

# Análise de Desempenho de Clusters Raspberry Pi: Cluster Heterogêneo vs Cluster Homogêneo

Ana L. C. V. Lara, Gabriel L. Gomes, Luiz G. B. dos Santos, Otto W. D. M. Bittencourt, Paulo O. C. B. Lana  
{alcvlara, glgomes, luiz.braganca, otto.bittencourt, paulo.lana}@sga.pucminas.br

Graduandos em Ciência da Computação  
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas)  
Belo Horizonte - MG - Brasil

**Abstract**—With the need to increase the performance, both in hard-wares and soft-wares, a cluster with different combinations was used to validate which one would present the better execution trough distributed computing, distributing the instructions among the nodes. In this paper the performance is analyzed using equally distributed load on both applications and verified the results based on the heterogeneous and homogeneous compositions.

**Keywords**—Cluster, Raspberry Pi, Performance, Benchmark.

**Resumo**—Com a necessidade de um aumento de desempenho, tanto em softwares quanto em hardwares, foi utilizado um cluster de Raspberry Pi com diferentes combinações, para avaliarmos qual teria a melhor performance por meio da computação distribuída, distribuindo as instruções entre os nós. Neste artigo é analisada a performance usando cargas igualmente distribuídas em ambas aplicações e verificado os resultados baseados nas composições heterogêneas e homogêneas.

**Keywords**—Cluster, Raspberry Pi, Desempenho, Benchmark.

## I. INTRODUÇÃO

Atualmente é possível afirmar que o desenvolvimento e o uso da tecnologia trouxeram uma série de demandas. Entre elas, uma das mais quistas é a alta necessidade de um grande processamento de dados, pois o volume de trabalho e de informações que precisam ser processadas ao mesmo tempo vai muito além do imaginado, já que existem tarefas altamente complexas que exigem o máximo dos processadores para a sua execução.

Tendo em vista esse cenário, tornou-se imprescindível a criação de meios e de programas que consigam executá-los de maneira rápida e eficiente, de tal forma a cumprir a necessidade dos usuários. É nesse contexto que surgem os clusters, como uma estrutura de vários computadores que permitem um maior desempenho e agilidade para executar processos de alta complexidade e tempo.

Dessa forma, uma importante análise que este trabalho propõe para solucionar essa demanda é fazer um cluster de Raspberry Pi. Isso, pois é uma opção de baixo custo que traz a possibilidade de um melhor desempenho na execução de uma série de programas. O objetivo deste trabalho é executar vários testes no cluster e analisar os resultados obtidos, para assim afirmar se essa é uma solução válida que traria benefícios em sua utilização.

## II. PROPOSTA DO TRABALHO

Tendo em vista o contexto apresentado anteriormente, o objetivo desse trabalho é montar um cluster de Raspberry Pi e analisar os seus resultados. Cluster é um termo em inglês que significa “aglomerar” ou “aglomeração” e pode ser aplicado em vários contextos. No caso da computação, o termo define uma arquitetura de sistema capaz combinar vários computadores para trabalharem em conjunto ou pode denominar o grupo em si de computadores combinados. Cada estação é denominada “nodo” e, combinadas, formam o cluster.

Entretanto, para conseguir montar um cluster escolhemos utilizar modelos diferentes do Raspberry Pi, por se tratar de um mini computador de baixo custo. Como foi utilizado três versões diferentes desse mini computador, nós conseguimos fazer uma análise tanto do desempenho de um cluster homogêneo quanto do heterogêneo, e ainda comparar com o resultado do desempenho de um Raspberry Pi sozinho. Isso nos trouxe uma gama vasta de resultados, e nos permitiu ter uma conclusão persistente diante dos dados que foram colhidos.

## III. MATERIAIS UTILIZADOS

### A. Raspberry Pi

O Raspberry Pi é um mini computador de baixo custo, *all-in-one*, desenvolvido na Inglaterra com foco em ensino de Ciência da Computação e programação básica em escolas. Do tamanho de um cartão de crédito, ele utiliza um processador para dispositivos móveis, tornando-o um dispositivo extremamente capaz para tanto aplicações do dia a dia, quanto para projetos mais complexos, como o cluster.

Para desenvolvimento desse trabalho, foram utilizados cinco Raspberry Pi's, onde três deles são do modelo 3B, um do modelo 2B e um do modelo Zero (v1.3). Além disso, cada um deles foi configurado com o Raspbian, sistema operacional, baseado em Linux, disponibilizado pela própria companhia Raspberry.

### B. Raspberry Pi Zero v1.3

Essa versão do Raspberry possui um processador ARM11 single-core de 1GHz e 512MB de memória RAM, compartilhada com a GPU VideoCore IV. Possui um slot para cartões Micro SD, uma porta Mini-HDMI, dois conectores Micro

USB, um para energia e outro para o uso de periféricos e transferência de dados e predisposição para um conector de 40 pinos para entrada e saída. Foi também usado uma placa de rede externa *Fast Ethernet* ligada aos pinos de entrada e saída, já que a placa não possui rede *onboard*. É considerado o menor e menos potente modelo da família Raspberry Pi.

### C. Raspberry 2 model B

Essa versão lançada em 2015, e considerada hoje a segunda melhor versão da família Raspberry Pi. Possui um processador Cortex-A7 de quatro núcleos com um clock de 900MHz e uma memória RAM de 1GB, compartilhada com a GPU VideoCore IV. Possui quatro entradas USB, uma entrada de rede *Fast Ethernet*, entrada para cartão Micro SD, saída de vídeo HDMI, saída de áudio e vídeo composto, entrada de energia Micro USB, conector para câmera e um conector de 40 pinos de entrada e saída.

### D. Raspberry 3 model B

Esse considerado hoje a melhor versão da família Raspberry Pi. Possui um processador Cortex-A53 quad-core de 64 bits, com um clock de 1GHz e uma memória RAM de 1GB, compartilhada com a GPU VideoCore IV. Possui quatro entradas USB, uma entrada de rede *Fast Ethernet*, entrada para cartão Micro SD, saída de vídeo HDMI, saída de áudio e vídeo composto, entrada de energia Micro USB, conector para câmera e um conector de 40 pinos de entrada e saída. Além de todos esses conectores, ele ainda possui Wi-Fi e Bluetooth integrados a placa.

Figura 1. Comparação entre os modelos de Raspberry

	RASPBERRY PI ZERO	RASPBERRY PI 2 MODEL B	RASPBERRY PI 3 MODEL B
CHIP	BCM2835 - 32bits	BCM2837 - 32bits	BCM2837 - 64bits
PROCESSADOR	ARMv - Single-core 1GHZ	ARMv7 - Quad-core 900MHz	ARMv7 - Quad-core 1,2 GHz
MEMÓRIA	512MB LPDDR2 SDRAM	1GB LPDDR2 SDRAM	1GB LPDDR2 SDRAM
ETHERNET	X	10/100 Mbps	10/100 Mbps

Fonte: Elaborada pelos autores.

### E. Roteador ASUS

O roteador usado no trabalho é um ASUS RT-N13U, *Fast Ethernet*, rodando um Firmware customizado da DD-WRT.

### F. Switch Mercusys

Esse switch da marca Mercusys possui cinco portas, com 10/100Mbps, modelo MS105.

### G. Cartões SD

Foram utilizados no trabalho cinco cartões Micro SD, um para cada placa Raspberry. Um cartão de classe 10, que possui velocidade de leitura de 10MB/s, no Raspberry Pi 2 model B e quatro de classe 2, que possui velocidade de leitura de 2MB/s nos demais. Tal diferença proporciona um gargalo no cluster, uma vez que o cartão de classe 10 lê a carga primeiro que os outros, quando distribuída.

### H. Cluster

O primeiro cluster foi desenvolvido na década de 1960 pela IBM, com o objetivo de obter uma solução comercialmente viável de paralelismo.

Um cluster consiste de várias máquinas ou dispositivos interligados por uma rede e trabalhando juntos para executar uma mesma tarefa. Neste trabalho o cluster se comunicou via SSH, por meio de um switch de cinco portas e de um roteador para criação de rotas. Cada nó possui uma cópia de chave pública dos demais raspberrys e, com isso, realiza a comunicação sem requisição de senhas.

### I. NAS Parallel Benchmark

O NAS Parallel Benchmarks (NPB) é um conjunto de programas desenvolvido pela NASA, usados para avaliar o desempenho de computadores paralelos. Os benchmarks disponíveis no NPB são: IS(*Integer Sort*), EP(*Embarrassingly Parallel*), CG(*Conjugate Gradient*), MG(*Multigrid* em uma sequência de *meshes*), FT(*Transformada discreta rápida de Fourier* em 3 dimensões), BT(*Block Tridiagonal*), SP(*Scalar Pentadiagonal*), LU(*Lower-Upper symmetric Gauss-Seidel*), UA(*Unstructured Adaptive*), DC(*Data Cube Operator*) e DT(*Data Traffic*).

## IV. RESULTADOS

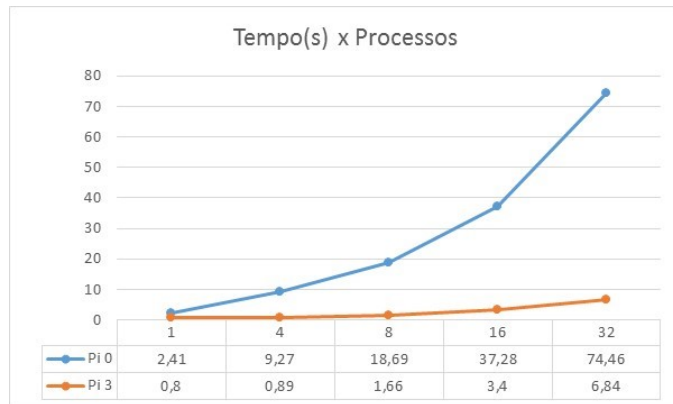
A sessão resultados será dividida em três partes, onde analisaremos o desempenho do cluster de acordo com adição de nós. Primeiramente, será realizado o teste para um cluster Heterogêneo de Raspberry Pi's, mostrando o desempenho individual e com combinações de nós do cluster. Em seguida, apresentaremos o teste realizado em um cluster Homogêneo de Raspberry pi's, mostrando o ganho em um cluster. Para realização dos testes, foram utilizadas a carga (S), para o benchmark BT (Block Tri-diagonal solver), que realiza a multiplicação de matrizes por métodos paralelos balanceados. E por último, compararemos os dois clusters realizados.

### A. Cluster Heterogêneo

1) *Execução da carga em nós individuais - Raspberry Pi Zero e Raspberry Pi 3B:*

A carga foi dividida em vários números de processos para distribuição entre o processadores existentes. O resultado obtido se baseia na quantidade de núcleos do Raspberry, pois o Raspberry Pi Zero apresenta apenas um núcleo e, com a aumento do número de processos, o desempenho se degrada devido o aumento de tempo em relação as trocas de contexto. Isso se dá pois o Raspberry Pi Zero não realiza a paralelização destes processos, devido ao único núcleo. Por outro lado, o Raspberry Pi 3B, apresenta 4 núcleos e, junto a isso, percebe-se que o tempo é inferior devido a divisibilidade e paralelização dos processos entre os núcleos osiosos. Entretanto, de acordo com o acréscimo de processos, o tempo se degrada, devido ao mesmo problema: tempo de troca de contexto.

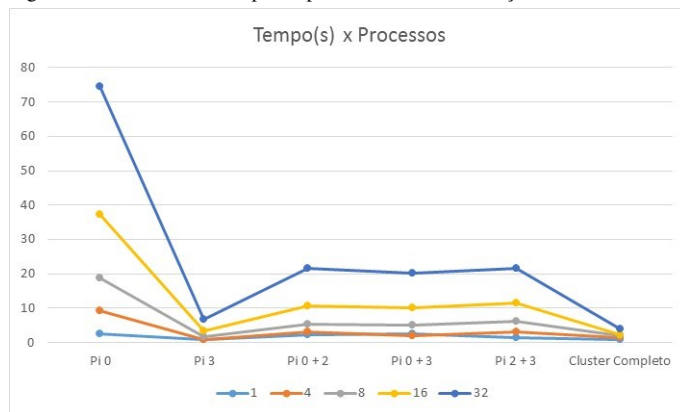
Figura 2. Análise dos tempos x processos de cada tipo de Raspberry



Fonte: Elaborada pelos autores.

2) *Análise do cluster em combinações de nós e cluster completo:* Executando a carga em diferentes combinações de nós, obtemos os resultados.

Figura 3. Análise dos tempos x processos das combinações



Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao analisarmos os dados, vimos que a redução do tempo foi significativa, mas ainda assim poderiam ser inferiores. Isso porque o Raspberry Pi Zero se torna um gargalo para a aplicação, pois apresenta maior tempo de execução por ser single-core, fazendo que os outros núcleos fiquem em função de seu término. Vale notar também que no cluster completo o tempo se aproxima ao tempo de um Raspberry Pi 3B individual, no caso observado é inferior, mas ao analisarmos o speedup, que foi de 1,72 vezes, não é eficiente, apenas (10%) devido a quantidade de núcleos utilizado. Com isso, o cluster heterogêneo não é uma alternativa ideal para a aplicação analisada.

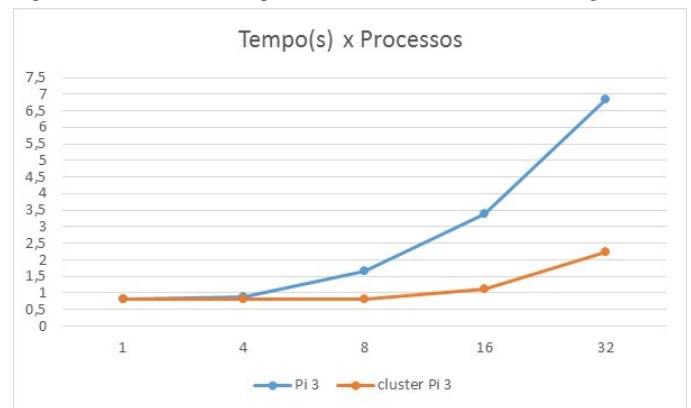
### B. Cluster Homogêneo

Executando a carga em um cluster homogêneo, os resultados são como os esperados, que são os seguintes.

Isso porque o cluster agora possui as mesmas configurações e, a carga que estava esperando o término das operações em um núcleo (cluster heterogêneo), passa a ter o mesmo tempo

de término em todos dispositivos. Entretanto, esse tempo pode variar em relação da aplicação. No teste realizado, utilizamos uma carga de tamanho pequeno, mas ao utilizar cargas maiores, problemas de superaquecimento, conflito de acesso a memória (visto que os Raspberry Pi's possuem uma memória principal compartilhada entre os 4 núcleos e a GPU) e o desbalanceamento de carga se tornam os novos gargalos que poderão prejudicar o desempenho do cluster. Junto a isso, medidas deverão ser tomadas para que o desempenho da máquina seja garantida, como refrigeração adequada e controle do balanceamento da carga. Vale notar também que o speedup obtido foi de 3,08 vezes, mas ao compararmos com a quantidade de núcleos utilizados, foi de apenas 25% eficiente.

Figura 4. Análise dos Tempo(s) x Processos dos Clusters Homogêneos

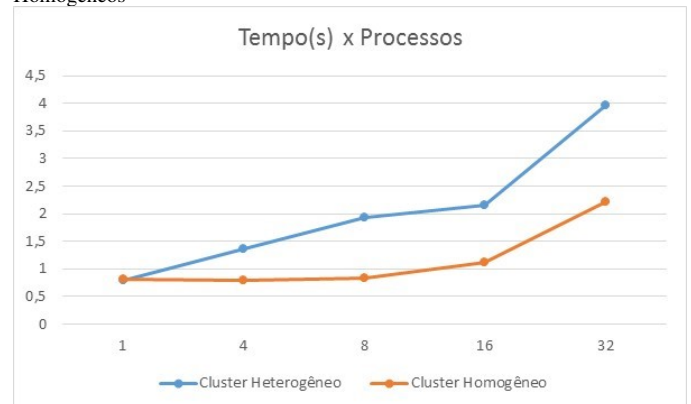


Fonte: Elaborada pelos autores.

### C. Cluster Heterogêneo x Cluster Hetemogêneo

Analisando os resultados de ambos os clusters podemos definir qual é o melhor para a aplicação utilizada.

Figura 5. Análise dos Tempo(s) x Processos dos Clusters Heterogêneos e Homogêneos



Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir da comparação dos clusters, vimos que cluster homogêneo apresenta um tempo de 1,78 vezes menor e um desempenho de 40% melhor em relação ao heterogêneo. Isso porque além de apresentar os mesmos núcleos, apresenta boa escalabilidade, ou seja, ao inserirmos outros Raspberry Pi's do mesmo modelo, a tendência do tempo é cair e a eficiência aumentar. Já em relação ao cluster heterogêneo, mesmo

apresentando quantidade de núcleos superiores, os gargalos, conflitos de acesso à memória e tempo de troca de contexto maiores foram os problemas para que seu desempenho não tenha sido melhor.

## V. CONCLUSÃO

O cluster homogêneo apresenta melhor desempenho em relação ao cluster heterogêneo, pois apresenta maior escalabilidade em relação a este. Entretanto, um problema comum entre eles é a aplicação em cargas com grande troca de informação, o tempo de troca de contexto afeta diretamente à eficiência do cluster. Alguns dos motivos que podem provocar isto é a diferença na velocidade de processamento dos cartões SD (classe 2 e classe 10), conflito de acesso à dados na memória, variação de temperatura e latência na comunicação, que está limitada a 10/100 Mbps.

Como trabalhos futuros, o experimento pode ser realizado com outros equipamentos com suporte a interface *Gigabit Ethernet*, como por exemplo *Banana Pi's*, que oferecem essa implementação, cartões SD classe 10 em todos os dispositivos, além da validação dos melhores casos de uso para um cluster Heterogêneo.

## REFERÊNCIAS

- [1] NASA, *NAS Parallel Benchmarks*,  
<https://www.nas.nasa.gov/publications/npb.html>, Acessado: 2017-11-06
- [2] gigafide, *How to Make a Raspberry Pi SuperComputer!*,  
<http://www.instructables.com/id/How-to-Make-a-Raspberry-Pi-SuperComputer/>, Acessado: 2017-11-06
- [3] PIERI, Arthur, *Configurando o SSH no Raspberry Pi*,  
<https://arthurpieri.wordpress.com/2015/08/07/configurando-o-ssh-no-raspberry-pi/>, Acessado: 2017-11-06
- [4] Raspberry Pi Foundation, *Passwordless ssh Access*,  
<https://www.raspberrypi.org/documentation/remote-access/ssh/passwordless.md>, Acessado: 2017-11-06
- [5] igjar, *Automatic communication between two Raspberry Pi computers (Linux machines) through SSH*,  
<http://iqjar.com/jar/automatic-communication-between-two-raspberry-pi-computers-linux-machines-through-ssh/>, Acessado: 2017-11-06
- [6] SAFFRAN, João, et al. *A low-cost energy-efficient Raspberry Pi cluster for data mining algorithms*, European Conference on Parallel Processing. Springer, Cham, 2016.
- [7] GARCIA, Gabriel A. and FREITAS, Henrique C. *Avaliação de Desempenho de um Cluster Raspberry Pi com NAS Parallel Benchmarks*, Outubro, 2015.