em Armbian com a distribuição Debian 11, ajustes de *boot* e recuperação de *firmwares* e bibliotecas do Android via UART para garantir suporte ao *hardware*. Em seguida, implementou-se a arquitetura do *cluster* com *Head Node* e *Compute Nodes*, com compartilhamento de arquivos via NFS e gerenciamento de filas e carga de trabalho por OpenPBS. Para aumentar compatibilidade e portabilidade desses sistemas com arquitetura AArch64, foram realizadas aplicações de simulação multifísica como ElmerFEM e OpenFOAM, disponibilizadas de forma containerizada via Apptainer, permitindo execução distribuída e reprodução de um fluxo típico de HPC. Dessa forma, o *cluster* se consolida como ferramenta didática para democratizar o ensino de computação de alto desempenho, aproximando os discentes de práticas reais de escalonamento, paralelismo e simulação numérica.

Palavras-chave: computação de alto desempenho; *cluster*; TV Box; Linux embarcado; descaracterização; OpenPBS; Apptainer.

## ABSTRACT

The digital transformation of industry has increased the demand for professionals capable of working with modeling, simulation, and intensive data processing, making High-Performance Computing (HPC) a strategic competence in engineering education. However, the high cost of infrastructure and the limited resources available in educational institutions hinder access to clustered environments and the practical development of these skills. In this context, this Course Work presents the construction of a low-cost cluster using TV Boxes originating from Federal Revenue seizures in the fight against piracy, reused after a repurposing process. The development included the deployment of an embedded Linux system compatible with the ARM architecture, through the creation of a hybrid image based on Armbian with the Debian 11 distribution, boot adjustments, and the recovery of firmware and libraries from the original Android system via UART to ensure hardware support. Subsequently, the cluster architecture was implemented with a Head Node and Compute Nodes, featuring file sharing via NFS and workload and queue management through OpenPBS. To increase compatibility and portability of these AArch64-based systems, multiphysics simulation applications such as ElmerFEM and OpenFOAM were made available in containerized form via Apptainer, enabling distributed execution and reproducing a typical HPC workflow. As a result, the cluster is consolidated as a didactic tool to democratize high-performance computing education, bringing students closer to real practices of scheduling, parallelism, and numerical simulation.

Keywords: high-performance computing; cluster; TV Box; embedded Linux; repurposing; OpenPBS; Apptainer.

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>2. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....</b>   | <b>9</b>  |
| 2.1 Parceria institucional e projeto de doações.....  | 10        |
| 2.2 Processo de descaracterização das TV Boxes.....   | 11        |
| 2.3 Implementação do <i>cluster</i> : arquitetura, topologia e <i>softwares</i> .....                                     | 12        |
| <b>3. ARTIGO: CONSTRUÇÃO DE UM CLUSTER PARA ENSINO DE COMPUTAÇÃO<br/>DE ALTO DESEMPENHO NOS CURSOS DE ENGENHARIA.....</b> | <b>14</b> |
| <b>4. OUTROS TRABALHOS.....</b>   | <b>23</b> |
| <b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>   | <b>26</b> |
| <b>6. TRABALHOS FUTUROS.....</b>  | <b>26</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>28</b> |
| <b>ANEXO A: DEPÓSITO DE PATENTE DO MINI CLUSTER.....</b>  | <b>29</b> |
| <b>ANEXO B: CERTIFICADO DO PRÊMIO ABENGE.....</b>   | <b>55</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A digitalização da indústria vem sendo impulsionada pelos avanços das tecnologias de informação e automação, ao ponto de reconfigurar processos, cadeias produtivas e modelos de negócios orientados por dados. Nesse cenário, com o advento da Indústria 4.0 e da Internet das Coisas, sistemas físicos e digitais tornam-se progressivamente integrados, ampliando a necessidade de infraestrutura computacional para suporte à tomada de decisão e à otimização de operações (DRATH; HORCH, 2014; EVANS; ANNUNZIATA, 2012). Como consequência, o mercado passa a priorizar profissionais aptos à trabalhar com grandes dados e sistemas complexos em escala.

Nesse contexto, cresce a demanda por habilidades voltadas à modelagem, simulação, predição e manipulação de grandes volumes de dados em ambientes de computação intensiva. Tecnologias como *Digital Twin*, *Big Data* e Inteligência Artificial, ao se tornarem mais acessíveis e difundidas, reforçam a demanda por soluções robustas de processamento e por arquiteturas capazes de sustentar essas aplicações (WAN et al., 2022; PARK; KIM, 2022). Desse modo, as rotinas computacionais começam a desempenhar um papel central em diferentes setores industriais, aumentando a sua eficiência e confiabilidade.

Diante disso, há uma demanda crescente por profissionais capazes de utilizar ambientes computacionais complexos e escaláveis, combinando fundamentos da engenharia com programação, paralelismo, ciência de dados e métodos numéricos. Além disso, a evolução contínua das tecnologias de simulação e de gêmeos digitais amplia o conjunto de competências exigidas, pois seu uso foi expandido em várias áreas e tipos de aplicações (WAN et al., 2022; PARK; KIM, 2022). Portanto, formar engenheiros aptos a lidar com esses ecossistemas computacionais tornou-se um requisito estratégico para inserção e permanência no mercado atual.

Contudo, grande parte das instituições públicas de ensino superior ainda dispõe de infraestrutura precária ou defasada, o que limita a vivência dos discentes em computação aplicada e em ambientes de alto desempenho. Esse cenário reduz o contato prático com tópicos essenciais, como escalabilidade, execução distribuída e gerenciamento de recursos computacionais, o que tende a gerar uma lacuna entre a formação acadêmica e as demandas reais do mercado. Nesse viés, as Diretrizes Curriculares Nacionais reforçam a importância de experiências acadêmicas que desenvolvam competências alinhadas às exigências atuais (BRASIL, 2021).

Nesse contexto, a Computação de Alto Desempenho (HPC) surge como um instrumento capaz de viabilizar um ambiente orientado aos problemas atuais, especialmente por permitir processamento paralelo e escalabilidade, reduzindo o tempo de execução de rotinas. Entretanto, quando disponível, o acesso a esses recursos costuma ser restrito, seja pelo custo de aquisição e manutenção, seja pela complexidade de operação e administração do ambiente. Por isso, abordagens de HPC de baixo custo, baseadas em reaproveitamento e adaptação de *hardware*, podem democratizar o ensino e facilitar a inserção dos alunos em cenários próximos aos encontrados na indústria e em centros de pesquisa (LÓPEZ; BAYDAL, 2018; IOWA STATE UNIVERSITY, s.d.).

Diante do exposto, este Trabalho de Curso (TC) elaborou a construção de um *cluster* de baixo custo como ferramenta para apoiar o ensino de computação de alto desempenho nos cursos de Engenharia. Para isso, utilizou-se um conjunto de TV Boxes oriundas de apreensões da Receita Federal no combate à pirataria, empregadas como nós computacionais em uma arquitetura com um *Head Node* (HN) e três *Compute Nodes* (CN), voltada ao gerenciamento e à execução distribuída. O ambiente Linux foi implementado por meio da descaracterização dos dispositivos e da utilização de uma distribuição compatível com a arquitetura ARM, com suporte a aplicações de escalonamento e gerenciamento de cargas. Além disso, aplicações de simulação multifísica como ElmerFEM e OpenFOAM foram disponibilizadas via contêineres, visando associar rotinas numéricas à formação prática em HPC.

## **2. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO**

Esta seção apresenta o desenvolvimento do projeto em uma sequência lógica, partindo das condições que viabilizaram a pesquisa até a consolidação do *cluster* como ferramenta didática. Primeiro, descreve-se a parceria institucional responsável pela disponibilização das TV Boxes e pelo contexto de reaproveitamento que orientou a proposta. Em seguida, detalha-se o processo de descaracterização, etapa crítica de substituição do Android original desses dispositivos por um Linux embarcado e compatível com sua arquitetura. Por fim, apresenta-se o processo de concepção do *cluster*, abordando arquitetura, topologia, serviços de rede e as escolhas de *software* adotadas para garantir operação, compatibilidade e escalabilidade.

## 2.1 Parceria institucional e projeto de doações

O projeto foi viabilizado a partir de um convênio entre a UFPA e a Receita Federal, o que possibilitou a doação de uma quantidade expressiva de TV Boxes à universidade, conforme ilustrado na Figura 1. Esses equipamentos, em muitos casos associados ao mercado de pirataria de *streaming* por assinatura, eram destruídos quando apreendidos, mas passaram a representar uma oportunidade concreta de reaproveitamento tecnológico após a sua descaracterização. A disponibilidade em volume desses dispositivos foi um fator relevante, pois permitiu pensar não apenas em um protótipo pontual, mas em uma infraestrutura com potencial de expansão gradual. Assim, ao explorar o reuso desse *hardware* modificado, o projeto buscou aplicar soluções tecnológicas de baixo custo no contexto de ensino.

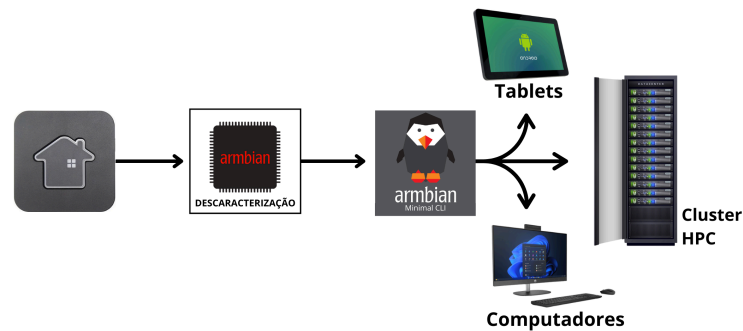
Figura 1 - Recebimento da doação dos aparelhos TV Boxes.



Fonte: Própria autoria.

Essa parceria também impulsionou estudos contínuos sobre Linux embarcado e também sobre reaproveitamento computacional, ampliando a compreensão sobre o potencial técnico dessas TV Boxes para novos usos. A partir das etapas de descaracterização, foi possível explorar diferentes frentes de aplicação, incluindo adaptações para computadores de mesa, tablets e, especialmente, ambientes clusterizados, conforme a Figura 2, resultando em múltiplas aplicações acadêmicas e tecnológicas. Nesse sentido, a grande disponibilidade de dispositivos favoreceu uma ampla quantidade de experimentos, permitindo testar soluções em nível de software e *hardware* com maior liberdade.

Figura 2 - Os diferentes produtos gerados pela descaracterização das TV Boxes



Fonte: Própria autoria.

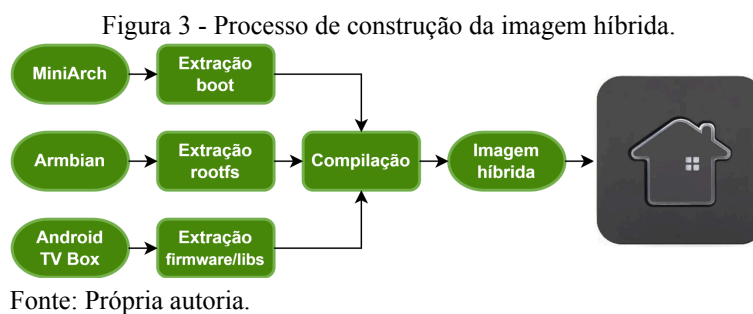
## 2.2 Processo de descaracterização das TV Boxes

A descaracterização das TV Boxes é o processo de substituição do Sistema Operacional (SO) original Android desses dispositivos por uma versão Linux embarcada compatível com a arquitetura e com o *hardware* embarcado da placa. Essas TV Boxes possuem uma arquitetura ARM e uma grande variedade de dispositivos, o que gera desafios de compatibilidade para inicialização e suporte do *hardware*. Na prática, foram identificadas grandes variações de *hardware* entre os lotes de doação, incluindo diferenças de SoC e controladores, o que altera os requisitos de *boot*, módulos do *kernel* e *firmwares* necessários. Dessa forma, o processo exigiu uma estratégia que combinasse padronização, testes incrementais e adaptações específicas por placa.

A implantação do Linux foi realizada com base em imagens de disco do *Armbian*, compiladas por meio da ferramenta *Armbian Build*, pois isso permitiu controle do processo de geração delas e ajuste fino na inicialização. Para garantir que o *boot* e o *kernel* fossem compatíveis com as TV Boxes utilizadas, foi utilizada uma base parcialmente funcional do MiniArch, realizando modificações em componentes de *boot* e de compatibilidade do sistema, modificando, quando necessário, o *Device Tree Blob* (DTB) da ISO, informando corretamente o *hardware* da placa para o SO. Além disso, foi necessário herdar alguns diretórios de *firmwares* e bibliotecas do Android com privilégios *sudo* através da comunicação UART, objetivando resgatar os *drivers* compatíveis com cada TV Box. Essa etapa foi crítica para garantir estabilidade das interfaces de rede e funcionamento consistente das portas de comunicação USB e RJ45.

Essa abordagem permitiu recuperar informações e elementos essenciais para habilitar recursos do *hardware*, reduzindo falhas intermitentes e limitações de periféricos. Ao final, foi gerada uma imagem de disco híbrida, possuindo as características de *boot* do MiniArch, o

ambiente Armbian baseado em Debian 11 e os arquivos de *firmware* e bibliotecas herdados do Android, criando uma base operacional compatível com cada modelo de TV Box, conforme observa-se na Figura 3. Assim, o processo de descaracterização não buscou a simples instalação de um sistema, mas a construção de uma metodologia capaz de embarcar o Linux na mais variada gama de modelos de TV Box.



### 2.3 Implementação do *cluster*: arquitetura, topologia e softwares

A partir das TV Boxes com o Linux embarcado, foram implementados os nós computacionais, com base em arquiteturas e topologias de ambientes de computação de alto desempenho. A arquitetura adotada segue o modelo clássico com um *Head Node* (HN) e o restante sendo *Compute Nodes* (CN), permitindo separar funções de administração e compartilhamento de dados para o HN e o processamento das cargas de trabalho para os CN. Essa escolha permite uma melhor organização e clareza operacional, especialmente em um ambiente educacional, pois facilita o entendimento dessas estruturas e aproxima o discente da estrutura real encontrada em laboratórios e centros de HPC. A topologia foi planejada para ser simples, replicável e facilmente escalável, de modo que a adição de novos nós possa ocorrer sem reestruturações profundas, necessitando apenas de declarações a nível de *software*.

Para suportar a execução distribuída e padronizar o ambiente de trabalho, foi implementado um sistema de arquivos compartilhado via rede (NFS), garantindo acesso comum às aplicações e diretórios de trabalho por todos os nós. Isso reduz inconsistências entre os nós e viabiliza uma utilização mais intuitiva do *cluster*, na qual o estudante interage com um único espaço de trabalho, independente do nó que executará o trabalho. Para o gerenciamento de carga, foi utilizado o OpenPBS como sistema de filas e de escalonamento, permitindo submissão controlada de trabalhos, alocação de recursos e acompanhamento das execuções. Essa estrutura facilita a execução distribuída das aplicações, sendo uma característica essencial em ambientes HPC, criando uma rede de computadores que não está

simplesmente conectada, mas que divide a carga de trabalho para otimização do tempo de processamento.

A construção física também foi tratada como requisito de projeto, com foco em organização, redução de tamanho e minimização de custos, buscando um equipamento prático para transporte e uso em salas de aula e cursos. A alimentação dos dispositivos foi centralizada em um única fonte ATX, buscando redução no quantitativo de cabos e sua melhor organização, garantindo que as tensões e potências necessárias para pleno funcionamento de cada nó sejam fornecidas. Essa estratégia reduz a dependência de múltiplas fontes individuais e facilita a manutenção, além de contribuir para um arranjo visualmente organizado e compreensível.

Por fim, considerando a arquitetura AArch64 presente nas TV Boxes e as suas variações de *hardware*, optou-se por disponibilizar os principais *softwares* de simulação de forma containerizada via Apptainer. Essa decisão reduz os conflitos gerados pelas dependências e facilita a portabilidade, permitindo que aplicações como ElmerFEM e OpenFOAM sejam executadas de maneira consistente nos nós. Além disso, o Apptainer permite a escalabilidade de aplicações containerizadas, permitindo o processamento das cargas de trabalho de forma distribuída entre os nós. Dessa forma, o *cluster* de TV Boxes permite simular um fluxo de trabalho completo em ambientes HPC, abordando a preparação dos casos, compartilhamento de diretórios, submissão via filas e análise distribuída de resultados, conectando rotinas numéricas de engenharia ao uso prático de HPC.

Em síntese, o ambiente descrito nesta subseção constitui a base técnica que sustenta o Artigo do CONEM apresentado na Seção 3 deste TC, no qual a construção do *cluster* é detalhada e validada como proposta de ensino de computação de alto desempenho. Assim, enquanto o artigo consolida a contribuição científica do trabalho por meio da caracterização do sistema, escolhas de arquitetura e demonstrações de uso em simulações, o corpo deste TC amplia esse conteúdo ao explicitar o contexto institucional, o processo de descaracterização e o encadeamento metodológico do desenvolvimento do projeto.

**3. ARTIGO: CONSTRUÇÃO DE UM CLUSTER PARA ENSINO DE COMPUTAÇÃO  
DE ALTO DESEMPENHO NOS CURSOS DE ENGENHARIA**

## CONEM2024-0456

# CONSTRUÇÃO DE UM CLUSTER PARA ENSINO DE COMPUTAÇÃO DE ALTO DESEMPENHO NOS CURSOS DE ENGENHARIA

Aleqssandro Alexandre de Oliveira Farias, [aleqssandro.farias@itec.ufpa.br](mailto:aleqssandro.farias@itec.ufpa.br)<sup>1,2</sup>

Antonio Roniel Marques de Sousa, [roniel@ufpa.br](mailto:roniel@ufpa.br)<sup>1,2</sup>

Elen Priscila de Souza Lobato, [elen.boato@itec.ufpa.br](mailto:elen.boato@itec.ufpa.br)<sup>1,2</sup>

Paulo Antonio Jordão Couto, [paulo.couto@itec.ufpa.br](mailto:paulo.couto@itec.ufpa.br)<sup>1,2</sup>

Iris Caroline dos Santos Rodrigues, [iris.rodrigues@itec.ufpa.br](mailto:iris.rodrigues@itec.ufpa.br)<sup>1,2</sup>

Wellington da Silva Fonseca, [fonseca@ufpa.br](mailto:fonseca@ufpa.br)<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Pará - UFPA

<sup>2</sup>Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia - CEAMAZON

**Resumo:** Os avanços tecnológicos atuais demandam uma abordagem mais sofisticada na resolução de problemas, o que tem impulsionado a evolução da computação de alto desempenho ou HPC, em centros de pesquisa no mundo todo. A utilização dessa tecnologia viabiliza a concepção de soluções paralelas destinadas a aplicações de alta performance. Essa tendência reflete no mercado, trazendo a necessidade de mão de obra cada vez mais qualificada. Contudo, essa tecnologia ainda representa um alto custo para as instituições de ensino. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta a construção e desenvolvimento de um cluster utilizando placas de TV Box apreendidas pela Receita Federal, com o objetivo de criar um recurso didático direcionado ao ensino de Engenharia. Destaca-se o potencial do desenvolvimento de abordagens educacionais em HPC nos cursos de Engenharia, principalmente em auxílio à modelagem e simulação de problemas multifísicos, reduzindo custos e o tempo de operação devido ao processamento paralelo. Inicialmente, foi realizada a descaracterização de um grupo de TV Box a partir da instalação do sistema operacional Debian 11 modificado, como base para compilação do OpenPBS, aplicação responsável por gerenciar o agendamento e a distribuição da carga de trabalho em um ambiente de computação distribuída. Em seguida, foi construída a topologia do cluster, inicialmente com um Head Node (HN) para gerenciamento do cluster e armazenamento dos dados utilizados pela máquina; além de um grupo de Computer Nodes (CN), encarregados de receber as tarefas do HN e executá-las de forma paralela e distribuída. A partir disso, foram utilizados contêineres contendo aplicações como ElmerFEM e OpenFOAM, softwares de simulação que utilizam métodos de elementos finitos e volumes finitos, para execução de simulações multifísicas paralelamente com o uso da biblioteca Message Passing Interface (MPI). Essa arquitetura e topologia simulam um ambiente HPC de muitos laboratórios de pesquisa em engenharia, possibilitando o desenvolvimento da teoria e das habilidades necessárias nesses ambientes, além de proporcionar uma formação que atenda as demandas atuais exigências de mercado e possibilitando o desenvolvimento de habilidades nos alunos, desde a graduação, em consonância às Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs), dos cursos de Engenharia.

**Palavras-chave:** HPC, cluster, PBS, MPI, ensino de engenharia

## 1. INTRODUÇÃO

O atual cenário da indústria global vem sendo moldado desde a primeira revolução industrial, atravessando as tecnologias da máquina a vapor até as de microeletrônica. No advento da quarta revolução industrial, as tecnologias da Indústria 4.0 vêm ampliando os horizontes da digitalização e automatização de sistemas a partir do uso extensivo das tecnologias de comunicação, informação e operação (Wan et al., 2022).

O termo Indústria 4.0 surgiu na Alemanha em 2011, com foco no avanço das tecnologias voltadas para a criação de um ambiente industrial inteligente e voltado para o ser humano (Drath e Horch, 2014) (Evans e Annunziata, 2012). Esse conceito tem criado uma tendência norteadora para novas pesquisas que visam melhorar a conexão entre os dispositivos, buscando facilitar o monitoramento e o controle, além de diminuir a latência das respostas e aumentar a capacidade de trabalho com um grande montante de dados, com aplicações e técnicas avançadas, como a Internet das

Coisas (IoT), o Digital Twin (DT), o Big Data, a Inteligência Artificial (IA) e a Realidade Aumentada (Park e Kim, 2022).

Diante disso, torna-se imprescindível o uso de maior robustez computacional capaz de processar essa vasta quantidade de dados e tarefas. Por esse motivo, o emprego de clusters e servidores tem se tornado cada vez mais comum em grandes empresas. Proporcionando maior eficiência e confiabilidade na análise e gestão de equipamentos industriais, e impulsionando o desenvolvimento de pesquisas sobre simulações multifísicas e Digital Twin.

No entanto, essas aplicações demandam máquinas com alto poder de processamento, ou seja, com o uso de sistemas de Computação de Alta Desempenho – *High Performance Computing* (HPC) – que podem executar múltiplas tarefas de forma paralela, visando minimizar o tempo de processamento.

Esses avanços refletem no mercado de trabalho, com a necessidade de mão de obra cada vez mais qualificada. Contudo, observa-se um descompasso entre a formação acadêmica nos cursos de Engenharia e as atuais demandas da Indústria 4.0, sendo necessárias adaptações e criação de novos recursos para a atualização dos cursos de graduação ofertados no Brasil (Lima Júnior et al., 2023). Dessa forma, torna-se necessário o desenvolvimento de competências específicas, como por exemplo, a capacidade de lidar com ambientes clusterizados. Seguindo as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) dos cursos de Engenharia, que visam a obrigatoriedade das instituições de ensino em fornecer subsídios para uma formação de qualidade e de acordo com as demandas do mercado de trabalho (Brasil, 2021).

Outro fator que deve ser considerado, está relacionado a infraestrutura disponível nas universidades brasileiras, considerando o alto valor de aquisição desses equipamentos, o que dificulta o acesso dos estudantes a esse tipo de dispositivo, tornando inviável o desenvolvimento dessas habilidades durante a formação. Para atender a essa demanda, o trabalho apresenta o desenvolvimento de um minicluster para uso didático, como ferramenta utilizada para simular um ambiente próximo ao apresentado em modelos de clusters comerciais, que proporciona a possibilidade para o desenvolvimento de novas habilidades em estudantes da graduação e pós-graduação, tanto no trabalho em Computação de Alto Desempenho, com foco no processamento paralelo, quanto no estudo da própria construção e configuração do sistema operacional do cluster (López e Baydal, 2018).

O minicluster foi construído a partir da descaracterização de equipamentos de Tv Box, apreendidos pela Receita Federal (RF), por meio do Programa Receita Cidadã, que vem realizando doações desses aparelhos, que seriam destruídos gerando um resíduo, para que instituições parceiras os descaracterizem e os deem uma nova destinação para fins educacionais. A medida faz parte do Plano de Ação e Combate à Pirataria (PACP), criado em 2018 pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Dessa forma, instituições como a Universidade Federal do Pará (UFPA), por meio da parceria entre o Instituto de Tecnologia (ITEC) da UFPA e a Receita Federal, a partir do trabalho dos alunos do Programa de Educação Tutorial (PET) de Engenharia Elétrica da UFPA, vem substituindo o software nativo dessas Tv box por uma modificação do linux denominada de Armbian, transformando esses aparelhos em mini computadores utilizados como recurso para atender as escolas da rede municipal de Belém (Semec, 2024). E desenvolvendo novas soluções inovadoras como recurso didáticos.

### 1.1. Tipologia de Clusters e Aplicações

Um cluster, do inglês *Cluster of Workstations* (COW), representa a integração de dois ou mais computadores independentes e interconectados por uma rede, que trabalham simultaneamente para o processamento e execução de determinada tarefa, buscando fornecer uma solução para um problema geral ou específico (Arndt e Misaghi, 2021). É uma tecnologia ascendente e de menor custo, com potencial para a substituição de supercomputadores em certas aplicações que requerem alto desempenho tais como simulações, resolução de cálculos, renderização e etc (Comer, 2007).

Contudo, é necessário atentar às diferentes tipologias de cluster de acordo com a aplicação desejada, analisando as necessidades específicas quanto à disponibilidade, desempenho e processamento de dados. Sobre essas definições serão apresentados os principais tipos de cluster encontrados no mercado, são eles: Cluster de Alta Disponibilidade (*High Availability Clusters*); Cluster de Banco de Dados (*Database Clusters*); e o Cluster de Processamento Paralelo (*Parallel Processing Clusters*).

O Cluster de Alta Disponibilidade, é utilizado em aplicações que requerem a disponibilidade contínua dos serviços e minimização do tempo de inatividade. Essa alta disponibilidade não se resume a um software ou hardware específico, mas a mecanismos de detecção, mascaramento e recuperação de falhas, que combinados à disponibilidade de operação do sistema o oferecem um ambiente de trabalho disponível pelo maior tempo possível. Esse tipo de clusters são configurados em nós, cada um com sua própria capacidade de processamento, armazenamento e rede. Projetados para o trabalho e distribuição de carga entre si, proporcionando a redundância nesses nós, de modo que, em caso de falha em um nó, os outros podem assumir sua carga de trabalho, mantendo a disponibilidade do sistema (Arndt e Misaghi, 2021).

Em casos de que exijam alta disponibilidade e trabalho com banco de dados, torna-se necessário melhorar o desempenho, a escalabilidade e a confiabilidade. Para isso, técnicas de balanceamento de carga, particionamento e a replicação de dados devem ser exploradas, que compõem um Cluster de Banco de Dados (BMC software, 2018). A partir de uma topologia onde um conjunto de dois ou mais nós possam acessar simultaneamente um servidor de banco de dados comum a todos, permitindo que a conexão por vias diferentes acessem os mesmos dados, além de formar um cluster tolerante a falhas (Jaiswall, 2018).

Contudo, diferente dos exemplos anteriores que requerem uma grande necessidade de redundância, o Cluster de Processamento Paralelo visa otimizar a execução de cálculos, permitindo sua aplicação no processamento de um grande volume de dados, a partir da distribuição de tarefas entre múltiplos nós de processamento. Dessa forma, é possível que cada nó execute uma parte dos cálculos, reunindo os dados desses resultados ao final do processo. Esse tipo de aplicação caracteriza um ambiente de Computação de Alto Desempenho (High Performance Computing – HPC), no qual o principal foco consiste na execução de grandes tarefas em menor tempo. Para isso, a arquitetura física do cluster deve ser projetada para atender aos requisitos das aplicações, seja com equipamentos para conexão ultra rápida, como um switch infiniband, nós de computação regulares, nós de GPU e nós com foco em disponibilidade de memória RAM, dessa forma é criado um ambiente de alto desempenho (Iowa State University, 2020). Esse tipo de cluster é ideal para aplicações que requerem grande capacidade de processamento e pós-processamento, como a modelagem e a simulação multifísica, as quais são amplamente exploradas no contexto científico. Por esse motivo, foi definido como a tipologia de cluster utilizada para desenvolver o modelo proposto no artigo.

## 2. METODOLOGIA

Para a construção do cluster, a montagem física foi feita a partir do modelo de gabinete em torre, no qual os nós computacionais são empilhados na vertical. Para isso, primeiramente, foi utilizada uma fonte ATX como base e sobre ela foram fixadas 4 barras roscadas, nas quais foram encaixados os suportes universais para as PCBs das tv box, que foram impressos em uma impressora 3D, ilustrados na Fig. 1, servindo como suporte universal para os diferentes modelos de PCBs das tv box.

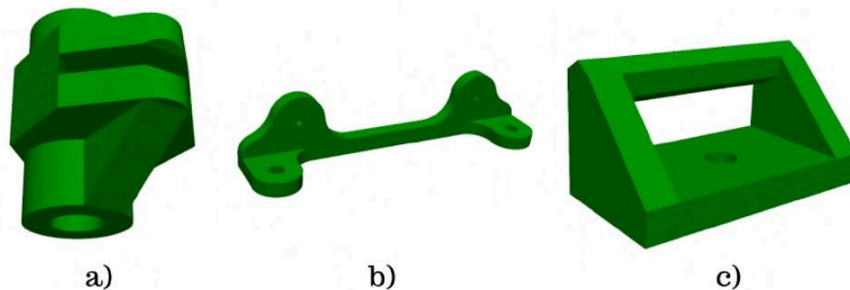


Figura 1. Peças de impressão 3D fabricadas a) suporte para barra roscada; b) suporte para instalação do; c) Suporte para alça  
Fonte: Autores (2024)

Para firmar a estrutura final, foi encaixada uma chapa acima responsável por fixar a movimentação das barras roscadas e dar suporte para o roteador. A montagem da estrutura do cluster é apresentada na Fig. 2.



Figura 2. Montagem final do cluster.  
Fonte: Autores (2024)

Observa-se que o modelo de gabinete em torre selecionado favorece a organização dos cabos, tanto os de alimentação quanto os de rede. Além disso, para reduzir o volume do cluster, não foram utilizadas as fontes de alimentação das tv box, ao invés disso, foram utilizados cabos de alimentação do circuito de 5V da fonte ATX para alimentar os nós.

Posteriormente, a topologia de rede do cluster foi configurada, para um Cluster de Processamento Paralelo, estabelecendo uma conexão ethernet cabeada entre cada nó e o roteador. Isso permite que dispositivos de acesso, como computadores e celulares, possam se conectar ao cluster via wifi ou ethernet, conforme ilustrado na Fig. 3. Para isso, foram crimpados cabos de rede com conectores RJ45, com o tamanho adequado para a distância dos nós até o roteador. Essa organização, além de estética, foi proposta para diminuir a latência da resposta que pode ser causada por cabos de ethernet longos.



Figura 3. Topologia de rede do cluster de tv box.  
Fonte: Autores (2024)

Após concluída a montagem física do cluster, foi configurada a parte de software dos nós. Inicialmente, foi realizado o processo de descaracterização das tv boxes com a ferramenta Armbian Build, que possibilita a geração de diferentes ISO baseadas no sistema operacional Linux, que podem ser modificadas para compatibilidade com as arquiteturas ARM, considerando que as Tv Box apresentam o sistema Android originalmente instalado.

Para a construção do cluster, foi gerada e instalada nas Tv Box uma ISO do Debian 11 compatível com a arquitetura ARM, para a formação dos nós do cluster. Em seguida, foram instalados os pacotes essenciais para compilar o OpenPBS, software que otimiza o gerenciamento de cargas de trabalho em equipamentos como clusters, ou seja, em ambiente de computação de alto desempenho (HPC).

Com a instalação do OpenPBS, foi feita a troca das chaves de criptografia do protocolo de rede Secure Shell (SSH) entre os nós, permitindo a comunicação entre eles sem a necessidade de inserção de senha. Para definir os nós foi editado o arquivo “pbs.conf”, no qual definiu-se o Head Node (HN) e o Computer Node (CN). Para isso o HN recebeu um valor booleano verdadeiro na opção de server e o CN um valor booleano falso na mesma opção. Posteriormente, utilizou-se a ferramenta “qmgr” para iniciar o servidor no HN e defini-lo como padrão.

A arquitetura proposta possibilita a execução de diferentes tarefas em paralelo, uma vez que cada fila permite a execução de uma tarefa sem impactar nas outras, desde que haja hardware disponível para o uso. Dessa forma, a partir do cluster desenvolvido apresenta-se um recurso de baixo custo, voltado para o ensino de Computação de Alto Desempenho (HPC), com foco na utilização de simulações computacionais para os cursos de Engenharia.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A utilização de softwares e o estudo de simulações computacionais representam uma tendência para o ensino de Engenharia, aliada às atuais exigências de mercado, principalmente por proporcionarem a análise de cenários complexos, a partir da representação e modelagem matemática (Santos et al., 2022). Nesse contexto, a partir de simulações multifísicas torna-se possível o estudo de um objeto, sistema ou fenômeno específico em ambiente computacional (Lima Júnior et al., 2023).

Contudo, em estudo de casos mais complexos, as simulações multifísicas requerem uma grande disponibilidade de hardware, podendo demorar meses ou até não sendo executadas em computadores convencionais. Nesse contexto, as soluções de ambientes HPC vêm sendo cada vez mais utilizadas no mercado atual, devido sua alta escalabilidade e alto poder de processamento paralelo. Essas características aceleram o processamento dos dados e diminuem substancialmente o tempo de execução das simulações de meses para poucas horas.

A partir dessas características e configurações o cluster, Fig. 4, foi construído com objetivo de apresentar um recurso didático para o estudo de simulações em HPC. O que influenciou também na montagem física do equipamento, como na organização dos cabos ethernet mais curtos para diminuição da latência gerada.



Figura 4. **Organização dos cabos ethernet do cluster.**  
Fonte: Autores (2024)

A latência gerada por cabos ethernet mais longos, apesar de não ser perceptível para a computação convencional, pode ser prejudicial em ambientes de alta performance como os HPC, afetando negativamente o desempenho da máquina.

Para os testes de estabilidade e performance do cluster, foi realizada uma simulação térmica de bateria, considerando o fluxo de calor entre a carga/descarga da bateria e o ar, utilizando o Método de Elementos Finitos (MEF), conforme apresentado na Fig. 5. Para essa simulação foi utilizado o software ElmerFEM em uma versão containerizada e compatível com a arquitetura ARM das tv box. Esse container quando executado pelo aptainer, permite que o OpenPBS utilize seus protocolos de computação paralela.

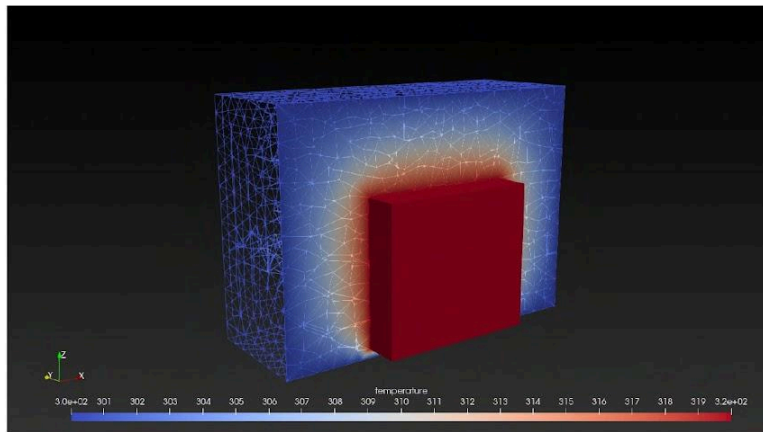


Figura 5. **Pós-processamento da simulação.**

Destaca-se que a simulação, apesar de não representar o foco principal do trabalho, possibilita análises importantes sobre o desempenho do cluster. De modo que, a partir da utilização do Método de Elementos Finitos (MEF) na simulação, foi requerida uma grande quantidade de memória RAM disponível, algo que um computador convencional não consegue disponibilizar. Para isso, foram definidos os parâmetros das filas do cluster, representados na Fig. 6, sendo especificados os limites de números de núcleos computacionais e de memória RAM.

```
lcade@hn1: ~  
lcade@hn1:~$ qstat -q  
  
server: hn1  
  
Queue          Memory CPU Time Walltime Node  Run  Que  Lm  State  
-----  
PEGASUS_01     1932m  --    48:00:00      1    0    0   --  E R  
PEGASUS_02     3864m  --    72:00:00      2    0    0   --  E R  
PEGASUS_03     5796m  --    480:00:0      3    0    0   --  E R  
-----  
                0    0
```

Figura 6. **Configurações da fila do Cluster.**  
Fonte: Autores (2024)

Dessa forma, para a execução da simulação, primeiramente, foi enviado para o cluster a malha do problema físico. Em seguida, o arquivo “case.sif” foi configurado de acordo com o ambiente físico de simulação. Ainda, foi necessário

definir também o script do OpenPBS, onde foi estabelecido qual fila utilizar, quantos nós de computação e quantos cores por nó seriam utilizados na simulação.

Considerando que o cluster proposto neste trabalho contém 3 CN e 4 cores computacionais por CN, definiu-se no script do OpenPBS uma divisão da malha em 12 partes utilizando a ferramenta ElmerGrid do ElmerFEM. Dessa forma, a partir do script distribuiu-se quatro partes da malha para cada um dos 3 CN, onde foram realizados os cálculos. Após a execução dos cálculos os nós retornaram os dados computados para o HN, onde agrupados em um arquivo de resultados no formato VTU. Esse processo caracteriza a simulação em paralelo, característica de cluster do tipo *High Performance Computing* – HPC (Iowa State University, 2020).

Durante a simulação realizada, o processo de carregar os arquivos e computá-los nos 12 nós durou 14,61 segundos, mas apenas durante 2,7 segundos os cores foram utilizados para executar os cálculos, esses valores são ilustrados na Fig. 7.

```
129 ComputeChange: NS (ITER=2) (NRM,RELC): ( 305.70440 0.19921872E-11 ) :: heat equation
130 HeatSolve: iter: 2 Assembly: (s) 0.12 0.25
131 HeatSolve: iter: 2 Solve: (s) 0.01 0.04
132 HeatSolve: Result Norm : 305.70440382128362
133 HeatSolve: Relative Change : 1.9921871653184521E-012
134 ComputeChange: SS (ITER=1) (NRM,RELC): ( 305.70440 2.0000000 ) :: heat equation
135 ResultOutputSolver: -----
136 ResultOutputSolver: Saving with prefix: bbox
137 ResultOutputSolver: Creating list for saving - if not present
138 CreateListForSaving: Field Variables for Saving
139 ResultOutputSolver: Saving in unstructured VTK XML (.vtu) format
140 VtuOutputSolver: Saving results in VTK XML format with prefix: bbox
141 VtuOutputSolver: Saving number of partitions: 12
142 ResultOutputSolver: -----
143 MAIN: *** Elmer Solver: ALL DONE ***
144 MAIN: The end
145 SOLVER TOTAL TIME(CPU,REAL): 2.70 14.61
146 ELMER SOLVER FINISHED AT: 2024/01/04 10:12:37
```

Figura 7. Informações sobre o processamento da simulação.

Fonte: Autores (2024)

A partir da simulação avalia-se o potencial do cluster desenvolvido como recurso didático de baixo custo. Os resultados da simulação permitem o estudo da dissipação do calor entre a bateria e o ar para análise de resfriamento em sistemas de armazenamento. Dessa forma, destaca-se a utilização do cluster para a criação de um laboratório virtual, por meio de simulações em HPC, possibilitando a análise de diferentes sistemas e equipamentos, reduzindo custos e o tempo necessário para a execução desses testes em um laboratório físico.

Além disso, o desenvolvimento das habilidades necessárias para o uso de um ambiente HPC são essenciais para o mercado atual, logo, cultivá-las desde a graduação se torna uma estratégia de suma importância. Portanto, a solução do cluster de tv boxes proposta demonstra-se viável, pois possibilita, através da aplicação *apptainer*, executar containers que contém as aplicações necessárias para as simulações multifísicas como: o *FreeCAD*, utilizado para a modelagem 3D; o *Salome*, usado para gerar malhas para o Método de Elementos Finitos (MEF) e o Método de Volumes Finitos (MVF); e o uso de softwares de simulação multifísica, *ElmerFEM* e o *OpenFOAM*, executados de forma distribuída e paralela pelos protocolos do OpenPBS em conjunto com o *Message Passing Interface* (MPI).

É importante destacar que a partir do ensino em HPC, a ferramenta desenvolvida tem potencial para explorar diversas frentes de pesquisa como o estudo da arquitetura de sistemas, redes, sistemas operacionais, programação paralela e aplicações. Habilidades essas também inerentes a outros tipos de clusters como os clusters de banco de dados e de alta disponibilidade, muito utilizados em grandes empresas (López e Baydal, 2018).

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados do presente trabalho demonstram a viabilidade da solução criada, a partir da utilização e ensino de fundamentos do cluster e processamento paralelo, com foco na análise de simulações multifísicas de diferentes sistemas e fenômenos. A construção de um cluster utilizando TVBox, uma mercadoria apreendida e que seria inicialmente descartada, possibilita a redução de plásticos e outros componentes eletrônicos no meio.

A partir das adaptações realizadas foi possível criar um ambiente HPC de baixo custo e eficaz para o desenvolvimento de atividades de simulação multifísica. Dessa forma, é possível o desenvolvimento das habilidades necessárias para a operação da computação paralela e distribuída que vem se tornando cada vez mais presente nas indústrias. Nesse sentido, a metodologia apresenta um potencial para expansão nos cursos de Engenharia da Universidade Federal do Pará e demais universidades do país. Dessa forma, torna-se possível implementar um ambiente HPC nas Instituições de Ensino Superior para o desenvolvimento de habilidades necessárias para a utilização da computação de alto desempenho, como a manipulação de dados e arquivos sem interface, entendimento do protocolo MPI, processamento de big data de forma distribuída, entre outras habilidades que podem vir a ser exploradas nesse ambiente.

## 5. AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pará (UFPA), à Receita Federal, ao Instituto de Tecnologia (ITEC/UFPA), ao Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON) e ao Programa de Educação Tutorial de Engenharia Elétrica (PET-EE/UFPA).

## 6. REFERÊNCIAS

- Arndt, T. A., Misaghi, M., 2021. Alta Disponibilidade em Ambientes Virtualizados: Avaliação sobre uma Perspectiva de Baixo Custo. Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário SOCIESC.
- BMC Software, 2018. Clustered database. Disponível em: <https://docs.bmc.com/docs/bda89/clustered-database-842991280.html?scroll-versions:version-name=8.2>
- Brasil, 2021. Resolução CNE/CES nº1, de 26 de março de 2021 - Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Graduação de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo.
- Comer, D., 2007. Interligação de Redes com TCP/IP - Princípios Protocolos e Arquitetura: Volume 1 (Português).
- Drath, R., Horch, A., 2014. "Industrie 4.0: Hit or Hype?". In IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 8, no. 2, pp. 56-58.
- Evans, P. C., Annunziata, M., 2012. "Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines". General Electric.
- Iowa State University, 2020. What is an HPC cluster?. Disponível em: <https://www.hpc.iastate.edu/guides/introduction-to-hpc-clusters/what-is-an-hpc-cluster>
- Lima Júnior, D. A., Rodrigues, I. C. S., Sousa, A. R. M., Fonseca, W. S., 2023. Análise da Eficiência Energética em Plataformas Fotovoltaicas Flutuantes através de Simulação Computacional. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE.
- López, P., Baydal, E., 2018. Teaching High-Performance Service in a Cluster Computing Course. J. Parallel Distrib. Comput. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2018.02.027>.
- Park, S. -M. and Kim, Y. -G., 2022. "A Metaverse: Taxonomy, Components, Applications, and Open Challenges". In IEEE Access, vol. 10, pp. 4209-4251. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3140175.
- Semec. Secretaria de Educação de Belém, 2024. Rede municipal de educação de Belém fortalece tecnologia sustentável nas escolas com o projeto EduBox. Disponível em: <https://semec.belem.pa.gov.br/rede-municipal-de-educacao-de-belem-fortalece-tecnologia-sustentavel-nas-escolas-com-o-projeto-edubox/>
- Wan, Z., Gao, Z., Renzo, M. Di, Hanzo, L., 2022. "The Road to Industry 4.0 and Beyond: A Communications-, Information-, and Operation Technology Collaboration Perspective". In IEEE Network, vol. 36, no. 6, pp. 157-164. doi: 10.1109/MNET.008.2100484.

## 7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Todos os conteúdos apresentados no presente artigo são originalmente produzidos por autor e co autores mencionados, garantindo que o mesmo não tenha sido publicado anteriormente em nenhum outro veículo, nem está sendo considerado para publicação em paralelo em outro evento científico ou periódico da área.

Todas as fontes de informação utilizadas estão devidamente citadas e referenciadas, respeitando os direitos autorais e intelectuais de terceiros. Na ciência de que violação destas diretrizes pode resultar na desqualificação do artigo e possíveis medidas adicionais conforme as políticas do evento e do comitê editorial.

# CONSTRUÇÃO DE UM CLUSTER PARA ENSINO DE COMPUTAÇÃO DE ALTO DESEMPENHO NOS CURSOS DE ENGENHARIA

Aleqssandro Alexandre de Oliveira Farias, [aleqssandro.farias@itec.ufpa.br](mailto:aleqssandro.farias@itec.ufpa.br)<sup>1,2</sup>

Antonio Roniel Marques de Sousa, [roniel@ufpa.br](mailto:roniel@ufpa.br)<sup>1,2</sup>

Elen Priscila de Souza Lobato, [elen.boato@itec.ufpa.br](mailto:elen.boato@itec.ufpa.br)<sup>1,2</sup>

Paulo Antonio Jordão Couto, [paulo.couto@itec.ufpa.br](mailto:paulo.couto@itec.ufpa.br)<sup>1,2</sup>

Iris Caroline dos Santos Rodrigues, [iris.rodrigues@itec.ufpa.br](mailto:iris.rodrigues@itec.ufpa.br)<sup>1,2</sup>

Wellington da Silva Fonseca, [fonseca@ufpa.br](mailto:fonseca@ufpa.br)<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Pará - UFPA

<sup>2</sup>Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia - CEAMAZON

**Abstract:** *Current technological advances demand a more sophisticated approach to problem solving, which has driven the evolution of High Performance Computing, or HPC, in research centers around the world. The use of this technology makes it possible to design parallel solutions for high-performance applications. This trend is reflected in the market, bringing with it the need for an increasingly qualified workforce. However, this technology still represents a high cost for educational institutions. In this context, this paper presents the construction and development of a cluster using TV Box boards seized by the Federal Revenue of Brazil, with the aim of creating a teaching resource for engineering education. It highlights the potential of developing educational approaches in HPC in engineering courses, especially to help model and simulate multiphysics problems, reducing costs and operating time due to parallel processing. Initially, a TV Box group was de-characterized by installing the modified Debian 11 operating system as the basis for compiling OpenPBS, the application responsible for managing the scheduling and distribution of the workload in a distributed computing environment. Next, the cluster topology was built, initially with a Head Node (HN) to manage the cluster and store the data used by the machine; as well as a group of Computer Nodes (CN), in charge of receiving tasks from the HN and executing them in a parallel and distributed manner. Containers containing applications such as ElmerFEM and OpenFOAM, simulation software using finite element and finite volume methods, were then used to run multiphysics simulations in parallel using the Message Passing Interface (MPI) library. This architecture and topology simulate the HPC environment of many engineering research laboratories, making it possible to develop the theory and skills needed in these environments, as well as providing training that meets current market demands and making it possible to develop students' skills from the time they graduate, in line with the National Curriculum Guidelines (DCNs) for Engineering courses.*

**Keywords:** *HPC, cluster, PBS, MPI, engineering education*

#### 4. OUTROS TRABALHOS

O desenvolvimento do mini *cluster* apresentado neste TC foi um dos produtos gerados dentro do projeto de descaracterização das TV Boxes, possuindo grande capacidade de impacto interno nas instituições de nível superior. A partir do mesmo processo de implantação do Linux embarcado, a parceria entre a UFPA e a Receita Federal possibilitou a criação de diferentes produtos voltados a demandas específicas de escolas, secretarias e centros comunitários, combinando inclusão digital, capacitação e sustentabilidade. Dessa forma, enquanto o *cluster* foca em computação aplicada e HPC, outras frentes foram conduzidas em paralelo para ampliar o alcance social e educacional do projeto, sendo ilustradas em ordem cronológica na Figura 4.



Fonte: Própria autoria.

No âmbito da educação básica, destacam-se ações realizadas em parceria com a Secretaria Municipal de Educação, Ciência e Tecnologia (SEMEC), voltadas à revitalização e criação de laboratórios de informática em escolas da região insular de Belém-PA, como pode ser observado na Figura 5. Nessa frente, as TV Boxes descaracterizadas foram integradas em configurações de computadores do tipo *all in one* (montagem integrada do monitor com o computador), disponibilizando *softwares* educacionais e de produtividade, viabilizando atividades de informática básica e introdução à programação. Além da entrega dos equipamentos, também foram realizados treinamentos para professores e alunos, além de oficinas práticas, reforçando o uso sustentável da tecnologia como ferramenta pedagógica, com divulgação institucional e cobertura em mídia local (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM, 2024; PARÁ MAIS, 2024).

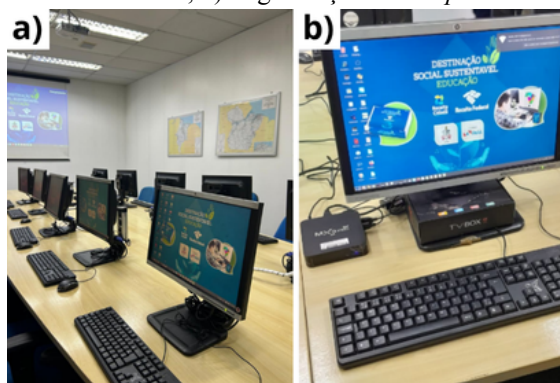
Figura 5 - a) Chegada a equipe para entrega dos equipamentos; b) Laboratório após a revitalização.



Fonte: Própria autoria.

Ainda no eixo de inclusão e formação, o projeto também resultou na adaptação das TV Boxes para uso como *desktops* em um espaço de capacitação profissional voltado a mulheres, na sede da Secretaria de Estado das Mulheres. Nessa aplicação, buscou-se disponibilizar um conjunto de estações de trabalho para cursos de *marketing* digital, programação e ferramentas de informática (Figura 6), associando a solução de baixo custo a uma política pública de qualificação e autonomia. Essa aplicação reforça que a descaracterização, além de permitir experimentação técnica, pode compor infraestruturas de formação digital em instituições parceiras.

Figura 6 - a) Infraestrutura do laboratório da SEMU; b) Organização do *setup*.



Fonte: Própria autoria.

Outra linha de aplicação foi voltada ao desenvolvimento de recursos didáticos utilizando gamificação, com a criação de protótipos como *dancepads*, construídos a partir da reciclagem de materiais e sua integração às TV Boxes, as quais foram configuradas para execução de jogos e aplicações interativas. Esses protótipos foram apresentados em um centro de referência no atendimento de crianças que possuem Transtorno do Espectro Autista (TEA) no município de Tailândia-PA, onde despertaram interesse pelo potencial no desenvolvimento de habilidades motoras e sociais (ver Figura 7a e 7b) (AGÊNCIA TAILÂNDIA, 2024). Além

disso, esses protótipos também foram expostos em um ambiente escolar técnico, ampliando a interação com estudantes e a divulgação científica local (Figura 7c). Logo, evidencia-se a grande versatilidade do ecossistema criado, podendo ser direcionado a diversas frentes educacionais.

Figura 7 - a) Apresentação do protótipo de *dancepads* para mãos; b) Apresentação do *dancepads* para os pés; c) Apresentação dos modelos na escola técnica.



Fonte: Própria autoria.

No ensino superior, além da consolidação do mini *cluster* didático descrito neste TC e publicado em evento técnico-científico, o desenvolvimento atingiu maturidade a ponto de gerar propriedade intelectual. O arranjo de TV Boxes para uso didático foi registrado por meio de um depósito de patente sob o registro BR1020240276280 (Figura 8), reforçando o caráter inovador da solução e seu potencial de replicação em outras instituições, ao mesmo tempo em que valida a robustez do projeto como tecnologia educacional aplicada. Nesse sentido, visando facilitar a replicação em outras instituições, foi desenvolvido um repositório no GitHub, disponível no endereço eletrônico: <https://github.com/Aleqssandro/clusterBox/>, que expõe todos os passos realizados, desde a descaracterização até a implementação computacional do *cluster* (ALEQSSANDRO, 2026). Assim, os resultados se organizam em um conjunto de produtos derivados de uma mesma base técnica, possibilitando inclusão digital, formação profissional e capacitação avançada em HPC.

Figura 8 - a) Pedido de depósito de patente; b) Declaração de pedido depositado.

**a)**

**b)**

| Condições do Pedido | S | N |
|---------------------|---|---|
|                     |   |   |

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Patente BR 10 2024 027628 0, 2024. (Ver ANEXO A).

Por fim, o compilado dos produtos frutos desse projeto e o desenvolvimento da metodologia de criação de imagens de sistema híbridas renderam a segunda colocação na edição do prêmio Talentos na Engenharia de 2025 (Figura 9; Ver ANEXO B), promovido no Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE) em Campinas, com apoio do banco MÚTUA. Essa posição de destaque reforça o apelo social e educacional do projeto, pois conseguiu uma posição no pódio na categoria educação.

Figura 9 - Cerimônia de premiação do projeto no COBENGE 2025.



Fonte: Própria autoria.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Trabalho de Curso demonstrou que é possível construir e operacionalizar um *cluster* de baixo custo a partir de TV Boxes descaracterizadas, convertendo equipamentos frutos de apreensões em uma infraestrutura funcional para computação distribuída e paralela. A implementação do ambiente com Linux embarcado, organização em *Head Node* e *Compute Nodes* e suporte a serviços essenciais de *cluster* evidenciou a viabilidade técnica da proposta, ao mesmo tempo em que consolidou um caminho replicável para novas montagens e expansões.

No campo educacional, o principal ganho está na democratização do acesso a práticas de HPC dentro da universidade devido o baixo custo de implementação. Nesse caso, ao permitir que discentes vivenciem o fluxo completo de trabalho em um *cluster*, incluindo compartilhamento de diretórios, submissão de tarefas, escalonamento e execução distribuída, o projeto reduz a distância entre a formação acadêmica e as demandas atuais da indústria e da pesquisa, fortalecendo competências essenciais para o modelo de mercado atual.

Do ponto de vista social e institucional, o impacto foi ampliado pelo reaproveitamento e pela capacidade de gerar benefícios além do laboratório. Isso é possível devido ao uso da mesma base tecnológica que sustenta o *cluster* se conectar a iniciativas de inclusão e formação em diferentes contextos educacionais, reforçando o papel da universidade como agente de transformação da sociedade, pois deu uma nova vida a um passivo de apreensão em infraestrutura de ensino e pesquisa. Assim, o projeto se destaca por unir relevância técnica, alcance educacional e retorno social, sustentando uma estratégia de inovação aplicada com baixo custo e alto impacto.

## 6. TRABALHOS FUTUROS

O presente projeto apresentado neste Trabalho de Curso será uma pesquisa continuada, onde objetiva-se continuar realizando treinamentos e capacitações de discentes sobre como utilizar ambientes clusterizados e como gerenciá-los. Além disso, o primeiro protótipo do mini *cluster* está sendo expandido e transformado em um protótipo de grande porte, mantendo a arquitetura de *rack*, entretanto cada gaveta terá 22 TV Boxes, uma com foco em serviço de dados compartilhado via rede (NFS), um *Head Node* (HN) e vinte *Compute Nodes* (CN). Para sua comunicação, cada gaveta terá um *switch* de 24 portas, onde as duas restantes serão utilizadas para expansão. Nesse caso, a adição de um nó exclusivo para NFS foi necessário pois a contínua leitura e escrita de dados pelos CN gerava congestionamento de tráfego no HN, aumentando o tempo de resposta e de processamento.

Somado a isso, estão sendo desenvolvidos 2 artigos de revista, um com foco no desenvolvimento detalhado do *cluster* de TV Box para a HardwareX e o outro com foco em metodologias de ensino de HPC em *workshops* utilizando o mini *cluster*, sendo cotado para a IEEE education ou a Educitec. Dessa forma, busca-se viabilizar a construção de *clusters* de baixo custo e explorar formas de ensino de HPC nas Instituições Públicas de Ensino Superior, buscando analisar quais as melhores metodologias de ensino sobre esse tema tem resultados.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA TAILÂNDIA. O Instituto de Tecnologia da UFPA traz inovações tecnológicas ao tratamento da pessoa com TEA em Tailândia. Tailândia, 29 jun. 2024. Disponível em: <https://agenciatailandia.com/2024/06/29/o-instituto-de-tecnologia-da-ufpa-traz-inovacoes-tecnologicas-ao-tratamento-da-pessoa-com-tea-em-tailandia/>. Acesso em: 11 ago. 2025.
- ALEQSSANDRO. Construção da ISO para o cluster com TVBox. In: CLUSTERBOX. GitHub, 2026. Disponível em: <https://github.com/Aleqssandro/clusterBox/>. Acesso em: 5 mar. 2026.
- BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. Resolução CNE/CES nº 1, de 26 de março de 2021. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 29 mar. 2021, p. 85. Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/cne/resolucoes/resolucoes-cne-ces-2021>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or Hype? IEEE Industrial Electronics Magazine, v. 8, n. 2, p. 56–58, 2014. DOI: 10.1109/MIE.2014.2312079.
- EVANS, Peter C.; ANNUNZIATA, Marco. Industrial Internet: pushing the boundaries of minds and machines. [S.l.]: General Electric, 2012. Disponível em: [https://www.ge.com/docs/chapters/industrial\\_Internet.pdf](https://www.ge.com/docs/chapters/industrial_Internet.pdf). Acesso em: 18 fev. 2026.
- FARIAS, Aleqssandro Alexandre de Oliveira et al. Construção de um cluster para ensino de computação de alto desempenho nos cursos de engenharia. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA (CONEM), XII., 2024, Natal, RN. Anais [...]. Natal, RN: ABCM, 2024. DOI: 10.26678/ABCM.CONEM2024.CON24-0456.
- IOWA STATE UNIVERSITY. What is an HPC cluster. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.hpc.iastate.edu/guides/introduction-to-hpc-clusters/what-is-an-hpc-cluster>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- LÓPEZ, P.; BAYDAL, E. Teaching high-performance service in a cluster computing course. Journal of Parallel and Distributed Computing, v. 117, p. 138–147, 2018. DOI: 10.1016/j.jpdc.2018.02.027.
- PARÁ MAIS. EduBox: tecnologia sustentável nas escolas de Belém. Belém, 2 jul. 2024. Disponível em: <https://paramais.com.br/edubox-tecnologia-sustentavel-nas-escolas-de-belem/>. Acesso em: 19 fev. 2026.
- PARK, S.-M.; KIM, Y.-G. A Metaverse: Taxonomy, Components, Applications, and Open Challenges. IEEE Access, v. 10, p. 4209–4251, 2022. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3140175.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. Rede municipal de educação de Belém fortalece tecnologia sustentável nas escolas com o projeto EduBox. Belém, 24 jun. 2024. Disponível em: <https://educacao.belem.pa.gov.br/rede-municipal-de-educacao-de-belem-fortalece-tecnologia-sustentavel-nas-escolas-com-o-projeto-edubox/>. Acesso em: 19 fev. 2026.

WAN, Z.; GAO, Z.; DI RENZO, M.; HANZO, L. The Road to Industry 4.0 and Beyond: A Communications, Information and Operation Technology Collaboration Perspective. *IEEE Network*, v. 36, n. 6, p. 157–164, 2022. DOI: 10.1109/MNET.008.2100484.

**ANEXO A: DEPÓSITO DE PATENTE DO MINI CLUSTER**

Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2024 027628 0

Dados do Depositante (71)

---

Depositante 1 de 2

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 34621748000123

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: Av. Augusto Correa n. 1 Cidade Universitaria José da Silveira Netto,  
Guamá

Cidade: Belém

Estado: PA

CEP: 66075-110

País: Brasil

Telefone: (91) 3201-8314

Fax: (91) 3201-8022

Email: spi@ufpa.br

**Depositante 2 de 2**

**Nome ou Razão Social:** SUPERINTENDÊNCIA DA RECEITA FEDERAL DO BRASIL NA 2ª  
REGIÃO FISCAL

**Tipo de Pessoa:** Pessoa Jurídica

**CPF/CNPJ:** 00394460007073

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Jurídica:** Órgão Público

**Endereço:** Trav. Rui Barbosa nº 1039, 5º andar-Reduto

**Cidade:** Belém

**Estado:** PA

**CEP:** 66053-260

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

**Natureza Patente:** 10 - Patente de Invenção (PI)

**Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):** DESENVOLVIMENTO DE MINI CLUSTER COM ARRANJO DE TV BOX'S PARA USO DIDÁTICO

**Resumo:** DESENVOLVIMENTO DE MINI CLUSTER COM ARRANJO DE TV BOX'S PARA USO DIDÁTICO

Os aparelhos de Tv Box, são equipamentos de conversão ilegal de sinal televisivo, importados de forma irregular, apreendidos pela Receita Federal de acordo com o Plano de Ação e Combate à Pirataria (PACP), criado em 2018 pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). O uso desses aparelhos configura-se como crime de contrabando e violação aos direitos materiais e contra a propriedade imaterial, por fomentarem a pirataria de conteúdos de canais pagos. Contudo, a apreensão desse equipamento tem gerado impactos ambientais devido a geração de resíduos com seu descarte. Para evitar o descarte, as tv box's estão sendo descaracterizadas com o Sistema Operacional (SO) Armbian, uma modificação do Linux, para servirem como computadores. A partir desse processo de descaracterização foi desenvolvida uma solução em High Processing Computing (HPC) utilizando TV box's descaracterizadas com o Sistema Operacional (SO) Armbian, que consiste em uma modificação do linux para a arquitetura ARM utilizada na TV box. Essa solução é uma inovação que apresenta a formação dos nós computacionais por tv box's, em um conjunto montado no formato de mini cluster portátil. O equipamento desenvolvido cria uma rede LAN e WLAN local, facilitando o acesso de aparelhos como notebooks, desktops e smartphones. Além disso, sua arquitetura de montagem foi construída para oferecer o maior desempenho possível, dessa forma o mini cluster tem capacidade de processar uma grande quantidade de dados de forma paralela, devido ao uso conjunto dos CPU e RAM de todas as tv box ao mesmo tempo para a realização de tarefas. O conjunto conta com 4 nós computacionais, utilizando do software OpenPBS como um agendador de tarefas cauterizadas. Sua estrutura é configurada por um nó principal, o headnode, responsável por administrar todo o cluster e os três nós restantes, os computernodes, que executam as tarefas dos jobs.

**Figura a publicar:** 1

Dados do Inventor (72)

---

Inventor 1 de 5

**Nome:** WELLINGTON DA SILVA FONSECA

**CPF:** 74709160244

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Professor do ensino superior

**Endereço:** Conjunto Júlia Seffer, Rua 8, nº 42

**Cidade:** Ananindeua

**Estado:** PA

**CEP:** 67020-460

**País:** BRASIL

**Telefone:** (91) 982 251808

**Fax:** (91) 326 53188

**Email:** fonseca@ufpa.br

Inventor 2 de 5

**Nome:** MIÉRCIO CARDOSO DE ALCÂNTARA NETO

**CPF:** 77452429249

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Professor do ensino superior

**Endereço:** Rua Domingos Marreiros,

**Cidade:** Belém

**Estado:** PA

**CEP:** 66060-160

**País:** BRASIL

**Telefone:** (91) 983 149597

**Fax:**

**Email:** miero@ufpa.br

Inventor 3 de 5

**Nome:** ALEQSSANDRO ALEXANDRE DE OLIVEIRA FARIAS

**CPF:** 04739289229

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Estudante de Graduação

**Endereço:** Travessa Três de Maio, 1604

**Cidade:** Belém

**Estado:** PA

**CEP:** 66064-388

**País:** BRASIL

**Telefone:** (91) 987 123631

**Fax:**

**Email:** aleqssandro.farias@itec.ufpa.br

**Inventor 4 de 5**

**Nome:** ANTÔNIO RONIEL MARQUES DE SOUSA

**CPF:** 01299437206

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Doutorando

**Endereço:** Rua Vitor, nº 18, Centro

**Cidade:** Santa Maria do Pará

**Estado:** PA

**CEP:** 68738-000

**País:** BRASIL

**Telefone:** (91) 998 161709

**Fax:**

**Email:** roniel@ufpa.br

**Inventor 5 de 5**

**Nome:** IRIS CAROLINE DOS SANTOS RODRIGUES

**CPF:** 01720276242

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Mestrando

**Endereço:** Rua Flor de Lins, Alameda Dádiva, 03

**Cidade:** Ananindeua

**Estado:** PA

**CEP:** 67033-048

**País:** BRASIL

**Telefone:** (91) 984 876022

**Fax:**

**Email:** iris.rodrigues@itec.ufpa.br

## Documentos anexados

---

| Tipo Anexo                          | Nome   |
|-------------------------------------|--|
| Comprovante de pagamento de GRU 200 | GRU OF 036-<br>2024_GRU_29409162317181449_DEPOSITO<br>DE PATENTE.pdf |
| Relatório Descritivo                | RELATORIO DESCRITIVO.pdf   |
| Reivindicação                       | REIVINDICAÇÕES.pdf   |
| Desenho                             | DESENHOS.pdf   |
| Resumo                              | RESUMO.pdf   |
| Portaria                            | PORTARIA Nº 3320 2014 001.pdf  |
| Decreto Reitor                      | Decreto de Recondução reitor 28 de junho<br>2013.pdf                 |
| Decreto                             | Decreto Recondução - Reitor Emanuel Tourinho<br>14 10 2020 DOU.pdf   |
| Resolução                           | Resolução 662 UFPA.pdf   |

### Acesso ao Patrimônio Genético

---

- Declaração Negativa de Acesso - Declaro que o objeto do presente pedido de patente de invenção não foi obtido em decorrência de acesso à amostra de componente do Patrimônio Genético Brasileiro, o acesso foi realizado antes de 30 de junho de 2000, ou não se aplica.

### Declaração de veracidade

---

- Declaro, sob as penas da lei, que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.

---

**PETICIONAMENTO  
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Peticionamento Eletrônico em  
30/12/2024 às 17:48, Petição 870240111373

\_\_\_ SIAFI2024-DOCUMENTO-CONSULTA-CONDOC (CONSULTA DOCUMENTO) \_\_\_\_\_

03/04/24 11:14 USUARIO : LAYLA

DATA EMISSAO : 22Mar24 TIPO : 1 - PAGAMENTO NUMERO : 2024GR800051

UG/GESTAO EMITENTE : 153063 / 15230 - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARA

UG/GESTAO FAVORECIDA : 183038 / 18801 - INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDU

RECOLHEDOR : 153063 GESTAO : 15230

CODIGO RECOLHIMENTO : 72200 - 6 COMPETENCIA: MAR24 VENCIMENTO: 21Mar24

DOC. ORIGEM: 153063 / 15230 / 2024RP000473 PROCESSO : 17391/2024

RECURSO : 2

(=) VALOR DOCUMENTO : 70,00

(-) DESCONTO/ABATIMENTO:

(-) OUTRAS DEDUCOES :

(+) MORA/MULTA :

(+) JUROS/ENCARGOS :

(+) OUTROS ACRESCIMOS :

(=) VALOR TOTAL : 70,00

NOSSO NUMERO/NUMERO REFERENCIA : 00029409162317181449

CODIGO DE BARRAS : 89610000000 0 70000001010 3 95523127220 9 00360640000 4

OBSERVACAO

APROPRIACAO PARA ATENDER AS DEMANDAS DE MARCAS E PATENTES DA AGÊNCIA DE INOVAÇ

ÃO. CONF SERVIÇO 200-. PROC. 17391//2024. - - GRU. 29409162317181449

LANCADO POR : 85199613200 - MARCO ANTONIO UG : 153063 22Mar2024 13:05

PF1=AJUDA PF3=SAI PF2=DADOS ORC/FIN PF4=ESPELHO PF12=RETORNA

Recibo do Pagador

**BANCO DO BRASIL** | 001-9 | 00190.00009 02940.916238 17181.449178 1 96820000007000

|   |                   |                    |                       |                |
|---|-------------------|--------------------|-----------------------|----------------|
| Nome do Pagador/CPF/CNPJ/Endereço   |                   |                    |                       |                |
| UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARA CPF/CNPJ: 34621748000123   |                   |                    |                       |                |
| AV AUGUSTO CORREA N 1 CIDADE UNIVERSITARIA JOSE DA SILVEIRA NETTO GUAMA, BELEM -PA CEP:66075110 |                   |                    |                       |                |
| Sacador/Avalista  |                   |                    |                       |                |
| Nosso Número  | Nr. Documento     | Data de Vencimento | Valor do Documento    | (=) Valor Pago |
| 29409162317181449   | 29409162317181449 | 10/04/2024         | 70,00                 |                |
| Nome do Beneficiário/CPF/CNPJ/Endereço  |                   |                    |                       |                |
| INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUST CPF/CNPJ: 42.521.088/0001-37                           |                   |                    |                       |                |
| RUA MAYRINK VEIGA 9 24 ANDAR ED WHITE MARTINS , RIO DE JANEIRO - RJ CEP: 20090910               |                   |                    |                       |                |
| Agência/Código do Beneficiário  |                   |                    | Autenticação Mecânica |                |
| 2234-9 / 333028-1   |                   |                    |                       |                |

**BANCO DO BRASIL** | 001-9 | 00190.00009 02940.916238 17181.449178 1 96820000007000

|   |                   |             |            |                       |                                |  |
|---|-------------------|-------------|------------|-----------------------|--------------------------------|--|
| Local de Pagamento  |                   |             |            |                       | Data de Vencimento             |  |
| <b>PAGÁVEL EM QUALQUER BANCO ATÉ O VENCIMENTO</b>                             |                   |             |            |                       | 10/04/2024                     |  |
| Nome do Beneficiário/CPF/CNPJ   |                   |             |            |                       | Agência/Código do Beneficiário |  |
| INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUST CPF/CNPJ: 42.521.088/0001-37         |                   |             |            |                       | 2234-9 / 333028-1              |  |
| Data do Documento   | Nr. Documento     | Espécie DOC | Aceite     | Data do Processamento | Nosso Número                   |  |
| 12/03/2024  | 29409162317181449 | DS          | N          | 12/03/2024            | 29409162317181449              |  |
| Uso do Banco  | Carteira          | Espécie     | Quantidade | xValor                | (=) Valor do Documento         |  |
| 29409162317181449   | 17                | RS          |            |                       | 70,00                          |  |
| Informações de Responsabilidade do Beneficiário                               |                   |             |            |                       | (+) Desconto/Abatimento        |  |
| A data de vencimento não prevalece sobre o prazo legal.                       |                   |             |            |                       |                                |  |
| O pagamento deve ser efetuado antes do protocolo.                             |                   |             |            |                       |                                |  |
| Órgãos públicos que utilizam o sistema SIAFI devem utilizar o número da GRU n |                   |             |            |                       | (+) Juros/Multa                |  |
| o campo Número de Referência na emissão do pagamento.                         |                   |             |            |                       |                                |  |
| Serviço: 200-Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de |                   |             |            |                       |                                |  |
| Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT                          |                   |             |            |                       | (=) Valor Cobrado              |  |
|   |                   |             |            |                       |                                |  |

|  |  |  |  |  |                       |  |
|--|--|--|--|--|-----------------------|--|
| Nome do Pagador/CPF/CNPJ/Endereço  |  |  |  |  | Código de Caixa       |  |
| UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARA CPF/CNPJ: 34621748000123                    |  |  |  |  | Autenticação Mecânica |  |
| AV AUGUSTO CORREA N 1 CIDADE UNIVERSITARIA JOSE DA SILVEIRA NETTO GUAMA, |  |  |  |  | Ficha de Compensação  |  |
| BELEM-PA CEP:66075110  |  |  |  |  |                       |  |
| Sacador/Avalista   |  |  |  |  |                       |  |



## **DESENVOLVIMENTO DE MINI CLUSTER COM ARRANJO DE TV BOX'S PARA USO DIDÁTICO**

### **Campo da invenção**

[001] Serviços de tecnologia, computação clusterizada, servidores, armazenamento de dados em nuvem, pesquisas científicas, ciência de dados, computador de alto processamento.

### **Fundamentos da invenção**

[002] Atualmente a computação clusterizada consiste em uma solução que vem sendo implementada em diversos setores no mundo, com destaque para os clusters com arquitetura ARM (Advanced RISC Machine), projetados para fornecer Alto Desempenho a partir de um baixo consumo energético. A arquitetura ARM pertence à família de processadores RISC (Reduced Instruction Set Computing), conhecidos por sua eficiência em dispositivos móveis. No contexto das engenharias, esta arquitetura é cada vez mais adotada, impulsionada pela compilação de softwares específicos como ElmerFEM, OpenFOAM e Apptainer para este tipo de processador.

[003] Apesar desse crescimento, a infraestrutura disponível nas universidades brasileiras ainda dificulta o acesso a esse tipo de dispositivo, isso devido ao alto valor de aquisição desses equipamentos, tornando inviável o desenvolvimento de habilidades que vem sendo cada vez mais exigida por grandes centros de tecnologia, relacionadas a tanto a configuração quanto a utilização da computação de alto desempenho.

[004] Para viabilizar o desenvolvimento e implementação do projeto em questão, foram adaptados softwares de gerenciamento, tais como OpenPBS e Slurm, para oferecerem suporte adequado a essa arquitetura e às necessidades específicas de processamento e distribuição de tarefas. Essa adaptação é crucial para maximizar a eficiência e o desempenho de dispositivos baseados em arquitetura ARM.

[005] Contudo, apesar do aumento dessa tecnologia, a implementação de clusters

tem se restringindo a alguns tipos de equipamentos apropriados para ambientes computacionais, como associação de desktops, notebooks e Raspberrys Pi entre outros. Diante disso, para o desenvolvimento do Mini Cluster utilizou-se placas de circuito PCB de Tv Box, a fim de apresentar uma proposta de portabilidade e baixo custo.

[006] Além disso, a construção do equipamento representa uma alternativa sustentável, uma vez que traz utilidade para equipamentos apreendidos pela Receita Federal que seriam descartados, por permitirem o acesso ilegal ao sinal de canais de tv fechada. Com essa nova aplicação é possível dar uma nova função para esses aparelhos, evitando seu descarte, o que diminui a geração de lixo eletrônico.

[007] Dessa forma, as Tv Box's foram descaracterizadas com o sistema operacional da Armbian, para viabilizar sua utilização de acordo com o funcionamento de desktops convencionais. A partir dessa descaracterização, foi proposta e implementada uma arquitetura de um mini cluster de alto desempenho para uso didático.

[008] Em pesquisas realizadas na base de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) não foi encontrado nenhum registro de equipamentos/dispositivos/sistemas que proponha a construção de um mini cluster com utilização de placas PCB de Tv Box. Contudo, foram encontradas patentes internacionais, sendo elas: uma patente que propõe uma arquitetura de computação paralela de propósito geral na plataforma LATIPAT com o código ES2929626 (T3) e uma patente que propõe um servidor de computação paralela baseado em arquitetura ARM na plataforma WIPO com o código CN205721774.

### **Breve descrição dos desenhos**

[009] As imagens enumeradas de 1 até 4 são as vistas da montagem final do Mini Cluster, apresentando como componentes: fonte ATX (1), quatro placas de circuito PCB de Tv Box (2), roteador TP-LINK modelo TL-WR741ND (3), coolers de 75mm 12V e 0.14A (4), cabos RJ45 (5), fitas leds de 75mm (6), barras roscadas de 11cm (7), cabos de alimentação USB (8), fonte de 9V e 0.6A (9), peças 3D impressas

(10), alça de tecido de 3x15cm (11), chapa de acrílico de 140x190mm (12).

[010] Nas figuras 5 e 6 apresenta-se a peça feita em impressão 3D para fixar a uma alça.

[011] Nas figuras 7 e 8 observa-se a peça feita em impressão 3D para suportes de coolers.

[012] As Figuras 9 e 10 representa-se a peça feita em impressão 3D utilizada como suportes para as Tv Box's utilizadas no projeto.

[013] Na figura 11 é mostrada a interface inicial do Mini Cluster a partir do acesso via SSH.

### **Descrição da invenção**

[014] O mini cluster foi montado com a utilização de quatro placas de circuito PCB de Tv Box's em aplicação inspirada no modelo do cluster de Raspberry Pi [1] (Figura 1). No entanto, há distinções tanto na configuração da camada de software quanto na configuração física deste sistema.

[015] Na camada de software, o desenvolvimento do mini cluster foi primeiramente realizada a descaracterização das Tv Box's em um sistema Linux Ubuntu 22.04 utilizando a ferramenta Armbian Build [2]. Essa ferramenta tem um melhor funcionamento nas versões mais recentes do Ubuntu, pois ela gera versões modificadas do Linux para pleno funcionamento em Tv Box com arquitetura ARM. A partir disso, foi compilada uma ISO do Debian 11 estável e sem interface para descaracterizar as Tv Box's.

[016] Em seguida, foram instalados os pacotes essenciais para compilar o OpenPBS, em cada Tv Box. Etapa necessária para a configuração da arquitetura do mini cluster, que consiste em um (1) nó principal e três (3) nós de computação.

[017] Para configurar o processamento do mini cluster, foram estabelecidas filas que viabilizam a execução simultânea de múltiplas tarefas, sem ocupar todo cluster para a realização de uma única tarefa. Para isso, filas múltiplas foram criadas, cada

uma com uma configuração distinta de nós e capacidade de RAM. Isso permite ao operador selecionar a fila mais apropriada para a execução da tarefa desejada, conforme suas necessidades específicas.

[018] Após isso, foi montada a rede LAN do cluster e configurada as chaves SSH dos nós. Por meio desse protocolo de comunicação é realizada a troca de informações necessárias para executar as tarefas e retornar as informações processadas. Essa rede LAN foi criada por um roteador (Figura 2), que possibilita o acesso cluster por outro computador, seja via WIFI ou rede cabeada Ethernet.

[019] O acesso ao mini cluster é realizado a partir da conexão na mesma rede, para acesso ao nó principal, via SSH (Secure Shell) (figura 11). Assim, é possível executar tarefas em computação distribuída no mini cluster utilizando o OpenPBS e o protocolo MPI.

[020] Para viabilizar o funcionamento adequado dos softwares, em arquitetura ARM, foi feita uma compilação do Apptainer em todos os nós, além da atribuição da função NFS no nó principal do mini cluster. Esse procedimento permite o armazenamento em rede para compartilhamento de dados do mini cluster em containers de softwares ARM, a exemplo dos containers de softwares de simulação como o OpenFOAM e o ElmerFEM. Assim, a instalação de vários softwares não é necessária, uma vez que é possível penas executá-los de forma distribuída utilizando o OpenPBS.

[021] Para a configuração da camada física do mini cluster, a estrutura foi organizada para uma melhor apresentação, com a montagem do sistema feita a partir do modelo em torre, no qual os nós são empilhados. Para isso, foi utilizada uma fonte ATX para alimentação de toda a aplicação, também como base para a estrutura do mini cluster (Figura 1). Nela foram fixadas 4 barras roscadas para encaixar os suportes das tv Box's (Figura 9) e dos coolers expostos (Figuras 7), impressos na impressora 3D.

[022] Dessa forma, com a utilização das peças impressas, as placas de circuito PCB das Tv box foram fixadas uma sobre a outra (Figura 1) e os coolers nas laterais

(Figura 3 e 4), uma estrutura propostas para criar um fluxo de ar que irá auxiliar no arrefecimento das placas. No topo do mini cluster, foi fixada uma chapa de acrílico utilizada para travar as barras e fixar o roteador (Figura 2) junto com o suporte de alça (Figura 5) que foi impresso em 3D.

[023] A montagem e estrutura do Mini Cluster foi construída para facilitar o transporte do conjunto, criando uma estrutura prática para a aplicação didática em salas de aula e/ou laboratórios.

### **Exemplos de concretizações da invenção**

[024] Foram conduzidos testes de acesso ao cluster, tanto fisicamente quanto remotamente, utilizando computadores e smartphones como pontos de acesso. O acesso físico foi realizado por meio da conexão de periféricos (teclado e mouse) diretamente à placa do nó principal, permitindo a configuração das credenciais para acesso remoto via SSH. Em seguida, foram realizados testes de acesso remoto via SSH utilizando computadores e smartphones (Figura 8). Para esse tipo de acesso, são necessárias as senhas de acesso do usuário ou as chaves de criptografia previamente geradas.

[025] Em relação aos testes de funcionamento do conjunto dos nós do mini cluster para a realização de tarefas, foram gerados arquivos de controle no formato “.pbs” para realização do teste de funcionamento nas filas do cluster e da comunicação entre o nó principal os demais nós de computação.

[026] Em relação a análise de desempenho do mini cluster, foi conduzido um teste em condições extremas de processamento e estresse, empregando todos os núcleos de processamento e toda a memória RAM disponível no equipamento. O objetivo foi avaliar possíveis variações na temperatura e, conseqüentemente, no desempenho do mini cluster. Para isso, foi executada uma simulação multifísica utilizando o software Emergem, empregando o método de elementos finitos para resolver um problema térmico e calcular os fenômenos de transferência térmica.

[027] Mediante aos testes, foi analisado o processamento de dados no mini cluster, atestando o fluxo bidirecional de dados entre o nó principal e os nós de

computação, dessa forma observou-se êxito no envio de tarefas e recepção dos resultados. Além disso, os testes de desempenho indicaram que, mesmo operando com carga máxima, o equipamento não ultrapassa a temperatura crítica, o que contribui para sua longevidade operacional.

### **Referências**

[028] Raspberry Pi, “How to build a Raspberry Pi cluster”. A plataforma oficial do Raspberry Pi onde está disponibilizados as documentações e os softwares. Disponível em: <https://www.raspberrypi.com/tutorials/cluster-raspberry-pi-tutorial/>. Acesso em: 5 mar. 2024.

[029] GitHub, “armbian/build”. Ferramenta geradora de ISO modificada do Linux compatível com a arquitetura ARM. Disponível em: <https://github.com/armbian/build>. Acesso em: 5 mar. 2024.

## REINVIDICAÇÕES

1. **DESENVOLVIMENTO DE MINI CLUSTER COM ARRANJO DE TV BOX'S PARA USO DIDÁTICO**, **caracterizado por** uma arquitetura de alto desempenho, composta por um (1) Head Node e três (3) Computer Nodes. O equipamento apresenta montagem física em modelo de torre, baseada nos modelos dos principais clusters e servidores disponíveis no mercado, sistema apresentado na Figura 1. Em sua construção, a montagem do cluster portátil segue uma sequência específica para garantir sua estabilidade e funcionalidade. Inicia-se pela base, onde a fonte de energia é instalada. Em seguida, são fixadas quatro barras roscadas de 11 cm sobre a fonte. Nestas barras, são encaixados os suportes impressos em uma impressora 3D, compostos por um suporte de cooler na parte inferior, quatro suportes para fixação de TV Box no meio e, por fim, mais um suporte de cooler. Nos lados direito e esquerdo do cluster, são fixados coolers de 75mm, criando um túnel de vento entre as TV Boxes, que serão montadas nos seus respectivos suportes. No topo do cluster, é colocada uma chapa de acrílico de 140x190mm, responsável por sustentar a abertura das barras roscadas e por fixar o roteador. Enquanto na superfície superior do roteador, são parafusados os suportes da alça. O gerenciamento do cluster é realizado pelo Head Node (HN), utilizando o agendador de tarefas OpenPBS, que possibilita a execução de tarefas paralelas em computação distribuída entre as máquinas conectadas à rede local gerada pelo roteador.

2. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** uma fonte ATX (Figura 2), que serve como base de sustentação de toda a estrutura e energiza todos os dispositivos eletrônicos.

3. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** 4 Tv Box's descaracterizadas com o Sistema Operacional (SO) do Armbian, como modificação do Debian 11 sem interface, compatível com plataformas ARM. Apresenta um processador S905X, memória SDRAM DDR3 de 2GB e armazenamento de 16GB flash NAND.

4. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** um roteador TP-LINK modelo TL-WR741ND, com 4 portas RJ45 para cada uma das tv box's e uma entrada para conexão em rede WAN ou acesso via um desktop, por conexão cabeada (Figura 2). O roteador é utilizado para a criação de uma rede LAN Local entre os nós do cluster e uma WLAN para acesso didático sem fio, usando outros dispositivos como desktops, notebooks e smartphones.
5. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** dois coolers de 75mm 12V e 0.14A (Figuras 3 e 4), utilizados para a criação de um túnel de vento entre os nós do mini cluster, com fluxo de ar da direita para a esquerda, evitando o superaquecimento do conjunto.
6. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** quatro cabos RJ45 com o padrão de sequência de cores T568A (Figura 2), responsáveis por realizar a troca de dados através do protocolo Secure Shell (SSH) entre os nós, com o intuito de realizar a execução das tarefas de forma paralela.
7. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** duas fitas leds de 75mm, cada uma com três (3) leds verdes, com função de iluminar o hardware para facilitar o manuseio do mesmo e colaborar esteticamente para o conjunto.
8. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** quatro barras roscadas de 11cm, fixadas na superfície superior da fonte ATX, com função de unir todas as peças do cluster de forma firme e segura, possibilitando a montagem em gabinete do tipo rack.
9. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** quatro cabos de alimentação USB, conectados a TV Box (Figura 2). Esses cabos foram adaptados no próprio circuito da fonte ATX, dispensando o uso de fontes separadas para cada uma delas.
10. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** uma fonte de 9V e 0.6A, responsável por alimentar o roteador, localizado na parte interna

da fonte ATX (Figura 1), compartilhando a entrada de alimentação da fonte ATX, para ligar ambas na alimentação de 127V ou 220V.

11. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por 4** suportes de base de borracha, de 21mm de diâmetro e 10mm de altura, que foram fixados na base da fonte ATX. Eles são responsáveis pela melhor aderência da Estrutura nas superfícies e por permitir um fluxo de ar na parte inferior da fonte, favorecendo sua refrigeração.

12. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por 2** suportes de alça (Figura 5), modelados e impressos em impressora 3D, que comportam uma alça de mão para facilitar o transporte da estrutura completa. Além de permitirem a fixação do roteador a chapa de acrílico.

13. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por 4** suportes de coolers (Figura 6), modelados e impressos em impressora 3D. Em uma de suas faces apresentam duas vias nas quais atravessam duas barras roscadas da estrutura do cluster, para fixar esse suporte. Em na outra face, dois furos que feitos para receber os parafusos de fixação do cooler.

14. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por 16** suportes de tv box (Figura 7), baseados no equipamento 3, que foram modelados e impressos em 3D. Para cada nó do cluster foi utilizada uma TV Box, sendo necessários quatro (4) suportes para cada uma. Desses, cada suporte é encaixado em uma barra roscada e possui um encaixe para a lateral da placa. Além disso, os suportes apresentam na parte inferior um braço de sustentação, responsável por evitar a deformação da estrutura e aumentar sua resistência.

15. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** uma alça de tecido de 3x15cm, fixada nos suportes apresentados no equipamento 12, utilizada para facilitar o transporte e o manejo do equipamento (Figura 1).

16. **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** uma chapa de acrílico de 140x190mm (Figura 1), fixada na parte superior das 4 barras

roscadas. Ela será responsável por manter as barras roscadas posicionadas e fixas de maneira correta, além de adicionar firmeza a estrutura do modelo em torre.



Figura 1



Figura 2



Figura 3



Figura 4

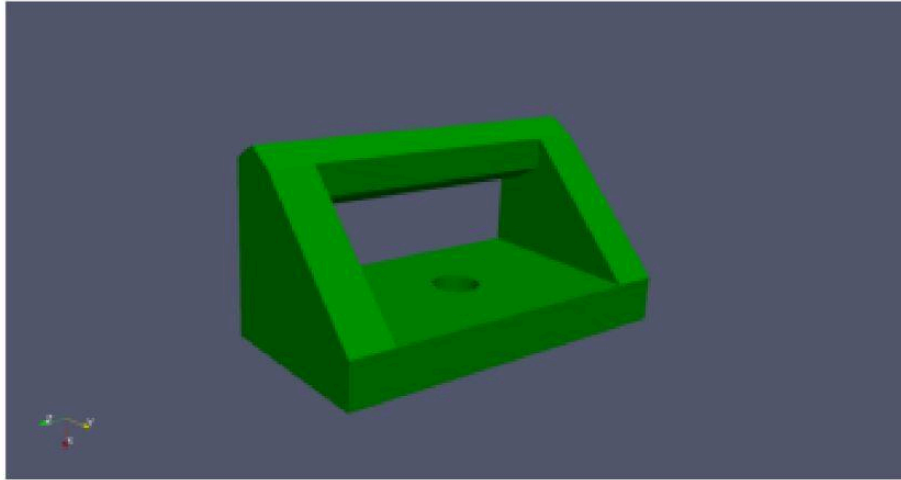


Figura 5

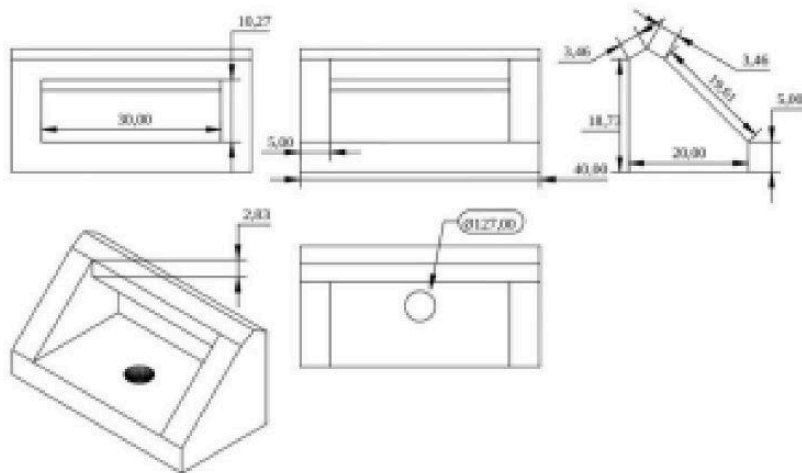


Figura 6

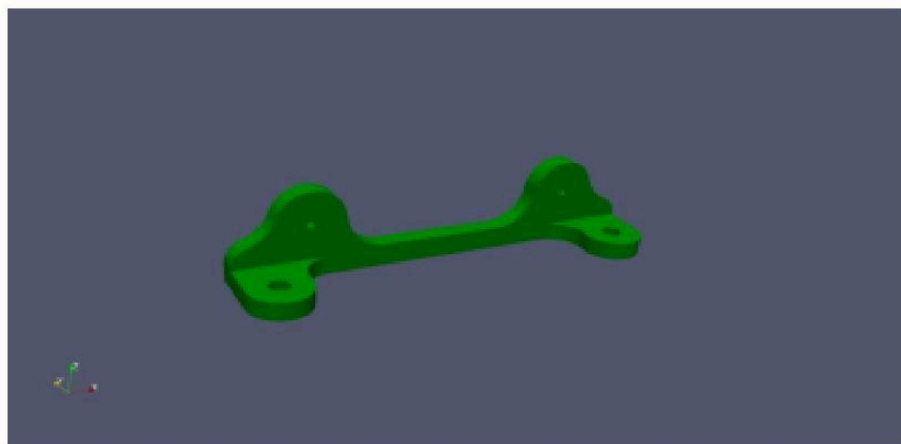


Figura 7

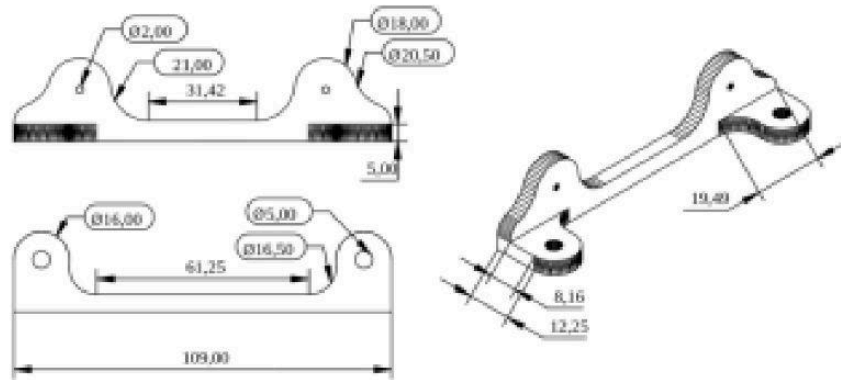


Figura 8

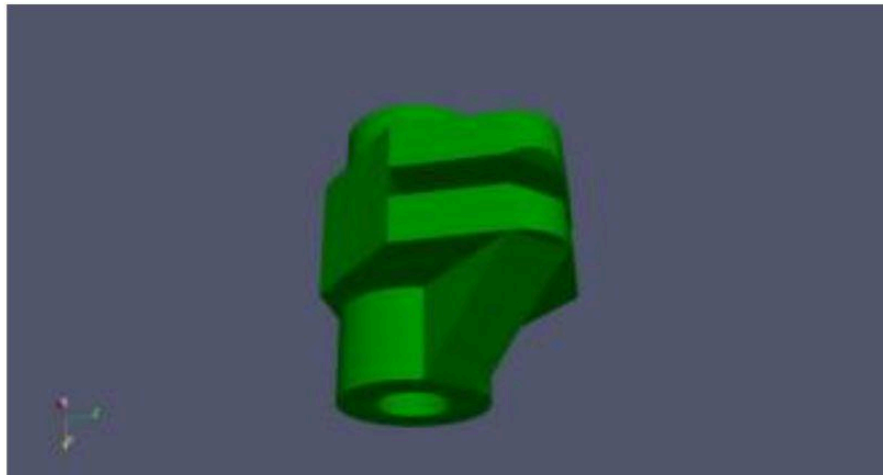


Figura 9

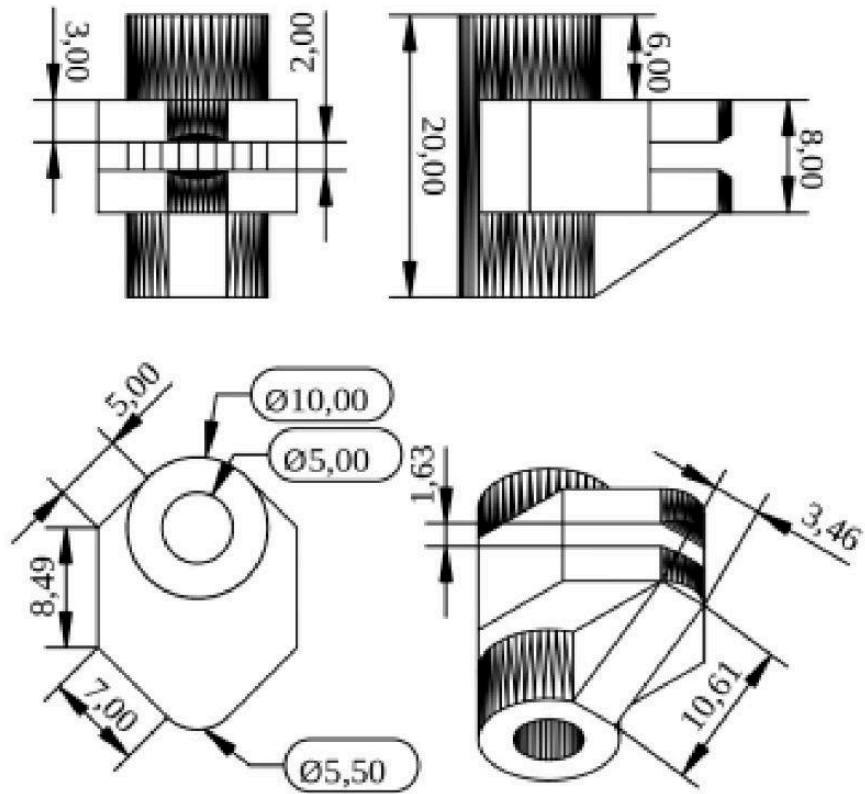


Figura 10

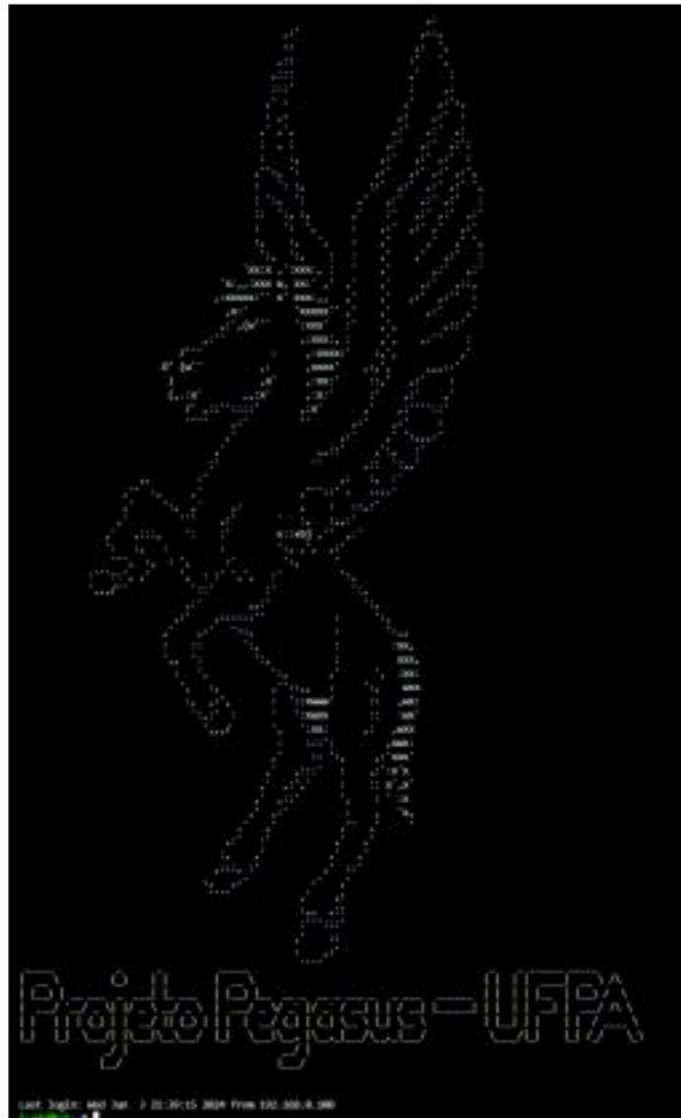


Figura 11

## RESUMO

### DESENVOLVIMENTO DE MINI CLUSTER COM ARRANJO DE TV BOX'S PARA USO DIDÁTICO

Os aparelhos de Tv Box, são equipamentos de conversão ilegal de sinal televisivo, importados de forma irregular, apreendidos pela Receita Federal de acordo com o Plano de Ação e Combate à Pirataria (PACP), criado em 2018 pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). O uso desses aparelhos configura-se como crime de contrabando e violação aos direitos materiais e contra a propriedade imaterial, por fomentarem a pirataria de conteúdos de canais pagos. Contudo, a apreensão desse equipamento tem gerado impactos ambientais devido a geração de resíduos com seu descarte. Para evitar o descarte, as tv box's estão sendo descaracterizadas com o Sistema Operacional (SO) Armbian, uma modificação do Linux, para servirem como computadores. A partir desse processo de descaracterização foi desenvolvida uma solução em High Processing Computing (HPC) utilizando TV box's descaracterizadas com o Sistema Operacional (SO) Armbian, que consiste em uma modificação do linux para a arquitetura ARM utilizada na TV box. Essa solução é uma inovação que apresenta a formação dos nós computacionais por tv box's, em um conjunto montado no formato de mini cluster portátil. O equipamento desenvolvido cria uma rede LAN e WLAN local, facilitando o acesso de aparelhos como notebooks, desktops e smartphones. Além disso, sua arquitetura de montagem foi construída para oferecer o maior desempenho possível, dessa forma o mini cluster tem capacidade de processar uma grande quantidade de dados de forma paralela, devido ao uso conjunto dos CPU e RAM de todas as tv box ao mesmo tempo para a realização de tarefas. O conjunto conta com 4 nós computacionais, utilizando do software OpenPBS como um agendador de tarefas cauterizadas. Sua estrutura é configurada por um nó principal, o *headnode*, responsável por administrar todo o cluster e os três nós restantes, os *computernodes*, que executam as tarefas dos *jobs*.

**ANEXO B: CERTIFICADO DO PRÊMIO ABENGE**

## Certificamos que

O trabalho "DESCARACTERIZAÇÃO DE TV BOXES: DA PIRATARIA AO LETRAMENTO TECNOLÓGICO E INCLUSIVO NA FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS" foi agraciado com o Prêmio "MÚTUA-SAÚDE-ABENGE de Talentos na Engenharia", tendo obtido a 2ª colocação na categoria Educação em Engenharia. O trabalho é de autoria de ALESSANDRO ALEXANDRE DE OLIVEIRA FARIAS, DAMASIO ALVES DE LIMA JÚNIOR, IRIS CAROLINE DOS SANTOS RODRIGUES e foi orientado por WELLINGTON DA SILVA FONSECA. O Prêmio foi entregue no 53º Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia e VIII Simpósio Internacional de Educação em Engenharia (COBENGE 2025), organizado pela Associação Brasileira de Educação em Engenharia - ABENGE e pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), realizado de 15 a 18 de setembro de 2025, na cidade de Campinas - SP.

**Campinas-SP, 18 de setembro de 2025**

**Adriana Maria Tonini**

Presidente da ABENGE

**Sérgio Roberto Pereira**

Decano da Escola Politécnica da PUC-CAMPINAS