



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

**Comparação de desempenho e eficiência energética entre as
arquiteturas de processador ARM Cortex A57 e Intel x86
para micro servidores**

Mateus da Silva

Lajeado, novembro de 2016

Mateus da Silva

**Comparação de desempenho e eficiência energética entre as
arquiteturas de processador ARM Cortex A57 e Intel x86
para micro servidores**

Trabalho de conclusão de curso apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia da Computação, do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Hüsemann

Lajeado, novembro de 2016

Mateus da Silva

**Comparação de desempenho e eficiência energética entre as
arquiteturas de processador ARM Cortex A57 e Intel x86
para micro servidores**

Trabalho de conclusão de curso apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia da Computação, do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Composição da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ronaldo Hüsemann, UNIVATES - Orientador
Doutor pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Prof. Ms. Marcelo G. Malheiros, UNIVATES
Mestre em Engenharia Elétrica pela UNICAMP – Campinas, Brasil

Prof. Ms. Anderson Antônio Giacomolli, UNIVATES
Mestre pelo PPGEE/UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Lajeado, novembro de 2016

Dedico este trabalho aos meus pais,
Sônia Arlete da Silva e José Carlos da Silva, que
me apoiaram em todos os momentos do bacharelado.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Fabricio Pretto e Marcelo Malheiros que durante toda graduação, colaboraram com ideias me incentivando a fazer o melhor possível. Em especial ao orientador Ronaldo Hüsemann por ter acreditado em mim e na minha ideia, colaborado no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus irmãos Tiago e Cleber que me auxiliaram neste trabalho com conselhos e dicas.

À amiga Verônica Heloísa Datsch por ter colaborado com a revisão da linguagem e da grafia deste trabalho.

Aos Colegas Roberto Santin, Fábio Eckhardt, Francisco Schwertner, Mateus Marmitt e Cassiano Weissheimer pela troca de conhecimento e pelos momentos compartilhados durante a formação.

RESUMO

Os micro servidores foram desenvolvidos para serem mais baratos e energeticamente eficientes que servidores tradicionais. A arquitetura ARM é destinada para dispositivos de alta eficiência, porém os processadores mais recentes começam a rivalizar em desempenho perante os processadores x86 nos micro servidores. Com a finalidade de verificar qual arquitetura é mais energeticamente eficiente em micro servidores, este trabalho testou o desempenho e a eficiência energética das micro arquiteturas ARM Cortex A57 e Intel Braswell, representados, respectivamente, pelos SOCs Tegra X1 e Pentium N3700. Para avaliar os processadores foram simuladas cargas de trabalho nos programas Apache, NGINX, MySQL e PostgreSQL, executados no sistema operacional Ubuntu Linux 16.04. Os resultados dos ensaios demonstraram que o processador Nvidia Tegra X1 possui melhor desempenho em todos os testes efetuados. O CPU Intel Pentium N3700 possui melhor eficiência energética em relação do processador ARM ao executar programas servidores HTTP.

Palavras-chave: Micro Servidor, ARM, x86, Eficiência Energética.

ABSTRACT

The Micro servers are developed to be cheaper and more energy efficient than traditional servers. The ARM architecture is designed for high efficiency devices, nevertheless the newest processors, begin to rival the performance between the x86 processors in micro servers. In order to find what architecture is more energetically efficient in micro servers, the proposes of this work is testing the performance and energy efficiency of micro architectures ARM Cortex A57 and Intel Braswell, represented by SOCs Tegra X1 and Pentium N3700 .To rate the processor will be simulated workloads in programs Apache, NGINX, MySQL and PostgreSQL run on Ubuntu Linux 16.04 operating system. The results of the tests demonstrated that the Nvidia Tegra X1 processor performs best in all tests performed. The Intel Pentium N3700 CPU has better energy efficiency compared to the ARM processor running HTTP server programs.

Keywords: Microserver, ARM, x86, Power Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação de aumento de consumo ao longo dos anos	8
Figura 2 - Diagrama de módulos do SoC Nvidia Tegra X1	18
Figura 3 - Relação de requisições HTTP respondidas por W consumido.....	24
Figura 4 - Relação de requisições SQL processadas por watt consumido.....	25
Figura 5 - Nvidia Shield TV	28
Figura 6 - Placa Mãe Mini ITX Asrock N3700.....	29
Figura 7 - Esquemático eletrônico do circuito resistivo para fonte ATX	37
Figura 8 – Diagrama do circuito resistivo conectado à fonte ATX do sistema x86.....	38
Figura 9 - Esquemático eletrônico do circuito resistivo para o Nvidia Shield TV	38
Figura 10 – Diagrama do circuito resistivo conectado a fonte do Nvidia Shield TV	39
Figura 11 - Sistema utilizado para mensurar o consumo de energia.....	40
Figura 12 - Desempenho do software Apache	42
Figura 13 - Consumo de energia durante os testes com o Apache	43
Figura 14 - Desempenho do software NGINX	44
Figura 15 - Consumo de energia durante os testes com o NGINX.....	45
Figura 16 - Desempenho do software MySQL.....	46
Figura 17 - Consumo de energia durante os testes com o MySQL	47
Figura 18 - Desempenho do software PostgreSQL	48
Figura 19 - Consumo de energia durante os testes com o PostgreSQL.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações dos dispositivos testados.....	23
Tabela 2 - Característica dos sistemas testados.....	26
Tabela 3 - Parâmetros empregados no teste dos servidores HTPPs.....	33
Tabela 4 - Consumo em Watts por cada requisição HTTP ou query executada	50

LISTA DE ABREVIATURAS

AB:	Apache Bench
AMD:	Advanced Micro Devices
APT:	Advanced Packaging Tool
ARM:	Advanced RISC Machine
BBC:	British Broadcasting Corporation
CI:	Circuito Integrado
CODEC:	Coder Decoder
CPU:	Central Processing Unit
CSS:	Cascading Style Sheets
DDR:	Double Data Rate
DMIPS:	Dhrystone Millions of Instructions Per Second
ECC:	Error correcting code
HDMI:	High Definition Multimedia Interface
HP:	Hewlett Packard
HPC:	High performance computing
HTML:	HyperText Markup Language
HTTP:	Hypertext Transfer Protocol
I/O:	Input / Output
LPDDR:	Low Power Double Data Rate
MP3	MPEG Layer 3

NCSA:	National Center for Supercomputing Applications
OLTP:	Online Transaction Processing
PL/SQL:	Procedural Language/Structured Query Language
RISC:	Reduced Instruction Set Computer
SATA:	Serial Advanced Technology Attachment
SGBD:	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SO:	Sistema Operacional
SOC:	System on Chip
SO-DIMM:	Small Outline Dual In-line Memory Module
TDP:	Thermal Design Power

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	12
2.1 Processadores para servidores.....	12
2.2 Micro servidores.....	13
2.3 Processadores Intel.....	14
2.3.1 Processadores Intel de baixo consumo	14
2.3.2 Intel Pentium N3700.....	15
2.4 Processadores ARM	16
2.4.1 ARM Cortex A57	16
2.4.2 Nvidia Tegra X1	17
2.5 Softwares para avaliação de desempenho.....	18
2.5.1 Apache	19
2.5.2 MySQL	20
2.5.3 NGINX	20
2.5.4 PostgreSQL.....	21
3 TRABALHOS RELACIONADOS	22
3.1 Teste de eficiência energética das arquiteturas x86 e ARM.....	22
3.2 Computadores de alto desempenho baseados em arquitetura ARM	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 Hardware.....	27
4.1.1 Nvidia Shield TV	28
4.1.2 Asrock N3700.....	29

4.2 Softwares	30
4.2.1 Sistema Operacional.....	31
4.2.2 Partição virtual em memória.....	32
4.2.3 Servidores HTTP Apache e NGINX.....	32
4.2.4 MySQL	34
4.2.5 PostgreSQL.....	35
4.3 Consumo energético	36
4.3.1 Isolando a potência dos sistemas testados.....	36
4.3.1 Mensurando o consumo	39
5 RESULTADOS	41
5.1 Apache.....	41
5.2 NGINX	43
5.3 MySQL.....	45
5.4 PostgreSQL	47
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	49
6.1 Eficiência energética	49
6.2 Comparação dos resultados com trabalhos relacionados	51
7 CONCLUSÃO	52

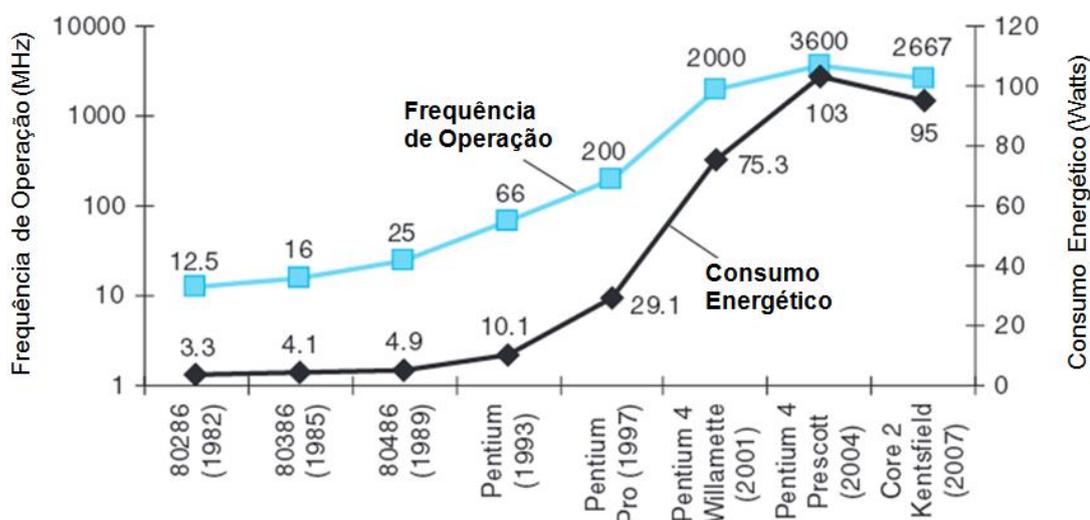
1 INTRODUÇÃO

Devido ao aumento do desempenho e redução de tamanho, os computadores têm evoluído rapidamente, possibilitando o seu uso em novas aplicações. Em decorrência desses fatores foi possível evoluir do Univac, um dos primeiros computadores comerciais que pesava 13 toneladas e consumia 125 kW, para computadores embarcados de um que cabem na palma da mão e possuem como fonte de energia uma bateria (OLD COMPUTERS, 2015).

A lei de Gordon Moore (1965) previu que o número de transistores de um circuito integrado dobraria a cada 18 meses. Mesmo a previsão tendo sido revista para 24 meses, ela se confirmou e o nível de complexidade dos chips dobrou a cada 2 anos. Cada novo incremento de performance ao longo dos últimos 40 anos permitiu aos computadores executarem novas funções e tarefas antes inviáveis (EDWARDS, 2011).

Historicamente o aumento de frequência das CPUs (*Central Processing Unit*) acarretou no aumento de consumo de energia. Na Figura 1 é possível visualizar o crescimento do consumo de energia ao longo da evolução dos processadores, considerando sua velocidade de operação (EDWARDS, 2011).

Figura 1 - Relação de aumento de consumo ao longo dos anos



Fonte: Adaptado de (EDWARDS, 2011)

Segundo os dados da Figura 1, o consumo de energia está diretamente associado à frequência de operação, pois quanto maior a frequência maior o consumo (EDWARDS, 2011).

Buscar o incremento de desempenho das CPUs apenas pelo aumento de velocidade tornou-se uma barreira devido ao alto consumo de energia, ocasionado por frequências de operação elevadas. Devido a esta condição, a velocidade máxima de operação dos processadores variou entre 3 e 4 GHz ao longo da última década (VENU, 2011; CPU-WORLD, 2016).

A solução utilizada pelos fabricantes, com a finalidade de continuar incrementando o desempenho, foi desenvolver processadores compostos por dois ou mais núcleos de processamento. Segundo Morimoto (2010), a técnica de múltiplos núcleos é vantajosa, pois ao aumentar o número de núcleos, o consumo de energia não aumenta na mesma escala, o que se deve ao fato de vários módulos internos do CPU serem compartilhados (VENU, 2011).

Com a finalidade de acompanhar os avanços de hardware, os softwares evoluíram de modo a oferecer suporte a processadores de múltiplos núcleos. A principal inovação dos aplicativos foi a adição de suporte a processamento em

paralelo, permitindo distribuir as tarefas de programa entre vários núcleos do CPU (HOLT et al, 2009).

Servidores tendem a operar 24 horas por dia, 7 dias por semana, ininterruptamente, o que pode causar um alto custo considerando que equipamentos com baixa eficiência energética acarretam em custos maiores de operação em virtude do consumo do próprio computador e do sistema de ar condicionado necessário para refrigerar o ambiente onde o equipamento opera. O CPU é responsável por consumir de 40% a 60% da energia utilizada por computadores de alto desempenho (GÖDDEKE, 2013), sendo essencial avaliar a sua eficiência para obter economia de energia (VERAS, 2009).

Visando desenvolver servidores com consumo de energia mais eficiente, empresas como HP (Hewlett-Packard) e outras companhias utilizaram o conceito de micro servidor, um servidor destinado para processamento paralelo. Os micro servidores geralmente são baseados em SOCs (*System on Chip*) com TDP¹ (*Thermal Design Power*) inferior a 45 W. Os primeiros modelos comercializados foram equipados com SOCs destinados a notebooks de baixo custo. Um exemplo foi o modelo SM10000, da fabricante SeaMicro, o qual possui 768 SOCs Atom Z530 (HP, 2016; HEATH, 2014; APPLIED MICRO, 2016; SEAMICRO, 2011).

A Intel lançou em 2013 uma família de processadores para servidor chamada Atom Avoton. Os modelos de CPUs Avoton funcionam com frequências entre 1,7 e 2,4 GHz, contendo de 2 a 8 núcleos, com um consumo máximo de 20 W de TDP, dependendo do modelo. Uma característica da família Avoton é que o chip é um SOC que integra todos os componentes lógicos para funcionamento do servidor, dentro de uma única pastilha de silício, dispensando o uso de chips adicionais para controle de rede, portas USB (*Universal Serial Bus*) e portas SATA (*Serial Advanced Technology Attachment*) (INTEL, 2013).

Com a finalidade de se aproveitar o TDP inferior a 35 W dos processadores de arquitetura ARM para servidores eficientes energeticamente, a HP e outras companhias lançaram micro servidores equipados com CPUs de arquitetura ARM (*Advanced RISC Machine*). A microarquitetura ARM Cortex A57, utilizada em

¹ TDP é o termo utilizado pelos fabricantes de processadores para indicar o consumo de energia máximo, baseado na dissipação térmica do CPU.

microservidores, foi desenvolvida visando alto desempenho e eficiência, com suporte a instruções de 64 bits Aarch64 (AMD, 2016; ARM, 2016; HEATH, 2015).

A AMD (*Advanced Micro Device*), historicamente desenvolveu processadores com a arquitetura x86, mas visando produzir *chips* mais eficientes energeticamente lançou uma série de processadores para servidores baseado na arquitetura ARM. O CPU Opteron A1170 da AMD é um SOC destinado para servidores, contendo 8 núcleos ARM Cortex A57 operando a 2,0 GHz com 10 MB de memória cache e suporte a memórias do tipo ECC (*Error Correcting Code*). Também foram incorporadas ao SOC 2 conexões de rede ethernet de 10 Gb e 14 portas SATA (AMD, 2016).

Com base nisso, para a elaboração do presente estudo foram desenvolvidos e executados testes sistematizados para avaliar qual das arquiteturas de CPU possui melhor eficiência energética: a Intel x86 ou a ARM.

Processadores ARM têm apresentado um expressivo aumento de desempenho a cada nova geração. De acordo com Frumusanu e Smith (2015), o desempenho da microarquitetura Cortex A57 é de 25% a 50% superior à antecessora Cortex A15. As características técnicas semelhantes a ambas as arquiteturas e a necessidade de processadores mais eficientes justificam um teste de desempenho e consumo de energia em micro servidores, já que outros trabalhos de comparação de desempenho identificados estão defasados, sendo o mais recente dos autores Aroca e Gonçalves, publicado em 2012, o qual comparou processadores já ultrapassados em eficiência energética (AROCA; GONÇALVES, 2012; ARM, 2014).

O processador Intel avaliado foi o Pentium N3700, o qual possui 4 núcleos operando até 2,4 GHz com um TDP de 6 W. Ele implementa a micro arquitetura Intel Braswell, lançada em 2015 (INTEL, 2015).

O Chip de arquitetura ARM escolhido foi o Nvidia Tegra X1, também lançado em 2015. Esse processador possui 4 núcleos da microarquitetura Cortex A57 trabalhando a 2,13 GHz. De acordo com a Nvidia, o TDP máximo é de 10 W (WHITWAM, 2015).

O objetivo principal foi obter dados de ambas as plataformas, para tanto foram executados testes de carga de trabalho de um servidor de páginas de internet e servidor gerenciador de banco de dados.

Os softwares testados foram os servidores de páginas Apache e Apache NGINX, através da simulação de centenas de acessos a páginas de internet, de forma concorrente. Os gerenciadores de bancos de dados testados foram o MySQL e o PostgreSQL, por meio de centenas de consultas e inserções simultâneas.

Os dados de consumo de energia dos equipamentos foram registrados durante a execução dos testes de desempenho em cada um dos softwares. O desempenho foi mensurado obtendo o tempo de execução de cada uma das tarefas. O objetivo foi analisar as informações registradas com o intuito de identificar qual das duas arquiteturas é mais eficiente em consumo para micro servidores executando programas servidores de páginas e gerenciadores de banco de dados.

Os testes realizados demonstraram que o processador ARM Nvidia Tegra X1 é mais rápido que o processador Intel Pentium N3700 em todos os ensaios realizados. O processador de arquitetura x86 apresentou ser mais eficiente energeticamente na execução de servidores de páginas de internet. O Processador Tegra X1 ao executar o gerenciador de banco de dados PostgreSQL obteve eficiência energética superior a 30%, se comparado com o processador de arquitetura x86.

O Capítulo 2 deste trabalho contém a revisão bibliográfica dos conceitos e tecnologias utilizados nos testes. O Capítulo 3 relata trabalhos relacionados utilizados para verificar a viabilidade técnica e resultados anteriores. O Capítulo 4 apresenta os materiais e métodos empregados nos ensaios de comparação de desempenho e mensuração de consumo de energia dos computadores testados. O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de eficiência e consumo de energia. O Capítulo 6 descreve a discussão dos resultados e o Capítulo 7 a conclusão do trabalho e sugestão para trabalhos futuros.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Este capítulo visa apresentar o embasamento teórico necessário para comparar o desempenho e eficiência energética das arquiteturas de processador ARM Cortex A57 e Intel x86 Braswell. O referencial teórico apresentado se divide em *hardware* e *software*.

2.1 Processadores para servidores

Processadores para servidores se diferem de outros CPUs pelas tecnologias específicas suportadas para esse tipo de máquina. O suporte a multiprocessamento e memórias do tipo ECC (com correção de erro) são características comuns em CPUs para servidores (MORIMOTO, 2008).

O suporte a memórias do tipo ECC garante maior estabilidade ao computador devido ao sistema de correção de erros de eventuais falhas nos acessos de leitura ou escrita (CRUCIAL, 2016).

O suporte a multiprocessamento é um recurso importante que permite utilizar até 8 processadores simultâneos em um mesmo sistema, no caso da arquitetura x86 (MORIMOTO, 2008).

Alguns modelos incorporam conectividade de rede integrada visando diminuir latência de comunicação e maior largura de banda disponível pela proximidade física com a unidade central de processamento (MORIMOTO, 2008).

No presente momento a arquitetura x86 é utilizada por mais de 90% dos servidores do mundo (PATRIZIO, 2015). Essa grande aceitação se deve pela variedade de modelos da fabricante Intel que visam atender desde equipamentos destinados a empresas com pouca demanda computacional até servidores de alto desempenho com dezenas de gigabytes de memória e múltiplos CPUs (CPU-WORLD, 2016).

2.2 Micro servidores

O conceito de micro servidores surgiu a partir da necessidade de servidores para processar tarefas de baixa complexidade com um consumo de energia menor que um servidor de alto desempenho. Para tanto, as características comuns em micro servidores são: CPU com multi núcleos, consumo de energia reduzido, se comparado a núcleos HPC (*High Performance Computing*), e frequência na faixa dos 2 GHz, variando conforme o processador do equipamento (INTEL, 2014).

É comum micro servidores utilizarem SOCs que integram controladoras de disco, rede e vídeo, tornando o tamanho da placa mãe menor que computadores que utilizam placas com chips específicos para cada função, esse fator ajuda a reduzir o custo do equipamento, bem como o consumo energético (HEATH, 2014).

Para aproveitar de maneira eficiente as características dos micro servidores, é recomendável utilizar programas que aproveitem a tecnologia *multithread* ou softwares que operem com múltiplas instâncias independentes. Esses atributos são encontrados em programas utilizados para prover páginas de internet, tornando o conceito de micro servidores bastante útil para atender a função de servidor WEB (HEATH, 2013).

Os micro servidores também apresentam outras vantagens. Devido ao tamanho reduzido dos componentes utilizados, o tamanho do chassi do servidor costuma ser menor, com reduzida dissipação de calor por conta dos SOCs utilizados pelos micro servidores, o que acarreta a redução do tamanho do sistema de refrigeração necessário (HEATH, 2013).

2.3 Processadores Intel

O processador que tornou CPUs Intel difundido em computadores pessoais foi o 8086, de 1978, e suas variantes, o qual é um processador de 16 bits que suporta até 1 MB de memória RAM (MORIMOTO, 2010).

Em 1981, a IBM lançou o IBM PC que utilizava o 8088, uma variante de baixo custo do 8086 que opera a 4,77 MHz, o qual fez grande sucesso. Os IBM PCs foram projetados com arquitetura aberta, o que deu origem a vários clones do PC que utilizavam processadores Intel, os tornando os processadores mais utilizados para computadores pessoais (STALLINGS, 2012).

O primeiro processador da Intel focado em servidores foi o Pentium Pro, apresentado em 1995, contendo uma arquitetura nomeada de P6 que trazia suporte nativo a sistemas multiprocessados com até 4 CPUs, processamento de instruções fora de ordem (*out of order*) e memória *cache* de nível L2 de até 2 MB operando na velocidade do processador (MORIMOTO, 2010; STALLINGS, 2012)

O Intel Xeon representa a categoria de produtos voltado para servidores de alto desempenho com modelos como, por exemplo, o E7-8880V3 que possui de 18 núcleos físicos (INTEL, 2015).

2.3.1 Processadores Intel de baixo consumo

Com o objetivo de atender a servidores otimizados para baixo consumo energético, a Intel lançou a família de SOCs, chamada de Atom Avoton, que possui a característica de ser um SOC, que integra em um só chip processador, controlador de discos SATA, controlador ethernet, chip gráfico e portas de entrada e saída como USB e porta serial. O Atom C2750 possui 8 núcleos operando a 2,4 Ghz com TDP de no máximo 20 W (INTEL, 2013).

Para desenvolver a série Atom com baixo consumo de energia foi desenvolvida uma nova arquitetura mais simples objetivando reduzir o tamanho do circuito do CPU. As diferenças para os processadores Xeon são que a série Avoton trabalha com sistema de execução de instruções sequencial (*in order*), ao contrário do Xeon que

funciona utilizando a lógica de execução de instruções fora de ordem. Tal mudança de projeto implica que o Atom dispensa os módulos de desvio de ordem de instruções (*branch prediction*), o qual é responsável por organizar a ordem de execução das instruções de modo a manter a unidade lógica e aritmética sempre ativa e o módulo encarregado de armazenar o código para uso posterior (INTEL, 2013).

2.3.2 Intel Pentium N3700

O Pentium N3700 é um SOC desenvolvido pela Intel baseado na microarquitetura de CPU Braswell e é voltado para notebooks e *desktops* de baixo consumo. O N3700 possui um TDP de 6 W (INTEL, 2015).

A arquitetura Braswell é uma evolução dos chips Atom com enfoque em aperfeiçoar o desempenho e consumo energético. As principais melhorias são: a largura de canal do CI (Circuito Integrado) em 14 nanômetros e uma CPU com 3 unidades de processamento de instruções não sequencial (INTEL, 2015).

Características do Pentium N3700 (INTEL, 2015):

- *Clock* base de 1.6 GHz até 2.4 GHz
- Contém 4 núcleos
- Suporte a 16 GB de memória DDR 3 de 1600 MHz
- Memória *cache* L2 de 2 MB
- Suporte a instruções de 32 e 64 bits
- Suporte a instruções de virtualização VT-x

O SOC além do processador inclui controlador de vídeo 3D, 4 portas SATA 3, 6 USBs 3.0 e controlador de áudio. O Pentium N3700 integra quase todas as funções lógicas de um computador em um só chip, diminuindo a quantidade de CIs necessários no sistema em que ele é utilizado (INTEL, 2015).

2.4 Processadores ARM

A companhia inglesa ARM surgiu no início da década de 80 com o objetivo de desenvolver uma nova arquitetura de computador baseado em um processador de tecnologia RISC. O computador foi finalizado em 1985 e foi chamado de BBC (*British Broadcasting Corporation*) Micro, sua CPU era um ARM2 desenvolvido pela própria ARM (STALLINGS, 2012).

A companhia ARM desenvolve a arquitetura dos processadores e licencia o design para outras empresas, como Qualcomm e Samsung, produzirem suas próprias versões de CPUs ARM (MORIMOTO, 2010; STALLINGS, 2012).

O projeto ARM combina em sua arquitetura necessidades comerciais crescentes, tais como processador de alto desempenho, baixo consumo de energia, pequeno tamanho e baixo custo para aplicações embarcadas. Embora o primeiro uso da arquitetura ARM tenha ocorrido em um computador, hoje é amplamente utilizada em dispositivos móveis como celulares, MP3 (*MPEG Layer 3*) *players* e consoles de vídeo games (MORIMOTO, 2010).

A plataforma ARM é compatível com instruções de tamanho uniforme de 16, 32 e 64 bits. Somente podem ser processados dados que estiverem contidos nos registradores (STALLINGS, 2009; VERRY, 2012).

2.4.1 ARM Cortex A57

A Microarquitetura de CPUs Cortex A57 foi desenvolvida pela ARM para dispositivos de alto desempenho, entre eles, a fabricante cita nas especificações, *smartphones* de alto desempenho, servidores corporativos e televisores. O Cortex A57 foi a primeira arquitetura da ARM com suporte a instruções de 64 bits aarch64 e mantém a compatibilidade com as instruções de 32 bits aarch32. O CPU trabalha com 3 unidades de execução fora de ordem permitindo executar mais de uma instrução por ciclo de *clock*. O tamanho de todos níveis de memória *cache* também foram incrementados se comparado com seu antecessor direto, o Cortex A15 (ARM, 2016; FRUMUSANU; SMITH, 2015).

Segundo Frumusanu e Smith (2015), o desempenho de instruções por ciclo de *clock* melhorou de 25% a 50% em comparação com a arquitetura do antecessor Cortex A15, o qual também tinha foco em alto desempenho.

Características do Cortex A 57 (FRUMUSANU; SMITH, 2015):

- Cache L1 de 32 KB para dados e 48 kB para instruções
- Cache L2 varia de 512 kB a 2 MB conforme fabricante
- Chips de 1 a 4 CPUs conforme fabricante
- Execução de instruções fora de ordem
- Suporte ao conjunto de instruções de 32 e 64 bits
- Duas unidades SIMD (*Single Instruction Multiple Data*) de 128 bits
- Suporte a virtualização por hardware

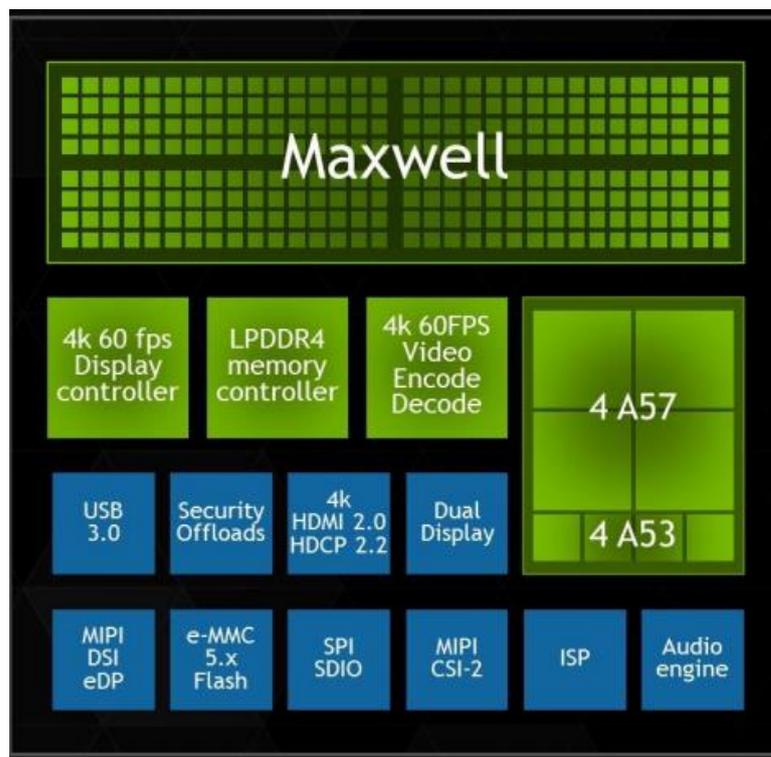
A compatibilidade do Cortex A57 com instruções de 64 bits foi um avanço importante da arquitetura para dispositivos de alto desempenho, pois permite que sistemas trabalhem com mais de 4 GB de memória, uma necessidade dos servidores atuais (VERRY, 2012).

2.4.2 Nvidia Tegra X1

O Tegra X1 é um SOC apresentado em 2015, desenvolvido pela Nvidia. Ele implementa uma tecnologia da ARM nomeada de Big Little, a qual é composta por duas arquiteturas de CPU no mesmo circuito integrado: a arquitetura Cortex A57, otimizada para máximo desempenho, e a arquitetura Cortex A53, otimizada para economia de energia (NVIDIA, 2015).

Conforme a Figura 2, o SOC Tegra X1 possui 4 núcleos Cortex A57 e 4 núcleos A53, totalizando 8 núcleos. A tecnologia Big Little, por sua vez, alterna entre os núcleos A57 e A53 conforme o desempenho exigido pelo sistema operacional, não ativando os 8 CPUs ao mesmo tempo. A versão da arquitetura ARM Cortex A57, da Nvidia, implementou 2 MB de *cache* L2, a quantidade máxima prevista no design de referência da ARM (NVIDIA, 2015).

Figura 2 - Diagrama de módulos do SoC Nvidia Tegra X1



Fonte: Whitepaper Nvidia Tegra X1(2015).

O Tegra X1 foi desenvolvido para uso em dispositivos embarcados como *tablets*, sistemas de multimídia e videogames portáteis. Visando atender a essa finalidade, o SOC incorpora uma GPU Nvidia Maxwell com 256 núcleos de processamento gráfico. O acesso à memória dos núcleos gráficos como do CPU é feito pelo controlador de memória LPDDR4 contido no chip. O SOC possui um módulo que permite codificar vídeo em tempo real utilizando CODEC (*Coder Decoder*) H.264 e VP9 e decodificar vídeos codificados em H.265, H.264 e VP8 (NVIDIA, 2015). A saída dos sinais de vídeo para os *displays* é gerenciada pelo módulo de controlador de display integrado ao SOC.

2.5 Softwares para avaliação de desempenho

Nesta Seção serão apresentados os programas que foram utilizados para o teste de análise de desempenho dos processadores. Os aplicativos são de código

aberto e amplamente utilizados em servidores de internet. Todos os softwares selecionados possuem versões para as arquiteturas Intel x86 e ARM, garantindo a compatibilidade com as plataformas testadas.

2.5.1 Apache

O Apache servidor web é um software de código aberto que implementa o protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) padrão para comunicação cliente servidor em páginas de internet e arquivos. O programa possui versão para diversos sistemas operacionais, entre eles Linux, Max OS X e Windows (KOBIR, 2002).

Após trabalhar no projeto do primeiro servidor WEB desenvolvido na NCSA (National Center for Super Computing Applications), o principal desenvolvedor deixou o projeto e fundou a Apache Group, cujo objetivo inicial foi continuar lançando atualizações para o servidor web da NCSA, com o fim do projeto o software continuou evoluindo, dando origem ao Apache (KOBIR, 2002).

Conforme Netcraft (2016), o software Apache é utilizado por aproximadamente 27% dos servidores de internet no mundo. A adoção por mais de 1/4 dos servidores de páginas do Apache é atribuída à licença que permite seu uso gratuito e pela grande quantidade de módulos que adicionam recursos ao software, entre eles o PHP e Python. (KOBIR, 2002; MORIMOTO, 2008).

A versão 2 do Apache possui suporte avançado a *multi thread* denominado de MPM (*Multi Processing Module*) encadeado, o qual divide a carga de trabalho em vários processos filhos, cada um podendo executar um número pré-definido de *threads*. Essa tecnologia é necessária para servidores que atendem a centenas ou milhares de requisições de páginas simultâneas, além de melhorar o desempenho em processadores com mais de um núcleo ou sistemas multiprocessados (KOBIR, 2002).

2.5.2 MySQL

O MySQL é um gerenciador de banco de dados que possui versão gratuita e é muito presente em servidores WEB, cuja finalidade é dar suporte a páginas de internet geradas dinamicamente (MORIMOTO, 2008). O MySQL é o segundo SGBD (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados) mais utilizado no mundo (DB-ENGINES, 2016).

O MySQL na versão 5.7 possui suporte a *procedures*, replicação, particionamento de dados e cálculo de informações geoespaciais. Há versões do SGBD MySQL para sistemas operacionais Linux, Mac OS, Unix e Windows, contemplando várias arquiteturas de hardware, entre elas ARM, Power-PC e x86 (MySQL, 2016).

Historicamente o MySQL se tornou notório devido ao grande número de softwares de código aberto desenvolvidos na linguagem PHP que o utilizam como banco de dados (MORIMOTO, 2008) um bom exemplo é o Wordpress, que é o gerenciador de conteúdo utilizado por aproximadamente 26% de todos os sites da internet (W3TECHS, 2016).

2.5.3 NGINX

O NGINX é um software multi função capaz de operar como servidor HTTP, proxy reverso, servidor de cache entre outras funções. O NGINX foi escolhido para os testes deste trabalho pois possui compatibilidade com o interpretador de PHP na versão 7.0 e é o segundo programa para servidor web mais utilizado segundo o W3Techs (2016) (NGINX, 2016).

O NGINX está licenciado sobre a licença BSD, que permite seu uso gratuito, o qual possui versões para os seguintes sistemas operacionais: Windows, Linux, Mac OSX e FreeBSD. (NGINX, 2016).

A adoção de um software alternativo ao Apache para exercer a função de servidor de páginas permitiu comparar os tempos obtidos nos ensaios semelhantes entre os dois programas.

2.5.4 PostgreSQL

PostgreSQL é um gerenciador de banco de dados objeto relacional de código aberto e licença de uso gratuita, definido pelos seus mantenedores como o sistema de banco de dados de código aberto mais avançado do mundo. O PostgreSQL implementa uma série de recursos destinados a suportar bases de dados de grande volume com que necessitem de alta disponibilidade, entre os recursos, alguns deles são: replicação síncrona e assíncrona, suporte avançado a dados geoespaciais e suporte para PL/SQL (*Procedural Language/Structured Query Language*) (POSTGRESQL, 2016).

O projeto do software foi desenvolvido como projeto de pesquisa acadêmica na universidade de Berkeley e foi financiado pela agência americana DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency). A primeira versão funcional foi disponibilizada em 1989. O andamento do projeto foi mantido por Berkeley até 1993 quando foi descontinuado devido à manutenção e o suporte demandarem tempo demais do projeto. O desenvolvimento do software foi mantido por um grupo de usuários que o nomeou para Postgres95 e posteriormente para PostgreSQL. Atualmente, o software é mantido por um grupo de usuários e por empresas que implementam novas funcionalidades (POSTGRESQL, 2016).

O PostgreSQL possui versões para inúmeros sistemas operacionais, entre eles Linux, Windows, Unix, Mac OSX, HP AIX e Solaris (POSTGRESQL, 2016).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Com a finalidade de verificar a viabilidade do proposto, foi realizada uma busca por trabalhos anteriores semelhantes. Não foram localizados trabalhos comparativos de desempenho contendo as microarquiteturas ARM A57 e Intel Braswell, porém foram localizados dois artigos contendo testes de desempenho com versões anteriores dessas arquiteturas.

Nesta Seção, serão resumidos esses dois trabalhos comparativos da arquitetura ARM com a arquitetura x86. O estudo desses artigos auxiliou na definição de uma metodologia para realizar os testes e obter uma prévia da eficiência dos processadores ARM perante os x86.

3.1 Teste de eficiência energética das arquiteturas x86 e ARM

Aroca e Gonçalves (2012) realizaram testes de desempenho e consumo de energia de vários processadores Intel x86 e dois processadores de arquitetura ARM. O estudo teve como objetivo analisar a eficiência da arquitetura ARM e x86 na execução dos programas Apache, MySQL e Linpack.

O trabalho de Aroca e Gonçalves compara o consumo e desempenho de 5 processadores diferentes: 3 sistemas x86 e 2 ARM. A velocidade dos processadores foi nivelada para aproximadamente 1 GHz, para evitar diferença de desempenho por

disparidade da frequência de operação. Na Tabela 1 é possível verificar os processadores testados e os componentes utilizados.

Tabela 1 - Especificações dos dispositivos testados

Equipamento	Modelo do CPU	Velocidade CPU (GHz)	Memória		
			RAM (MB)	Cache	Disco
Notebook Acer	AMD Turion MK-38 (1 núcleo)	0,8	512	512 kB	USB Flash drive (2GB)
Notebook Asus	Intel Atom N280 (1 núcleo)	1	512	512 kB	USB Flash drive (2GB)
HP-Z200	Intel Xeon X3450 (4 núcleos)	1,1	512	8 MB	USB Flash drive (2GB)
PandaBoard (T.I. OMAP4430)	ARM Cortex-A9 (2 núcleos)	1	512	1 MB	Cartão SD (2GB)
BeagleBoard-XM (T.I. OMAP 3730)	ARM Cortex-A8 (1 núcleo)	1	512	256 kB	Cartão Micro-SD (2GB)

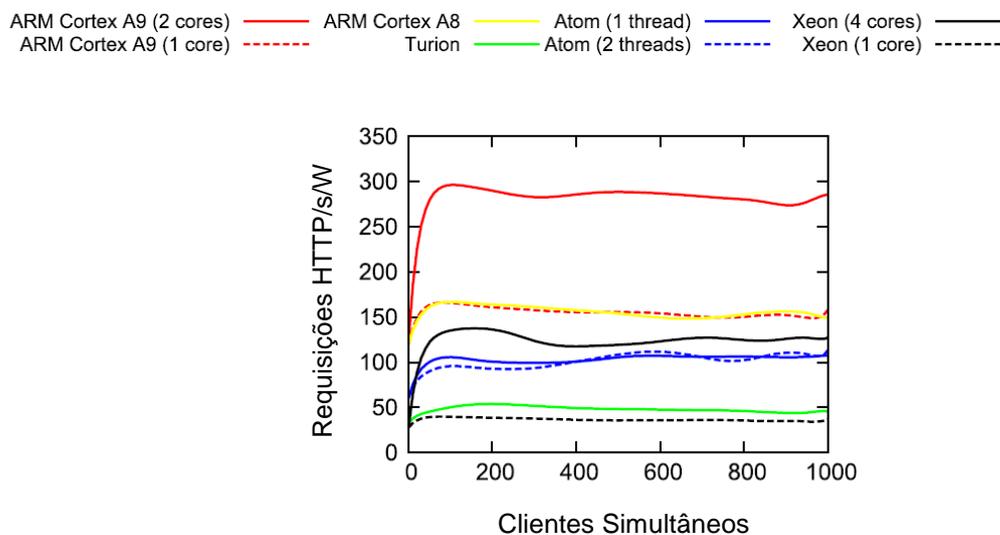
Fonte: Adaptado de (AROCA, GONÇALVES, 2012)

Os programas utilizados foram os seguintes:

- Apache 2.2.16
- MySQL 5.1

O teste com o Apache foi simulado requisitando 1000 acessos a uma página de internet estática, com 25 acessos concorrentes por intervalo. A eficiência dos processadores nesse teste foi estimada pela relação de consumo em watts pelo número de requisições respondidas. Os resultados podem ser conferidos na Figura 3.

Figura 3 - Relação de requisições HTTP respondidas por W consumido



Fonte: Adaptado de (AROCA E GONÇALVES, 2012)

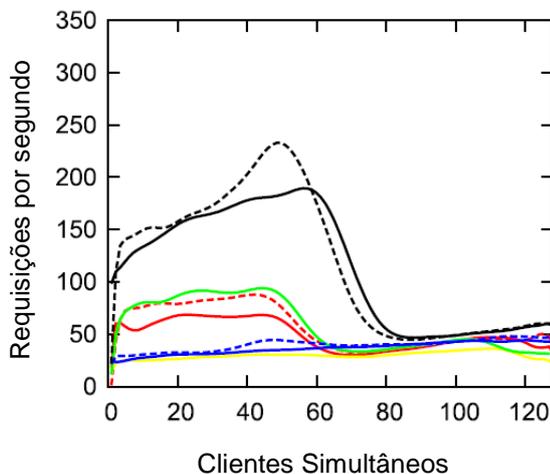
A metodologia do teste obtém o desempenho do CPU através da quantidade de requisições que o processador consegue processar por segundo.

O processador baseado na microarquitetura Cortex A9 obteve a melhor eficiência, consumindo 4,54 W e atendendo aproximadamente 300 requisições por segundo, enquanto o AMD Turion apresentou o pior resultado, consumindo 17,38 W processando aproximadamente 50 requisições por segundo.

Para a mensuração da eficiência dos processadores durante a execução do programa MySQL, foram simulados 130 clientes concorrentes, cada um executando sequencialmente 512 consultas, o resultado pode ser conferido na Figura 4, quantificado em requisições em W/s.

Figura 4 - Relação de requisições SQL processadas por watt consumido

ARM Cortex A9 (2 cores) — ARM Cortex A8 — Atom (1 thread) — Xeon (4 cores) —
 ARM Cortex A9 (1 core) - - - Turion — Atom (2 threads) - - - Xeon (1 core) - - -



Fonte: Adaptado de (AROCA, GONÇALVES, 2012)

A mensuração de desempenho do processador foi efetuada avaliando a quantidade de requisições que o CPU consegue processar por segundo.

O processador que apresentou a melhor eficiência do teste de execução do MySQL foi o ARM Cortex A9, consumindo na média 4,09 watts e processando 125 consultas por segundo. Os autores destacaram que nesse caso processadores operando com um núcleo só obtiveram melhor desempenho por não gerarem concorrência interna no gerenciador de banco de dados.

3.2 Computadores de alto desempenho baseados em arquitetura ARM

Rajovic *et al* (2014), detalharam dados de um *cluster* projetado para atingir alta eficiência energética. Composto por 128 nodos, cada nodo possui um SOC Nvidia Tegra 2 baseado na arquitetura ARM Cortex A15 contendo dois núcleos.

Com a finalidade de comparar os resultados de eficiência obtidos no *cluster* ARM, os testes também foram realizados em um sistema baseado na plataforma x86 composta pelo CPU Intel i7-640M.

Tabela 2 - Característica dos sistemas testados

	Plataforma ARM	Plataforma Intel
SOC	Tegra 2	Intel Core i7-640M
Arquitetura	ARM Cortex-A9	Nehalem
Quantidade de núcleos	2 núcleos	2 núcleos
Frequência	1 GHz	2,8 GHz
RAM	1 GB DDR2-667	8 GB DDR3-1066
Sistema Operacional	Ubuntu 10.10	Ubuntu 10.10

Fonte: Adaptado de (RAJOVIC *ET AL*, 2014)

Devido ao fato deste trabalho ter por objetivo avaliar apenas sistemas isolados, este tópico apresenta somente a eficiência energética de um nodo testado de forma isolada.

A frequência do processador i7-640M avaliado é muito superior à do CPU Tegra 2, por essa diferença o desempenho do sistema Intel é maior. Por este motivo, os resultados foram focados na eficiência energética dos processadores testados.

Para mensurar o desempenho do sistema foram utilizados os programas de testes Dhrystone e SPEC CPU 2006.

De acordo com os resultados obtidos, o chip Tegra 2 é 7,8 vezes mais lento que o processador Core i7 640M, baseado na unidade de desempenho DMIPS (*Dhrystone Millions of Instructions Per Second*), fornecida pelo conjunto de testes Dhrystone. O DMIPS é uma unidade de desempenho absoluta baseada no desempenho do computador VAX 11/780. Cada *benchmark* estabelece o desempenho do sistema testado em relação a escala absoluta (ARM, 2011).

Durante os testes, a eficiência energética do i7 640M foi de 5% a 18% menor que do Tegra 2, mesmo o processador ARM possuindo um desempenho por ciclo de *clock* 2,79 vezes menor que o CPU Intel.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Considerando que não foram identificados estudos que avaliassem o desempenho e a eficiência da microarquitetura ARM Cortex A57 em relação a microarquitetura Intel Braswell, foi necessário efetuar testes práticos para mensurar o desempenho e a eficiência de ambas as plataformas.

Com o objetivo de padronizar metodologias e comparações, os testes das arquiteturas ARM e x86 foram parametrizados de forma igual em ambas as plataformas.

4.1 Hardware

Para realizar a comparação de eficiência das plataformas ARM e x86 para micro servidores, foram adotadas duas plataformas que implementam as tecnologias propostas. No caso da plataforma ARM optou-se pelo equipamento Nvidia Shield TV e para arquitetura x86 foi utilizado a placa mãe Asrock N3700.

A placa mãe Asrock N3700 foi escolhida por conter o SOC Pentium N3700, que é a última geração de chips de baixo consumo da Intel, lançado no ano de 2015 (INTEL, 2015). O equipamento Nvidia Shield TV, por sua vez, foi selecionado por conter o SOC Nvidia Tegra X1, o qual possui 4 núcleos da microarquitetura ARM Cortex A57. (NVIDIA, 2015).

4.1.1 Nvidia Shield TV

O Nvidia Shield TV é um console de videogame, criado pela Nvidia, que utiliza o SOC Nvidia Tegra X1. O Shield TV é um equipamento com características de um sistema computacional de alto desempenho devido ao SOC Tegra X1, o qual, conforme as especificações do equipamento, consome 10 W de energia, (NVIDIA, 2015). Na Figura 5 é possível visualizar o Nvidia Shield TV, cujas dimensões do sistema são: 21 cm de largura, 13 cm de profundidade e 2,5 cm de altura.

Figura 5 - Nvidia Shield TV



Fonte: AnnadTech (2015).

As principais especificações do equipamento são listadas a seguir:

- SOC Nvidia Tegra X1 com 4 núcleos Cortex A57 operando a 2,13 GHz e 4 núcleos Cortex A53
- 3 GB de memória RAM LPDDR4 (*Low Power Double Data Rate 4*) 3,2 GHz
- 2 USBs 3.0
- 16 GB de armazenamento interno
- Porta Gigabit Ethernet
- HDMI (*High Definition Multimedia Interface*) 2.0
- Slot para cartão SDHC (*Secure Digital High Capacity*)

Foi adicionado um cartão SDHC no Nvidia Shield TV com o objetivo de servir como armazenamento primário para o sistema operacional Ubuntu. O cartão SD utilizado foi o Kingston SDA10/32GB, o qual suporta 90 MB/s de escrita e 45 MB/s de gravação (KINGSTON, 2016).

O Shield TV inclui de fábrica uma fonte de alimentação compacta proprietária, a qual pode fornecer até 40 W de potência na tensão única de 19 V (NVIDIA, 2016).

4.1.2 Asrock N3700

A Asrock N3700 é uma placa mãe mini ITX com o SOC Pentium N3700 integrado. É uma placa de uso genérico com suporte para até 16 GB de memória RAM e até 4 unidades de armazenamento SATA.

Figura 6 - Placa Mãe Mini ITX Asrock N3700



Fonte: Asrock (2016).

A placa Asrock N3700 apresenta a dimensão de 17 cm por 17 cm, como apresentado na Figura 6.

Características da Asrock N3700:

- SOC Pentium N3700 com 4 núcleos operando até 2.4 GHz
- 2 módulos de memória DDR3 (*Double Data Rate 3*) no padrão SO-DIMM (*small outline dual in-line memory module*)
- 4 Portas SATA 3
- 6 USB 3.0 e 2 USB 2.0
- Porta Ethernet Gigabit
- HDMI 2.0 e Display Port
- Slot de expansão PCI Express 1x

Além da placa Asrock N3700, o sistema x86 foi composto por dois módulos de memória DDR 3 de 2 GB de 1600 MHz, da fabricante Crucial (2016). O dispositivo de armazenamento utilizado no computador x86 foi a unidade *flash* Lexar Jump Drive M20 de 64 GB (LEXAR, 2016), essa unidade USB possui conexão USB 3.0 alcançando leituras de até 150 MB/s e 60 MB/s de escrita.

Durante os testes, o sistema x86 foi alimentado pela fonte FAPT200V2 da marca PC Top. Essa fonte segue o padrão ATX (*Advanced Technology Extended*) e possui potência total de 200 W (CLUBE DO HARDWARE, 2013).

4.2 Softwares

Em decorrência destes experimentos adotarem duas arquiteturas de processadores, foi necessário utilizar programas com versões que operassem tanto em ARM quanto em x86. Para atender esse requisito foram utilizados apenas softwares de código livre, portáveis (compatíveis) para estas arquiteturas.

Na Seção 2.8 deste trabalho foram relacionados os programas utilizados durante o teste, são eles: Apache, MySQL, Apache, NGINX e PostgreSQL. O motivo da opção por esses programas se deve ao fato de serem softwares difundidos em servidores de páginas de internet, o que configura o foco principal dos micro servidores.

A metodologia aplicada nos testes dos programas foi influenciada pelos trabalhos anteriores descritos na Seção 3.1. Embora a configuração dos parâmetros empregados nos ensaios tenha sido diferente, os tipos dos testes aplicados foram semelhantes. No caso dos testes dos programas em servidores HTTP, foi utilizado o Apache Bench para simular as requisições HTTP ao computador testado, o mesmo programa utilizado pelo trabalho citado na Seção 3.1.

A metodologia adotada no teste de desempenho e eficiência dos gerenciadores de banco de dados teve ênfase na mensuração do desempenho e eficiência energética. A metodologia de testes definida para o MySQL foi diferente do trabalho relacionado citado na Seção 3.1, porém os resultados finais permitiram comparar os resultados obtidos com os resultados dos trabalhos relacionados.

Durante os ensaios, somente serviços essenciais ficaram ativos nos computadores testados, entre eles os serviços de rede e o SSH (*Secure Shell*), Interface gráfica XFCE e a aplicação testada. Antes de iniciar o teste de cada programa, tanto o equipamento baseado na arquitetura x86, como ARM, em repouso mantinham em média consumo de memória em 230 MB e uso de processador variando entre 1% a 3%.

Com o objetivo de consolidar os resultados dos testes, cada teste foi efetuado no mínimo 3 vezes, a fim de obter um resultado mais confiável possível, para verificar se os resultados obtidos estavam próximos das tomadas dos ensaios anteriores.

4.2.1 Sistema Operacional

O sistema operacional escolhido foi o Linux Ubuntu 16.04, nomeado de Xenial Xerus. O Ubuntu possui versão compatível com a plataforma ARM de 64 bits (Aarch64), como também com a plataforma x86 de 64 bits (x86-64).

A versão Xenial Xerus do Ubuntu foi escolhida para a plataforma de testes por ter sido a única versão dos sistemas operacionais testados que apresentou compatibilidade com placa de rede, placa de vídeo, armazenamento SATA e cartão SD em ambas as plataformas estudadas.

Para cada arquitetura de CPU que o Ubuntu possui versão, há um repositório de programas compatíveis de código aberto, tornando mais fácil a instalação de softwares de código aberto em diversas plataformas de hardware.

4.2.2 Partição virtual em memória

Com a finalidade de otimizar o sistema eliminando gargalos de disco que ocasionam tempo ocioso de CPU, os dados acessados durante os testes, como o *script* de testes O PHP Benchmark Script e as bases de dados dos SGBDs testados, foram armazenados em memória através do recurso RAMFS (*Random Access Memory File System*) do *kernel* do sistema operacional Linux.

RAMFS é um sistema de arquivo simples disponível no *kernel* Linux que permite armazenar o conteúdo de um diretório na memória RAM do sistema. Esse recurso permite definir o tamanho máximo do espaço em memória destinado para o diretório armazenado na memória RAM.

O tamanho reservado da partição em memória destinada para o armazenamento temporário dos dados durante os testes foi de 400 MB.

4.2.3 Servidores HTTP Apache e NGINX

A metodologia utilizada para testar o desempenho dos programas servidores HTTP foi baseada no acesso de páginas dinâmicas escritas na linguagem PHP. O suporte à linguagem PHP 7.0 foi instalado nos softwares Apache 2.4.18 e NGINX 1.10.

O Script PHP utilizado nos testes foi o PHP benchmark Script (PHP BENCHMARK SCRIPT, 2010), esse código executa milhares de operações com funções matemáticas, manipulação de *strings*, laços de repetição e operações condicionais. Esse código foi escolhido pelo fato de o tempo de execução de cada

instância ser superior a 2 segundos nos sistemas estudados, bem como pela variedade de testes executados.

O programa utilizado para simular os acessos nos softwares Apache e NGINX foi o Apache Bench. A escolha do software se deve por ser comum em testes de desempenho em servidores de páginas, bem como pela quantidade de parâmetros ajustáveis. O Apache Bench foi executado em um computador remoto conectado à máquina de testes via conexão local Gigabit.

Foram definidos 4 testes diferentes para mensurar o desempenho, todos os testes tiveram como base acesso ao PHP benchmark Script. Com o objetivo de aproveitar a capacidade *multi thread* dos processadores estudados, uma das abordagens adotadas foi realizar os testes com 4 e 8 requisições concorrentes. O número de requisições concorrentes foi definido com base no número de núcleos presentes nos processadores testados. O motivo de realizar as aferições de desempenho com 8 *threads* foi para verificar se há ganho de desempenho se comparado com 4 requisições concorrentes. O número de requisições definidas para os testes foram 100 requisições e 50 requisições. Não foram efetuados testes com número superior a 100 requisições de páginas dinâmicas pelo fato de que os testes iniciais efetuados não apresentaram diferença de desempenho nos resultados com maior número de requisições sequenciais, pois o tempo total do teste é proporcional ao número de requisições.

Na Tabela 3 são apresentados os detalhes dos parâmetros dos testes para os servidores HTTPs. A metodologia de benchmark descrita foi aplicada tanto nos testes com o Apache como com o NGINX.

Tabela 3 - Parâmetros empregados no teste dos servidores HTTPs

Experimento	Número de requisições	Número de <i>threads</i>
Teste 1	50	4
Teste 2	100	4
Teste 3	50	8
Teste 4	100	8

Fonte: Autor, 2016

4.2.4 MySQL

Para avaliar o desempenho do SGBD MySQL na versão 5.7 foi utilizado o software Sysbench, o qual foi desenvolvido para executar testes parametrizados do tipo OLTP (*OnLine Transaction Processing*) de desempenho no MySQL (KOPYTOV, 2009).

O teste tipo OLTP, executado pelo Sysbench, executa determinado número de operações de leitura e escrita na base de dados de forma sequencial, com a opção de as *queries* serem concorrentes. O número de *queries* executadas é definido na configuração dos parâmetros do software.

O Sysbench possui uma ferramenta integrada que cria bases de dados padronizadas para executar os testes de desempenho OLTP. Essa função foi configurada para criar uma base de dados de 800 mil registros, a qual ocupou 360 MB de espaço de armazenamento.

O tamanho da base de dados criada foi definido de modo que ocupasse apenas dois terços da partição alocada em memória, descrita na Seção 4.2.2. Essa técnica foi aplicada com a finalidade de evitar gargalos de acesso ao disco durante os testes de desempenho do MySQL.

Em decorrência dos processadores estudados terem 4 núcleos, foram simuladas cargas de processamento com 8 *threads* e 16 *threads*. A seguir, é possível visualizar na Tabela 4 os parâmetros de todos os testes realizados.

Tabela 4 - Parâmetros empregados no teste de desempenho do MySQL

Experimento	Número de <i>queries</i>	Número de <i>threads</i>
Teste 1	20000	8
Teste 2	20000	16
Teste 3	60000	8
Teste 4	60000	16

Fonte: Autor, 2016

Os parâmetros dos testes 1 e 2 foram definidos com o objetivo de verificar se mais *queries* simultâneas resultariam em vantagem para alguma das arquiteturas de CPU testadas ou para ambas. Os testes 3 e 4 foram efetuados com 16 *threads* visando maximizar o desempenho.

O desempenho dos sistemas no teste MySQL foi avaliado conforme o tempo que cada sistema levou para executar cada teste. Ao final de cada ensaio o Sysbench exibe um relatório com informações do tempo despendido pelo *benchmark* e quantidade de transações efetuadas no SGBD.

Visando otimizar o desempenho do SGBD durante os ensaios, foram ajustados dois parâmetros de *cache*. O *cache* de dados usado para as tabelas foi configurado para utilizar até 384 MB de memória e o *cache* específico para log de banco foi configurado para 256 MB.

4.2.5 PostgreSQL

O programa utilizado para testar o desempenho do PostgreSQL 9.5 foi o PgBench, que é um *software* instalado por padrão juntamente com o SGBD PostgreSQL, dessa forma, tornando o PgBench o *software* de *benchmark* oficial do SGBD. Esse aplicativo executa testes do tipo TPC-B (*Transaction Processing Performance Council*) que visa avaliar o desempenho por operações de leitura, escrita e análise de integridade de transação (TPC, 2016).

A sistemática utilizada pelo PgBench para avaliar o desempenho é executar o teste TPC-B durante o tempo pré-determinado e mensurar o número de transações efetuadas pelo SGBD nesse tempo, quanto maior for o número de transações processadas melhor o desempenho.

Com a finalidade de testar o desempenho do SGBD PostgreSQL foi criada uma base de dados com 3 milhões de registros utilizando a ferramenta PgBench. O número de registros da base de dados foi definido de acordo com seu tamanho físico, no caso do PostgreSQL a base de 3 milhões de registros gerada pelo PgBench ocupou, aproximadamente, 387 MB, próximo do limite da partição em memória disponível em

memória, para armazenar os dados processados neste trabalho, descrito na Seção 4.2.2.

Os testes primários mostraram que o PostgreSQL, funcionando com 4 *queries*, consumia 100% do processamento dos processadores testados. Com base nesse dado, foram efetuados testes com 4 *threads* e 8 *threads*. O objetivo de avaliar o desempenho e eficiência com 8 *threads* foi verificar se resultaria em ganho ou perda de performance com o dobro de processos concorrentes.

Para simular a carga de acesso ao PostgreSQL, o PgBench foi executado localmente no computador que executou PostgreSQL. Esse método foi definido com o objetivo de evitar gargalos ocasionados pela comunicação de rede.

Com a finalidade de otimizar o desempenho do PostgreSQL durante os testes foi realizada uma otimização dos parâmetros de configuração de *cache*. O *cache* de dados foi definido para utilizar até 384 MB de memória e o *buffer* de operações utilizado durante o processamento foi ajustado para ocupar até 128 MB. Além disso o SGBD foi configurado para suportar 16 conexões simultâneas.

4.3 Consumo energético

Este trabalho teve por objetivo comparar a eficiência energética dos dois sistemas estudados, para isso, foi necessário mensurar o consumo de energia de cada sistema durante os testes de carga de processamento.

4.3.1 Isolando a potência dos sistemas testados

Fontes de alimentação de corrente contínua utilizadas para prover energia para sistemas microprocessados, possuem entre outras características um parâmetro chamado fator de eficiência energética, que mensura a relação entre a energia alternada que entra na fonte e a energia contínua que sai do dispositivo. As fontes ATX apresentam fator eficiência que variam de 60% até 80%, dependendo do modelo da fonte e da carga de energia convertida por ela (CORSAIR, 2012; TORRES, 2013).

Parte da energia é perdida na forma de calor gerado pelos componentes internos da fonte de alimentação.

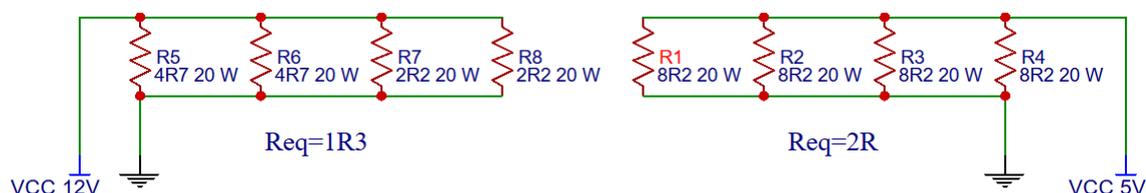
Como a aferição da energia foi realizada na corrente alternada antes de passar pela fonte de alimentação os resultados de mensuração de consumo de energia são afetados pelos rendimentos das respectivas fontes. Esta característica por si só não é desejada, uma vez que mascara o real consumo das placas analisadas.

Com a finalidade de eliminar o consumo próprio da fonte de alimentação dos dois computadores, foram adicionados circuitos resistivos conectados em paralelo às fontes de alimentação com os equipamentos testados, para consumir determinada carga fixa de energia. Para cada aferição de consumo foi subtraído o valor adicional do circuito resistivo utilizado, com o objetivo de se obter o valor real da potência utilizada pelo sistema testado.

Para o sistema x86 foi montado um circuito resistivo que dissipa 120 W, quando conectado à fonte ATX FAPT200V2, da marca PC TOP, utilizada para alimentar a placa Asrock N3700.

Conforme apresenta a Figura a 7, o circuito possui 4 resistores de $4,7 \Omega$ e 4 resistores de $8,2\Omega$, Todos de 20 W: 4 para alimentação de 5 V 4 para alimentação de 12V. Na Figura 7 pode ser visualizado o esquema eletrônico da placa de resistores conectada a fonte ATX.

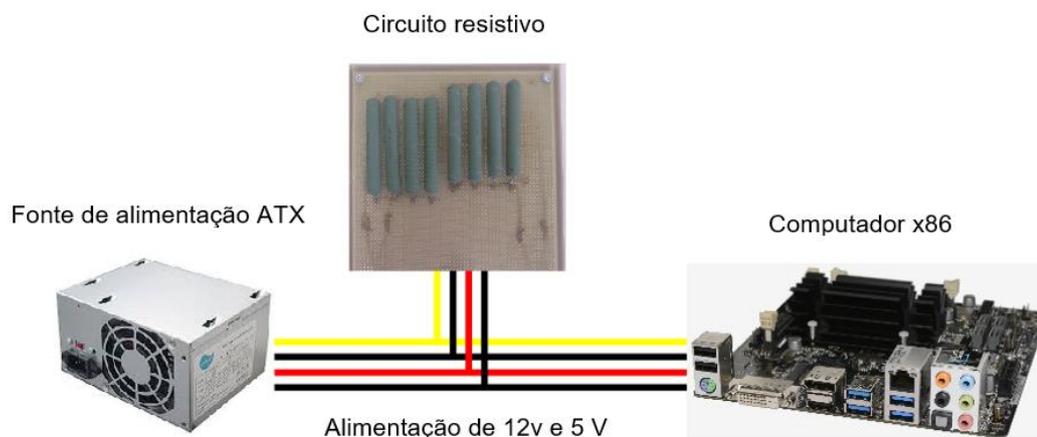
Figura 7 - Esquemático eletrônico do circuito resistivo para fonte ATX



Fonte: Autor, 2016

O circuito foi montado sobre uma placa perfurada de fenolite com as conexões estanhadas com a finalidade de evitar mau contato e risco de curto circuito. Na figura 8 pode ser visualizado o circuito pronto e o diagrama de conexão à fonte ATX.

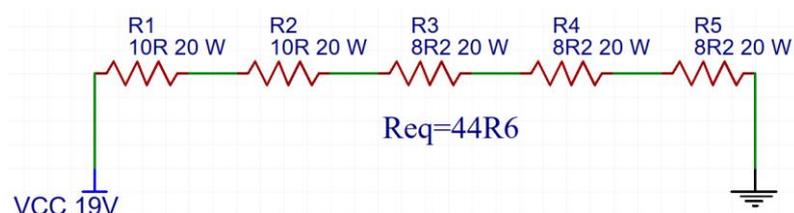
Figura 8 – Diagrama do circuito resistivo conectado à fonte ATX do sistema x86



Fonte: Autor, 2016

O circuito resistivo construído para o Nvidia Shield contém cinco resistores de 20 W de 10 e 8,2 Ω , totalizando a resistência de 44,6 Ω . Quando conectados à fonte do sistema ARM, que fornece 19 volts, o consumo total é de, aproximadamente, 8,3 W. O circuito pode ser visualizado na Figura 9.

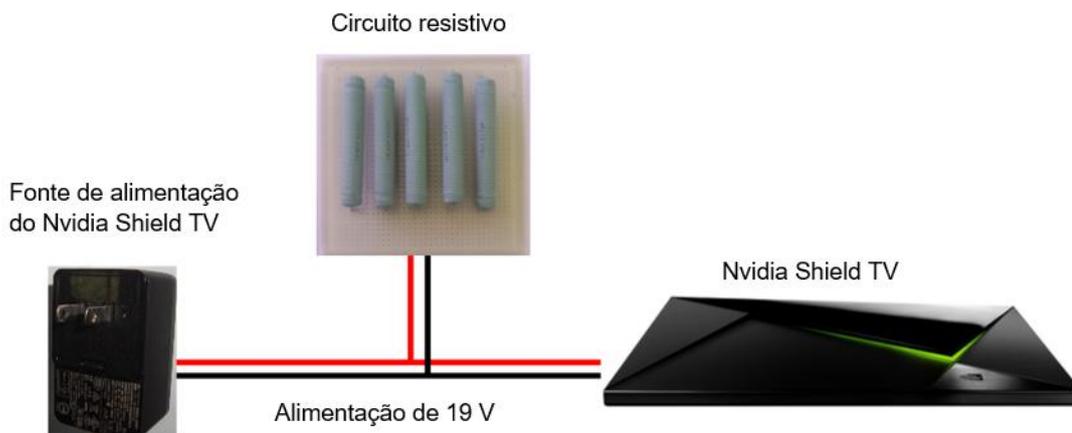
Figura 9 - Esquemático eletrônico do circuito resistivo para o Nvidia Shield TV



Fonte: Autor, 2016

Assim como o circuito desenvolvido para consumir energia da fonte ATX, o circuito resistivo montado para o sistema ARM também foi construído sobre uma placa de fenolite com os terminais de conexão estanhados, como consta na figura 10.

Figura 10 – Diagrama do circuito resistivo conectado a fonte do Nvidia Shield TV



Fonte: Autor, 2016.

4.3.1 Mensurando o consumo

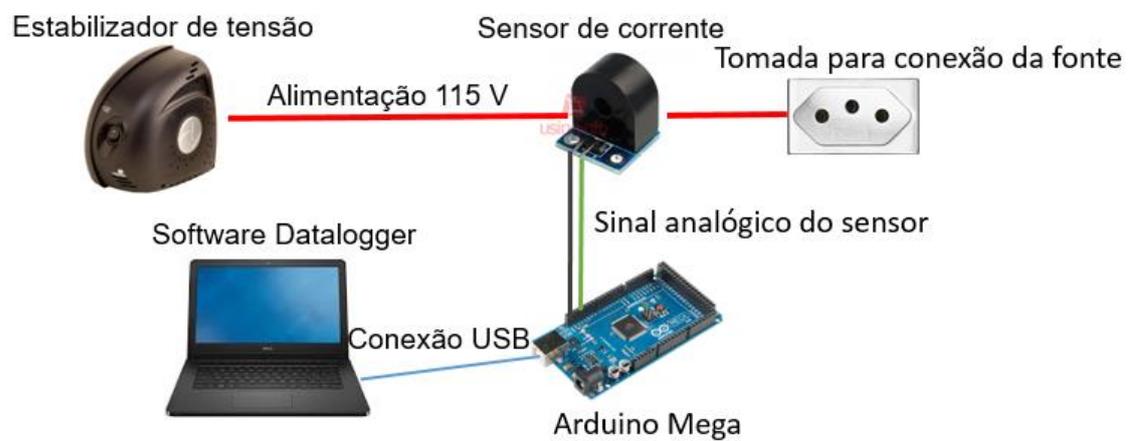
Para medir o consumo instantâneo dos equipamentos, utilizou-se o sensor de corrente ZMCT103C. Esse sensor afere a corrente através de uma bobina de Rogowski, que é construída de um núcleo não magnético envolvida por um condutor de cobre. O cálculo da corrente da corrente é efetuado com base na tensão que sai do terminal da bobina de Rogowski por um amplificador operacional (KOIZUMI, 2012).

O ZMCT103C foi conectado à porta A0 de um hardware Arduino Mega, que estava configurado com o driver de leitura do sensor ZMCT103C. O Arduino foi programado para ler a corrente instantânea, calcular a potência baseada na tensão ajustada no início do teste e enviar o consumo em watts a cada segundo para o computador ao qual está conectado via interface USB.

Durante os testes os equipamentos foram alimentados com tensão de 115 V, estabilizada pelo estabilizador Ragtech SDW 300. Durante as medições a tensão variou entre 103 e 108V.

O sistema descrito baseado no sensor de corrente (Figura 11) foi utilizado para registrar os dados de forma automática minimizando o atraso em relação ao tempo de execução dos *benchmarks* executados.

Figura 11 - Sistema utilizado para mensurar o consumo de energia



Fonte: Autor, 2016.

5 RESULTADOS

Neste Capítulo são apresentados os resultados obtidos, conforme descrito na Seção anterior. Os dados apresentados nos gráficos de consumo de energia refletem o consumo total do equipamento durante o período de cada experimento realizado.

5.1 Apache

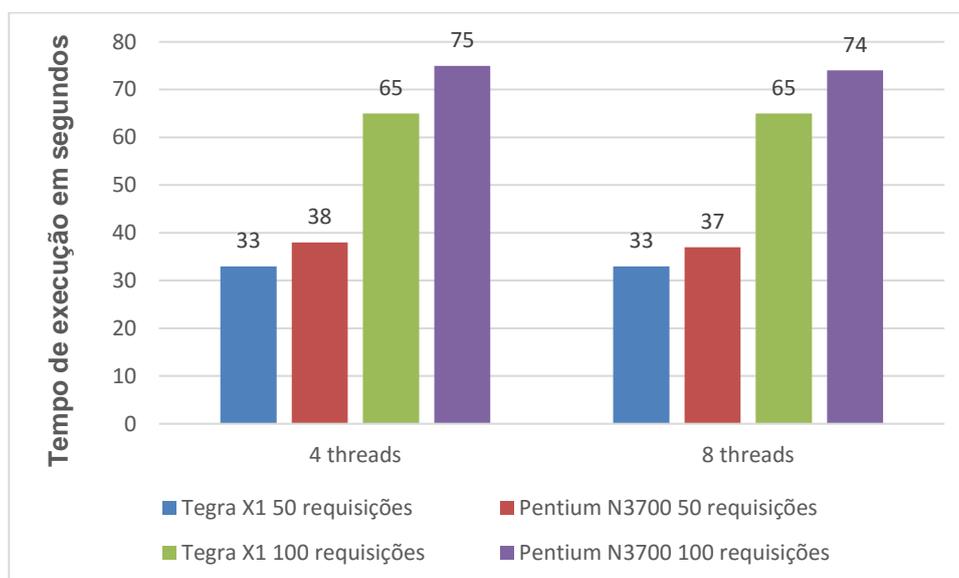
Os primeiros resultados referem-se aos ensaios feitos usando o software Apache, com os quais foi possível verificar o desempenho e mensurar a potência consumida durante os *benchmarks* descritos na Seção 4.2.3.

Conforme apresenta a Figura 12, o computador com microarquitetura ARM Cortex A57 foi mais rápido que o Pentium N3700 na avaliação de todos os 4 testes que as CPUs foram submetidas. Outro dado constatado é que não houve diferença significativa dos *benchmarks* com as variantes de 8 *threads* em relação a 4 *threads*.

Nos testes 2 e 4 com 100 requisições o processador Tegra X1 foi, aproximadamente, 14% mais rápido que o processador Intel, o mesmo resultado de performance foi obtido nos testes 1 e 3 com 50 requisições sequenciais.

Durante as aferições de desempenho, o uso de CPU de ambos os sistemas foi próximo de 100%, demonstrando que a metodologia funcionou corretamente para a finalidade de limitar o desempenho dos computadores testados pela CPU.

Figura 12 - Desempenho do software Apache

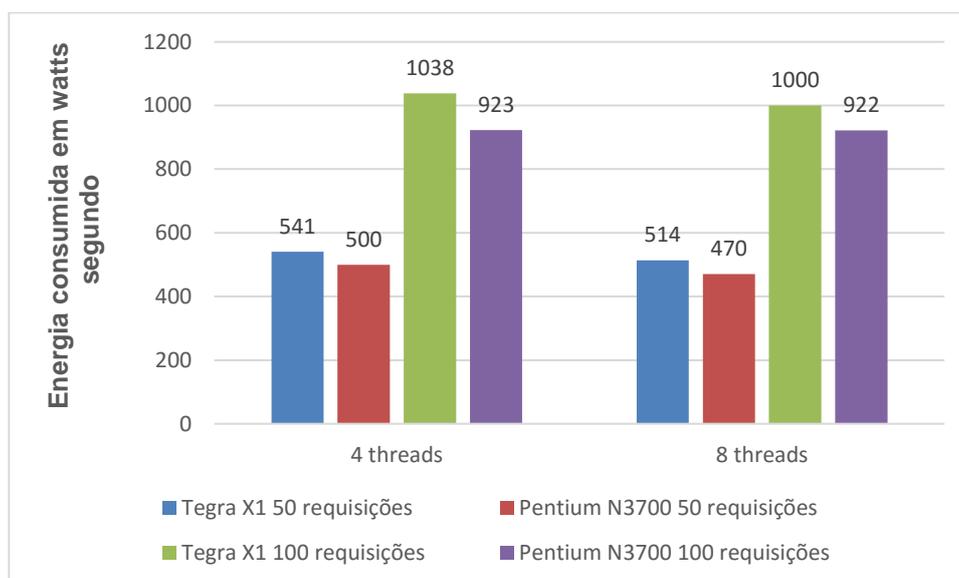


Fonte: Autor, 2016

A diferença de consumo entre os processadores Tegra X1 e Pentium N3700 variou entre 8% e 11% durante a execução dos testes 1, 2, 3 e 4 no servidor HTTP Apache. Durante os testes o processador de arquitetura ARM consumiu mais energia por segundo aferido, porém executou os testes de maneira mais rápida que o Processador Intel, ainda assim, o somatório total o processador Pentium N3700 foi mais econômico.

Considerando-se a questão de consumo de energia (Figura 13), não foi detectada diferença considerável em nenhum dos testes que utilizaram 8 *threads* ao invés de 4. A média de consumo do sistema baseado em ARM foi de 15,9 W, enquanto que o consumo do sistema baseado em x86 foi de 12,3 W.

Figura 13 - Consumo de energia durante os testes com o Apache



Fonte: Autor, 2016

5.2 NGINX

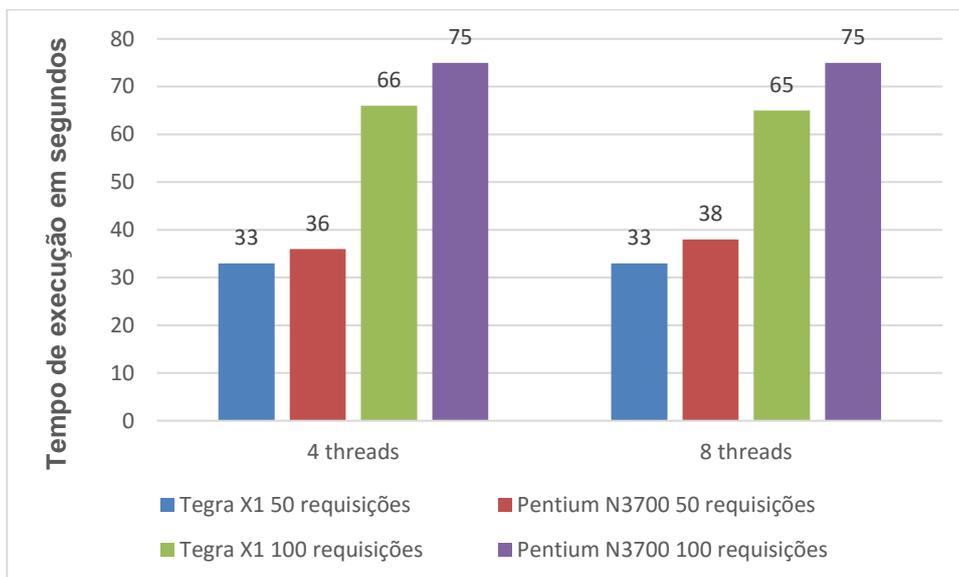
A mesma metodologia utilizada para mensurar o desempenho do programa Apache também foi utilizada para o software NGINX (Seção 4.2.3).

O desempenho mensurado nos testes do NGINX, apresentados na Figura 14, foram muito próximos aos encontrados nos *benchmarks* do servidor WEB Apache. Essa relação pode ser explicada pelo fato de que ambos os programas estavam utilizando a linguagem PHP 7.1 para executar o script PHP Benchmark.

O processador Tegra X1 apresentou um desempenho 8% superior, em relação ao Pentium N3700, nos testes com 50 requisições. Nos testes com 100 requisições o Tegra X1 foi, aproximadamente, 12% mais rápido que o processador Intel. Considerando que o tempo de resposta mensurado para 100 requisições nos testes com 4 e 8 *threads* foi o dobro do tempo verificado no teste de 50 requisições HTTP, foi possível constatar que o tempo total do teste é proporcional ao número de requisições.

Durante os testes foi verificado que o NGINX consumiu, aproximadamente, 100% de uso dos processadores nos sistemas estudados.

Figura 14 - Desempenho do software NGINX

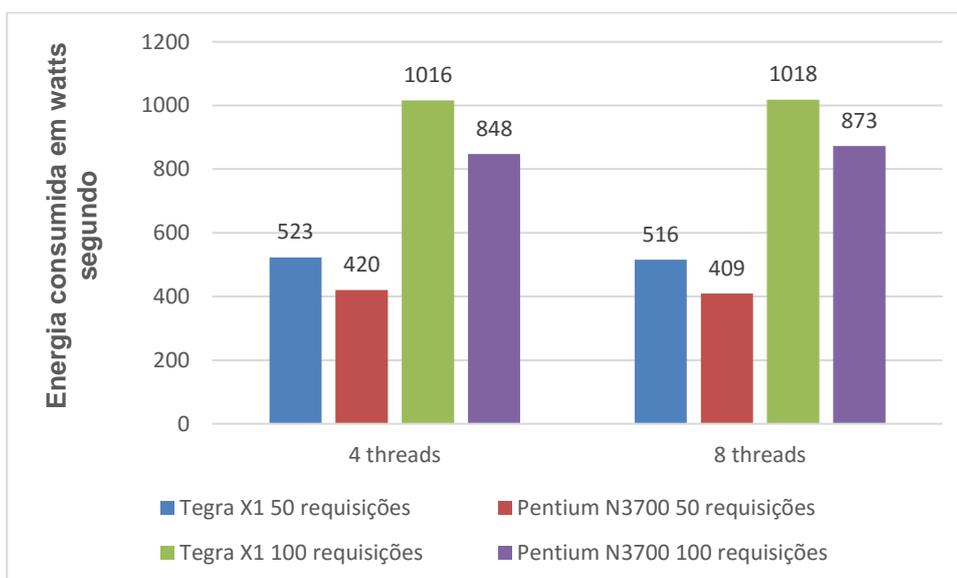


Fonte: Autor, 2016

Ao verificar o consumo de energia, apresentado na Figura 15, foi constatado que o processador Pentium N3700 foi, aproximadamente 16% mais econômico nos testes com 100 requisições e, aproximadamente, 20% mais econômico nos testes com 50 requisições.

Em relação ao desempenho, por sua vez, não foi identificada diferença significativa de consumo na variação dos testes com 8 *threads* em relação a 4 *threads*.

Figura 15 - Consumo de energia durante os testes com o NGINX



Fonte: Autor, 2016

5.3 MySQL

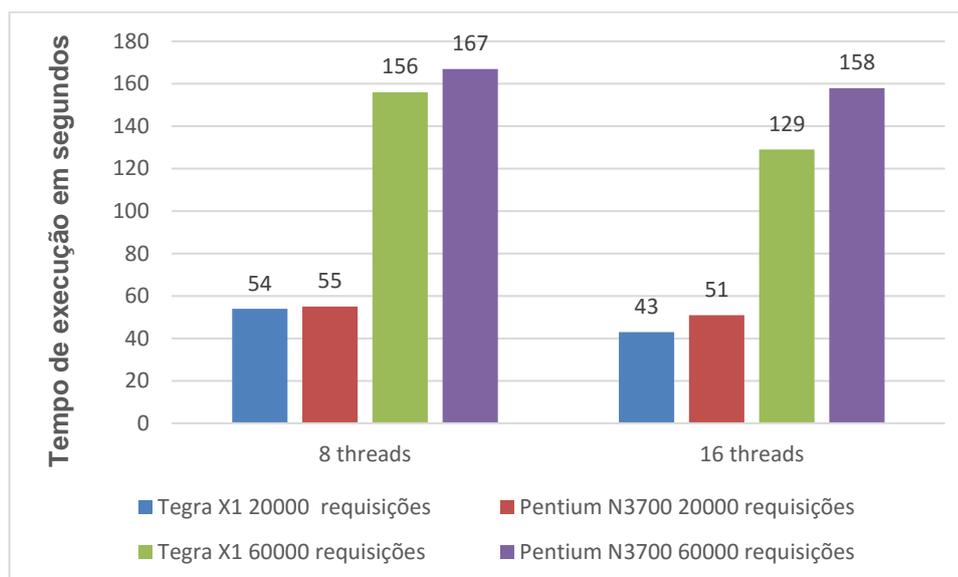
Ensaio feito usando o software MySQL (Seção 4.2.3) mensuram o desempenho e o consumo de energia ao executar o programa Sysbench.

O teste do MySQL realizado com 8 *threads*, não utilizou 100% da CPU, pois ao realizar os testes finais de desempenho, foi constatado que, em média, o percentual de uso do processamento com 8 *threads* fica entre 70% e 78%, não aproveitando toda capacidade do processador. Tal fato foi observado tanto no equipamento Nvidia Shield como no sistema baseado na placa Asrock N3700. Os testes que utilizaram 16 *threads* apresentaram uso de, aproximadamente, 100% da CPU.

Conforme os dados apresentados na Figura 16, o desempenho obtido no teste de 20000 requisições com 8 *threads*, pode-se considerar, praticamente, o mesmo, uma vez que o tempo de execução do teste no processador Pentium N3700 foi de 55 segundos, enquanto que no CPU Tegra X1 foi de 54 segundos. Esse fato pode ser atribuído ao fato que, aproximadamente, 25% da capacidade de processamento dos processadores estudados ficaram ociosos no ensaio com 8 requisições simultâneas.

Os testes com nível de concorrência de 16 acessos simultâneos demonstraram que o processador Tegra X1 é 16% mais rápido no ensaio referente a 20 mil *queries* e 18% mais rápido no teste com 60 mil *queries*, ao executar o software MySQL.

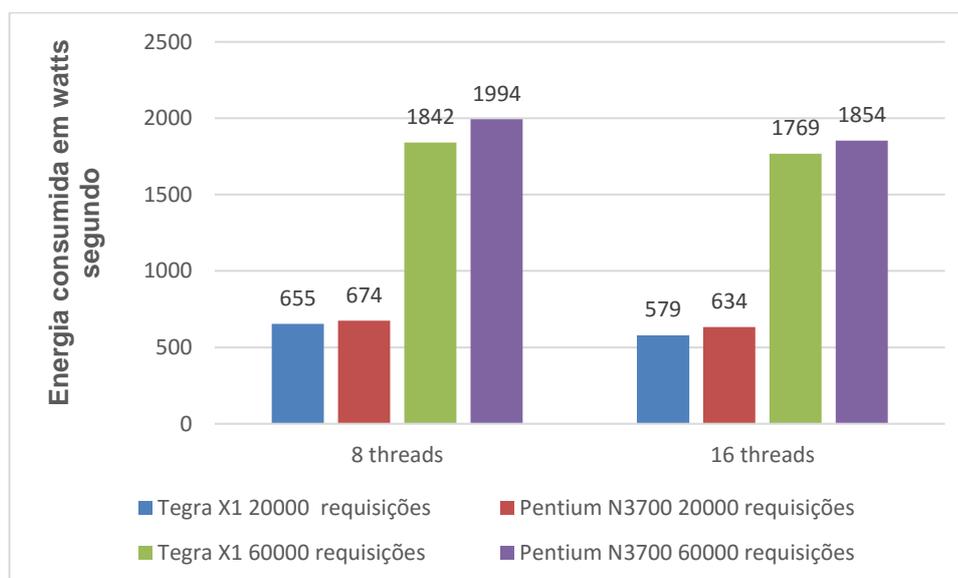
Figura 16 - Desempenho do software MySQL



Fonte: Autor, 2016

Como pode ser observado na Figura 17, o processador Nvidia Tegra X1 consumiu no total, 5% a menos de energia que o processador Pentium N3700. O teste indicou que o processador Intel teve consumo energético instantâneo menor que o Tegra X1, porém a diferença de tempo de 29 segundos a mais que o Pentium N3700 levou para completar o teste em relação ao CPU ARM, demonstrou que a microarquitetura ARM Cortex A57 é mais eficiente ao executar o programa MySQL, por completar a mesma tarefa em menor tempo.

Figura 17 - Consumo de energia durante os testes com o MySQL



Fonte: Autor, 2016

5.4 PostgreSQL

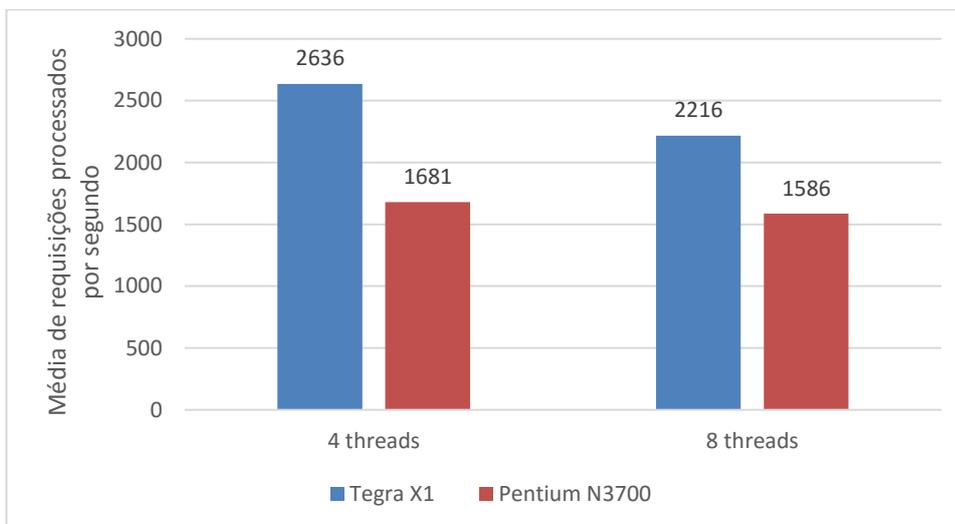
Conforme apresentado na Figura 18, os resultados de desempenho obtidos no teste do PostgreSQL demonstraram que o software processa mais transações por segundo quando executa 4 *threads* simultâneas ao invés de 8 *threads*. O Pentium N3700 executou 5% a mais de *queries*, enquanto o Tegra X1 registrou um aumento de 15% quando comparado o teste de 4 *threads* com o de 8 *threads*.

De todos os testes de desempenho efetuados nesse trabalho, os ensaios com o PostgreSQL foram os únicos nos quais constatou-se perda de desempenho ao dobrar o número de concorrência, evidenciando este ser uma característica do SGBD PostgreSQL.

O processador Tegra X1 obteve o melhor desempenho nos dois ensaios efetuados. No teste com 4 *queries* simultâneas o processador ARM processou 2636 *queries* por segundo, enquanto o Pentium N3700 processou 1681 *queries* por segundo, revelando que o processador ARM foi 36% mais rápido que o CPU x86.

No teste com 8 *threads* foi mensurado que o Tegra X1 executou 2216 *queries* e o Pentium N3700 executou 1586 *queries*, apontando para desempenho 25% superior do processador ARM.

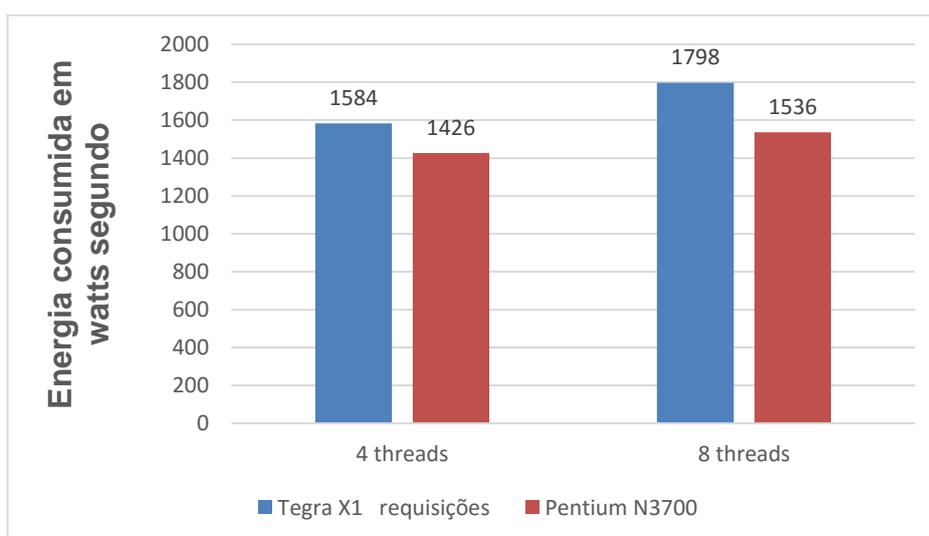
Figura 18 - Desempenho do software PostgreSQL



Fonte: Autor, 2016

Segundo os dados registrados na Figura 19, no teste com 4 *queries* simultâneas o CPU Tegra X1 consumiu 10% a mais de energia em relação ao processador Pentium N3700. No ensaio com 8 *threads* o processador ARM consumiu 15% de energia para executar o mesmo teste se comparado ao CPU de arquitetura x86.

Figura 19 - Consumo de energia durante os testes com o PostgreSQL



Fonte: Autor, 2016

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo visa discutir e avaliar os resultados apresentados no Capítulo 5. Foi abordado nessa seção a eficiência energética obtidas nos ensaios e foi efetuado uma comparação dos dados obtidos nos testes em relação aos trabalhos relacionados descritos no Capítulo 3.

6.1 Eficiência energética

A metodologia empregada nos testes funcionou como esperado considerando a finalidade de verificar o desempenho e eficiência energética da microarquitetura ARM Cortex A 57 em relação a microarquitetura Intel Braswell.

Utilizando a informação Watts-segundo (W·s), coletada nos ensaios juntamente com a quantidade de requisições ou *queries* de cada teste, permitiu calcular quantos watts cada requisição consumiu. A relação Watts-segundo por requisição permite verificar diretamente a eficiência energética de cada equipamento, uma vez que o fator tempo de execução não é levado em consideração.

Os servidores HTTPs e SGBDs utilizados nesse trabalho foram testados utilizando diferentes parâmetros de *threads* e requisições. Com a finalidade de calcular a eficiência, foi escolhido o teste de cada programa com o melhor desempenho, considerando que o consumo de energia de cada sistema é proporcional ao tempo total do teste. No caso do Apache e NGINX foram selecionados os ensaios com 100 requisições e 8 *threads*. Para o cálculo de eficiência energética do MySQL foi escolhido o teste de 60 mil requisições em 16 *threads* simultâneas e no

SGBD PostgreSQL foi selecionado o teste parametrizado de 120 s e 4 *threads*. Os resultados de eficiência podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4 - Consumo em Watts por cada requisição HTTP ou query executada

Software	Tegra X1	Pentium N3700
Apache	10 Ws	9,92 Ws
NGINX	10,8 Ws	8,73 Ws
MySQL	0,2948 Ws	0,309 Ws
PostgreSQL	0,005007 Ws	0,007492 Ws

Fonte: Autor, 2016

Segundo a Tabela 4, a diferença de eficiência obtida no teste de 100 requisições com o servidor HTTP Apache, não pode ser considerada conclusiva, pois os números apontaram uma diferença menor que 1% de vantagem para o CPU Pentium N3700. Esse resultado se deve ao consumo semelhante de energia dos dois sistemas no teste de 100 requisições em 8 *threads*, pois o consumo do Nvidia Tegra X1 foi de 1000 W·s e do Pentium N3700 foi de 922 W·s.

O processador Pentium N3700 foi 19% mais eficiente energeticamente que o processador Tegra X1 ao executar o NGINX gerando páginas dinâmicas em PHP. O processador Pentium não foi o mais rápido nesse teste, porém consumiu, consideravelmente, menos energia ao executar as 100 *threads*.

O teste efetuado com o MySQL apontou uma vantagem de eficiência energética de 4% para o processador Tegra X1. Esse resultado pode ser atribuído ao consumo de energia superior do Pentium N3700 em relação ao chip Tegra X1, como também ao desempenho superior do chip Tegra X1 durante os testes realizados com 60 mil *queries*.

O ensaio feito no PostgreSQL, parametrizado em 60 mil requisições por segundo e 4 *threads*, demonstrou que o Processador Tegra X1 é 33% mais eficiente energeticamente que o CPU Pentium N3700. Tal resultado decorre do fato de que o processador baseado na arquitetura ARM Cortex A57 apresentou desempenho 36% maior que o SOC Pentium N3700, consumindo apenas 10% a mais de energia durante o teste.

6.2 Comparação dos resultados com trabalhos relacionados

Comparando os resultados apresentados neste trabalho com os demonstrados no trabalho relacionado na Seção 3.1, dos autores Aroca e Gonçalves (2012), pode-se observar que a arquitetura x86 teve grandes aperfeiçoamentos em eficiência energética desde o lançamento do Atom N280, o qual foi utilizado no trabalho do Aroca e Gonçalves (2012).

O processador ARM OMAP 4430 foi duas vezes mais eficiente em termos de consumo de energia em comparação com o Intel Atom N280 durante o processamento de requisições HTTP. Nos testes efetuados neste trabalho a eficiência do Apache demonstrou que o Pentium N3700 é 19% mais eficiente energeticamente que o ARM Cortex A57.

Parte da diferença dos resultados pode ser atribuída ao fato de que o processador OMAP 4430 é aproximadamente 2 anos mais novo em relação ao processador Intel utilizados nos testes. Essa diferença de tempo entre as CPUs testadas deixou a plataforma x86 em desvantagem, pois o processador Atom N280 possui apenas um núcleo enquanto o OMAP 4430 possui 2 núcleos de CPU (INTEL, 2015; TEXAS INSTRUMENTS, 2011).

Quando comparados os resultados de desempenho com o trabalho citado na Seção 3.1, são observados resultados semelhantes, uma vez que o artigo dos autores Aroca e Gonçalves (2012) apontou para um desempenho 36% melhor do processador ARM OMAP 4330 em relação ao processador Atom N280.

7 CONCLUSÃO

A análise proposta por esse trabalho permitiu avaliar o desempenho e eficiência energética da arquitetura ARM Cortex A57 em relação a arquitetura Intel Braswell para micro servidores.

Ao concluir os testes, análises e discussões, é possível afirmar que o processador Nvidia Tegra X1 foi mais rápido que o processador Intel em todos os ensaios. A vantagem mais evidente do CPU, baseado na micro arquitetura Cortex A57, foi na execução de gerenciadores de banco de dados, em que o desempenho foi de 18% a 36% superior em relação ao processador Intel. E na execução dos servidores de página, o processador ARM apresentou um desempenho superior, entre 12% a 14%, em relação ao CPU Pentium N3700. Tais dados demonstram que há uma vantagem de desempenho considerável para a arquitetura Cortex A57 sobre a arquitetura Intel Braswell.

As informações obtidas durante os testes com o Apache e o NGINX apontam que a eficiência energética do processador Pentium N3700 varia de 1%, no caso do NGINX, a 19% superior no caso do Apache, em relação ao CPU Tegra X1, dependendo do programa utilizado e da carga aplicada.

O processador Tegra X1 mostrou-se energeticamente mais eficiente ao executar os testes com gerenciadores de bancos de dados. No MySQL o ARM foi 4% mais eficiente e no PostgreSQL 33% mais eficiente em relação ao processador Intel.

Sugere-se para trabalhos futuros de comparação de desempenho e eficiência entre as arquiteturas x86 e ARM:

- Comparar o desempenho das duas tecnologias em um maior número de arquiteturas distintas.
- Testar o desempenho e o consumo das duas plataformas em mais softwares.
- Utilizar equipamentos comerciais de maior precisão para mensurar o consumo energético dos equipamentos testados.

BIBLIOGRAFIA

AMD. **O AMD Opteron Série A1100 acelera a inovação do datacenter.**2015. Disponível em:< <http://www.amd.com/pt-br/products/server/opteron-a-series>> Acesso em: 2 abr. 2016.

AMD. **SOC AMD Opteron™ Série A1100.** 2016. Disponível em: <<http://www.amd.com/Documents/BR-A-Hierofalcon-Product-Brief.pdf>> Acesso em: 29 maio 2016

ANANDTECH **NVIDIA Announces SHIELD Console: Tegra X1 Android TV Box Shipping in May.** 2015. Disponível em: <<http://www.anandtech.com/show/9047/nvidia-announces-shield-console-tegra-x1-android-tv-box-shipping-in-may>> Acesso em: 08 nov. 2016.

ANTHONY Sebastian. **SoC vs. CPU – The battle for the future of computing.**2012. Disponível em:<<http://www.extremetech.com/computing/126235-soc-vs-cpu-the-battle-for-the-future-of-computing>> Acesso em: 25 de abr. 2016.

APPLIED MICRO. **Products.** 2016. Disponível em: <<https://www.apm.com/products/>> Acesso em: 29 maio 2016

ARM. **How does the DMIPS/MHz performance vary with wait-states on the code memory?**.2011. Disponível em: <<http://infocenter.arm.com/help/index.jsp?topic=/com.arm.doc.faqs/ka16376.html>> Acesso em: 31 maio 2016.

ARM.**Cortex-A57 Processor**.2016. Disponível em:
<<http://www.arm.com/products/processors/cortex-a/cortex-a57-processor.php>>
Acesso em: 24 abr. 2016.

AROCA, Rafael Vidal; GONÇALVES, Luiz Marcos G. **Towards green data centers: A comparison of x86 and ARM architectures power efficiency**. 2012. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/232713208_Towards_green_data_centers_A_comparison_of_x86_and_ARM_architectures_power_efficiency> Acesso em 06 jun. 2016

CORSAIR. **80 PLUS Platinum efficiency; What does it mean, and what's the benefit to me?**. 2012. Disponível em: <http://www.corsair.com/en-us/blog/2012/august/80-plus-platinum-what-does-it-mean-and-what-is-the-benefit-to-me>> Acesso em: 08 nov. 2016.

CPU-WORLD. **Intel Xeon processor comparison chart**. 2016. Disponível em:<http://www.cpu-world.com/info/Intel/Intel_Xeon.html> Acesso em: 29 maio 2016

CRUCIAL. **Crucial 4GB Kit (2 x 2GB) DDR3L-1600 SODIMM**. 2016. Disponível em:
<<http://www.crucial.com/usa/en/ct2kit25664bf160b>> Acesso em: 08 nov. 2016.

CRUCIAL. **What is ECC memory ?**.2016. Disponível em:
<<http://www.crucial.com/usa/en/memory-server-ecc>> Acesso em: 29 maio 2016

DB-ENGINE. **DB-Engines Ranking.2016**. Disponível em:< <http://db-engines.com/en/ranking>> Acesso em: 12 maio 2016.

DEBIAN. **RAMFS**. 2013. Disponível em: <<https://wiki.debian.org/ramfs>> Acesso em: 08 nov. 2016.

EDWARDS, Stephen A. **History of Processor Performance**.2011. Disponível em:<
<http://www.cs.columbia.edu/~sedwards/classes/2012/3827-spring/advanced-arch-2011.pdf> > Acesso em: 12 abr. 2016

FRUMUSANU Andrei, SMITH Ryan. **ARM A53/A57/T760 investigated - Samsung Galaxy Note 4 Exynos Review**. 2015. Disponível: em <

<http://www.anandtech.com/show/8718/the-samsung-galaxy-note-4-exynos-review/> >
Acesso em: 30 maio 2016.

Göddeke, DOMINIK; et al. **Energy efficiency vs. performance of the numerical solution of PDEs: An application study on a low-power ARM-based cluster.**

2013. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021999112007115>> Acesso em:
29 maio 2016.

GORDON, Moore. **Cramming more components onto integrated circuits** 1965.

Disponível em:

<http://web.eng.fiu.edu/npala/eee6397ex/gordon_moore_1965_article.pdf> Acesso
em: 30 mar. 2016.

HEATH Nick. **10 things you should know about microservers.** 2013. Disponível
em: < <http://www.techrepublic.com/blog/10-things/10-things-you-should-know-about-microservers/>> Acesso em:12 maio 2016.

HEATH Nick. **Microservers: What you need to know.** 2014. Disponível em:

<<http://www.zdnet.com/article/microservers-what-you-need-to-know/>> Acesso em: 12
maio 2016.

HEATH, Nick. **ARM's battle for the datacentre: The contenders.** 2015. Disponível
em: <<http://www.techrepublic.com/blog/data-center/arms-battle-for-the-datacentre-the-contenders/>> Acesso em: 29 maio 2016

HOLT, Jim et at. **Software Standards for the Multicore Era.** 2009. Disponível em:

<<http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/52432>> Acesso em: 29 maio 2016

HP. **Sistema HPE Moonshot.** Disponível em:<

<http://www8.hp.com/us/en/products/proliant-servers/product-detail.html?oid=5379860>
> Acesso em:21 abr. 2016.

INTEL. **Intel Atom Processor C2000 Product Family for Microserver.**2016.

Disponível em:

<<https://wwwssl.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/datasheets/atom-c2000-microserver-datasheet.pdf>> Acesso em: 29 abr. 2016

INTEL. **Intel® Pentium® Processor N3700**. 2015 <http://ark.intel.com/Pt-Br/products/87261/Intel-Pentium-Processor-N3700-2M-Cache-up-to-2_40-GHz> Acesso em: 08 nov. 2016.

INTEL. **Intel® Xeon® Processor E7-8880 v3**. 2015. Disponível em: <http://ark.intel.com/pt-br/products/84683/Intel-Xeon-Processor-E7-8880-v3-45M-Cache-2_30-GHz> Acesso em: 2 abr. 2016.

INTEL. **N-series Intel Pentium Processors and Intel Celerom Processors**. 2016. Disponível em: <<http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/datasheets/pentium-celeron-n-series-datasheet-vol-1.pdf>> Acesso em: 29 maio 2016

INTEL. **Products (Formerly Avoton)**. 2013. Disponível em: <<http://ark.intel.com/products/codename/54859/Avoton>> Acesso em: 9 abr. 2016.

KABIR, **Mohammed J. Apache Server 2 A Bíblia**. Rio de Janeiro, 2002.

KINGSTON. **SDHC/SDXC UHS-I Classe 10 - 16GB-512GB | Kingston**. 2016. Disponível em: <https://www.kingston.com/br/flash/sd_cards/sda10> Acesso em: 08 nov. 2016.

KOIZUMI, Marcos Tsuyoshi. **Desenvolvimento de sensores e instrumentação aplicados no projeto de equipamentos analisadores de qualidade de energia elétrica**. 2012. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/505/1/CT_CPGEI_M_Koizumi,%20Marcos%20Tsuyoshi_2012.pdf> Acesso em: 17 nov. 2016.

KOPYTOV, Alexey. **SysBench manual**. 2009. Disponível em: <<http://imysql.com/wp-content/uploads/2014/10/sysbench-manual.pdf>> Acesso em: 20 nov. 2016.

LEXAR. **Lexar® JumpDrive M20 Mobile USB 3.0 flash drive**. 2016. Disponível em: <<http://www.lexar.com/products/usb-flash-drives/JumpDrive-M20-Mobile-USB-3-Flash-Drive.html#SKU=LJDM20-64GBBNL>> Acesso em: 08 nov. 2016.

MORIMOTO, **Carlos E. Hardware II O Guia Definitivo**. Porto Alegre, 2010.

MORIMOTO, **Carlos E. Servidores Linux Guia Prático**. Porto Alegre, 2008.

MYSQL. **MySQL 5.7 Reference Manual**. 2016. Disponível em:
<<http://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/>> Acesso em: 29 maio 2016.

NETCRAFT. **April 2016 Web Server Survey**. 2016 Disponível
em:<<http://news.netcraft.com/archives/2016/04/21/april-2016-web-server-survey.html>> Acesso em: 12 abr.2016.

NGINX. **NGINX**. 2016. Disponível em: <<https://nginx.org/en/>> Acesso em: 08 nov. 2016.

NVIDIA. **NVIDIA SHIELD**. 2016. Disponível em: <<https://shield.nvidia.com/android-tv>> Acesso em 29 maio 2016.

NVIDIA. **Processadores Tegra**. 2015. Disponível em:
<<http://www.nvidia.com.br/object/tegra-x1-processor-br.html>>Acesso em: 4 mar. 2016.

PATRIZIO, Andy. **Intel finally has a challenger in the server market: IBM**. 2015. Disponível em: <<http://www.itworld.com/article/2903063/intel-finally-has-a-challenger-in-the-server-market-ibm.html>> Acesso em: 29 maio 2016.

POSTGRESQL. **PostgreSQL 9.5.3 Documentation**. 2016. Disponível em:
<<http://www.postgresql.org/docs/9.5/static/index.html>> Acesso em: 12 maio 2016.

RAJOVIC, Nikola *et al.* **Making the Case for an ARM-Based HPC System**. 2014. Disponível em: < <https://www.montblanc-project.eu/sites/default/files/publications/armhpc-sc.pdf>> Acesso em: 02 abr. 2016.

SEAMICRO. **The SM10000 Family of High Density, Low Power Servers**. 2011. Disponível em: <<http://www.seamicro.com/node/164>> Acesso em: 29 maio 2016.

STALLINS, **William**. **Arquitetura e Organização de Computadores**, São Paulo, 2009.

STEAGALL William F. **Remington Round Univac 1** Disponível em: <<http://www.old-computers.com/museum/computer.asp?c=973&st=1>> Acesso em: 15 mar. 2016.

TEXAS INSTRUMENTS. **OMAP™ 4 Platform: OMAP4430/OMAP4460**. 2011. Disponível em:

<<http://www.ti.com/general/docs/wtbu/wtbuproductcontent.tsp?contentId=53243&navigationId=12843&templateId=6123#whitePapers>> Acesso em: 17 nov. 2016.

TORRES, Gabriel. **Hardware Curso Completo**. Rio de Janeiro, 2001.

TORRES, Gabriel. **Teste da fonte de alimentação PCTop FAPT200**. 2013. Disponível em: <<http://www.clubedohardware.com.br/artigos/teste-da-fonte-de-alimentacao-pctop-fapt200/2787>> Acesso em: 08 nov. 2016.

TPC. **TPC-B**. 2016. Disponível em: <<http://www.tpc.org/tpcb/>> Acesso em: 08 nov. 2016.

VENU, Balaji. **Multi-core processors – An overview**. 2011. Disponível em: <<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1110/1110.3535.pdf>> Acesso em: 29 maio 2016.

VERAS, Manoel. **Datacenter Componente Cenral da Infraestrutura de TI**. Rio de Janeiro. Brasport, 2009.

VERRY, Tim. **Cortex-A57 takes ARM to 64-bit, will enter the server room in 2014**. 2012. Disponível em: <<http://www.extremetech.com/computing/139455-cortex-a57-takes-arm-to-64-bit-will-enter-the-server-room-in-2014>> Acesso em: 29 maio 2016.

WHITWAM, Ryan. **Everything you need to know about Nvidia's new Tegra X1 chip**. 2015. Disponível em: <<http://www.greenbot.com/article/2879437/everything-you-need-to-know-about-nvidias-new-tegra-x1-chip.html>> Acesso em: 29 maio 2016.