



Pós-Graduação em Ciência da Computação

Verônica Conceição Oliveira da Silva

**MODELOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E CONSUMO DE  
ENERGIA EM DISPOSITIVOS MÓVEIS**

Dissertação de Mestrado



Universidade Federal de Pernambuco  
posgraduacao@cin.ufpe.br  
[www.cin.ufpe.br/~posgraduacao](http://www.cin.ufpe.br/~posgraduacao)

RECIFE  
2015



Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Informática  
Pós-graduação em Ciência da Computação

Verônica Conceição Oliveira da Silva

**MODELOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E CONSUMO DE  
ENERGIA EM DISPOSITIVOS MÓVEIS**

*Trabalho apresentado ao Programa de Pós-graduação em  
Ciência da Computação do Centro de Informática da Univer-  
sidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para  
obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.*

Orientador: *Dr. Paulo Romero Martins Maciel*

RECIFE  
2015

---

Verônica Conceição Oliveira da Silva

Modelos de avaliação de desempenho e consumo de energia em dispositivos móveis/  
Verônica Conceição Oliveira da Silva. – RECIFE, 2015-  
105 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador Dr. Paulo Romero Martins Maciel

Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

1. Consumo de energia. 2. Modelos de confiabilidade. 3. Modelos de disponibilidade.  
I. Prof. Dr. Paulo Romero Martins Maciel. II. Universidade Federal de Pernambuco. III.  
Centro de Informática. IV. Modelos de avaliação de desempenho e consumo de energia em  
dispositivos móveis.

CDU 02:141:005.7

---

Dissertação de mestrado apresentada por **Verônica Conceição Oliveira da Silva** ao programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, sob o título **Modelos de avaliação de desempenho e consumo de energia em dispositivos móveis**, orientada pelo **Prof. Dr. Paulo Romero Martins Maciel** e aprovada pela banca examinadora formada pelos professores:

---

Dr. Paulo Romero Martins Maciel  
Centro de Informática/UFPE

---

Dr. Gabriel Alves de Albuquerque Júnior  
Departamento de Estatística e Informática/UFRPE

---

Dr. Nelson Souto Rosa  
Centro de Informática/UFPE

*Eu dedico este trabalho à minha família, amigos e professores, os quais me ajudaram de inúmeras formas para concretizar mais esta etapa.*

# Agradecimentos

Agradeço a todos os professores que ao longo dos anos de estudo compartilharam seus ensinamentos e sempre incentivaram a ir além, auxiliando a enfrentar obstáculos e superar dificuldades; sempre acreditando no potencial do aluno e não se contentando com trabalhos medianos, sendo exigentes e assim fortalecendo a autoconfiança do estudante. Alguns professores foram mais marcantes e servem de inspiração. O grupo de pesquisa MoDCS teve um papel fundamental, todos os colegas e apoios múltiplos foram fundamentais para superar cada etapa. A vida é como mar, as coisas vão e vem. O conhecimento ensina a viver, a enfrentar as ondas, reduzindo a quantidade de quedas e aprendendo a conviver, algumas vezes enfrentando e outras, contornando-as em harmonia. Com o passar do tempo o conhecimento se transforma em sabedoria, o qual se leva para toda a vida é a única bagagem que jamais se perde e nunca lhe pode ser retirada. Compartilhar o conhecimento é proporcionar o crescimento de asas, para que se possa voar ainda mais alto, afinal só o estudo é capaz de mudar uma realidade.

*“Our doubts are traitors, and make us lose the good we oft might win, by  
fearing to attempt.”*

—WILLIAM SHAKESPEARE, MEASURE FOR MEASURE

# Resumo

A popularização dos dispositivos móveis e o intenso crescimento das aplicações destinadas a estes dispositivos favorece tais elementos como ferramentas de trabalho para inúmeras áreas, incluindo atenção saúde, uma área em constante evolução. A tecnologia móvel auxilia a área médica oferecendo facilidades e novos recursos às equipes médicas e pacientes, devido a isto, os dispositivos móveis e suas aplicações dedicadas contribuem como uma ferramenta de apoio no contexto de atenção à saúde. As aplicações de mensagens instantâneas facilitam a comunicação, de forma que as equipes médicas possam ter acesso constante aos dados de monitoramento de seus pacientes através do uso de seus dispositivos móveis. O dispositivo móvel é um elemento integrante do ambiente de computação móvel em nuvem e conhecer o tempo médio em que este dispositivo irá funcionar sem que apresente falhas é o ponto de partida para avaliar o desempenho desta ferramenta utilizada pelas equipes de atenção à saúde. O dispositivo móvel é composto por diversos elementos incluindo bateria e as interfaces de rede que são identificadas como componentes relevantes na disponibilidade para utilização constante das aplicações nestes dispositivos. A utilização de modelos de avaliação de desempenho auxilia na previsibilidade do comportamento do dispositivo móvel no ambiente, desta forma é adotado modelos de diagramas de blocos para avaliar a confiabilidade e disponibilidade do dispositivo, juntamente com outros modelos a fim de avaliar o desempenho de elementos específicos do dispositivo móvel, tais como, a conectividade das interfaces de rede através do uso de redes de Petri e o consumo de energia através de cadeias de Markov; com base nos modelos elaborados distintos cenários são avaliados para comparar o desempenho do consumo de energia das quatro estratégias de sincronismo mais usuais de aplicações de comunicação instantânea e desta forma compreender o impacto de adoção destas no desenvolvimento das aplicações voltada à atenção à saúde. Os modelos elaborados permitem avaliar o desempenho dos protocolos de aplicação e o impacto das interfaces de rede do dispositivo para preservar o recurso de energia do dispositivo.

**Palavras-chave:** Consumo de Energia. Modelos de Confiabilidade. Modelos de Disponibilidade.

# Abstract

More and more mobile devices and the sharp increase in applications for these devices favors such elements as work tools for many areas, including health care, an area in constant evolution. Mobile technology helps medical facilities and providing new resources to medical staff and patients, due to this, mobile devices and their dedicated applications contribute as a support tool in the context health care. The instant messaging applications facilitate communication so that medical staff can have constant access to their patient's monitoring data through their mobile devices use. The mobile device is a Mobile Cloud Computing component element. To know the average time this device will function without presenting faults is the starting point for assessing this tool's performance used by health care teams. The mobile consists of various elements including battery and network interfaces, and these identified as relevant components in readiness for constant use of applications on these devices. The evaluation models help predictability mobile device behavior in the environment. The block diagrams model was adopted to assess the device's reliability and availability. Like other models to evaluate the specific elements performance of the mobile device. The network interfaces connectivity through the Petri networks use, and energy consumption using Markov chains. With these models, different scenarios are evaluated to compare the energy consumption performance of the four most common timing strategies of instant messaging applications. Thus understand the impact of adopting these in the development of applications dedicated to health care. Elaborate models for evaluating the performance of application protocols and the effects of the device's network interfaces to preserve the device's energy resource.

**Keywords:** Energy Consumption. Reliability Models. Availability Models.

# Lista de Figuras

1.1	Visão geral dos modelos . . . . .	21
2.1	Estados de operação do sistema, figura adaptada de (MACIEL PAULO R. M.; TRIVEDI; KIM, 2011). . . . .	35
2.2	Diagrama de blocos de confiabilidade. . . . .	37
2.3	Rede de Petri com três estados . . . . .	39
2.4	Cadeia de Markov de tempo contínuo com três estados. . . . .	41
3.1	Metodologia do fluxo de trabalho. . . . .	44
3.2	RBD do dispositivo móvel por (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013) . . . . .	45
3.3	Arquitetura do cenário. . . . .	46
3.4	Arquitetura da aplicação cliente-servidor . . . . .	49
3.5	<i>Test-bed</i> de medição de energia. . . . .	51
4.1	RBD do dispositivo móvel . . . . .	55
4.2	Modelo SPN para as interfaces de rede do dispositivo móvel. . . . .	56
4.3	Modelo CTMC para descarga de bateria. . . . .	62
4.4	Gráfico de consumo energético do protocolo WebSocket sobre avaliação de tamanho dos pacotes. . . . .	75
5.1	Consumo energético dos clientes móveis quando utilizado redes Wi-Fi. . . . .	78
5.2	Consumo energético dos clientes móveis quando utilizado redes Tecnologias de comunicação de dados móveis de 3a. geração (3G). . . . .	79
5.3	Consumo energético dos clientes móveis quando utilizado redes Tecnologias de comunicação de dados móveis de 2a. geração (2G). . . . .	81
5.4	Importância dos componentes do dispositivo móvel . . . . .	84
5.5	Confiabilidade do dispositivo móvel . . . . .	85
B.1	<i>Test-bed</i> de medição de energia com Watts up. . . . .	103
B.2	<i>Test-bed</i> de medição de energia com Amalghma. . . . .	103

# Lista de Tabelas

1.1	Trabalhos relacionados . . . . .	24
1.2	Parâmetros envolvidos nos trabalhos relacionados . . . . .	25
3.1	Parâmetros para composição de cenários . . . . .	48
3.2	Parâmetros do ambiente . . . . .	49
4.1	Taxa média dos experimentos de transição de interfaces . . . . .	60
4.2	Valores MTTF e MTTR das infraestruturas das redes de dados . . . . .	61
4.3	Intervalo de confiança para os tempos dos parâmetros na SPN . . . . .	61
4.4	Resultados do modelo SPN . . . . .	62
4.5	Médias obtidas nos experimentos iniciais . . . . .	66
4.6	Intervalo de confiança para os tempos dos parâmetros da CTMC . . . . .	66
4.7	Resultados do modelo CTMC . . . . .	67
4.8	Parâmetros para composição de cenários de tempo . . . . .	68
4.9	Resultados dos experimentos nos cenários de tempo . . . . .	69
4.10	Tabela de projeção de tempo para 4 horas . . . . .	69
4.11	Parâmetros para composição de cenários de protocolos . . . . .	70
4.12	Resultados obtidos nos experimentos dos protocolos sobre rede Wi-Fi . . . . .	71
4.13	Médias de consumo energético dos experimentos . . . . .	71
4.14	Resultados da disponibilidade dos protocolos sobre Wi-Fi . . . . .	72
4.15	Parâmetros para composição de cenários de pacotes . . . . .	72
4.16	Resultados obtidos nos experimentos de tamanho de pacote com XMPP . . . . .	73
4.17	Resultados obtidos nos experimentos de tamanho de pacote com WebSocket . . . . .	73
5.1	Cenários propostos para estudos de caso . . . . .	77
5.2	Resultados da disponibilidade considerando somente redes Wi-Fi . . . . .	78
5.3	Resultados da disponibilidade considerando somente redes 3G . . . . .	80
5.4	Resultados da disponibilidade considerando somente redes 2G . . . . .	81
5.5	Resultados da disponibilidade considerando trânsito entre redes . . . . .	82
5.6	Parâmetros do dispositivo móvel . . . . .	83
5.7	Parâmetro do componente <i>mobile</i> . . . . .	84
5.8	Resultados de confiabilidade do dispositivo móvel . . . . .	85
A.1	Tabela de projeção de tempo para 4 horas . . . . .	99
A.2	Tabela de projeção de tempo para 3 horas . . . . .	99
A.3	Tabela de projeção de tempo para 2 horas . . . . .	100
A.4	Tabela de projeção de tempo para 1 horas . . . . .	100

A.5	Tabela de projeção de tempo para 30 minutos . . . . .	100
A.6	Tabela de projeção de tempo para 15 minutos . . . . .	100
A.7	Tabela de projeção de tempo para 10 minutos . . . . .	101
A.8	Tabela de projeção de tempo para 5 minutos . . . . .	101

# Lista de Acrônimos

<b>2G</b>	Tecnologias de comunicação de dados móveis de 2a. geração.....	16
<b>3G</b>	Tecnologias de comunicação de dados móveis de 3a. geração.....	16
<b>4G</b>	Tecnologias de comunicação de dados móveis de 4a. geração.....	16
<b>5G</b>	Tecnologias de comunicação de dados móveis de 5a. geração.....	17
<b>BYOD</b>	<i>Bring Your Own Device</i> .....	27
<b>CRNT</b>	<i>Context Recognition Network Toolbox</i> .....	23
<b>CTMC</b>	<i>Continuous-Time Markov Chain</i> .....	20
<b>E-Health</b>	<i>Electronic-Health</i> .....	17
<b>ECC</b>	<i>Elliptical Curve Cryptography</i> .....	23
<b>EDGE</b>	<i>Enhanced Data for Global Evolution</i> .....	63
<b>FT</b>	<i>Fault Tree</i> .....	35
<b>EFM</b>	<i>Energy Flow Model</i> .....	43
<b>GSM</b>	<i>Global System for Mobile communications</i> .....	16
<b>GSPN</b>	<i>Generalized Stochastic Petri Nets</i> .....	43
<b>GPS</b>	<i>Global Positioning System</i> .....	16
<b>GPRS</b>	<i>General Packet Radio Service</i> .....	63
<b>HSDPA</b>	<i>High-Speed Downlink Packet Access</i> .....	50
<b>HSPA</b>	<i>High-Speed Packet Access</i> .....	16
<b>HTML</b>	<i>HyperText Markup Language</i> .....	30
<b>HTTP</b>	<i>HyperText Transfer Protocol</i> .....	30
<b>IC</b>	Intervalo de Confiança.....	61
<b>ICQ</b>	<i>Internet Chat Query</i> .....	28
<b>IETF</b>	<i>Internet Engineering Task Force</i> .....	32
<b>IM</b>	<i>Instant Message</i> .....	28
<b>JMS</b>	<i>Java Message Service</i> .....	48
<b>mHealth</b>	<i>Mobile-Health</i> .....	17
<b>MCC</b>	<i>Mobile Cloud Computing</i> .....	17
<b>MIM</b>	<i>Mobile Instant Messaging</i> .....	28

<b>MTTF</b>	<i>Mean Time to Failure</i> .....	52
<b>MTTR</b>	<i>Mean Time to Repair</i> .....	54
<b>PDA</b>	<i>Personal Digital Assistants</i> .....	16
<b>RBD</b>	<i>Reliability Block Diagram</i> .....	20
<b>SHARPE</b>	<i>Symbolic Hierarchical Automated Reliability and Performance Evaluator</i> . . .	42
<b>SMS</b>	<i>Short Message Service</i> .....	21
<b>SCP</b>	<i>Stochastic Colored Petri nets</i> .....	43
<b>SPN</b>	<i>Stochastic Petri Nets</i> .....	20
<b>TCP</b>	<i>Transmission Control Protocol</i> .....	31
<b>TIC</b>	<i>Tecnologia da Informação e Comunicação</i> .....	18
<b>XML</b>	<i>eXtensible Markup Language</i> .....	31
<b>XMPP</b>	<i>Extensible Messaging and Presence Protocol</i> .....	30
<b>WLAN</b>	<i>Wireless Local Area Network</i> .....	56

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>16</b>
1.1	Motivação e justificativa . . . . .	18
1.2	Objetivos . . . . .	20
1.3	Visão geral . . . . .	20
1.4	Trabalhos relacionados . . . . .	21
1.5	Contribuições . . . . .	25
1.6	Estrutura da dissertação . . . . .	26
<b>2</b>	<b>Fundamentação teórica</b>	<b>27</b>
2.1	Dispositivos móveis . . . . .	27
2.2	Mensagens instantâneas . . . . .	28
2.3	Tecnologias <i>server push</i> . . . . .	29
2.3.1	Protocolo <i>polling</i> . . . . .	30
2.3.2	Protocolo <i>long-polling</i> . . . . .	31
2.3.3	Protocolo <i>WebSocket</i> . . . . .	31
2.3.4	Protocolo XMPP . . . . .	32
2.4	Dependabilidade . . . . .	32
2.5	Técnicas de modelagem . . . . .	35
2.5.1	Diagrama de bloco de confiabilidade . . . . .	36
2.5.2	Redes de Petri estocásticas . . . . .	37
2.5.3	Cadeias de Markov de tempo contínuo . . . . .	40
2.6	Ferramentas de modelagem . . . . .	42
2.6.1	Sharpe . . . . .	42
2.6.2	TimeNet . . . . .	42
2.6.3	Mercury . . . . .	43
<b>3</b>	<b>Metodologia e ambiente</b>	<b>44</b>
3.1	Fluxo da avaliação . . . . .	44
3.2	Arquitetura base . . . . .	45
3.3	Ambiente desenvolvido . . . . .	47
3.3.1	Gerador de carga de trabalho . . . . .	48
3.3.2	Medição de energia . . . . .	50
<b>4</b>	<b>Modelos</b>	<b>52</b>
4.1	Elaboração dos modelos . . . . .	53
4.2	Modelo de desempenho do dispositivo móvel . . . . .	54

---

4.2.1	Modelo de disponibilidade das interfaces de rede . . . . .	55
4.2.2	Validação do modelo SPN . . . . .	58
4.3	Modelo de disponibilidade do consumo energético . . . . .	62
4.3.1	Validação do modelo CTMC . . . . .	64
4.4	Definição de parâmetros para os experimentos . . . . .	67
4.4.1	Definição do tempo para o experimento . . . . .	67
4.4.2	Avaliação inicial dos protocolos . . . . .	70
4.4.3	Definição do tamanho das mensagens . . . . .	72
<b>5</b>	<b>Estudos de caso</b>	<b>76</b>
5.1	Estudos de caso . . . . .	76
5.1.1	Estudo de caso 1 . . . . .	77
5.1.2	Estudo de caso 2 . . . . .	79
5.1.3	Estudo de caso 3 . . . . .	80
5.1.4	Estudo de caso 4 . . . . .	81
5.2	Avaliação de desempenho do dispositivo . . . . .	83
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>86</b>
6.1	Contribuições . . . . .	86
6.2	Trabalhos futuros e limitações . . . . .	89
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>91</b>
	<b>Apêndice</b>	<b>98</b>
<b>A</b>	<b>Informações complementares ao estudo</b>	<b>99</b>
A.1	Projeção de tempos . . . . .	99
<b>B</b>	<b>Estratégias de medição de energia</b>	<b>102</b>
B.1	API . . . . .	102
B.2	Watts up . . . . .	102
B.3	Amalghma . . . . .	103
<b>C</b>	<b>Script para cálculo de disponibilidade</b>	<b>104</b>

# 1

## Introdução

A evolução dos dispositivos computacionais nas últimas décadas alavancou grandes avanços para pesquisa e desenvolvimento de grande variedade destes dispositivos. Alguns dispositivos possuem propósito específico como é o caso de monitores cardíacos, navegadores com *Global Positioning System* (GPS), controladores de linhas de produção e outros que agregam diversas funcionalidades aos usuários, a exemplo, computadores portáteis, *Personal Digital Assistants* (PDA) e outros dispositivos. A popularização dos *smartphones* amplia a facilidade de uso dos dispositivos computacionais de pequeno porte para tarefas diversas, com isso o mercado de aplicativos para dispositivos móveis cresce e novas tecnologias de comunicação de dados são desenvolvidas para proporcionar uma maior usabilidade deste dispositivo, cada vez mais presente no cotidiano das pessoas e comunidades (MCCARTY, 2014).

Com o crescimento de aplicações específicas, os fabricantes de dispositivos móveis investem em pesquisas com o objetivo de melhorar o desempenho destes dispositivos. Atualmente os *smartphones* possuem uma grande capacidade de processamento e armazenamento, a fim de atender as demandas de usuários e aplicações. Processadores cada vez mais rápidos, câmeras de alta resolução, dispositivos de localização mais precisos, memória de acesso rápido e maior capacidade de armazenamento. Sistemas operacionais com melhor desempenho agregados às tecnologias de interfaces sem fio, são capazes de proporcionar uma comunicação ágil das informações e dos dados produzidos ou recebidos por esses dispositivos.

A crescente necessidade de troca de informações através dos dispositivos móveis alavancou o crescimento das redes móveis de comunicação de dados que evoluíram em algumas gerações. Tecnologias de comunicação de dados móveis de 2a. geração (2G) acarretaram no surgimento da tecnologia *Global System for Mobile communications* (GSM) que ampliou a vazão das redes de comunicação; contudo nos anos seguintes surge uma melhora na vazão das redes móveis através das Tecnologias de comunicação de dados móveis de 3a. geração (3G) que utilizam as redes *High-Speed Packet Access* (HSPA), porém, estas redes não atendem de forma plena às demandas de comunicação de dados dos dispositivos móveis e suas aplicações, esta condição abriu novos caminhos para as redes de Tecnologias de comunicação de dados móveis de 4a. geração (4G) em uso, porém, ainda não em grande escala em algumas regiões entretanto nos

próximos anos as pesquisas relacionadas à Tecnologias de comunicação de dados móveis de 5a. geração (5G) trarão soluções às demandas geradas pelas aplicações e recursos dos dispositivos móveis nas mais diversas áreas (QUALCOMM, 2014). A conexão às redes de comunicação de dados móveis atualmente ultrapassa a marca de 7 bilhões de conexões e é estimado que em seis anos esse número ultrapasse os 25 bilhões. Em 2013, o mercado de aplicativos para dispositivos móveis atingiu um valor superior a 100 bilhões de aplicações disponibilizadas pelas infraestruturas de *Mobile Cloud Computing* (MCC); é esperado que em 2017 atinja uma marca superior a 270 bilhões (QUALCOMM, 2014). A popularização da Internet e o intenso uso de *smartphones* contribuem para ampliar o desenvolvimento de aplicações de uso específico incluindo a área de saúde.

A utilização de recursos computacionais na área de saúde facilita o armazenamento e obtenção de dados de forma eletrônica, esta nova tendência abre caminhos para construção de fundamentos de *Electronic-Health* (E-Health) (MAHEU MARLENE M.; WHITTEN; ALLEN, 2001). Os *smartphones* possuem uma grande variedade de características que lhes atribuem vantagens, como a portabilidade, a conectividade constante com a rede para troca de informações, o poder computacional para execução de aplicações complexas e aliados ao seu tamanho físico reduzido são elementos que facilitam a popularização destes dispositivos. Um estudo realizado nos Estados Unidos em junho de 2011 (CTIA, 2014) observou a intensa presença de dispositivos computacionais móveis entre a população, atingindo o volume de 102%; isso demonstra a presença de mais de um dispositivo por pessoa e entre as equipes médicas é estimado que mais de 75% dos integrantes utilizem *smartphones* (SANDLOTSOLUTIONS, 2014). A ampla utilização de *smartphones* têm auxiliado na comunicação entre equipes médicas e hospitais. A adoção de tecnologias de *server push*, utilizada para sincronismo de comunicação de mensagens instantâneas, melhora a produção de aplicações relevantes e inovadoras para diversas áreas da saúde e auxilia no acesso às informações, monitoração constante do paciente e apoio à decisão, esta nova realidade inclina a transição para o conceito de *Mobile-Health* (mHealth) (PERERA, 2012).

A utilização de recursos computacionais na área de saúde facilita a obtenção de dados e informações sobre o paciente. Tecnologias de sensores e comunicação de dados auxiliam na monitoração de sinais dos pacientes e existe uma ampla variedade de sensores que proporcionam uma monitoração menos intrusiva o que tornam-se parte do cotidiano dos pacientes (DEARDEN ANDY; WRIGHT; WOLSTENHOLME, 2010). Pesquisas com foco em monitoramento intensivo de saúde ganham uma ampla variedade de enfoques, tais pesquisas proporcionam ambientes inteligentes e fácil acesso às informações do paciente pelas equipes de atenção à saúde (ZIEFLE; RÖCKER, 2010). Ambientes com distintos tipos de sensores auxiliam as equipes médicas de forma mais precisa e objetiva quanto aos sinais do paciente (OLGUIN DANIEL OLGUÍN; GLOOR; PENTLAND, 2009), nestes ambientes os dados coletados pelos sensores são armazenados em infraestruturas computacionais e encaminhados aos destinatários de atenção à saúde, responsáveis por aquele paciente.

Em E-Health muitos serviços e conceitos computacionais são utilizados, como as arquiteturas computacionais e tipos de sensores, assim como a forma de transmissão dos dados ao serviço de coleta o que inclui o armazenamento e processamento dos dados. Neste contexto, o conceito MCC pode contribuir para uma infraestrutura de confiabilidade e disponibilidade que abrange as tecnologias de transmissão de dados e dispositivos computacionais móveis os quais são utilizados para o acesso às informações, entretanto os dispositivos móveis devem estar aptos a execução de aplicações, assim a conexão com as redes de dados e o consumo energético são fatores relevantes para a confiabilidade do dispositivo.

## 1.1 Motivação e justificativa

As equipes de atenção à saúde utilizam seus *smartphones* como ferramentas de trabalho para ter acesso às informações e dados do paciente e as aplicações móveis presentes nestes dispositivos utilizam recursos de comunicação de rede e estratégias de sincronismo com servidores da MCC para execução das aplicações de atenção à saúde. Como mencionado por ([SANDLOT-SOLUTIONS, 2014](#)), há uma grande presença de dispositivos móveis computacionais entre as equipes médicas, isto desperta o interesse em conhecer o tempo médio em que este dispositivo irá funcionar sem que apresente falhas em seus componentes, pois trata-se de uma ferramenta de trabalho das equipes de atenção à saúde para obter informações sobre seus pacientes.

Em E-Health, o termo telemedicina também pode ser descrito como Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC); esta subárea tecnológica possui o objetivo de prover recursos computacionais e informações a serviços médicos ([PEREDNIA; ALLEN, 1995](#)). Os avanços em computação móvel e redes de comunicação sem fio contribuem para o crescimento de uma nova área dentro do contexto de telemedicina, já o termo mHealth representa a convergência entre o uso de dispositivos móveis pessoais e redes de comunicação de dados sem fio que possibilita o uso e desenvolvimento de aplicações voltadas ao monitoramento remoto de pacientes ([ISTEPANIAN ROBERT; LAXMINARAYAN; PATTICHIS, 2006](#)). As equipes médicas utilizam os dispositivos móveis para a efetiva execução das aplicações mHealth, recebendo os dados do paciente. Os integrantes da equipe estão em constante movimento dentro de complexos hospitalares e demandam dispositivos que proporcionem uma melhor autonomia a fim de que os indivíduos possam concentrar seus esforços e atenção aos dados e informações do paciente, que são os elementos principais de seu interesse.

A dependabilidade, capacidade dos sistemas computacionais de prestar um serviço que se pode justificadamente confiar, auxilia a determinar a confiabilidade do dispositivo móvel; de forma mais objetiva, determinar a probabilidade de que não ocorram falhas no dispositivo em um determinado tempo. Na literatura, são evidenciados métodos e ferramentas para mensurar o atributo de disponibilidade e confiabilidade dos *smartphones*, em especial utiliza-se tempos de execução da aplicação. A disponibilidade e consumo de energia do dispositivo em ambientes de MCC são modelados por ([OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013](#)) utilizando redes

de Petri e modelos de diagramas de bloco de confiabilidade, outras pesquisas incrementam estudos de análise de sensibilidade sobre os diversos componentes da MCC, como abordado por (MATOS RUBENS; ARAUJO; TRIVEDI, 2014) que utilizam modelos de consumo de energia baseados em cadeias de Markov para ampliar o estudo de dependabilidade do dispositivo móvel. A arquitetura de MCC está sujeita à variação do ambiente de servidores e do dispositivo do usuário, como os *smartphones*, falhas ocorrem na oferta de serviço de rede de dados isto faz com que o dispositivo móvel procure uma nova alternativa de conexão de dados para execução o recebimento das informações do paciente e esta conexão de dados por diversos meios de rede impacta no consumo de energia do dispositivo.

O contexto de nuvem permite o armazenamento e acesso remoto de dados e informações a qualquer hora e em qualquer lugar (PERRY MARK; O'HARA; HARPER, 2001). O rápido crescimento do mercado de dispositivos móveis afeta de forma direta o cenário da Internet, assim mais de 10% do tráfego de dados gerado na rede parte dos dispositivos móveis, segundo (HOLLISTER, 2013). O mercado de aplicativos móveis cresce de forma rápida, com mais aplicativos desenvolvidos a cada dia, com objetivo de auxiliar atividades cotidianas e demandas específicas (HUGHES, 2014) e os usuários esperam e anseiam por mais recursos de seus dispositivos computacionais, em especial dos *smartphones*. Dentre os usuários há uma crescente necessidade de comunicação instantânea, o que abre oportunidades de desenvolvimento destas aplicações para inúmeras finalidades. O intenso investimento em pesquisas para melhoria do desempenho dos *smartphones* proporciona dispositivos de melhor funcionamento, como consequência o mercado de desenvolvimento de aplicações móveis trabalha em um ritmo intenso, superior à evolução dos componentes de *hardware* (HARRISON RACHEL; FLOOD; DUCE, 2013), contudo os dispositivos móveis possuem recursos de energia limitado, que podem não corresponder às necessidades das aplicações e expectativas de seus utilizadores, devido a este aspecto a otimização de aplicativos torna-se relevante para preservação do recurso de energia, como um requisito de qualidade para MCC (BALASUBRAMANIAN NIRANJAN; BALASUBRAMANIAN; VENKATARAMANI, 2009) em diversas áreas.

A grande variedade de aplicações e recursos do dispositivo móvel exige uma maior quantidade de energia para atender as demandas de execução computacional (HARRISON RACHEL; FLOOD; DUCE, 2013). O desenvolvimento de aplicações que preservem a energia dos dispositivos não é uma tarefa simples, pois algumas aplicações demandam desempenho como um aspecto crítico à sua execução, este é o caso de aplicações voltadas para área de mHealth, jogos, visão computacional, reconhecimento de imagens, dentre outros (VALLINARODRIGUEZ; CROWCROFT, 2012). Nos dispositivos móveis as interfaces de conexão às redes de comunicação de dados possuem um impacto significativo na disponibilidade do *smartphone*, pois tais interfaces impactam diretamente o consumo de energia (BALASUBRAMANIAN NIRANJAN; BALASUBRAMANIAN; VENKATARAMANI, 2009). A estimativa de consumo de energia dos *smartphones* através da adoção de modelos de avaliação de desempenho auxilia na previsibilidade do comportamento no ambiente real, que proporciona uma previsão do consumo

de energia. Tal previsão auxilia os desenvolvedores na adoção de técnicas a serem selecionadas para o desenvolvimento das aplicações, para que o aspecto de preservação do recurso energético seja preservado e conseqüentemente as aplicações proporcionem uma maior usabilidade do dispositivo pelo usuário, desta forma ampliando a confiabilidade do elemento no ambiente da MCC.

## 1.2 Objetivos

Propor um modelo de disponibilidade e confiabilidade do dispositivo móvel para a arquitetura de MCC. Para alcançar este objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- a) Propor um modelo de disponibilidade para a conexão com as interfaces de rede do dispositivo móvel (modelo *Stochastic Petri Nets* (SPN) da Figura 1.1).
- b) Estender o modelo de disponibilidade de consumo de energia efetuado por (MATOS RUBENS; ARAUJO; TRIVEDI, 2014), para mensurar a disponibilidade do componente bateria (modelo *Continuous-Time Markov Chain* (CTMC) da Figura 1.1).
- c) Estender os métodos de medição do consumo energético realizados por (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013), com enfoque em medição da potência da bateria ao invés percentuais de descarga para experimentos reais.
- d) Avaliar o impacto das estratégias de troca de mensagens sobre o consumo de energia a fim de determinar o cenário que apresente a melhor autonomia de energia para o dispositivo.

## 1.3 Visão geral

As equipes de atenção à saúde necessitam que seus dispositivos móveis estejam aptos ao funcionamento das aplicações para que possam ter acesso às informações e dados dos pacientes monitorados. A avaliação de desempenho do smartphone através da disponibilidade de seus componentes permite conhecer o tempo médio em que o dispositivo móvel irá funcionar sem que apresente falhas aos seus usuários. Desta forma através dos modelos propostos é possível mensurar a criticidade de cada componente do dispositivo e avaliar seu desempenho de forma individual.

A Figura 1.1 apresenta de forma geral os modelos propostos nesta pesquisa. A disponibilidade e confiabilidade do dispositivo móvel são avaliadas através do modelo *Reliability Block Diagram* (RBD), para compor este modelo é necessário explorar os componentes do

dispositivo móvel. As interfaces de rede do dispositivo móvel possuem impacto para que a aplicação de atenção à saúde seja executada; é necessário que o dispositivo possua conexão com a rede para receber os dados do paciente, desta forma, a disponibilidade das interfaces de rede torna-se um componente relevante da pesquisa e é avaliada através de modelos SPN, seguindo estudos semelhantes realizados por (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013). Neste ponto é importante salientar que o consumo de energia é um elemento central na definição da confiabilidade do dispositivo móvel, sendo que será avaliado através de modelos CTMC, estendendo o modelo de (MATOS RUBENS; ARAUJO; TRIVEDI, 2014). Estes modelos, por sua vez, serão utilizados para gerar alguns parâmetros de entrada do modelo RBD.

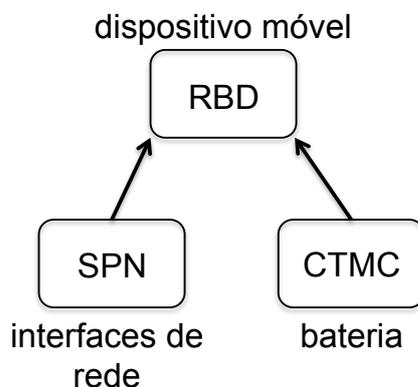


Figura 1.1: Visão geral dos modelos

## 1.4 Trabalhos relacionados

As pesquisas relacionadas com a área de interesse desta dissertação abrangem temas sobre modelos de avaliação de desempenho, consumo de energia de dispositivos móveis, aplicações móveis com ênfase em mHealth e redes de comunicação de dados móveis, tais trabalhos são detalhados a seguir.

As limitações impostas pelos dispositivos móveis quanto a seus recursos de armazenamento de energia proporcionam novos caminhos para pesquisas sobre o tema e com interesse de encontrar estratégias que otimizem a eficiência energética dos dispositivos móveis. O trabalho desenvolvido por (BALASUBRAMANIAN NIRANJAN; BALASUBRAMANIAN; VENKATARAMANI, 2009) conduz um estudo sobre o consumo de energia em elevada e baixa transferência de dados utilizando redes GSM, 3G e Wi-Fi considerando distintos tamanhos de arquivos que variam de 1KB à 1MB. O protocolo TailEnder é desenvolvido para redução do consumo de energia nas aplicações móveis e através de sua implementação é obtido uma redução significativa para aplicações de *e-mail*, notícias e pesquisa Web. Neste estudo os autores utilizam uma estratégia de medição de energia proprietária para dispositivos Nokia. (PERRUCCI GIAN PAOLO.; FITZEK; WIDMER, 2011) abordam a avaliação do consumo de energia sobre diversos componentes do *smartphone*, *hardware* e aplicações de voz, vídeo e *Short Message Service* (SMS) sobre redes

*bluetooth*, Wi-Fi, 2G e 3G. A energia consumida é analisada por bit trafegado no fluxo de recebimento de dados do dispositivo móvel e observa-se um elevado consumo de energia sobre as redes 3G. Os autores adotam a estratégia de medição de energia proprietária para dispositivos Nokia e concluem que as interfaces de comunicação sem fio causam grande impacto no consumo de energia, comparado a outros componentes do dispositivo como tela e processador; isto abre caminho para pesquisas voltadas as conexões de rede e sua relação no consumo de energia do dispositivos.

A pesquisa de (KALIC GORAN; BOJIC; KUSEK, 2012) avaliou o consumo de energia das diversas interfaces de rede. O estudo constata baixo consumo de energia da interface *bluetooth*, porém, baixa vazão para grande volume de dados, dando destaque às redes Wi-Fi. Neste trabalho é proposto um modelo linear de consumo de energia, avaliando o tempo para tráfego dos dados, para tal a estratégia de medição de energia adotada considera a disponibilidade da bateria. A otimização das redes é proposta para ampliar a vazão de troca de dados com uso de redes simultâneas, Bluetooth com arquitetura de rede ad-hoc entre os dispositivos móveis e Wi-Fi entre os dispositivos e servidores. O trabalho de (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013) aborda o consumo de energia em diferentes estratégias de comunicação com tecnologia *server push* e propõe modelos de disponibilidade das redes de dados Wi-Fi e 3G, bateria e ambiente da MCC através da adoção de modelos SPN. Como o trabalho anterior, utiliza estratégia de medição de energia através de percentual de consumo de energia da bateria e por fim avalia a confiabilidade do dispositivo móvel através de modelos de disponibilidade baseados em RBD.

Com enfoque no consumo de energia de dispositivos móveis, (TRESTIAN RAMONA; MOLDOVAN; MUNTEAM, 2012) desenvolvem sua pesquisa relacionada a *streamings* de vídeo em dispositivos móveis com sistema operacional Android. Os autores consideram variações de qualidade de sinal das redes Wi-Fi com objetivo de melhoria na preservação do recurso de energia do dispositivo e utilizam estratégia de medição de energia baseada em *hardware* através de uma placa Arduino onde conclui que a cobertura de sinal é relevante para diferença do consumo de energia no dispositivo. Trabalhos com enfoque em *Pervasive computing technology* abrangem estudos multidisciplinares relacionados ao *hardware* de inúmeros tipos de dispositivos, tecnologia de comunicação, *softwares* embarcados, infraestrutura de aplicações e sistemas, tecnologia de sensores, computação distribuída, trabalho cooperativo, interfaces com o usuário e estudos sociais do uso da tecnologia (KORHONEN; BARDRAM, 2004).

A pesquisa desenvolvida por (DOUKAS CHARALAMPOS; PLIAKAS; MAGLOGIANNIS, 2010) avalia o desempenho das aplicações mHealth em sistemas Android, com e sem a utilização de recursos de computação em nuvens. Tal pesquisa implementa um aplicativo móvel e serviços de armazenamento de dados eletrônicos relativos à saúde incluindo atualização e recuperação em um serviço de MCC. A medição de desempenho é realizada através do tempo de comunicação entre o dispositivo móvel e o servidor de aplicação, apesar do enfoque em mHealth, não aborda questões de consumo de energia do dispositivo móvel.

(SUDHA; GANESAN, 2013) propõem um enfoque sobre o encapsulamento de dados em um pacote ativo na rede; metadados e uma máquina virtual dispensando esforços com chaves de decodificação visando a segurança e simplicidade das aplicações móveis. Neste estudo foi adotado o algoritmo *Elliptical Curve Cryptography* (ECC) para prover segurança do acesso aos dados dos pacientes nos servidores de MCC apenas por usuários autorizados a partir de seus dispositivos móveis. (SPINA G.; ROBERTS; AMFT, 2013) propõem um quadro de sensoriamento e processamento que agrega várias modalidades de sensores para monitoramento de um paciente no contexto de acmhealth. Através de um aplicativo móvel, o estudo trata da aquisição de dados dos sensores, processamento dos sinais, análise de padrões, interação e resposta de aplicativos móveis de atenção à saúde através das redes Wi-Fi, onde o consumo de energia é mensurado através da disponibilidade restante da bateria.

Outras pesquisas concentram esforços na privacidade das informações no ambiente de mHealth. Um aplicativo para dispositivos Android é utilizado por (SPINA G.; ROBERTS; AMFT, 2013) para propor um quadro de sensoriamento e processamento que integra várias modalidades para monitoramento de um paciente no contexto de mHealth. Com base no contexto de *Context Recognition Network Toolbox* (CRNT), trata da aquisição de dados dos sensores, processamento dos sinais, análise de padrões, interação e resposta de aplicativos móveis de atenção à saúde através das redes Wi-Fi, onde o consumo de energia é mensurado através da disponibilidade restante da bateria.

A abordagem de adoção ou não de nuvem para utilização de aplicações e o impacto dessa decisão no consumo de energia dos dispositivos móveis é o tema abordado por (NAMBOODIRI; GHOSE, 2012). Este estudo apresenta um modelo analítico que caracteriza o consumo de energia do dispositivo móvel através do apoio da aplicação *power tutor* (GORDON MARK; ZHANG; TIWANA, 2013) considerando comunicação sobre redes Wi-Fi. O gerenciamento eficiente de energia é o tema proposto por (VALLINA-RODRIGUEZ; CROWCROFT, 2012). A variedade de interfaces sem fio, sensores e aplicações de alto desempenho exigem um maior consumo de energia. Esta pesquisa investiga técnicas de otimização para estender o tempo de vida da bateria e engloba inúmeros trabalhos desenvolvidos entre 1999 e 2011 destacando o elevado consumo de energia pelas interfaces de rede sem fio, em especial redes 3G, isto desperta o interesse desta pesquisa em modelos que representem esse comportamento avaliado. Em seu trabalho, (CHUNG, 2011) avalia o consumo de energia sobre aplicações de mensagens instantâneas em duas diferentes classes de serviço, considerando estados de inatividade alto e baixo. O autor propõe um modelo sobre cadeias de Markov para avaliação energética das classes de serviço. A Tabela 1.1 sintetiza os trabalhos envolvidos e a Tabela 1.2 resume de forma mais específica os parâmetros adotados em cada trabalho.

**Tabela 1.1:** Trabalhos relacionados

Autor	Pontos fortes	Melhorias
(BALASUBRAMANIAN NIRANJAN; BALASUBRAMANIAN; VENKATARAMANI, 2009)	Desenvolve um protocolo para melhoria do desempenho de consumo de energia na transferência de dados das aplicações móveis de e-mail, notícias e pesquisa Web.	A estratégia de medição de energia limita o uso de dispositivos móveis de fabricantes específico. Uma estratégia não proprietária amplia a usabilidade do método para diversos dispositivos. A adoção de modelos permite estudo de outros cenários sem a necessidade de novos experimentos no ambiente real.
(PERRUCCI GIAN PAOLO.; FITZEK; WIDMER, 2011)	Avalia o consumo de energia de diversos componentes do <i>smartphone</i> e analisa o consumo de energia sobre bit trafegado, identificando elevado consumo na utilização de interfaces de rede do dispositivo.	Estratégias de medição de energia proprietárias como Nokia Energy Profiler limita a aplicação da técnica à dispositivos específicos. A adoção de uma técnica mais não proprietária favorece um amplo domínio de dispositivos. Modelos de avaliação para consumo de energia permitem diversas variações no cenário sem a necessidade de novos experimentos reais.
(KALIC GORAN; BOJIC; KUSEK, 2012)	Propõe um modelo linear de consumo de energia. Simplifica o método de medição de energia através de API do dispositivo. Propõe o uso de combinação de redes Wi-Fi e Bluetooth para otimizar a vazão na troca de informações entre dispositivos.	A técnica de medição de energia utilizando percentual de carga restante da bateria pode não ser tão confiável comparado ao consumo exato da potência dispendida. A utilização de redes bluetooth é limitante não sendo adequada para comunicação entre clientes e servidores de computação móvel em nuvem, onde é necessário o uso das redes Wi-Fi e tecnologias de comunicação de dados móveis.
(OLIVEIRA DA NILO; ARAUJO; MACIEL, 2013)	Avalia o impacto do consumo de energia de distintas estratégias de comunicação da aplicação com o servidor. Propõem modelos de confiabilidade e disponibilidade para avaliar o dispositivo móvel.	O modelo RBD não detalha a criticidade do componente bateria. O consumo de energia pode ser modelado através de cadeias de Markov e avaliado também a estratégia de sincronismo XMPP.
(TRESTIAN RAMONA; MOLDOVAN; MUNTEAM, 2012)	Avalia o consumo de energia quanto a qualidade do sinal nas redes Wi-Fi, adota um método de medição de energia adaptável em inúmeros dispositivos.	A avaliação do consumo de energia contempla redes locais e móveis 3G e 2G. A estratégia de medição é aprimorada para melhor refinamento da energia consumida.
(DOUKAS CHARALAMPOS; PLIAKAS; MAGLOGIANNIS, 2010)	Avalia desempenho da aplicação com e sem o uso de recursos de MCC. Apresenta um protótipo de implementação de gerenciamento de sistemas baseados em CC e Android OS constituindo o conceito de @HealthCloud.	Abordagem de consumo de energia para aplicações de mHealth, propondo modelos capazes de avaliar diferentes composições de cenários para o dispositivo móvel da equipe de atenção à saúde.
(SUDHA; GANESAN, 2013)	Aborda privacidade das informações nas aplicações de m-health, utilizando algoritmo <i>Elliptical Curve Cryptography</i> (ECC) para controle de acesso as informações.	Aborda o consumo de energia para recebimento dos dados do paciente nos dispositivos da equipe de atenção à saúde em distintas redes de dados. Propõe modelos para avaliação de diferentes composições de cenários e avalia a confiabilidade do dispositivo móvel.
(SPINA G.; ROBERTS; AMFT, 2013)	Aborda a aquisição de dados dos sensores e transferência para o dispositivo móvel através das redes Wi-Fi com foco em minimizar o consumo de energia do <i>smartphone</i> .	A estratégia de medição de energia através do percentual de carga restante da bateria pode não ser tão confiável comparado ao consumo exato da potência dispendida. A adoção de modelos pode ser utilizada para avaliar cenários de recebimento ou envio dos dados pelo dispositivo móvel.
(NAMBOODIRI; GHOSE, 2012)	Avalia a energia consumida pelas aplicações móveis comparando o uso de recursos locais do dispositivo ou recursos da MCC.	Estratégia de medição baseada em <i>hardware</i> não impacta o processamento do dispositivo móvel como na utilização da aplicação PowerTutor. A adoção de modelos auxilia na avaliação de diferentes estratégias de sincronismo com o servidor, para seleção da estratégia mais adequada a fim de preservar os recursos do dispositivo móvel.
(VALLINA-RODRIGUEZ; CROWCROFT, 2012)	Avalia um amplo volume de trabalhos relacionados, onde é proposto que o modo de ampliar a vida da bateria é reduzindo o consumo de energia das aplicações móveis, através da migração de processos para <i>cloud</i> e otimização de protocolos.	Abordagem da pesquisa é direcionada um ambiente, um contexto, fornecendo alternativas para propor modelos de disponibilidade relacionados ao consumo de energia, interface de rede do dispositivo e avaliação da confiabilidade deste.
(CHUNG, 2011)	Propõe um modelo de Markov para avaliar o consumo de energia em potência em dois estados de inatividade, baixo e alto.	É desenvolvido um modelo de avaliação de descarga de bateria através do uso de cadeias de Markov.

**Tabela 1.2:** Parâmetros envolvidos nos trabalhos relacionados

Autor	Consumo de energia	Aplicação móvel	Interfaces abordadas	Medição energia	Uso de modelos	Uso de algoritmos	mHealth
(BALASUBRAMANIAN NIRANJAN; BALASUBRAMANIAN; VENKATARAMANI, 2009)	✓	✓	2G, 3G e Wi-Fi	software	-	✓	-
(PERRUCCI GIAN PAOLO.; FITZEK; WIDMER, 2011)	✓	✓	2G, 3G, Wi-Fi e Bluetooth	software	✓	-	-
(KALIC GORAN; BOJIC; KUSEK, 2012)	✓	-	2G, 3G, Wi-Fi e Bluetooth	software	✓	-	-
(OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013)	✓	✓	3G e Wi-Fi	software	✓	-	-
(TRESTIAN RAMONA; MOLDOVAN; MUNTEAM, 2012)	✓	✓	Wi-Fi	hardware	-	-	-
(DOUKAS CHARALAMPOS; PLIAKAS; MAGLOGIANNIS, 2010)	-	✓	Wi-Fi e 3G	-	-	-	✓
(SUDHA; GANESAN, 2013)	-	✓	Wi-Fi	-	-	✓	✓
(SPINA G.; ROBERTS; AMFT, 2013)	✓	✓	Wi-Fi e Bluetooth	-	-	✓	✓
(NAMBOODIRI; GHOSE, 2012)	✓	✓	Wi-Fi	software	✓	✓	✓
(VALLINARODRIGUEZ; CROWCROFT, 2012)	✓	✓	2G, 3G, Wi-Fi e Bluetooth	software e hardware	✓	✓	-
(CHUNG, 2011)	✓	✓	Wi-Fi	hardware	✓	-	-
Este trabalho	✓	✓	2G, 3G e Wi-Fi	hardware	✓	✓	✓

## 1.5 Contribuições

Estudos em ambientes de MCC são constantemente explorados na busca de identificar componentes relevantes que possuem grande impacto na disponibilidade e confiabilidade do ambiente. O dispositivo móvel é um elemento essencial à infraestrutura da MCC e abre inúmeras oportunidades de pesquisas na busca de soluções para otimizar o consumo de energia e ampliar a confiabilidade do dispositivo. O modelo de disponibilidade e confiabilidade proposto para o dispositivo móvel adiciona dois componentes de relevante impacto na arquitetura do *smartphone*, pois as distintas conexões de redes de dados e protocolos de aplicação possuem impactos significativos na disponibilidade do consumo de energia do dispositivo móvel. Com a adoção de modelos é possível determinar a disponibilidade das interfaces de rede do dispositivo móvel considerando as condições impactantes do ambiente das redes, a falha na cobertura do sinal de rede ou de elementos que afetam a oferta do serviço de rede. Modelos de consumo de energia auxiliam a determinar a disponibilidade quanto ao melhor desempenho energético dos protocolos adotados nas aplicações, isto significa os protocolos que consomem menos energia durante a execução da aplicação, pois a adoção de estratégias energeticamente eficientes que ampliem a disponibilidade do *smartphone* impacta na confiabilidade deste elemento na infraestrutura da MCC.

Os trabalhos relacionados abordam tópicos sobre o consumo de energia. (NAMBOODIRI; GHOSE, 2012) concentra esforços no contexto mHealth e explora que o uso de MCC é

relevante para preservação de energia do dispositivo. Cada trabalho apresenta pontos a serem explorados, em especial diferentes estratégias de medição de energia ou aprimoramento destas e dos modelos de dependabilidade para o dispositivo móvel. Os trabalhos de (TRESTIAN RAMONA; MOLDOVAN; MUNTEAM, 2012), (NAMBOODIRI; GHOSE, 2012) e (CHUNG, 2011) exploram o consumo de energia sobre redes Wi-Fi abrindo caminho para análise do impacto energético em outras redes. (BALASUBRAMANIAN NIRANJAN; BALASUBRAMANIAN; VENKATARAMANI, 2009) e (PERRUCCI GIAN PAOLO.; FITZEK; WIDMER, 2011) identificam o elevado consumo de energia sobre as redes 3G, porém usam estratégia de medição de energia proprietária que limita o uso de outros dispositivos móveis. (KALIC GORAN; BOJIC; KUSEK, 2012), (CHUNG, 2011) e (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013) apresentam modelos de avaliação para consumo energético à serem aprimorados. (DOUKAS CHARALAMPOS; PLIAKAS; MAGLOGIANNIS, 2010), (KORHONEN; BARDRAM, 2004) e (SPINA G.; ROBERTS; AMFT, 2013) concentram esforços no enfoque de mHealth, porém, sem relação com o consumo de energia, o que abra caminhos para intensificar a pesquisa nesta área. Com base nos pontos a serem explorados, esta pesquisa aprimora a técnica de medição utilizada por (TRESTIAN RAMONA; MOLDOVAN; MUNTEAM, 2012) utilizando a estratégia de medição de energia baseada em *hardware*, também estende os modelos propostos por (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013) e (CHUNG, 2011) quanto a descarga de energia e avalia o impacto de energia em diferentes estratégias de troca de mensagens e redes, estendendo o modelo de disponibilidade do dispositivo móvel proposto por (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013).

## 1.6 Estrutura da dissertação

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: Capítulo 2 aborda fundamentos teóricos relevantes dos temas abordados. Capítulo 3 apresenta a metodologia adotada e ambiente elaborado. Capítulo 4 apresenta os modelos desenvolvidos e a validação destes. Capítulo 5, apresenta os estudos de caso desenvolvidos. Capítulo 6 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

# 2

## Fundamentação teórica

Este capítulo apresenta os conceitos básicos sobre os temas abordados nesta dissertação e aborda os conceitos sobre aplicações e protocolos, assim como, os conceitos básicos sobre dependabilidade e os modelos hierárquicos utilizados, diagramas de blocos, cadeias de Markov e redes de Petri, desta forma estes tópicos visam situar as áreas de estudo aprofundadas para realização da pesquisa nesta dissertação.

### 2.1 Dispositivos móveis

Os dispositivos móveis são ferramentas computacionais de dimensões reduzidas com capacidade de processamento e armazenamento de dados. Tais dispositivos agregam funções computacionais com elementos de comunicação de dados e recurso energético autônomo através do uso de baterias. Os dispositivos computacionais de pequeno porte impactam na redução de utilização de computadores pessoais tradicionais que estão sendo substituídos por telefones inteligentes (*smartphones*), pranchetas eletrônicas (*tablets*), leitores eletrônicos (*e-readers*), computadores portáteis no estilo *notebook/laptop* e outros.

A arquitetura cliente-servidor populariza a utilização de computadores pessoais (KUSZKA, 2014) e desencadeia um novo movimento denominado *Bring Your Own Device* (BYOD), onde o usuário pode utilizar seu dispositivo pessoal para ter acesso à aplicações e dados presentes nos servidores e não necessariamente em seu dispositivo, desta forma permite uma maior flexibilidade no uso de variados recursos computacionais que o usuário dispõe. As aplicações são adaptadas ao usuário possibilitando o acesso a partir de inúmeros dispositivos com diferentes plataformas. A evolução deste conceito parte da inovação dos dispositivos computacionais ao longo dos anos, onde o termo *handheld* foi atribuído aos dispositivos computacionais pessoais de pequenas dimensões físicas (MENDONCA, 2014). A aceitação dos dispositivos móveis por seus usuários abre caminhos para o surgimento de melhorias nestes dispositivos.

A disseminação da Internet e dos dispositivos móveis incentivam o desenvolvimento de novas plataformas que possibilitem a execução de aplicações sobre diferentes arquiteturas computacionais. Os tradicionais centros de processamento de dados (*datacenters*) abrem espaço

ao surgimento de *Cloud Computing*, com a distribuição de infraestruturas e a utilização de sistemas distribuídos, neste contexto os dispositivos móveis foram responsáveis por mais de 10% do tráfego de rede gerado na Internet apenas em 2012 (HOLLISTER, 2013).

A utilização de computação móvel agregada a infraestruturas de *Cloud Computing* desencadeia a união destes elementos para o surgimento da MCC. Os dispositivos móveis tornam-se os novos dispositivos computacionais de uso extensivo. Aplicações e novas tecnologias de comunicação móvel ampliam o acesso à Internet e há uma previsão de que em 2015, 40% da população mundial terá acesso a Internet e o crescente volume de dados gerados na rede será a partir dos dispositivos móveis (WROBLEWSKI, 2014).

Dispositivos móveis agregados à infraestrutura permitiu o surgimento da MCC e tornam-se ferramentas de trabalho para diversas áreas tais como, área de serviços para entrega de mercadorias em sistemas logísticos, atendimento ao cliente e outros. Os dispositivos móveis possibilitam a execução de inúmeras aplicações de propósitos diversos (POLVOAS, 2013). Sistemas operacionais abertos permitem o desenvolvimento de aplicações que não se limitem apenas a esta plataforma, desta forma permitem um intenso crescimento no mercado de aplicativos para estes novos dispositivos.

## 2.2 Mensagens instantâneas

Aplicações computacionais do tipo *Instant Message* (IM) permitem a comunicação ágil entre os indivíduos. Estas aplicações oferecem inúmeras funcionalidades a seus utilizadores, pois a partir da disponibilidade e presença do usuário no ambiente virtual é possível o estabelecimento de uma comunicação instantânea para troca de mensagens, seja no formato de texto, imagem, vídeo ou novos tipos de mídia que podem surgir.

A comunicação instantânea origina-se no *Internet Chat Query* (ICQ) em 1996 (DIGITAL, 2014). Inicialmente as aplicações foram desenvolvidas com protocolos proprietários, ICQ utilizando protocolo OSCAR, *Microsoft Live Messenger* através do protocolo MSNP, *Yahoo Messenger* pelo protocolo YMSG e inúmeras outras; com a grande variedade de aplicações e protocolos distintos, surge a necessidade de integração entre as ferramentas, abrindo caminhos para o desenvolvimento de novas aplicações que visam solucionar o problema de integração entre os protocolos e desta forma proporcionem uma ferramenta única de comunicação para todos os contatos de inúmeros aplicativos IM distintos (VLECK, 2014). As novas aplicações de comunicação instantânea são baseadas em plataforma *web* e integram-se aos navegadores. O recurso *web* é usual para computadores pessoais do tipo *desktops*, porém, em dispositivos móveis as aplicações *web* devem ser adaptadas para comportar a característica de tela reduzida. Para os dispositivos móveis, *Mobile Instant Messaging* (MIM) é a tecnologia de serviços de troca de mensagens em tempo real; as aplicações para esta tecnologia são embarcadas, *Embedded clients*, ou simplesmente *clientless platform*, sendo de livre execução para quaisquer dispositivos e tipos de conexão de rede de dados; estas aplicações podem apresentar limitações no uso de recursos

para cada dispositivo móvel (J'SON; PARTNERS, 2014).

Os sistemas de mensagens instantâneas têm sido usados diariamente para comunicação e colaboração entre pessoas (XUEFU; YANG, 2012). Algumas aplicações de mensagem instantânea utilizam a tecnologia *push* para prover mensagens em tempo real; adotando o conceito de comunicação *peer-to-peer* ou cliente-servidor. As novas aplicações IM desenvolvidas utilizam abordagem de protocolos, tais como, *polling* (KANITKAR; DELIS, 1998), long polling (RUSSEL, 2013), WebSocket (HICKSON, 2011) e XMPP (SAINT-ANDRE, 2010); sendo que WebSocket e XMPP são os protocolos mais utilizados no desenvolvimento de aplicações nos dias atuais. Aplicações como Gooletalk utilizam o protocolo XMPP, tais aplicações utilizam tecnologia *server push* para prover a troca de mensagens em tempo real. Aplicações de IM são utilizadas para diferentes finalidades, como entretenimento, comunicação entre amigos e familiares, negócios, colaboração entre grupos e na área de saúde.

A computação também está inserida na área de saúde. A Organização Mundial de Saúde (OMS) define o termo telemedicina como: "A oferta de serviços ligados aos cuidados de saúde nos casos em que a distância é um fator crítico...", e *American Telemedicine Association* (ATA) complementa com: "Além da oferta de serviços ligados aos cuidados de saúde, inclui também a educação remota para o médico e paciente."(MAHEU MARLENE M.; WHITTEN; ALLEN, 2001). A telemedicina utiliza uma grande variedade de serviços eletrônicos computacionais voltados a área de atenção à saúde, quando a distância é um fator crítico incluindo aplicações de atenção à saúde ou simplesmente acompanhamento da condição do paciente em situações de não urgência (TELEMEDICINE, 2014).

## 2.3 Tecnologias *server push*

Inicialmente, o projeto das plataformas *web* foi desenvolvido para uma arquitetura do tipo cliente-servidor; nesta arquitetura, o cliente inicia a conexão com o servidor em busca dos dados. No entanto, quando houve o surgimento da *web 2.0* (BHIDE MANISH; DEOLASEE; SHENOY, 2002), a Internet e os servidores com acesso através da rede deixaram de ser apenas repositórios de documentos de forma estática e tornaram-se ambientes altamente produtivos e dinâmicos. Atualmente, os sistemas *web* estão ainda mais focados em soluções de interação, que proporcionem uma eficiente troca de mensagens aos seus clientes em tempo real. A nova demanda por comunicação e interação da *web 2.0* requer que os desenvolvedores adaptem o modelo existente das aplicações *web*.

As tecnologias *server push* são uma evolução das arquiteturas *web* tradicionais, antes da introdução destas tecnologias para servidores responsáveis pelo envio dos dados, as aplicações *web* eram baseadas na arquitetura convencional no modelo cliente-servidor; onde toda a comunicação era iniciada pelo cliente e o servidor possuía um papel reativo, apenas respondendo as demandas efetuadas pelo cliente. No caso de aplicações com necessidades de comunicação em tempo real, quando o cliente necessita receber as informações do servidor, o cliente deve con-

sultar de forma periódica a existência de dados destinados a ele e hospedados no servidor. Esta técnica de consultas periódicas utiliza estratégia do esquema de *polling*, uma estratégia simples e de fácil implementação, porém, introduz uma carga significativa no servidor de aplicação, pois haverá grande número de conexões de múltiplos usuários e algumas comunicações podem não ser necessárias, caso este usuário não tenha mensagem a receber, nesta condição de operação, o servidor terá dificuldade para trabalhar com intenso número de conexões destes usuários de forma simultânea (YUAN, 2014).

Nas infraestruturas computacionais atuais, a necessidade de um servidor com tecnologia *server push* é mais justificável devido ao intenso volume de usuários das aplicações móveis. Com a linguagem de estrutura de apresentação de conteúdos para ambientes *web*, o *HyperText Markup Language* (HTML) em sua 5a. versão implementa um protocolo de comunicação simultânea bidirecional, WebSocket, entre os navegadores e servidores (XUEFU; YANG, 2012). Anterior ao desenvolvimento do protocolo WebSocket, outro protocolo *Extensible Messaging and Presence Protocol* (XMPP) foi comumente utilizado em aplicações *web* para criação de aplicações de mensagens instantâneas (YUAN, 2014). Os aplicativos de comunicação de tempo real mais difundidos que utilizam este protocolo são o Gooletalk e o Facebook chat. Entretanto em tecnologias de infraestrutura para comunicação instantânea, quatro protocolos a seguir vem sendo utilizados para troca de mensagens em aplicações de comunicação instantânea.

### 2.3.1 Protocolo *polling*

A estratégia de comunicação cliente-servidor através do protocolo *polling* é descrita como a solicitação do cliente através de pedidos de tempo curtos. Nesta estratégia de comunicação o cliente consulta o servidor de forma periódica, em busca de novos dados atualizados e o intervalo do tempo de consulta. Para que o cliente faça uma nova chamada de consulta ao servidor, o intervalo de tempo pode ser ajustado de acordo com a taxa de utilização do servidor de dados, desta forma desenvolve uma estratégia de sincronização que visa a aproximação de comunicações em tempo real (KANITKAR; DELIS, 1998). Tal estratégia possui algumas desvantagens técnicas, pois a cada operação de chamada do protocolo *polling*, a partir do cliente ao servidor, há um cabeçalho *HyperText Transfer Protocol* (HTTP) e o volume de pedidos pode gerar uma sobrecarga no servidor, devido a este cabeçalho. O servidor terá uma elevada carga de trabalho para o tratamento de cada solicitação e isso fará com que seus recursos sejam direcionados para o tratamento desta demanda. Então os recursos dos servidores serão alocados para o tratamento de solicitações e tais solicitações podem ou não ser atendidas, isso dependerá da existência ou não de novas informações dos usuários no servidor, caso não existam informações ao usuário, o recurso é demandado de forma improdutiva para atender o propósito da aplicação. Durante este processo pode ocorrer que a taxa de atualização para novos dados seja mais lenta que a taxa de solicitações do cliente ao servidor, o que amplia a quantidade de pedidos desnecessários efetuados pelo cliente.

### 2.3.2 Protocolo *long-polling*

A estratégia de comunicação cliente-servidor através de protocolos que utilizam técnicas *long-polling* é descrita como uma estratégia alternativa para o problema de pedidos de resposta vazia ocasionados pelo protocolo *polling*; sendo uma extensão para o mecanismo de pesquisa original proposto, onde a haverá um constante volume de pedidos efetuados ao servidor, algumas vezes de forma desnecessária pois não há informações à serem enviadas ao usuário. Na técnica de *long-polling* os pedidos também são originados pelo cliente, porém, o servidor não envia uma resposta vazia quando não houver novos dados à atualizar. Nesta estratégia, a conexão será mantida até que exista algum dado atualizado a ser enviado ao cliente. Somente após o envio de algum dado atualizado, do servidor ao cliente é que a conexão será finalizada. Neste processo o cliente recebe os dados atualizados e a comunicação cliente-servidor é finalizada, a seguir o cliente inicia uma nova solicitação ao servidor repetindo o mesmo processo, que mantém a conexão ativa até o recebimento de novos dados de forma cíclica. Esta técnica utilizada juntamente com AJAX ([SCHNEIDER FABIAN; AGARWAL; FELDMANN, 2008](#)) que trata do uso metodológico de linguagem Java script, e *eXtensible Markup Language* (XML) adotado para desenvolvimento de páginas *web* mais interativas ao usuário, recebe o nome *comet* para denominar o protocolo *long-polling* ([RUSSEL, 2013](#)). No aprimoramento da técnica de *polling*, a principal melhoria alcançada é a redução de latência de mensagens, juntamente com a eliminação de mensagens com resposta vazias. Em termos de criação de meio de comunicação no servidor para atendimento das demanda é observado que cada solicitação cliente-servidor cria um novo segmento de comunicação. Em estratégias de *long-polling*, a quantidade de usuários é idêntica a quantidade de *threads* em execução no servidor, desta forma, um ambiente multiusuário pode gerar a indisponibilidade do servidor, se os recursos do servidor forem insuficientes para quantidade de *threads*. ([MCCARTHY; CRANE, 2008](#)).

### 2.3.3 Protocolo *WebSocket*

Estabelecido pelo RFC6455 ([FETTE, 2014](#)), o protocolo de estratégia *WebSocket* foi proposto em 2012. Estratégias de *short* e *long-polling* possuem certas características que apresentam desvantagens em termos de escalabilidade para as aplicações que os utilizam ([FETTE; MELNIKOV, 2012](#)), nestes protocolos cada cliente requer duas conexões *Transmission Control Protocol* (TCP), uma para transmissão de dados e outra para notificações de mensagens e também há sobrecarga do servidor causada pelos cabeçalhos HTTP em cada mensagem de conexão cliente-servidor. No intuito de encontrar uma alternativa à estas condições, o protocolo *WebSocket* foi proposto, este protocolo visa fornecer um canal de comunicação simultâneo e bidirecional para aplicações *web*, através de uma única conexão TCP. O protocolo *WebSocket* juntamente com a API *WebSocket* ([HICKSON, 2011](#)) consiste em uma solução escalável e robusta para aplicativos *web* em tempo real, superando as limitações das alternativas de protocolos anteriormente expostas. Ao contrário da estratégia de *long-polling*, após o recebimento de dados atualizados enviados do

servidor a nova requisição não precisa ser efetuada pelo cliente, tampouco os cabeçalhos HTTP serão adicionados as novas mensagens de requisição.

### 2.3.4 Protocolo XMPP

O protocolo XMPP é um padrão aberto estabelecido pelo RFC3920 rfcxmpp1 e tem sido utilizado como alternativa para o desenvolvimento de aplicações de mensagem instantânea. Um protocolo baseado em XML que suporta lista de contatos e informações sobre a situação dos usuários da aplicação. Este protocolo foi criado sobre a denominação Jabber em 1999 (JABBER, 2011) e aceito como um padrão *Internet Engineering Task Force* (IETF) (SAINT-ANDRE, 2004). XMPP tornou-se um padrão aberto para estratégias de comunicação instantânea em tempo real e também recebeu várias extensões (SAINT-ANDRE, 2010) que permitem a utilização em uma vasta variedade de outras aplicações. Este protocolo possui o princípio de *gateways* possibilitando a comunicação de protocolos XMPP com outras aplicações que utilizem diferentes protocolos.

## 2.4 Dependabilidade

Dependabilidade é a capacidade de prover um serviço que seja confiável, que o usuário acredite no que está sendo provido pelo sistema, pois a função de um sistema é a execução de tarefas e atribuições ao qual se destina, ao qual foi previamente especificado em sua concepção. É esperado que o sistema seja provido de habilidade para executar a tarefa que lhe foi designada (AVIZIENIS ALGIRDAS; LAPRIE; RANDELL, 2001). A dependabilidade abrange os conceitos sobre os atributos de confiabilidade, disponibilidade, segurança, confidencialidade, integridade e manutenibilidade que asseguram a dependabilidade do sistema. Modos de prevenção, tolerância, remoção e previsão de falhas para incremento da dependabilidade; bem como o tratamento de falhas, erros e defeitos para compreensão dos itens que afetam a dependabilidade do sistema (MACIEL PAULO R. M.; TRIVEDI; KIM, 2011). Um serviço correto é entregue quando o serviço implementado é o que foi especificado no sistema, neste trabalho é abordado apenas os aspectos de confiabilidade e disponibilidade.

- Disponibilidade - Capacidade do ambiente estar apto para prover o serviço corretamente quando lhe for demandado. A disponibilidade é a probabilidade de que o sistema esteja operacional durante um determinado período de tempo; é expressa como a razão entre o tempo esperado do serviço estar apto (*uptime*) em relação a soma do tempo esperado de estar apto (*uptime*) e em estado de reparo (*downtime*). Esta razão é representada pela Equação 2.1.

$$A = \frac{E[Uptime]}{E[Uptime] + E[Downtime]}, \quad (2.1)$$

onde:

- $A$  refere-se a disponibilidade estacionária do sistema;
- $E[Uptime]$  refere-se ao tempo de funcionamento esperado do sistema; e
- $E[Downtime]$  refere-se ao tempo de falha esperado do sistema.

Supondo a observação de um sistema em execução durante o intervalo de tempo de 50 minutos que refere-se ao tempo de funcionamento esperado do sistema, neste intervalo é registrado uma falha que impede o sistema de prover o serviço e esta falha ocasiona um tempo de indisponibilidade de 5 minutos (tempo de falha esperado do sistema). A relação entre os tempos de funcionamento e indisponibilidade é capaz de proporcionar a disponibilidade do sistema estar apto a prover o serviço quando for requisitado, neste caso este sistema possui uma disponibilidade de  $\sim 91\%$ , tal que ( $A = 50/(50 + 5)$ ).

O somatório dos tempos de operação do sistema considera o tempo médio para que ocorra a falha ( $MTTF$ ) e o tempo médio do reparo ( $MTTR$ ). Desta forma a equação de disponibilidade é representada pela Equação 2.1 ou pode ser representada também pela Equação 2.2 quando não são conhecidos os tempos de funcionamento e falha do sistema e considera-se suas médias. A disponibilidade dos sistemas trata da probabilidade ( $A$ ) de o sistema estar disponível no momento em que for requisitado. A disponibilidade está bem estabelecida na literatura de modelagem estocástica (MACIEL PAULO R. M.; TRIVEDI; KIM, 2011).

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (2.2)$$

- **Confiabilidade** - Confiabilidade é a probabilidade de que o ambiente forneça o serviço ao qual foi designado, sem que ocorra nenhuma interrupção do serviço até o instante  $T$  (TRIVEDI, 2001). A confiabilidade no tempo  $t$  é definida como a probabilidade de que o sistema opere sem que ocorram interrupções que afetem a oferta do serviço prestado e é dada pela Equação 2.3, onde  $P$  é a probabilidade de que ocorram defeitos até um instante  $t$  e  $T$  é uma variável aleatória que representa o tempo para ocorrência de defeitos no sistema (KUO; J., 2002). A probabilidade  $P$  está relacionada ao  $T$  tempo de ocorrência de falhas do sistema que deve ser maior ou igual ao instante de tempo  $t$ , desta forma é obtido a confiabilidade em relação ao instante de tempo  $R(t)$  que contempla o universo total da probabilidade 1, o que significa que em algum momento o sistema apresentará um defeito, menos função distribuição acumulada  $F_T(t)$  do tempo de ocorrência de falhas (SHOUMAN, 2002). A função densidade de probabilidade  $f_T(t)$  é a derivada em relação ao tempo da função distribuição acumulada  $F_T(t)$  que é a derivada em relação ao tempo da confiabilidade  $R(t)$ , logo

a confiabilidade  $R(t)$  é a probabilidade de que a falha ocorra depois do instante de tempo  $t$  e obedece as probabilidades de que no instante  $t = 0$  não ocorram falhas e em algum instante de tempo  $t$  ocorra uma falha no sistema.

$$\begin{aligned}
 P\{T \geq t\} &= R(t) = 1 - F_T(t) \\
 f_T(t) &= \frac{dF_T(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \\
 R(0) &= 1; \lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

onde:

- $P\{T \geq t\}$  é a probabilidade de que ocorra alguma falha no sistema, relacionando a confiabilidade  $R$  em um determinado instante de tempo  $t$ ;
- $f_T(t)$  é a função densidade de probabilidade do tempo de ocorrência de falhas;
- $R(0) = 1$  é a certeza de que o sistema irá falhar após o instante de tempo zero, isto significa que o sistema é iniciado e em algum instante de tempo irá falhar; e
- $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$  é a probabilidade de que o sistema nunca falhe, porém em um espaço de tempo,  $t \rightarrow \infty$ , o sistema irá efetivamente falhar em algum instante do tempo.

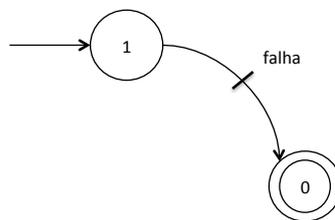
A relação da confiabilidade é dada pelo tempo esperado para que o sistema falhe, obedecendo à uma distribuição exponencial para o estado estacionário a confiabilidade  $R(t)$  pode ser calculada usando a função densidade acumulada  $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ , se  $t \geq 0$ , logo  $R(t) = \{1 - F(t)\} = \{1 - (1 - e^{-\lambda t})\} = e^{-\lambda t}$ , ou seja a confiabilidade  $R(t)$  é dada pela probabilidade de não ocorrerem falhas no instante de tempo 0 até o instante  $t$ , o que significa que quanto maior o valor da confiabilidade, mais espaçados serão os tempos de ocorrência de falha do sistema (EBELING, 2004).

Outros elementos completam o estudo da dependabilidade, tais como segurança, que é associada à ausência de consequências catastróficas ao ambiente ou sistema; confidencialidade, que aborda a preservação da privacidade das informações; integridade, com atenção a probabilidade de que não ocorram alterações indevidas no sistema ou ambiente e manutenibilidade, que aborda o aspecto de reparos e modificações no ambiente, sem que este deixe de prover o serviço (AVIZIENIS ALGIRDAS; LAPRIE; LANDWEHR, 2004).

Na abordagem da dependabilidade sobre o tratamento de falhas são classificadas três possíveis origens: o defeito, o erro e a falha (LAPRIE JEAN-CLAUDE C.; AVIZIENIS, 1992). Uma característica comum à estes termos é o impacto causado ao ambiente, de não prover o

serviço ao qual foi designado. No enfoque de dependabilidade dos dispositivos móveis, os *smartphones* estão sujeitos à ocorrência falhas em diversos componentes, originados através de meios de:

- Defeito - no caso de ocorrência de um defeito, o meio físico do ambiente ou sistema é afetado, entretanto pode ocasionar um erro ou falha apenas se o componente afetado for solicitado para execução da solicitação do sistema, caso não seja, o defeito permanece sem que impacte na oferta do serviço ao qual o sistema ou ambiente foi designado (AVIZIENIS, 1982);
- Erro - no caso de ocorrência de um erro, o meio computacional é afetado. O evento ocorre durante a execução do sistema provocando um desvio da exatidão ou precisão da computação que resultará em uma falha devido a uma instrução ou comando incorreto que desvia a operação da especificada em sua concepção; e
- Falha - no caso de uma falha ocorre um desvio da especificação do sistema, a entrega do serviço não é a esperada. A ocorrência de uma transição de uma operação correta para incorreta do serviço, sendo necessária a restauração para retomar a entrega correta do serviço provido. A falha de um sistema é regulada ou pressuposta por um erro. A Figura 2.1 representa a transição de estado 1, se operacional, e 0, se em estado falho, fora de operação, uma falha ativa do sistema.



**Figura 2.1:** Estados de operação do sistema, figura adaptada de (MACIEL PAULO R. M.; TRIVEDI; KIM, 2011).

## 2.5 Técnicas de modelagem

As técnicas de modelagem de dependabilidade de sistemas são classificadas em dois tipos:

- Modelos combinatórios modelam um sistema ou ambiente podendo apresentar estado de falha ou operacional. São modelos simples e de fácil elaboração, porém seus componentes são estocasticamente independentes, isto é, não há uma relação temporal entre os componentes do modelo e isto pode ser um aspecto restritivo na representação de sistemas, tais como os modelos de *Fault Tree* (FT) e RBD (MACIEL PAULO R. M.; TRIVEDI; KIM, 2011). Modelos combinatórios representam ligações entre

componentes funcionais de um sistema. Supondo a modelagem de um veículo, há composição de diversos subsistemas: elétrico, mecânico e outros, todos devem estar operacionais para que o sistema carro funcione; e

- Modelos de espaço de estados modelam o comportamento do sistema utilizando estados e eventos que ativam transições entre estes estados. Tais modelos são utilizados para representar sistemas e ambientes mais complexos, como mecanismos de chaveamento de interfaces de rede e consumo de energia onde exista relação temporal explícita. Os modelos SPN e CTMC são os mais representativos neste tipo quando é atribuído o parâmetro de tempo (MACIEL PAULO R. M.; TRIVEDI; KIM, 2011). Supondo um sistema de estações do ano, este é composto por quatro estados que representam cada estação, há um tempo associado para que haja transição do estado inverno para primavera e assim com os demais estados.

### 2.5.1 Diagrama de bloco de confiabilidade

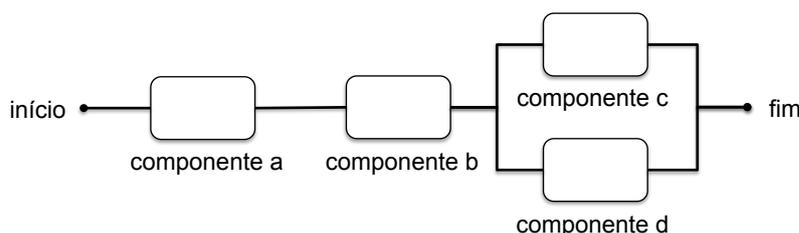
O RBD é um método de diagramação que demonstra como a confiabilidade dos componentes ou subsistemas de um sistema complexo contribuem para o sucesso ou falha deste sistema. O método de modelagem RBD é uma das técnicas mais utilizadas para análise de confiabilidade de sistemas (MACIEL PAULO R. M.; TRIVEDI; KIM, 2011). O modelo RBD é um fluxo lógico de entradas e saídas que relaciona os componentes que integram um sistema. Neste modelo, os blocos que representam os componentes do sistema podem estar conectados em paralelo ou série, conforme a arquitetura do sistema representado pelo modelo. Cada bloco possui uma taxa de falha e reparo associada que auxilia na determinação da confiabilidade do sistema modelado. Blocos modelados por caminhos paralelos são redundantes, desta forma todos os blocos devem falhar para que uma rede paralela falhe, porém, em caminhos em série a falha de um dos blocos afeta negativamente a confiabilidade do caminho.

O RBD pode ser convertido em uma árvore de sucesso, relacionando os blocos em série por portas lógicas *AND* e paralelos por *OR*. Com a utilização do teorema de Morgan (TRIVEDI, 2001) é possível converter uma árvore de sucesso em uma árvore de falhas e através desta identificar o relacionamento de falhas presente no sistema. O fluxo lógico de entradas e saídas do modelo RBD é uma importante ferramenta para análise de confiabilidade e disponibilidade de um sistema, esta modelagem surge pela necessidade de decompor os componentes que integram um sistema ou infraestrutura (RAUSAND; HOYLAND, 2003). Normalmente, o modelo de RBD é utilizado para determinar o custo e a criticidade de cada componente do sistema; sendo possível estabelecer planos de ação específicos para reparação, manutenção ou provisão de componentes sobressalentes, a fim de reduzir o tempo de indisponibilidade de cada componente e ampliar ao máximo a confiabilidade de todo o sistema.

A estrutura de um RBD define a interação lógica de falhas dentro do sistema. Através de modelos estatísticos podem ser observados todos os componentes do sistema e de forma

mais nítida os componentes mais vulneráveis; ampliando o estudo sobre o impacto de cada componente na disponibilidade do sistema (RAHEJA; GULLO, 2012).

Supondo um sistema que dependa de quatro subsistemas para sua operação; dois subsistemas possuem funcionalidades distintas e dois oferecem o mesmo serviço então é concebido um modelo combinatório para representá-lo. A Figura 2.2 representa o modelo RBD utilizando caminhos mistos, abrangendo componentes em série (*a* e *b*), que representam subsistemas independentes com funcionalidades distintas e componentes em paralelo (*c* e *d*), que representam subsistemas com a mesma funcionalidade. O sistema estará operacional se houver um caminho que interligue o ponto de início e fim.



**Figura 2.2:** Diagrama de blocos de confiabilidade.

Neste modelo, a equação de modo operacional (*OM*) é definida pela Equação 2.4, que relaciona os blocos do diagrama com funções lógicas para encontrar um caminho de operação entre o ponto início e fim do sistema. Para o conjunto de componentes em série, há uma relação *AND* e uma relação *OR* para os componentes em paralelo desta exemplificação, contudo os modelos RBD também podem ser resolvidos numericamente, sendo convertido em fórmulas fechadas o que facilita uma análise de sensibilidade.

$$OM = (a \wedge b \wedge (c \vee d)) \quad (2.4)$$

Os modelos RBD auxiliam na avaliação do impacto de todos os componentes do sistema, a fim de estabelecer a confiabilidade global ou disponibilidade do sistema. Ao identificar os componentes que estão sujeitos à falhas ou gargalos no sistema é possível aplicar esforços diretos para a busca de melhoria de disponibilidade destes componentes, por exemplo, através da aplicação de técnicas de tolerância à falhas é possível ampliar a confiabilidade do sistema. A confiabilidade do sistema está relacionada ao tempo em que este não deixará de prover o serviço ao qual foi designado. A modelagem através do método RBD auxilia na determinação destes tempos.

### 2.5.2 Redes de Petri estocásticas

Redes de Petri são ferramentas de modelagem gráfica e matemática amplamente utilizadas para representação formal de sistemas, caracterizados por propriedades de concorrência, paralelismo, sincronização, distribuição e não-determinismo (BAUSE; KRITZINGER, 2002).

As redes de Petri consistem em um conjunto de elementos capazes de representar o modelo de um sistema complexo. Componentes de lugar e transição são conectados através de arcos para proporcionar a modelagem baseada em estados de um sistema. Arcos são divididos em tipos: os arcos de entrada e saída, que conectam lugares à transições e transições à lugares, e arcos inibidores que impedem a execução de uma transição em dado instante, em uma rede de Petri os arcos são utilizadas para atribuição de precedência nos modelos.

As redes de Petri estocásticas são uma extensão da rede de Petri e permitem a modelagem e análise probabilística de sistemas. Em um modelo SPN (BALBO, 2001) o componente lugar é um componente passivo, uma variável do ambiente; o componente transição é um componente ativo, executa ação do modelo utilizando os componentes de arco, que interligam e possibilitam a transição e mudança de lugar; estas transições podem ser imediatas ou temporizadas.

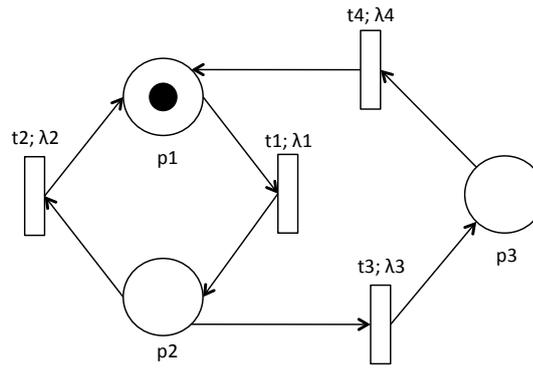
O sistema é uma combinação de componentes que trabalham em conjunto e desempenhem uma função que não seria possível executar em partes individuais. O modelo é uma abstração da forma de operação de um sistema e de seus componentes. Em um modelo SPN, os lugares podem conter fichas, também chamadas de *tokens*. O estado atual do sistema modelado é dado pelo número de fichas em cada componente de lugar. Como componentes ativos, as transições modelam as atividades que ocorrem no sistema, alterando os estados; o tempo associado às transições é descrito como uma função probabilística no modelo SPN (MARSAN, 1989).

A marcação corrente que o sistema apresenta movimentada as fichas de um lugar ao outro através dos arcos que interligam esses dois componentes (GIRAULT; VALK, 2002). Em um modelo de SPN, uma transição somente pode ser disparada se estiver habilitada, isto implica no atendimento de pré-requisitos como a existência de fichas suficientes no seu lugar de entrada ou respeitando a guardas, que permite que uma expressão seja associada à transição e esta será habilitada se a expressão for verdadeira (CIARDO GIANFRANCO; MUPPALA; TRIVEDI, 1989). O disparo de uma transição movimentada a quantidade de fichas solicitadas de um lugar para outro, quando houver fichas suficientes que atendam aos requisitos do disparo estabelecido pelo modelo. Para transições temporizadas são atribuídos taxas que respeitem a uma distribuição exponencial, tal que  $f_X(x) = \lambda e^{-\lambda x}$

Supondo a modelagem de um sistema baseado em três estados há um tempo necessário para que ocorra uma mudança de estado no modelo. O parâmetro associado à transição  $t_i$  é a taxa de disparo  $t_i, \lambda_i$ . Esta taxa de disparo de marcação dependente é expressa  $\lambda_i(M_j)$ ; a média de atraso do disparo da transição  $t_i$  na marcação  $M_i$  é  $[\lambda_i(M_j)]^{-1}$ . A Figura 2.3 representa um sistema modelado por SPN, três lugares e suas fichas que representam os estados distintos, quatro transições que recebem os parâmetros de tempo do sistema, à taxas associadas ao atraso do disparo no modelo, arcos para relacionar os estados e fichas para a execução do comportamento do modelo.

A relação de fluxo do modelo é dado por 5-tuplas  $SPN = (P, T, F, M_0, \Lambda)$  onde:

- $P = \{p_1, p_2, p_3\}$  é o conjunto dos lugares;



**Figura 2.3:** Rede de Petri com três estados

- $T = \{t1, t2, t3, t4\}$  é o conjunto de transições,  $P \cap T = \emptyset$ ;
- $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$  é o conjunto de arcos de entrada e saída;
- $M_0 : P \rightarrow \mathbb{N}$  é a marcação inicial que estabelece as fichas nos lugares; e
- $\Lambda = \{\lambda 1, \lambda 2, \lambda 3, \lambda 4\}$  é a matriz de taxas de disparos, dependente possibilidade de marcação, associada às transições.

No sistema modelado, inicialmente existe uma ficha no lugar  $p1$ , logo  $M(p1) = 1$  e  $M_0 = \{1, 0, 0\}$ . A matriz de incidência permite calcular a evolução da rede de Petri estocástica e através desta matriz é obtido um modelo matemático da dinâmica da rede, a propagação das marcas. A matriz de incidência  $C = (O - I)$  ou  $C = Pos(p, t) - Pre(p, t)$  é dada pela diferença entre a matriz de marcações de pré-ativação ( $I : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ ) e pós-ativação ( $O : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ ) das transições na rede, a pré-ativação  $Pre(p, t)$  consiste na presença de fichas nos lugares antes da ativação da transição e pós-ativação  $Pos(p, t)$ , depois. Para a SPN representada na Figura 2.3 a matriz de incidência  $C$  é dada pela Equação 2.5. Nesta equação as linhas referem-se aos lugares e considerando este modelo três lugares, as colunas referem-se às transições, neste modelo quatro transições. Os valores atribuídos a cada posição da matriz referem-se a as fichas ou marcações que movimentam-se de um estado a outro com a ocorrência da transição.

$$C = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

As redes de Petri auxiliam na descrição gráfica e no estudo do comportamento dos sistemas, com características de concorrência, execução assíncrona, distribuídos, paralelos, não determinísticos ou estocásticos. A utilização de marcas (fichas) auxilia na simulação de atividades simultâneas e dinâmicas do sistema modelado. Por se tratar de uma ferramenta matemática, as redes de Petri são capazes de prover equações de estado, algébricas e outros modelos que regem o comportamento do sistema (ZIMMERMANN; KNOKE, 2013) e (MURATA, 1977). Para abordar questões relacionadas ao desempenho e à dependabilidade é necessário atribuir tempos

aos modelos. Os tempos são associados aos componentes de transição, podem conter atrasos ou ser imediatos, de acordo com a necessidade de representação no modelo. Os atrasos podem seguir uma distribuição exponencial ou determinística, onde o número atribuído à taxa é fixo; em redes estocásticas a taxa atribuída às transições respeita uma distribuição exponencial (MARSAN, 1989). Para uma avaliação de desempenho é importante dar preferência a modelos simples e focados no objetivo a ser avaliado. O enfoque deve estar no propósito do modelo, que deve ser o mais simples para atender ao propósito de responder o objetivo desejado (MACIEL PAULO R. M.; LINS; CUNHA, 1996). A validação dos modelos é importante para verificar se o modelo proposto possui todas as características necessárias para representação adequada do sistema ou ambiente nele modelado.

### 2.5.3 Cadeias de Markov de tempo contínuo

Os modelos matemáticos auxiliam na determinação de valores que apoiam a tomada de decisão. O modelo de Markov (BALBO, 2001) é um processo probabilístico que corresponde a um conjunto de estados finitos e discretos; uma sequência de estados recebe a denominação de cadeias de Markov. A ausência de memória é uma propriedade Markoviana, a probabilidade de transição de estados depende apenas do estado corrente e do estado a seguir no modelo (MARSAN, 1989). Ao atribuir tempos aos modelos, estes são denominados estocásticos, em processos de Markov os tempos podem ser contínuos ou discretos. Os processos estocásticos são discretos no tempo e no espaço adotando uma distribuição exponencial para variáveis aleatórias. A CTMC é um processo estocástico de tempo contínuo com a propriedade de Markov, onde o comportamento futuro do modelo não depende de seu comportamento. Nestes modelos, as transições podem ocorrer a qualquer momento (ANDERSON; HIGHAM, 2012) sem que haja dependência do estado anterior. CTMC é tipicamente adotada para generalizar modelos com tempo contínuo e considerar o espaço de estado ou os seus estados infinitos. Os modelos Markovianos são intensamente utilizados na modelagem e dependabilidade desde os anos 50 (MACIEL PAULO R. M.; TRIVEDI; KIM, 2012). A modelagem através de CTMC auxilia na compreensão do comportamento do sistema, permite descrever e prever as métricas de disponibilidade do modelo, apoiado em suas equações matemáticas. Um modelo CTMC é representado matematicamente através da matriz de transição de estados  $Q$ , onde a probabilidade estacionária de cada estado  $\pi$ ; corresponde à solução da Equação 2.6.

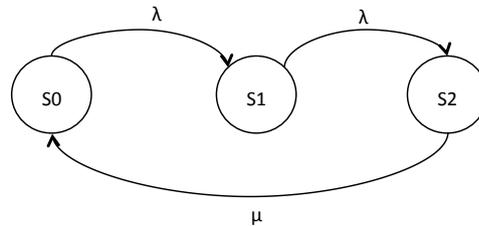
$$\pi Q = 0 \tag{2.6}$$

O vetor de probabilidade  $\pi$  correspondente ao valor unitário da matriz de transição. Nesta, a soma de todos os elementos do vetor de probabilidade devem ser iguais a 1,  $\|\pi\| = 1$ .

As CTMC são utilizadas para modelar processos físicos que envolvem tempos constantes. Nos processos de Markov, as variáveis aleatórias não dependem de histórico, como é exatamente a característica de valores obtidos através de amostras de consumo de energia; que são extraídas

em experiências realizadas. No modelo CTMC, as variáveis aleatórias recebem um número real e este é atribuído a cada ambiente da experiência aleatória. As cadeias de Markov permitem expressar cenários e situações distintas, sendo uma poderosa ferramenta de modelagem para inúmeros contextos e áreas (KLEINROCK, 1975).

Suponha um sistema que execute a produção de dois itens idênticos. Neste sistema o tempo entre duas chegadas consecutivas de matéria prima segue uma distribuição exponencial com média  $\lambda$ , o tempo de produção dos itens também segue uma distribuição exponencial com média de tempo  $\mu$ . A CTMC é adotada com processo estocástico para modelagem deste sistema, onde a variável de tempo é contínua e representa instantes ou momentos do sistema. Os estados da CTMC representam o número de itens presentes no sistema no momento  $t$ , atribuindo três espaços de estado  $S = \{S_0, S_1, S_2\}$ , referentes à quantidade de itens no sistema de produção e duas taxas  $T = \{\lambda, \mu\}$ , referentes à chegada da matéria prima e à produção. A Figura 2.4 representa o sistema modelado sobre CTMC.



**Figura 2.4:** Cadeia de Markov de tempo contínuo com três estados.

$M = \{\{0, \lambda, 0\}, \{0, 0, \lambda\}, \{\mu, 0, 0\}\}$  é a matriz de transição de estado deste modelo e a matriz de probabilidade estacionária dos estados da cadeia é dada pela Matriz 2.7, onde o somatório dos elementos de cada linha  $Q$  é zero. A probabilidade estacionária dos estados é dada por:  $\pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = 1$ , desta forma juntamente com a matriz  $Q$  é possível determinar a probabilidade estacionária de cada um dos estados do modelo.

$$Q = \begin{vmatrix} -\lambda & \lambda & 0 \\ 0 & -\lambda & \lambda \\ \mu & 0 & -\mu \end{vmatrix} \quad (2.7)$$

As CTMC são processos estocásticos discretos com tempo contínuo que são definidos por um conjunto de variáveis aleatórias. Quando há mudança contínua no processo, este é determinado um processo estocástico contínuo e caso a mudança ocorra de forma discreta em um evento específico é considerado um processo estocástico de evento discreto; isso significa que podem haver inúmeros valores de tempos no modelo. As CTMC auxiliam na previsibilidade das médias de tempos de falha de um sistema ou infraestrutura.

## 2.6 Ferramentas de modelagem

Para modelagem de sistemas, ambientes e processos, algumas ferramentas estão disponíveis para auxiliar no processo de modelagem e avaliação de diversos sistemas e infraestruturas. As ferramentas de modelagem auxiliam na criação visual do conjunto de componentes que integram o sistema e as relações entre estes, possibilitando uma visão analítica do conjunto modelado. Quando é abordado ferramentas de apoio à modelagem, com objetivo de análise de desempenho e confiabilidade do sistema existem modelos específicos. As ferramentas de modelagem utilizadas no desenvolvimento deste trabalho são descritas nas Seções 2.6.1, 2.6.2 e 2.6.3

### 2.6.1 Sharpe

A ferramenta *Symbolic Hierarchical Automated Reliability and Performance Evaluator* (SHARPE) é utilizada para modelagem hierárquica geral e analisa modelos estocásticos de confiabilidade, disponibilidade e desempenho. Tal ferramenta permite ao utilizador a livre escolha do número de níveis de modelos, tipo do modelo em cada um dos níveis e resultados de cada nível do modelo de acordo com seus parâmetros relacionado ao nível superior. SHARPE inclui recursos de algoritmos de análise para árvore de falhas, diagramas de bloco de confiabilidade, gráficos série-paralelos acíclicos, modelos de Markov cíclicos e semi-Markov, SPN e individual ou múltiplas cadeias fechadas de enfileiramento de redes. Para muitos destes recursos, a ferramenta possibilita a escolha de algoritmos alternativos, onde o resultado pode ser expresso sobre a forma de uma função de distribuição, simbólico na variável de tempo ou como um meio ou de forma probabilística. SHARPE é uma ferramenta de apoio a modelagem e análise de sistemas e infraestruturas diversas e utiliza técnicas de análise e desempenho de sistemas. A ferramenta oferece uma linguagem e métodos de solução para grande variedade de tipos de modelos, comumente utilizados para análise de desempenho e confiabilidade (TRIVEDI, 2013). Desenvolvida sobre linguagem C com recursos gráficos em Java possibilita suporte a diferentes plataformas e mantém seu recurso de operação sobre linha de comando. A ferramenta SHARPE implementa técnicas de descrição para oito diferentes tipos de modelos: árvore de falhas, cadeias de Markov, diagramas de blocos de confiabilidade, gráficos de confiabilidade, redes de Petri estocásticas generalizadas, enfileiramento de rede para produção, múltiplas cadeias para enfileiramento de rede para produção e série-paralelo gráficos de tarefas.

### 2.6.2 TimeNet

TimeNet é uma ferramenta de avaliação para redes de Petri. Auxilia na modelagem e avaliação de SPN com tempos de disparos imediatos ou não exponencialmente distribuídos foi desenvolvida pelos grupos sistemas de tempo real e robótica da *Technische Universität Ilmenau* na Alemanha e atualmente sua versão 4.2 inclui novos recursos de simulação de

eventos (ZIMMERMANN; KNOKE, 2013). TimeNet é uma ferramenta gráfica e interativa de modelagem para SPN e *Stochastic Colored Petri nets* (SCPN), seu desenvolvimento foi motivado pela necessidade de uma aplicação robusta e capaz de avaliar de forma eficiente as redes de Petri temporizadas. TimeNet disponibiliza uma técnica de análise aproximada, se houver restrições violadas ou grafos de alcançabilidade muito complexos. Análises, aproximações e simulações podem ser efetuadas a partir da ferramenta, para as mesmas classes do modelo, esta fornece uma estrutura unificada para modelagem e avaliação de desempenho em redes de Petri estocástica não-Markovianos. A partir da versão 4.0, a ferramenta teve adição do recurso gráfico desenvolvido na plataforma Java, para proporcionar suporte à outros sistemas operacionais incluindo recursos de modelagem e simulação para SCPN. TimeNet oferece componentes independentes para modelagem, simulação, análise e saída de resultados e o módulo para SCPN proporciona a simulação de eventos discretos e implementa avaliação de desempenho para as redes modeladas além de permitir distribuições arbitrárias e disparo de atrasos, inclui tempo zero e outros recursos.

### 2.6.3 Mercury

Ferramenta de modelagem desenvolvida pela equipe de pesquisadores *Modeling of Distributed and Concurrent Systems* da Universidade Federal de Pernambuco, aplica esforços nos conceitos de modelagem e avaliação de desempenho de sistemas e infraestruturas. A ferramenta Mercury foi desenvolvida sobre os esforços de diversos pesquisadores para apoiar a avaliação de energia em *datacenters*, resfriamento e outras infraestruturas de TIC com o módulo *Energy Flow Model* (EFM). O Mercury proporciona uma interface gráfica com objetivo de modelar e avaliar sistemas diversos, nele estão disponíveis os recursos de *Generalized Stochastic Petri Nets* (GSPN), diagramas de blocos de confiabilidade (RBD), cadeias de Markov de tempo contínuo (CTMC) e fluxo de modelo de energia (EFM), para proporcionar a avaliação dos modelos. A ferramenta foi desenvolvida para apoiar a avaliação de modelos e é suficientemente genérico para permitir avaliação de confiabilidade e sustentabilidade de sistemas diversos; possibilitando intercâmbio de resultados entre modelos para uma avaliação mais completa (MODCS, 2013).

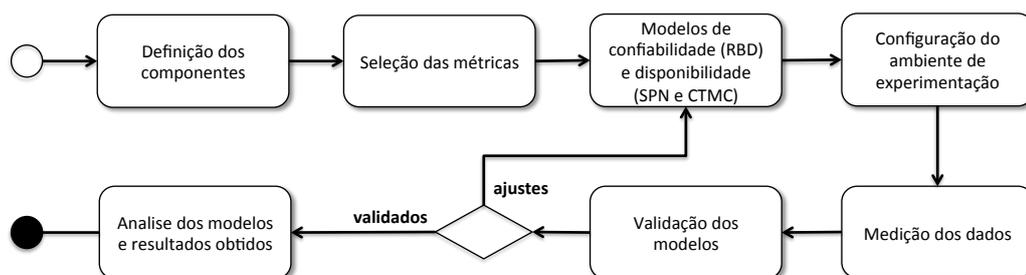
# 3

## Metodologia e ambiente

Este capítulo aborda o cenário base para auxiliar a modelagem e avaliação de desempenho do dispositivo móvel. Primeiramente são apresentadas as etapas para concepção dos modelos abrangendo a compreensão do ambiente, a seleção das métricas desejadas para avaliação da confiabilidade e disponibilidade, validação dos modelos e interpretação dos resultados; em seguida as técnicas adotadas para elaboração do ambiente afim de realizar os experimentos e coleta dos parâmetros para alimentar os modelos.

### 3.1 Fluxo da avaliação

O dispositivo móvel é parte integrante da arquitetura de MCC. Conhecer o tempo médio no qual o dispositivo móvel irá funcionar sem que apresente falhas em seus componentes é o ponto inicial para a análise de confiabilidade do dispositivo móvel no contexto de uso de aplicações mHealth e consequentemente no sistema MCC. Como apresentado no Capítulo 1, este trabalho têm por interesse analisar a disponibilidade e confiabilidade do dispositivo móvel através do uso de modelos hierárquicos RBD. Outros modelos SPN e CTMC são utilizados para decompor componentes específicos do dispositivo, afim de avaliar a disponibilidade individual destes e obter valores médios de falha e reparo para componentes específicos no modelo RBD. A Figura 3.1 demonstra o fluxo de trabalho desenvolvido para análise de desempenho do dispositivo móvel também denominado *smartphone*.

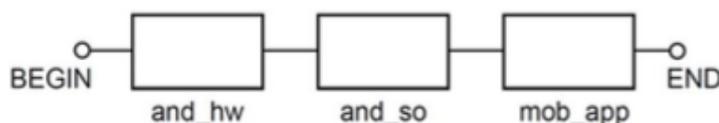


**Figura 3.1:** Metodologia do fluxo de trabalho.

O trabalho possui enfoque no dispositivo móvel da equipe de atenção à saúde conside-

rando o fluxo de informações entre o dispositivo móvel e o servidor através de distintas redes de comunicação de dados. Com base nos estudos realizados sobre trabalhos relacionados à área de interesse são observados os pontos a serem abordados com maior detalhamento afim de estender contribuir com pesquisas na área de consumo energético do dispositivo no contexto mHealth desta forma dando início ao fluxo da pesquisa. Estes estudos permitem determinar as métricas de interesse a serem abordadas.

O modelo RBD proposto por (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013) e apresentado na Figura 3.2 é estendido e compreende dois novos componentes de *hardware* que impactam o dispositivo móvel: interfaces de rede através do modelo SPN e bateria pelo modelo CTMC. Como são necessários dados do ambiente real para atribuir valores aos modelos é desenvolvido o ambiente de experimentação. Neste ambiente experimentos são realizados e os dados necessários para análise são obtidos e com base nos dados os modelos são validados e refinados para representar o comportamento real dos componentes e sistemas modelados, por fim é possível analisar os resultados obtidos através dos modelos e sugerir cenários mais adequados para o contexto de aplicações de mHealth que preservem o recurso de energia do dispositivo.

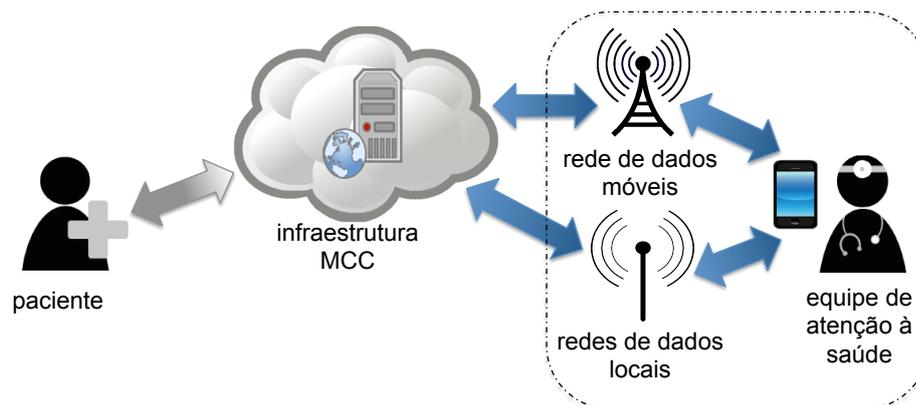


**Figura 3.2:** RBD do dispositivo móvel por (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013)

## 3.2 Arquitetura base

O trabalho desenvolvido investiga o aspecto de confiabilidade do dispositivo móvel, que é impactado pelo consumo de energia e conectividade das interfaces de rede do dispositivo. O comportamento do dispositivo móvel é analisado para elaboração dos modelos. A arquitetura do cenário contempla o uso de uma aplicação de mensagem instantânea com objetivo de receber os dados e mensagens originados pelo paciente para a equipe de atenção à saúde no *smartphone*; esta aplicação utiliza um servidor no conceito de MCC. O servidor de aplicação está presente em um ambiente de *Cloud Computing* e fornece serviço à seus usuários móveis, este servidor utiliza tecnologia *server push* para troca de mensagens instantâneas e quatro protocolos de comunicação cliente-servidor mais usuais, *polling*, *long polling*, *WebSocket* e *XMPP*; a fim de possibilitar diferentes estratégias de entrega das mensagens ao cliente. A Figura 3.3 demonstra o cenário elaborado para a realização dos experimentos.

O cenário é a base da pesquisa, neste são realizados experimentos para validação dos modelos propostos. O servidor de aplicação foi desenvolvido a partir de estudos anteriores a este trabalho, onde (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013) realiza experimento com alguns protocolos de aplicações de mensagens instantâneas. Adaptações foram realizadas no



**Figura 3.3:** Arquitetura do cenário.

ambiente, a fim de prover acessos idênticos ao de servidores hospedados em um ambiente de MCC. O serviço de mensagens é acessível a partir do dispositivo móvel que utiliza conexões de rede de dados sem fio locais e móveis; as redes móveis utilizam tecnologias de telefonia móvel disponíveis, 3G e 2G. O serviço executa aplicações de mensagens instantâneas voltadas à área de atenção à saúde. O trabalho desenvolvido por (SPINA G.; ROBERTS; AMFT, 2013) aborda aquisição dos dados do paciente em um quadro de sensoriamento integrando diversas modalidades de monitoração. A avaliação de desempenho quanto ao aspecto de consumo de energia dos dispositivos móveis utilizando distintas redes de dados é uma lacuna a ser explorada nos trabalhos relacionados à mHealth, assim como a disponibilidade das interfaces de rede dos dispositivos móveis para complementar a análise de confiabilidade.

No cenário exposto, o fluxo de comunicação entre servidor e equipe médica demarcado enfatiza a área de concentração da pesquisa; a avaliação da confiabilidade do dispositivo abrange suas interfaces de rede e bateria. A relação dos componentes paciente e servidor é suprimida e os esforços são concentrados na confiabilidade do dispositivo móvel da equipe de atenção à saúde, frente à demanda do consumo energético e à conexão com as distintas interfaces de rede, desta forma, aprofunda estudos sobre a avaliação de desempenho dos componentes essenciais na relação entre servidor e equipe médica. Para prover este fluxo de informações, um gerador de carga de trabalho foi aprimorado e possibilita a execução sobre um servidor de ambiente MCC. Este gerador é capaz de enviar mensagens instantâneas à aplicação no dispositivo móvel utilizando quatro diferentes protocolos de estratégia de comunicação cliente-servidor; para servidores com tecnologia *server push* utilizados em aplicações IM, os protocolos *Short Polling*, *Comet (long-polling)*, *WebSocket* e *XMPP* são os recursos presentes no serviço. Nos experimentos realizados, o envio de mensagens utiliza tecnologias de rede de dados local sobre tecnologia Wi-Fi e móveis sobre tecnologias 3G e 2G. O comportamento do ambiente é observado para ser reproduzido na modelagem do sistema, então os resultados são avaliados dentre diferentes cenários em busca do melhor desempenho energético do dispositivo móvel, a fim de ampliar seu tempo de usabilidade no contexto de MCC para as equipes de atenção à saúde.

O ambiente que abrange o dispositivo *smartphone* é modelado para análise e avaliação de diferentes etapas da pesquisa. O recurso RBD é utilizado para elaboração do modelo de confiabilidade de alto nível, que visa representar os componentes do dispositivo móvel estendendo o modelo proposto por (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013) com adição de dois novos blocos que representam os componentes de interface de rede e bateria do dispositivo. Este modelo auxilia na determinação de criticidade dos componentes envolvidos e na disponibilidade no dispositivo e através do modelo RBD é possível avaliar a confiabilidade do sistema que compõe o dispositivo móvel. O comportamento das interfaces de rede do dispositivo móvel e a transição entre as redes disponíveis é modelado através de SPN; um modelo baseado em estados que detalha de forma simples o comportamento de um sistema de comunicação de dados possível para este elemento. Este modelo provê valores de probabilidade para as conexões com a rede de dados. A modelagem de consumo energético através de CTMC é adotada por (MATOS RUBENS; ARAUJO; TRIVEDI, 2014) e estendida para modelar o comportamento de descarga da bateria do dispositivo móvel considerando outras distintas redes de dados. O modelo CTMC proposto representa fases da descarga energética e a probabilidade de escolha entre os tipos de conexão de dados disponíveis para que a aplicação seja executada.

A adoção de CTMC visa uma estratégia com diferente ponto de vista para avaliação de consumo energético em modelos hierárquicos, comparados à trabalhos similares como (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013) e (CHUNG, 2011), estendendo o modelo proposto por (MATOS RUBENS; ARAUJO; TRIVEDI, 2014) que utiliza CTMC. Os modelos propostos são parametrizados através de valores obtidos de experimentos realizados no ambiente real. Para compor os modelos analíticos são utilizadas as ferramentas de modelagem: SHARPE (versão 1.3.1), TimeNet (versão 4.2) e Mercury (versão 4.1.2).

### 3.3 Ambiente desenvolvido

Um ambiente é desenvolvido para proporcionar a realização de experimentos fundamentais para análise da confiabilidade do dispositivo móvel pois proporcionam os valores para os modelos. O ambiente elaborado abrange o serviço de gerador de carga de trabalho sobre o servidor no ambiente de MCC, aplicação de IM, redes de comunicação de dados e o dispositivo móvel. Os experimentos foram realizados sobre o ambiente real desenvolvido, variando os parâmetros para compor a análise de confiabilidade do dispositivo móvel, baseada na disponibilidade das interfaces de rede e consumo energético do *smartphone*. A variabilidade dos parâmetros proporciona resultados distintos sobre o consumo de energia do dispositivo, que foram utilizados juntamente aos modelos para obtenção dos valores de disponibilidade sendo importante sua variação para avaliar a disponibilidade do consumo energético nas diferentes composições de cenários, aos quais a equipe de atenção de saúde pode estar sujeita ao utilizar seu dispositivo móvel; desta forma a pesquisa visa abranger distintas possibilidades de arranjos no cenário. Os parâmetros utilizados para compor os diferentes cenários de análise estão listados na Tabela

3.1. São utilizados quatro protocolos mais usuais de aplicações de IM, três distintas redes de comunicações de dados, uma local e duas tecnologias de dados móveis, e tamanho de mensagens variados para recebimento dos dados do paciente no dispositivo móvel da equipe de atenção à saúde.

**Tabela 3.1:** Parâmetros para composição de cenários

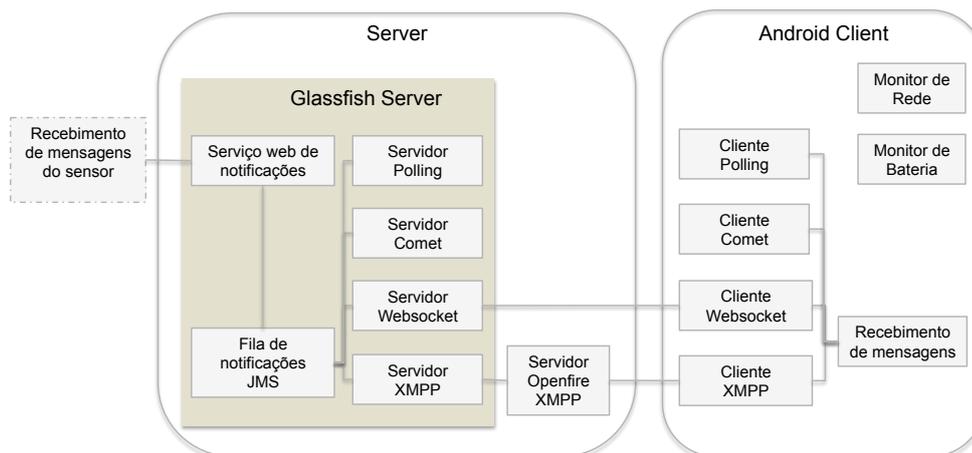
Item	Parâmetro	Recurso
1	Protocolos	Short polling, Comet (long-polling), WebSocket e XMPP
2	Redes de dados	Wi-Fi, 2G e 3G
3	Tamanho do pacote	variável entre 1K e 10.000K

### 3.3.1 Gerador de carga de trabalho

Com objetivo de avaliar o impacto de consumo de energia sobre a aplicação de mensagem instantânea foi utilizada uma aplicação de troca de mensagens assíncronas. Este cenário utiliza uma arquitetura baseada no padrão *server push*, onde o servidor fornece canais para que os clientes se conectem e recebam as mensagens. O gerador de carga proposto estende o gerador desenvolvido por (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013) da seguinte forma: inclusão de quatro canais distintos de comunicação da aplicação cliente-servidor, que abrange as estratégias de comunicação avaliadas, *Short polling*, *Comet (long-polling)*, *WebSocket* e *XMPP*; operação do servidor *server push* sobre um ambiente de MCC e além destas extensões o gerador proposto adicionou funcionalidades para acessos à aplicação a partir de conexões de dados com as redes móveis no *smartphone*.

A Figura 3.4 ilustra a arquitetura da aplicação, simulando o recebimento de mensagens sobre dados do paciente e encaminhando-as à equipe de atenção à saúde. O sistema de troca de mensagens é baseado no padrão *Java Message Service (JMS)* (HAPNER et al., 2002) e utiliza um servidor GlassFish, com apoio do recurso Openfire para execução do protocolo *XMPP*. As mensagens são publicadas através do serviço *web*, implementado pelo módulo *Web Service Notifications*. Neste gerador existem quatro módulos de serviço para os distintos protocolos, cada módulo implementa as estratégias de comunicação correspondentes ao seu protocolo, que permite a comunicação cliente-servidor para recebimento das mensagens. Para a aplicação móvel presente no dispositivo *smartphone*, também existem os mesmos quatro módulos com características de cliente para o recebimento das mensagens, *Polling Client*, *Comet Client*, *WebSocket Client* e *XMPP Client*, todos implementados como serviços em segundo plano e entrega de mensagens da aplicação.

O canal que utiliza estratégia *XMPP* comporta um elemento adicional, *OpenFire XMPP Server*. O cliente se conecta ao servidor para o recebimento das mensagens através da estratégia *XMPP*, o módulo *XMPP Server* conecta ao módulo adicional, *Openfire XMPP Server* e então encaminha as mensagens recebidas aos clientes correspondentes no destino destas mensagens.



**Figura 3.4:** Arquitetura da aplicação cliente-servidor

O gerador de carga de trabalho é responsável pelo envio das mensagens aos usuários de forma contínua durante a realização dos experimentos, para simular os dados recebidos de um paciente ou conjunto de sensores é possível ajustar parâmetros neste módulo, tais como, a taxa de envio de mensagens por segundo, tamanho da mensagem e usuário de destino. O tempo entre envio das mensagens é distribuído de forma exponencial.

A Tabela 3.2 apresenta os parâmetros utilizados, que podem ser ajustados para realização dos experimentos. Os parâmetros do mecanismo de sincronização e modo de transferência de dados são os parâmetros variáveis no experimento, os demais parâmetros são fixos inicialmente e podem ser modificados durante a realização dos experimentos, se necessário. O parâmetro de mecanismo de sincronização abrange os protocolos que serão avaliados na execução da aplicação. O modo de transferência contempla as redes disponíveis no ambiente desenvolvido. O tamanho das mensagens é definido através de experimentos iniciais especificados na Seção 4.4.3 do capítulo a seguir. O tempo médio entre as mensagens e intervalo de tempo de *polling* adotado a partir do trabalho de (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013) e por fim o intervalo de obtenção de amostras de energia é refinado a partir do trabalho de (TRESTIAN RAMONA; MOLDOVAN; MUNTEAM, 2012).

**Tabela 3.2:** Parâmetros do ambiente

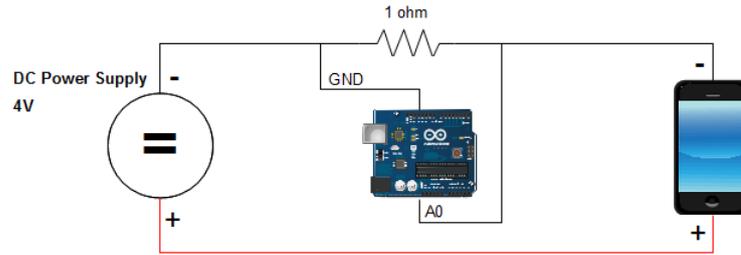
Parâmetros	Valores
Mecanismos de sincronização	Polling, Comet, WebSocket, XMPP
Modo de transferência de dados	Wi-Fi, 3G, 2G
Tamanho das mensagens	100 bytes
Média de tempo entre as mensagens	4 segundos (exponencial)
Tempo de intervalo de polling	1 segundo
Tempo de intervalo da amostra de energia	0,5 segundos

### 3.3.2 Medição de energia

Ferramentas de medição de energia como Amalghma (TAVARES EDUARDO; SILVA; MACIEL, 2008) e (DAMASO ANTONIO.; FREITAS; MACIEL, 2013) e Watts Up (THINK-TANK, 2013) foram utilizadas inicialmente, porém, não proporcionaram obtenção dos valores de potência quando muito baixos e dificuldades para execução de experimentos em grande espaço de tempo, tais métodos de utilização das ferramentas são detalhados no Apêndice B. A medição do consumo de energia no dispositivo móvel foi realizada através do uso do recurso de um componente externo, Arduino UNO R3 Board (ARDUINO, 2013). Arduino permite monitorar a tensão utilizada pelo *smartphone* durante o tempo de execução do aplicativo nos experimentos para posteriormente determinar a energia dispendida. O dispositivo móvel adotado para os experimentos é um Samsung Galaxy Mini, modelo GT-S5570B, que utiliza sistema operacional Android versão 2.3.6, compilador Gingerbread, versão banda base S5570BVJKPB, *High-Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) com capacidade 7.2Mbit/s e opera em frequências de 900/2100MHz para tecnologias 3G e 850/900/1800/1900Mhz GSM de banda base e capacidade da bateria de 4.4Wh.

A Figura 3.5 demonstra a estratégia adotada para medição de energia utilizada na pesquisa. Durante a execução dos experimentos o dispositivo móvel está conectado a placa Arduino com apoio de uma placa do tipo *protoboard*, que auxilia a interconexão dos elementos. Um resistor é adicionado para complementar a estratégia de medição e proporcionar a obtenção do valor de energia dispensada, que percorre o circuito elétrico do *smartphone*. Para coletar a energia instantânea foi adotado o aplicativo de leitura de potência analógica de (ARDUINO, 2013) e efetuado adaptações para reduzir o tempo entre as amostras. Em cada experimento a aplicação móvel de mensagem instantânea foi executada com os quatro protocolos disponíveis e as possíveis variáveis do ambiente, coletando o consumo de corrente de forma instantânea no *smartphone*. Nos experimentos foi adotada a utilização de uma fonte de alimentação, para evitar possíveis oscilações na tensão de alimentação do dispositivo móvel, desta forma têm-se por objetivo uma medição mais precisa, não considerando a não linearidade de descarga da bateria. A coleta de dados da energia dispendida pelo dispositivo móvel foi efetuada com intervalos de 0,5 segundos, totalizando duas amostras para cada segundo de execução do aplicativo refinando a estratégia de medição de energia de (TRESTIAN RAMONA; MOLDOVAN; MUNTEAM, 2012), com objetivo de valores mais precisos da potência dispendida durante a execução da aplicação.

Para melhor compreensão do consumo de energia do dispositivo móvel é considerado a equação de potência 3.1. Esta equação define a taxa de consumo energético do circuito elétrico, onde  $V$  é o potencial elétrico em relação ao tempo, explicitado na unidade de volts e  $I$  é a corrente elétrica expressa na unidade de ampère. Para obter o consumo de energia,  $E$ , a equação 3.2 é adotada para expressar os valores em joules ou watt em relação ao tempo. Nesta equação a potência ( $P$ ) é obtida através da equação anterior, em relação ao intervalo de tempo ( $t$ ), do



**Figura 3.5:** *Test-bed* de medição de energia.

experimento. O valor obtido através deste resultado expressa a energia elétrica dispendida pelo dispositivo móvel; foi adotado a unidade de watt-hora (Wh) dentro do intervalo de tempo específico do experimento.

$$P(t) = V(t).I(t) \quad (3.1)$$

$$E = \int_0^{\infty} P(t).dt \quad (3.2)$$

Através do uso da integral numérica é possível medir o consumo total de energia de cada um dos experimentos. Ao obter amostras com potência  $P$  em intervalos de tempo de 0,5 segundos, obtidos através da utilização do Arduino, a equação 3.3 é aplicada sobre essas amostras. Considerando cada valor obtido durante o tempo de execução do experimento, todos esses valores são integrados para obter o valor total de energia consumida pelo *smartphone*. Através deste método é possível compreender o consumo de energia dispendido pelo *smartphone* durante a execução de cada experimento e prever a autonomia do dispositivo para executar a aplicação, quando combinando o parâmetro de conectividade através das redes de dados. Para prover melhor acuracidade, os experimentos foram repetidos em 10 ciclos, com o propósito de obter diferenças no consumo de energia sobre os mesmos parâmetros.

$$F(t) = \int_0^{\infty} f(t).dt \simeq \sum_{k=0}^n f(t_k).\Delta t \quad (3.3)$$

Neste trabalho não é considerado a linearidade sobre o consumo de energia da bateria do dispositivo, também não é considerado o consumo de outros aplicativos presentes no dispositivo móvel. Muitas aplicações foram desativadas no dispositivo para realização dos experimentos, permanecendo apenas as aplicações essenciais do sistema tais como, alguns serviços do sistema operacional que não podem ser desativados e que permitem a execução da aplicação IM. Durante a execução dos experimentos, o *smartphone* operou com o mínimo de aplicações possíveis, a fim de evitar a influência de parâmetros externos no tráfego de dados e de uso do processador, que impactam diretamente no consumo do dispositivo.

# 4

## Modelos

O presente capítulo apresenta os modelos propostos. Para determinar a confiabilidade e o *Mean Time to Failure* (MTTF) do dispositivo móvel é estendido o modelo de alto nível RBD de (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013), incluindo blocos adicionais que detalham componentes de *hardware*. Características distintas da complexidade das interfaces de rede e descarga de energia utilizam a adoção de modelos hierárquicos baseados em estados para representação destes subsistemas. A avaliação da disponibilidade das interfaces de rede do dispositivo adota o modelo SPN e para avaliação do consumo energético, o modelo CTMC que demonstra o cálculo da disponibilidade do sistema através de fórmulas fechadas. Os modelos foram elaborados através do estudo comportamental do ambiente.

O dispositivo móvel é composto por um conjunto de elementos distintos, onde cada elemento representa um subsistema independente que relacionados contribuem para a operação do dispositivo móvel. A modelagem é adotada para representar componentes do dispositivo e seu comportamento no sistema. A modelagem de cada componente aborda seu modo de funcionamento individual para compor o sistema *smartphone*. A adoção de um modelo RBD representa de forma simples e em alto nível o relacionamento entre os componentes da arquitetura do dispositivo móvel e através deste modelo é possível determinar a criticidade de cada componente, bem como o tempo associado a confiabilidade do sistema que compõe o dispositivo móvel. No entanto modelos RBD não são suficientes para modelagem de algumas características específicas do dispositivo móvel, pois não abordam a modelagem de transição de estados que ocorre nos componentes do sistema, desta forma é adotado a modelagem hierárquica, utilizando mais de um formalismo para representar a complexidade do *smartphone*. Para representar o chaveamento entre as interfaces de rede do dispositivo móvel, um modelo baseado em estados é adotado. Este modelo auxilia a determinar a probabilidade de cada uma das interfaces de rede do dispositivo móvel estar ativa, sendo essencial que alguma esteja em operação para possibilitar o uso da aplicação de atenção à saúde. O modelo SPN representa este subsistema, pois há uma grande complexidade que através do uso de CTMC haveria dificuldades para gerenciar um grande volume de estados, este modelo é adotado para modelagem de descarga de energia e assim aprimora modelos propostos em trabalhos anteriores como de (MATOS RUBENS; ARAUJO;

TRIVEDI, 2014).

Conduzindo o fluxo de desenvolvimento proposto para a pesquisa, exposto na Seção 3.1, após a elaboração dos modelos a serem adotados na realização das avaliações é essencial que os estes sejam validados. O modelo proposto deve ser condizente com o comportamento do elemento do dispositivo móvel no ambiente real, desta forma, o modelo está representando o funcionamento correto do componente. A etapa de validação é essencial para observar se o comportamento do modelo é adequado para representar o componente em questão, isto significa que o modelo é condizente com o funcionamento do componente no ambiente real. A validação dos modelos utiliza parâmetros de tempo para transição dos estados. Os valores atribuídos a tais parâmetros são obtidos através de amostras obtidas de experimentos no cenário, devido a variação do consumo de energia em cada experimento, são coletadas 10 amostras, pois foi observado que em 10 experimentos a média do consumo apresenta pouca variação comparado ao número menor de amostras, porém com base nas amostras não é possível determinar o tipo de distribuição, então é adotado o método de inferência não paramétrica para obter aproximações de distribuições amostrais devido ao pequeno tamanho da amostra,  $N = 10$ . *Bootstrap* é o método adotado para determinar o intervalo de confiança das amostras (EFRON; TIBSHIRANI, 1994), então a disponibilidade é calculada através dos modelos para um grande valor de médias amostrais geradas a partir deste método. A adoção da reamostragem *bootstrap* visa simular diversos cenários a partir de uma pequena amostra, desta forma o método constrói um espaço amostral e realiza inferências sobre os parâmetros de interesse para o modelo, os tempos. Na validação do modelo SPN, experimentos são realizados para mensurar amostras de tempos para o chaveamento entre as interfaces de rede no ambiente real, outros valores são extraídos da literatura, pois o ambiente proposto não aborda experimentos de falha e reparo sobre as infraestruturas das redes de dados móveis, Wi-Fi, 3G e 2G, apenas sobre a interface do dispositivo móvel.

## 4.1 Elaboração dos modelos

Os modelos propostos são baseados em tempos, existe um parâmetro associado à transição para que ocorra a mudança de estado, tais parâmetros são os tempos mensurados durante os experimentos que convertidos em taxas que abastecem os parâmetros dos modelos. A medição e obtenção dos valores de tempo são realizados através dos experimentos no ambiente do cenário proposto. Para realização dos experimentos são definidos os parâmetros das amostras, tamanho das mensagens recebidas pelo dispositivo, intervalo de tempo entre as coletas do consumo de energia e tempo de execução dos experimentos. Os dados obtidos a partir dos experimentos são tratados, analisados e organizados para que o nível de abstração seja respeitado, não interferindo sob quaisquer valores obtidos das amostras. O tratamento estatístico dos dados obtidos visa evitar distorções, o método utilizado é a adoção de limites inferiores e superiores para estabelecer o intervalo de confiança desejado na análise e a seguir os modelos são refinados para observar se o nível de abstração é adequado para avaliar o sistema representado (JAIN, 1991).

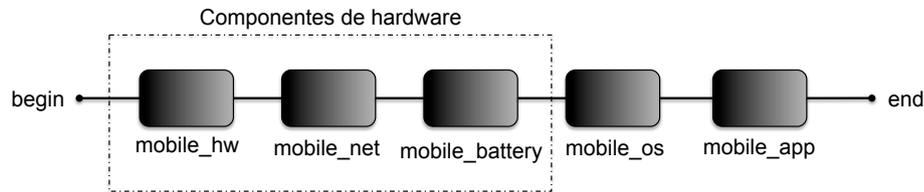
No modelo RBD o dispositivo móvel é modelado em alto nível através de modelos combinatórios para facilitar a relação entre os componentes integrantes deste sistema. Os parâmetros de MTTF e *Mean Time to Repair* (MTTR) (AVIZIENIS ALGIRDAS; LAPRIE; RANDELL, 2001) para este modelo são herdados da literatura através dos trabalhos de (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013) e (KIM DONG SEONG; MACHIDA; TRIVEDI, 2009) para os componentes de *hardware*, sistema operacional e aplicativo, porém, para os componentes de interface de rede e bateria é necessário a adoção de modelagem hierárquica, pois o modelo **rbs!** (**rbs!**) limita a representação de características e comportamentos essenciais destes componentes, com o uso dos modelos de espaço de estados é possível obter a disponibilidade destes subsistemas. As interfaces de rede do dispositivo móvel podem assumir a conexão com três distintas redes. A ativação destas interfaces depende da disponibilidade de sinal da rede e tempo de ativação da interface no dispositivo; o modelo SPN é adotado para a representação deste subsistema, pois neste modelo, o recurso *token game* permite verificar o comportamento abstrato do modelo e auxilia na análise do conjunto de propriedades estruturais e comportamentais para representação correta do subsistema (ZIMMERMANN; KNOKE, 2013). A análise qualitativa do modelo considera os aspectos lógicos de evolução do modelo e de sua estrutura para que não ocorram *deadlocks* ou outras estruturas que não representem o sistema modelado.

A descarga da bateria é representada pelo modelo baseado em estados CTMC, este modelo é escolhido devido à sua propriedade de falta de memória, o que é relevante para representar o comportamento de descarga da bateria, pois não há dependência do histórico para que a descarga de energia ocorra. A validação deste modelo é efetuada com base dos tempos de descarga obtidos dos experimentos e obedece a valores estatísticos gerados a partir de um intervalo de confiança obtido através da adoção do método *bootstrap* (EFRON; TIBSHIRANI, 1994). O modelo CTMC permite formulação de cálculos matemáticos para determinar a disponibilidade do sistema modelado. Nos modelos SPN e CTMC o tempo entre as  $n$  transições das interfaces e de descarga da bateria foram utilizados como parâmetros de validação dos modelos. Os métodos de avaliação pelo regime transiente ou estacionário deve considerar os recursos modelados no sistema, estruturas do modelo e métricas à serem avaliadas. Modelos SPN estruturalmente limitados, como os criados para representar as interfaces de rede e descarga de energia permitem o cálculo de estado estacionário, que pode ser calculado através de métodos analíticos e/ou numéricos pela simulação dos modelos nas redes de Petri (SOUZA, 2015).

## 4.2 Modelo de desempenho do dispositivo móvel

O *smartphone* como um componente do ambiente de MCC e ferramenta de trabalho para as equipes de atenção à saúde é avaliado através do modelo RBD para determinar sua confiabilidade no ambiente da MCC e desta forma determinar o tempo em que não apresentará falhas. A Figura 4.1 apresenta o modelo aprimorado proposto originalmente por (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013) para avaliar a confiabilidade do dispositivo, este modelo

inclui dois novos componentes, *mobile\_net* e *mobile\_battery*. O modelo proposto consiste em cinco componentes: (*mobile\_hw*) que contempla outros *hardwares* do dispositivo excluindo interfaces de rede e bateria, (*mobile\_net*) que representa as interfaces de rede do dispositivo, (*mobile\_battery*), a bateria do dispositivo, (*mobile\_os*), o sistema operacional do dispositivo e (*mobile\_app*), a aplicação móvel.



**Figura 4.1:** RBD do dispositivo móvel

O modelo RBD aborda apenas os componentes mais usuais do dispositivo móvel e abrange diversos elementos de *hardware* em um único bloco, e os de *software* em outro, porém detalhando os elementos de interesse, tais como, interfaces, baterias e aplicativo, desta forma o modelo contempla os elementos de interesse para avaliar a confiabilidade e a disponibilidade do ponto de vista da equipe de atenção à saúde, que utiliza o dispositivo móvel como ferramenta de trabalho. A disponibilidade do elemento através deste modelo é determinada pela Equação 4.1, que relaciona de forma lógica os cinco componentes que integram o dispositivo móvel representado pelo modelo. Por se tratar de um modelo em série, a disponibilidade de cada componente deve ser multiplicada para avaliar a disponibilidade total do dispositivo móvel.

$$A_{mobile} = A_{mobile\_hw} \times A_{mobile\_net} \times A_{mobile\_battery} \times A_{mobile\_os} \times A_{mobile\_app} \quad (4.1)$$

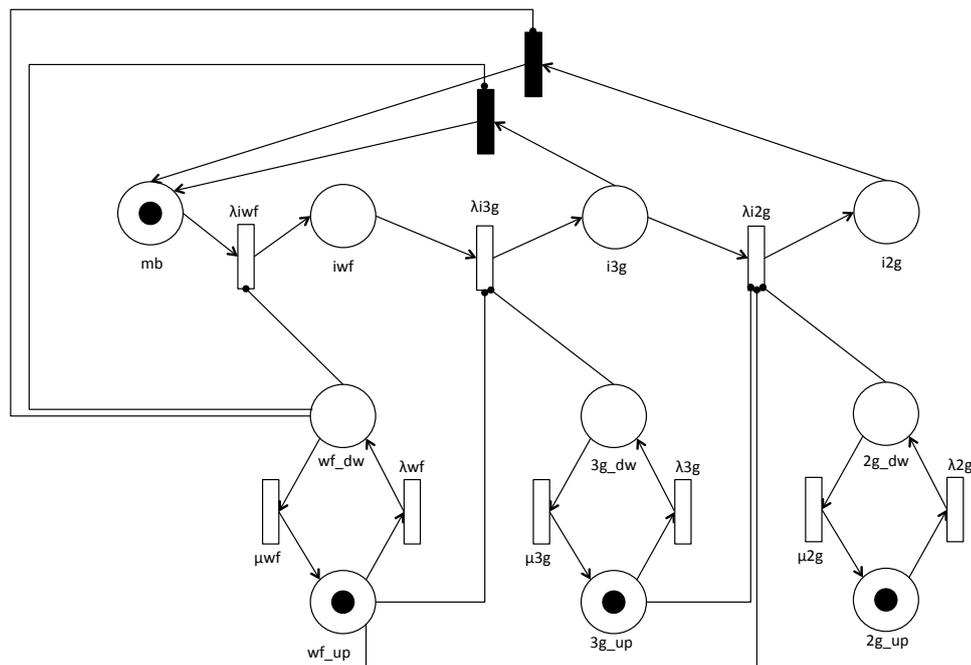
Os componentes do modelo utilizam valores de MTTF e MTTR específicos para cada elemento. Os valores para os componentes *mobile\_hw*, *mobile\_os* e *mobile\_app* são extraídos da literatura nos trabalhos de (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013) e (KIM DONG SEONG; MACHIDA; TRIVEDI, 2009). O componente *mobile\_net* utiliza valores obtidos através da SPN modelada para abranger apenas as interfaces de comunicação de dados para o *smartphone* e no componente *mobile\_battery*, os valores são alcançados através dos estudos realizados nesta pesquisa com apoio do modelo CTMC, a ser apresentado na Seção 4.3, que foca no consumo da bateria do dispositivo.

### 4.2.1 Modelo de disponibilidade das interfaces de rede

O dispositivo móvel está sujeito à conexão de dados em três distintas redes no ambiente WiFi, 3G e 2G. As interfaces do dispositivo e a conexão com as redes são representadas pelo modelo SPN, o modelo de rede de Petri foi adotado para modelagem dada a complexidade de estados que as interfaces de rede do dispositivo móvel podem assumir, outros modelos como

CTMC também podem representar o comportamento deste componente, porém com uma maior complexidade devido ao grande número de estados, desta forma as redes de Petri são escolhidas para uma representação do funcionamento deste componente. Este modelo possibilita a avaliação da disponibilidade das interfaces de rede do dispositivo e gera valores para os parâmetros do componente *mobile\_net* no modelo de confiabilidade RBD.

Para a infraestrutura das redes de dados, as quais o dispositivo móvel irá conectar-se é considerado apenas dois estados: operacional e falho. Se a rede não estiver apta para ser encontrada pelo dispositivo por qualquer motivo, seja sombreamento no sinal, falhas, abrangência da área de cobertura ou outros é considerado o estado falho para que o dispositivo móvel inicie a transição da interface de rede em busca de outra tecnologia de conexão de dados, a fim de possibilitar o recebimento de dados do paciente através da aplicação. O dispositivo móvel obedece uma hierarquia de tecnologias e primeiramente ativa a interface Wi-Fi, após a 3G e por fim a interface 2G na busca por conectividade com alguma rede. A Figura 4.2 demonstra o modelo proposto para as interfaces de rede do *smartphone*, este modelo pode ser aprimorado para complementar outras tecnologias de conexão de dados disponíveis no dispositivos móveis, como as redes 4G que não são abordadas inicialmente neste trabalho.



**Figura 4.2:** Modelo SPN para as interfaces de rede do dispositivo móvel.

No modelo proposto, quando o dispositivo móvel está sobre a condição de operacional há energia presente no componente bateria e os demais componentes do dispositivo não apresentam falhas, sendo possível utilizar as conexões de rede para execução da aplicação de IM; o lugar denominado *mb* representa este estado. Com o dispositivo móvel apto ao uso é possível ativar uma interface de conexão com a rede de dados. Inicialmente a rede *Wireless Local Area Network* (WLAN) terá a preferência de conexão, devido à suas características de melhor desempenho, menor chaveamento entre as células da rede, maior volume de transferência de dados dentre

outras. No modelo proposto, considerando que a infraestrutura da rede Wi-Fi esteja operacional, isto é, a ficha está presente no lugar  $wf\_up$ , isto possibilita que a interface Wi-Fi seja ativada pelo dispositivo móvel, neste caso há um tempo associado para que ocorra essa a ativação da interface, este parâmetro é representado por  $\lambda_{iwf}$  e obtido através de experimentos com o dispositivo móvel, para que seja possível a transição para ativação da interface Wi-Fi, representada pelo lugar  $iwf$ .

O modelo contempla as tecnologias de rede abordadas no cenário, suas interfaces são representadas por lugares. O dispositivo móvel está operando sobre a rede Wi-Fi até que ocorra algum evento na rede e esta passe para a condição de inoperante. A modelagem do serviço provido pelas redes de dados é dada pelo parte inferior no modelo. O lugar  $wf\_up$  representa a condição operacional da rede Wi-Fi, quando contém uma ficha o serviço está disponível ao usuário, entretanto o estado será alterado em caso de falhas na rede e transporta a ficha do lugar  $wf\_up$  para o lugar  $wf\_dw$  através da transição  $\lambda_{wf}$ , que possui o valor MTTF associado a esta rede, desta forma a rede Wi-Fi não estará mais disponível ao usuário; então o dispositivo móvel irá acionar a próxima interface de rede em busca de conectividade. O dispositivo móvel segue o critério de hierarquia das tecnologias de conexão de dados e irá em busca das redes 3G através da ativação da interface relativa à esta tecnologia.

A ficha presente no lugar  $iwf$  agora é disparada para habilitar a interface 3G no lugar  $i3g$ ; este disparo é coordenado pela transição  $\lambda_{i3g}$  que é responsável pela ativação da interface. Para que esta ativação seja possível a rede Wi-Fi não pode conter fichas no estado  $wf\_up$ , pois esta condição impede a ativação da transição relativa a interface 3G. A transição  $\lambda_{i3g}$  possui um parâmetro associado, este é o tempo que o dispositivo móvel demanda para a transição que representa a ativação da interface 3G.

O dispositivo móvel opera sobre a conexão de redes 3G até que esta apresente alguma indisponibilidade. Quando a rede 3G apresentar falha na oferta de serviço, sendo que a rede não está apta a operar, ou sinal, quando o usuário não está sobre uma área de cobertura desta tecnologia, a ficha presente no lugar  $3g\_up$  é transportada para o lugar  $3g\_dw$  através da transição  $\lambda_{3g}$ , que possui o MTTF associado à esta rede; neste instante, o dispositivo móvel pode retornar a operação de transferência de dados através da interface Wi-Fi, caso a rede não possua nenhuma ficha no lugar  $wf\_dw$ , porém, se esta condição não for atendida no momento de falha da rede 3G, a interface referente as tecnologias de transmissão de dados 2G será demandada pelo dispositivo através da ativação da interface 2G.

A ficha de ativação da interface de rede do dispositivo móvel presente no lugar  $i3g$  agora é movimentada para o lugar  $i2g$ . A ativação para esta mudança é coordenada pela transição  $\lambda_{i2g}$ , que possui um parâmetro associado para ativação desta interface, para que seja possível a ativação da interface 2G é necessário que a rede de dados esteja disponível, não contendo fichas no lugar  $2g\_dw$ . A interface 2G apenas será ativada caso as demais redes não estejam aptas a prover o serviço de conexão de dados. Neste cenário a rede 2G é a alternativa final em busca de conectividade para troca de mensagens na aplicação. Caso haja ocorrência de falha

na rede 2G haverá uma mudança de estado e a ficha presente no estado  $2g\_up$  é transportado para o lugar  $2g\_dw$  através da transição  $\lambda 2g$ , que possui o MTTF associado à esta rede, então o dispositivo móvel retornará ao estado inicial em busca de ativar interfaces de rede adequadas às redes disponíveis no ambiente ao qual o dispositivo está presente.

A transição entre a ativação das interfaces de rede no dispositivo móvel é representada pelos lugares  $iwf$ ,  $i3g$  e  $i2g$  e as suas transições associadas,  $\lambda iwf$ ,  $\lambda i3g$  e  $\lambda i2g$ . As redes de dados são representadas no modelo para que permitam a ativação das interfaces, pois o dispositivo móvel não conecta-se à rede caso esta não apresente um estado disponível, a interface é ativada porém não há conectividade.

A disponibilidade das tecnologias de redes de dados é representada pelos componentes na base inferior do modelo. A rede Wi-Fi é representada pelos lugares  $wf\_up$  e  $wf\_dw$ ; o lugar  $wf\_dw$  considera falhas que podem ocorrer na rede e impactam em sua disponibilidade. As transições  $\lambda wf$  e  $\mu wf$ , utilizam taxas de MTTF e MTTR para redes, com objetivo de representar o comportamento das redes de tecnologia Wi-Fi. O mesmo é adotado para a rede 3G representada pelos lugares  $3g\_up$  e  $3g\_dw$  e as transições  $\lambda 3g$  e  $\mu 3g$ , assim como a rede 2G com seus respectivos lugares  $2g\_up$  e  $2g\_dw$  e transições  $\lambda 2g$  e  $\mu 2g$ . Os valores referentes às transições das redes são herdados da literatura, sobre estudos já realizados com enfoque nestas.

A conectividade de dados para troca de mensagens da aplicação irá depender de que os componentes tenham situação operacional. A fórmula da disponibilidade das interfaces de rede do dispositivo móvel, sob o ponto de vista do utilizador é descrita na Equação 4.2, pois para que exista uma conexão com a rede de dados é necessário que alguma das interfaces de rede do dispositivo móvel esteja operacional, desta forma possibilita a execução da aplicação de atenção à saúde e o recebimento dos dados do paciente, isto é a presença de alguma ficha em algum lugar que represente as interfaces de rede,  $iwf$ ,  $i3g$  ou  $i2g$ .

$$A = P \{ (\#iwf > 0) OR (\#i3g > 0) OR (\#i2g > 0) \} \quad (4.2)$$

Através da SPN proposta é possível avaliar a disponibilidade de conectividade das interfaces de redes de dados do dispositivo móvel, desta forma complementa o estudo de disponibilidade do *smartphone*, um componente de nível crítico que integra o ambiente de MCC. Através da adoção deste modelo para obter a disponibilidade das interfaces de rede é possível obter valores de MTTF e MTTR totais para o componente *mobile\_net* do dispositivo móvel adotando a Equação 2.2. A disponibilidade das interfaces de rede será explorada nos estudos de caso utilizado no modelo de energia CTMC, proporcionando um cenário de estudo a ser abordado na Seção 5.1.4.

#### 4.2.2 Validação do modelo SPN

A SPN proposta para avaliação de disponibilidade das interfaces de rede do dispositivo móvel é validada para análise do comportamento do modelo, este visa avaliar a disponibilidade

do dispositivo móvel em ter ao menos uma conexão de dados ativa para execução efetiva da aplicação e recebimento das mensagens. Os tempos associados às transições para mudança dos lugares no modelo SPN,  $\lambda_{iwf}$ ,  $\lambda_{i3g}$  e  $\lambda_{i2g}$  são obtidos através da realização de experimentos com o dispositivo móvel no ambiente e utiliza a transição entre as três redes de dados do cenário. As infraestruturas referentes as redes de dados são representadas no modelo através dos lugares na parte inferior da Figura 4.2. A definição de valores para os parâmetros de ativação e desativação das redes são herdados da literatura, em estudos específicos sobre o tema nos trabalhos de (MATOS RUBENS; ARAUJO; TRIVEDI, 2014), (HARRISON RACHEL; FLOOD; DUCE, 2013), (COOPER; FARRELL, 2007), (SNOW ANDREW P.; CHEN; WECKMAN, 2011) e (SNOW ANDREW P.; VASHNEY; MALLOY, 2002).

O propósito do modelo é a representação das variações de conectividade de dados, a qual o dispositivo móvel está sujeito. Na arquitetura do cenário, exemplificado anteriormente na Figura 3.3, o usuário do dispositivo móvel está em constante movimento por áreas de cobertura ou não do sinal da rede de dados; mesmo dentro de uma área de cobertura podem ocorrer falhas nas redes de dados, o que afeta o serviço de conexão provido por estas. A variedade de redes de dados disponíveis visa proporcionar ao usuário diversos meios de comunicação de dados que permita a execução da aplicação para o recebimento das informações sobre os pacientes.

Na validação da SPN proposta, o cenário contempla um ambiente de rede local onde a rede WLAN está disponível. Neste cenário também há oferta de outras tecnologias de redes de dados móveis para proporcionar a conexão do dispositivo móvel com objetivo de execução constante da aplicação quando o usuário não possui os recursos da rede local devido a alguma falha. No modelo, a interface de rede do dispositivo móvel é ativada em busca da rede de dados e segue uma sequência de prioridade considerando primeiramente a conexão à uma rede de dados local, seguida por redes móveis de tecnologias mais atuais, de forma hierárquica.

Taxas distintas são associadas as transições no modelo. Para as taxas de transição entre as interfaces de rede foi realizado experimentação no ambiente real com o dispositivo móvel. O dispositivo móvel está apto para funcionamento, provido de todos os recursos de *hardware*, sistema operacional, aplicativo e bateria, esta condição é representada pelo lugar inicial, o estado *mb*, no modelo apresentado anteriormente na Figura 4.2. No experimento o dispositivo é iniciado para que ocorra a ativação da interface Wi-Fi, este tempo é associado ao parâmetro  $\lambda_{iwf}$ . A rede Wi-Fi sofre uma interrupção no experimento controlado, o ponto de acesso é desligado para que ocorra a transição para busca de redes móveis e seguindo a condição hierárquica em busca de tecnologias móveis de geração mais atual suportada pelo *smartphone*, a interface 3G é ativada pela transição  $\lambda_{i3g}$ , este tempo é mensurado e associado ao parâmetro; no momento em que não há cobertura da rede 3G, o dispositivo móvel irá operar a interface de rede sobre as tecnologias de rede 2G.

Para produzir a falha nas redes 3G, o dispositivo móvel teve seu parâmetro de configuração ajustado para operar apenas sobre tecnologias de redes de dados móveis 2G, então foi efetuado uma interrupção da oferta de serviço da rede Wi-Fi no ambiente controlado e observado

o tempo para que o dispositivo móvel ative a interface de rede 2G, este tempo é associado ao parâmetro  $\lambda_{i2g}$ . O dispositivo móvel possui um algoritmo em seu sistema operacional que define a preferência de conexão em redes de dados, este algoritmo estabelece que a rede Wi-Fi, devido a suas características é a rede preferencial quando há presença de sinal. Transições imediatas são adotadas para compor a transição entre a conexão com a rede de dados móveis e a rede local. O dispositivo móvel está conectado às redes 2G ou 3G no ambiente controlado. O ponto de acesso da rede Wi-Fi é ativado possibilitando a oferta de serviço da rede, então ocorre o retorno da ficha do lugar  $i3g$  ou  $i2g$  para a interface de rede local  $iwf$ , obedecendo o algoritmo do dispositivo móvel.

Estes experimentos foram repetidos em 10 ciclos para obtenção das amostras de tempo de ativação das interfaces de rede do dispositivo móvel, pois com números inferiores à 10 ciclos foi observado variação na média de amostras. Para cada interface de tecnologia de rede distinta existe um tempo associado para ativação da interface. O tempo de transição observado é convertido em taxa para ser utilizado como parâmetro do modelo. A Tabela 4.1 exemplifica as taxas utilizadas nas transições referentes à interface de rede do dispositivo móvel, as taxas são expressas em unidades de horas. Tais valores de tempo médio em segundos são obtidos através dos experimentos realizados onde é observado o tempo em segundos para ativação e conexão da interface, após estes valores são convertidos em taxas para atribuir aos parâmetros do modelo.

**Tabela 4.1:** Taxa média dos experimentos de transição de interfaces

Condição	Parâmetro	Tempo médio (seg)	Taxa ( $\lambda$ ) (horas)
Ativação interface Wi-Fi	$\lambda_{iwf}$	10,229	351,926799225
Ativação interface 3G	$\lambda_{i3g}$	5,530	650,971031789
Ativação interface 2G	$\lambda_{i2g}$	5,895	610,718102702

O modelo SPN proposto contempla a oferta de serviço da infraestrutura da rede de dados. A condição de operação das infraestruturas de redes impactam na ativação para conexão das transições da interface de rede do dispositivo móvel e alteram a probabilidade do dispositivo estar conectado a uma ou outra rede. Os valores atribuídos aos parâmetros de falha e reparo das infraestruturas de rede de dados são extraídos da literatura a partir de pesquisas de maior enfoque sobre as redes. O tempo médio de falha e de reparo são utilizados como valores para adoção das taxas do modelo, para as redes de dados Wi-Fi e 3G os tempos médios de falha são obtidos a partir dos estudos de (MATOS RUBENS; ARAUJO; TRIVEDI, 2014), (HARRISON RACHEL; FLOOD; DUCE, 2013) e (COOPER; FARRELL, 2007), e para as redes 2G nas pesquisas realizadas por (SNOW ANDREW P.; CHEN; WECKMAN, 2011) e (SNOW ANDREW P.; VASHNEY; MALLOY, 2002). A Tabela 4.2 apresenta os valores de MTTF e MTTR utilizados para a validação do modelo SPN, que objetiva a determinação de valores de disponibilidade das interfaces de rede de dados do dispositivo móvel.

Para validar o modelo, os valores MTTR e MTTF são convertidos em taxas para serem associados aos parâmetros de transição das infraestruturas das redes. Com base nas 10 amostras

**Tabela 4.2:** Valores MTTF e MTTR das infraestruturas das redes de dados

Tecnologia de rede	MTTF(horas)	MTTR(horas)
Wi-Fi	10.000	12
3G	83.330	12
2G	65.700	12

de experimentos realizados sobre cada uma das três interfaces de rede do *smartphone* é aplicado o método *bootstrap* para encontrar o intervalo de confiança de cada parâmetro considerando um índice de 95% com erro máximo de 5%. O método permite estabelecer limites de valores estatísticos que serão associados aos parâmetros do modelo. A Tabela 4.3 apresenta os limites encontrados para cada transição de interface do dispositivo.

**Tabela 4.3:** Intervalo de confiança para os tempos dos parâmetros na SPN

Parâmetro	Limite inferior (seg)	Limite superior (seg)
$\lambda_{ifw}$	9,720	10,750
$\lambda_{i3g}$	5,305	5,800
$\lambda_{i2g}$	5,645	6,06

Com base no intervalo de confiança, valores aleatórios são gerados para alimentar a rede e realizar a validação do modelo. A validação do modelo é efetuada através de simulação estocástica e considera a precisão desejada para obter os valores de métricas, a simulação imita o funcionamento do sistema real ao longo do tempo (BANKS, 1999). A validação do modelo utiliza valores aleatórios a partir do intervalo de confiança dos parâmetros e simula a SPN. Na avaliação da análise estacionária para parâmetro com valores aleatórios é alcançado a disponibilidade de alguma interface de rede estar ativa e utiliza a Equação 4.2. O resultado é uma disponibilidade de 76,77412%. A simulação estacionária é executada e considerando Intervalo de Confiança (IC) de 95% com erro máximo 5%; a disponibilidade da simulação gera um IC com valores entre 76,50833% e 77,82023%. A simulação da rede através do uso de valores aleatórios para os tempos de ativação da interface de rede fornece a disponibilidade de alguma interface de rede estar ativa no dispositivo móvel. A mesma avaliação é efetuada com valores reais do ambiente assumindo os valores apresentados anteriormente na Tabela 4.1; a disponibilidade obtida através da análise estacionária é de 77,03375%. Considerando o IC resultante através da simulação do modelo, a disponibilidade do experimento real compreende o domínio de não rejeição da hipótese nula, desta forma não há evidências estatísticas que comprovem o comportamento distinto do modelo com o ambiente real. Os intervalos e resultados são representados na Tabela 4.4.

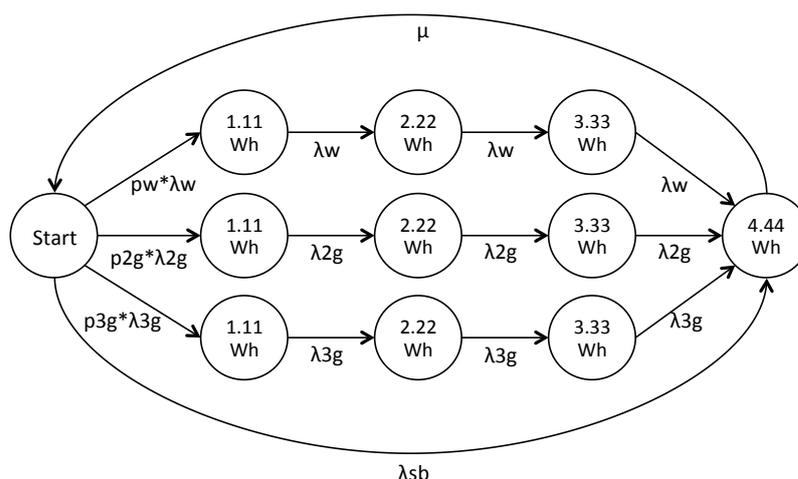
**Tabela 4.4:** Resultados do modelo SPN

Técnica	Disponibilidade
Simulação	95% IC (76,50833%, 77,82023%)
Real	77,03375%

### 4.3 Modelo de disponibilidade do consumo energético

A CTMC foi adotada como o modelo hierárquico para representar a descarga de energia do dispositivo móvel, como utilizado em trabalhos anteriores como (MATOS RUBENS; ARAUJO; TRIVEDI, 2014). A bateria irá descarregar e mudar seu estado de carga atual independente de seu estado anterior e dependendo apenas do parâmetro associado para que ocorra a mudança de estado. Para modelos de descarga de energia, o modelo CTMC é adotado devido a sua característica de processo probabilístico e composto por um conjunto de estados finitos, que possibilita a transição de estados apenas com base na situação atual do estado sem considerar seu histórico, como de fato é o comportamento das baterias.

A CTMC apresenta os estados de descarga da bateria baseado no potencial total de armazenamento de energia da bateria e é dividido em quatro estados. A Figura 4.3 representa o modelo que auxilia a estimar a disponibilidade de cada protocolo utilizado nos estudos e seus possíveis estados de consumo de energia de acordo com a probabilidade de conexão com a rede de dados, este modelo pode ser adaptado conforme a necessidade, adicionando novos estados para baterias de maior autonomia ou utilizando percentuais de consumo ampliando ou reduzindo as fases de descarga, além de considerar outras interfaces de conexão de dados disponíveis para os *smartphones*.

**Figura 4.3:** Modelo CTMC para descarga de bateria.

A condição de descarga da bateria ocorre quando o dispositivo móvel é ligado. No modo de espera, o dispositivo móvel consome pouca energia, o parâmetro  $\lambda_{sb}$  é associado ao valor em tempo que a energia de 0.01Wh (SAMSUNG, 2013) é dispendida, referente à condição de modo

de espera e este valor será dispendido até o consumo total da energia armazenada no dispositivo. No cenário proposto, três parâmetros possíveis são considerados para a comunicação de dados no ambiente: redes de tecnologias Wi-Fi, 2G e 3G.

O primeiro estado do modelo, *start*, considera a condição de quando o dispositivo móvel é ligado e neste instante inicia o processo de descarga de bateria. Neste estado, a bateria está completamente carregada, provida do máximo de autonomia energética possível e o dispositivo apto para a executar a aplicação móvel com objetivo de recebimento das mensagens instantâneas pelas equipes de atenção à saúde. Os usuários de *smartphones* usualmente estão em constante movimento e podem estar conectados a diferentes tecnologias de redes de dados disponíveis, esta condição é considerada no modelo através dos parâmetros  $p_w$ ,  $p_{3g}$  e  $p_{2g}$ , que referem-se a probabilidade de estar conectado à cada uma das redes disponíveis no modelo. Quando o aplicativo móvel é iniciado, o processo de recebimento de mensagens desencadeia a descarga de bateria sobre condições distintas da operação de modo em espera do dispositivo móvel ( $\lambda_{sb}$ ). No modelo proposto são utilizados três diferentes parâmetros para representar cada tecnologia de conexão de dados, pois cada um possui comportamento distinto no consumo energético no *smartphone*. O parâmetro de descarga  $\lambda_w$  representa os valores de tempo atribuídos ao *smartphone* quando este está operando sobre redes locais sem fio, Wi-Fi; no parâmetro  $\lambda_{2g}$ , o dispositivo opera sobre tecnologias de rede de dados móveis 2G, como redes *Enhanced Data for Global Evolution* (EDGE), *General Packet Radio Service* (GPRS) e GSM; e o parâmetro  $\lambda_{3g}$ , o dispositivo utiliza outras redes de dados móveis sobre tecnologias 3G, como HSPA. Neste primeiro estágio a transição de fase considera a probabilidade de escolha da rede de dados entre as opções disponíveis para o *smartphone* no ambiente, porém com probabilidade distinta entre as redes é contemplado que o usuário esteja em trânsito dentre as diferentes redes durante a execução da aplicação, devido a este aspecto as taxas de descarga são distintas para cada tecnologia de rede de dados.

A concepção do modelo considera a capacidade total da bateria que é representada pelo último estágio, 4.44Wh. Quando a avaliação do modelo atinge o estágio final considera-se que a bateria foi totalmente descarregada e para retornar a condição inicial é necessário que ocorra a recarga da bateria; este evento é representado pela interligação do último ao primeiro estado, através do parâmetro  $\mu$ . Durante a execução da aplicação móvel de IM, a descarga de bateria ocorre e decorrido algum tempo a energia atingirá o valor de 1.11Wh, isto é equivalente a 25% da capacidade da bateria. Após mais algum tempo, este consumo é ampliado e atinge a marca de 50% dos recursos com consumo de 2.22Wh, até o momento em 75% do consumo e atinja a 3.33Wh e quando finalmente descarregado atinge 4.44Wh, a capacidade total de energia armazenada na bateria do dispositivo. Neste modelo a descarga de bateria foi representada em quatro estados; também é possível adaptar o modelo para ampliar a quantidade de estados em baterias de maior capacidade ou adotar estados de percentual e não valor de energia como é proposto. O último estado do modelo, com valor de 4.44Wh representa toda a capacidade de energia que a bateria possui no dispositivo utilizado nos experimentos.

O cálculo de disponibilidade no modelo CTMC proposto é determinado pela Equação 4.3. A disponibilidade da bateria do dispositivo móvel é obtida de acordo com os parâmetros de tempo associados ao modelo, sendo possível determinar a disponibilidade do cenário avaliado e compará-lo a outros cenários. A disponibilidade permite conhecer os tempos médios de falha e reparo do ambiente analisado, proporcionando parâmetros para o componente *mobile\_battery* do modelo de confiabilidade RBD do dispositivo móvel apresentado na Figura 4.3. A disponibilidade da bateria refere-se à probabilidade do recurso estar apto à prover o serviço, isto é o percentual de tempo que o dispositivo móvel opera de forma satisfatória.

$$1 - \frac{\lambda_2 g \lambda_3 g (p_2 g \lambda_2 g + p_3 g \lambda_3 g + p w \lambda w + \lambda s b) \lambda w}{\lambda_2 g \lambda_3 g (p_2 g \lambda_2 g + p_3 g \lambda_3 g + p w \lambda w + \lambda s b) \lambda w + (3 p w \lambda w \lambda_2 g \lambda_3 g + (3 p_3 g \lambda_3 g \lambda_2 g + (3 p_2 g \lambda_2 g + \lambda_2 g) \lambda_3 g) \lambda w) \mu} \quad (4.3)$$

Para elaborar a equação da disponibilidade é necessário considerar a matriz de transição de estados  $Q$  do modelo, onde a probabilidade estacionária de cada estado corresponde a solução da Equação 2.6 e a soma da probabilidade de todos os estados é igual 1. Com os parâmetros associados ao modelo é possível obter a matriz de transição de estados exposta pela Equação matricial 4.4.

$$\begin{pmatrix} -p_2 g \lambda_2 g - p_3 g \lambda_3 g - p w \lambda w - \lambda s b & p w \lambda w & p_2 g \lambda_2 g & p_3 g \lambda_3 g & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda s b \\ 0 & -\lambda w & 0 & 0 & \lambda w & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda_2 g & 0 & 0 & \lambda_2 g & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda_3 g & 0 & 0 & \lambda_3 g & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda w & 0 & 0 & \lambda w & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_2 g & 0 & 0 & \lambda_2 g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_3 g & 0 & 0 & \lambda_3 g & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda w & 0 & 0 & 0 & \lambda w \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_2 g & 0 & 0 & \lambda_2 g \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_3 g & 0 & \lambda_3 g \\ \mu & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

A CTMC proposta apoia na determinação do MTTF do componente bateria do dispositivo móvel. Os protocolos da aplicação IM são avaliados e através deste modelo sendo possível estabelecer os valores de disponibilidade e assim obtendo um comparativo entre os protocolos. O modelo pode ser utilizado para avaliação de outros cenários considerando outros parâmetros, como por exemplo o desempenho energético do sistema com diferentes tamanhos de pacote para as mensagens. Este modelo é utilizado para avaliar a disponibilidade da bateria em distintos cenários a serem explorados nos estudos de caso.

### 4.3.1 Validação do modelo CTMC

O modelo CTMC proposto para avaliação de disponibilidade do consumo de energia é validado para análise do comportamento do modelo. Os valores de tempo associados às

transições de estados das cadeias de Markov são coletados através de amostras dos experimentos realizados no ambiente real utilizando apenas um protocolo e as três possíveis redes de dados.

Para avaliação do modelo é necessário atribuir valores aos parâmetros. No experimento é observado a energia dispendida pelo dispositivo móvel e este valor é projetado para estimar o tempo de descarga da bateria. Os tempos de descarga para cada rede são a base de valores para os parâmetros, tais valores são convertidos em taxas para serem atribuídos aos parâmetros do modelo. O parâmetro  $\lambda_w$  considera valores de operação sob redes Wi-Fi,  $\lambda_{3g}$  para redes 3G e  $\lambda_{2g}$  para redes 2G, pois mesmo sem conexão com alguma rede de dados ou execução de aplicações, o dispositivo móvel apresenta descarga de energia estando sob a condição de *standby* e terá um valor associado ao parâmetro  $\lambda_{sb}$  que representa esta condição. Com a descarga total da bateria do dispositivo é efetuada a recarga de bateria, essencial para que o dispositivo possa operar novamente, este valor é associado ao parâmetro  $\mu$ , que representa o tempo para que ocorra a recarga completa da bateria.

Os experimentos realizados para obtenção de valores contemplam a execução da aplicação utilizando os parâmetros iniciais citados na Tabela 3.1 na Seção 3.3, porém apenas sobre o protocolo *WebSockets*. A aplicação é executada no ambiente, primeiramente utilizando a comunicação de dados com a rede Wi-Fi e após com as demais redes. O experimento inicial proporciona uma variedade de três cenários, em cada cenário é realizado um experimento no intervalo de 1 hora, para obtenção do valor total do consumo energético utilizando a estratégia de medição de consumo de energia utilizando a Equação 3.3 para então totalizar este consumo no intervalo de tempo. Através dos experimentos são obtidas 10 amostras proporcionando os valores de tempos associados à descarga da bateria com utilização das redes de dados. O tempo de descarga da bateria na condição de *standby* é herdado da literatura ([SAMSUNG, 2013](#)). O tempo associado para recarga da bateria também é extraído através de experimentos com o mesmo volume de amostras, onde o valor mensurado é utilizado no parâmetro  $\mu$ .

Com a realização dos experimentos sobre os 3 cenários e combinando as distintas possibilidades de conexões de redes de dados com apenas uma estratégia de sincronismo com o servidor é possível obter amostras do consumo de energia em cada um dos cenários. A Tabela 4.5 apresenta a média dos valores resultantes dos 10 experimentos realizados sobre cada um dos 3 cenários em unidades de Wh. Estes valores são projetados com base na bateria, a média de consumo em Wh estima o tempo que será dispendido para atingir o estado de descarga, 4.44Wh, este tempo é convertido para taxas de consumo de energia em quatro estados e estas são utilizadas como parâmetros para validação de descarga de bateria no modelo CTMC.

Com a utilização do modelo CTMC proposto, o protocolo *WebSocket* é avaliado para mensurar o desempenho desta estratégia de sincronismo, sobre as três distintas possibilidades de redes de conexão de dados. O modelo CTMC apresentado na Figura 4.3 utiliza a taxa de probabilidade 100% para redes Wi-Fi e probabilidade 0% para as redes 3G e 2G. A avaliação do modelo resulta a probabilidade  $P$  de se chegar ao estado de descarga, 4.44Wh, então considera-se a Equação 4.5 para obter o valor da disponibilidade deste modelo.

**Tabela 4.5:** Médias obtidas nos experimentos iniciais

Cenário	Conexão	Média de consumo (Wh)	Taxa ( $\lambda$ ) (horas)
WebSocket	Wi-Fi	0,78378222	0,04412500
WebSocket	3G	1,04279889	0,05871088
WebSocket	2G	0,83345444	0,04691664
Recarga	-	2h53min	0,346820810
Modo em espera	-	0,01000000	0,002252252

$$A = 1 - P_{(4,44Wh)} \quad (4.5)$$

O valor resultante da avaliação através da ferramenta Mercury é o mesmo obtido pela execução da equação fechada referente ao modelo, citado anteriormente na Equação 4.3. O resultado da disponibilidade neste experimento é de 96,76512%. A partir das amostras extraídas com o experimento não é possível determinar o tipo de distribuição devido ao tamanho limitado de amostras; então o método *bootstrap* (EFRON; TIBSHIRANI, 1994) é aplicado para determinar o IC para as amostras. A validação do modelo é dada pela utilização de valores aleatórios para os parâmetros que compreendam o IC resultante, estes novos valores são atribuídos ao modelo e avaliado a disponibilidade. Para cada parâmetro do modelo é estimado um intervalo de estimativas prováveis dos tempos e determinado pelo coeficiente de confiança. Os intervalos são apresentados na Tabela 4.6 e com base nestes, valores aleatórios são gerados para avaliar a rede e avaliar a disponibilidade do modelo.

**Tabela 4.6:** Intervalo de confiança para os tempos dos parâmetros da CTMC

Parâmetro	Limite inferior (horas)	Limite superior (horas)
$\lambda_w$	5,639	5,747
$\lambda_{3g}$	4,241	4,308
$\lambda_{2g}$	5,290	5,404
$\mu$	2,858	2,903

Um script, detalhado no Apêndice C foi gerado para cálculo da disponibilidade sobre a Equação 4.3, a fim de determinar a disponibilidade com cada um dos números aleatórios produzidos a partir dos intervalos de confiança para os parâmetros. As variáveis de probabilidade não sofrem alteração, apenas as taxas simulam novos valores associados, exceto  $\lambda_{sb}$  obtido da literatura em (SAMSUNG, 2013) que é um valor fixo. As disponibilidades obtidas com os valores aleatórios são apresentadas na Tabela 4.7. As 500 avaliações do modelo com valores aleatórios compreendem valores de disponibilidade entre 96,75111% e 96,80719% e na avaliação com valores reais do experimento a disponibilidade resultante é de 96,76512%; este valor compreende o intervalo de confiança da simulação de valores do modelo, não apresentando diferenças estatísticas, desta forma não é possível rejeitar a hipótese nula, pois não há evidências estatísticas que comprovem o comportamento distinto do modelo com o ambiente real.

**Tabela 4.7:** Resultados do modelo CTMC

Técnica	Disponibilidade
Simulação	95% IC (96,75111%, 96,80719%)
Real	96,76512%

## 4.4 Definição de parâmetros para os experimentos

Para obter resultados em forma de números concretos que auxiliam a determinar valores de disponibilidade e confiabilidade do ambiente, os modelos são validados com taxas extraídas do ambiente real através da execução de experimentos. Para determinar os valores precisos a serem utilizados nos parâmetros dos modelos é necessário delimitar parâmetros iniciais para os experimentos, que serão realizados nos estudos de caso. Primeiramente é definido o tempo adequado para execução do experimento, seguido pelo protocolo para auxiliar na definição do tamanho do pacote. A definição destes parâmetros servirá de base para experimentos nos estudos de caso.

### 4.4.1 Definição do tempo para o experimento

O primeiro passo é a definição do tempo de execução da aplicação no ambiente, para obtenção de amostras confiáveis. A estratégia adotada para coleta do consumo energético, citada na Seção 3.3.2, gera um volume de 2 amostras à cada um segundo de tempo do experimento aprimorando a estratégia adotada de (TRESTIAN RAMONA; MOLDOVAN; MUNTEAM, 2012). Primeiramente foi definido o intervalo de tempo para execução dos experimentos, a fim de selecionar o cenário de tempo que ofereça uma confiabilidade mínima de 95%. Considerando um cenário com os parâmetros de 4 possíveis protocolos (*Short polling*, *Comet (long-polling)*, *WebSocket* e *XMPP*), uma única conexão de dados (*Wi-Fi*), um único tamanho de pacote (*100K*) e tempos variáveis (*5 min*, *10 min*, *15 min*, *30 min*, *1h*, *2h*, *3h*, *4h*, *5h*), foi possível a elaboração de 36 cenários. A Tabela 4.8 demonstra os cenários utilizados para obtenção dos comparativos de tempo, posteriormente é avaliado o tamanho do pacote para realização dos experimentos.

A realização dos experimentos nos 36 cenários possibilitou a aquisição dos valores de consumo de energia demonstrado na Tabela 4.9. O volume de amostras resultantes no experimento foi integrado utilizado a Equação 3.3, para possibilitar a previsão do consumo de energia em unidades de Wh. Cada experimento é repetido 10 vezes para calcular a média do consumo de energia coletado.

Os tempos são comparados para obter a confiabilidade desejada e determinar o tempo ideal de execução dos experimentos. No cenário 18, que considera o protocolo *Comet (long-polling)* executando por 5 horas, o consumo de energia foi de 5,27 Wh, o qual ultrapassa o valor possível de disponibilidade da bateria, que é de 4,44Wh. Neste caso, o tempo de 5 horas será descartado para todos os protocolos.

**Tabela 4.8:** Parâmetros para composição de cenários de tempo

Cenário	Protocolo	Conexão	Tamanho	Tempo	Volume de amostras
1	Short polling	Wi-Fi	100K	5 minutos	600
2	Short polling	Wi-Fi	100K	10 minutos	1.200
3	Short polling	Wi-Fi	100K	15 minutos	1.800
4	Short polling	Wi-Fi	100K	30 minutos	3.600
5	Short polling	Wi-Fi	100K	1 hora	7.200
6	Short polling	Wi-Fi	100K	2 horas	14.400
7	Short polling	Wi-Fi	100K	3 horas	21.600
8	Short polling	Wi-Fi	100K	4 horas	28.800
9	Short polling	Wi-Fi	100K	5 horas	36.000
10	Comet (long-polling)	Wi-Fi	100K	5 minutos	600
11	Comet (long-polling)	Wi-Fi	100K	10 minutos	1.200
12	Comet (long-polling)	Wi-Fi	100K	15 minutos	1.800
13	Comet (long-polling)	Wi-Fi	100K	30 minutos	3.600
14	Comet (long-polling)	Wi-Fi	100K	1 hora	7.200
15	Comet (long-polling)	Wi-Fi	100K	2 horas	14.400
16	Comet (long-polling)	Wi-Fi	100K	3 horas	21.600
17	Comet (long-polling)	Wi-Fi	100K	4 horas	28.800
18	Comet (long-polling)	Wi-Fi	100K	5 horas	36.000
19	WebSocket	Wi-Fi	100K	5 minutos	600
20	WebSocket	Wi-Fi	100K	10 minutos	1.200
21	WebSocket	Wi-Fi	100K	15 minutos	1.800
22	WebSocket	Wi-Fi	100K	30 minutos	3.600
23	WebSocket	Wi-Fi	100K	1 hora	7.200
24	WebSocket	Wi-Fi	100K	2 horas	14.400
25	WebSocket	Wi-Fi	100K	3 horas	21.600
26	WebSocket	Wi-Fi	100K	4 horas	28.800
27	WebSocket	Wi-Fi	100K	5 horas	36.000
28	XMPP	Wi-Fi	100K	5 minutos	600
29	XMPP	Wi-Fi	100K	10 minutos	1.200
30	XMPP	Wi-Fi	100K	15 minutos	1.800
31	XMPP	Wi-Fi	100K	30 minutos	3.600
32	XMPP	Wi-Fi	100K	1 hora	7.200
33	XMPP	Wi-Fi	100K	2 horas	14.400
34	XMPP	Wi-Fi	100K	3 horas	21.600
35	XMPP	Wi-Fi	100K	4 horas	28.800
36	XMPP	Wi-Fi	100K	5 horas	36.000

**Tabela 4.9:** Resultados dos experimentos nos cenários de tempo

Tempo	Short polling (Wh)	Comet (long-polling) (Wh)	WebSocket (Wh)	XMPP (Wh)
5 minutos	0,052572222	0,08526667	0,050016667	0,047705556
10 minutos	0,122572222	0,17077778	0,101105556	0,094061111
15 minutos	0,195038889	0,26125000	0,166761111	0,158705556
30 minutos	0,409827778	0,52560556	0,364105556	0,356661111
1 hora	0,837388889	1,06192778	0,755738889	0,737983333
2 horas	1,696988889	2,12193333	1,545483333	1,501588889
3 horas	2,548305556	3,17846667	2,330011111	2,260755556
4 horas	3,411022222	4,21390556	3,118833333	3,015644444
5 horas	4,264627778	5,26529444	3,908738889	3,779566667

Para cada cenário foi calculada uma projeção com base na quantidade de vezes que o valor deve ser considerado para totalizar o volume de horas. Para totalizar 4 horas deve ser projetado 48 vezes o valor obtido em 5 minutos, 24 vezes o valor para 10 minutos, 16 vezes para 15 minutos, 18 vezes para 30 minutos, 4 vezes para 1 hora, 2 vezes para 2 horas e 1,33 vezes para 3 horas. A partir da projeção é calculada a diferença do valor projetado pelo valor real obtido no experimento e definido o percentual de diferença. A Tabela 4.10 apresenta essas diferenças.

Considerando o consumo de energia em 4 horas, a projeção de amostras de 5 minutos impacta em uma diferença significativa de 26% no resultado, de 10 minutos em 13%, de 15 minutos em 8,5%, 30 minutos em 3,9%, 1 hora em 1,8%, 2 horas em 0,5% e 3 horas em 0,4% para o protocolo *Short polling*. Os demais protocolos são demonstrados na Tabela 4.10.

**Tabela 4.10:** Tabela de projeção de tempo para 4 horas

Tempo	Short polling	Comet (long-polling)	WebSocket	XMPP
5 minutos	26,0%	2,9%	23,0%	24,1%
10 minutos	13,8%	2,7%	22,2%	25,1%
15 minutos	8,5%	0,8%	14,4%	15,8%
30 minutos	3,9%	0,2%	6,6%	5,4%
1 hora	1,8%	0,8%	3,1%	2,1%
2 horas	0,5%	0,7%	0,9%	0,4%
3 horas	0,4%	0,6%	0,4%	0,0%

Este mecanismo foi realizado nas variedades de tempo que compreendem 4 horas à 5 minutos. Nos intervalos de tempo de 15, 10 e 5 minutos não há percentuais de diferença inferiores à 5%. Nos experimentos realizados com estes tempos não é possível atender ao requisito de confiabilidade desejado de 95%, sendo assim estes tempos serão descartados do processo de definição de tempo confiável.

De 4 horas à 30 minutos foi considerado o intervalo de tempo que atenda o intervalo de confiabilidade em todos os protocolos. O intervalo de 1 hora atendeu a este requisito. As tabelas comparativas de diferença de tempo para todos os cenários estão disponível no apêndice A.

Após a definição do tempo confiável para execução dos experimentos, a etapa seguinte é a avaliação comparativa dos protocolos, para auxiliar o processo de validação do modelo.

#### 4.4.2 Avaliação inicial dos protocolos

Para compreensão do consumo energético dos protocolos foram realizados experimentos do consumo de energia do dispositivo móvel, quando executando a aplicação de IM com diferentes protocolos.

Na primeira fase da avaliação, o cenário utilizado abrange a utilização de uma única conexão de dados WLAN e os quatro protocolos alvos do estudo. O tempo de execução do experimento foi definido na Seção 4.4.1. O tempo de 1 hora proporciona um volume de 7.200 amostras de consumo instantâneo de energia, conforme a metodologia apresentada na Seção 3.3.2 e com base nestas amostras, o consumo energético do experimento é calculado aplicando a Equação 3.3 para totalizar o consumo de energia no período.

Os parâmetros de carga de trabalho adotado para este experimento foram previamente descritos na Tabela 3.2, porém nesta primeira avaliação, apenas o modo de transferência de dados Wi-Fi é avaliado, por ser uma rede controlável durante o experimento, não é influenciada por fatores externos como as redes de dados móveis. A Tabela 4.11 demonstra os quatro cenários utilizados para obtenção dos comparativos dos protocolos.

**Tabela 4.11:** Parâmetros para composição de cenários de protocolos

Cenário	Protocolo de sincronização	Conexão de dados
1	Short polling	Wi-Fi
2	Comet (long-polling)	Wi-Fi
3	WebSocket	Wi-Fi
4	XMPP	Wi-Fi

Os experimentos, em cada cenário foram realizados com intervalo de 1 hora, para maior precisão dos valores obtidos de consumo energético, dez experimentações sobre cada um dos cenários foram realizadas, a fim de obter as diferenças no consumo de energia entre os mesmos cenários. Os valores de consumo de energia em Wh resultantes dos experimentos são apresentados na Tabela 4.12.

Com base nos 10 experimentos, realizados em cada cenário é calculada a média do consumo de energia e as horas de autonomia considerando o recurso energético total da bateria de 4.44Wh, e então obtendo a taxa de descarga a ser utilizada na CTMC do estágio inicial ao final.

Para prover taxas corretas ao modelo CTMC proposto, a taxa de descarga deve ser particionada em conformidade com o número de transições existentes, que compreende o estado de início da descarga energética até o estado final. A descarga de energia da bateria não é linear, isto significa que os tempos para atingir ao distintos estados são diferentes, porém, este trabalho

**Tabela 4.12:** Resultados obtidos nos experimentos dos protocolos sobre rede Wi-Fi

Experimento	Short polling (Wh)	Comet (long-polling) (Wh)	WebSocket (Wh)	XMPP (Wh)
1	0,837388889	1,061927778	0,755738889	0,737983333
2	0,859738889	1,060161111	0,789855556	0,763716667
3	0,851483333	1,056855556	0,784694444	0,759461111
4	0,862988889	1,035594444	0,788750000	0,754883333
5	0,853588889	1,050988889	0,789950000	0,763977778
6	0,858166667	1,043644444	0,782772222	0,759972222
7	0,858111111	1,057244444	0,787250000	0,762772222
8	0,860794444	1,047144444	0,783605556	0,751788889
9	0,856950000	1,034822222	0,788183333	0,758794444
10	0,855016667	1,044316667	0,787022222	0,762544444

não contempla a não linearidade de descarga de energia, como citado na Seção 3.3.2. As taxas utilizadas para os parâmetros do modelo CTMC são apresentadas na Tabela 4.13.

**Tabela 4.13:** Médias de consumo energético dos experimentos

Protocolo de sincronização	Média de consumo (Wh)	Taxa ( $x^{-h}$ )
Short polling	0,855422778	0,048165697
Comet (long-polling)	1,049270000	0,059080518
WebSocket	0,783782222	0,044131882
XMPP	0,757589444	0,042657063
Recarga	2h53min	0,34682081
Modo em espera	0,010000000	0,002252252

Utilizando o modelo CTMC proposto para o estudo e considerando apenas a utilização de um meio de comunicação de dados é possível, através dos experimentos realizados eger os protocolos mais eficientes quanto ao desempenho energético. Os valores atribuídos a taxa de descarga da bateria, no modo em espera ( $\lambda_{sb}$ ) foram herdados de (SAMSUNG, 2013) e de recarga da bateria ( $\mu$ ) foi utilizado o mesmo princípio de 10 experimentações, recarregando o *smartphone* quando sua bateria totalmente descarregada, desta forma, proporciona valores para as taxas para o modelo. Por se tratar de análise de apenas um modo de conexão de dados (Wi-Fi), a probabilidade ( $p_w$ ) considerada é de 100% na CTMC e as demais probabilidades ( $p_{3g}$ ) e ( $p_{2g}$ ) são de 0%.

A Tabela 4.14 apresenta os resultados de disponibilidade do dispositivo móvel resultantes da avaliação através do modelo CTMC, descrito na Seção 4.3. Através deste estudo é possível determinar o protocolo com melhor disponibilidade, neste quesito o protocolo *XMPP* apresenta melhores resultados, seguido pela estratégia de sincronismo *WebSocket*, *Short polling* e *Comet*.

Após a definição dos protocolos mais eficientes na preservação de energia do dispositivo móvel, a etapa seguinte é a avaliação do tamanho das mensagens, sobre o primeiro e segundo

**Tabela 4.14:** Resultados da disponibilidade dos protocolos sobre Wi-Fi

Protocolo	Disponibilidade (%)	Classificação
XMPP	96,8642963	1
WebSocket	96,7646516	2
Short polling	96,4931552	3
Comet (long-polling)	95,7661126	4

lugar dos protocolos mais eficientes, de forma a observar o quanto é impactante o tamanho da mensagem no consumo de energia do dispositivo móvel, para ajustes nos parâmetros de ambiente para execução dos estudos de caso.

### 4.4.3 Definição do tamanho das mensagens

Os usuários dos dispositivo móveis anseiam que seus dispositivos tenham o melhor desempenho possível, aliados à máxima disponibilidade e com elevado tempo de autonomia para utilização. Observando este contexto é importante avaliar o impacto energético causado pelo tamanho das mensagens recebidas pelo usuário através da aplicação móvel.

Nesta etapa de avaliação as duas melhores estratégias de sincronismo de comunicação com o servidor avaliadas na Seção 4.4.2, quanto ao quesito disponibilidade são consideradas para estabelecimento dos cenários de experimentos. Para aplicações de IM, inúmeros tipos de informações podem trafegar, porém para o consumo energético é relevante o tamanho da mensagem e não o tipo de conteúdo no momento do sincronismo entre cliente-servidor do ambiente de MCC.

A combinação de protocolos e tamanho das mensagens proporciona 12 cenários para execução dos experimentos, demonstrados na Tabela 4.15, que permitem avaliar o impacto do tamanho dos pacotes no estudo.

**Tabela 4.15:** Parâmetros para composição de cenários de pacotes

Cenário	Protocolo	Conexão de dados	Tamanho do pacote
1	XMPP	Wi-Fi	0K
2	XMPP	Wi-Fi	1K
3	XMPP	Wi-Fi	10K
4	XMPP	Wi-Fi	100K
5	XMPP	Wi-Fi	1.000K
6	XMPP	Wi-Fi	10.000K
7	WebSocket	Wi-Fi	0K
8	WebSocket	Wi-Fi	1K
9	WebSocket	Wi-Fi	10K
10	WebSocket	Wi-Fi	100K
11	WebSocket	Wi-Fi	1.000K
12	WebSocket	Wi-Fi	10.000K

A realização de 10 experimentações com tempo de 1 hora, em cada um dos 12 cenários

resulta nos valores de consumo de energia que são demonstrados na Tabela 4.16 para a estratégia de sincronização *XMPP*, e na Tabela 4.17, para a estratégia *WebSocket*. Cada experimento proporciona uma quantidade de 7.200 amostras, cujo valor das amostras é integrado através da Equação 3.3 permitindo assim observar o consumo energético do período do experimento.

**Tabela 4.16:** Resultados obtidos nos experimentos de tamanho de pacote com XMPP

Exp.	0K (Wh)	1K (Wh)	10K (Wh)	100K (Wh)	1.000K (Wh)	10.000K (Wh)
1	0,81872222	0,83199444	0,82617778	0,82266111	0,81376111	0,86853889
2	0,83557778	0,84956667	0,84262222	0,83850556	0,83204444	0,88048333
3	0,85371111	0,87175556	0,86074444	0,85855556	0,85527222	0,89831111
4	0,85443889	0,87287222	0,86149444	0,85736111	0,85419444	0,89445000
5	0,85468333	0,87248333	0,86162778	0,85617222	0,85335556	0,89395000
6	0,85548889	0,87217222	0,86119444	0,85466111	0,85332222	0,89341667
7	0,85491111	0,87119444	0,86092778	0,86592222	0,85234444	0,89423333
8	0,85440000	0,87061111	0,86045556	0,86413333	0,85166667	0,89201111
9	0,85347222	0,87145000	0,86005556	0,86370000	0,85082222	0,89070556
10	0,85381111	0,87244444	0,85913889	0,86321667	0,85040556	0,89005000

**Tabela 4.17:** Resultados obtidos nos experimentos de tamanho de pacote com WebSocket

Exp.	0K (Wh)	1K (Wh)	10K (Wh)	100K (Wh)	1.000K (Wh)	10.000K (Wh)
1	0,92384444	0,83791111	0,86759444	0,82783889	0,86116111	0,90945556
2	0,93705000	0,85230556	0,88432222	0,84518333	0,87757778	0,92117778
3	0,93680556	0,87101667	0,90568889	0,86580556	0,89557222	0,93890556
4	0,93557222	0,87308889	0,90556111	0,86440000	0,89599444	0,94044444
5	0,93482222	0,87040556	0,90533889	0,86400556	0,89541111	0,94151111
6	0,93439444	0,86328889	0,90450556	0,86393333	0,89543333	0,94012778
7	0,93303333	0,86086111	0,90438333	0,86363889	0,89336111	0,93882778
8	0,92677222	0,86033333	0,90323889	0,86391667	0,89305000	0,93876667
9	0,92595556	0,85932222	0,90153333	0,86228889	0,89245000	0,93972222
10	0,92621667	0,85999444	0,90140000	0,86216667	0,89254444	0,94048889

Com base nos resultados obtidos nos experimentos é necessário compará-los para avaliar se o tamanho da mensagem é ou não um fator de impacto no consumo de energia do dispositivo móvel. Para realização da análise é utilizado o método estatístico através do teste t emparelhado para duas amostras independentes, que provê um intervalo de confiança para análise das hipóteses. Assumindo uma confiabilidade de 95% neste experimento, o intervalo de confiança é baseado na distribuição normal.

Os valores resultantes da análise estatística demonstram que para o protocolo *XMPP* o tamanho da mensagem não impacta estatisticamente nos valores de consumo energético, exceto quando a mensagem for de 10.000K; porém, o protocolo *WebSocket* apresenta uma maior sensibilidade no consumo energético quando exposto a diferentes tamanhos de mensagens e há

uma maior similaridade de consumo entre pacotes de 10K e 1.000K, e entre pacotes 1K e 100K para o protocolo *WebSocket*.

Os resultados estatísticos do protocolo *XMPP* são expostos na Matriz 4.6 através dos valores de *p-value* resultantes; este indicador auxilia na validação para o teste de hipóteses para considerar se o tamanho do pacote é ou não estatisticamente relevante no consumo de energia.

0K	1K	10K	100K	1.000K	10.000K
—	0,010	0,240	0,349	0,704	0,000
0,010	—	0,092	0,086	0,006	0,000
0,240	0,092	—	0,869	0,140	0,000
0,349	0,086	0,869	—	0,216	0,000
0,704	0,006	0,140	0,216	—	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	—

(4.6)

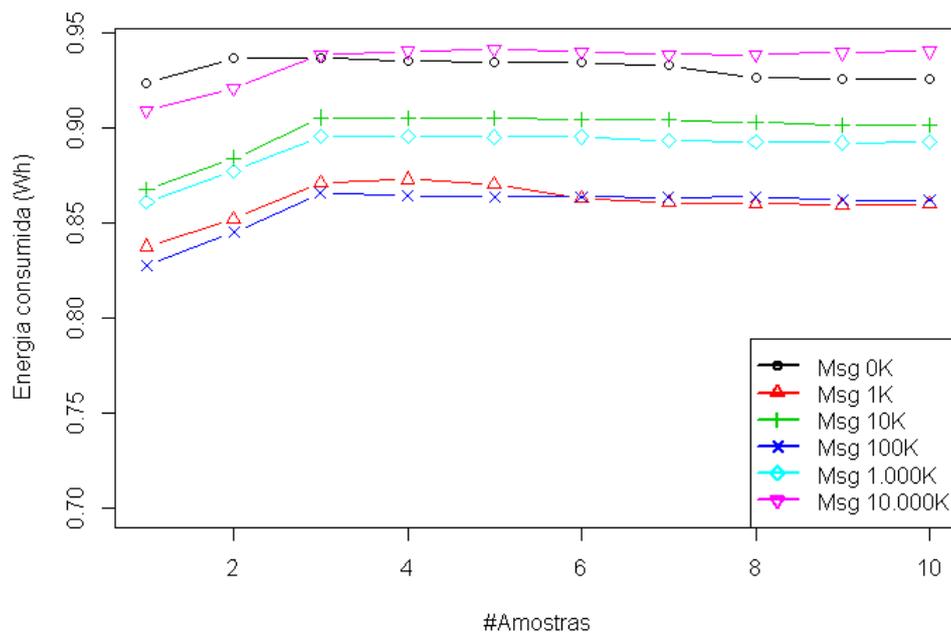
Para o protocolo *WebSocket*, os valores são expostos na Matriz 4.7.

0K	1K	10K	100K	1.000K	10.000K
—	0,000	0,000	0,000	0,000	0,371
0,000	—	0,000	0,623	0,000	0,000
0,000	0,000	—	0,000	0,106	0,000
0,000	0,623	0,000	—	0,000	0,000
0,000	0,000	0,106	0,000	—	0,000
0,371	0,000	0,000	0,000	0,000	—

(4.7)

Na análise realizada com o protocolo *WebSocket* é apresentando também o gráfico do resultado dos experimentos de consumo de energia em relação ao tamanho dos pacotes na Figura 4.4; o protocolo *XMPP* não é apresentado pois seus valores são muito próximos para todos os tamanhos de mensagens avaliadas.

Para a adoção de um tamanho de pacote adequado aos experimentos deve ser analisado o impacto no tamanho do pacote sobre o consumo de energia, em ambos protocolos de maior disponibilidade *XMPP* e *WebSocket*. Para *XMPP* o tamanho não é relevante estatisticamente para pacotes de 0K à 1.000, exceto para 10.000K, porém para o protocolo *WebSocket* será adotado o tamanho de pacote de 1K e 100K, pois segundo o trabalho de (VARSHNEY, 2007) onde são mapeados os tamanhos de mensagens e frequência da monitoração de sinais do paciente através de sensores o tamanho dos dados é próximo de 1K.



**Figura 4.4:** Gráfico de consumo energético do protocolo WebSocket sobre avaliação de tamanho dos pacotes.

# 5

## Estudos de caso

O presente capítulo apresenta os estudos de caso realizados no ambiente proposto. O objetivo dos estudos de caso é investigar as estratégias de sincronismo da aplicação em cenários específicos, que condizem com diferentes ofertas de conectividade de rede dos ambientes hospitalares. A avaliação da confiabilidade do dispositivo móvel considera os valores obtidos através dos modelos de interface de rede SPN para o componente de rede e valores do cenário de maior preservação de energia para o componente bateria. O modelo de RBD permite avaliar a criticidade dos componentes do dispositivo móvel, a fim de permitir que pesquisas futuras concentrem esforços sobre os elementos mais críticos, como também responde ao objetivo proposto em conhecer o tempo no qual o dispositivo móvel irá funcionar sem que apresente falhas para seus utilizadores.

### 5.1 Estudos de caso

Considerando a arquitetura proposta na Figura 3.3 é avaliado o consumo de energia do dispositivo móvel com execução da aplicação de IM voltada a atenção à saúde, utilizando distintas redes de comunicação de dados. A disponibilidade de cada cenário, aos quais a equipe de atenção à saúde possa estar sujeita nos ambientes hospitalares auxilia na definição de estratégias de sincronismo da aplicação com servidores *server push* que sejam eficientes energeticamente. Desta forma é possível avaliar o impacto do consumo de energia no dispositivo em relação ao protocolo adotado pela aplicação.

A avaliação da disponibilidade do consumo energético de cada cenário, com distintos parâmetros utilizados pela aplicação e oferta de conectividade de rede no ambiente é realizada através do modelo CTMC proposto. A conectividade com alguma rede de dados é essencial para que a aplicação possa ser efetivamente executada, pois os dados do paciente estão disponíveis em um servidor na MCC e o dispositivo móvel deve ter conectividade com a rede de dados para receber tais informações. A arquitetura enfatiza a execução de uma aplicação de mensagem instantânea que fornece dados do paciente às equipes de atenção à saúde. O modelo SPN avalia a disponibilidade do dispositivo móvel estar conectado à alguma rede de dados através de suas

interfaces. A avaliação destes modelos é essencial para obtenção de valores que serão utilizados como parâmetros para o modelo RBD, que visa avaliar a confiabilidade e disponibilidade do dispositivo móvel, conhecendo o tempo em que o dispositivo móvel não apresentará falhas para à equipe de atenção à saúde.

Nos estudos de caso, quatro cenários são propostos para avaliar o consumo energético do dispositivo móvel. Cada estudo considera distintas probabilidades de conexão com as interfaces de rede sem fio. O modelo CTMC visa à busca do protocolo mais adequado para aplicação de atenção à saúde, com enfoque de maior disponibilidade. O modelo SPN considera as condições de alguma interface de rede do dispositivo móvel estar conectada à rede para recebimento dos dados da aplicação e os valores resultantes da probabilidade para cada interface de rede do dispositivo serão utilizados no quarto estudo de caso, considerando um ambiente com oferta de todas as redes abordadas. A Tabela 5.1 apresenta de forma estruturada os cenários propostos a serem avaliados pelo modelo CTMC e considerando a probabilidade de conexão em cada rede devido a característica de mobilidade dos usuários do *smartphone*.

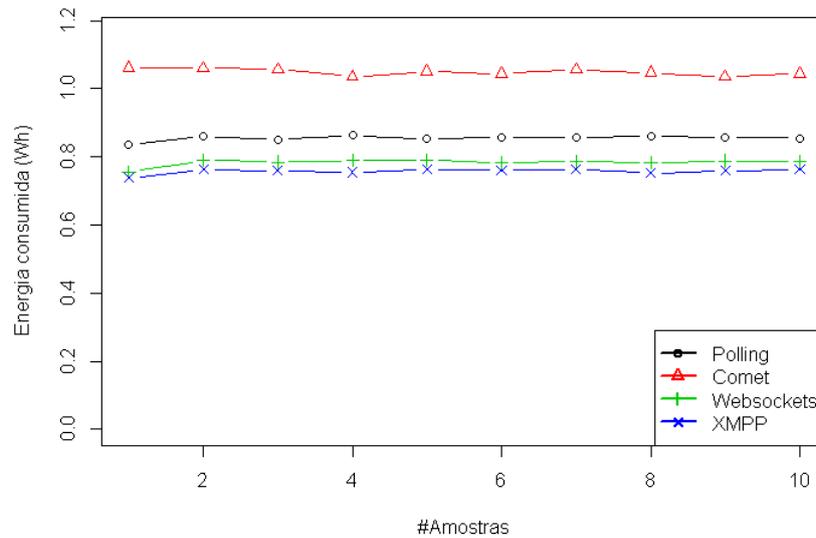
**Tabela 5.1:** Cenários propostos para estudos de caso

Cenário	Descrição	Wi-Fi	3G	2G
1	Total cobertura de redes Wi-Fi	100%	0%	0%
2	Ambientes urbanos apenas com redes 3G	0%	100%	0%
3	Ambientes rurais apenas com redes 2G	0%	0%	100%
4	Todas as tecnologias de rede	65,625%	10,577%	0,881%

### 5.1.1 Estudo de caso 1

O primeiro estudo de caso considera ambientes hospitalares com elevada infraestrutura de tecnologia da informação. Este ambiente possui uma ampla oferta de conexão de redes de dados sem fio local que abrange todo o complexo hospitalar. Neste cenário existe a oferta de sinal Wi-Fi com técnicas de redundância para garantir o serviço de conexão de dados a todo instante e em todo o ambiente hospitalar, não sendo necessário a conexão com outras redes de dados para execução da aplicação de atenção à saúde. As equipes de atenção à saúde mesmo em constante movimento dentro do complexo hospitalar possuem cobertura do serviço da rede de dados Wi-Fi, proporcionando uma utilização do dispositivo móvel em 100% do tempo conectado à esta rede, sem que outras sejam utilizadas. Sendo assim, este cenário não contempla o trânsito entre as diferentes tecnologias de redes de dados.

O cenário avaliado abrange os quatro diferentes protocolos da aplicação com a rede Wi-Fi, proporcionando uma variedade de 4 subcenários de estudo. A execução dos experimentos no ambiente real proporcionou os resultados de 10 valores de consumo energético para cada um dos subcenários. Os resultados extraídos a partir da execução dos experimentos nas redes Wi-Fi proporcionam o desenvolvimento da Figura 5.1, este gráfico contempla os experimentos realizados sobre cada um dos 4 subcenários que abrangem a conexão com as redes Wi-Fi.



**Figura 5.1:** Consumo energético dos clientes móveis quando utilizado redes Wi-Fi.

No estudo de caso 1 é observado que a estratégia de sincronismo *Comet (long-polling)* apresenta um maior consumo energético comparado as demais tecnologias. O consumo energético deste protocolo é mais elevado que o protocolo *Short polling*, que era esperado como o protocolo de menor eficiência energética entre os demais, segundo suas características de modo de operação. Os quatro protocolos apresentam comportamentos distintos, porém alguns muito próximos quando efetuada a análise visual através do gráfico, como é o caso do protocolo *WebSocket* e *XMPP*. O protocolo *Short polling* apresenta um melhor desempenho comparado ao *Comet*, porém, distante dos protocolos citados anteriormente. Inicialmente com os resultados obtidos no gráfico, o protocolo *XMPP* apresenta um melhor resultado na eficiência energética, porém a fim de avaliar a disponibilidade de cada um dos cenários, o modelo CTMC proposto é adotado.

Com base nos valores médios obtidos nos 10 experimentos, o modelo CTMC é avaliado para obter a disponibilidade de cada subcenário. Os resultados obtidos através do modelo são apresentados na Tabela 5.2.

**Tabela 5.2:** Resultados da disponibilidade considerando somente redes Wi-Fi

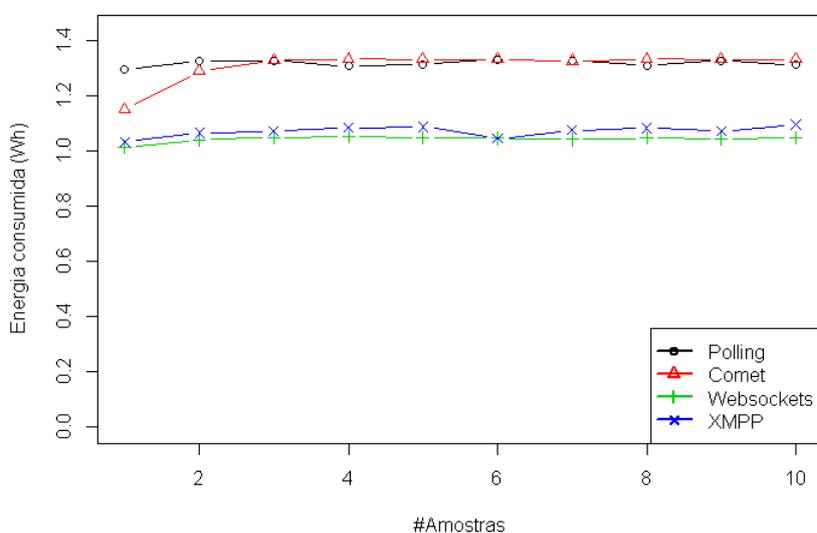
Protocolo	Disponibilidade (%)	Posição
XMPP	96,86430	1
WebSocket	96,76465	2
Short polling	96,49316	3
Comet (long-polling)	95,76611	4

Neste estudo de caso o protocolo *XMPP* apresenta a maior disponibilidade atingindo o valor de 96,86430%.

### 5.1.2 Estudo de caso 2

O segundo estudo de caso considera ambientes hospitalares urbanos, porém não há uma infraestrutura para fornecimento de recursos de redes de dados sem fio locais, Wi-Fi. A conectividade com a rede é totalmente dependente da oferta do serviço das redes móveis 3G, que é fornecida pelas operadoras de telecomunicações. Este cenário considera áreas urbanas com oferta de serviço de dados das redes 3G e ambientes hospitalares móveis onde não há uma rede de dados local implantada, seja pela condição de grande mobilidade em um espaço geográfico amplo, custo de infraestrutura para unidade móvel de saúde, interesse em utilizar uma infraestrutura de rede externa ou uso dos dispositivos móveis dentro de unidades móveis de saúde, onde a utilização de uma rede de dados móvel é mais adequada comparada a disponibilizar uma infraestrutura de rede de dados local. As equipes de atenção à saúde em constante movimento possuem cobertura ampla do serviço da rede de dados 3G o que proporciona uma utilização do dispositivo móvel em 100% do tempo conectado à esta rede sem que outras sejam utilizadas, sendo assim, este cenário também não contempla o trânsito entre as diferentes tecnologias de redes de dados.

Para o cenário com redes 3G novos experimentos são executados variando apenas o parâmetro de modo de transferência de dados o que proporciona uma variedade de 4 novos subcenários de estudo. Experimentos são realizados no ambiente real e proporcionam amostras de consumo energético para cada um dos subcenários. Os resultados obtidos com a execução dos experimentos nas redes 3G proporcionam o desenvolvimento da Figura 5.2, este gráfico demonstra que há uma similaridade entre dois grupos de protocolos: *Short polling* e *Comet* (*long-polling*) e entre *WebSocket* e *XMPP*, na condição de operação do aplicativo sobre as redes de tecnologia 3G.



**Figura 5.2:** Consumo energético dos clientes móveis quando utilizado redes 3G.

Com os valores médios dos experimentos com a rede 3G, o modelo CTMC é avaliado para obter a disponibilidade de cada subcenário. Os resultados obtidos através do modelo são apresentados na Tabela 5.3.

**Tabela 5.3:** Resultados da disponibilidade considerando somente redes 3G

Protocolo	Disponibilidade (%)	Posição
WebSocket	95,79021	1
XMPP	95,68540	2
Comet (long-polling)	94,77700	3
Short polling	94,81070	4

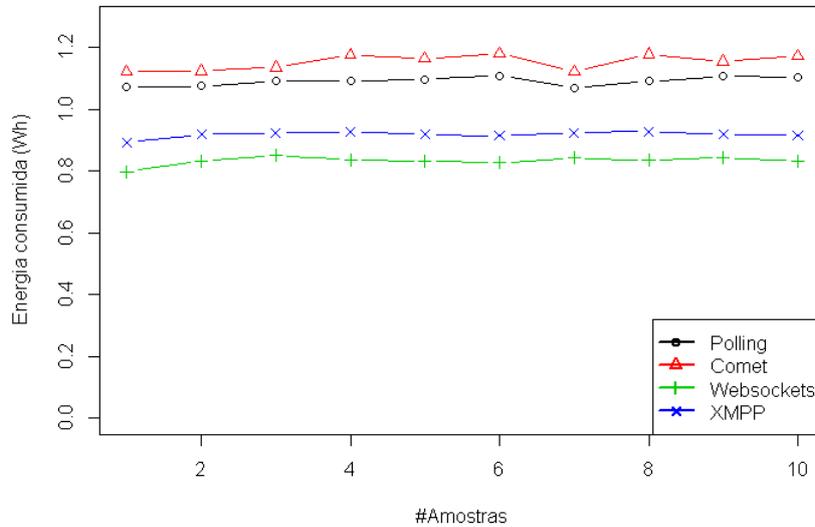
Neste estudo de caso, o protocolo *WebSocket* apresenta uma melhor eficiência energética dentre todos e é seguido pelo protocolo *XMPP*. No modo de operação apenas sobre a comunicação de dados em redes 3G, o protocolo *Comet (long-polling)* apresenta um breve ganho no consumo energético comparado ao protocolo *Short polling*, porém considerando apenas as redes 3G o protocolo *WebSocket* recebe destaque no baixo consumo de energia e resulta em uma disponibilidade de 95,79021%.

### 5.1.3 Estudo de caso 3

Considerando ambientes hospitalares distantes de áreas urbanas é proposto o estudo de caso 3. Neste ambiente não há infraestrutura para fornecimento de recursos de redes de dados sem fio locais Wi-Fi como no cenário anterior, então considera-se unidades móveis de saúde ou pequenos postos de atendimento. A conectividade com a rede é totalmente dependente da oferta do serviço das redes móveis, porém, com tecnologias 2G disponíveis na região. O cenário 3 considera áreas mais distantes da zona urbana, onde há oferta de serviço apenas de redes móveis 2G. As equipes de atenção à saúde estão em movimento em ambientes onde não há infraestrutura de redes locais ou estão presentes em unidades móveis de saúde em zonas rurais. Neste cenário pode ser considerado um agente de saúde dedicado à um paciente em ambiente rural que possa obter os dados do paciente em qualquer região com elevada cobertura do serviço da rede móvel 2G. Desta forma a utilização do dispositivo móvel será 100% do tempo conectado à esta rede, sem que outras sejam utilizadas e não contemplando o trânsito entre as diferentes tecnologias de redes de dados.

No cenário 3 outros novos experimentos são executados variando o parâmetro de modo de transferência de dados para 2G, proporcionando uma nova variedade de 4 subcenários de estudo. Os novos experimentos realizados proporcionam um conjunto de amostras com a mesma quantidade dos cenários anteriores, proporcionando os resultados apresentados na Figura 5.3. Em uma análise inicial, este cenário apresenta o protocolo *WebSocket* com o maior destaque de eficiência no consumo energético comparado aos demais protocolos.

Com base nas médias obtidas dos novos experimentos realizados, o modelo CTMC é avaliado com os novos parâmetros e os resultados obtidos para cada subcenário são apresentados



**Figura 5.3:** Consumo energético dos clientes móveis quando utilizado redes 2G.

na Tabela 5.4.

**Tabela 5.4:** Resultados da disponibilidade considerando somente redes 2G

Protocolo	Disponibilidade (%)	Posição
WebSocket	96,57625	1
XMPP	96,25454	2
Short polling	95,61088	3
Comet (long-polling)	95,37963	4

Assim como no estudo anterior, o subcenário com protocolo *WebSockets* recebe destaque na disponibilidade atingindo o valor de 96,57625% e é seguido pelo protocolo *XMPP*. O comportamento dos subcenários dos protocolos *Short polling* e *Comet (long-polling)* apresentam posição semelhante ao cenário 1, porém com valores distintos das disponibilidades para cada protocolo.

#### 5.1.4 Estudo de caso 4

Os estudos de caso anteriores contemplam a probabilidade de conexão sobre apenas uma rede de dados durante a execução da aplicação em situações distintas nos ambientes hospitalares. Porém, em outros cenários é possível que durante a execução da aplicação o dispositivo móvel possa ativar transição de conexão entre as diversas redes disponíveis no ambiente. Para que a aplicação seja executada é necessário que o dispositivo móvel esteja efetivamente conectado à alguma rede de dados, seja esta local ou móvel. Considerando a possibilidade de que as equipes de atenção à saúde possam estar sujeitas à todas as redes disponíveis no ambiente, o modelo SPN auxilia a determinar as probabilidades para cada interface de rede do dispositivo móvel,

considerando a disponibilidade de cada uma das três infraestruturas de redes envolvidas no cenário. Através do modelo SPN é obtida a probabilidade de cada uma das interfaces de rede estarem efetivamente conectadas à rede de dados, considerando o tempo de ativação da interface de rede do dispositivo e a disponibilidade da infraestrutura da rede de dados, como foi concebido o modelo. Para avaliação do modelo CTMC, os parâmetros de probabilidade de conexão das redes são obtidos através do modelo SPN. Na CTMC o parâmetro  $p_w$  é obtido através da  $P\{\#if w > 0\}$  resultando no valor de 65,625%; o parâmetro  $p_{3g}$  através da  $P\{\#if 3g > 0\}$  com valor 10,577% e o parâmetro  $p_{2g}$  através da  $P\{\#if 2g > 0\}$  com valor de 0,881%. No modelo SPN há probabilidade de o dispositivo móvel não estar conectado à nenhuma rede, porém esse parâmetro não é relevante para avaliação da CTMC pois há um parâmetro de *standby* associado ao modelo.

Considerando um ambiente hospitalar onde há presença da rede Wi-Fi e esta está sujeita à falhas e sendo necessário que o dispositivo móvel efetue a transição de conexão para outra interface de rede em busca de conectividade para execução da aplicação é possível efetuar conexão com as redes de dados móveis 3G e 2G. Quatro novos subcenários são avaliados através do modelo CTMC para compor a disponibilidade, os resultados da avaliação destes subcenários são expostos na Tabela 5.5.

**Tabela 5.5:** Resultados da disponibilidade considerando trânsito entre redes

Protocolo	Disponibilidade (%)	Posição
XMPP	96,87332	1
WebSocket	96,81146	2
Short polling	96,45281	3
Comet (long-polling)	95,87816	4

Neste estudo de caso o protocolo *XMPP* apresenta a maior disponibilidade atingindo o valor de 96,87332%, seguido pelos demais protocolos.

Os quatro estudos de caso consideram ambientes hospitalares distintos, aos quais a equipe de atenção à saúde possa estar presente e executando a aplicação. Através da avaliação dos cenários é observado elevada disponibilidade na aplicação quanto ao consumo energético utilizando redes Wi-Fi, com destaque no subcenário que utiliza o protocolo *XMPP*. O cenário de mais elevada disponibilidade é considerado para determinar o valor de disponibilidade de descarga da bateria, considerando a probabilidade do cenário em cada conexão de rede de dados. Os valores de MTTF e MTTR relacionados ao consumo energético do cenário 4 serão utilizados para prover valores ao componente *mobile\_battery* no modelo RBD. A disponibilidade obtida com a avaliação do modelo SPN proporciona valores MTTF e MTTR que serão atribuídos ao componente *mobile\_net* no modelo RBD. A avaliação da disponibilidade da interface de rede e bateria proporciona os valores necessários para os componentes adicionados no modelo de confiabilidade apresentado na Figura 4.1, sendo assim é possível avaliar a confiabilidade de dispositivo móvel no ambiente da MCC.

## 5.2 Avaliação de desempenho do dispositivo

Com a realização dos estudos de caso para análise do consumo de energia e descarga da bateria no modelo CTMC é possível obter valores reais para definição do MTTF para o componente bateria. O estudo de caso realizado com as interfaces de rede do dispositivo móvel, através da análise de disponibilidade com apoio do modelo SPN auxilia na determinação de valores para outro componente do dispositivo móvel no modelo. O modelo RBD apoia a avaliação da disponibilidade e confiabilidade do elemento dispositivo móvel que integra a estrutura de MCC; este elemento possui alguns componentes que podem apresentar falhas em algum instante e impactar na confiabilidade do dispositivo móvel. O modelo RBD do dispositivo móvel é representado por cinco principais componentes que integram sua infraestrutura e através da avaliação de cada componente é possível observar qual possui maior impacto na confiabilidade do dispositivo para aprofundar estudos e elaborar técnicas que visem ampliar a disponibilidade do elemento.

Para parametrizar o modelo RBD é necessário determinar os valores MTTF e MTTR de cada componente do modelo que integra o conjunto do elemento *smartphone*. Os valores para os componentes de *hardware*, sistema operacional e aplicação, foram herdado da literatura, nos trabalhos desenvolvidos por (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013) e (KIM DONG SEONG; MACHIDA; TRIVEDI, 2009); e para os componentes de bateria e rede, os valores foram alcançados através do estudo de caso realizado no cenário 4. O MTTR do componente relativo à bateria do dispositivo móvel foi obtido através da avaliação da CTMC, considerando o estudo de caso do cenário 4 com probabilidades obtidas através da avaliação de disponibilidade do modelo SPN. O MTTR do componente rede foi adquirido através do estudo de disponibilidade efetuado com a avaliação do modelo SPN sobre valores resultantes dos experimentos em ambiente real aplicando a Equação 2.2. A Tabela 5.6 apresenta os valores utilizados no modelo RBD para análise da disponibilidade e confiabilidade do *smartphone*.

**Tabela 5.6:** Parâmetros do dispositivo móvel

Componente	MTTF(horas)	MTTR(horas)
mobile_hw	224.719,1	12
mobile_so	1.440,922	0,03333
mobile_app	336,7	0,01666
mobile_battery	4,33153	2,88333
mobile_net	40,24973	12

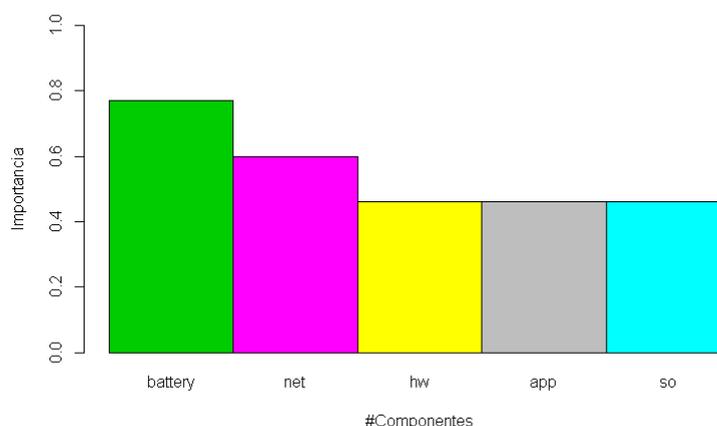
Através do mesmo modelo é possível obter os valores os valores MTTR e MTTF para o componente dispositivo móvel e complementar estudos do ambiente de MCC. Os valores obtidos através da análise do modelo são demonstrados na Tabela 5.7.

A avaliação do modelo RBD auxilia na determinação de valores de confiabilidade em relação ao tempo de utilização do dispositivo. Com os diversos elementos que compõem a

**Tabela 5.7:** Parâmetro do componente *mobile*

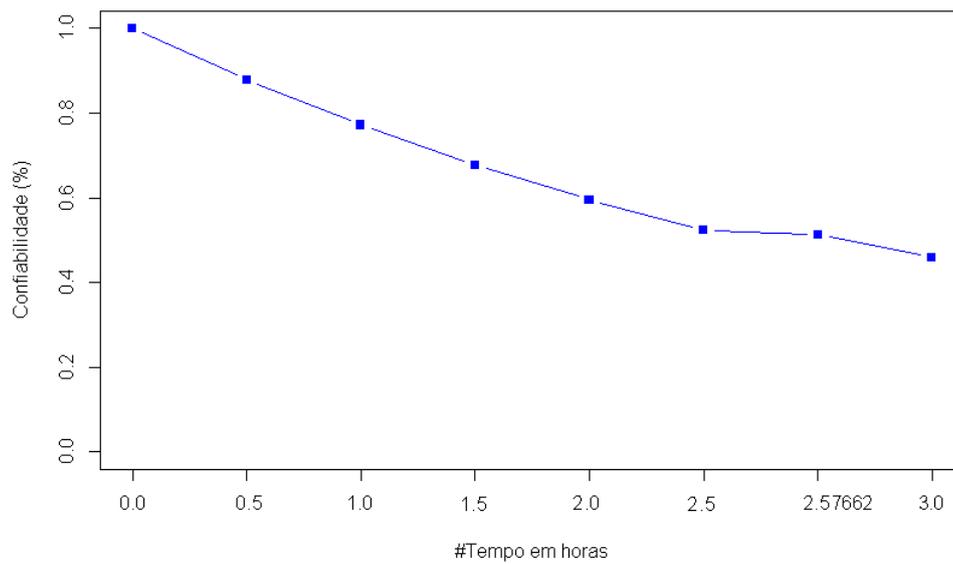
Componente	MTTF(horas)	MTTR(horas)
mobile	2,57662	2,99540

infraestrutura do dispositivo móvel e os diferentes tempos de falhas e reparos para cada elemento, a confiabilidade do dispositivo vai sendo degradada com o tempo, isto é, haverá algum instante no qual o dispositivo móvel irá falhar. O componente *mobile\_battery* é o que possui a maior importância no aspecto disponibilidade com 77,02367% seguido pelo componente *mobile\_net* com 60.02867%, *mobile\_hw* com 46.24458%, *mobile\_app* com 46,24440% e *mobile\_so* com 46.24318%. A Figura 5.4 demonstra a importância dos componentes do modelo em ordem prioritária, considerando seus tempos de falha e reparo na análise do modelo RBD.

**Figura 5.4:** Importância dos componentes do dispositivo móvel

Avaliado os componentes com maior impacto na confiabilidade do *smartphone* no modelo RBD, a ordem de importância dos elementos permanece inalterada. Com base no menor tempo de MTTF dentre todos os elementos que compõem o modelo, o estudo de confiabilidade é executado com base em 3 horas, a fim de compreender a confiabilidade integral do dispositivo neste intervalo. A Figura 5.5 demonstra a variação da confiabilidade do dispositivo móvel em relação ao tempo. Ao decorrer do tempo de utilização do dispositivo móvel sua confiabilidade é impactada, sendo seu componente mais relevante a bateria o que motiva a pesquisa desenvolvida sobre o tema. Considerando o MTTF do dispositivo obtido através de análise do modelo RBD em 2.57662h a confiabilidade do dispositivo móvel é de 51.256886407%.

A Tabela 5.8 apresenta os valores de confiabilidade obtidos através da análise do modelo com tempos distintos. Como observado na Figura 5.4 a bateria possui um elevado impacto na disponibilidade e afeta diretamente a confiabilidade do dispositivo. A adoção de protocolos que consumam menos energia, aliado à conexão com redes Wi-Fi para execução das aplicações, reduzindo ao máximo o uso das redes 3G preservam o recurso de energia do dispositivo, porém pesquisas relacionadas à melhoria do recurso energético devem ser mais exploradas para ampliar



**Figura 5.5:** Confiabilidade do dispositivo móvel

a confiabilidade do dispositivo móvel.

**Tabela 5.8:** Resultados de confiabilidade do dispositivo móvel

Tempo(horas)	Confiabilidade (%)
0	100
0,5	87,8368277148
1,0	77,15308303
1,5	67,7688206177
2,0	59,5259822103
2,5	52,2857344396
2,57662	51,256886407
3,0	45,9261304791

# 6

## Conclusão

Este capítulo finaliza a pesquisa desenvolvida e apresenta as conclusões sobre modelos propostos, experimentos e análise realizados, juntamente com a conclusão sobre os resultados obtidos. Neste capítulo é citada as contribuições obtidas com a realização da pesquisa e trabalhos futuros; itens que não foram abordados, porém, são de interesse para continuidade do estudo relacionado ao desempenho de dispositivos móveis em ambientes de MCC.

### 6.1 Contribuições

O presente trabalho concentrou esforços sobre a avaliação de desempenho do dispositivo móvel, investigando a disponibilidade do dispositivo sob a operação em diferentes protocolos de aplicação e de conexão de rede de dados. O aprimoramento do modelo, originalmente proposto por (OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL, 2013), contempla o comportamento de dois componentes de *hardware* do dispositivo, as interfaces de rede e a bateria. A importância dos componentes do dispositivo móvel é analisada com auxílio do modelo RBD, que permite concentrar esforços em estudos e análises mais aprofundados sobre os componentes mais impactantes na confiabilidade e disponibilidade do dispositivo.

A bateria do dispositivo móvel é o elemento mais relevante no quesito de disponibilidade, pois seu tempo para ocorrência de falha é o menor de todos os componentes do dispositivo. No âmbito de consumo de energia, estratégias de comunicação da aplicação com o servidor que visem preservar a autonomia da bateria definem um importante tema para as tecnologias móveis e comporta outros estudos sobre consumo de energia. A utilização da técnica de medição de energia através do Arduino apresenta melhora na precisão de valores para mensurar o consumo energético do dispositivo e não limita os estudos ao uso de dispositivos móveis específicos, como relatado nos trabalhos realizados por (BALASUBRAMANIAN NIRANJAN; BALASUBRAMANIAN; VENKATARAMANI, 2009) e (PERRUCCI GIAN PAOLO.; FITZEK; WIDMER, 2011).

O comportamento de descarga da bateria é representado pelo modelo CTMC, que permite avaliar o impacto do consumo energético sobre a aplicação em dispositivos móveis. Nos experimentos realizados foi observado a relevância das interfaces de rede para consumo de

energia e execução da aplicação no dispositivo. As interfaces de rede do dispositivo compõem o subsistema responsável pela interação do dispositivo com o ambiente da MCC e complementa a elaboração do modelo de avaliação de desempenho. O comportamento de conectividade as interfaces de rede do dispositivo móvel é representado pela SPN e através deste modelo foi avaliado a disponibilidade deste subsistema para compor um cenário que represente o comportamento de conectividade do dispositivo entre as possíveis redes de comunicação de dados presentes no ambiente. Os modelos propostos representam o comportamento dos componentes do dispositivo móvel sobre o cenário proposto, tais modelos podem ser aprimorados para comportar outras tecnologias de transmissão de dados, bem como baterias de maior autonomia, que não foram abordados nesta pesquisa.

O desenvolvimento da pesquisa sobre o componente bateria aborda o consumo energético do dispositivo e resulta na proposta do modelo aprimorado de (MATOS RUBENS; ARAUJO; TRIVEDI, 2014). O modelo CTMC representa o comportamento do consumo de energia do dispositivo móvel e através deste é possível comparar os distintos cenários da aplicação, considerando diferentes estratégias de troca de mensagens e distintas conexões de rede, às quais o dispositivo móvel está sujeito nos ambientes hospitalares e unidades móveis de saúde. O modelo CTMC auxilia a determinar a disponibilidade de cada cenário e seus subcenários para análise comparativa entre estes e com base nos resultados é possível observar o impacto da escolha da estratégia de sincronismo a ser adotada na aplicação, considerando os distintos ambientes aos quais a equipe de atenção à saúde possa estar sujeita. Dois protocolos recebem destaques na disponibilidade e através dos modelos foi validado seu comportamento quanto ao consumo de energia e proporcionam resultados de que a escolha da estratégia de sincronismo da aplicação possui impacto no consumo de energia do dispositivo móvel.

Durante os experimentos e análise dos resultados foi observado um grande diferencial de consumo energético entre as redes de dados, como em outros trabalhos desenvolvidos por (BALASUBRAMANIAN NIRANJAN; BALASUBRAMANIAN; VENKATARAMANI, 2009), (PERRUCCI GIAN PAOLO.; FITZEK; WIDMER, 2011) e (KALIC GORAN; BOJIC; KUSEK, 2012). As redes de dados móveis 3G possuem forte impacto no consumo de energia comparadas as redes 2G e Wi-Fi. As interfaces de rede do dispositivo móvel compõem um subsistema essencial para execução da aplicação à saúde, pois estas são responsáveis por prover a comunicação entre o dispositivo móvel e o servidor para o recebimento de dados do paciente. A este subsistema é dedicado um estudo sobre seu comportamento e avaliado sua disponibilidade através do modelo SPN proposto e os resultados alcançados proporcionaram os valores de disponibilidade real de cada interface do dispositivo móvel considerando a oferta de infraestrutura das redes de dados local e móveis. O cenário 4 foi composto a partir desta análise e proporcionou os valores de consumo de energia a serem adotados no componente bateria do modelo de confiabilidade e disponibilidade RBD.

Cada estratégia de sincronismo possui características distintas devido a sua concepção. Inicialmente é esperado que a estratégia de sincronismo *Short polling* apresente o pior

desempenho energético devido a sua concepção, porém, os estudos realizados comprovam um comportamento distinto, no qual o protocolo *Comet* não é tão eficiente energeticamente comparado ao protocolo *Short polling*, exceto para comunicação através das redes 3G. Nos estudos de caso realizados as estratégias de sincronismo *Short polling* e *Comet* não apresentam os melhores resultados e a disponibilidade destes protocolos é inferior aos protocolos *WebSockets* e *XMPP*. A avaliação dos cenários através do modelo CTMC proporciona valores que apoiam a escolha de protocolos mais adequados, que preservem energia do dispositivo móvel em aplicações de IM voltadas à atenção à saúde.

Os protocolos *XMPP* e *WebSocket* apresentam os melhores resultados nos estudos de caso. O modo de operação destas estratégias, parte da evolução das estratégias anteriores; sendo esperado que a adoção destes protocolos apresente melhores desempenhos e esta situação é comprovada através da avaliação de disponibilidade dos cenários, no modelo CTMC. Ambos protocolos apresentam bons resultados quando submetidos as várias conexões com as redes de dados, porém o protocolo *XMPP* apresenta resultados de disponibilidade superiores ao *WebSocket*, quando utiliza redes Wi-Fi e os resultados demonstram que a utilização da aplicação sobre redes Wi-Fi apresenta um melhor consumo de energia, isto foi observado em trabalhos anteriores e validado nos estudos de caso 1 e 4.

A oferta de um ambiente com total cobertura de rede de dados local demanda elevado investimento para os ambientes hospitalares. Em unidades móveis de saúde e áreas sem a presença de redes de dados local, as tecnologias de redes de dados móveis 3G e 2G torna-se as alternativas de conexão para os dispositivos móveis. A conexão do dispositivo com mais de uma rede de dados é considerado para concepção dos modelos e o impacto da conectividade com as redes proporciona o estudo do comportamento das interfaces do dispositivo móvel. Através do modelo SPN proposto foi possível avaliar a disponibilidade deste componente para complementar o estudo sobre a confiabilidade do dispositivo móvel e esta é efetivamente avaliada proporcionando resultados que demonstram que a medida do tempo de operação do dispositivo móvel sua confiabilidade é impactada resultando em valores cada vez mais baixos no decorrer do tempo. A disponibilidade do dispositivo móvel também é avaliada através do modelo RBD e através dos valores obtidos é possível determinar o MTTF e MTTR para o elemento dispositivo móvel no contexto da MCC. O estudo proporcionou resultados de 2,57662 horas para MTTF e 2,99540 horas para MTTR do dispositivo móvel, envolvendo todos os componentes abordados no modelo RBD.

Os modelos propostos representam o comportamento do dispositivo móvel e seus componentes de interface de rede e bateria. A utilização dos modelos propostos e validados evita que novos experimentos sejam necessários, pois tais modelos representam o comportamento real dos sistemas envolvidos. Através destes modelos é possível avaliar outros cenários com diferentes probabilidades de coberturas das redes. Para obter outros valores que representem a probabilidade do dispositivo móvel estar conectado à uma ou outra rede de dados, novos estudos devem ser desenvolvidos com este enfoque, tais como, observações em campo sobre a oferta do

serviço da rede de dados nos ambientes hospitalares.

Os experimentos foram realizados no cenário proposto e para elaboração destes não é considerado a melhor metodologia de desenvolvimento de *software*, para desenvolvimento da aplicação e do gerador de carga de trabalho; estas são apenas ferramentas de apoio para avaliação do consumo energético do dispositivo móvel. Algumas técnicas de medição de energia do dispositivo móvel foram experimentadas, como a utilização de API do sistema operacional incorporada ao aplicativo do dispositivo móvel e outras aplicações específicas que informam o consumo de um serviço em execução no dispositivo, como utilizado no trabalho de (NAMBOODIRI; GHOSE, 2012) e a utilização de componente externo, *watts up* capaz de mensurar a energia transferida da fonte de alimentação para o carregador do dispositivo móvel e a utilização da técnica de medição de energia Amalgma utilizada em outras pesquisas sobre consumo energético. As técnicas citadas não foram adequadas para o cenário e apresentam limitações que são detalhadas no apêndice B, a partir de tais limitações foram exploradas outras alternativas e adotado a técnica de medição através do Arduino e aprimorando método utilizado por (TRESTIAN RAMONA; MOLDOVAN; MUNTEAM, 2012) para medição de energia, a fim de prover valores reais capazes de alimentar o modelo CTMC de forma simples.

A validação dos modelos adota métodos reconhecidos na literatura especializada sobre o tema e utiliza simulações para assegurar o correto comportamento do modelo proposto. A pesquisa desenvolvida contribui para avaliação da dependabilidade do dispositivo móvel e propõe um modelo de confiabilidade para o dispositivo, juntamente com outros modelos a fim de avaliar componentes específicos deste sistema. A estratégia de medição de energia adotada pode ser aplicada à outros estudos em diversas áreas de TIC. O desenvolvimento da pesquisa proporcionou a publicação do artigo *Energy Consumption in Mobile Devices Considering Communication Protocols*. em *Advances in Information Sciences and Service Sciences*, volume 6, páginas 1-12, ano 2014.

## 6.2 Trabalhos futuros e limitações

A pesquisa concentra esforços na avaliação de desempenho do dispositivo móvel expandindo o estudo sobre a avaliação da disponibilidade das interfaces de rede e bateria do dispositivo. Está em aberto, para futuros trabalhos, o estudo sobre o desempenho energético do envio de dados do *smartphone* para o ambiente de servidores da MCC. A comunicação de dados através das redes de tecnologias 4G não foi avaliada inicialmente nos testes do ambiente desenvolvido, porém pode ser explorada com adaptação dos modelos que complementam estudos sobre esta tecnologia de rede de dados. A técnica de medição de energia através do Arduino pode ser aprimorada para captura de outros intervalos, que os 0,5 segundos adotados nesta pesquisa.

O modelo CTMC pode ser avaliado e refinado para determinar o número ideal de estados que represente a descarga da bateria do dispositivo. A quantidade de estados intermediários do modelo pode ou não influenciar na precisão dos resultados, este aspecto não foi considerado

para elaboração do modelo. O modelo RBD pode ser ampliado a fim de contemplar mais detalhadamente outros componentes de *hardware* ou *software* que são impactantes para a confiabilidade do dispositivo móvel, os quais não fazem parte do escopo deste trabalho.

## Referências Bibliográficas

ANDERSON, D. F.; HIGHAM, D. J. **Multi-level Monte Carlo for continuous time Markov chains, with applications in biochemical kinetics**. [S.l.]: SIAM: Multiscale Modeling and Simulation, 2012. 146–179p. v.10.

ARDUINO. **About Arduino**. Disponível em <http://www.arduino.cc/>, acessado em Dez 2013.

AVIZIENIS, A. The four-universe information system model for the study of fault-tolerance. **Proceedings of the 2th Annual International Symposium on Fault-Tolerant Computing, FTCS'82**, [S.l.], p.6–13, 1982.

AVIZIENIS ALGIRDAS; LAPRIE, J.-C. R. B.; LANDWEHR, C. Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing. **Dependable and Secure Computing, IEEE Transactions on**, [S.l.], v.1, p.11–33, 2004.

AVIZIENIS ALGIRDAS; LAPRIE, J.-c.; RANDELL, B. Fundamental Concepts of Computer Systems Dependability. , Seoul, KO, p.21–22, 2001.

BALASUBRAMANIAN NIRANJAN; BALASUBRAMANIAN, A.; VENKATARAMANI, A. Energy Consumption in Mobile Phones: a measurement study and implications for network applications. **IMC '09 Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference**, New York, US, p.280–293, 2009.

BALBO, G. **Introduction to stochastic Petri nets**. [S.l.]: Springer, 2001. 84–155p.

BANKS, J. Introduction to simulation. **In Proceedings of the 31st conference on Winter simulation: Simulation—a bridge to the future**, New york, US, p.7–13, 1999.

BAUSE, F.; KRITZINGER, P. S. **Stochastic Petri Nets: an introduction to the theory**. [S.l.]: Vieweg Verlag, 2002.

BHIDE MANISH; DEOLASEE, P. K. A. P. A. R. k.; SHENOY, P. Adaptive push-pull: disseminating dynamic web data. **Computers, IEEE Transactions on**, Washington, US, v.51, n.6, p.652–668, 2002.

CHUNG, Y. W. An improved energy saving scheme for instant messaging services. **Wireless Advanced (WiAd), 2011**, London, UK, p.278–282, 2011.

CIARDO GIANFRANCO; MUPPALA, J.; TRIVEDI, K. SPNP: stochastic petri net package. **Petri Nets and Performance Models, PNPM89, Third International Workshop on**, Kyoto, JP, p.142–151, 1989.

COOPER, T.; FARRELL, R. Value-Chain Engineering of a Tower-Top Cellular Base Station System. **Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th**, Dublin, IE, p.3184–3188, 2007.

CTIA. **Wireless Quick Facts**. Disponível em <http://www.ctia.org/your-wireless-life/how-wireless-works/wireless-quick-facts>, acessado em Out 2014.

DAMASO ANTONIO.; FREITAS, D. R. N. S. B.; MACIEL, P. Evaluating the Power Consumption of Wireless Sensor Network Applications Using Models. **Sensors (Basel, Switzerland)**, [S.l.], v.13.3, p.3473–3500, 2013.

DEARDEN ANDY; WRIGHT, P. B. S. R. F. C. M.; WOLSTENHOLME, D. Pervasive healthcare in lived experience: thinking beyond the home. **Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2010 4th International Conference on-NO PERMISSIONS**, Munich, DE, p.1–4, 2010.

DIGITAL, O. **Do ICQ ao Facebook: uma breve história dos mensageiros instantâneos**. Disponível em <http://olhardigital.uol.com.br/noticia/historia-dos-mensageiros-instantaneos/30392>, acessado em Nov 2014.

DOUKAS CHARALAMPOS; PLIAKAS, T.; MAGLOGIANNIS, I. Mobile Healthcare Information Management utilizing Cloud Computing and Android OS. **32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS**, Buenos Aires, AR, p.1037–1040, 2010.

EBELING, C. E. **An introduction to reliability and maintainability engineering**. [S.l.]: McGraw-Hill, 2004. (Electrical engineering series).

EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. **An introduction to the bootstrap**. [S.l.]: CRC Press, 1994.

FETTE, I. **The WebSocket Protocol**. Disponível em <https://tools.ietf.org/html/rfc6455>, acessado em Mai 2014.

FETTE, I.; MELNIKOV, A. **RFC 6455: the websocket protocol**. [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-hybi-thewebsocketprotocol-17>, acessado em Fev 2012.

GIRAULT, C.; VALK, R. **Petri Nets for Systems Engineering: a guide to modeling, verification, and applications**. [S.l.]: Springer-Verlag, 2002.

GORDON MARK; ZHANG, L.; TIWANA, B. **Power Tutor**. 2013.

HAPNER, M. et al. Java message service. **Sun Microsystems Inc.**, Santa Clara, US, 2002.

HARRISON RACHEL; FLOOD, D.; DUCE, D. **Usability of mobile applications: literature review and rationale for a new usability model**. Disponível em <http://www.journalofinteractionscience.com/content/1/1/1>, acessado em Fev 2014.

HICKSON, I. The websocket api. **W3C Working Draft WD-websockets-20110929, September**, [S.l.], 2011.

HOLLISTER, S. **Mobile devices account for nearly 10 percent of Internet traffic, according to statcounter**. Disponível em <http://www.theverge.com/2012/5/11/3012957/mobile-devices-account-for-nearly-10-percent-of-internet-traffic>, acessado em Mai 2013.

HUGHES, N. **Mobile app use surged 115% in 2013, messaging & social apps saw most growth**. Disponível em <http://appleinsider.com/articles/14/01/13/app-use-surged-115-in-2013-messaging-social-apps-saw-most-growth>, acessado em Jan 2014.

ISTEPANIAN ROBERT; LAXMINARAYAN, S.; PATTICHIS, C. S. **M-Health: emerging mobile health systems**. [S.l.]: Springer US, 2006. (Topics in Biomedical Engineering. International Book Series).

JABBER, I. **Jabber Technology**. Disponível em <http://www.cisco.com/web/about/ac49/ac0/ac1/ac258/JabberInc.html>, acessado em Jun 2011.

JAIN, R. **The Art of Computer Systems Performance Analysis: techniques for experimental design, measurement, simulation, and modeling**. [S.l.]: Wiley, 1991.

J'SON; PARTNERS, C. C. **Mobile instant messaging systems as a direct threat to SMS**. Disponível em [http://www.json.ru/en/poleznye\\_materialy/free\\_market\\_watches/analytics/mobilnye\\_messendzhery\\_kannibaliziruyut\\_sms/](http://www.json.ru/en/poleznye_materialy/free_market_watches/analytics/mobilnye_messendzhery_kannibaliziruyut_sms/), acessado em Nov 2014.

KALIC GORAN; BOJIC, I.; KUSEK, M. Energy Consumption in Android Phones when using Wireless Communication Technologies. **MIPRO, Proceedings of the 35th International Convention**, Opatija, HR, p.754–759, 2012.

KANITKAR, V.; DELIS, A. Real-Time Client-Server Push Strategies: specification and evaluation. **Real-Time Technology and Applications Symposium, 1998. Proceedings. Fourth IEEE**, [S.l.], p.179–188, 1998.

KIM DONG SEONG; MACHIDA, F.; TRIVEDI, K. S. Availability modeling and analysis of a virtualized system. **Dependable Computing, 2009. PRDC '09. 15th IEEE Pacific Rim International Symposium on**, Shanghai, CN, p.365–371, 2009.

KLEINROCK, L. **Theory, volume 1, Queueing systems**. [S.l.]: Wiley-interscience, 1975.

KORHONEN, I.; BARDRAM, J. Guest Editorial - Introduction to the Special Section on Pervasive Healthcare. **IEEE Transactions of Information Technology in Biomedicine**, [S.l.], v.8, n.3, p.229–234, 2004.

KUO, W.; J., Z. M. **Optimal Reliability Modeling: principles and applications**. [S.l.]: Wiley, 2002.

KUSZKA, B. **Dispositivos móveis: a interface com o mundo**. Disponível em <http://corporate.canaltech.com.br/coluna/mobile/Dispositivos-moveis-a-interface-com-o-mundo/>, acessado em Ago 2014.

LAPRIE JEAN-CLAUDE C.; AVIZIENIS, A. K. H. **Dependability: basic concepts and terminology**. [S.l.]: Springer-Verlag Wien, 1992.

MACIEL PAULO R. M.; LINS, R. D.; CUNHA, P. R. F. Uma Introdução às Redes de Petri e Aplicações. **Brazilian Computer Society**, [S.l.], v.1, n.1, 1996.

MACIEL PAULO R. M.; TRIVEDI, K. S. M. R. J.; KIM, D. S. **Performance and Dependability in Service Computing**: concepts, techniques and research directions. [S.l.]: IGI Global, 2011. 53–97p. v.1, n.1.

MACIEL PAULO R. M.; TRIVEDI, K. S. M. R.; KIM, D. S. **Performance and Dependability in Service Computing**: concepts, techniques and research directions. [S.l.]: IGI Global, 2012. 53–97p.

MAHEU MARLENE M.; WHITTEN, P.; ALLEN, A. **E-Health, Telehealth, and Telemedicine**: a guide to startup and success. [S.l.]: Wiley, 2001.

MARSAN, M. A. **Stochastic petri nets**: an elementary introduction. [S.l.]: Springer, 1989. 1–29p.

MATOS RUBENS; ARAUJO, J. O. D.; TRIVEDI, K. Sensitivity Analysis of Hierarchical Modeling for Mobile Cloud Computing. **Simulation Modelling Practice and Theory.**, [S.l.], p.1–25, 2014.

MCCARTHY, D.; CRANE, C. **Comet and Reverse Ajax**: the next-generation ajax 2.0. [S.l.]: Apress, 2008.

MCCARTY, B. **The History of the smartphone**. Disponível em <http://thenextweb.com/mobile/2011/12/06/the-history-of-the-smartphone>, acessado em Nov 2014.

MENDONCA, A. **Mobilidade em Análise**. Disponível em <http://www.devmedia.com.br/mobilidade-em-analise/3309>, acessado em Nov 2014.

MODCS. **Mercury Tool Manual**. Disponível em <http://www.cin.ufpe.br/~bs/MercuryTool/mercury.html>, acessado em Out 2013.

MURATA, T. State Equation, Controllability, and Maximal Matchings of Petri Nets. **Automatic Control, IEEE Transactions on**, [S.l.], p.412–416, 1977.

NAMBOODIRI, V.; GHOSE, T. To cloud or not to cloud: a mobile device perspective on energy consumption of applications. **World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2012 IEEE International Symposium on a**, California, US, p.1–9, 2012.

OLGUIN DANIEL OLGUÍN; GLOOR, P. A.; PENTLAND, A. S. Wearable Sensors for Pervasive Healthcare Management. **Pervasive Computing Technologies for Healthcare, 2009. PervasiveHealth 2009. 3rd International Conference on**, London, UK, p.1–4, 2009.

OLIVEIRA DANILO; ARAUJO, J. M. R.; MACIEL, P. Availability and Energy Consumption Analysis of Mobile Cloud Environments. **Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2013 IEEE International Conference on**, Manchester, UK, p.4086–4091, 2013.

PEREDNIA, D. A.; ALLEN, A. Telemedicine technology and clinical applications. **Jama**, [S.l.], v.273, n.6, p.483–488, 1995.

PERERA, C. The Evolution of E-Health – Mobile Technology and mHealth. **Mobile Technology in Medicine, Journal of**, [S.l.], p.1–2, 2012.

PERRUCCI GIAN PAOLO.; FITZEK, F. H.; WIDMER, J. Survey on Energy Consumption Entities on the Smartphone Platform. **Vehicular Technology Conference (VTC Spring), IEEE 73rd**, Yokohama, JP, p.1–6, 2011.

PERRY MARK; O'HARA, K. S. A. B. B.; HARPER, R. Dealing with Mobility: understanding access anytime, anywhere. **ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)**, New York, US, v.8, n.4, p.323–347, 2001.

POLVOAS, A. P. **Internet das Coisas e Mobilidade: o mundo da interação**. Disponível em <http://pucposcom-rj.com.br/wp-content/uploads/2013/11/Ana-Paulla-Póvoas.pdf>, acessado em Mai 2014.

QUALCOMM. **The Evolution of Mobile Technologies: 1g - 2g - 3g - 4g lte**. Disponível em <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/the-evolution-of-mobile-technologies-1g-to-2g-to-3g-to-4g-lte.pdf>, acessado em Out 2014.

RAHEJA, D.; GULLO, L. J. **Design for Reliability**. [S.l.]: Wiley, 2012.

RAUSAND, M.; HOYLAND, A. **System reliability theory: models, statistical methods, and applications**. [S.l.]: Wiley-Interscience, 2003. v.396.

RUSSEL, A. **Comet: low latency data for browsers**. Disponível em <http://infrequently.org/wp-content/LowLatencyData.pdf>, acessado em Mai 2013.

SAINT-ANDRE, P. **Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP): core**. Disponível em <http://tools.ietf.org/html/rfc3920>, acessado em Abr 2004, RFC 3920.

SAINT-ANDRE, P. **XMPP Extensions**. Disponível em <http://xmpp.org/xmpp-protocols/xmpp-extensions/>, acessado em Fev 2010.

SAMSUNG. **Tech Specs to Galaxy Mini**. Disponível em [http://www.samsung.com/galaxyace/mini\\_techspec.html](http://www.samsung.com/galaxyace/mini_techspec.html), acessado em Dez 2013.

SANDLOTSOLUTIONS. **75% of physicians use iPad or iPhone, survey shows**. Disponível em <http://www.sandlotsolutions.com/knowledge-resources/industry-news-items/2011/05/09/75-physicians-use-ipad-or-iphone-survey-shows>, acessado em Out 2014.

SCHNEIDER FABIAN; AGARWAL, S. A. T.; FELDMANN, A. The new web: characterizing ajax traffic. **Passive and Active Network Measurement**, Cleveland, US, p.31–40, 2008.

SHOUMAN, M. L. **Reliability of Computer Systems and Networks: fault tolerance, analysis, and design**. [S.l.]: John Wiley Sons, 2002.

SNOW ANDREW P.; CHEN, A. Y.; WECKMAN, G. R. Multi-Episodic Dependability Assessments for Large-Scale Networks. **ICN 2011 : The Tenth International Conference on Networks**, [S.l.], p.441–448, 2011.

SNOW ANDREW P.; VASHNEY, U.; MALLOY, A. D. Reliability and survivability of wireless and mobile networks. **Computers**, [S.l.], v.33, p.49–55, 2002.

SOUZA, E. T. G. d. Modelagem de desempenho, dependabilidade e custo para o planejamento de infraestruturas de nuvens privadas. **Tese de doutorado**, [S.l.], p.34–36, 2015.

SPINA G.; ROBERTS, F. W. J. L. P.; AMFT, O. CRNTC+: a smartphone-based sensor processing framework for prototyping personal healthcare applications. **Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2013 7th International Conference on**, Venice, IT, p.252–255, 2013.

SUDHA, G.; GANESAN, R. Secure transmission medical data for pervasive healthcare system using android. **Communications and Signal Processing (ICCSP), 2013 International Conference on**, Melmaruvathur, IN, p.433–436, 2013.

TAVARES EDUARDO; SILVA, B.; MACIEL, P. An Environment for Measuring and Scheduling Time-Critical Embedded Systems with Energy Constraints. **Software Engineering and Formal Methods, 2008. SEFM '08. Sixth IEEE International Conference on**, [S.l.], p.291–300, 2008.

TELEMEDICINE, I. **Telemedicine**. Disponível em <http://www.microsoft.com/en-ca/corp/health/telemedicine.aspx>, acessado em Mai 2014.

THINKTANK, E. P. I. **Watts UP**. Disponível em <https://www.wattsupmeters.com/secure/products.php?pn=0>, acessado em Mai 2013.

TRESTIAN RAMONA; MOLDOVAN, A.-N. O. O.; MUNTEAM, G.-M. Energy Consumption Analysis of Video Streaming to Android Mobile Devices. **Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2012 IEEE**, Maui, HI, p.444–452, 2012.

TRIVEDI, K. S. **Probability and Statistics with Reliability, Queuing, and Computer Science Applications**. [S.l.]: John Wiley and Sons, 2001.

TRIVEDI, K. S. **Sharpe Portal**. Disponível em <http://sharpe.pratt.duke.edu/>, acessado em Mai 2013.

VALLINA-RODRIGUEZ, N.; CROWCROFT, J. Energy Management Techniques in Modern Mobile Handsets. **Communications Surveys Tutorials, IEEE**, [S.l.], v.15, p.179–198, 2012.

VARSHNEY, U. Pervasive Healthcare and Wireless Health Monitoring. **Mobile Netw Appl, Springer Science + Business Media**, [S.l.], p.113–127, 2007.

VLECK, T. V. **The History of Electronic Mail**. Disponível em <http://www.multicians.org/thvv/mail-history.html>, acessado em Mar 2014.

WROBLEWSKI, L. **Data Monday: mobile only**. Disponível em <http://www.lukew.com/ff/entry.asp?1405>, acessado em Nov, 2014.

XUEFU, B.; YANG, M. Design and implementation of web Instant Message System based on XMPP. **Software Engineering and Service Science (ICSESS), 2012 IEEE 3rd International Conference on**, Beijing, CN, p.83–88, 2012.

YUAN, M. J. **Enviando notificações de push a dispositivos iOS**. Disponível em <http://www.ibm.com/developerworks/br/library/mo-ios-push/>, acessado em Mai 2014.

ZIEFLE, M.; RÖCKER, C. Acceptance of Pervasive Healthcare Systems: a comparison of different implementation concepts. **Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2010 4th International Conference on-NO PERMISSIONS**, Munich, DE, p.1–6, 2010.

ZIMMERMANN, A.; KNOKE, M. **A Software Tool for the Performability Evaluation with Stochastic and Colored Petri Nets**. Disponível em [http://www2.tu-ilmeneau.de/sse\\_file/timenet/ManualHTML4/UserManual.html](http://www2.tu-ilmeneau.de/sse_file/timenet/ManualHTML4/UserManual.html), acessado em Mai 2013.

# **Apêndice**

# A

## Informações complementares ao estudo

### A.1 Projeção de tempos

A projeção é calculada com base em quantas vezes o valor deve ser considerado para totalizar o volume de horas, Exemplo em 4 horas 5min=48, 10min=24, 15min=16, 30min=8, 1h=4, 2h=2, 3h=1,5.

**Tabela A.1:** Tabela de projeção de tempo para 4 horas

Tempo	Short polling	Comet (long-polling)	WebSocket	XMPP
5 minutos	26,0%	2,9%	23,0%	24,1%
10 minutos	13,8%	2,7%	22,2%	25,1%
15 minutos	8,5%	0,8%	14,4%	15,8%
30 minutos	3,9%	0,2%	6,6%	5,4%
1 hora	1,8%	0,8%	3,1%	2,1%
2 horas	0,5%	0,7%	0,9%	0,4%
3 horas	0,4%	0,6%	0,4%	0,0%

**Tabela A.2:** Tabela de projeção de tempo para 3 horas

Tempo	Short polling	Comet (long-polling)	WebSocket	XMPP
5 minutos	25,7%	3,4%	22,7%	24,0%
10 minutos	13,4%	3,3%	21,9%	25,1%
15 minutos	8,2%	1,4%	14,1%	15,8%
30 minutos	3,5%	0,8%	6,2%	5,3%
1 hora	1,4%	0,2%	2,7%	2,1%
2 horas	0,1%	0,1%	0,5%	0,4%
4 horas	0,4%	0,6%	0,4%	0,0%

**Tabela A.3:** Tabela de projeção de tempo para 2 horas

Tempo	Short polling	Comet (long-polling)	WebSocket	XMPP
5 minutos	25,6%	3,6%	22,3%	23,8%
10 minutos	13,3%	3,4%	21,5%	24,8%
15 minutos	8,1%	1,5%	13,7%	15,4%
30 minutos	3,4%	0,9%	5,8%	5,0%
1 hora	1,3%	0,1%	2,2%	1,7%
3 horas	0,1%	0,1%	0,5%	0,4%
4 horas	0,5%	0,7%	0,9%	0,4%

**Tabela A.4:** Tabela de projeção de tempo para 1 horas

Tempo	Short polling	Comet (long-polling)	WebSocket	XMPP
5 minutos	24,7%	3,6%	20,6%	22,4%
10 minutos	12,2%	3,5%	19,7%	23,5%
15 minutos	6,8%	1,6%	11,7%	14,0%
30 minutos	2,1%	1,0%	3,6%	3,3%
2 horas	1,3%	0,1%	2,2%	1,7%
3 horas	1,4%	0,2%	2,8%	2,1%
4 horas	1,8%	0,8%	3,2%	2,2%

**Tabela A.5:** Tabela de projeção de tempo para 30 minutos

Tempo	Short polling	Comet (long-polling)	WebSocket	XMPP
5 minutos	23,0%	2,7%	17,6%	19,7%
10 minutos	10,3%	2,5%	16,7%	20,9%
15 minutos	4,8%	0,6%	8,4%	11,0%
1 hora	2,2%	1,0%	3,8%	3,5%
2 horas	3,5%	0,9%	6,1%	5,3%
3 horas	3,6%	0,8%	6,7%	5,6%
4 horas	4,0%	0,2%	7,1%	5,7%

**Tabela A.6:** Tabela de projeção de tempo para 15 minutos

Tempo	Short polling	Comet (long-polling)	WebSocket	XMPP
5 minutos	19,1%	2,1%	10,0%	9,8%
10 minutos	5,7%	1,9%	9,1%	11,1%
30 minutos	5,1%	0,6%	9,2%	12,4%
1 hora	7,3%	1,6%	13,3%	16,3%
2 horas	8,8%	1,5%	15,8%	18,3%
3 horas	8,9%	1,4%	16,4%	18,7%
4 horas	9,3%	0,8%	16,9%	18,8%

**Tabela A.7:** Tabela de projeção de tempo para 10 minutos

Tempo	Short polling	Comet (long-polling)	WebSocket	XMPP
5 minutos	14,2%	0,1%	1,1%	1,4%
15 minutos	6,1%	2,0%	10,0%	12,5%
30 minutos	11,5%	2,6%	20,0%	26,4%
1 hora	13,9%	3,6%	24,6%	30,8%
2 horas	15,4%	3,5%	27,4%	33,0%
3 horas	15,5%	3,4%	28,0%	33,5%
4 horas	16,0%	2,8%	28,5%	33,6%

**Tabela A.8:** Tabela de projeção de tempo para 5 minutos

Tempo	Short polling	Comet (long-polling)	WebSocket	XMPP
10 minutos	16,6%	0,1%	1,1%	1,4%
15 minutos	23,7%	2,1%	11,1%	10,9%
30 minutos	29,9%	2,7%	21,3%	24,6%
1 hora	32,7%	3,8%	25,9%	28,9%
2 horas	34,5%	3,7%	28,7%	31,2%
3 horas	34,6%	3,5%	29,4%	31,6%
4 horas	35,2%	3,0%	29,9%	31,7%

# B

## Estratégias de medição de energia

Estratégias para medição de energia abordadas na pesquisa antes da adoção pela metodologia através do Arduino. A primeira aborda utilização de uma API do sistema operacional para medir o percentual de energia na bateria do dispositivo. A segunda utiliza elemento externo para capturar a tensão em Wh entre o fornecimento externo de energia e o dispositivo móvel. Na terceira o dispositivo móvel têm uma captura entre sua fonte de energia e seu processador. As estratégias utilizadas antes da adoção do Arduino são explicitadas à seguir.

### B.1 API

A primeira estratégia de medição de energia, baseia-se na utilização de APIs, uma interface do sistema operacional do dispositivo móvel. Nas pesquisas anteriores desenvolvidas por [OLIVEIRA DANILO; ARAUJO; MACIEL \(2013\)](#), foi utilizada a estratégia de medição do consumo de energia através de aplicação, utilizando API do sistema operacional Android, incluída no desenvolvimento da aplicação de recebimento de mensagens. Outras aplicações para medição do consumo de energia de cada serviço do dispositivo móvel foram testadas, Power Tutor mensura o consumo de cada serviço em execução no dispositivo. As estratégias através de aplicativos apresentaram dificuldades como:

- Informações em % de carga restante de bateria.
- Aplicações com elevado impacto no consumo de processamento e energia do dispositivo móvel.

### B.2 Watts up

A segunda estratégia de medição de energia, utiliza um *sniffer*, um elemento externo conectado entre a fonte de energia e o carregador do dispositivo móvel. A Figura B.1 apresenta a conexão realizada. Com a bateria do dispositivo móvel totalmente carregada é iniciada a captura

instantânea da tensão utilizada para repor a carga, através do carregador. Nesta estratégia houve dificuldades como:

- Falta de precisão com baixos valores, apenas duas unidades decimais.
- Registra a carga da bateria, existência de valores negativos devido ao ciclo de carga e descarga.



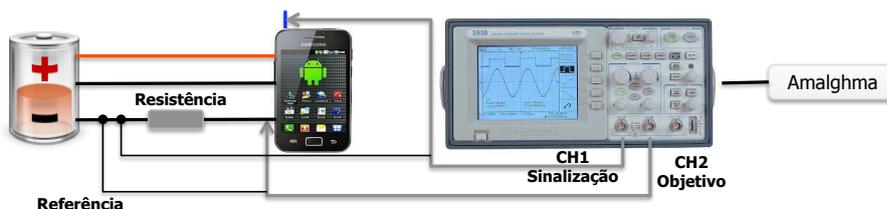
**Figura B.1:** Test-bed de medição de energia com Watts up.

## B.3 Amalghma

O trabalho desenvolvido por [DAMASO ANTONIO.; FREITAS; MACIEL \(2013\)](#) utiliza estratégia de medição de energia através da ferramenta Amalghma de [TAVARES EDUARDO; SILVA; MACIEL \(2008\)](#). A estratégia de medição de energia foi desenvolvida para proporcionar medição direta do fluxo de energia entre bateria e o dispositivo, coleta e cálculo pelo recurso. A estratégia foi utilizada nos experimentos intermediários porém apresentou dificuldades quando executado por longos tempos. Tais dificuldades encontradas são:

- Inversão da onda com elevado tempo de experimentação.
- Interferência do reconhecimento do sinalizador, zerando os dados.

A Figura B.2 representa a conexão do dispositivo móvel com o recurso Amalghma para medição, inicialmente foi utilizado a bateria e posteriormente substituído por uma fonte de energia.



**Figura B.2:** Test-bed de medição de energia com Amalghma.

# C

## *Script* para cálculo de disponibilidade

Script desenvolvido para validação do modelo CTMC a partir de valores aleatórios simulados com IC de 95% e erro máximo 5%. São gerados 500 valores para cada uma das quatro taxas no modelo,  $\lambda_w$ ,  $\lambda_{3g}$ ,  $\lambda_{2g}$ ,  $\lambda_{sb}$ ,  $\mu$ .

```
'''
```

```
@author: vcos
```

```
'''
```

```
import csv
```

```
from decimal import *
```

```
#define precisao decimal dos calculos
```

```
getcontext().prec = 9
```

```
#variaveis
```

```
def ctmc_calc(u, ysb, yw, y2g, y3g, pw, p2g, p3g):
```

```
    numerador_disponibilidade = ((y2g*y3g) * ((p2g*y2g)
    + (p3g*y3g) + (pw*yw) + ysb) * yw)
```

```
    denominador_disponibilidade = ((y2g*y3g) * ((p2g*y2g)
    + (p3g*y3g) + (pw*yw) + ysb) * yw) + ((3*pw*yw*y2g*y3g)
    + ((3*p3g*y3g*y2g) + ((3*p2g*y2g) + y2g) * y3g) * yw) * u
```

```
    disponibilidade = 1 - (numerador_disponibilidade /
    denominador_disponibilidade)
```

```
    return disponibilidade
```

```
pass
```

```
if __name__ == '__main__':
    resultados = []
    with open('base_ctmc.csv', 'rU') as csvfile:
        entradas_reader = csv.reader(csvfile, dialect='excel')
        for row in entradas_reader:
            cmtc = ctmc_calc(u=Decimal(row[0]),
                             ysb=Decimal(row[7]), yw=Decimal(row[2]),
                             y2g=Decimal(row[4]), y3g=Decimal(row[6]),
                             pw=Decimal(row[1]), p2g=Decimal(row[3]),
                             p3g=Decimal(row[5]))

            resultados.append(cmtc)
            print cmtc

    with open('resultados.csv', 'wb') as csvfile_resultado:
        saidas_writer = csv.writer(csvfile_resultado,
                                   dialect='excel')

        for resultado in resultados:
            saidas_writer.writerow([str(resultado)])
    pass
```

Os intervalos de confiança para geração dos valores aleatórios são determinados a partir do método *bootstrap* [EFRON; TIBSHIRANI \(1994\)](#). O script abaixo foi utilizado na ferramenta R para aplicação do método *bootstrap* afim de determinar o IC para as amostras.

```
,,,
```

```
@author: vcos
```

```
,,,
```

```
fvcos <- function(data, indices) {
  dataselecionada <- data[indices]
  return (mean(dataselecionada))
}
tempo <- read.table("amostratempo1.txt", head=T, sep=";", dec=".",
stringsAsFactors=F, na.strings="unknown")
results <- boot(data=tempo[,webwifi], statistic=fvcos, R=1000)
results
plot(results)
boot.ci(results, conf=0.95, type="bca")
```