

JOSIVAL DOS SANTOS SILVA

**UMA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE
ENERGIA DE APLICAÇÕES BASEADAS EM AMBIENTE DE
COMPUTAÇÃO MÓVEL EM NUVEM**

Recife

2017



Universidade Federal Rural de Pernambuco

Unidade Acadêmica de Educação a Distância e Tecnologia

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada

**UMA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE
ENERGIA DE APLICAÇÕES BASEADAS EM AMBIENTE DE
COMPUTAÇÃO MÓVEL EM NUVEM**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Informática Aplicada
como exigência parcial à obtenção do título
de Mestre em Informática Aplicada

Linha de Pesquisa:

Sistemas Distribuídos

Orientador (a): Prof. Dr. Fernando Antonio Aires Lins

Co-orientador (a): Prof.(a) Dr.(a) Erica Teixeira Gomes de Sousa

Recife

2017



Unidade Acadêmica de Educação a Distância e Tecnologia

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada

**Uma Metodologia para Avaliação do Consumo de Energia de Aplicações
Baseadas em Ambientes de Computação Móvel em Nuvem**

JOSIVAL DOS SANTOS SILVA

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada, defendida e aprovada por unanimidade em 29/08/2017 pela Banca Examinadora.

Orientador:

Prof. Dr. Fernando Antonio Aires Lins

Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada - UFRPE

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Gilberto Amado de Azevedo Cysneiros Filho

Membro Interno – Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada (PPGIA) -
UFRPE

Prof. Dr. Robson Wagner Albuquerque de Medeiros

Membro Externo – Departamento de Estatística e Informática (DEINFO) - UFRPE

Prof. Dr. Nelson Souto Rosa

Membro Externo – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (CIN) –
UFPE

*Dedico esta dissertação ao Rei
da Glória, **Jesus Cristo.***

Maranata!

AGRADECIMENTOS

À **Deus**, o Criador do Universo.

À **Mauriceia** minha esposa, pela paciência e incentivo, e aos meus filhos **Jonathas, Esther e Davih**, por serem meu maior motivo para a construção de um legado.

Aos **Meus Pais e Familiares** pela toda educação e apoio.

À meu orientador, **Fernando Antônio Aires Lins**, por sua fantástica orientação, paciência, conselhos e sempre ter dado o incentivo necessário para a realização do trabalho.

À minha co-orientadora, **Erica Teixeira Gomes de Sousa**, por sua excelente orientação, paciência, disposição, assistência e apoio.

Aos **Colegas de Turma do Mestrado**, que me acompanharam nesta jornada.

À **todos os Professores do PPGIA** que contribuíram para minha formação, e aos Professores da graduação **Marcelo Mendonça e Cleyton Rodrigues**, com os quais tive incentivo inicial pela busca à pesquisa e progressão acadêmica.

À todos que contribuíram direta ou indiretamente com a minha formação.

À **Universidade Federal Rural de Pernambuco** pela infraestrutura para a realização do trabalho.

*“O Senhor dá a sabedoria; da sua boca é que vem
o conhecimento e o entendimento.”*

Provérbios 2.6

RESUMO

O aumento no uso de dispositivos móveis da primeira década deste século permitiu aos usuários executar diversas atividades anteriormente só possíveis através de computadores pessoais. No entanto, a utilização destes dispositivos é impactada pelas suas limitações computacionais conhecidas, tais como processamento de dados, memória RAM, armazenamento e a baixa autonomia de energia. Neste contexto, este trabalho apresenta uma metodologia de medição que pode ser aplicada a cenários que envolvam Mobile Cloud Computing (MCC). Esta metodologia de medição permite avaliar o consumo de energia de aplicações em ambientes de MCC usando diferentes cargas de trabalho. Além do consumo de energia, este trabalho de dissertação leva em consideração a métrica tempo de execução, derivando em uma métrica indireta, permitindo avaliar o impacto de diferentes fatores como tipos de nuvem (públicos e privados) e o tipo de conexão (3G, 4G e Wi-Fi) em execução no sistema. Foi possível através do uso da metodologia de medição proposta verificar e quantificar o impacto do uso MCC para a redução do consumo de energia de um *smartphone*. E ainda, realizar uma medição em aplicações que envolvam computação móvel em nuvem, aplicando uma estratégia que não interfere no sistema analisado, por meio de ferramenta de medição não invasiva, além de apresentar como selecionar e coletar as métricas, e tratar os dados para uma real avaliação do desempenho do sistema.

Palavras-chave: computação em nuvem móvel, processamento de imagem, avaliação de desempenho, medição, consumo de energia.

ABSTRACT

The increase in the use of mobile devices from the first decade of this century has enabled users to perform several activities previously only possible through personal computers. However, the use of these devices is impacted by their known computational limitations, such as data processing, RAM memory, storage and low power autonomy. Considering this context, to measure the impact of the energy consumption of mobile devices applications is considered a relevant activity. In this context, this work presents a measurement methodology that can be applied to scenarios involving Mobile Cloud Computing (MCC). This measurement methodology allows evaluating the energy consumption of applications in MCC environments using different workloads. In addition to the energy consumption, this work of dissertation takes into account the execution time metric, deriving in an indirect metric, allowing to evaluate the impact of different factors like types of cloud (public and private) and the type of connection (3G, 4G and Wi-Fi) running on the system. It was possible through the use of the proposed measurement methodology to verify and quantify the impact of MCC use to reduce the energy consumption of a smartphone. Furthermore, to perform a measurement in applications involving mobile cloud computing, applying a strategy that does not interfere with the analyzed system, through a non-invasive measurement tool, besides presenting how to select and collect the metrics, and treat the data for an evaluation of system performance.

Keywords: *mobile cloud computing, image processing, performance evaluation, measurement, energy consumption.*

SUMÁRIO

SUMÁRIO	vi
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	x
Lista de Acrônimos	xi
1. Introdução.....	2
1.1. Motivação e justificativa.....	4
1.2. Objetivos	5
1.3. Contribuições	6
1.4. Estrutura da dissertação	6
2. Fundamentação teórica.....	8
2.1. Fundamentos de computação móvel em nuvem	8
2.1.1. Computação móvel.....	8
2.1.2. Computação em Nuvem	10
2.1.3. Computação móvel em nuvem	13
2.2. Avaliação de desempenho.....	15
2.2.1. Técnicas de avaliação de desempenho	16
2.3. Considerações finais	20
3. Metodologia de avaliação do consumo de energia de Aplicações em ambientes de computação móvel em nuvem e Ferramentas de Geração de Carga de Trabalho	21
3.1. Descrição da metodologia proposta	21

3.2.	Ferramenta para geração de carga de trabalho.....	31
3.2.1.	Ferramenta para detecção de face	32
3.2.2.	Ferramenta matemática para cálculo números primos	33
3.3.	Considerações finais	33
4.	Trabalhos relacionados	34
4.1.	Avaliação de desempenho de ambiente móveis.....	34
4.2.	Avaliação de desempenho de ambientes móveis em nuvem.....	36
4.3.	Avaliação comparativa entre os trabalhos relacionados e o trabalho proposto	38
4.4.	Considerações finais	40
5.	Avaliação	42
5.1.	Detecção de faces em ambientes MCC	43
5.2.	Cálculo numérico em ambientes MCC	59
5.3.	Considerações finais	70
6.	Conclusões e trabalhos futuros	71
6.1.	Contribuições	71
6.2.	Limitações	72
6.3.	Trabalhos Futuros.....	72
7.	Referências.....	74

Lista de Figuras

Figura 2.1 Técnicas de avaliação de desempenho	17
Figura 3.1 Metodologia de Avaliação do Consumo de Energia de Aplicações em Ambientes de Computação Móvel em Nuvem.....	22
Figura 3.2 Sistema DAQ	27
Figura 3.3 Ferramenta de imagem	32
Figura 5.1 Cenário MCC adotado.....	43
Figura 5.2 Tempo de execução com imagens de resolução 50 dpi	49
Figura 5.3 Tempo de execução com imagens de resolução 100 dpi	50
Figura 5.4 Tempo de execução com imagens de resolução 200 dpi	52
Figura 5.5 Avaliação do consumo de energia	53
Figura 5.6 Consumo de energia por tarefa com imagens de resolução de 50 dpi	54
Figura 5.7 Consumo de energia por tarefa com imagens 100 dpi	55
Figura 5.8 Consumo de energia por tarefa com imagens 200 dpi	56
Figura 5.9 Percentual de Redução do consumo de energia	57
Figura 5.10 Comparação do consumo de energia por tarefa em diferentes tipos de nuvens	58
Figura 5.11 Tempo de execução com cargas de trabalho 500, 2000 e 3500	61
Figura 5.12 Tempo de execução com cargas de trabalho 5000, 6500 e 8000	62
Figura 5.13 Tempo de execução com cargas de trabalho 9500, 11000 e 12500	63
Figura 5.14 Consumo de Energia.....	64
Figura 5.15 Consumo de energia por tarefa com as cargas de trabalho 500, 2000 e 3500 números primos	65
Figura 5.16 Consumo de energia por tarefa com as cargas de trabalho 5000, 6500 e 8000 números primos	66

Figura 5.17 Consumo de energia por tarefa com as cargas de trabalho 9500, 11000 e 12500 números primos	67
Figura 5.18 Redução Percentual do Consumo de Energia	68
Figura 5.19 Redução Percentual do Consumo de Energia 2ª a 9ª carga de Trabalho (2000, 3500, 5000, 6500, 8000, 9500, 11000 e 12500)	69

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Comparação de abordagens para avaliação de desempenho	19
Tabela 4.1 Sumário dos trabalhos relacionados.....	39
Tabela 5.1 Configurações do Ambiente	45
Tabela 5.2 Cargas de trabalho	46

Lista de Acrônimos

BSD	<i>Berkeley Software Distribution</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DoE	<i>Design of Experiments</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IaaS	<i>Infrastructure as a Service</i>
MCC	<i>Mobile Cloud Computing</i>
PaaS	<i>Platform as a Service</i>
SaaS	<i>Software as a service</i>
SMTP	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i>

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a indústria de tecnologia vem mostrando um aumento significativo no interesse por computação em nuvem e dispositivos móveis. A computação em nuvem permite o uso de recursos computacionais por meio de provedores que possam estar em qualquer localização geográfica, acessíveis através da Internet (ARAÚJO *et al.*, 2011). Em paralelo ao avanço da computação em nuvem, os telefones celulares evoluíram de dispositivos simples que serviam para fazer chamadas telefônicas e enviar mensagens de texto, a dispositivos sofisticados usados por bilhões de pessoas para navegar em sites e executar vários tipos de aplicativos.

Recentes pesquisas da Gartner apontam que o mercado de aplicativos pode atingir US\$ 77 bilhões em 2017 (CNOVA, 2017). Os índices mostram que o mercado dos smartphones permanece aquecido a cada ano. Em 2016, mais de dois bilhões de pessoas no mundo passaram a ter um *smartphone*. O número de usuários de telefones inteligentes chegará a 2,56 bilhões em 2018. Com isso, os smartphones representarão 51,7% de todo o mercado móvel (CNOVA, 2017). E uma pesquisa divulgada recentemente pela Trends Report constatou que os dispositivos móveis têm ganhado cada vez mais espaço na vida das pessoas, influenciado pelas redes sociais na comunicação. Com crescimento de 81% no consumo de conteúdo voltado aos dispositivos móveis, os vídeos já correspondem a 25% do tráfego da Web, 14% a mais do que no ano de 2017. É a evidência que a mobilidade se tornou uma necessidade (CNOVA, 2017).

A maioria dos celulares de última geração, os *smartphones*, se transformaram em um dispositivo multifuncional que oferece uma grande variedade de serviços. Embora isto seja algo positivo, principalmente por parte dos usuários, há um impacto no aumento das necessidades energética, tendo em vista que os multiprocessadores requerem cada vez mais energia, não só pelas altas taxas de *clock* da CPU. Isso ocorre porque as telas grandes dos *smartphones* e *tablets* drenam mais rapidamente a carga disponível da bateria comparado aos antigos modelos de telefones móveis. Há uma busca pela redução do consumo de energia dos componentes por parte dos *designers* de *hardware* e *software*, fazendo com que as baterias durem mais tempo. Embora, algumas estratégias sejam otimizações que não influenciam a qualidade da

experiência dos usuários (por exemplo, desligar um componente não utilizado após um período determinado de tempo), outras abordagens podem realmente prejudicar os usuários na sua interação com o telefone (por exemplo, reduzindo o brilho da tela ou até desligando o dispositivo de forma inadequada).

Com o objetivo de minimizar esse problema, algumas empresas como HP, Intel, Microsoft, Phoenix e Toshiba criaram a ACPI (*Advanced Configuration and Power Interface*), em português Interface Avançada de Configuração e Energia, que fornece um padrão aberto para a configuração de dispositivos e gerenciamento de energia pelo sistema operacional (SANT'ANA; LEITE; MOSSÉ, 2010). Elas estabeleceram uma especificação para gerenciamento de energia e temperatura em computadores de maneira geral. Outra iniciativa de destaque é o programa Energy Star da EPA (*Environmental Protection Agency*), em português Agência de Proteção Ambiental (SANT'ANA; LEITE; MOSSÉ, 2010). Este programa visa a adoção de práticas e produtos com maior eficiência energética tanto por empresas quanto pela população de modo geral. Uma iniciativa voluntária de certificação destinada a identificar e promover produtos energeticamente eficientes para que qualquer um consiga economizar dinheiro gasto em contas de luz e reduzir as emissões de gases causadores do efeito de estufa. Computadores e monitores foram os primeiros produtos a receberem certificação.

Foi neste contexto que o paradigma *Mobile Cloud Computing (MCC)*, em português computação móvel em nuvem, surgiu, integrando a computação móvel com a computação em nuvem, visando estender a capacidade computacional dos dispositivos móveis por meio do provisionamento de recursos computacionais da nuvem (KUMAR; LU, 2010). Seguindo esta tendência de pesquisa de novos métodos para a economia de energia, esse trabalho apresenta uma metodologia para avaliação do consumo de energia de aplicações em ambientes móvel em nuvem. Esta metodologia é importante tendo em vista a considerável quantidade e diversidade de aplicações móveis existentes atualmente, e o fato de que alguns tipos de aplicações podem apresentar economia expressiva de energia ao usar nuvem enquanto outras podem não apresentar ganho significativo, por exemplo, tarefas significativamente menores. Compreendendo que, tarefa no contexto desse trabalho de dissertação,

trata-se de uma quantidade de trabalho computacional realizado ou a realizar dentro de um prazo pré-determinado, por exemplo, o processamento de uma ou mais imagens, ou ainda, um cálculo matemático. Esta metodologia é composta por um conjunto de atividades. Essas atividades proporcionam a realização de estudos sobre o consumo de energia, desde o seu projeto até a execução e análise, das aplicações no ambiente de nuvem móvel, possibilitando a geração de informações relevantes para possíveis tomadas de decisão. Poderão ser obtidas informações que ajudarão a entender, por exemplo, se há necessidade da utilização da nuvem computacional e que carga de trabalho oferece vantagens na migração para o ambiente móvel em nuvem.

1.1. MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Um dos principais problemas enfrentados por usuários e desenvolvedores de aplicações móveis é a escassez de recursos computacionais (SATYANARAYANAN *et al.*, 2009). Em paralelo a isto, estão os usuários requerendo ainda mais recursos e autonomia da bateria, enquanto que a característica móvel e a dimensão dos *smartphones* fazem com que recursos como memória RAM, processamento e armazenamento secundário sejam escassos (QI; GANI, 2012).

Os dispositivos móveis são limitados em vários recursos, entre eles o energético (VALLINA-RODRIGUEZ; CROWCROFT, 2013). Esta limitação torna-se aparente devido a diversos motivos, mas a baixa autonomia energética é a que mais se destaca. Os avanços são relativamente pequenos na produção e desenvolvimento de baterias mais eficientes e duráveis (BEZERRA, 2015). Paralelamente a isto, as demandas computacionais em dispositivos móveis continuam a aumentar. As aplicações, como jogos, ferramentas matemáticas e de processamento de imagens, requerem um esforço computacional crescente dos dispositivos móveis, que por sua vez, apresentam restrição de recursos computacionais (KUMAR; LU, 2010).

Considerando as limitações dos dispositivos móveis e a escalabilidade da computação em nuvem com recursos como Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS) e Software as a Service (SaaS) oferecidos na internet, muitas aplicações estão expandindo seus recursos de computação. Por meio do uso

de tais tecnologias a computação móvel em nuvem possibilitaria a criação de aplicações mais interativas e com características cognitivas que poderiam auxiliar pessoas com necessidades especiais como por exemplo, um deficiente visual (SATYANARAYANAN *et al.*, 2014). Por outro lado, surge como desafio a necessidade de que as aplicações móveis precisem consumir menos energia, e isto pode ser possível com o uso de nuvens computacionais. A migração das aplicações ou parte da execução de suas tarefas para nuvem, pode ser vista como uma forma plausível de expandir o tempo de uso dos dispositivos móveis, sem a necessidade de recarregar a bateria. Desta forma, a avaliação por meio de medição do consumo de energia em aplicações móveis se mostra imprescindível, pois poderá ajudar a encontrar soluções para a otimização energética.

1.2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como principal objetivo a proposição de uma metodologia para avaliação de consumo de energia de aplicações em ambientes de computação móvel em nuvens pública e/ou privada.

Os objetivos específicos desta dissertação são:

- Avaliar o consumo de energia de aplicações em ambiente móvel em nuvem;
- Desenvolver duas ferramentas para a geração de carga de trabalho, ambas no dispositivo móvel, no caso um *smartphone* e na nuvem, e também para a coleta da métrica em tempo de execução;
- Propor uma métrica específica para medir o consumo de energia por tarefa, no caso, a medição do consumo de energia de um determinado conjunto de instruções;
- Propor estudos de caso sobre o impacto do *offloading* de tarefas do dispositivo móvel para a nuvem em relação ao consumo de energia e ao tempo de execução destas tarefas.

1.3. CONTRIBUIÇÕES

A principal contribuição desta dissertação é a proposta de uma metodologia para avaliação do consumo de energia de aplicações de dispositivos móveis executadas em ambiente de nuvem, baseada na metodologia proposta de medição. Essa contribuição é relevante, pois propõe a adoção de estratégia de medição não invasiva, onde o sistema não sofre interferência por ocasião da medição, com ênfase ao estudo do consumo de energia de aplicações quando são executados localmente ou na nuvem.

As demais contribuições deste trabalho são:

- Um estudo do impacto do *offloading* de tarefas do dispositivo móvel para a nuvem, que avalia quanto a migração para nuvem computacional pode proporcionar economia de energia na realização de tarefas computacionalmente intensivas;
- Desenvolvimento de 2 ferramentas de geração de carga de trabalho, ambas baseadas em um estudo que faz referência a área de MCC (SILVA *et al.*, 2016). Tendo em vista que as ferramentas existentes não suprem os requisitos para a realização do experimento de avaliação de consumo de energia.
- Dois estudos de caso que medem o consumo de energia, tempo de execução e consumo de energia por tarefa de duas diferentes aplicações focadas na detecção de faces e no cálculo de números primos, atividades que geralmente utilizam recursos computacionais significativos.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica que são a base do presente trabalho. Na primeira seção são apresentados os conceitos básicos de MCC ou computação móvel em nuvem. A segunda seção apresenta os fundamentos básicos relacionados à avaliação de desempenho e as técnicas existentes para a realização de avaliação.

Já o Capítulo 3 apresenta a metodologia de avaliação de consumo de energia proposta nesta dissertação. Na primeira seção, cada uma das atividades que

compõem a metodologia será apresentada e detalhada. Por fim, na segunda seção, são apresentadas as ferramentas desenvolvidas para geração de carga.

O Capítulo 4, por sua vez, apresenta uma visão geral da área por meio dos trabalhos relacionados. Para uma melhor visualização, esses trabalhos foram categorizados em: trabalhos que abordam a avaliação de desempenho de ambientes móveis, e a avaliação de desempenho de ambientes móveis em nuvem. Após esta apresentação, será apresentada uma avaliação comparativa entre os trabalhos relacionados e trabalho proposto.

O Capítulo 5 apresenta os estudos de caso deste trabalho, e a avaliação do consumo de energia destes estudos de caso permitirá verificar se a metodologia proposta é adequada. Na primeira seção é apresentada uma avaliação do consumo de energia ao executar detecção de faces em fotos no formato JPG, em ambientes MCC e localmente. Na segunda seção uma avaliação de cálculo numérico em ambiente de MCC. Os *benchmarks* usados nos dois estudos de caso foram desenvolvidos para cada respectiva geração da carga de trabalho (detecção de faces, cálculo de números primos).

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões, as contribuições desenvolvidas no trabalho, as limitações e os trabalhos futuros vislumbrados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais sobre os temas abordados nesta dissertação. Primeiramente serão apresentados os conceitos básicos de MCC, a computação móvel em nuvem. Posteriormente, são apresentados os fundamentos básicos relacionados a avaliação de desempenho e as técnicas existentes para a realização desta avaliação.

2.1. FUNDAMENTOS DE COMPUTAÇÃO MÓVEL EM NUVEM

A miniaturização dos *smartphones* e a conectividade sem fio fez com que surgisse o *Mobile Cloud Computing* (MCC), em português Computação Móvel em Nuvem, uma área de estudo composta por duas outras áreas de relevância: *Mobile Computing* (Computação Móvel) e *Cloud Computing* (Computação em Nuvem). Desta forma, antes de apresentar a interseção dessas duas áreas, serão apresentados os conceitos básicos das duas áreas que a compõe.

2.1.1. COMPUTAÇÃO MÓVEL

O surgimento da computação móvel como paradigma computacional ocorreu por volta de 1980, onde os usuários poderiam carregar seus computadores pessoais para qualquer lugar, e manter uma certa conectividade com outras máquinas. Tornou-se possível construir computadores pessoais leves o suficiente para serem carregados, e que podiam ser conectados a outros computadores por meio de linhas telefônicas, usando um modem. A evolução tecnológica levou a mais ou menos à mesma ideia, mas com funcionalidade e desempenho muito melhores: o equivalente atual é um *notebook*, *netbook*, *smartphone*, ou ainda, um *tablet*, cada um com várias formas de conectividade sem fio, incluindo as redes de celulares, Wi-Fi e Bluetooth (COULOURIS *et al.*, 2013).

De forma geral, entende-se por computação móvel sistemas computacionais que mesmo ao serem mudados geograficamente de um lugar para outro, permitem que suas funcionalidades possam ser usadas (B'FAR, 2004). A computação móvel está presente na vida do homem desde a antiguidade. Ferramentas de computação móvel como o ábaco (calculadora), por exemplo, eram comumente usadas.

Atualmente existe uma infinidade de dispositivos de computação móvel que podem ser usados pelo homem, e pode-se citar celulares, *smartphones*, *mp3 players*, *notebooks*, inclusive alguns que podem ser até vestidos, como é o caso dos *smartwatches*, em português, relógios inteligentes.

Segundo COULOURIS et al., (2013), os *smartphones* têm funcionalidade de computação do tipo PDA (*Personal Digital Assistants*), em virtude de executarem sistemas operacionais como o Android do Google, o iOS da Apple ou o Windows Phone 7 da Microsoft. Eles têm câmeras embutidas e incorporam ou podem ser equipados com outros tipos de acessórios especializados, tornando-se uma alternativa aos equipamentos portáteis de finalidade específica. Por exemplo, um usuário pode ler um código de barras com a câmera de um *smartphone* a fim de obter informações para comparação de preços.

O aparecimento de novos ambientes de programação destinado a este tipo de equipamento possibilita o desenvolvimento de aplicações quase que totalmente independentes de dispositivo e fabricante. O Docker (DIEDRICH, 2017), por exemplo, possibilita o empacotamento de uma aplicação ou ambiente inteiro dentro de um container, e a partir desse momento o ambiente inteiro torna-se portátil para qualquer outro Host que contenha o Docker instalado. No entanto, o Docker utiliza como *backend default* o LXC (Linux Containers) (GRABER, 2017), com isso é possível definir limitações de recursos por container (memória RAM, CPU, I/O).

Esta “globalização” referente ao desenvolvimento para dispositivos móveis tem feito com que surja em aplicações que eram conhecidas apenas em ambiente de computadores de mesa, mais conhecidos como *desktops*, e assim fossem também disponibilizados neste novo tipo de plataforma. Além de aplicações, tornou-se possível também o pleno acesso à Internet, facilitando ainda mais o alcance aos mais distintos tipos de informações.

Em contrapartida as diversas vantagens que os *smartphones* apresentam, vale ressaltar que há limitações de tais dispositivos, com relação aos recursos de *hardware* e aos de *software*, como também de interatividade, tais como:

- **Processamento.** Os *smartphones* mais atuais são equipados com 8 núcleos de processamento, que atingem uma velocidade de cerca de 2,3 GHz. As configurações atuais mostram que houve um grande avanço em termo de capacidade computacional, e muitas vezes a capacidade computacional do smartphone não comporta bem a carga exigida por aplicativos atuais mais complexos.
- **Memória.** Um grande tamanho físico é ainda exigido para uma grande quantidade de memória. Isto se agrava quando tratamos de memórias para equipamentos portáteis, pelo fato destes serem equipamentos com tamanho físico limitado.
- **Tela.** A limitação do tamanho da tela é um ponto que pode impactar negativamente. As aplicações desenvolvidas para estes dispositivos não podem ultrapassar determinados limites tanto na horizontal quanto na vertical, e esses limites variam conforme o tamanho da tela do aparelho. Nos *smartphones*, a demanda por telas maiores resulta conseqüentemente de um maior consumo de energia da bateria.
- **Segurança.** Apesar da mobilidade ser um fator positivo nos *smartphones*, ele acaba trazendo implicações na questão da segurança dos dados. Com as mudanças de comunicação sem fio, condições de rede e assim por diante, os nós móveis nem sempre conseguirão manter uma conexão segura.
- **Autonomia energética.** Apesar do avanço tecnológico dos *smartphones*, a limitação na autonomia energética ainda deixa muito a desejar. Como os *smartphones* são indispensáveis no uso cotidiano para as mais diversas atividades, a autonomia energética se sobressai como limitação, pois a frustração do usuário pela indisponibilidade do dispositivo é geralmente significativa

2.1.2. COMPUTAÇÃO EM NUVEM

Segundo o NIST (CORREIA, 2017), A computação em nuvem é um modelo para habilitar o acesso por rede ubíquo, conveniente e sob demanda a um conjunto

compartilhado de recursos de computação (como redes, servidores, armazenamento, aplicações e serviços) que possam ser rapidamente provisionados e liberados com o mínimo de esforço de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços. De acordo com a definição proposta por VAQUERO *et al.*, (2008), o conceito de nuvem computacional se traduz como um grande conjunto de recursos virtualizados facilmente usáveis e acessíveis (tais como *hardware*, plataforma de implantação e/ou serviços). Estes serviços podem ser dinamicamente reconfigurados para uma carga variável, permitindo uma utilização ótima dos recursos. Este conjunto de recursos é explorado tipicamente por um modelo pague-por-uso no qual garantias são oferecidas pelo provedor da infraestrutura por meio de SLAs (*service level agreement*) customizados. Desta forma, o paradigma de computação em nuvem possibilita que usuários obtenham sob demanda, os recursos de forma expansível, entregues de maneira semelhante a serviços tradicionais como gás, água, eletricidade e telefonia (DINH *et al.*, 2013).

As nuvens computacionais podem ser classificadas sobre dois aspectos (ZHANG; CHENG; BOUTABA, 2010). O primeiro aspecto está relacionado com quem administra a infraestrutura e o segundo aspecto está associado com quem usa nuvem.

O primeiro aspecto das nuvens computacionais pode ser apresentado em três modelos distintos. Estes modelos são importantes, pois definem um padrão arquitetural para soluções de computação em nuvem (ARMBRUST *et al.*, 2010):

- **Infrastructure as a Service (IaaS).** O uso da virtualização diz respeito ao modelo de negócio que particiona os recursos de um *datacenter* entre os usuários sobre a forma de recursos virtualizados. A responsável pelo provimento de toda a infraestrutura necessária para a PaaS e o SaaS é a IaaS. O objetivo principal do IaaS é tornar mais acessível e fácil o fornecimento de recursos computacionais físicos, tais como rede, servidores e armazenamento.
- **Platform as a Service (PaaS).** Neste modelo de negócio, o provedor de serviço abstrai a máquina virtual e o sistema operacional utilizado, oferecendo ao usuário uma plataforma para desenvolvimento de *software*

de alto nível. Este modelo tem como benefício o dimensionamento transparente dos recursos de *hardware* durante a execução dos serviços (VAQUERO *et al.*, 2008). Desta forma, a PaaS oferece uma infraestrutura (tais como máquinas virtuais, sistemas operacionais, armazenamento) de alto nível de integração para implementar e testar aplicações na nuvem. O usuário não administra ou controla a infraestrutura subjacente, incluindo rede, servidores, sistemas operacionais ou armazenamento. Porém mantém-se com o controle sobre as aplicações implantadas, nesta infraestrutura. Exemplos de PaaS são Google App Engine (GOOGLE, 2017a) e *Heroku* (SALESFORCE, 2017).

- **Software as a Service (SaaS).** Este modelo de negócio é voltado para usuários comuns de internet, no lugar de administradores e desenvolvedores de sistema. Neste modelo, dados gerados por eles e *softwares* ficam armazenados na nuvem e podem ser acessados a partir de qualquer computador conectado à internet através de um navegador por meio de uma interface Web. O modelo de SaaS propicia sistemas de *software* com objetivos específicos que estão disponíveis através da internet para os usuários. No SaaS, o usuário não controla ou administra a infraestrutura subjacente, incluindo servidores, redes, sistemas operacionais, armazenamento ou mesmo as características individuais da aplicação, sem que haja a necessidade de utilizar configurações específicas. Com isso, os desenvolvedores não se concentram na infraestrutura e sim no negócio, promovendo um desenvolvimento rápido de sistemas de *software*.

O segundo aspecto das nuvens computacionais é definido pelos modelos de implantação da computação em nuvem, e podem ser divididos em nuvem privada, pública, comunitária e híbrida (MELL & GRANCE 2009), que são descritos a seguir.

- **Nuvem Privada.** No modelo de implantação de nuvem privada, a infraestrutura de nuvem é utilizada apenas por uma instituição, sendo esta nuvem local ou remota e gerida pela própria empresa ou por terceiros. Neste modelo de implantação são empregadas permissões de acesso aos

serviços. As técnicas utilizadas para provimento de tais características podem ser em nível de gerência de redes, configurações do provimento de serviços e a utilização de tecnologias de autorização e autenticação.

- **Nuvem Pública.** Neste modelo de implantação é disponibilizada para o público em geral à infraestrutura de nuvem, sendo acessada por qualquer usuário que conheça a localização do serviço.
- **Nuvem Comunitária.** No modelo de implantação de nuvem comunitária, um compartilhamento ocorre por várias empresas, suportada por uma comunidade específica que partilhou seus interesses, tais como a missão, os requisitos de segurança, política e considerações sobre flexibilidade. Este tipo de modelo de implantação pode existir remotamente ou localmente e geralmente é administrado por alguma empresa da comunidade ou por terceiros.
- **Nuvem Híbrida.** No modelo de implantação de nuvem híbrida, há uma composição de duas ou mais nuvens, que podem ser pública, comunitária ou privada, e que permanecem como entidades únicas, ligadas por uma tecnologia padronizada ou proprietária que permite a portabilidade de dados e aplicações.

2.1.3. COMPUTAÇÃO MÓVEL EM NUVEM

A Computação Móvel em Nuvem ou MCC (Mobile Cloud Computing) é uma infraestrutura adequada para permitir o armazenamento e processamento de dados de aplicações móveis em provedores de recursos como processamento, memória RAM, armazenamento, de modo a diminuir a utilização de recursos do próprio dispositivo móvel. Ao explorar a capacidade de computação e armazenamento de uma nuvem móvel, aplicações que fazem o uso intensivo da computação podem ser executadas por *smartphones* de baixo custo (GAO *et al.*, 2013).

De forma geral, a computação móvel em nuvem foi desenvolvida em cima de dois pilares: computação móvel e computação em nuvem. Atualmente, com o crescimento do mercado de dispositivos móveis, os usuários de *smartphones* estão cada vez mais demandando por novas funcionalidades e maior poder de

processamento. Contudo, fazer com que os *smartphones* usem processadores mais poderosos e tenham mais memória implica diretamente em maior preço do produto e também no consumo de bateria.

O MCC é um paradigma que está ainda em fase de consolidação, tanto na academia quanto na indústria. É definido pela disponibilidade de serviços de computação em nuvem em um ecossistema móvel. O MCC permite que a computação, armazenamento de dados e processamento de informações em massa possam ser transferidos para servidores de nuvem para melhorar a confiabilidade e disponibilidade de serviços, enquanto minimiza o consumo de energia e os requisitos computacionais em dispositivos móveis (LI *et al.*, 2015). De forma geral, o principal objetivo da computação móvel em nuvem é aumentar os recursos disponíveis no dispositivo móvel, bem como melhorar seu desempenho. Em complemento, com o desenvolvimento da área de MCC, será possível criar aplicações mais interativas e com o uso de tecnologias como reconhecimento de voz, linguagem natural, visão computacional, entre outras, tecnologias que requerem alto poder de processamento (SATYANARAYANAN, 1996).

Segundo SATYANARAYANAN *et al.*, (2009), o MCC introduziu o conceito de uma pequena nuvem que fica localizada próxima dos usuários móveis, para que estes possam rapidamente instanciar máquinas virtuais personalizadas que possibilitem executar em um dispositivo móvel o aplicativo requerido. Esta pequena nuvem é denominada *cloudlet*. A *cloudlet* é uma simples infraestrutura de nuvem, onde dispositivos móveis fazem *offloading* de sua carga de trabalho para um servidor (ou *desktop*, ou *cluster* de computadores *multi-core*) conectado a uma rede local sem fio de baixo custo que mantém conectividade com nuvens remotas. A técnica de *offloading* é uma operação que visa transferir o processamento e os dados de um dispositivo móvel para computadores com mais recursos físicos, com o intuito de aumentar o desempenho da aplicação e economizar energia do dispositivo móvel (GANI *et al.*, 2014).

Com base nestes conceitos, Bahtovcki e Gusev (BAHTOVSKI; GUSEV, 2014) propõem uma discussão sobre o problema de escolher se é melhor processar uma aplicação no próprio dispositivo móvel, ou na *cloudlet* via rede Wi-Fi, ou na nuvem

pública via rede 4G. Esta decisão é fruto de intensa investigação por considerar vários fatores, tais como o fato de saber que a cada ano o hardware móvel está cada vez mais robusto e também que aplicações móveis estão utilizando algoritmos mais complexos e informações em massa.

Segundo Kumar (KUMAR; LU, 2010) é possível fazer uma análise representativa da quantidade de energia economizada por um esquema de *offloading* em uma aplicação móvel. Em sua estratégia, ele atribui o cálculo sobre as métricas: número de instruções que cada uma determinada tem; tempo, do servidor na nuvem e o sistema móvel, respectivamente; largura de banda da conexão entre o cliente móvel e a nuvem; consumo de energia, em *watts*; frequência do processador, em MHz. Kumar também conclui que é possível que algumas variáveis possam influenciar na economia de energia, comprometendo inclusive. Um exemplo seria usar um smartphone com o processador de 4 núcleos para executar uma tarefa curta em termos de tempo de execução. Nesse caso ao invés de economizar ao utilizar a nuvem, estaria consumindo mais energia, motivado pela necessidade do uso de alguma rede, seja esta, rede móvel ou Wi-Fi.

2.2. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Na concepção, aquisição e uso de sistemas de computador, o desempenho é um critério fundamental que consiste em um conjunto de metodologias e técnicas que podem ser utilizadas, por exemplo, para se fazer comparações entre dois ou mais sistemas e encontrar o melhor para um dado conjunto de aplicações, decidir qual a melhor alternativa de design dentre várias opções, obter o melhor custo desempenho, dentre outros (VANDERWIEL; LILJA, 2000). A avaliação de desempenho não pode ser produzida mecanicamente, requer análise e perícia. Para cada avaliação, é essencial conhecer bem o sistema, o suficiente para compreender o que se pretende modelar e uma cuidadosa seleção da metodologia, carga de trabalho e ferramentas aplicadas.

Dado o mesmo problema ou dados, dois analistas podem interpretá-los de forma distinta e escolher diferentes métricas de desempenho e metodologias de avaliação (JAIN, 1991).

Assim, a análise de desempenho pode ser feita por meio de diversos objetivos, dentre eles:

- **Estabelecer a configuração adequada do sistema**, permitindo maximizar o desempenho sem causar perdas nos recursos;
- **Comparar alternativas**, observando o que mais se adequa com os requisitos estabelecidos;
- **Fazer previsão de desempenho em função do crescimento da carga**, verificando se pode ocorrer no sistema altas demandas em tempo curto.
- **Apontar perdas no sistema**, verificando se há gargalos que impactam na execução do sistema;

Na área de ciência da computação, os principais fatores do progresso tecnológico foi resultado impulsionado pela busca do desempenho. Tal busca aconteceu por vários fatores, dentre eles o econômico, no qual a intenção era obter o maior desempenho com o menor custo. Uma técnica de avaliação de desempenho consiste de um conjunto de atividades, regras que visam sistematização do processo (JAIN, 1991) (VANDERWIEL; LILJA, 2000).

2.2.1. TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Uma vez desenvolvido e em plena execução, um determinado sistema pode ser avaliado por meio de técnicas de medição. Se esta técnica não puder ser usada na avaliação de um componente isolado ou um subsistema, como por exemplo, durante a fase de concepção ou desenvolvimento onde o sistema ainda não se encontra totalmente funcional, será necessário utilizar outras técnicas existentes com o objetivo de prever o desempenho, conhecidas como técnicas baseadas em simulação e técnicas baseadas em modelagem analítica. As técnicas de medição, modelagem por simulação e modelagem analítica, são consideradas fundamentais para se encontrar a solução desejada quando se encontra um problema relacionado a análise de desempenho (OBAIDAT, 2009) (LILJA, 2005). A Figura 2.1 mostra uma visão geral sobre a área de avaliação de desempenho.

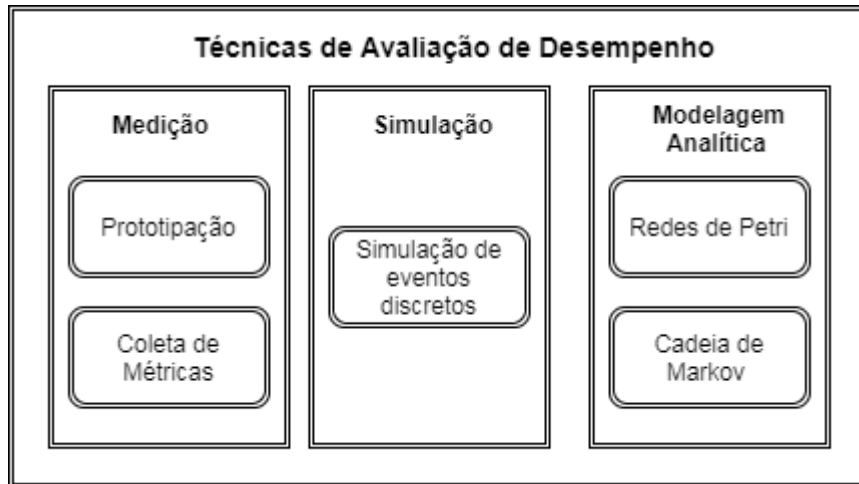


Figura 2.1 Técnicas de avaliação de desempenho

Fonte: O autor deste trabalho

Considerando a visão geral das técnicas de avaliação de desempenho, é possível compreendê-las como:

- **Medição.** Pode ser entendido pela realização de medições utilizando um sistema real ou protótipo. Ferramentas podem ser utilizadas para observar atividades em um sistema, o seu desempenho, coletar estatísticas, analisar dados, e por fim, apresentar os resultados.
- **Simulação.** A técnica de simulação envolve a construção de modelos da estrutura do sistema a ser estudado e a posterior experimentação de tais modelos. Num modelo de simulação, o *hardware*, o *software*, os programas de aplicação e os mecanismos internos do sistema devem ser especificados.
- **Modelagem analítica.** Esta técnica consiste no desenvolvimento de modelos e equações matemáticas que reproduzam o comportamento do sistema. Esta técnica pode ser usada em contextos em que o sistema real ainda não existe. Embora a técnica seja flexível, os resultados gerados não são tão precisos quanto as outras técnicas. A aplicação do uso de modelos matemáticos que correspondam ao sistema real viabilizam seu uso com os formalismos matemáticos, como: cadeias de *Markov* e Redes de *Petri*.

Ainda com relação à técnica de medição, ela é utilizada quando se faz necessário coletar dados de um sistema real. Um problema encontrado nessa técnica é que ela atua diretamente no sistema, disputando recursos e, via de regra, interferindo nos resultados a serem avaliados. Porém, há estratégias não invasivas, tais como o método DAQ (*Acquisition Data*) (OMEGA, 2016) que usa sensores para coleta de dados, um microcomputador e um microcontrolador.

Em se tratando de carga de trabalho, sua escolha é importante tanto quanto a definição de qual estratégia de medição deve ser seguida. As diversas estratégias de medição podem ser baseadas no conceito de evento, em que este é uma mudança no estado do sistema. A definição de evento advém da métrica que está sendo medida (VANDERWIEL; LILJA, 2000). Do ponto de vista do tipo de evento, ou eventos que integram a métrica, estas podem ser organizadas em uma das seguintes categorias (VANDERWIEL; LILJA, 2000) (OBAIDAT, 2009).

- **Métricas de contagem de evento** - equivalem as métricas que efetuam contagem da quantidade de vezes que um determinado evento ocorre;
- **Amostragem** - nesta estratégia, o registro de informações do sistema ocorre em intervalos de tempo fixos e o overhead independe do número de vezes que o evento ocorre. Dependendo da frequência de amostragem determinada para captura dos eventos, alguns eventos que ocorrem com pouca frequência podem ser perdidos;
- **Indireta** - é usada quando a métrica não está acessível diretamente. Essa métrica tem que ser encontrada através de outra métrica que pode ser medida diretamente;
- **Métricas de evento auxiliar** - registra valores de parâmetros secundários do sistema, sempre que um determinado evento ocorrer;
- **Profile** - uma métrica agregada utilizada para caracterização do comportamento global de um programa ou de aplicação de um sistema inteiro.

As principais estratégias para medição da métrica de interesse, no caso na identificação do tipo de evento, são: dirigida a evento: uma estratégia de medição orientada a eventos, responsável por registrar as informações necessárias para efetuar cálculos referente a métrica de desempenho sempre que ocorrer um ou mais eventos pré-selecionados; *tracing*: idêntica a estratégia orientada a eventos, exceto que, em vez de simplesmente registrar que o evento ocorreu, apenas alguma parte do estado do sistema é gravado para identificar a ocorrência do evento; amostragem baseia-se na gravação do estado do sistema em intervalos fixos de tempo que são independentes da ocorrência de eventos específicos; e por fim, Indireta: Esta estratégia de medição é utilizada quando a métrica de interesse não está diretamente acessível. Sobre as técnicas de avaliação de desempenho modelagem analítica, simulação e medição, existem várias considerações que ajudam a decidir qual técnica usar. Elas são mostradas e ordenadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Comparação de abordagens para avaliação de desempenho

Critério	Técnicas de avaliação de desempenho		
	Modelagem Analítica	Simulação	Medição
Etapa	Qualquer	Qualquer	Prototipação / Sistema real
Tempo disponível	Baixo	Médio	Variável
Precisão	Baixo	Moderado	Variável
Ferramentas	Análises	Ferramentas de simulação	Instrumentos de medição
Avaliação de <i>Trade-off</i>	Fácil	Moderado	Difícil
Custos	Baixo	Médio	Alto
Negociável	Baixo	Médio	Alto
Flexibilidade	Alto	Alto	Baixo

Fonte: Adaptação de Jain (JAIN, 1991) e Lilja (VANDERWIEL; LILJA, 2000)

A principal consideração é a fase do ciclo de vida em que o sistema se encontra. Medição somente é possível se algo similar ao sistema proposto exista, como prototipação, por exemplo. No caso de um projeto novo, somente pode-se escolher a modelagem analítica ou simulação. A próxima consideração é o tempo disponível para se fazer a avaliação. Na maioria dos casos os resultados requeridos são urgentes. Se for esse o caso, a modelagem analítica é provavelmente a única escolha viável. Simulações normalmente tomam bastante tempo. O nível de precisão desejado é outra consideração importante. Geralmente a modelagem analítica requer muitas simplificações e suposições. Simulações podem incorporar mais detalhes e requerem menos suposições e frequentemente estão mais próximos da realidade. Medições, apesar de soar como mais próximas da realidade, não podem gerar resultados precisos simplesmente porque parâmetros, tais como configurações do sistema, tipos de cargas de trabalho e tempo de medição, podem ser únicos para o experimento.

2.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou os conceitos e fundamentos teóricos usados como base para esta pesquisa. Este referencial detalhou os fundamentos da computação em nuvem móvel e da área de avaliação de desempenho. No capítulo seguinte serão apresentados os trabalhos relacionados a esta dissertação.

3. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DE APLICAÇÕES EM AMBIENTES DE COMPUTAÇÃO MÓVEL EM NUVEM E FERRAMENTAS DE GERAÇÃO DE CARGA DE TRABALHO

Atualmente, existe uma lacuna relacionada a metodologias e estratégias que forneçam à avaliação do consumo de energia em smartphones, especialmente quando envolve ambientes de computação móvel em nuvem. Com base nisto, alguns questionamentos podem surgir: há realmente vantagens, em termos de economia de energia, na migração de aplicações em dispositivos móveis para uma nuvem computacional? Se há economia, é possível quantificar isto? Até que ponto, o uso da nuvem móvel gera benefícios quando diferentes tecnologias de redes são utilizadas?

Para responder estas e outras indagações relacionadas, este capítulo apresenta uma metodologia de avaliação de consumo de energia de aplicações em ambientes de computação móvel em nuvem. Esta metodologia proposta é inspirada em uma tradicional referência da área de avaliação de desempenho (JAIN, 1991), e apresenta aspectos específicos de medição considerando ambientes de nuvem móvel.

Este capítulo está dividido em duas seções, a primeira com a metodologia proposta, e a segunda com a apresentação das ferramentas desenvolvidas para geração de carga de trabalho.

3.1. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta neste trabalho visa apresentar de forma prática um meio para que os analistas de sistemas possam fazer a medição do consumo de energia de aplicações em dispositivos móveis, avaliando o consumo de energia de suas aplicações, inclusive as que envolvam plataformas de nuvem móvel. A metodologia proposta é composta pelas atividades Entendimento do ambiente e Definição dos objetivos; Descrição dos parâmetros e configuração do ambiente MCC; Seleção das métricas; Definição da ferramenta de medição; Descrição da carga de

trabalho; Planejamento e execução dos experimentos; e por fim, Análise estatística dos experimentos. A Figura 4.1 apresenta uma visão geral da metodologia.

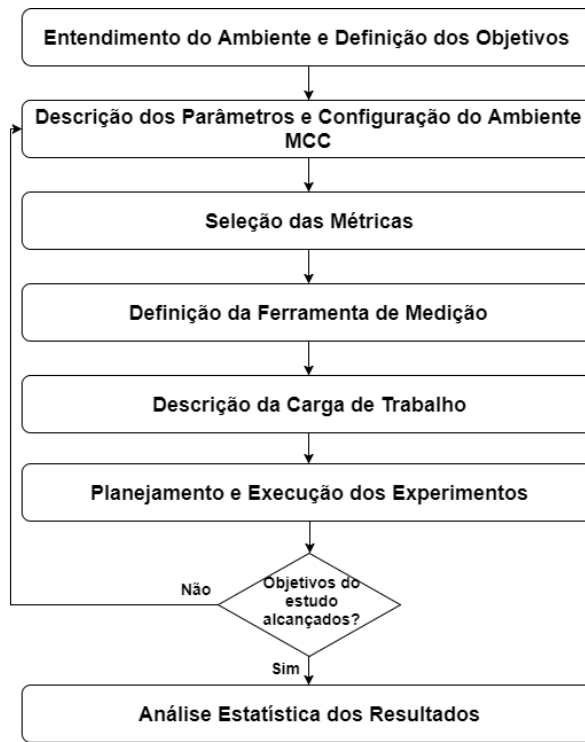


Figura 3.1 Metodologia de Avaliação do Consumo de Energia de Aplicações em Ambientes de Computação Móvel em Nuvem

Fonte: O autor deste trabalho

Entendimento do ambiente e definição dos objetivos. O entendimento do ambiente compreende a identificação das características da plataforma de nuvem, do dispositivo móvel, e do software utilizado como ferramenta para gerar carga de trabalho, considerando os critérios de desempenho que serão examinados no processo de avaliação. Com base nisto, este trabalho aplica-se a ambientes que envolvem computação em nuvem móvel, onde dispositivos móveis podem acessar serviços como por exemplo, em plataformas como OpenNebula, Eucalyptus, CloudStak, Ninbus, dentre outras, considerando a viabilidade técnica para o acessá-las e o acordo de licença. Há dispositivos móveis como, *smartphones* por exemplo, onde relevantes características podem ser analisadas, como processamento, memória, capacidade nominal da bateria e seu respectivo consumo de energia. E a *softwares*, levando em consideração se este é um sistema operacional, ou se é uma

aplicação apenas, pode ainda ser analisado se usa alguma biblioteca específica, ou se a programação foi feita de forma procedural.

Considerando o contexto deste trabalho, um ambiente de execução pode ser um dispositivo móvel, como um smartphone, que tenha instalado: um aplicativo que utilize transferência de arquivos entre dispositivos móveis ou para alguma aplicação na nuvem; ferramentas matemáticas, que também têm grande demanda por recursos como visto em exemplos como algoritmos de ordenação e *Fibonacci*; ferramentas de imagens, que em geral trabalham com processamento de imagem e realidade virtual, subdividido em detecção de face, reconhecimento de face, realidade aumentada e editor de imagens.

Os objetivos do estudo servem para nortear toda pesquisa que será feita, e devem ser definidos logo no início para as atividades seguintes serem baseadas nos mesmos. Por exemplo, um possível objetivo relevante no contexto do MCC é definir se o uso da nuvem traz vantagens significativas, em termos consumo de energia e de tempo de execução, quando comparado a uma execução local. Outro exemplo de objetivo é fornecer a medição do consumo de energia da bateria de um smartphone em diferentes ambientes possíveis de processamento de dados, mais especificamente uma execução local ou em nuvens computacionais. Outros objetivos podem compreender, por exemplo, avaliar o desempenho de diferentes nuvens computacionais, pública ou privada, no contexto de MCC; comparar o desempenho do consumo de energia entre diferentes smartphones. Após o ambiente e objetivos do estudo estiverem bem definidos, e estando estabelecido o envolvimento de MCC no ambiente, segue-se a próxima atividade onde são descritos os parâmetros e as configurações dos sistema.

Descrição dos parâmetros e configuração do ambiente MCC. Esta atividade fornece uma descrição de todos os parâmetros que afetam ou podem afetar o desempenho do ambiente MCC, que é o sistema analisado, e conseqüentemente o consumo de energia do dispositivos móvel. Esses parâmetros podem ser divididos em parâmetros do sistema e parâmetros da carga de trabalho (JAIN, 1991). Parâmetros do sistema podem ser subdivididos em *hardware* e *software*. Em termo de *hardware*, dependendo do contexto esteja sendo aplicada a medição, interferências podem

acontecer quando hardware ou máquinas virtuais com diferentes configurações são utilizados, por exemplo, caso seja diferente o número de núcleos e frequência do CPU/GPU, o tamanho da memória RAM e a tecnologia de rede utilizada (2G, 3G, 4G e Wi-Fi) do dispositivo móvel. Da mesma forma, os parâmetros do *software* utilizado tanto no dispositivo móvel como na nuvem computacional podem impactar nos resultados. Os parâmetros de carga de trabalho por sua vez descrevem as características das solicitações de usuário, e são adequados para exemplificar situações de exigência de recursos por ocasião de um uso real do dispositivo. Concluída a descrição dos parâmetros e as configurações do sistema, a metodologia proposta estando já definido qual o ambiente a ser analisado e que parâmetros terá, segue com a próxima atividade, que é a seleção de métricas.

Seleção das métricas. Em meio a utilização de serviços de nuvem computacional, surge a possibilidade da medição do consumo de energia como técnica para avaliar o desempenho de aplicações, comparando aos resultados de medições da execução local. A definição das métricas possíveis e diferentes níveis de cargas de trabalho devem ser delineadas, verificando se estão de acordo com os objetivos do estudo, caso não, precisam ser redefinidas, de modo a proporcionar uma estratégia de medição coerente. De acordo com Jain (JAIN, 1991), a definição do sistema pode variar dependendo dos objetivos do estudo. Apoiando assim o processo de escolha e configuração do ambiente de execução adotado. Na prática, apresenta-se uma restrição do âmbito do sistema a ser estudado.

A seleção dos critérios que possam nortear a avaliação do consumo de energia de aplicações em ambientes baseados em MCC precisam ser definidos. Estes critérios são chamados de métricas. Em geral, as métricas são relacionadas com a velocidade, a precisão, e a disponibilidade de serviços. O desempenho de uma rede, por exemplo, é medida pela velocidade (taxa de transferência e de latência), precisão (taxa de erro), e a disponibilidade (pacotes enviados). O desempenho de um processador é medido pela velocidade de tempo necessário para executar várias instruções.

No ambiente com dispositivo móvel que utiliza MCC, as métricas mais comuns são a utilização de CPU e de memória RAM, consumo de energia, e tempo de

execução. A métrica de consumo de energia refere-se à energia dispensada pela bateria do smartphone, e utiliza a unidade de carga em miliampere hora (mAh). A métrica tempo é uma informação fundamental, uma vez que está diretamente relacionada com a percepção do usuário. Na prática, a métrica tempo pode ser dividida em: tempo de comunicação, tempo de processamento e tempo de execução. Tempo de comunicação corresponde ao tempo necessário para transmitir dados entre os dispositivos móveis, ou para a nuvem; tempo de processamento diz respeito ao tempo que a tarefa passa sendo processada localmente ou na nuvem computacional; tempo de execução corresponde à soma do tempo de comunicação e tempo de processamento. Tempo de execução refere-se ao período total em que uma determinada tarefa é iniciada e concluída, podendo utilizar a unidade de tempo de milissegundos (ms). Considerando esse contexto, é coerente a aplicação da Equação 3.1, onde os resultados das coletas da métrica tempo de execução sejam convertidos de milissegundos para segundos, e da métrica consumo de energia, de miliampere por hora, para miliampere por segundo, e após isto, multiplicar os valores das duas métricas. Isto resultará em uma nova métrica, denominada como consumo de energia por tarefa, que pode melhorar o entendimento sobre a quantidade de energia consumida no dispositivo móvel.

$$Ct = \left(\frac{mA}{3600} \right) \cdot \left(\frac{Te}{1000} \right) \quad (3.1)$$

Ct refere-se ao consumo de energia por tarefa. O numerador mA corresponde à métrica consumo de energia e é dividido por 3600. Esse valor do denominador refere-se a 60 minutos multiplicados por 60 segundos, convertendo o consumo de miliampere por hora (mAh) para miliampere por segundo (mAs). Te refere-se ao tempo de execução, obtido em milissegundos na execução de cada tarefa, e quando há a divisão por 1000, é convertido para segundos. Por fim, os resultados parciais das conversões, que passarão ambos a mesma unidade de tempo (segundos), são multiplicados, resultando na métrica consumo de energia por tarefa. Esta estratégia de manipulação dos dados já obtidos, é necessária quando uma métrica não está acessível diretamente, como no caso da métrica consumo de energia por tarefa. Esta métrica, proposta neste trabalho, utiliza a unidade de medida miliampere (mA), e

refere-se a quantidade de energia consumida da carga bateria por uma respectiva tarefa.

O mAh é a abreviatura usada como padrão para o miliampere-hora, uma subunidade de medida (advinda do ampere-hora, ou simplesmente Ah) usada para identificar a elétrica por meio de uma corrente estável de um ampere ao longo de uma hora transferência de carga. Essa métrica não mede diretamente a energia de uma bateria (o que é feito pelas unidades joule ou watt-hora). A sua proposta é estabelecer e informar o tempo de duração da bateria. Assim, em teoria, quanto maior o miliampere-hora indicado na bateria, mais longo é o período que o seu *smartphone* ou *tablet* pode ficar desconectado da tomada. Para exemplificar, suponhamos que um dispositivo móvel tenha um consumo em situação normal de 200 mA e ele seja alimentado por uma bateria de 2.800 mAh totalmente carregada. Assim temos, dividindo a capacidade da bateria que é de 2800 mAh pelo consumo do dispositivo que é de 200 mA, resultará em 14 horas até que descarregue totalmente.

A seleção das métricas requer atenção, pois é uma atividade fundamental para uma coerente avaliação de desempenho do consumo de energia. Concluída esta atividade, onde as métricas já estejam selecionadas de acordo com o escopo do estudo, segue-se para a definição da ferramenta de medição.

Definição da ferramenta de medição. Depois de selecionadas as métricas, segue o procedimento de definição da estratégia para captura das métricas pela ferramenta de medição. A medição pode ser dirigida por acontecimentos, dirigida por amostragem ou indireta. Na medição dirigida por acontecimentos, o tempo entre as medições depende da ocorrência dos eventos; assim, o monitor é ativado somente quando ocorrerem certos eventos. Na medição dirigida por amostragem, o registro de informações do sistema ocorre em intervalos de tempo fixos. A medição indireta é usada quando uma determinada métrica não está diretamente acessível, e depende de outra métrica para ser encontrada, por exemplo, a métrica consumo de energia por tarefa. Assim, o procedimento de captura da métrica consumo de energia pode ser realizado com o método de aquisição de dados (DAQ) Data Acquisition (OMEGA, 2016). O DAQ usa sensores para coleta de dados, um microcomputador e um microcontrolador. Um sistema DAQ fornece meios de medir um fenômeno elétrico ou

físico, tais como temperatura, pressão, som, tensão ou corrente, com o software instalado em um microcomputador que lê os dados através de uma porta serial USB. Na Figura 4.2 é possível ter uma visão geral da montagem do ambiente de medição DAQ, que consiste de um sensor de corrente invasivo para coleta de dados, como um ACS712-20A ou ACS712-5A, um microcontrolador, por exemplo ATMEGA328 ou PIC 16F877A, e um microcomputador para coleta dos dados, que pode ser um *laptop* ou *desktop*.

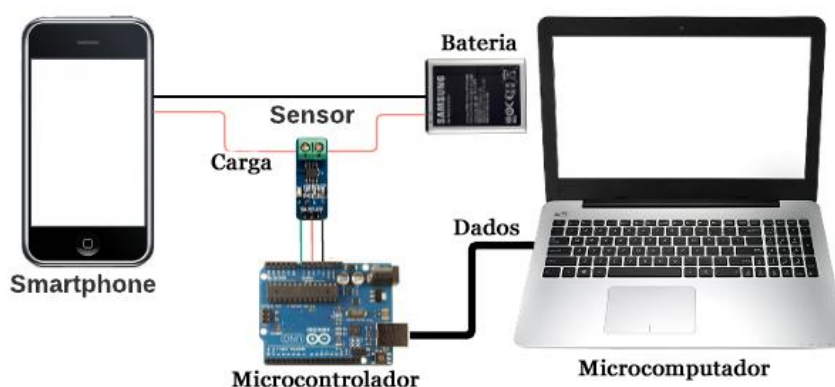


Figura 3.2 Sistema DAQ

Fonte: O autor deste trabalho

Esse sistema de medição pode ser visto como uma estratégia mista, por envolver *hardware* e *software*. Apesar de usar *software*, essa estratégia é bem recomendada por não ser intrusiva ao sistema, não consumindo recursos do smartphone. Nessa estratégia, o *software* que coleta as métricas é instalado no microcomputador, não interferindo assim no consumo de energia do smartphone. Considerando os objetivos deste trabalho, para a coleta de uma métrica como consumo de energia, sensores de corrente podem ser aplicados. No entanto, faz-se necessário que o sensor de corrente tenha a sensibilidade e indicação do tipo de corrente apropriados. Assim, os sensores de corrente que usam o princípio do efeito *Hall* de elementos magnéticos são mais indicados para proceder com a leitura do consumo de energia (EBAH, 2017). Sensores que utilizam o efeito *Hall* são diferentes dos sensores mais simples, onde o sensoriamento magnético é feito através de bobina. Os sensores de corrente têm a capacidade de medir Correntes Alternada (CA) e Direta (CD). A corrente nominal destes sensores desempenha um papel importante

na exibição de sensibilidade do sensor. Isto ocorre porque eles podem medir formas de onda CA e CD. A escolha do sensor com base apenas neste parâmetro pode ser sujeito a erros, já que os valores de pico positivo e negativo podem extrapolar os valores do intervalo de medição. Sensores de corrente invasivos, são geralmente usados em medições de baixa corrente. Nestes modelos, o condutor é ligado aos terminais do transdutor (FORGHANI-ZADEH; RINCON-MORA, 2002) (ZIEGLER et al., 2009). Existem sensores de corrente não invasivos, mais comumente usados em alta corrente CA, tais como residenciais de 110 Volts ou superior. Estes por sua vez, não fornecem resultados confiáveis em correntes CD com tensões mais baixas, como a de dispositivos móveis que são cerca de 5 Volts.

Para que haja uma captura coerente, necessita que seja feita uma análise sobre qual é o sensor mais apropriado para ser utilizado, levando em consideração a sensibilidade, aplicabilidade a que se destina o sensor, no que se refere ao tipo do sensor que pode ser usado em Corrente Contínua(CC) ou Corrente Alternada (CA), e se a sensibilidade é compatível. Os dispositivos móveis utilizam Corrente Contínua(CC), com voltagem e corrente baixas, por isso é requerido perícia sobre qual sensor utilizar. Uma forma de proceder com uma correta escolha do sensor é verificar as informações técnicas do sensor por meio dos manuais dos fabricantes.

A fim de possibilitar a coleta de dados, uma ferramenta de medição precisa ser usada. Geralmente, uma ferramenta de medição realiza atividades como coleta, análise e apresentação dos dados. Por isso, a correta escolha do sensor é essencial, observando quais são os objetivos do estudo. Inclusive, se houver medições de consumo de energia em ondas CA ou CD, o fator sensibilidade do sensor precisa ser levado em consideração. Para cada tipo de cenário, existem ferramentas de medição apropriadas, sejam estas baseados em softwares, *hardwares* ou mistos. Especificamente no caso de dispositivos móveis como *smartphones*, o sensor mais apropriado é o sensor do tipo invasivo, onde praticamente não há perdas na leitura, por este precisar ser ligado diretamente no cabo que a carga trafega. Estando a ferramenta de medição delineada, por exemplo se será invasiva ou não, segue-se a descrição do esforço requerido no momento da medição, que a carga de trabalho que será estabelecida.

Descrição da carga de trabalho. A carga de trabalho tem como finalidade emular esforços computacionais similares a situações reais, de modo a exigir que o sistema funcione de forma equivalente ao ambiente real. O sistema precisa ser representado pela carga de trabalho que é imposta (JAIN, 1991). De modo a delinear a aplicação do tipo de carga de trabalho, buscando relacionar a carga de trabalho aos objetivos do sistema, observando qual é o foco do estudo. Se o objetivo for medir o consumo de energia, no momento que é executado por exemplo, o processamento de imagens ou o cálculo numérico poderia ser realizado com o desenvolvimento de ferramentas que gerem cargas de trabalho com detecção de faces ou cálculo de números primos. Se o objetivo do sistema for alimentar um repositório de arquivos, uma ferramenta de transferência de arquivos poderia ser usada para executar as tarefas de transferência de dados. Por exemplo, a carga de trabalho para fazer a comparação do desempenho de diversos sistemas de banco de dados pode consistir em um conjunto de consultas. Dependendo da técnica de avaliação escolhida, a carga de trabalho pode ser expressa de diferentes formas. Para a medição, a carga de trabalho pode consistir em requisições do usuário para ser executado nos sistemas. Em todos os casos, é essencial que a carga de trabalho seja representativa do uso do sistema no mundo real. Para produzir cargas de trabalho representativas, é sugerido medir e caracterizar a carga de trabalho sobre sistemas existentes (JAIN, 1991). Uma vez descrita as cargas de trabalho, com diferentes níveis de esforço computacional, o planejamento do experimento pode ser iniciado.

Planejamento e execução dos experimentos. Pode-se afirmar que o planejamento de experimentos considera o impacto de determinados fatores e seus níveis no desempenho da infraestrutura analisada.

Nesta atividade, uma abordagem pode ser utilizada, que é o *Design of Experiments* (DoE), um procedimento eficiente para o planejamento dos experimentos (PROUST; JMP, 2009). A abordagem DOE começa com a determinação de objetivos do experimento e a seleção dos fatores relevantes para o estudo. Projetos experimentais bem conduzidos maximizam a quantidade e a qualidade da informação que pode ser obtida por um determinado número de esforço experimental. Na elaboração de um plano experimental, antes que sejam iniciados os experimentos

possíveis, fatores são definidos, tais como tecnologias de rede (2G, 3G, 4G ou Wi-Fi), tipos de nuvens (públicas ou privadas) e protocolos de comunicação (HTTP, SMTP, FTP).

O planejamento estabelece a sequência de experimentos para avaliação do sistema. Uma vez que esteja definida uma lista de fatores e seus respectivos níveis, é preciso decidir sobre qual será a sequência de experimento. Na prática, é eficaz conduzir um experimento em duas fases. Na primeira fase, o número de fatores que podem ser grandes, mas o número de níveis é pequena. O objetivo é determinar o efeito relativo dos vários fatores. Na maioria dos casos, isso pode ser feito com análises estatísticas fatoriais fracionárias. Na segunda fase, o número de fatores é reduzido e o número de níveis de fatores que têm significativo impacto é aumentada. Outro ponto importante é o isolamento do ambiente de medição, com o objetivo de reduzir as variáveis ou fatores que podem influenciar o sistema (JAIN, 1991). Assim, antes do início do experimento, alguns exemplos de passos podem ser seguidos, como carregar totalmente a bateria do *smartphone*; alterar as configurações de alertas como bip e vibração de aviso de bateria fraca, por exemplo, evitando que eventos inesperados possam interferir no estudo; desativar as demais aplicações do *smartphone*, permitindo assim que apenas a ferramenta de carga de trabalho seja executada; isolar o acesso a rede Wi-Fi, onde apenas o dispositivo móvel possa estar conectado ao roteador; isolar da máquina virtual da nuvem, assegurando que esteja em execução apenas a aplicação que foi definida no sistema. Outro ponto relevante que deve ser considerado refere-se ao número de repetições no estudo, a fim de obter resultados com relevância estatística suficiente (LILJA, 2005).

Após o planejamento dos experimentos, a execução dos mesmos pode ser iniciada. Porém, caso ainda no planejamento dos experimentos apresente alguma incoerência com os objetivos do estudo, faz-se necessário que seja revista a atividade de descrição dos parâmetros e as configurações do sistema. E assim, possa ser feita a verificação de que estejam bem definidas as demais atividades, se estão em consonância com os objetivos do estudo, que é medição do consumo de energia do *smartphone*, para que os experimentos possam ser iniciados, seguindo assim, para a próxima atividade da metodologia, que é a análise estatísticas dos resultados.

Análise estatística dos resultados. Esta última atividade visa principalmente o refinamento, análise e apresentação dos dados obtidos. As métricas obtidas podem eventualmente apresentar alta variabilidade e esta possibilidade deve ser cuidadosamente avaliada. Considerando um ambiente de MCC, esta variabilidade é inerente ao próprio ambiente de estudo porque envolve uma nuvem computacional e redes de computadores com diferentes tecnologias de rede. Tal oscilação corresponde a eventuais perturbações no sistema, que acabam gerando valores atípicos, chamados de *outliers*. Assim, os dados que não estão em consonância com a realidade, os *outliers*, são removidos para que não interfiram negativamente na análise dos resultados. O motivo para realizar a retirada de outliers é que durante a medição podem ocorrer erros relacionados aos componentes da infraestrutura analisada ou a configuração do ambiente de medição. Quanto maior o número de medições, menor será a variabilidade dos dados provocados por esses erros (JAIN, 1991). Finalmente, recomenda-se aplicar cálculos estatísticos, tais como desvio padrão, variância, média, dentre outros.

3.2. FERRAMENTA PARA GERAÇÃO DE CARGA DE TRABALHO

Para viabilizar a aplicação da metodologia proposta neste trabalho, e promover uma coerente geração de carga de trabalho em dispositivos móveis, duas ferramentas foram desenvolvidas. Ambas são direcionadas para a plataforma Android. A primeira apresentada na Seção 3.2.1, foi desenvolvida para executar o processamento de imagem e a segunda, que apresentada na Seção 3.2.2, trata-se de uma aplicação matemática. Ambas ferramentas executam exclusivamente a tarefa a que se destina. A motivação para usar o processamento de imagem e uma ferramenta matemática para geração de carga, baseia-se no fato de que estas opções de *benchmarks*, são as aplicações mais citadas na literatura (SILVA *et al.*, 2016). As ferramentas são compostas de dois módulos: um módulo instalado no servidor e outro instalado no dispositivo móvel. O módulo do dispositivo móvel tanto executa localmente a tarefa de geração de carga, como requisita a execução ao módulo do servidor, retornando o resultado da computação. A importância das ferramentas se deve a realização de experimentos em um ambiente real (local ou nuvem).

3.2.1. FERRAMENTA PARA DETECÇÃO DE FACE

A primeira ferramenta está relacionada ao processamento de imagens, mais precisamente na detecção de faces em imagens no formato JPG. Essas imagens foram previamente salvas no dispositivo e no servidor, com 9 diferentes resoluções e números de faces. Para tornar possível a detecção de faces, a ferramenta foi implementada com a utilização da biblioteca OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*), lançada sob uma licença BSD e, ou seja, é livre para o uso acadêmico e comercial. Esta biblioteca possui interfaces C++, C, Python e Java e suporta Windows, Linux, Mac OS, iOS e Android. A Figura 4.2 apresenta a tela principal da ferramenta que foi desenvolvida para gerar carga de trabalho com uso de detecção de faces.



Figura 3.3 Ferramenta de imagem

Fonte: O autor deste trabalho

Para iniciar cada tarefa, primeiro teria que ser preenchido o campo Arquivo. Este campo refere-se ao nome da imagem a ser processada, salvo anteriormente no disco do *smartphone* ou no servidor na nuvem computacional. Ao clicar no botão Local, a tarefa é processada localmente, e a contagem do tempo é iniciada. Ao concluir a tarefa, a contagem do tempo é finalizado, apresentando no campo Tempo Gasto o resultado do tempo de execução, indicando assim o fim da tarefa. Da mesma

forma, se for clicado o botão Nuvem, é reiniciado a contagem do tempo, sendo que a execução da tarefa de processamento de imagem ocorre no servidor remoto, a função do smartphone nesse caso, é apenas fazer a requisição ao servidor, que por sua vez, executa a tarefa de detecção de faces, retornando ao término da tarefa na nuvem, que foi concluída. Assim que o aplicativo recebe o retorno do servidor, é encerrado a contagem do tempo. Assim, a métrica tempo de execução é coleta em todos os experimentos. A comunicação ao servidor remoto é feita através de *webservice* por meio do protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*).

3.2.2. FERRAMENTA MATEMÁTICA PARA CÁLCULO NÚMEROS PRIMOS

A ferramenta matemática apresenta-se com o mesmo *layout* da ferramenta de imagem, com uma mudança no campo Arquivo, que na ferramenta matemática é denominado Quantidade. Assim como a ferramenta de imagem, a ferramenta matemática executa tarefas relacionadas a que foi objetivada para geração da carga de trabalho. Assim, o cálculo de números primos é executado localmente e no servidor na nuvem computacional e coleta a métrica tempo de execução. A diferença é que a ferramenta matemática, ao invés de processar uma imagem, faz o cálculo de números primos, e retorna o intervalo da quantidade de números primos informado no campo Quantidade antes da tarefa ser iniciada. A ferramenta calcula o intervalo de uma determinada quantidade de números primos. O algoritmo para executar a referida tarefa foi organizado de forma procedural, sem utilização de biblioteca externa. A comunicação ao servidor remoto é feita através de *webservice* por meio do protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*).

3.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou a metodologia para avaliação de desempenho de aplicações em ambientes de computação móvel em nuvem com base na técnica de medição. Detalhou as atividades que compõe a metodologia proposta. Descreveu na Seção 3.2 as ferramentas de geração de carga de trabalho que foram desenvolvidas. Para ilustrar e avaliar o que foi proposto neste capítulo, no próximo serão apresentados estudos de caso mostrando na prática todas as atividades descritas na metodologia proposta.

4. TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta os trabalhos encontrados na literatura relacionados ao contexto desta dissertação e está dividido em quatro seções. A primeira seção aborda trabalhos relacionados à avaliação de desempenho de ambientes móveis. Na segunda seção, são abordados os trabalhos referentes a avaliação de desempenho de ambientes móveis em nuvem. A terceira seção mostra uma avaliação comparativa entre os trabalhos relacionados e o trabalho proposto. Por fim, a quarta seção apresenta as considerações finais.

Foram utilizados quatro critérios na busca por trabalhos relacionados para essa dissertação. O primeiro critério para o trabalho relacionado é que houvesse a avaliação de desempenho de ambientes móveis, considerando a técnica de medição. O segundo critério é que os trabalhos relacionados apresentem a avaliação de desempenho de ambiente móvel em nuvem. O terceiro critério é com relação à ferramenta de medição, que poderia ser invasiva (onde uma aplicação é executada paralelamente a ferramenta de geração de carga), ou não invasiva. O quarto e último critério está relacionado a existência/uso de ferramenta de geração de carga de trabalho, levando em consideração as que são mais comuns entre os *benchmarks* utilizados atualmente, segundo um relevante estudo sobre MCC (SILVA *et al.*, 2016)

4.1. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE AMBIENTE MÓVEIS

Saipullah, *et al.* (SAIPULLAH *et al.*, 2013) apresentam uma abordagem baseada em medição usando um wattímetro (não-invasivo) e outra com um aplicativo Android chamado *PowerTutor* (invasivo). O wattímetro e o *PowerTutor* mediram o consumo de energia de oito níveis de carga de trabalho com o processamento de imagens. Os resultados mostraram que não houveram diferenças significativas entre o wattímetro e o aplicativo *PowerTutor*, inclusive o método invasivo não interferiu na medição. Nesse artigo, os autores mostram que a diferença dos resultados não foi significativa entre o wattímetro e o aplicativo *PowerTutor* ($p > 0,01$). Segundo os autores, apesar de o método baseado em medição (wattímetro) seja mais preciso do que método baseado em estimativa (*PowerTutor*), em termos de consumo de energia,

o aplicativo *PowerTutor* provou que fornece estimativa precisa de consumo de energia em tempo real para *smartphones* da plataforma Android.

Anuar, *et al* (ANUAR *et al.*, 2012) apresentaram duas aplicações Android baseadas no processamento de vídeo. Uma delas usa a biblioteca OpenCV, e a outra usa a biblioteca de algoritmo simples com método de processamento de imagem, Sem qualquer otimização de nível de código-fonte, chamada *CamTest*. Em cada quadro capturado do vídeo, foram aplicados oito métodos de processamento de imagem. A eficiência e o consumo de energia das duas aplicações são comparados, observando a taxa de processamento e o consumo de energia do dispositivo. Segundo os autores, os resultados experimentais mostraram que os métodos que utilizavam a biblioteca OpenCV eram mais rápidos, e mais eficientes em termos energéticos do que os que utilizavam o *CamTest*.

Carvalho (CARVALHO, 2015), apresentou a modelagem e implementação de um ambiente de medição que auxilia na avaliação do consumo energético de dispositivos móveis com o sistema operacional *Android*. O ambiente proposto pelo autor permitiu que fosse feita uma análise sobre o consumo de energia de dispositivos móveis com processadores com diferentes frequências. Uma infraestrutura genérica de medição, a qual permite a coleta de tensão e corrente de dispositivos alimentados por bateria foi criada juntamente com um canal que permite a comunicação com um computador para análise dos dados. No experimento, foi construída uma plataforma Web para manipulação de componentes do dispositivo e replicação de testes de forma automatizada. Para testar o uso do ambiente proposto, foram executados oito testes envolvendo navegação *Web*, *Streaming* de vídeo e carga de processamento nos *smartphones* disponíveis

Os trabalhos ((SAIPULLAH *et al.*, 2013), (ANUAR *et al.*, 2012) e (CARVALHO, 2015)), mencionados nesta seção, se limitaram a aplicar seus estudos a dispositivos móveis com execução local apenas. Todos os três utilizaram a mesma métrica, consumo de energia. Dois desses trabalhos ((SAIPULLAH *et al.*, 2013), (CARVALHO, 2015)) usaram ferramenta de medição não invasiva com relação ao sistema em estudo. O que difere os trabalhos desta seção ao trabalho proposto nesta dissertação é que o trabalho proposto se estendeu ao ambiente móvel em nuvem, além da

execução local. Além disto, utilizou duas outras métricas, tempo de execução e consumo de energia por tarefa.

4.2. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE AMBIENTES MÓVEIS EM NUVEM

Esta seção descreve os trabalhos que apresentam a proposta de avaliação e desempenho por meio da técnica de medição em dispositivos móveis em nuvem. Indrawan, *et al* (INDRAWAN *et al.*, 2013) propuseram um sistema para dispositivos móveis na plataforma Android que usa uma API chamada Face.com para processamento de imagem na computação em nuvem. Um aplicativo específico também usou a realidade aumentada como um visualizador de informações para usuários. Neste artigo, os autores propuseram também avaliar o tempo de execução em MCC, que foi definida em três módulos principais, detecção de face no dispositivo móvel Android, reconhecimento de face no servidor da nuvem, usando GAE e API Face.com, e por fim, realidade aumentada como resultado de um módulo de reconhecimento facial no dispositivo móvel.

Costa, *et al.* (COSTA *et al.*, 2014) apresentaram uma avaliação da qualidade da Internet móvel em três capitais do nordeste do Brasil com um estudo comparativo entre o uso de *cloudlets* e a nuvem pública para realizar o *offloading*. Além disso, discutiram em seu trabalho os fatores que impactam na tomada de decisão de quando e onde fazer *offloading*. Propuseram ainda uma metodologia com duas aplicações: o NETester, que realiza operações que permitem identificar taxa de *upload*, *download*, RTT, total de pacotes perdidos e *jitter* entre o dispositivo móvel e as máquinas virtuais; e o BenchImage, que é uma aplicação de processamento de imagem com efeitos (filtros) em fotos. Executaram ainda três experimentos: o primeiro realizou a medição da qualidade da internet móvel, o segundo mediu a cobertura da rede 4G e o terceiro analisou quando fazer o *offloading* e qual o impacto na rede 4G. O aplicativo foi desenvolvido com as opções de executar totalmente no dispositivo móvel e executar parcialmente, ao fazer *offloading* da tarefa para a nuvem pública ou para o *cloudlet*. Os serviços de dados de quatro operadoras foram contratados para avaliação.

Santana (SANTANA, 2016) apresentou uma metodologia de avaliação de desempenho composta por técnicas de medição e de simulação, para um ambiente móvel em nuvem. A metodologia que o autor propôs foi aplicada a dois estudos de caso. Um estudo de caso consiste na execução do *benchmark Linpack* na plataforma Android *cloudbench*, e outro estudo de caso com cálculos de números primos, ambos no próprio dispositivo móvel e na nuvem computacional. Este trabalho objetivou avaliar se a nuvem poderia realmente executar tarefas com menor tempo de resposta que o dispositivo móvel.

Sommers e Barford (SOMMERS; BARFORD, 2012) propuseram a comparação do desempenho das redes móveis e da rede Wi-Fi usando dados fornecidos por usuários do aplicativo *Speedtest.net*. A avaliação de desempenho considerou as métricas tempo de *Upload / download* e a latência em mais de 3 milhões de testes iniciados pelo usuário de aplicativos iOS e Android em 15 diferentes áreas metropolitanas ao longo de um período de 15 semanas. As comparações mostraram que: (i) o WiFi ofereceu melhor tempo de *download / upload*, e um maior grau de consistência em latência; (ii) as redes Wi-Fi em geral oferecem menor latência, mas a consistência em latência é muitas vezes melhor com acesso as redes móveis; (iii) o rendimento e a latência variam amplamente, dependendo do tipo de acesso particular (por exemplo, HSPA, EVDO, LTE, WiFi, etc.) e provedor de serviço.

No artigo de Silva (SILVA *et al.*, 2017a) os autores apresentaram o *SmartRank*, uma abordagem de agendamento para execução do particionamento de carga e descarregamento para aplicações móveis usando computação em nuvem para aumentar desempenho em termos de tempo de resposta. Os autores aplicaram uma abordagem para o reconhecimento facial na *cloudlet* com a classificação de recursos através de métricas consumo de energia e tempo de execução. Além disso, a ferramenta foi avaliada de duas formas. Primeiro, usando modelagem analítica com o formalismo matemático cadeias de *markov* em tempo contínuo, e depois usando o planejamento de experimento fatorial completo para calibrar o *SmartRank* com a decisão de particionamento mais adequada. Assim, o *SmartRank* usou uma estratégia que pode ser extensível para incluir novos parâmetros e torná-lo aplicável a outros cenários.

Sirirama, Paniagua e Flores (SRIRAMA; PANIAGUA; FLORES, 2011) propuseram o *CroudSTag*, uma aplicação Android que auxilia na formação de grupos sociais de interesse comum em dispositivos móveis. O aplicativo obtém um conjunto de imagens de uma nuvem de armazenamento, usa serviços de reconhecimento de rosto para identificar pessoas e forma grupos sociais no Facebook. The *CroudSTag* centra na aplicação móvel e não nas arquiteturas dos cloudlets para melhorar o desempenho, em termo de tempo de execução.

Considerando os trabalhos relacionados apresentados nesta seção, um ponto comum entre eles foi que todos abordaram o uso de ambientes móvel em nuvem, porém dentre as ferramentas utilizadas na medição que foi possível a identificação, todos fizeram uso do tipo invasiva. Outro ponto notável é com relação a ferramenta de geração de carga de trabalho; três trabalhos ((INDRAWAN *et al.*, 2013), (COSTA *et al.*, 2014), (SILVA *et al.*, 2017a)) utilizaram detecção de face, já o trabalho de SANTANA, (2016) utilizou em um dos dois estudos de caso, o cálculo de números primos. As métricas também foram levadas em consideração na análise dos trabalhos, e em cinco ((INDRAWAN *et al.*, 2013), (COSTA *et al.*, 2014), (SOMMERS; BARFORD, 2012), (SILVA *et al.*, 2017a)) foi utilizada a métrica tempo de processamento, apenas um trabalho tratou de transferência de arquivos (SRIRAMA; PANIAGUA; FLORES, 2011).

No trabalho proposto nesta dissertação, apesar de também envolver MCC, são utilizados tanto a detecção de face como o cálculo de números primos nas duas ferramentas de geração de carga de trabalho. A ferramenta de medição utilizada no trabalho proposto foi do tipo não invasiva, e isto é um ponto favorável com relação aos trabalhos descritos nesta seção, já que o fato de ser não invasiva importa em não interferir no sistema analisado, pela exigência de recursos como processamento, memória RAM, por exemplo.

4.3. AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE OS TRABALHOS RELACIONADOS E O TRABALHO PROPOSTO

Percebe-se uma escassez de trabalhos que associem MCC e ferramentas não invasivas de medição. É possível afirmar que esses trabalhos estão relacionadas

à metodologia proposta nesta dissertação, considerando que eles envolvem medição de energia com estratégias invasivas ou não, avaliação de desempenho, a utilização de bibliotecas de código aberto para processamento de imagem, e as métricas que foram usadas. No entanto, a metodologia de medição proposta neste trabalho é mais abrangente porque envolve o ambiente MCC, e não estão restritas ao ambiente de execução local, mas também podem ocorrer em ambientes de execução diferentes (mais especificamente, nuvem). A aplicação de uma estratégia que não interfere no sistema analisado, com o uso de medição não invasiva, associada a MCC. Além disso, a ferramenta de geração de carga de trabalho possibilitou a obtenção da métrica tempo de execução, já o uso da estratégia de medição, a coleta da métrica consumo de energia, ambas métricas, são as mais comuns em estudo sobre *offloading* computacional.

A Tabela 3.1 apresenta uma comparação entre os trabalhos relacionados que foram mencionados ((INDRAWAN *et al.*, 2013), (COSTA *et al.*, 2014), (SANTANA, 2016), (ANUAR *et al.*, 2012), (SOMMERS; BARFORD, 2012), (SILVA *et al.*, 2017a), (SRIRAMA; PANIAGUA; FLORES, 2011), (CARVALHO, 2015) e o *Baseline* (trabalho proposto nesta dissertação) em relação as seguintes características: o trabalho apresenta uma metodologia para avaliação de desempenho, avalia um ambiente móvel na nuvem, a técnica de medição para avaliação de desempenho, propõe uma ferramenta para geração de carga de trabalho, avaliação das métricas consumo de energia ou tempo de execução. A Tabela 3.1 mostra que não existem muitos trabalhos que associem medição não invasiva à aplicações de ambiente móvel em nuvem.

Tabela 4.1 Sumário dos trabalhos relacionados

Trabalhos	Metodologia para avaliação de desempenho	MCC	Técnica de medição utilizada	Ferramenta para geração de carga	Métricas consumo de energia ou tempo de execução
(ANUAR <i>et al.</i> , 2012)	Não	Não	PowerTutor (invasiva)	OpenCv, CamTest	Sim
(CARVALHO, 2015)	Sim	Não	Circuito de medição (não invasiva)	Enviar e-mail, abrir browser, reprodução de vídeos	Sim

(COSTA <i>et al.</i> , 2014)	Sim	Sim	Aplicação Android (invasiva)	NETester, BenchImage	Sim
(INDRAWAN <i>et al.</i> , 2013)	Sim	Sim	Aplicação Android (invasiva)	Face.com	Sim
(SAIPULLAH <i>et al.</i> , 2013)	Sim	Não	PowerTutor (invasiva), wattímetro (não invasiva)	CamTest	Sim
(SANTANA 2016)	Sim	Sim	Linpack (invasiva)	Linpack	Sim
(SILVA <i>et al.</i> , 2017a)	Sim	Sim	Não mencionado	Detecção de face	Round-Trip Time (RTT), CPU, tempo processamento e de transmissão
(SOMMERS; BARFORD, 2012)	Sim	Sim	Não mencionado	Speedtest	Latência
(SRIRAMA; PANIAGUA; FLORES, 2011)	Sim	Sim	CroudSTag (invasiva)	Transferência de imagens	Sim
(SILVA <i>et al.</i> , 2017b) Trabalho Proposto	Sim	Sim	Sistema DAQ (não invasiva)	OpenCv, Ferramenta matemática	Sim

Neste contexto, o trabalho proposto nesta dissertação se destaca ao propor uma metodologia para avaliação de desempenho, considerando a técnica de medição para avaliação do consumo de energia e tempo de execução em aplicações em ambiente de computação móvel em nuvem. O trabalho também apresenta duas ferramentas adaptadas para a geração de carga de trabalho para ambiente de computação móvel em nuvem, além do uso de ferramenta de medição não invasiva.

4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou os trabalhos relacionados à avaliação de desempenho de ambientes móveis e avaliação de desempenho de ambientes móveis em nuvem. Os trabalhos relacionados e o trabalho proposto nesta dissertação foram comparados em relação a proposição de uma metodologia para avaliação de desempenho, proposição de uma ferramenta de geração de carga de trabalho, proposição de uma ferramenta de medição e avaliação das métricas consumo de energia e tempo de execução.

No próximo capítulo, será detalhada a metodologia de avaliação do consumo de energia de ambientes móveis em nuvem. Cada uma das atividades que compõe a metodologia será apresentada de forma detalhada.

5. AVALIAÇÃO

Para ilustrar e avaliar a metodologia proposta, foram usados dois cenários do mundo real. Um relacionado a processamento de imagem, mais precisamente detecção de face, e o outro relacionado a *benchmarks* matemáticos, com o cálculo de números primos. A motivação para usar o processamento de imagem e uma ferramenta matemática como estudos de caso baseia-se no fato de que estas opções de *benchmarks* são vastamente citadas na literatura (SILVA *et al.*, 2016). Outro motivo importante é porque são tarefas comuns em aplicações móveis.

O objetivo do estudo de caso é realizar a avaliação do consumo de energia do smartphone na execução de tarefas em diferentes ambientes de nuvens computacionais, porém o consumo de energia das nuvens não é avaliado. Nesse contexto, uma tarefa é entendida como a execução de programas desenvolvidos para gerar esforço computacional, que possam emular eventos reais no ambiente. Há relevância no objetivo, pois é comum questionamentos, na área de computação móvel em nuvem, se realmente há economia no consumo de energia ao migrar aplicação móvel para a nuvem. Outro objetivo associado é a análise das métricas coletadas e a verificação da existência de ganhos em termos de desempenho, em termo de tempo de execução, por parte da execução remota em detrimento da execução local.

Basicamente, o sistema é constituído do dispositivo móvel e de diferentes tecnologias de rede para transferência dos dados a máquina virtual responsável pela execução do experimento de processamento na nuvem. Os dois estudos de caso são descritos com as atividades na metodologia proposta (Seção 3.1). A Figura 5.1 apresenta uma visão geral do cenário em que a metodologia proposta foi empregada. Basicamente, o cenário é constituído do dispositivo móvel, da rede pela qual os dados serão transferidos e do servidor responsável pela execução do experimento de processamento na nuvem.

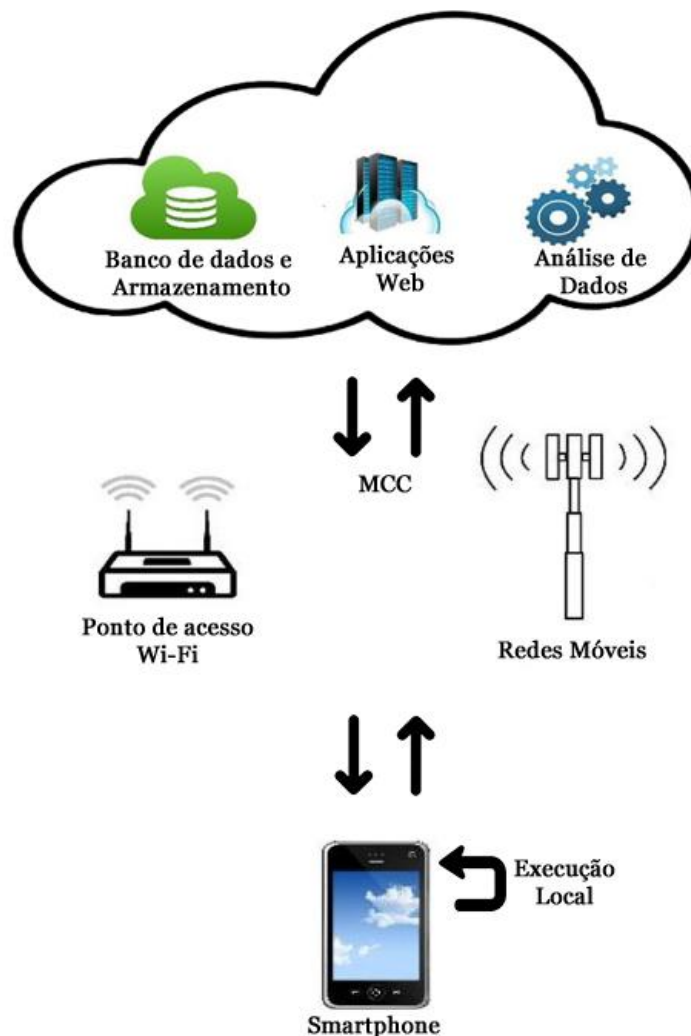


Figura 5.1 Cenário MCC adotado

Fonte: O autor deste trabalho

5.1. DETECÇÃO DE FACES EM AMBIENTES MCC

Com base no cenário MCC apresentado na Figura 5.1, para a avaliação do consumo de energia em ambiente em nuvem, foi utilizado o processamento de imagens, especificamente a detecção de faces, como exemplo de uso real. Seguindo a metodologia proposta neste trabalho, tem-se como sequência de atividades o entendimento do ambiente e definição dos objetivos, descrição dos parâmetros e definição do sistema, a seleção das métricas, a definição da ferramenta de medição, a descrição da carga de trabalho, o planejamento execução dos experimentos e por fim, a análise estatística dos experimentos.

Entendimento do ambiente e definição dos objetivos. O ambiente envolve a ferramenta de imagem desenvolvida para smartphones baseados na plataforma Android, que visa executar o processamento de imagens localmente e no ambiente de nuvem computacional. O objetivo específico deste estudo de caso é comparar o consumo de energia, de modo a verificar se há diferença no consumo de energia, nas diversas formas de execução (local e diferentes nuvens móveis). Da mesma forma, também se objetiva comparar separadamente os resultados dos diferentes cenários, considerando as métricas tempo de execução, consumo de energia e consumo de energia por tarefa; especialmente, verificando se as diferenças dos resultados dessas métricas nas diversas formas de execução motivam a migração para a nuvem. E por fim, deseja-se quantificar o impacto do consumo de energia em um ambiente de computação em nuvem móvel e avaliar se há uma redução no consumo de energia.

Descrição dos parâmetros e configuração do ambiente MCC. Considerando o ambiente em estudo, que foi inicialmente definido como um ambiente que envolve aplicações em dispositivos móveis com a execução de tarefas local ou na nuvem computacional, é importante que os parâmetros sejam descritos. Desta forma, foi utilizado um smartphone modelo MotoG Play4g com sistema operacional na plataforma Android (GOOGLE, 2017b), versão 6.0.1, com um processador Quad Core de 1.4 GHz, 2 GB de memória RAM, tela de 5 polegadas e bateria de lítio com uma capacidade de carga máxima de 2800 mAh. Outro detalhe importante do ambiente em estudo são as duas nuvens computacionais utilizadas. A máquina virtual da primeira nuvem (IaaS) pública no qual o experimento foi realizado foi a nuvem da Amazon (AMAZON, 2017), com 16 GB de RAM e 4 vCPU, Intel Xeon Processors até 2.3GHz de clock, sistema operacional Ubuntu 14.04, e armazenamento EBS. No entanto, a máquina virtual da segunda nuvem (IaaS) privada, configurada com a plataforma Apache CloudStack (CLOUDSTACK, 2017), com uma máquina virtual tendo configuração de 16 GB de RAM e 4 vCPU, Intel i3 Processor com 2.3GHz de clock, sistema operacional Ubuntu 14.04, e armazenamento SATA. A Tabela 5.1 apresenta as configurações do ambiente de execução local e das máquinas virtuais utilizadas no experimento.

Tabela 5.1 Configurações do Ambiente

Nome	Configuração do Ambiente de Execução				
	Núcleos	CPU (GHz)	RAM(GB)	Disco Físico (GB)	Tipo da Nuvem
Smartphone	4	1,4	2	16	-
Máquina virtual na nuvem Amazon AWS	4	2,3	16	8	Pública
Máquina virtual na nuvem CloudStack	4	2,3	16	8	Privada

Fonte: O autor deste trabalho

Para o acesso a nuvem privada CloudStack, é utilizada a tecnologia de rede Wi-Fi. No caso dos experimentos com a nuvem pública Amazon, são adotadas as tecnologias de rede Wi-Fi, 3G e 4G. Para não causar interferência no consumo de energia pela utilização da tecnologia de rede Wi-Fi, para o acesso as nuvens privada e pública, foi obedecido a distância máxima de 3 metros do ponto de acesso. A biblioteca OpenCV (OPENCV, 2017) é usada na execução local e na nuvem para o processamento do algoritmo de detecção de faces.

Seleção de métricas. Serão coletadas as métricas tempo de execução e consumo de energia. A métrica consumo de energia por tarefa será obtida por meio da aplicação da Equação 3.1. Tais métricas foram selecionadas por se tratarem de métricas significativamente utilizadas no contexto de MCC.

Definição das ferramentas de medição. Para executar a medição, um sistema DAQ é utilizado, composto por um microcomputador conectado pela porta USB a um microcontrolador Arduino Uno modelo ATMEGA328P (ARDUINO, 2016),

que usa um sensor invasivo para coletar a métrica de consumo de energia. O modelo de sensor usado foi ACS712-20A, fabricado pela Allegro Microsystems. Esse sensor é apropriado para medir baixas cargas de corrente contínua CC, como a dos *smartphones*. Um cabo *flat* foi inserido entre o *smartphone* e sua bateria, permitindo que energia consumida ao trafegar pelo cabo *flat* para o *smartphone*, fosse medida.

Para a coleta da métrica tempo de execução foi usada a estratégia de medição com base no acontecimento do evento no ambiente estudado. Ou seja, correspondendo ao período em que cada tarefa foi iniciada e concluída, e equivale a soma dos tempos de comunicação e de processamento. A coleta do consumo de energia no experimento foi feita com o intervalo de amostragem de 500 milissegundos, durante o período da execução de cada tarefa. O consumo de energia por tarefa foi obtido através da estratégia de medição indireta (Equação 3.1).

Descrição de carga de trabalho. A tarefa utilizada para gerar esforço computacional baseia-se na leitura e processamento de uma imagem anteriormente salva no *smartphone* e na nuvem computacional. O experimento consiste no processamento de imagem com a biblioteca OpenCV, que provê suporte a tarefa de detectar as faces da imagem. Para a realização do estudo de desempenho, estabeleceram-se diferentes cargas de trabalho a fim de coletar os dados nos experimentos. A nomenclatura utilizada nas cargas de trabalho está relacionada com o número de faces e resolução de cada imagem; por exemplo, a primeira carga de trabalho, nomeada como F20R50, refere-se a uma imagem do tipo JPG que tem 20 faces e que tem resolução de 50 dpi. A Tabela 5.2 mostra a relação das cargas de trabalho e suas respectivas quantidade de faces por foto, resolução e o tamanho do arquivo.

Tabela 5.2 Cargas de trabalho

Nome	Número de Faces	Resolução (dpi)	Tamanho (Kb)
F20R50	20	50	75
F80R50	80	50	210

F180R50	180	50	427
F20R100	20	100	151
F80R100	80	100	521
F180R100	180	100	956
F20R200	20	200	361
F80R5200	80	200	1159
F180R200	180	200	2555

Fonte: O autor deste trabalho

Planejamento e execução dos experimentos. Antes de iniciar a execução dos experimentos, a abordagem DoE é aplicada para dar suporte ao planejamento dos cenários. Através do DoE foi possível levantar um estudo do sistema e seus fatores associados para identificar quais os fatores que mais influenciavam em seu comportamento. Para essa atividade, uma ferramenta que pode ser usada é o *Design of Experiments* (DOE) ou planejamento de experimentos (JAIN, 1991) (LILJA, 2005). O DOE é uma ferramenta que pode ser usado em várias situações na qual seja necessário planejar um experimento. Ele permite que múltiplos fatores de entrada sejam estudados de acordo com a saída gerada. Em virtude do DOE ser uma ferramenta desenvolvida para a realização de experimento com múltiplos fatores, é possível explorar combinações dos fatores sistematicamente de forma a ter uma visão geral do comportamento do sistema. Ou seja, é possível testar praticamente as possibilidades de um sistema para um conjunto de fatores. Isto é possível pois com o DOE, pode-se trabalhar com todas as combinações de entrada (*full factorial*) ou apenas parte das combinações (*fractional factorial*).

Por meio da Minitab (MINITAB, 2017), as distribuições possíveis foram traçadas, conforme sua viabilidade técnica. Neste contexto, foram definidas 6 combinações possíveis de cenários: execução em uma nuvem privada (CloudStack) e uma pública (Amazon AWS), por meio das tecnologias de rede 3G, 4G e Wi-Fi. No

entanto, por inviabilidade técnica, não foi possível acessar a nuvem privada através de redes móveis 3G e 4G, restando 4 cenários (3G/pública, 4G/pública, Wi-Fi/pública e Wi-Fi/privada). A nomenclatura utilizada nos cenários está diretamente relacionada a tecnologia de rede e a nuvem que foi utilizada; o cenário 4G/pública, por exemplo, refere-se a utilização da tecnologia de rede 4G para acessar a nuvem pública. Foi adicionado um outro experimento onde somente os recursos de smartphone são usados (execução local). Este experimento foi adotado posteriormente como *baseline* de comparação, em relação aos cenários que envolvem execução na nuvem, de forma a possibilitar uma análise mais aprofundada dos resultados.

Para execução dos experimentos, foi desenvolvido um aplicativo baseado na plataforma Android (GOOGLE, 2017b), com a biblioteca OpenCV integrada. Na aplicação na máquina virtual nas nuvens pública e privada, foi utilizada a biblioteca OpenCV integrada a um software desenvolvido em Python. Por meio disto, viabilizou-se que requisições da ferramenta Android à aplicação na máquina virtual pudessem ser feitas, executando o processamento remoto de detecção de faces de imagens na máquina virtual. O aplicativo Android, explicado na Seção 3.2.1, foi instalado no *smartphone* realiza as requisições pelo protocolo HTTP, que é recebida pela máquina virtual, executando a tarefa de detectar as faces de uma imagem previamente salva na máquina virtual. Esta tarefa requer a leitura de um arquivo de imagem JPEG, o processamento da imagem com uma biblioteca OpenCV, a execução da detecção de faces e o retorno do status de conclusão da tarefa para a ferramenta Android.

Antes do início e por ocasião dos experimentos, a bateria do smartphone é totalmente carregada completamente, as configurações de alertas do sistema são desativados e os níveis de carga de trabalho são definidos. O isolamento da aplicação na nuvem privada e pública deve seguir o mesmo princípio, tendo como execução apenas a tarefa de processamento no momento do processamento de imagem.

Análise estatística dos resultados. Através da execução dos experimentos planejados, foram obtidas as métricas tempo de execução e consumo de energia, através da execução das cargas de trabalho. Além de ser usado no planejamento de experimentos, o *software* Minitab (MINITAB, 2017) foi usado para remover os valores atípicos com o gráfico BoxPlot (KAMPSTRA, 2008) (WILLIAMSON; PARKER;

KENDRICK, 1989). O BoxPlot e suas variantes são frequentemente usados para comparar dados univariados, uma vez que a análise de dados exploratórios envolve o uso de técnicas estatísticas para identificar padrões que podem estar ocultos em um grupo de números. Após o uso desta ferramenta, foi possível alcançar o valor médio, das métricas tempo de execução e consumo de energia. O cálculo de desvio padrão, e a média de 30 coletas de cada tarefa foi usada para representar esta quantidade de dados em um único valor (LILJA, 2005). Os resultados dos experimentos são apresentados abaixo, na seguinte forma: as três primeiras cargas de trabalho (F20R50, F80R50 e F180R50) equivalem as imagens com resolução 50 dpi e número de faces 20, 80 e 180, respectivamente, da quarta a sexta (F20R100, F80R100 e F180R100), equivalem a resolução 100 dpi e número de faces 20, 80 e 180, e por fim as três últimas (F20R200, F80R200 e F180R200), a resolução 200 dpi e número de faces 20, 80 e 180.

A Figura 5.2 mostra os resultados da coleta da métrica tempo de execução para detecção de 20, 80 e 180 faces, usando a resolução de 50 dpi. Os cenários usados foram: local, 3G/pública, 4G/pública, Wi-Fi/pública e Wi-Fi/privada.

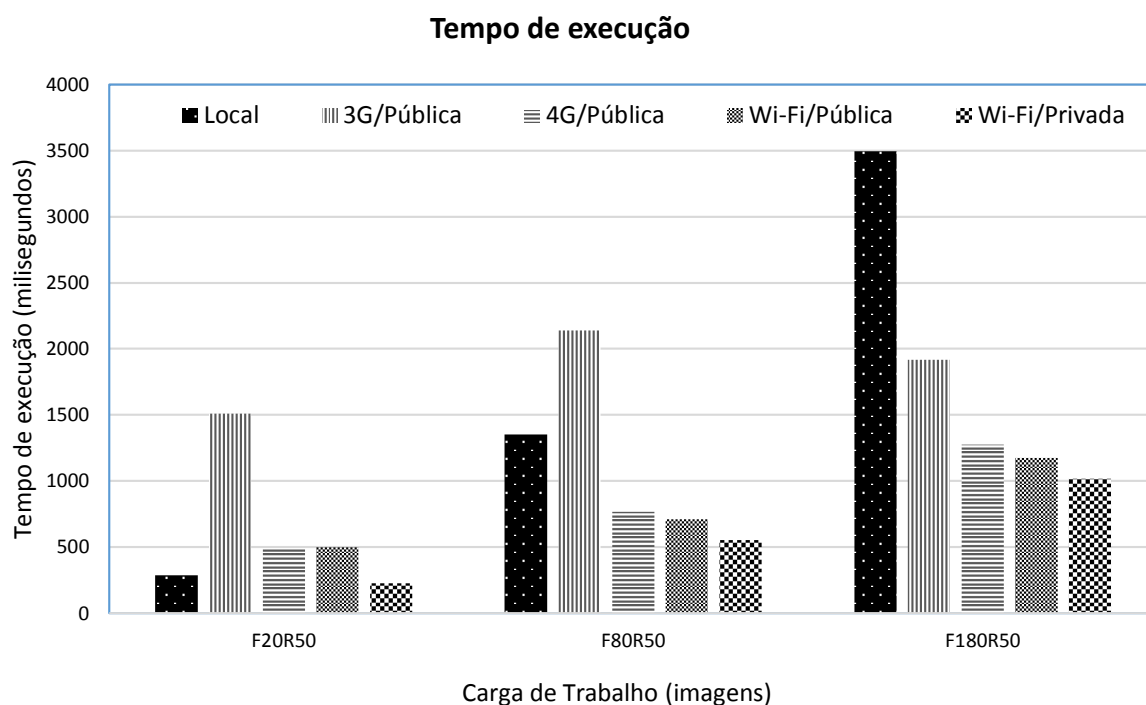


Figura 5.2 Tempo de execução com imagens de resolução 50 dpi

Fonte: O autor deste trabalho

Observando a Figura 5.2, percebe-se que o tempo de execução foi menor na execução local comparado a rede 3G nas duas primeiras cargas de trabalho (F20R50, F80R50). Na carga de trabalho F180R50, o tempo de execução no cenário local superou os demais cenários. Isto indica que com cargas de trabalho significativamente menores, o cenário local mostra um tempo de execução menor, comparado exclusivamente ao cenário 3G/pública. A Figura 5.3 apresenta o tempo de execução com imagens com a resolução de 100 dpi.

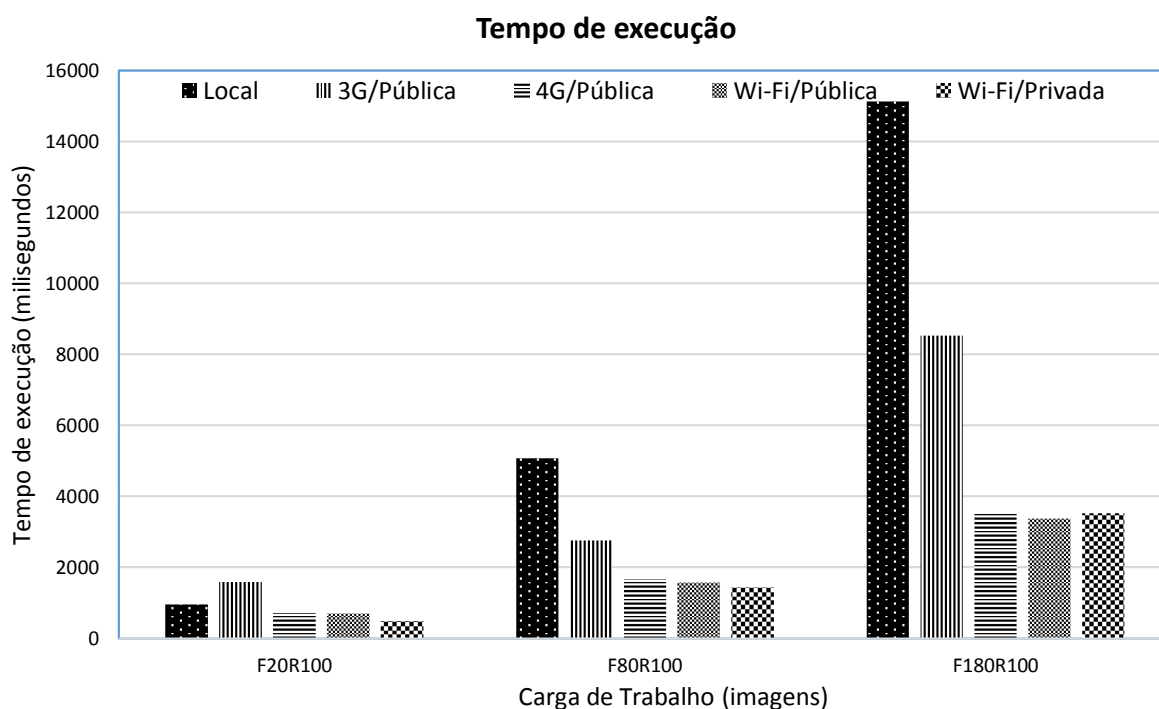


Figura 5.3 Tempo de execução com imagens de resolução 100 dpi

Fonte: O autor deste trabalho

Os resultados apresentados na Figura 5.3 apontam que houve um crescimento no tempo de execução no cenário local, frente aos demais cenários, exceto na carga de trabalho F20R100, que foi de 955 milissegundos no cenário local, 1.586 milissegundos, no 3G/pública, 711 milissegundos no 4G/pública, 694 milissegundos no Wi-Fi/pública e 491 milissegundos no Wi-Fi/privada. Na carga de trabalho F80R100, o tempo de execução no cenário local foi de 5078 milissegundos, 2.756 milissegundos no 3G/pública, 1.654 milissegundos no 4G/pública, 1.574

milissegundos no Wi-Fi/pública e 1431 milissegundos no Wi-Fi/privada. Por fim, na carga de trabalho F180R100, o tempo de execução no cenário local foi de 15.115 milissegundos, 8.530 milissegundos no 3G/pública, 3.524 milissegundos no 4G/pública, 3.374 milissegundos no Wi-Fi/pública e 3.522 milissegundos no Wi-Fi/privada.

A Figura 5.4 mostra que o tempo de execução no cenário local é predominantemente crescente, acompanhando assim, o crescimento das cargas de trabalho. Na carga de trabalho F20R200, o tempo de execução foi de 2.568 milissegundos no cenário local, 1.962 milissegundos, no 3G/pública, 1.192 milissegundos no 4G/pública, 1.131 milissegundos no Wi-Fi/pública e 909 milissegundos no Wi-Fi/privada. A carga de trabalho F80R200, o tempo de execução no cenário local foi de 12.085 milissegundos, 5.730 milissegundos no 3G/pública, 3.133 milissegundos no 4G/pública, 3.068 milissegundos no Wi-Fi/pública e 3.269 milissegundos no Wi-Fi/privada. Por fim, na carga de trabalho F180R200, o tempo de execução no cenário local foi de 31.309 milissegundos, 10.624 milissegundos no 3G/pública, 7.056 milissegundos no 4G/pública, 6.965 milissegundos no Wi-Fi/pública e 7.585 milissegundos no Wi-Fi/privada. Com base nestes resultados, percebe-se que no quesito tempo de execução, é possível observar os benefícios do uso de MCC.

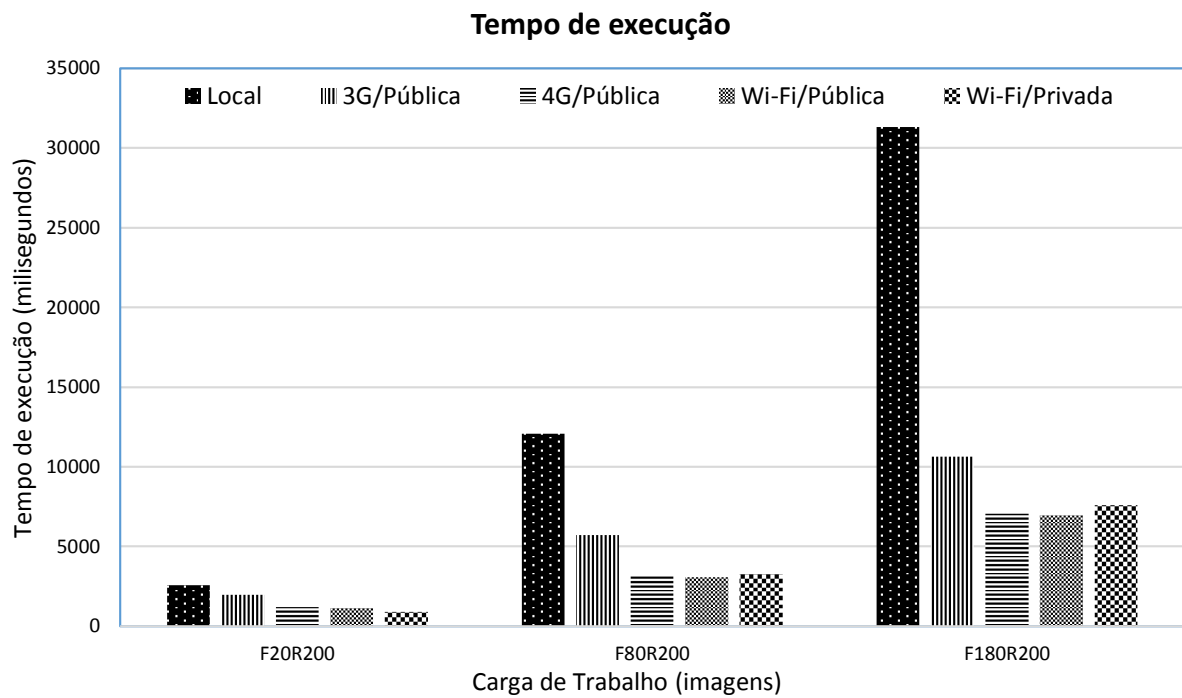


Figura 5.4 Tempo de execução com imagens de resolução 200 dpi

Fonte: O autor deste trabalho

Terminada a apresentação dos gráficos com os resultados da métrica tempo de execução, inicia-se a apresentação dos resultados da métrica consumo de energia. A Figura 5.5 apresenta os resultados da métrica consumo de energia com a detecção de faces 20, 80 e 180, usando a resolução de 50, 100 e 200 dpi respectivamente. Os cenários foram: local, 3G/pública, 4G/pública, Wi-Fi/pública e Wi-Fi/privada.

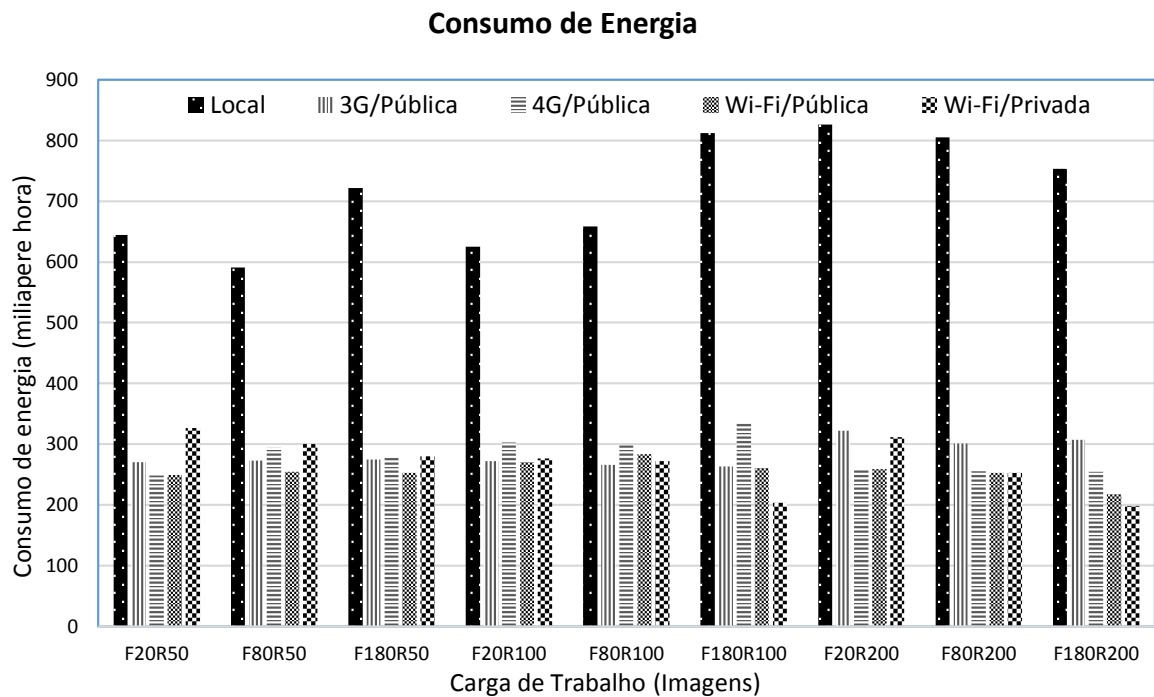


Figura 5.5 Avaliação do consumo de energia

Fonte: O autor deste trabalho

Pode-se observar, através da Figura 5.5, que o consumo de energia no cenário local é maior em todas cargas de trabalho. Entende-se, conseqüentemente, que ao transferir a execução da aplicação para a nuvem computacional há uma economia de energia.

As métricas tempo de execução e consumo de energia são adotadas para o cálculo do consumo de energia por tarefa conforme a Equação 3.1. A Figura 5.6 mostra o consumo de energia por tarefa, com imagens com resolução de 50 dpi.

Consumo de Energia por Tarefa

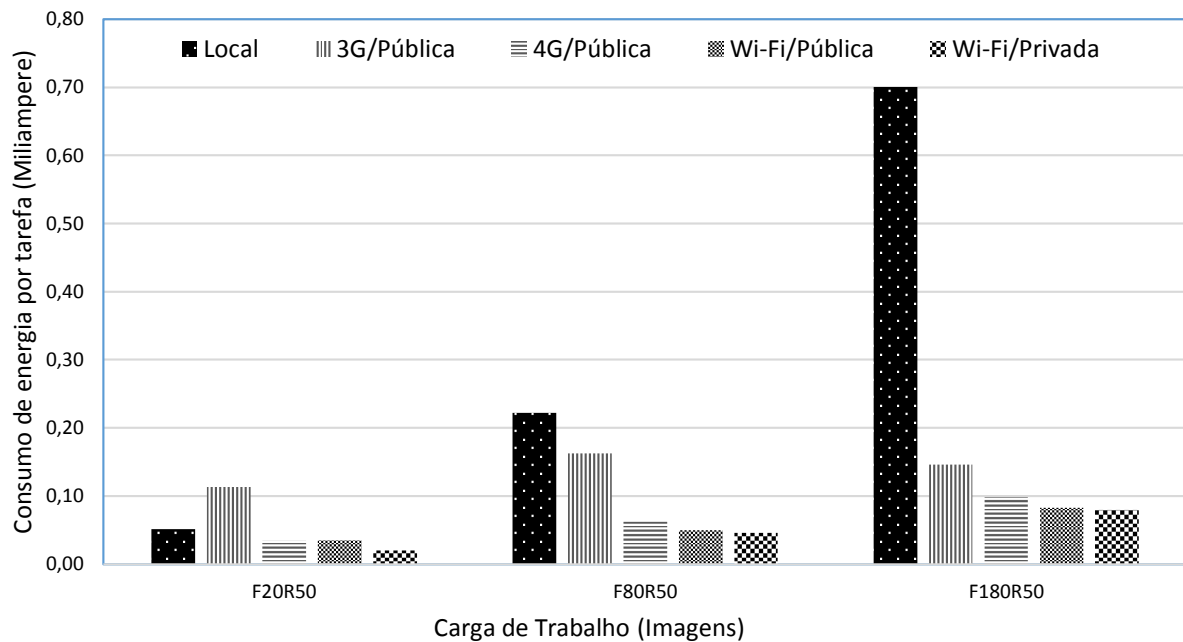


Figura 5.6 Consumo de energia por tarefa com imagens de resolução de 50 dpi

Fonte: O autor deste trabalho

Observando a Figura 5.6, é possível perceber que na carga de trabalho (F20R50) do cenário em que o acesso a nuvem pública ocorre através da tecnologia 3G, o consumo de energia por tarefa superou o cenário local. Nas cargas de trabalho (F80R50 e F180R50), o consumo de energia foi superior no cenário local. Isso indica que, com o crescimento da carga de trabalho, a utilização de MCC passa a oferecer vantagens no sentido de economia de energia. A Figura 5.7 mostra o consumo de energia por tarefa, com imagens tendo resolução de 100 dpi.

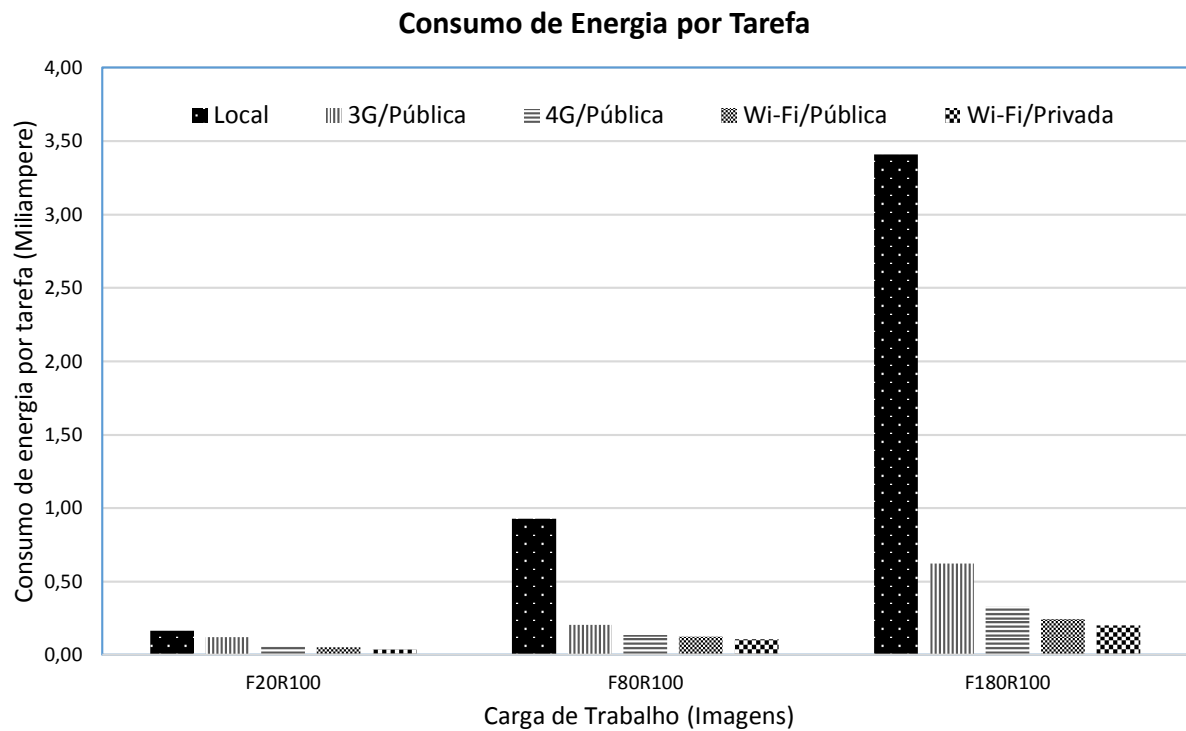


Figura 5.7 Consumo de energia por tarefa com imagens 100 dpi

Fonte: O autor deste trabalho

A Figura 5.7 mostra que o consumo de energia por tarefa no cenário local é superior aos demais cenários à medida que cresce a carga de trabalho. Desta forma, há uma economia de energia por tarefa nas diferentes possibilidades de nuvem para cada carga de trabalho em relação ao cenário local.

A Figura 5.8 mostra o consumo de energia por tarefa com a resolução de 200 dpi.

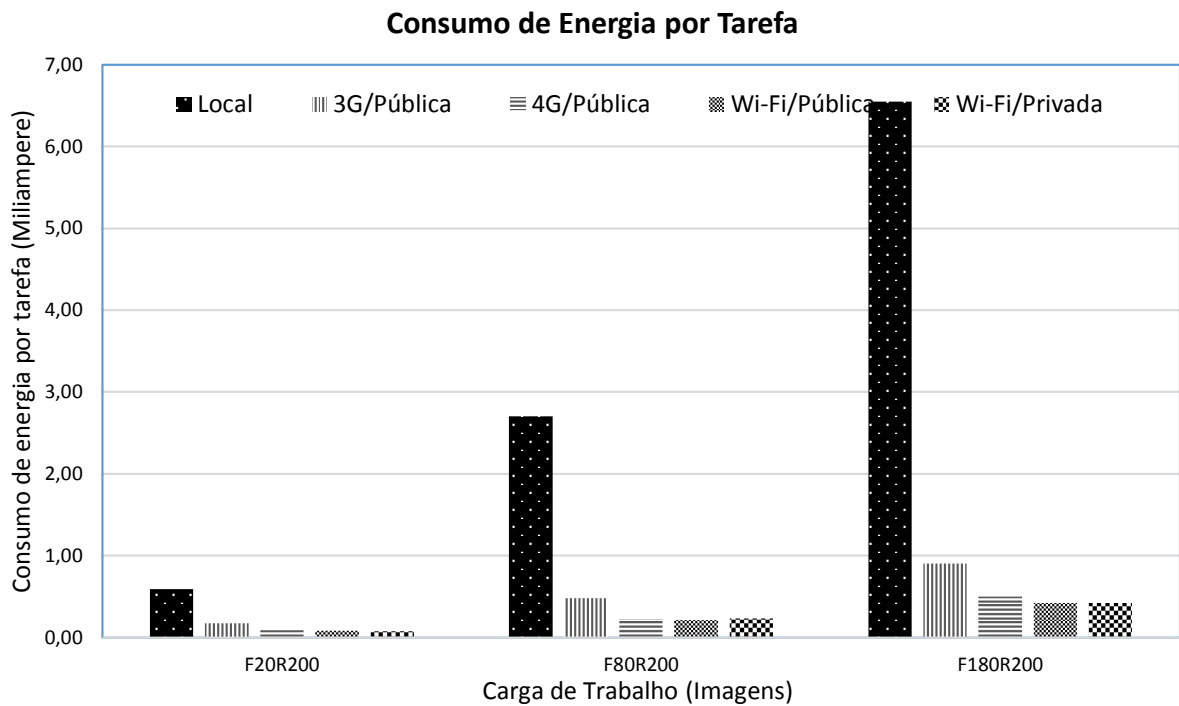


Figura 5.8 Consumo de energia por tarefa com imagens 200 dpi

Fonte: O autor deste trabalho

As Figuras 5.6, 5.7 e 5.8 mostram que a utilização de nuvem computacional, neste estudo de caso, promoveu significativas vantagens no consumo de energia por tarefa em relação ao cenário local, e quanto maior a carga de trabalho, maior a vantagem no uso de computação em nuvem.

A Figura 5.9 mostra o percentual da economia do consumo de energia por tarefa das nuvens pública e privada em relação ao cenário local (*baseline*).

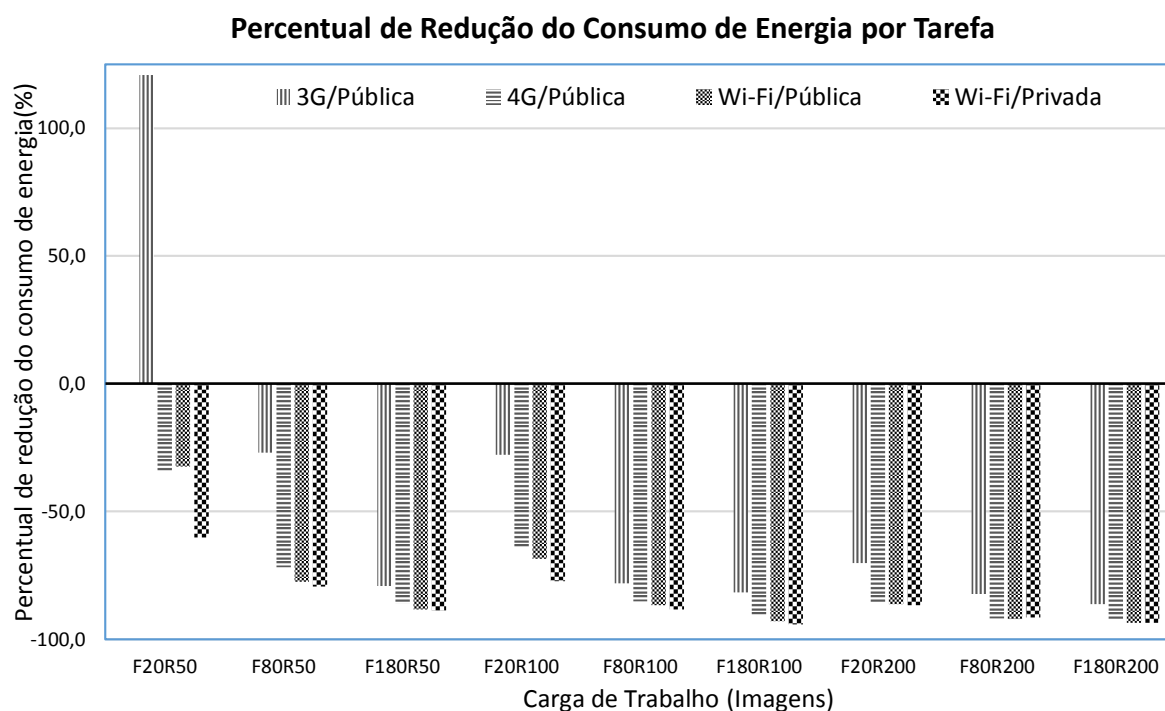


Figura 5.9 Percentual de Redução do consumo de energia

Fonte: O autor deste trabalho

A Figura 5.9 mostra que a redução do consumo de energia na carga de trabalho F20R50 (20 faces e 50 dpi de resolução) onde foi usada a tecnologia 3G em uma nuvem pública foi de 120,7%. Isto indica que o consumo de energia foi maior em 120,7% na nuvem pública com acesso 3G, comparado o cenário local. Dado que uma carga de trabalho exija relativamente pouco recurso do *smartphone*, o cenário local, neste caso, mostra-se vantajoso. Além disso, para uma carga relativamente pequena ser processada no servidor é necessária a utilização de alguma conexão de rede para o acesso ao servidor, e isso demanda tempo e maior consumo de energia, por isso o cenário local é mais viável. Exceto pelo percentual de consumo de energia por tarefa 120,7%, os outros valores são negativos. Uma vez que a carga de trabalho seja maior, há a necessidade de mais recursos como processamento, e conseqüentemente consumo de energia no *smartphone*, e isso proporciona um aumento no consumo de energia no cenário local. A redução no consumo de energia ocorre com a execução da aplicação na nuvem computacional, atingindo -93.6% no processamento da carga de trabalho F180R200 (180 fotos e resolução de 200 dpi) nas nuvens pública e privada, comparando o cenário local.

Com o propósito de cumprir um dos objetivos, que é comparar diferentes nuvens computacionais, os resultados da métrica consumo de energia por tarefa são apresentados na Figura 5.10.

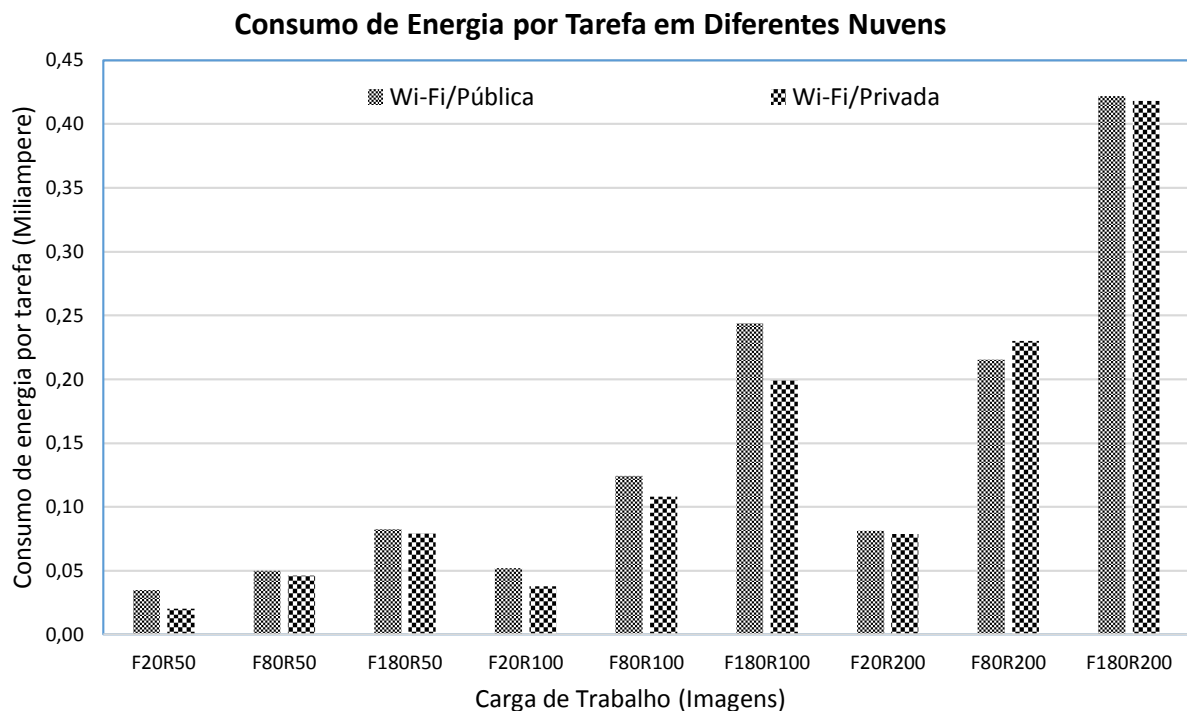


Figura 5.10 Comparação do consumo de energia por tarefa em diferentes tipos de nuvens

Fonte: O autor deste trabalho

Observando a Figura 5.10, percebe-se que o consumo de energia por tarefa resultou em valores significativamente aproximados em ambas nuvens pública e privada, nas cargas de trabalho (F80R50), (F180R50), (F20R200, e (F180R200). Na nuvem pública, em 4 cargas de trabalho, o consumo de energia foi maior que na nuvem privada na carga de trabalho (F20R50), (F20R100), e (F80F100), e na carga de trabalho (F180R100). O único resultado do consumo de energia por tarefa com valor maior na nuvem privada em relação a nuvem pública, foi na carga de trabalho (F80R200). Considerando esta relação comparativa de diferentes nuvens, a nuvem pública mostrou-se vantajosa em relação a nuvem privada na maioria dos resultados, porém o analista ou desenvolvedor precisa levar em consideração o custo benefício da contratação de nuvem pública

5.2. CÁLCULO NUMÉRICO EM AMBIENTES MCC

De igual modo ao estudo de caso anterior, este segundo estudo de caso aplica-se a um ambiente que envolve uma aplicação desenvolvida para smartphone, e que executa tarefas que requeiram recursos local e nas nuvens pública e privada. Esse estudo de caso visa, da mesma forma, ilustrar e avaliar a metodologia proposta por meio de um cenário do mundo real, e sua aplicação será descrita de acordo com as atividades apresentadas na metodologia apresentada na Seção 3.1.

Entendimento do ambiente e definição dos objetivos. O ambiente envolvido neste estudo de caso é idêntico ao ambiente descrito na Seção 5.1, porém, com uma ferramenta matemática, que faz o cálculo de números primos, em dispositivos móveis e nas nuvens pública e privada. Com isso, é possível quantificar a diferença no consumo de energia quando executado nas nuvens ou na execução local. O primeiro objetivo específico deste estudo de caso é comparar o consumo de energia, de modo a verificar se há diferença no consumo de energia, nas diversas formas de execução (local e diferentes nuvens móveis). Da mesma forma, visa-se também comparar separadamente os resultados dos diferentes cenários, considerando as métricas tempo de execução, consumo de energia e consumo de energia por tarefa, e verificar se as diferenças dos resultados dessas métricas nas diversas formas de execução motivam a migração para a nuvem. E, por fim, deseja-se quantificar o impacto do consumo de energia em um ambiente de computação em nuvem móvel e avaliar se há uma redução no consumo de energia.

Descrição dos parâmetros e configuração do sistema; Seleção das métricas; e Definição da ferramenta de medição são idênticos ao estudo de caso anterior, descrito na Seção 5.1.

Descrição da carga de trabalho. Para este segundo estudo de caso, a carga de trabalho dos experimentos foi gerada através de uma ferramenta matemática (apresentada na Seção 3.2.2) para cálculo de números primos de 500 a 12.500 números primos, com intervalo de 1500 números primos. O intervalo das cargas de trabalho foi iniciado a partir de 500 números primos, sempre adicionando 1.500 números primos. Em outras palavras, a primeira carga de trabalho tem um valor de 500, a segunda tarefa tem um valor de 2000 números primos, a terceira tarefa tem um

valor de 3.500 números primos, até completar 12.500 números primos. Assim, as nove cargas de trabalho foram descritas (500, 2000, 3500, 5000, 6500, 8000, 9500, 11000 e 12500 números primos). Utilizando como exemplo o cálculo de 2.000 números primos, o algoritmo retornará qual é o intervalo onde os 2.000 números primos estão. O algoritmo é descrito da seguinte maneira. Dado um número inteiro X , onde X é igual ao número de números primos que será procurado. O algoritmo começa com um *loop* de tamanho N , e N é inicializada com 1, aumentando a cada final do *loop* e gerando um novo *loop* de tamanho $N + 1$. Essas etapas são repetidas até que N seja igual a P , e P igual a quantidade de números primos encontrados. Em cada interação, é verificado se o número é primo. Se esta proposição é verdadeira, P recebe um incremento de 1.

Planejamento e execução dos experimentos. De igual modo ao primeiro estudo de caso, antes de iniciar os experimentos, a abordagem DoE é aplicada para dar suporte ao planejamento dos cenários. Neste contexto, foram utilizadas as mesmas 6 combinações possíveis de cenários: execução em uma nuvem privada (CloudStack) e uma pública (Amazon Web Service), por meio das tecnologias de rede 3G, 4G e Wi-Fi. No entanto, por inviabilidade técnica, não foi possível acessar a nuvem privada através de redes 3G e 4G, restando 4 cenários (3G/pública, 4G/pública, Wi-Fi/pública e Wi-Fi/privada). Da mesma forma, foi adicionado um outro experimento, que foi a execução local, onde somente os recursos de *smartphone* são usados. Este experimento também serviu de base para comparar posteriormente com os cenários de execução de nuvem.

Para geração da carga de trabalho nesse cenário foi desenvolvido um aplicativo baseado na plataforma Android (GOOGLE, 2017b) para executar a busca de números primos. Da mesma forma, este algoritmo é instalado nas nuvens pública e privada, possibilitando assim o processamento remoto do cálculo. O aplicativo Android que foi instalado no *smartphone* realiza requisições HTTP, que são recebidas pela máquina virtual, para execução da tarefa de encontrar o intervalo que tenha uma quantidade pré-determinada de números primos, e após isto, enviar o status de conclusão da tarefa.

Esses experimentos foram executados no ambiente local (somente dispositivo móvel) e no dispositivo móvel usando as nuvens pública e privada, para gerar métricas suficientes para uma análise do comportamento das duas abordagens.

Análise estatística dos resultados. Através da execução dos experimentos planejados para este estudo de caso, foram obtidos as métricas tempo de execução e consumo de energia, através da execução das cargas de trabalho. Além de ser usado no planejamento de experimentos, o software Minitab foi usado para remover os valores atípicos com o gráfico BoxPlot. Após o uso desta ferramenta, é possível alcançar um valor médio de desempenho do sistema. Assim, os dados finalmente podem ser avaliados. A média das 30 coletas de cada tarefa é usada para representar esta quantidade de dados em um único valor.

Os resultados do experimentos são apresentados abaixo, em três figuras, cada uma com três cargas de trabalho. A Figura 5.11 mostra os valores de tempo de execução de tarefa com as cargas de trabalho 500, 2000 e 3500 números primos.

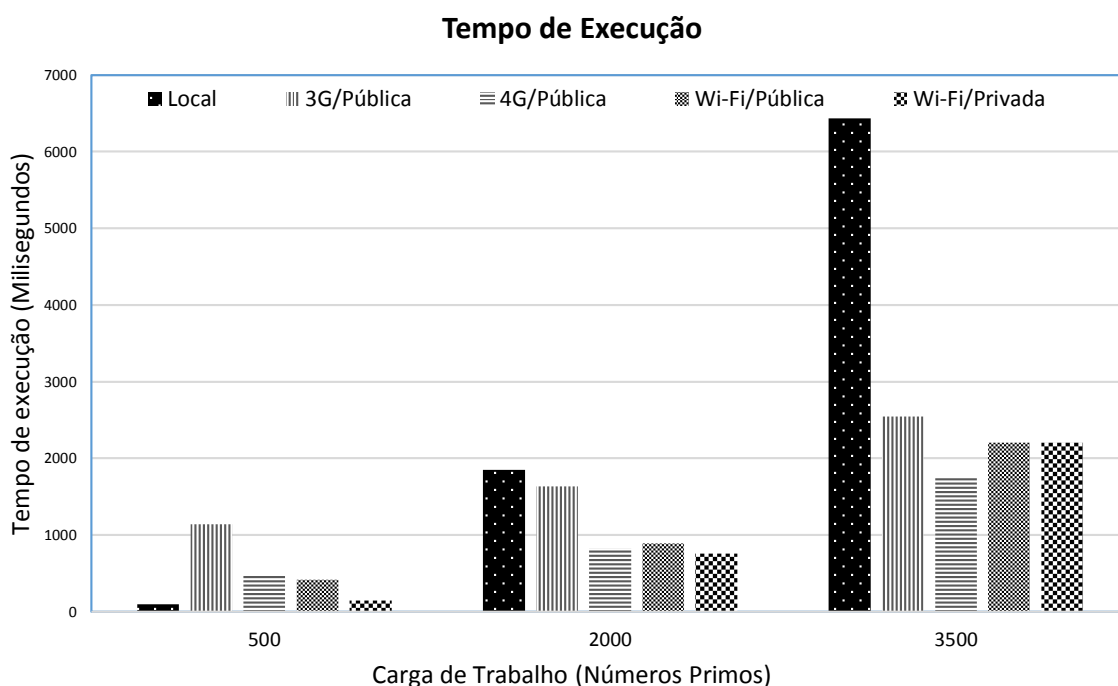


Figura 5.11 Tempo de execução com cargas de trabalho 500, 2000 e 3500

Fonte: O autor deste trabalho

Observando a Figura 5.11, percebe-se que o tempo de execução foi menor no cenário local comparado aos demais cenários na carga de trabalho 500 números primos, onde o cenário local obteve 95 milissegundos no tempo de execução e 1.143 milissegundos no cenário 3G/pública, 479 milissegundos no cenário 4G/pública, 414 milissegundos no cenário Wi-Fi/pública, 148 milissegundos no cenário Wi-Fi/privada. Nas cargas de trabalho 2000 e 3500, o tempo de execução no cenário local superou os demais cenários. Isto indica que apenas com uma carga de trabalho significativamente menor, a utilização do cenário local mostra alguma vantagem, comparado aos cenários 3G/pública, 4G/pública, Wi-Fi/pública e Wi-Fi/privada. A Figura 5.12 mostra que os valores de tempo de execução de tarefa com as cargas de trabalho 5000, 6500 e 8000 números primos.

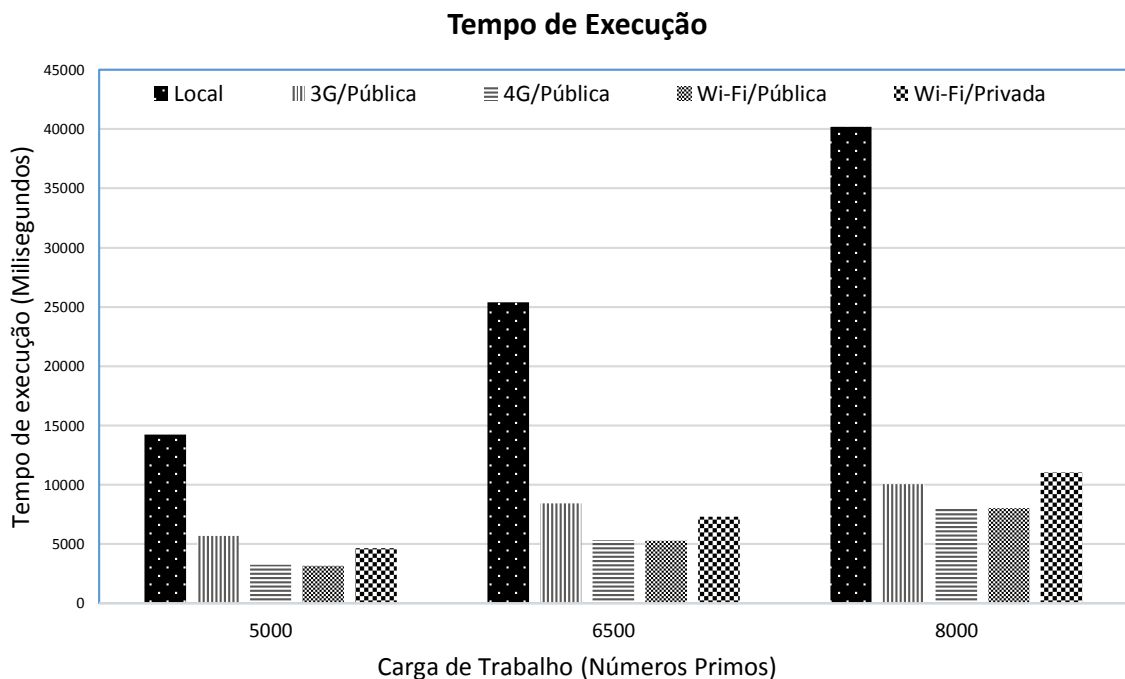


Figura 5.12 Tempo de execução com cargas de trabalho 5000, 6500 e 8000

Fonte: O autor deste trabalho

Observando a Figura 5.12, percebe-se o contínuo crescimento nos resultados da métrica tempo de execução no cenário local com as cargas de trabalho 5000, 6500 e 8000 números primos, em relação aos demais cenários (3G/pública, 4G/pública, Wi-

Fi/pública, e Wi-Fi/privada). A Figura 5.13 mostra os valores de tempo de execução de tarefa com as cargas de trabalho 9500, 11000 e 12500 números primos.

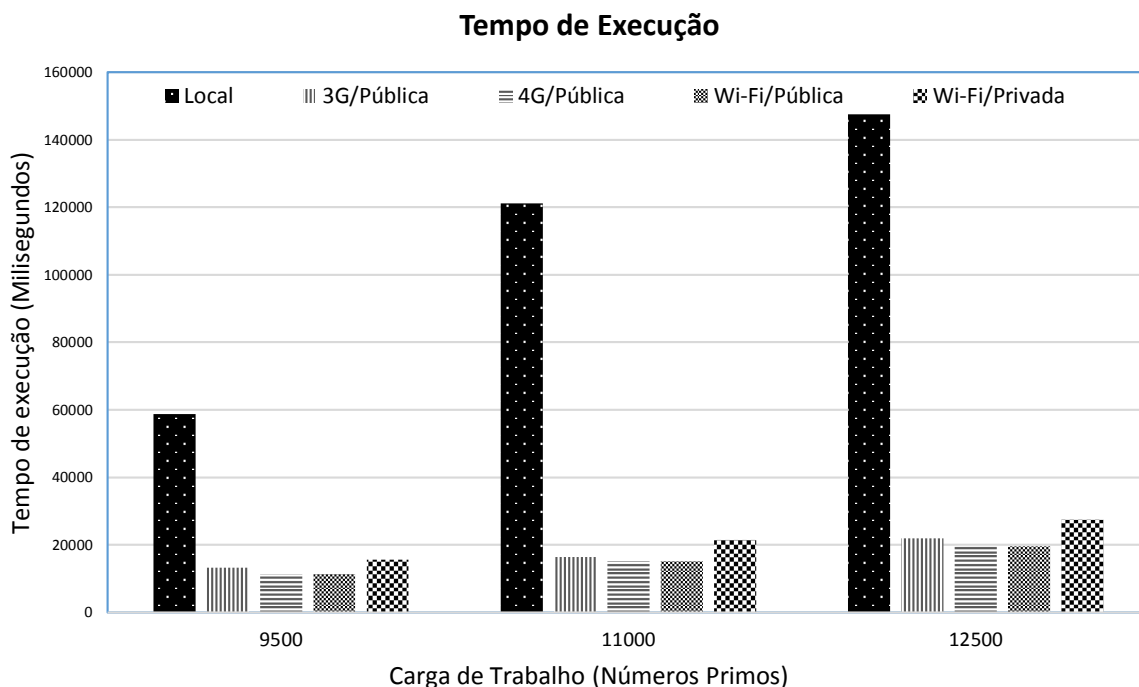


Figura 5.13 Tempo de execução com cargas de trabalho 9500, 11000 e 12500

Fonte: O autor deste trabalho

Observando a Figura 5.13, percebe-se que quando a aplicação é executada no cenário local, os tempos de execução são maiores do que quando a aplicação é executada nas diferentes nuvens. Na carga de trabalho de 12.500 números primos, por exemplo, o tempo de execução no cenário local foi de 147.563 milissegundos (2 minutos e 27 segundos), e na nuvem pública acessada pela rede Wi-Fi foi de 19.565 milissegundos (19,5 segundos), na nuvem privada acessada pela rede Wi-Fi foi de 27.518 (27,5 segundos). Este resultado mostra uma redução no tempo de execução nas nuvens pública e privada de 89,3% em relação ao cenário local.

Os resultados apresentados na Figura 5.11, exceto na carga de trabalho 500 números primos, e nas Figuras 5.12 e 5.13 apontam vantagens em termos de economia de tempo de execução quando a execução da aplicação ocorre no ambiente MCC.

A Figura 5.14 mostra o consumo de energia, comparando a execução de uma tarefa no cenário local e nas nuvens pública e privada.

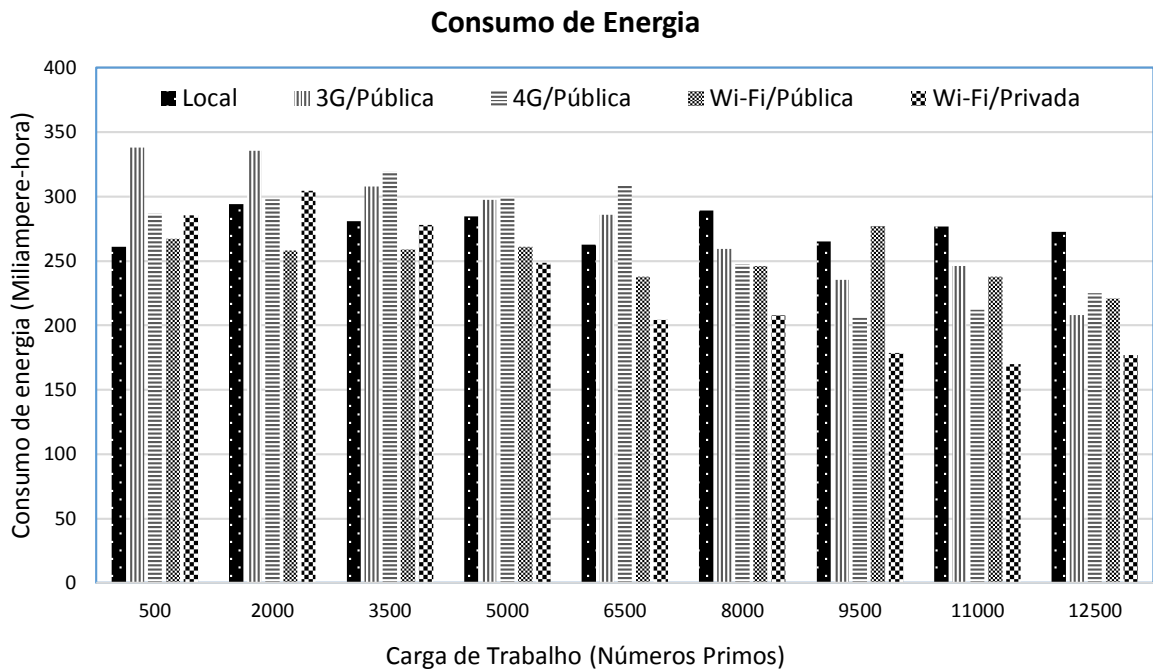


Figura 5.14 Consumo de Energia

Fonte: O autor deste trabalho

Os resultados da Figura 5.14 indicam um maior consumo de energia na execução na nuvem pública quando acessada por uma rede 3G/pública para as cargas de trabalho 500 e 2000 números primos. Nas carga de trabalho 3500, 5000 e 6500 números primos, a nuvem publica acessada por uma rede 4G/pública consumiu mais energia. O consumo de energia no cenário local foi maior nas cargas de trabalho 8000, 11000 e números primos.

As métricas tempo de execução e consumo de energia são adotadas para o cálculo do consumo de energia por tarefa (Equação 3.1). A Figura 5.15 apresenta o consumo de energia por tarefa considerando diferentes cargas de trabalho dos experimentos.

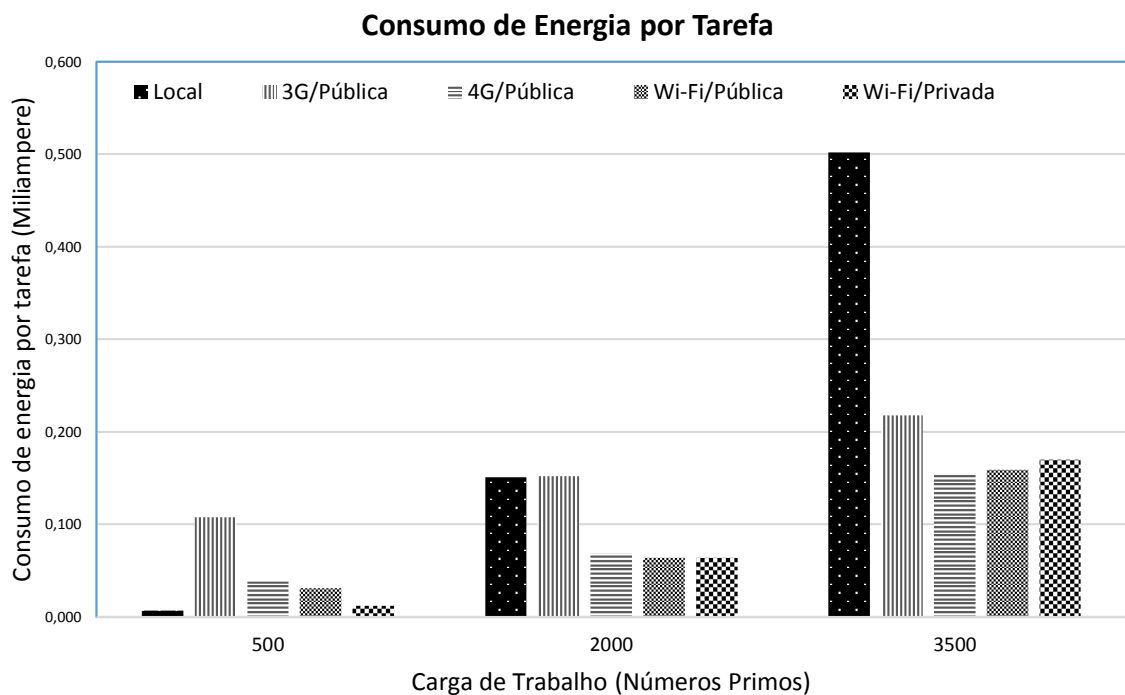


Figura 5.15 Consumo de energia por tarefa com as cargas de trabalho 500, 2000 e 3500 números primos

Fonte: O autor deste trabalho

Observando a Figura 5.15, é possível perceber que o consumo de energia por tarefa foi menor na carga de trabalho (500 números primos) no cenário local comparado aos demais cenários. No cenário local houve o consumo de energia por tarefa de 0,007 miliampere e 0,107 miliampere no cenário 3G/pública, 0,038 miliampere no 4G/pública, 0,031 miliampere no Wi-Fi/pública e, 0,012 miliampere no Wi-Fi/privada. Na carga de trabalho 2000 miliampere, o cenário local consumiu 0,151 miliampere por tarefa, 0,152 miliampere no cenário 3G/pública e os demais cenários consumiram menos que o cenário local. Na carga de trabalho 3500 números primos, o cenário local consumiu mais energia por tarefa em relação aos demais cenários. A Figura 5.16 apresenta o consumo de energia por tarefa com as cargas de trabalho 5000, 6500 e 8000 números primos.

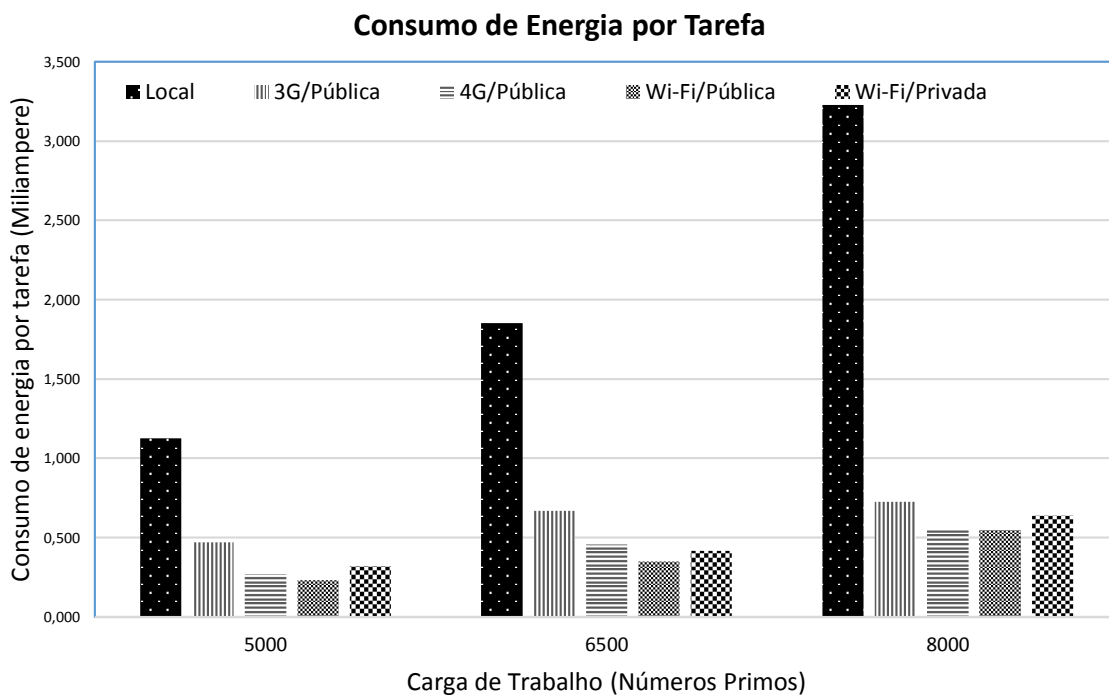


Figura 5.16 Consumo de energia por tarefa com as cargas de trabalho 5000, 6500 e 8000 números primos

Fonte: O autor deste trabalho

Observando a Figura 5.16, percebe-se que o consumo de energia por tarefa foi maior no cenário local se comparado aos demais cenários, para as cargas de trabalho 5000, 6500 e 8000 números primos. O comportamento de crescimento no consumo de energia no cenário local, cresce conforme a carga de trabalho aumenta. A Figura 5.17 apresenta o consumo de energia por tarefa com as cargas de trabalho 9500, 11000 e 12500 números primos.

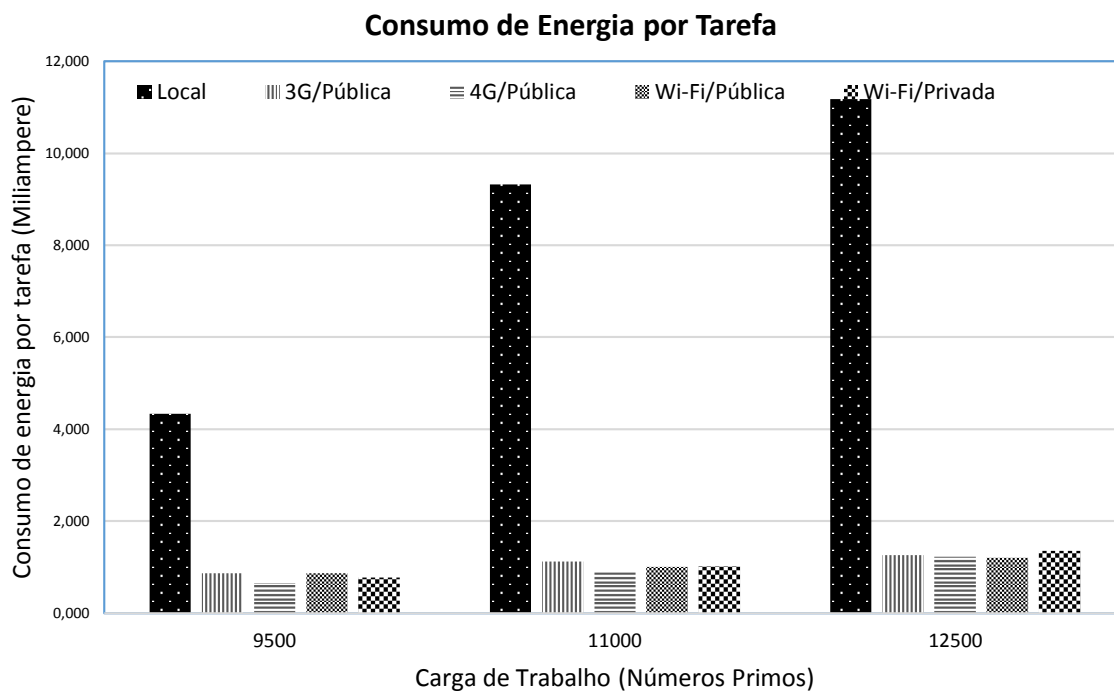


Figura 5.17 Consumo de energia por tarefa com as cargas de trabalho 9500, 11000 e 12500 números primos

Fonte: O autor deste trabalho

As Figura 5.15, 5.16 e 5.17 mostram um aumento no consumo de energia conforme aumenta os níveis de carga de trabalho. Na Figura 5.15, na carga de trabalho 3500 números primos, a primeira ocorrência em a execução local foi maior que as nuvens por exemplo. A diferença entre o cenário local e o cenário Wi-Fi/pública é de 68,34% e entre o cenário local e o Wi-Fi/privada é de 66,13%. Essa diferença passou a ser maior na carga de trabalho 12500 números primos, de 89,27% se comparado ao cenário Wi-Fi/pública, e de 87,89% se comparado ao cenário Wi-Fi/privada. Desta forma, percebe-se que o consumo de energia por tarefa foi maior no cenário local a partir da carga de trabalho 12500 números primos, se comparado aos demais cenários que envolve as nuvens computacionais. Com base nisto, percebe-se que a execução deste estudo de caso em ambiente MCC demandam menos consumo de energia, apresentando assim vantagem em migrar aplicações de dispositivos móveis para a nuvem computacional, seja ela, pública ou privada.

A Figura 5.18 apresenta a redução percentual do consumo de energia que as nuvens promovem, comparando-se ao *baseline* que é o cenário local.

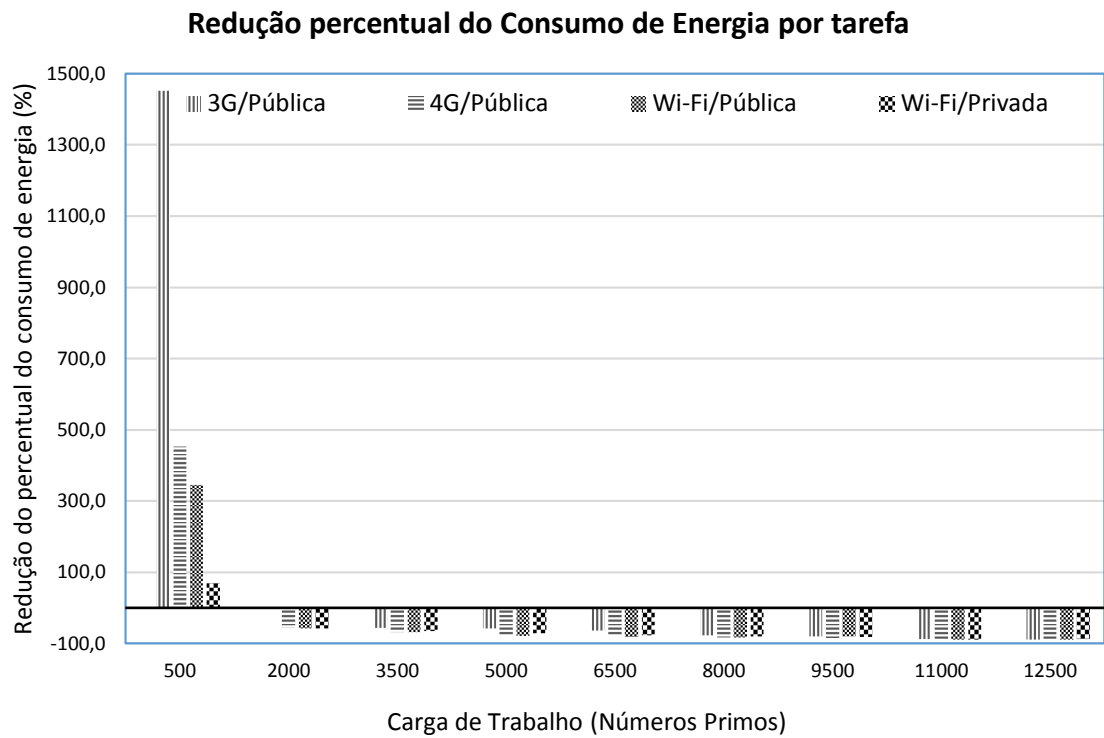


Figura 5.18 Redução Percentual do Consumo de Energia

Fonte: O autor deste trabalho

A Figura 5.19 apresenta os mesmos resultados da Figura 5.18, porém sem a carga de trabalho 500 números primos. O propósito disto é ampliar a visualização e compreensão dos resultados das demais cargas de trabalho (2000, 3500, 5000, 6500, 8000, 9500, 11000 e 12500 números primos).

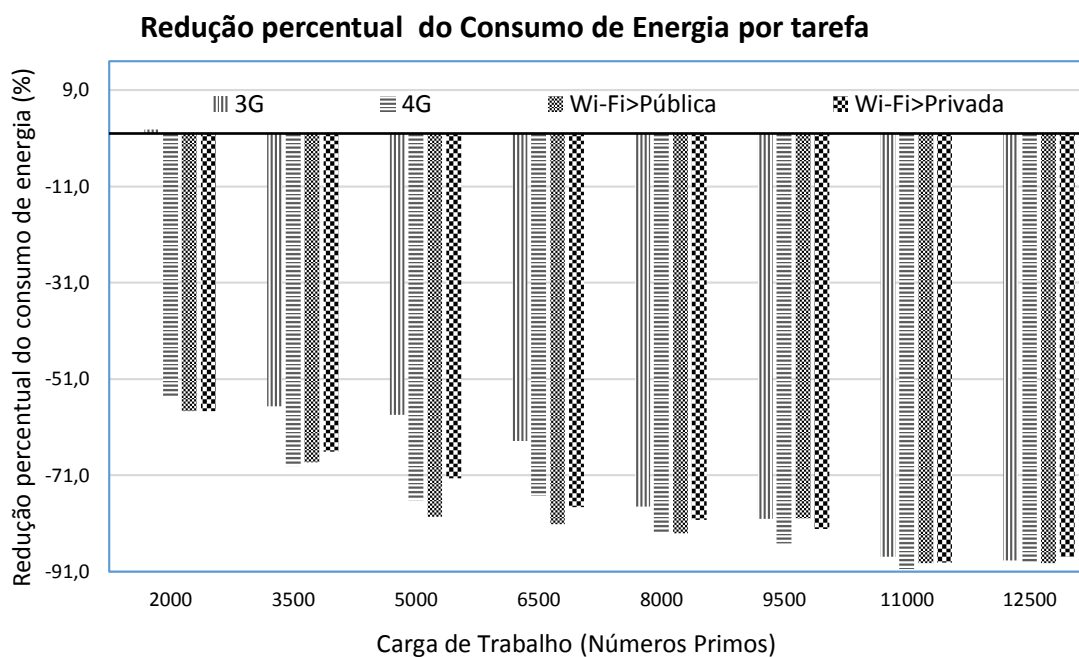


Figura 5.19 Redução Percentual do Consumo de Energia 2ª a 9ª carga de Trabalho (2000, 3500, 5000, 6500, 8000, 9500, 11000 e 12500)

Fonte: O autor deste trabalho

Observando as Figura 5.15 e 5.16, percebe-se que não houve economia de energia, com 1452,7% de aumento no consumo de energia no cenário 3G/pública, 452,3% no cenário 4G/pública, 345,2% no cenário Wi-Fi/pública e 69,6% no cenário Wi-Fi/privada para a carga de trabalho 500 números primos. Na carga de trabalho 2000 números primos há um aumento de 0,9% no consumo de energia no cenário 3G/pública. Estes aumentos percentuais (1452,7%, 452,3%, 345,2%, 69,6% e 0,9%) indicam que o consumo de energia por tarefa foram maiores nos cenários que envolvem nuvens computacionais se comparado ao cenário local, não promovendo economia de energia pelo uso das nuvens computacionais. No entanto, exceto esses resultados de consumo de energia, os demais valores foram negativos, indicando assim, que houve menos consumo de energia. Isso mostra vantagem na migração de tais tarefas para nuvem computacional considerando cargas de trabalho mais elevadas.

5.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou estudos de caso que ilustraram a aplicação da metodologia de avaliação do consumo de energia, como também permitiu ilustrar a execução desta metodologia com exemplos práticos e reais. A metodologia, que pode também ser utilizada para outros estudos de caso, mostrou-se eficaz no que diz respeito a avaliação de consumo de energia em dispositivos móveis em ambientes MCC. Verificou-se ainda, por meio dos resultados obtidos que quanto maior a carga de trabalho, geralmente é maior o consumo de energia na execução local, importando em vantagens a migração para a nuvem computacional, considerando os estudo de caso e cargas de trabalho adotados nesta dissertação. No próximo capítulo, serão apresentados as conclusões, contribuições e trabalhos futuros que são propostos no contexto deste trabalho.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como objetivo a proposição de uma metodologia para avaliar o consumo de energia em aplicativos de dispositivos móveis considerando ambientes de MCC. A metodologia proposta é composta por um conjunto de atividades, que mostra sistematicamente como realizar o estudo de avaliação de desempenho em um ambiente MCC. Os resultados apresentados mostram que a metodologia proposta permite a avaliação do consumo de energia de aplicações móveis em um ambiente de nuvem móvel. Isso torna viável para os analistas tomar decisões sobre quando migrar a execução local para a nuvem. Assim, é possível dizer que a metodologia proposta forneceu resultados pela sua aplicação nos estudos de caso apresentado no Capítulo 5, podendo serem usados, por exemplo, na tomada de decisão se um aplicativo específico pode ser considerado como um bom candidato a ser migrado para um ambiente de MCC, considerando o consumo de energia e tempo de execução relacionados como métricas.

No estudo de caso, foi possível quantificar o consumo de energia e tempo de execução, considerando o processamento da imagem e cálculo de números primos no ambiente local e em dois diferentes tipos de nuvens pública e privada. O estudo de caso forneceu informações relevantes para decidir se deve haver a migração para um ambiente de nuvem móvel.

6.1. CONTRIBUIÇÕES

A contribuição principal deste trabalho foi a proposição de uma metodologia para avaliação de desempenho do consumo de energia de aplicações em ambiente de nuvem móvel. Esta metodologia se mostrou significativamente importante, pois ela mostra, de forma sistematizada, como proceder com uma medição em aplicações que envolvam MCC e que não interfiram no sistema analisado, usando ferramenta de medição não invasiva, além de apresentar como selecionar e coletar as métricas, e tratar os dados para uma real avaliação do desempenho do sistema.

Outra contribuição relevante neste trabalho foi em relação as ferramentas que foram desenvolvidas para geração de carga de trabalho. A primeira é uma ferramenta que representa o processamento de imagem em dispositivos móveis, mais

especificamente a detecção de faces. A segunda ferramenta realiza o cálculo matemático de números primos. Ambas ferramentas são citadas por um importante estudo sobre *benchmarks* em MCC, como sendo ferramentas representativas de *benchmarks* mais utilizados para geração de cargas em ambientes MCC (SILVA *et al.*, 2016). Assim, atividades comuns do mundo real na utilização dos dispositivos móveis foram executadas, deixando de modo entendível que esforço computacional pode ser medido e conseqüentemente analisado. Por fim, a correta escolha do sensor de corrente e da estratégia de medição foram fundamentais para o êxito dos experimentos.

Em termos de divulgação do trabalho, parte da metodologia proposta nesta dissertação foi submetida e aceita em uma tradicional conferência internacional: a *International Conference on Systems, Man, and Cybernetics* (IEEE SMC 2017) (SILVA *et al.*, 2017b).

6.2. LIMITAÇÕES

A principal limitação encontrada neste trabalho foi o uso apenas da tecnologia da rede Wi-Fi para o acesso a nuvem computacional privada (CloudStack) e apenas um dispositivo móvel para a realização dos experimentos. Isto limitou a quantidade de resultados que poderiam ser gerados nos estudos de caso.

Outra limitação foi não ter sido proposta o uso de técnicas de avaliação de desempenho voltadas para modelagem, como por exemplo, Redes de Petri e Cadeiras de Markov. Esse tipo de formalismo pode ser eficaz para a obtenção de resultados simulados, e é considerado trabalho futuro no contexto desta dissertação

6.3. TRABALHOS FUTUROS

Dentro do contexto deste trabalho, vislumbram-se diversas oportunidades de continuidade. A seguir, serão listados os principais trabalhos futuros relacionados a esta dissertação:

- Expandir a metodologia proposta para considerar outras técnicas de avaliação de desempenho, tais como a simulação e modelagem analítica. Isso permitirá a avaliação de outros cenários não cobertos na medição, e a

obtenção de novos resultados. Inclusive com um modelo de custo proposto para avaliar da oferta do serviço de nuvem para aplicação móvel;

- Além disso, está também prevista a utilização de outras ferramentas para a medição do consumo de energia, ferramentas de medição invasiva inclusive e baseadas em estimativas. Isso viabilizará a possibilidade de executar comparativos entre tais ferramentas;
- Realizar testes de consumo energético utilizando diferentes tipos de carga de trabalho, como por exemplo *streaming* de vídeo e *games* e em outras larguras de banda, protocolos e tecnologias de rede. Assim, novos cenários serão estudados, e conseqüentemente existirá uma expansão dos resultados;
- Avaliar e quantificar o acréscimo do consumo de energia relacionando ao aumento da distância do dispositivo móvel ao ponto de acesso Wi-Fi;
- Desenvolver modelos analíticos, com Redes de Petri, Cadeias de Markov. Desta forma, será possível representar esforços computacionais mais robustos no ambiente MCC;
- Fazer a análise de desempenho do consumo de energia levando em consideração o nível *cutoff* (limite mínimo da atividade da bateria, suficiente para manter ligado o dispositivo), e efeito de recuperação das baterias do modelo analítico de difusão de Rakhmatov-Vrudhula (RAO; VRUDHULA; RAKHMATOV, 2003). Este modelo procura representar um efeito comum nas baterias, que faz com que a carga da bateria se recupere ainda que com uma taxa minimamente significativa, depois da interrupção de um grande esforço de descarga. Isso pode ser realizado com a avaliação das curvas de descarga de baterias em função do tempo, com foco na não linearidade dessas descargas por meio de uma modelo matemático.

7. REFERÊNCIAS

AMAZON. Amazon Web Services. **Cloud Computing Services**, 2017. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/>>. Acesso em: 25 Janeiro 2017.

ANUAR, A.; SAIPULLAH, K. M.; ISMAIL, N. A.; SOO, Y. OpenCV Based Real-Time Video Processing. **International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering**, v. 1, n. 3, 2012. ISSN 1-6.

ARAUJO, J.; MATOS JUNIOR, R.; MACIEL, P.; MATIAS, R. Software aging issues on the eucalyptus cloud computing infrastructure. **IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'11)**, 2011.

ARDUINO. Arduino About, 2016. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 22 Maio 2016.

ARMBRUST, M.; FOX, A.; GRIFFITH, R.; JOSEPH, A. D.; KATZ, R.; KONWINSKI, A.; ZAHARIA, M. A view of cloud computing. **Communications of the ACM**, 2010. 53(4), 50-58.

BAHTOVSKI, A.; GUSEV, M. Cloudlet challenges. **Procedia Engineering**, 2014. 69, 704-711.

BEZERRA, P. T. L. **Seleção de sensores sensível a contexto para redução do consumo de energia em smartphones**. Recife: Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

B'FAR, R. Mobile computing principles: designing and developing mobile. **Cambridge University Press**, 2004.

CARVALHO, S. A. L. MDEM: um ambiente para avaliação do consumo de energia em multidispositivos baseado na web, 2015.

CLOUDSTACK. CLOUDSTACK, 2017. Disponível em: <<https://cloudstack.apache.org/>>. Acesso em: 28 Janeiro 2017.

CNOVA. CRESCIMENTO DO MERCADO MOBILE. **CNOVA MARKETPLACE**, 2017. Disponível em: <<http://marketplace.br.cnova.com/artigo/crecemento-do-mercado-mobile-no-brasil-e-no-mundo/>>. Acesso em: 02 Maio 2017.

CORREIA, F. Definição de computação em nuvem segundo o NIST. **Plataforma Nuvem**, 2017. Disponível em: <<https://plataformanuvem.wordpress.com/2011/11/21/definicao-de-computacao-em-nuvem-segundo-o-nist/>>. Acesso em: 30 Julho 2017.

COSTA, P. B.; REGO, P. A.; COUTINHO, E. F.; TRINTA, F. A.; DE SOUZA, J. N. Uma Análise do Impacto da Qualidade da Internet Móvel na Utilização de Cloudlets. **Anais do 32º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, 2014.

COULOURIS, G.; DOLLIMORE, J.; KINDBERG, T.; & BLAIR, G. **Sistemas Distribuídos**. 5. ed. [S.l.]: Bookman, 2013.

DIEDRICH, C. O que é Docker? **mundodocker**, 2017. Disponível em: <<http://www.mundodocker.com.br/o-que-e-docker/>>. Acesso em: 13 Agosto 2017.

DINH, H. T.; LEE, C.; NIYATO, D.; WANG, P. Survey of Mobile Cloud Computing:Architecture, Applications, and Approaches. **Wireless communications and mobile computing**, v. 13, n. 18, p. 1587-1611, 2013.

EBAH. Sensoriamente de corrente, 2017. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABSYwAH/sensoreamento-corrente>>. Acesso em: 09 Maio 2017.

FORGHANI-ZADEH, H. P.; RINCON-MORA, G. A. Current-sensing techniques for DC-DC converters. **Circuits and Systems, 45th Midwest Symposium on IEEE**, v. 2, p. II-II, 2002.

GANI, A.; NAYEEM, G. M.; SHIRAZ, M.; SOOKHAK, M.; WHAIDUZZAMAN, M.; KHAN, S. A review on interworking and mobility techniques for seamless connectivity in mobile cloud computing. **Journal of Network and Computer Applications**, 2014. 84-102.

GAO, J.; GRUHN, V.; HE, J.; ROUSSOS, G.; TSAI, W. T. Mobile cloud computing research-issues, challenges and needs. **In Service Oriented System Engineering (SOSE)**, 2013. 442-453.

GOOGLE. App Engine by Google, 2017a. Disponível em: <<https://cloud.google.com/appengine/>>. Acesso em: 22 Janeiro 2017.

GOOGLE. android. **android**, 2017b. Disponível em: <<https://www.android.com/>>. Acesso em: 20 Janeiro 2017.

GRABER, S. LXC. **linuxcontainers**, 2017. Disponível em: <<https://linuxcontainers.org/lxc/manpages/man5/lxc.conf.5.html>>. Acesso em: 29 Julho 2017.

INDRAWAN, P.; BUDIYATNO, S.; RIDHO, N. M.; SARI, R. F. Face recognition for social media with mobile cloud computing, v. 3, n. 1, p. 23-35, 2013.

JAIN, R. The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling. **John Wiley & Sons**, 1991.

KAMPSTRA, P. **Beanplot**: A boxplot alternative for visual comparison of distributions. [S.l.]: VU University Amsterdam, 2008.

KUMAR, K.; LU, Y.-H. Cloud computing for mobile users: Can offloading computation. **Computer**, 2010. v. 43, n. 4, p. 51–56.

LI, W.; ZHAO, Y.; LU, S.; CHEN, D. Mechanisms and challenges on mobility-augmented service provisioning for mobile cloud computing. **IEEE Communications Magazine**, v. 53, n. 3, p. 89-97, 2015.

LILJA, D. J. Measuring computer performance: a practitioner's guide. **Cambridge university press**, 2005.

MINITAB. Minitab. **Minitab**, 2017. Acesso em: 25 Janeiro 2017.

OBAIDAT, M. S. Guest Editorial: Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems, v. 85, n. 8, p. 483-484, 2009.

OMEGA. **Data Acquisition**, 2016. Disponível em: <<http://www.omega.com/prodinfo/dataacquisition.html>>. Acesso em: 02 Junho 2016.

OPENCV. OpenCV. **OpenCV**, 2017. Disponível em: <<http://opencv.org/>>. Acesso em: 03 Abril 2017.

- PROUST, M.; JMP, A. **Design of experiments guide**. [S.l.]: [s.n.], 2009.
- QI, H.; GANI, A. Research on mobile cloud computing: Review, trend and perspectives Digital Information and Communication Technology and it's Applications (DICTAP). **Second International Conference on. Anais.ieee**, 2012.
- RAO, R.; VRUDHULA, S.; RAKHMATOV, D. N. Battery modeling for energy aware system design. **Computer**, v. 33, n. 12, p. 77-87, 2003.
- SAIPULLAH, K. M.; ANUAR, A.; ISMAIL, N. A.; SOO, Y. Measuring power consumption for image processing on android smartphone. **American Journal of Applied Sciences**, v. 9, n. 12, 2013.
- SALESFORCE. salesforce, 2017. Disponível em: <<https://www.salesforce.com/br/?ir=1>>. Acesso em: 5 Maio 2017.
- SANT'ANA, C. H.; LEITE, J. C. B.; MOSSÉ, D. Previsão de Carga para Economia de Energia em Aglomerados de Servidores Web. **Anais do SBRC**, 683-696, 2010.
- SANTANA, N. A. D. **Uma metodologia para avaliação de desempenho de aplicações em ambiente de computação móvel em nuvem**. Recife: Dissertação de Mestrado - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2016.
- SATYANARAYANAN, M. Fundamental challenges in mobile computing. **Proceedings of the fifteenth annual ACM symposium on Principles of distributed computing**, 1996. 1-7.
- SATYANARAYANAN, M.; BAHL, P.; CACERES, R.; DAVIES, N. The case for vm-based cloudlets in mobile computing. **IEEE pervasive Computing**, 2009. v. 8, n. 4.
- SATYANARAYANAN, M.; CHEN, Z.; HA, K.; HU, W.; RICHTER, W.; PILLAI, P. Cloudlets: at the leading edge of mobile-cloud convergence Mobile Computing, Applications and Services (MobiCASE). **6th International Conference on. Anais.**, 2014.
- SILVA, F. A.; MACIEL, P.; SANTANA, E.; MATOS, R.; DANTAS, J. Mobile cloud face recognition based on smart cloud ranking. **Computing**, v. 99, n. 3, p. 287-311., 2017a.

SILVA, F. A.; ZAICANER, G.; QUESADO, E.; DORNELAS, M.; SILVA, B.; MACIEL, P. Benchmark applications used in mobile cloud computing research: a systematic mapping study. **The Journal of Supercomputing**, v. 72, n. 4, p. 1431-1452, 2016.

SILVA, J. S.; LINS, F. A. A.; E., S.; SUMMER, H.; FERNANDES, C. M. Invasive Technique for Measuring the Energy Consumption of Mobile Devices Applications in Mobile Cloud Environments. **A ser publicado na International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC17)**., 2017b.

SOMMERS, J.; BARFORD, P. Cell vs. WiFi: on the performance of metro area mobile connections. **ACM conference on Internet measurement conference**, p. 301-314, 2012.

SRIRAMA, S. N.; PANIAGUA, C.; FLORES, H. Croudstag: social group formation with facial recognition and mobile cloud services. **Procedia computer science**, v. 5, p. 633-640, 2011.

VALLINA-RODRIGUEZ, N.; CROWCROFT, J. Energy management techniques in modern mobile handsets. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, 2013. v. 15, n. 1, p. 179-198, 2013.

VANDERWIEL, S. P.; LILJA, D. J. Data prefetch mechanisms. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 32, n. 2, p. 174-199, 2000.

VAQUERO, L. M.; RODERO-MERINO, L.; CACERES, J.; LINDNER, M. A break in the clouds: towards a cloud definition. **ACM SIGCOMM Computer Communication Review**, 2008. 39(1), 50-55.

WILLIAMSON, D. F.; PARKER, R. A.; KENDRICK, J. S. The box plot: a simple visual method to interpret data, v. 110, n. 11, p. 916-921, 1989.

ZHANG, Q.; CHENG, L.; BOUTABA, R. Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. **Journal of internet services and applications**, v. 1, n. 1, p. 7-18, 2010.

ZIEGLER, S.; WOODWARD, R. C.; IU, H. H. C.; BORLE, L. J. Current sensing techniques: A review. **IEEE Sensors Journal**, v. 9, n. 4, 2009. ISSN 354-376.

