



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

**Avaliação da Eficiência do Padrão IEEE 802.3az na
Infraestrutura de TI da Universidade de Brasília**

Alex Anderson Dantas Fidelis

Dissertação apresentada como requisito parcial para conclusão do
Mestrado Profissional em Computação Aplicada

Orientador
Prof. Dr. Jacir Luiz Bordim

Brasília
2015

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

FF451a Fidelis, Alex Anderson Dantas
Avaliação da Eficiência do Padrão IEEE 802.3az na
Infraestrutura de TI da Universidade de Brasília /
Alex Anderson Dantas Fidelis; orientador Jacir Luiz
Bordim. -- Brasília, 2015.
82 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado Profissional em
Computação Aplicada) -- Universidade de Brasília, 2015.

1. Padrão IEEE 802.3az. 2. Ethernet Eficiente em
Energia. 3. Economia de Energia. 4. Redes de
Computadores. I. Bordim, Jacir Luiz, orient. II.
Título.

Dedicatória

É para você meu pai! “O meu medo maior é o espelho se quebrar!”

Agradecimentos

A Deus, por ter me mantido seguidor de seus ensinamentos e perseverante no objetivo final desta empreitada.

À minha mãe e meus irmãos, pelo apoio constante em minhas decisões e pelo exemplo de empenho na busca de seus objetivos.

À minha namorada, que foi um poço de compreensão comigo nos momentos mais tensos, conseguindo mostrar tranquilidade e um companheirismo valoroso.

Ao parceiro Claudio Xavier de Oliveira, que esteve nesta caminhada de curso do início ao fim, passando pelas mesmas dificuldades, dividindo tristezas e alegrias em finais de semana, feriados, madrugadas... independente do que acontecesse. Uma amizade que se estreitou devido às adversidades trazidas pelo mestrado.

Aos professores do programa do Mestrado Profissional em Computação Aplicada, em especial, aos professores Marcelo Ladeira – coordenador do curso, sempre um exemplo de dedicação e entrega em busca de uma Universidade de Brasília (UnB) melhor – e Jacir Luiz Bordim – meu orientador, profissional exemplar com conhecimento imensurável, que sabe ver a necessidade do aluno ajudando-o com compreensão e humanidade.

Aos colegas de trabalho: Alessandro Caldeira, Alessandro Cordeiro, Antônio Vasconcelos, Daniel Guedes, Erasmo Losi, Fernando Brito, Ivan Viotti, Francisco Jackson, Justino Mendonça, Luiz Capdeville, Lucas Rodrigues, Marcelo Karam, Marivaldo, Maurício Shibata, Pedro Bretas, Renato Edésio, Samuel Oliveira e Vinício Cesário e, em especial, aos colegas Domingos Pereira e Juvenal Barreto, que com ética e profissionalismo, sempre me incentivam a ser um melhor profissional tanto na prática como na teoria.

Enfim, para todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste projeto, aos amigos do Alex Fidelis, muito obrigado!

Resumo

Buscando analisar o padrão IEEE 802.3az para economia de energia em redes de computadores, o presente estudo teve por objetivo avaliar a eficiência e eficácia do padrão para projeção do seu uso na infraestrutura de rede da Universidade de Brasília. Embora seja grande o empenho em busca do aumento da eficiência energética no que tange as áreas computacionais, as redes de computadores normalmente não têm a atenção devida quando o assunto é economia de energia. O padrão IEEE 802.3az, que proporciona a economia de energia em enlaces Ethernet com cabos UTP em momentos de baixa utilização, é o esforço mais promissor na busca da melhora do uso desses recursos. Neste sentido, diferentes testes foram realizados para verificar o funcionamento e comportamento do Ethernet Eficiente em Energia – EEE em diversas situações. Com base nos resultados obtidos com os experimentos foi possível observar que o EEE possibilita uma economia de até 30% no consumo de energia. No entanto, tal redução pode ser observada em momentos de baixa utilização dos recursos de rede. Tendo em vista a sazonalidade da utilização dos recursos computacionais na referida Universidade e as características do tráfego da rede, é possível identificar os locais com maior potencial de ganho com a utilização do EEE. Em suma, os estudos aqui empreendidos possibilitam tal análise e podem servir de norte para a tomada de decisão no que tange a alocação de equipamentos com suporte ao EEE na Universidade de Brasília, uma vez que os ganhos em economia de energia estimados por equipamento, em momentos de ociosidade, chegaram a 0,142 kWh, além de uma previsão de redução no consumo energético de até 2,57 vezes menos em relação aos *switches* convencionais atualmente utilizados.

Palavras-chave: Padrão IEEE 802.3az, Ethernet Eficiente em Energia, Economia de Energia, Redes de Computadores

Abstract

Aiming at evaluating the IEEE 802.3az standard for energy savings, this work analyzes its efficiency and effectiveness in the network infrastructure of the University of Brasilia. While there is a great commitment in pursuing alternatives to increased energy efficiency in computing areas, computer networks usually lack a proper attention when it comes to energy savings. The IEEE 802.3az standard is the most promising effort in providing energy savings on under-utilized Ethernet links using UTP cables. This work evaluates the IEEE 802.3az standard and its benefits in terms of energy savings. In this context, different tests have been performed to check the operation and behavior of the Energy-Efficient Ethernet (EEE) in various situations. The results show that EEE can provide energy savings up to 30% in the evaluated settings. The use of the computing resources at UnB and the characteristic of network traffic provides insights on locations having the greatest EEE potential gains. The obtained results may serve as input for decision making regarding the allocation of the equipment to support the EEE. Gains in estimated energy savings for equipment, during idleness periods, reached 0.142 kWh, besides a reduction in the energy consumption prediction to 2.57 times less than conventional switches currently used.

Keywords: IEEE Standard 802.3az, Energy-Efficient Ethernet, Energy Saving, Computer Network

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação	3
1.2	Objetivos	4
1.3	Metodologia	4
1.4	Estrutura do Trabalho	5
2	Fundamentação Teórica	6
2.1	<i>Green Network</i>	6
2.2	<i>Adaptive Link Rate - ALR</i>	8
2.2.1	ALR MAC <i>Frame Handshake Mechanism</i>	9
2.2.2	Política de Duplo-Limiar ALR	9
2.2.3	Política de Utilização-Limiar ALR	11
2.3	Padrão IEEE 802.3az	14
2.3.1	Surgimento do Padrão IEEE 802.3az	15
2.3.2	Ethernet Eficiente em Energia	16
2.4	Estado da Arte	22
2.5	Resumo Conclusivo	24
3	EEE na Infraestrutura de TIC da UnB	25
3.1	A Rede de Comunicação da Universidade de Brasília (REDUnB)	25
3.2	Características do Tráfego da REDUnB	29
3.2.1	Localidades Selecionadas para Estudo	31
3.2.2	Ferramenta Utilizada para Coleta e Análise do Tráfego	33
3.2.3	Avaliações e Resultados Obtidos	36
3.2.4	<i>Switch</i> sem EEE Avaliado	39
3.3	Resumo Conclusivo	41
4	EEE: Experimentos e Resultados	42
4.1	Ferramentas Utilizadas	43
4.2	Experimento 1 - Análise do EEE em Períodos de Ociosidade	44

4.2.1	Especificação dos Testes	45
4.2.2	Método de Realização	45
4.2.3	Análise dos Resultados	45
4.3	Experimento 2 - Relação Consumo de Energia \times Vazão	46
4.3.1	Especificação dos Testes	47
4.3.2	Método de Realização	48
4.3.3	Análise dos Resultados	49
4.4	Experimento 3 - Relação de Consumo de Energia \times Variação no Tamanho dos Pacotes	51
4.4.1	Método de Realização	51
4.4.2	Análise dos Resultados	51
4.5	Experimento 4 - Relação Consumo de Energia \times Intervalo entre Quadros	52
4.5.1	Método de Realização	52
4.5.2	Análise dos Resultados	53
4.6	Potencial Economia de Energia	55
4.7	Avaliação do Impacto da Abordagem EEE na REDUnB	58
4.8	Resumo Conclusivo	59
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	60
	Referências	63

Lista de Figuras

2.1	Avaliação de mecanismos de <i>Green Ethernet</i>	7
2.2	Diagrama de tempo de um mecanismo <i>handshake</i> de quadros MAC ALR	10
2.3	Exemplo de interface de rede com <i>buffer</i> de saída com limiares altos e baixos	11
2.4	Diagrama de estados da política de Duplo-Limiar ALR	12
2.5	Diagrama da política de Utilização-Limiar ALR	13
2.6	Tempo médio de resposta e percentual de tempo na taxa reduzida	14
2.7	Linha de tempo criação do padrão IEEE 802.3az	16
2.8	Consumo ideal de energia em função da utilização	17
2.9	Transições entre os modos no EEE	18
2.10	Diagrama EEE	19
3.1	Área de cobertura da REDUnB	26
3.2	Visão ampla da REDUnB	28
3.3	Topologia da REDUnB dividida em níveis	29
3.4	Distribuição de <i>switches</i> pelo prédio da Reitoria	32
3.5	Distribuição de <i>switches</i> pelo prédio do CIC/EST	33
3.6	Tela que apresenta coleta de largura de banda utilizada	36
3.7	Tela que apresenta coleta da relação entre o tamanho dos pacotes trafegados	36
3.8	Consolidação das coletas referentes à largura de banda utilizada (médias e picos)	38
3.9	Consolidação das coletas referentes ao tamanho dos pacotes	38
3.10	Cenário de realização das capturas do consumo energético do <i>switch</i> C5G124-24	40
3.11	Relação portas em uso vs consumo energético <i>switch</i> C5G124-24	41
4.1	Cenário de realização do experimento 1	46
4.2	Relação portas em uso vs consumo energético	47
4.3	Cenário de realização do experimento 2	48
4.4	Relação entre carga vs consumo energético com regressão (TCP)	49
4.5	Relação entre carga vs consumo energético com regressão (UDP)	50

4.6	Relação entre tamanho de pacote enviado vs consumo energético (TCP e UDP)	53
4.7	Relação entre intervalo entre quadros enviados vs consumo energético (TCP e UDP)	54
4.8	Cálculo de consumo kWh/mês conforme simulador disponível em [6]	59
5.1	Mensagem de alerta do <i>switch</i> 08G20G4-24P sobre a mudança de velocidade de transmissão conjuntamente ao uso do EEE	61

Lista de Tabelas

1.1	Consumo energético de interfaces trabalhando em suas velocidades nativas	2
2.1	Valores dos tempos dos estados no padrão IEEE 802.3az	18
3.1	Ativos da REDUnB	30
3.2	Especificações técnicas <i>switch</i> Enterasys 08G20G4-24P	31
3.3	Escalas de capturas de dados	37
3.4	Especificações técnicas <i>switch</i> Enterasys C5G124-24	39
4.1	Especificações dos computadores utilizados no experimento 2	48
4.2	Comandos utilizados no experimento 2	49
4.3	Divisão dos pacotes em cada fluxo de dados	52
4.4	Comandos utilizados no experimento 4	53
4.5	Projeção de economia de energia pelas capturas em relação aos experimentos realizados - largura de banda CIC/EST	56
4.6	Projeção de economia de energia pelas capturas em relação aos experimentos realizados - largura de banda Reitoria	56
4.7	Projeção de economia de energia pelas capturas em relação aos experimentos realizados - tamanho de pacotes CIC/EST	57
4.8	Projeção de economia de energia pelas capturas em relação aos experimentos realizados - tamanho de pacotes Reitoria	57

Lista de Abreviaturas e Siglas

- ACE** Arquivo Central. 27
- ALR** Adaptive Link Rate. viii, 8, 9, 11–13, 20
- APF** Administração Pública Federal. 3
- ASN** Autonomous System Number. 23
- CEAD** Centro de Ensino à Distância. 23
- CEM4** Centro de Ensino Médio 4. 23
- CEMIG** Companhia Energética de Minas Gerais. 52
- CFI** Call for Interest. 13
- CIC/EST** Departamento de Ciência da Computação e Estatística. x, xii, 27, 49–51
- CLI** Command Line Interface. 37
- CPARTI** Comissão Permanente de Aquisição de Recursos de TI. 56
- CPD** Centro de Informática. 3, 22–25, 32, 55, 56
- CPU** Central Processing Unit. 19
- CRC** Cyclic Redundancy Check. 30
- EEB** Estação Experimental de Biologia. 23
- EEE** Energy Efficient Ethernet. viii–xi, 2, 3, 12–22, 26, 27, 32, 33, 36, 38–42, 44–46, 48–50, 52–56
- ESI** Energy Scaling Index. 2
- ESR** Energy Consumption Rate. 2

FAL Fazenda Água Limpa. 23

FCE Faculdade UnB Ceilândia. 22, 23

FGA Faculdade UnB Gama. 23

FIFO First In, First Out. 16

FINATEC Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos. 24

FT Faculdade de Tecnologia. 24

FUB Fundação Universidade de Brasília. 3, 4

FUP Faculdade UnB Planaltina. 23

GRE Gabinete do Reitor. 27

GWh Gigawatt-hora. 1

HUB Hospital Universitário de Brasília. 23

HVET-Granja Hospital Veterinário da Granja do Torto. 23

ICC Instituto Central de Ciências. 24

IE Instituto de Exatas. 27

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2, 6

IP Internet Protocol. 44

IPv4 Internet Protocol version 4. 23, 34, 56

IPv6 Internet Protocol version 6. 23, 34, 56

kWh quilowatt-hora. xi, 33, 36, 39, 52, 53

LAN Local Area Network. 4, 13

LPI Low Power Idle. 13–15, 18

MEC Ministério da Educação. 3

MPOG Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão. 3

MSS/MTU Maximum Segment Size/Maximum Transmission Unit. 37

MZ Mausezahn. 37, 38, 47

NLANDR/DAST National Laboratory for Applied Network Research/Distributed Application Support Team. 37

NPJ Núcleo de Práticas Jurídicas. 23

NS-2 Network Simulator 2. 18

OSPF v3 Open Shortest Path First version 3. 22

PC Personal Computer. 2

PJU Procuradoria Jurídica. 27

PoC Proof of Concept. 4

PoE Power over Ethernet. 55

QoS Quality of Service. 56

REDECOMEP Redes Comunitárias de Educação e Pesquisa. 22

REDUnB Rede de Comunicação da Universidade de Brasília. viii–x, xii, 3, 4, 21–26, 32, 34, 35, 49, 52, 53, 56

RJ45 Registered Jack 45. 33, 39, 52

SCS Setor Comercial Sul. 23

SECOM Secretaria de Comunicação. 27

SFP Small Form-factor Pluggable. 33, 39

SLTI Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. 3

TCP Transport Control Protocol. x, xi, 19, 37, 42–49, 51, 54

TIC Tecnologia da Informação e Comunicação. viii, 1, 3, 22, 56

UDP User Datagram Protocol. x, xi, 37, 42–49, 51, 54

UnB Universidade de Brasília. viii, 3, 4, 21–28, 31, 32, 34–36, 49, 52, 54–56

UTP Unshielded Twisted Pair. 2, 23, 33, 39, 41

VRT Vice Reitoria. 27

Capítulo 1

Introdução

O uso de recursos energéticos tem crescido em uma velocidade bastante acelerada nas últimas décadas. De acordo com [16], a necessidade brasileira deve ir de 472 mil Gigawatt-hora (GWh) em 2011, para 736 mil GWh no ano de 2021, ou seja, um aumento de mais de 50% no intervalo de uma década. O elevado aumento da demanda e os obstáculos governamentais no aumento da matriz energética tem obrigado o governo a aumentar tarifas como maneira de conter o consumo.

Atualmente, o mundo inteiro vem sofrendo problemas oriundos do consumo desenfreado de energia elétrica. As áreas ambientais, econômicas e sociais são as mais afetadas por esta prática. Neste sentido, a cada dia é mais comum a utilização de ideias que visem combater este problema. Assim, surge o conceito de “Computação Verde” (do Inglês, *Green Computing*) - termo que se refere a um conjunto de práticas voltadas ao setor tecnológico, as quais fazem parte *hardware*, *software* e o uso de recursos correlacionados, em busca de menor consumo energético e menor emissão de substâncias poluentes na atmosfera [17].

Conforme a nova demanda apresentada, várias iniciativas vêm sendo criadas. Padrões, equipamentos, políticas e normas são utilizadas para este meio. Iniciativas de empresas como, por exemplo, a gigante da tecnologia *Google*, por meio do *Google Green*, mostram uma maior preocupação com uso dos recursos energéticos [19]. O *Google Green* - uma iniciativa iniciada em 2007 - envolve desde a criação de linha de serviços verdes, o investimento na faixa de US\$ 1 bilhão em energia renovável e o uso de *data centers* inteligentes. Através destas práticas, a utilização de alimentação dos equipamentos é 50% menor do que as abordagens tradicionais [20].

De acordo com Chowdhury *et al.* [7], 30% da energia consumida no setor de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) foi atribuída às redes de computadores no ano de 2010. No *TOP 500 list* [55] tem-se que 41,4% dos supercomputadores mundiais em 2012, eram interligados por meio de enlaces Gigabit Ethernet. Tal fato se deu por ocasião de seu alto desempenho e relativo preço baixo. Em [54], é relatado que a energia utilizada

na Internet mundial em 2013, correspondeu a cerca de 10% do consumo total mundial, e que o número de equipamentos de usuários finais somaram 1,6 bilhão de PCs (do Inglês, *Personal Computers*) e *notebooks* conectados e 6 bilhões de dispositivos móveis, uma vez que a grande maioria destes equipamentos são conectados às suas respectivas redes através do padrão Ethernet - atualmente o padrão mais utilizado em comunicação de redes locais [31].

São três as principais taxas de dados suportadas e utilizadas atualmente pelo padrão fazendo uso de cabo de par trançado não blindado UTP (do Inglês, *Unshielded Twisted Pair*), a saber: 100 Mbps (100Base-TX), 1 Gbps (1000Base-T) e 10 Gbps (10GBase-T). Para as referidas taxas, os transmissores Ethernet fazem o seu envio continuamente, ou seja, mesmo quando não há dados para envio, o enlace mantém-se ativo, o que significa que os elementos das interfaces estejam ativos elevando o gasto energético nos equipamentos. Interfaces 1000Base-T, em sua camada física, normalmente consomem por volta de 0,5 W. Para as interfaces 10GBase-T, o consumo é em torno de 5 W. Estes valores variam de acordo com o fabricante e equipamento [9]. A Tabela 1.1, adaptada de [5], traz detalhadamente a relação do consumo energético conforme a velocidade do enlace, onde o Índice de Escala de Energia (do Inglês, *Energy Scaling Index* - ESI) e a Taxa de Consumo de Energia (do Inglês, *Energy Consumption Rate* - ESR) são diferentes métricas de consumo de energia/potência que podem ser reduzidas a valores equivalentes, conforme a equação que se segue:

$$W/Gbps = (J/s)/(Gbit/s) = J/Gbit = nJ/bit, \quad (1.1)$$

onde, W representa *watt*, J simboliza Joule e n representa nano J .

Tabela 1.1: Consumo energético de interfaces trabalhando em suas velocidades nativas

Taxa Nativa do Link	Potência por Interface	Índice de Escala de Energia (ESI) - Consumo por bit	Taxa de Consumo de Energia (ESR) - Potência por Gbps
10 Mbps	0,1 W	10 nJ/bit	10 W/Gbps
100 Mbps	0,2 W	2 nJ/bit	2 W/Gbps
1.000 Mbps	0,5 W	0,5 nJ/bit	0,5 W/Gbps
10.000 Mbps	5,0 W	0,5 nJ/bit	0,5 W/Gbps

Fundamentado neste uso contínuo de energia, foi desenvolvido pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), o padrão IEEE 802.3az denominado como *Energy-Efficient Ethernet* (EEE) ou *Green Ethernet* [39]. Tal padrão consiste na limitação de transmissão do enlace nos momentos cujo envio de dados não está ocorrendo. O mecanismo envia, em intervalos periódicos, curtas mensagens de atualização com a finalidade

de manter transmissor e receptor alinhados. O EEE foi desenvolvido para equipamentos que operam sobre cabos de par trançado. Esta norma implementa mecanismos de interrupção à transmissão no momento em que não há dados a serem enviados, e uma brusca retomada ao constatar chegada de novos pacotes para envio.

1.1 Motivação

A Fundação Universidade de Brasília (FUB), responsável por criar e manter a Universidade de Brasília (UnB), é uma entidade administrativa e financeiramente autônoma, vinculada ao Ministério da Educação (MEC) [13]. A parte de aquisição de contratação de bens governamentais da FUB é regida pelo Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão (MPOG), através da Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação (SLTI). A SLTI, em [50], editou a Instrução Normativa nº 1 de janeiro de 2010, que apresenta os critérios de sustentabilidade na contratação de obras, serviços e bens pela Administração Pública Federal (APF) direta, autárquica e fundacional. De acordo com [33], entre 2010 e março de 2012, 735 (setecentos e trinta e cinco) unidades de órgãos do governo que utilizam o sistema Comprasnet efetuaram 1.490 (um mil quatrocentos e noventa) licitações de bens classificados como sustentáveis, sendo adquiridos 4.146 (quatro mil cento e quarenta e seis) itens relacionados à TIC verde (divididos entre computadores *desktop* e *notebook*).

Neste sentido, verifica-se a preocupação da APF com uso de equipamentos sustentáveis. Assim, a UnB também vem pensando em soluções que equacionem o problema de desperdício de recursos energéticos. Uma das áreas que foi identificada como potencial para implementação de abordagens sustentáveis foi a Rede de Comunicação da Universidade de Brasília (REDUnB). Até então, os gestores de TIC do Centro de Informática (CPD) da UnB ainda não haviam traçado nenhum plano para explorar esta área - vista como algo potencial, uma vez que os equipamentos utilizados estão ligados em tempo integral e nem sempre estão sendo efetivamente utilizados. No trabalho de Karam [29], verificou-se o tráfego de saída e entrada da rede da UnB. Os testes foram feitos durante as 24 horas dos dias analisados. Observou-se uma grande discrepância na utilização da rede que tem sua capacidade máxima de enlace de 1 Gbps. Nos períodos da madrugada, a utilização chegou a ultrapassar 100 Mbps. No período diurno, o uso alcançou picos de 700 Mbps. A média de todos períodos chegou a 473 Mbps.

O uso proporcional dos recursos da rede de computadores da UnB fundamentou a procura por meios que minimizem o gasto com recursos energéticos. Os enlaces Ethernet, pelo seu funcionamento, mesmo sem o tráfego de dados, conservam-se ativos e consumindo potência equivalente ao período de quando estão trafegando pacotes. O elevado número de ativos de rede espalhados nas Instituições interligadas entre si e interligando usuários

finais configuram um grande desperdício de recursos energéticos pelo fato de estarem ligados e não estarem sendo utilizados.

1.2 Objetivos

O presente estudo teve por objetivo principal entender o funcionamento do padrão IEEE 802.3az para, posteriormente, implementá-lo de forma a alcançar os melhores benefícios para a REDUnB. Foram avaliadas as melhores formas de aproveitamento do padrão visando a economia nos recursos energéticos nas ligações realizadas com cabos de par trançado utilizando a arquitetura Ethernet.

Além do objetivo central, tem-se também os objetivos específicos - propósitos que norteiam a execução final do trabalho - conforme se segue:

- avaliação do nível de acesso da REDUnB para avaliar as características do seu tráfego;
- criação de um ambiente de rede experimental na UnB (prova de conceito, do Inglês, *Proof of Concepts - PoC*), com intuito de verificar a eficiência e eficácia do padrão IEEE 802.3az nos equipamentos adquiridos pela FUB; e
- comparação entre os resultados dos experimentos realizados com o ambiente de produção da REDUnB a fim de projetar economia de energia alcançável.

1.3 Metodologia

O método utilizado para execução da presente pesquisa teve por base a revisão dos conteúdos relacionados às redes de computadores e os principais protocolos que viabilizam o seu pleno funcionamento. Analisou-se também o estado da arte relacionado às técnicas de *Green Network* focando, principalmente, nas redes que funcionam sobre cabo de par trançado. As pesquisas correlatas à área de economia de energia sobre LAN (do Inglês, *Local Area Network*), também foram exibidas.

Para execução dos experimentos serão utilizados equipamentos em ambiente real utilizando diferentes ferramentas de injeção de tráfego. Os eventos gerados são fundamentados em situações reais com base no funcionamento cotidiano de uma rede de computadores. As topologias dos cenários utilizados foram apresentadas para um maior entendimento e visualização da execução dos testes.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, incluindo este inicial introdutório, no Capítulo 2 apresentação da revisão da literatura dos temas relacionados ao ramo de pesquisa do presente estudo, incluindo a revisão do estado da arte, evidenciando os trabalhos que auxiliaram a pesquisa. No Capítulo 3, apresentação da infraestrutura de rede da Universidade de Brasília e suas particularidades. O Capítulo 4, será de apresentação das ferramentas, ambientes de teste, experimentos e resultados obtidos. Finalmente, no Capítulo 5, relato das conclusões e apresentação das propostas relativas aos trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

O presente capítulo trata de uma breve revisão de conceitos e técnicas que se mostram essenciais para uma maior compreensão e entendimento do estudo aqui empreendido. Neste sentido, tem-se a apresentação e a exposição do conceito de *Green Network* e as principais técnicas relacionadas. Há um grande aprofundamento nas questões relacionadas ao padrão IEEE 802.3az. O capítulo tem como linhas finais a revisão do estado da arte dos estudos relacionados à economia de energia em redes de computadores.

2.1 *Green Network*

Por funcionar em tempo integral, as infraestruturas de redes e telecomunicações são responsáveis por considerável parcela do gasto energético das organizações. Suas particularidades despertam interesse em tornar sua utilização mais eficiente e sustentável. Neste sentido, surge uma nova área de estudo denominada *Green Network* [4]. Assim, a presente seção descreve as principais iniciativas relacionadas à economia de recursos energéticos nas redes de computadores, apresentando algumas técnicas voltadas ao *Green Network*.

Antes da ratificação do padrão 802.3az pela IEEE, de acordo com [52], algumas empresas introduziram tecnologias visando a redução de energia em enlaces Ethernet. Essas técnicas foram nomeadas como *Green Ethernet*. Uma destas técnicas, apresentada em [28], consiste em limitar a transmissão de energia conforme o tamanho do cabo. Nesta técnica, o comutador objetiva determinar a extensão do cabo e ajustar a potência de transmissão das interfaces. A implementação desta técnica é denominada “Alcance Curto” (do Inglês, *Short Reach*). Sem esta função, as interfaces transmitem com potência máxima para o limite do cabo (100 metros) para os padrões 100Base-TX e 1000Base-T. Porém, na utilização de um menor cabo, os altos níveis da transmissão são desnecessários. Com este envio com sinal mais fraco é que se tem economia de energia no transmissor. Este recurso

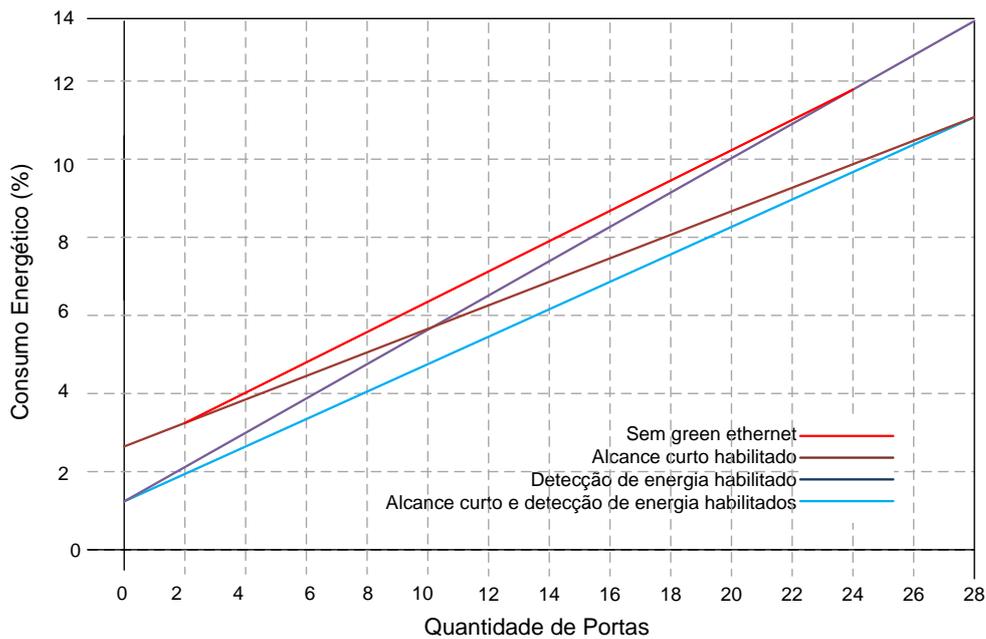


Figura 2.1: Avaliação de mecanismos de *Green Ethernet*

pode ser habilitado apenas no lado do comutador, dispensando qualquer configuração do outro lado da ligação.

Outra solução encontrada na área do *Green Ethernet* é a técnica de “Detecção de Energia” (do Inglês, *Energy Detect*) [10]. Esta técnica consiste no comutador posicionar portas e circuitos envolvidos na transmissão em modo de economia de energia. Tal fato se dá nos momentos em que se detecta a não ocorrência de transmissão. Assim como a técnica de “Alcance Curto”, o recurso pode ser ativado em um dos lados do comutador, não necessitando de nenhum apoio do outro *host* envolvido na transmissão.

As alternativas para a economia de energia foram avaliadas em [40]. A análise foi realizada por meio de um comutador de dados Cisco SG-300-28 [11]. Nos testes foram executados experimentos tanto com as tecnologias habilitadas isoladamente, como mescladas. Os testes fundamentaram-se na habilitação de um conjunto de portas que foram aumentadas gradativamente. A Figura 2.1, adaptada de [40], apresenta os resultados destas análises; é evidenciado que a técnica “Detecção de Energia” aponta a existência de economia de energia, porém, quando a análise alcança a vigésima quarta porta, os resultados equiparam-se ao funcionamento do comutador sem nenhuma implementação de *Green Ethernet*. Os resultados obtidos com a técnica de “Alcance Curto”, inicialmente, são iguais aos do dispositivo sem nenhuma implementação de mecanismo para economia de energia. Mas quando do aumento do número de portas, chegando ao seu máximo, ele mostra um desempenho superior ao do “Detecção de Energia”.

Além das técnicas citadas anteriormente, nas redes de computadores surgiram dois mecanismos voltados para a redução de energia. De acordo com [40], estes dois mecanismos são:

- *Adaptation Link Rate*: há uma redução na taxa habitual em que o dispositivo funciona, quando possível, com o propósito de diminuir seu consumo energético.
- Estado de Repouso (do Inglês, *Sleep State*): parte dos componentes é colocada em estado de suspensão, reduzindo seu gasto com energia.

As seções que se seguem são dedicadas a apresentar as referidas alternativas, apontando para suas características e as peculiaridades que as distinguem.

2.2 *Adaptive Link Rate - ALR*

Com o crescente aumento no consumo de energia relacionado às redes de computadores, algumas iniciativas foram criadas. Uma alternativa encontrada foi o ajuste do enlace em uma menor taxa de transferência em momentos de baixa utilização do meio de uma transmissão. Um modo de se alcançar este objetivo é adaptação da taxa para coincidir com a carga oferecida ou utilizada. ALR foi apresentada em [22]. Este mecanismo permite a mudança automática de velocidade de transmissão em enlaces Ethernet *full-duplex*, destinando-se, principalmente, às ligações de ponta nas taxas de dados existentes de 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps e 10 Gbps. Em [22], tem-se a ilustração de que os mecanismos ALR determinam a forma que a taxa de transmissão de dados do enlace é comutada. As políticas ALR determinam o instante exato da mudança da taxa de dados do enlace. O projeto apresenta que uma boa política de maximização do tempo envolvido na diminuição da taxa de envio deve acarretar em menor impacto no aumento no atraso dos pacotes.

No ALR haviam dois principais desafios visando obter êxito na sua missão [23]: (i) definição de um mecanismo para variar de forma rápida as taxas de enlaces; e, (ii) a elaboração de políticas para mudar os dados do enlace para aproveitar ao máximo o processo de economia de energia.

Os conceitos expostos a seguir fazem uso das definições apresentadas em [23]. As principais técnicas para a implementação do ALR são: ALR MAC *Frame Handshake Mechanism*, Política de Duplo-Limiar ALR (do Inglês, ALR *Dual-Threshold Policy*) e Política de Utilização-Limiar ALR (do Inglês, ALR *Utilization-Threshold Policy*). A seguir estes mecanismos serão detalhados.

2.2.1 ALR MAC *Frame Handshake Mechanism*

Para alteração da taxa de transmissão em um enlace, é importante o alcance do acordo entre os envolvidos do modo mais rápido possível. Ambos os lados da comunicação de um enlace devem ser capazes de iniciar uma solicitação para alteração de taxa (a porta de um *switch* e a placa de rede de um computador podem ser utilizadas como exemplo). O ALR só funciona dentro dos limiares anunciados entre os dois envolvidos. Na especificação IEEE 802.3u [2] é apresentada a Auto-Negociação, que pode ser utilizada para a mudança nas taxas de dados nas operações de ligação; porém, tal intervenção é determinada em um tempo mínimo de 256 ms. Um *handshake* pode ser estabelecido de forma mais rápida fazendo uso de quadros MAC Ethernet. O *handshake* poderia ser realizado da seguinte maneira:

- a extremidade da ligação que determina uma necessidade de aumentar ou diminuir a sua velocidade de dados solicita uma taxa de dados fazendo uso de um quadro de solicitação MAC ALR. A solicitação pode ser “reduzir” ou “aumentar” a taxa de dados;
- a outra extremidade do enlace reconhece a solicitação de mudança na taxa de transferência de dados com um *ACK* ALR (concorda com a alteração da taxa de dados) ou *NACK* ALR (discorda com a alteração).

A partir de uma resposta *ACK* ALR seria gerada uma chave para a taxa de dados do enlace (taxa de transição) e um enlace de ressincronização. A Figura 2.2 exhibe o *handshake* de quadros MAC com a requisição ALR e sua resposta positiva seguida de enlace de ressincronização na nova taxa de dados.

2.2.2 Política de Duplo-Limiar ALR

Esta é a mais simples das políticas ALR. Tem por base a ocupação no *buffer* de saída ou no comprimento de fila das interfaces de rede envolvidas na comunicação. Dois limiares são utilizados para inserir atraso para o sistema e impedir posteriores oscilações entre as taxas. A Figura 2.3, adaptada de [23], apresenta uma fila de saída de uma interface de rede com os limiares de fila alto (*qHigh*) e baixo (*qLow*). A política com dois limiares é apresentada na Figura 2.4, adaptada de [23], cujos limiares de fila de *buffer* de saída são *qLow* e *qHigh* apresentados no diagrama.

Para entendimento dos diagramas de estados distribuídos nesta pesquisa, os seus estados e transições funcionam da seguinte forma [40]:

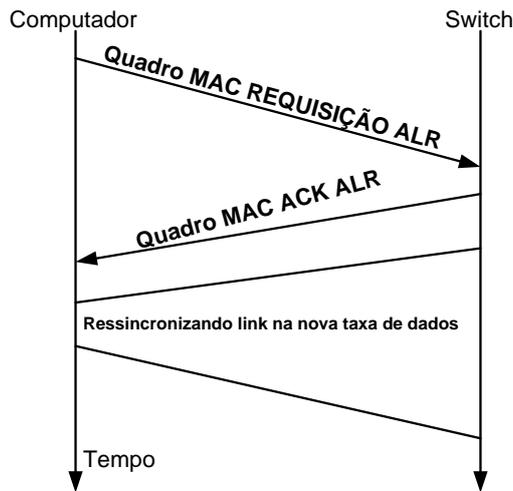


Figura 2.2: Diagrama de tempo de um mecanismo *handshake* de quadros MAC ALR

- Os estados são apresentados por linhas verticais. O nome do estado é posto sobre as linhas verticais. O tempo passa no momento em que transições ocorrem dentro de um estado;
- As transições são apresentadas com setas que saem do estado de origem em direção para o estado de destino. A condição de como se dá a transição é indicada acima da seta. A ação tomada sobre a transição que está sendo realizada é indicada abaixo da seta. As transições ocorrerão de forma instantânea. Cada transição é dada por uma legenda que será utilizada para fazer referência à devida transição, que será indicada na parte inferior do início da seta (ou à direita no caso da seta vertical).

A seguir, têm-se os parâmetros do sistema, variáveis internas e temporizadores da política de Duplo-Limiar. Os estados determinam os momentos para ligações de altas e baixas taxas. Temporizadores tem seu tempo expirado quando não ocorre o sincronismo. Ao serem reiniciados, dão início à contagem regressiva para término do seu tempo útil de vida. As ações a serem tomadas caso a ressincronização falhe podem ser verificadas em [23].

- *tRetry*: Temporizador para repetição do *handshake* (*ACK*, *NACK* perdido);
- *qLow*: Fila de baixo limiar em bytes;
- *qHigh*: Fila de alto limiar em bytes;
- *qLen*: Comprimento da fila em bytes; e
- *reqLow*: Solicitação de *flag* de taxa baixa (lado do solicitador).

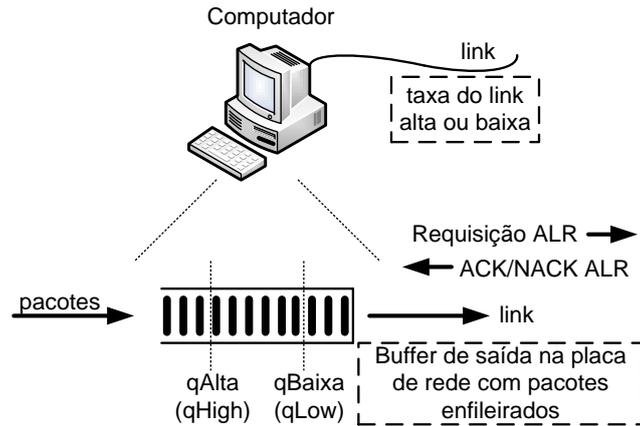


Figura 2.3: Exemplo de interface de rede com *buffer* de saída com limiares altos e baixos

Caso o tamanho da fila de saída da porta do *switch* ou da placa de rede exceda $qHigh$, a taxa de dados deve ser transferida para o modo alto (transição 8 da Figura 2.4). A única resposta aceita a partir do outro lado é um *ACK*. Caso a fila de saída diminua abaixo de $qLow$, a taxa de dados pode ser reduzida para baixo com a concordância de ambos lados (transições 1 e 2). Se o outro lado discordar e retornar um *NACK* (transição 3), este deverá requisitar a taxa de dados reduzida, assim que seu comprimento de fila for inferior ao limiar $qLow$. Para o requerente reduzir a taxa para baixo (transições 4 e 5), tem-se o lado em conformidade enviando um *ACK* (transição 4) ou discordando e enviando um *NACK* (transição 5). A variável interna $reqLow$ é utilizada para evitar que um dos lados peça duplicadamente para reduzir a taxa no momento em que a outra extremidade não possa concordar com o pedido.

2.2.3 Política de Utilização-Limiar ALR

A Política de Duplo-Limiar pode variar entre as taxas de dados de entrada ou com rajadas de longa duração, causando aumento e variação no tempo de resposta. A oscilação nas taxas de enlaces ocorrerá se a taxa de chegada de pacotes estiver em baixa e for alta o suficiente para cruzar o limite de taxa alta ($qHigh$), mas não suficientemente alta para manter o tamanho da fila acima do limiar baixo ($qLow$).

Esta política foi criada com intuito de evitar oscilações. Caso a utilização do enlace seja monitorada e utilizada na decisão na mudança entre as taxas de dados, o efeito das oscilações no tempo de chegada dos pacotes pode ser minimizada ou até mesmo extinguida. O diagrama da Figura 2.5, apresenta o uso da monitoração por enlace através da contagem do número de bytes transmitidos durante um tempo específico. Também são definidos os

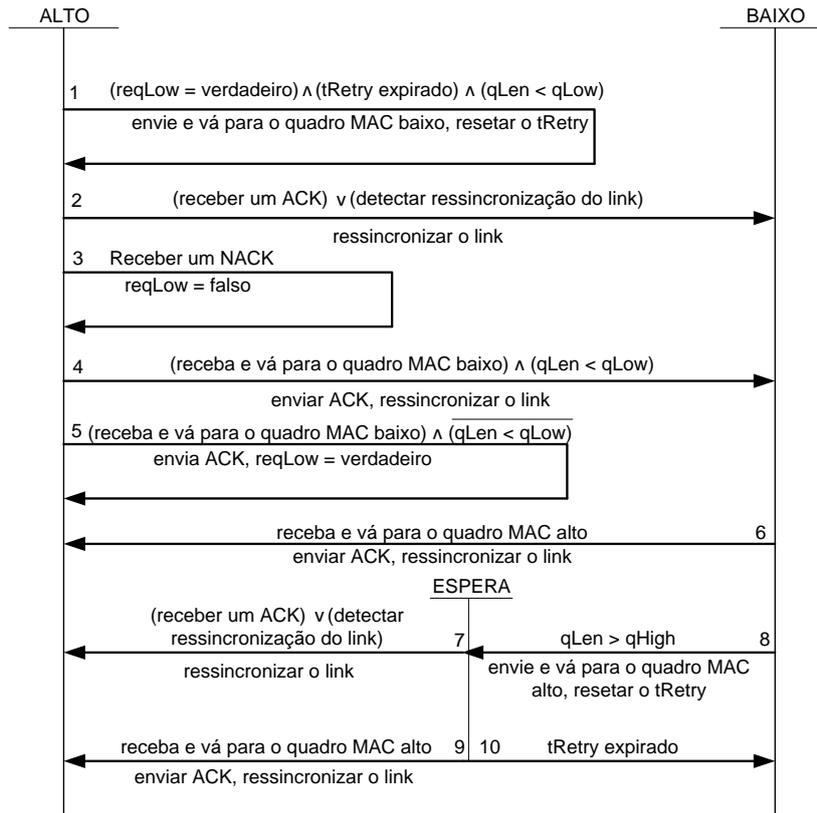


Figura 2.4: Diagrama de estados da política de Duplo-Limiar ALR

parâmetros do sistema, as variáveis internas e os temporizadores da política de Utilização-Limiar. A monitoração da utilização é pautada na contagem dos bytes enviados em um intervalo $tUtil$. Um teste de utilização é adicionado às transições 1, 4 e 5 do diagrama da Figura 2.4. A condição $(qLen < qLow)$ é substituída pela condição $((qLen < qLow) \wedge (uBytes < uThresh))$. As alterações no diagrama da Figura 2.4 e o novo diagrama da Figura 2.5, adaptada de [23], formam a política de Utilização-Limiar. A seguir, têm-se as variáveis, temporizadores e parâmetros da Política de Utilização-Limiar ALR descritos na Figura 2.5.

- $tUtil$: Temporizador para intervalo de medição da utilização;
- $uBytes$: Utilização (bytes transmitidos no último intervalo);
- $uThresh$: Limiar de utilização em bytes;
- $txLen$: Comprimento do pacote transmitido em bytes; e
- $rtxSum$: Variável acumuladora dos bytes transmitidos.

As consequências do ALR sobre o atraso de pacotes em relação ao percentual do tempo em taxa reduzida de dados foi estudado por [1]. Os modelos de simulação foram realiza-

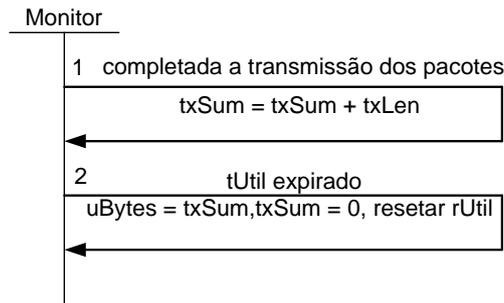


Figura 2.5: Diagrama da política de Utilização-Limiar ALR

dos em enlaces Ethernet com tráfego em rajadas sinteticamente gerado. O experimento assumiu como alta taxa de dados, 1 Gbps, e baixa taxa de dados 100 Mbps e 1 ms para o *handshake* e resincronização do enlace entre as duas taxas de dados. Foi utilizado um limite de 5%. A Figura 2.6 (a), adaptada de [1], apresenta a média de atraso dos quadros. Este é o atraso visualizado em um quadro na fila da interface Ethernet e na transmissão pelo enlace até o destino. A Figura 2.6 (b), adaptada de [1], apresenta o percentual gasto no tempo na faixa de dados reduzida. A amostragem é ilustrada nos gráficos por três traços (1, 10 e 100 milissegundos, respectivamente), sendo possível observar que os baixos níveis de utilização, em grande parte do tempo, podem estar sendo empregados com taxa de 100 Mbps com um pequeno aumento no atraso. Na abordagem, o enlace estando a 5%, por um período de amostragem de 10 ms de utilização, o tempo médio de resposta é inferior a 0,5 ms com aproximadamente 80% do tempo utilizado na faixa de 100 Mbps. A níveis mais altos de utilização do enlace, este opera somente em sua alta taxa de dados, como desejado.

Apesar de todos estudos e esforços identificados sobre o ALR, ele não foi escolhido como padrão de fato para a economia de recursos energéticos em enlaces Ethernet com cabos de par trançado. De acordo com [46], a negociação automática de velocidade de transmissão de dados do enlace necessita de algumas centenas de milissegundos ou até segundos para suas transições. Tais medidas de tempo são extremamente altas para a maioria das aplicações existentes. Outro fator que pesou contra o ALR, exposto em [47], foi o fato de mesmo economizando energia, o enlace continua consumindo recursos energéticos. Um enlace de 10 Gbps que passa para uma velocidade de 1 Gbps durante períodos de inatividade ainda continua consumindo energia, mesmo que nenhum dado esteja sendo transmitido. Neste sentido, observou-se que a melhor alternativa seria colocar a interface de rede do dispositivo em um estado de sono, no momento em que a transmissão não estiver ocorrendo. Após o momento de repouso acordá-lo em um curto intervalo de tempo assim que for constatada a chegada de novos dados a serem transmitidos. O grande

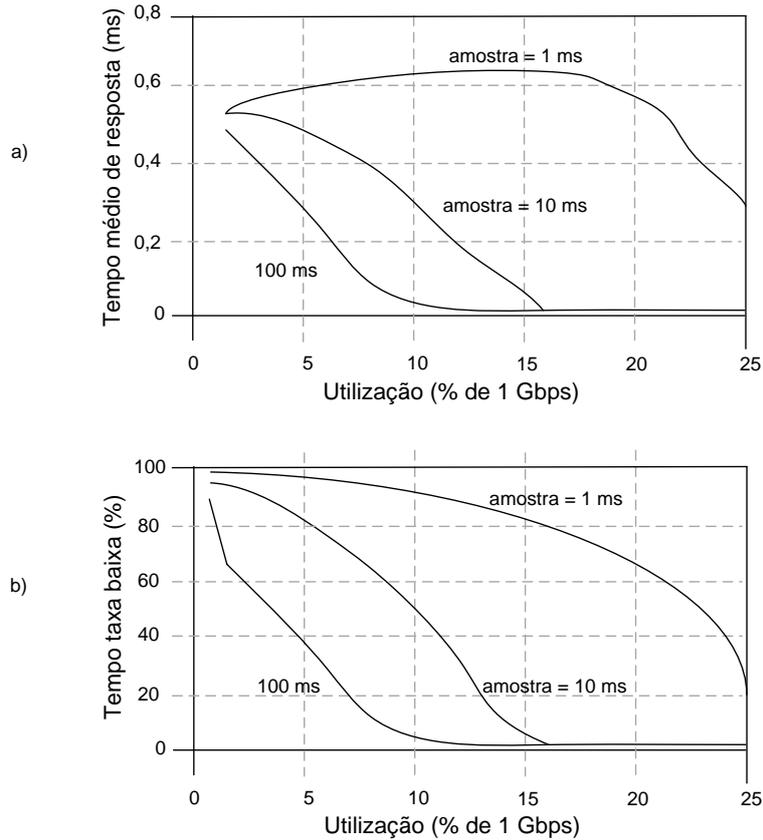


Figura 2.6: Tempo médio de resposta e percentual de tempo na taxa reduzida

ponto é que a velocidade do enlace seria mantida inalterada.

2.3 Padrão IEEE 802.3az

Após a verificação de que a técnica de alteração de velocidade de transmissão do enlace não seria a melhor opção para a economia de energia por conta dos altos tempos de resposta, vislumbrou-se a oportunidade de economizar energia ao colocar o enlace em um estado de repouso. A principal ideia por trás desta técnica é que a porta de algum dispositivo interconector de redes deve consumir apenas uma carga constante de energia, independente da utilização do enlace. A partir daí é que surgiu o padrão IEEE 802.3az, também conhecido como Ethernet Eficiente em Energia (do Inglês, *Energy-Efficient Ethernet* - EEE) [39]. Apresentado em [3], o padrão foi concebido como protocolo de sinalização, o que permitiu que o transmissor notificasse o receptor do intervalo iminente na transmissão de dados e, conseqüentemente, as portas dos dispositivos envolvidos na comunicação podem entrar em um estado de hibernação - ponto chave da geração de economia de energia na comunicação.

O padrão EEE é o objetivo principal de estudo e análise da presente pesquisa. O pensamento está focado no grande potencial que reside nas redes de computadores e suas características estratégicas dentro de qualquer organização nos diversos campos de atuação. Nas subseções que seguem suas particularidades e aspectos serão apresentados e explorados.

2.3.1 Surgimento do Padrão IEEE 802.3az

O tema em torno da questão do gasto energético em equipamentos de rede obteve foco apenas a partir do início da década de 2000 [24]. A Ethernet é a tecnologia de comunicação predominante nas LANs e amplamente utilizada no uso domiciliar [47]. Neste sentido, o padrão torna-se largamente utilizado em equipamentos como, por exemplo, servidores, pontos de acesso, *notebooks*, servidores e *desktops*. Como esses dispositivos incluem, ao menos, uma interface Ethernet, vislumbrou-se a oportunidade de criação de mecanismos para a otimização do uso energético destas ligações.

A primeira iniciativa para a criação do EEE surgiu de um tutorial apresentado aos integrantes do Grupo de Trabalho IEEE 802 em Julho de 2005 [8]. Os meses que seguiram o tutorial foram de bastantes discussões, reuniões e apresentações que levaram ao projeto iniciado em IEEE 802.3 conhecido como Chamada de Interesse (do Inglês, *Call for Interest* - CFI) [12] para elaboração do padrão. A apresentação do painel foi realizada em novembro de 2006 pelo grupo de trabalho IEEE 802.3 [21]. Ali foram descritos os seus princípios para a formação de um grupo de estudo para a viabilização de um projeto EEE. Ela foi seguida por uma votação de CFI. Realizada em janeiro de 2007, a primeira reunião do Grupo de Estudos do EEE teve a finalidade de determinar ou não, a solicitação de um projeto de criação para o padrão EEE. Neste período, foram realizadas seis reuniões e quarenta e três apresentações visando a criação do padrão. O projeto foi autorizado em setembro de 2007, sendo, então, criada a Força Tarefa 802.3az.

A produção de um padrão é a função principal de uma Força Tarefa. Nesta fase do projeto, escolhas técnicas são realizadas. Assim, dois métodos foram propostos, a saber: *Adaptive Link Rate* (ALR) [23], ou seja, alterar o enlace, em momentos de baixa utilização, para uma taxa de transmissão inferior à atual (ver Seção 2.2), e Baixa Energia Ociosa (do Inglês, *Low Power Idle* - LPI) [9]. Ambos os métodos reduzem energia e tem suas vantagens e desvantagens. O LPI acabou sendo o escolhido. O primeiro rascunho do trabalho foi apresentado pelo grupo de trabalho em outubro de 2008, sendo concluída a seleção de propostas da linha inicial de base em março de 2009.

Em junho de 2010 teve início a fase de votação do grupo de trabalho do processo de desenvolvimento. A próxima etapa, voto do patrocinador, foi concluída próximo ao final de agosto. Esta foi a última grande revisão da norma. Um processo de análise e revisão

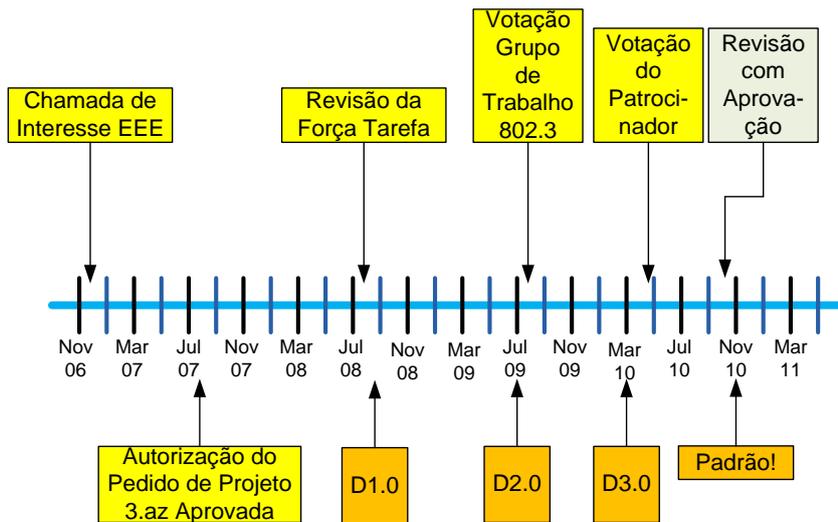


Figura 2.7: Linha de tempo criação do padrão IEEE 802.3az

foi repetido, a fim de dar um aprimoramento final à norma. O padrão IEEE 802.3az foi aprovado pela Comissão de Normatização em 30 de setembro de 2010. A Figura 2.7, adaptada de [12], apresenta a linha do tempo da criação do padrão. As próximas seções apresentam características do EEE como protocolo de sinalização, os estados de transição entre seus modos e o funcionamento dos enlaces Ethernet com a utilização do padrão.

2.3.2 Ethernet Eficiente em Energia

O padrão IEEE 802.3az [39] é uma norma instituída para a redução de energia nos enlaces Ethernet. A ideia é aproximar o consumo destes enlaces o mais próximo ao ideal, ou seja, proporcional ao uso da ligação. A Figura 2.8, adaptada de [32], apresenta a relação que expressa o melhor cenário entre utilização do enlace e o consumo energético. Nas seções seguintes tem-se a apresentação da sinalização que serve de base de funcionamento para o EEE, os estados e respectivos tempos de transição do padrão e os seus mecanismos de funcionamento.

2.3.2.1 LPI a Base do Padrão 802.3az

Os protocolos de comunicação desenvolvidos desde a década de 1990, em sua maioria, têm utilizado o enlace em transmissão contínua o que faz com que a energia seja consumida mesmo que os dados não estejam sendo transmitidos. A ideia seria que o enlace deveria ser mantido com a sinalização da largura de banda completa, estando disponível para a transmissão de dados em qualquer momento. A fim de economizar energia durante os períodos em que há uma lacuna no fluxo de dados, o EEE faz uso de um protocolo de

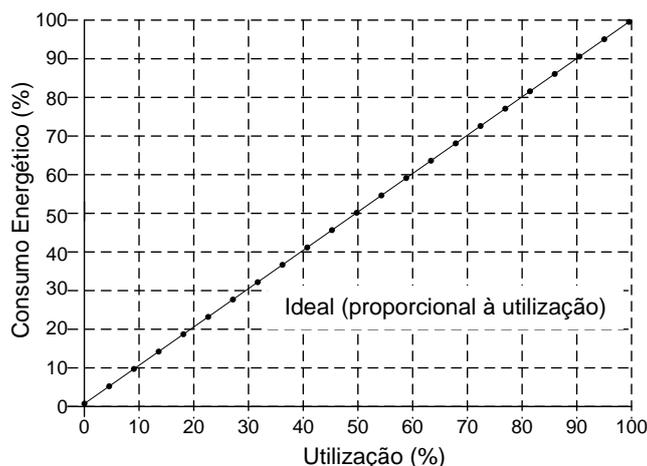


Figura 2.8: Consumo ideal de energia em função da utilização

sinalização que permite que o transmissor indique a existência de um intervalo nos dados e que a ligação pode ir para um estado ocioso. O protocolo de sinalização é também utilizado para indicar que a ligação deve recomeçar depois de um atraso pré-definido [12].

O EEE faz uso de um sinal que é uma modificação do estado normal para inativo - sinalização enviada entre os pacotes de dados denominada Baixa Potência Ociosa (do Inglês, *Low Power Idle* - LPI). O transmissor envia o sinal LPI quando o enlace está ocioso para indicar que a ligação pode entrar em um estado de sono. Depois do envio do LPI, por um período (T_s), o transmissor pode parar por completo a sinalização para que o enlace fique inativo. Em períodos (T_q), momento em que o enlace está economizando energia e pode ser ativado a qualquer instante, o transmissor envia alguns sinais (T_r) para que o enlace não permaneça em inatividade em grandes intervalos de tempo sem atualização. Afinal, no momento que o transmissor deseja retomar a comunicação são enviados sinais de normalização. Após o tempo pré-determinado (T_w) o enlace está novamente ativo e funcional podendo voltar a enviar dados [44]. A Figura 2.9, adaptada de [39], apresenta a transição entre os diferentes estados do EEE.

A Figura 2.9 ilustra o funcionamento do modelo LPI. Quando os pacotes estão sendo enviados, o dispositivo está no modo ativo. Quando não existem mais pacotes disponíveis para transmissão, o enlace entra na baixa potência ou “modo sono”. A transição para o modo de baixa energia requer um tempo T_s . Uma vez no modo de baixa energia, o aparelho só envia sinais durante curtos intervalos de atualização T_r e permanece inativo durante grandes intervalos T_q . E ainda, uma vez que os pacotes cheguem para a transmissão, o enlace é ativado novamente. A transição leva T_w microssegundos. Quando o enlace está ativo, um ou mais pacotes podem ser enviados. Assim, o EEE adiciona uma sobrecarga para cada explosão de um ou mais pacotes enviados por uma interface Ethernet. A

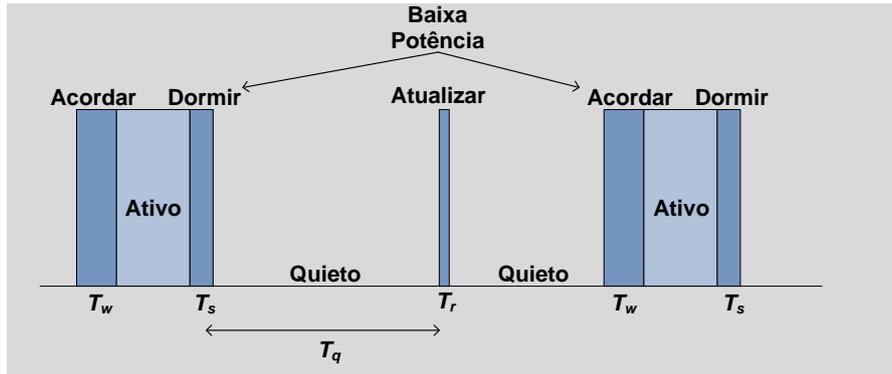


Figura 2.9: Transições entre os modos no EEE

sobrecarga é a hora de ativar o enlace (T_w) e colocá-lo, posteriormente, para o modo de baixa energia (T_s).

A seguir, tem-se a descrição dos estados que sustentam o funcionamento do padrão IEEE 802.3az:

- T_w : Tempo no estado ACORDAR;
- T_s : Tempo no estado DORMIR;
- T_q : Tempo no estado QUIETO; e
- T_r : Tempo no estado ATUALIZAR.

O padrão EEE permite que o enlace seja despertado a qualquer instante. Não existem intervalos mínimos ou máximos para o estado de economia de energia, o que faz com que o EEE funcione de maneira eficaz no momento de surgimento de tráfego imprevisível. A Tabela 2.1, adaptada de [40] [46] e [45], apresenta os valores mínimos e máximos para a transição dos tempos dos estados do padrão IEEE 802.3az.

Tabela 2.1: Valores dos tempos dos estados no padrão IEEE 802.3az

Velocidade	T_w (μs)		T_s (μs)		T_q (μs)		T_r (μs)		Frame (bytes)	T_{frame} (μs)
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max		
100Base-TX	30,5	200	220	20000	22000	200	220	1,5	120	
								150	12	
1000Base-T	16,5	182	202	20000	24000	198	218,2	1,5	12	
								150	1,2	
10GBase-T	4,48	2,88	3,2	39,68	39,68	1,28	1,28	1,5	1,2	
								150	0,12	

O funcionamento do EEE pode ser explicado por meio de um diagrama de estados ilustrado na Figura 2.10, adaptado de [32].

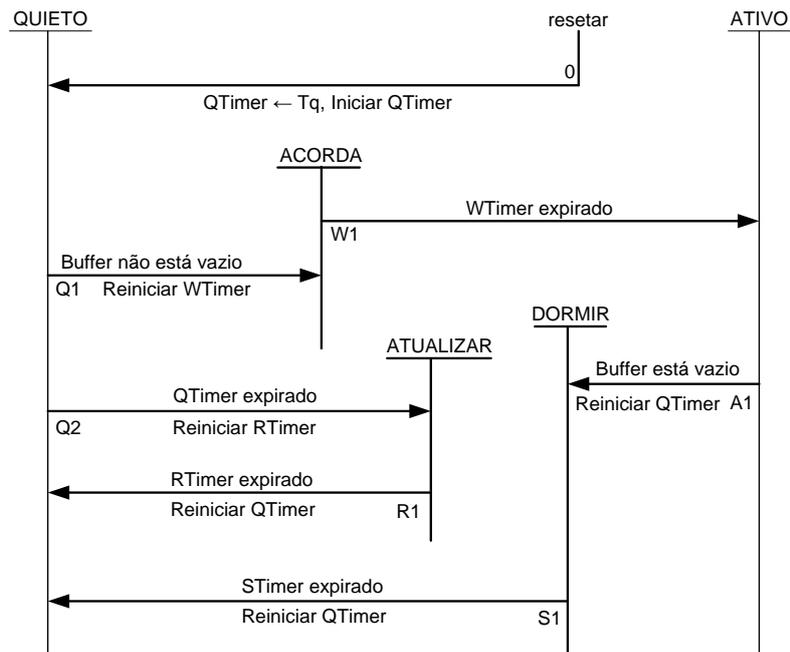


Figura 2.10: Diagrama EEE

A seguir, têm-se os temporizadores utilizados na dinâmica das transições entre os estados do padrão IEEE 802.3az exibidos na Figura 2.10, sendo estes temporizadores os que se seguem: *STimer*, *WTimer*, *RTimer* e *QTimer*.

- *STimer*: Mantém o tempo gasto no estado SONO;
- *WTimer*: Mantém o tempo gasto no estado ACORDAR;
- *RTimer*: Mantém o tempo gasto no estado ATUALIZAR; e
- *QTimer*: Mantém o tempo gasto no estado QUIETO.

Quando um temporizador é reiniciado, ele está definido para seu valor inicial e inicia contagem decrescente até zero. Quando o valor do temporizador chegar a zero, será expirado. O *buffer* é uma fila FIFO (do Inglês, *First In, First Out*) em que os pacotes são armazenados e transmitidos na mesma ordem em que chegaram à fila. A seguir, tem-se o detalhamento de cada transição do diagrama EEE [32]:

- **Transição 0**: O enlace inicia no modo “quieto”. *QTimer* está definido para seu valor inicial e inicia a contagem regressiva para alcançar o tempo gasto no modo QUIETO;

- **Transição Q1:** Quando um ou mais pacotes são gerados o *buffer* não está vazio, o enlace desperta para enviar o pacote e entrar no estado “acordado”. *WTimer* é reiniciado até atingir o tempo gasto para despertar o enlace;
- **Transição Q2:** *QTimer* expirou. O enlace é atualizado inserindo o estado “atualizar”. *RTimer* é reiniciado para atingir o tempo utilizado para atualizar o enlace;
- **Transição W1:** *WTimer* expirou. O enlace entra no estado “ativo”;
- **Transição A1:** O enlace enviou todos os pacotes presentes no *buffer*. O *buffer* está vazio; portanto, o enlace inicia o estado de “sono”. *STimer* é reiniciado para contabilizar o tempo gasto até adormecer o enlace;
- **Transição S1:** *STimer* expirou e pacotes não são gerados enquanto a ligação estava sendo colocada em repouso durante o *buffer* vazio. O enlace entra no estado “quieto”. *QTimer* é reiniciado para contabilizar o tempo gasto no modo quieto; e
- **Transição R1:** *RTimer* expirou. O enlace entra no estado “quieto”. *QTimer* é reiniciado para calcular o tempo gasto no modo “quieto”.

2.3.2.2 Manutenção do Enlace com EEE

No momento em que a comunicação é estabelecida no enlace, cada interface de rede que suporta o padrão IEEE 802.3az divulga sua capacidade por meio de Auto-Negociação. Caso o dispositivo da outra extremidade do enlace não anuncie sua capacidade EEE, a comunicação funcionará de maneira legada, ou seja, sem mecanismo para a economia de energia, o que significa que a implantação de equipamentos que suportem o padrão, com equipamentos que não contemplam a funcionalidade, em nada altera o funcionamento da rede. A heterogeneidade da infraestrutura pode ser mantida, sem prejuízo, e ser alterada gradativamente [12].

Para a manutenção da integridade do enlace no EEE, o envio do sinal de atualização (T_r) de maneira periódica, nos momentos em que a ligação está ociosa, é bastante importante por diversos motivos. Primeiramente, tem a mesma função do pulso de ligação tradicional no padrão Ethernet. A pulsação do sinal de atualização ajuda a certificar que ambos dispositivos têm a ciência de que a ligação está ativa e permite a notificação imediata após uma desconexão. A frequência da atualização, que normalmente é superior a 100Hz, não permite que qualquer situação em que um parceiro no enlace possa ser desconectado e outro inserido sem causar um evento de falha. Tal ação preserva a consistência com mecanismos de segurança que necessitem de conectividade contínua e exijam notificação no momento em que um enlace seja corrompido [42].

Em segundo lugar, o sinal de atualização pode ter seu uso empregado para testar o canal de comunicação e criar uma ocasião favorável ao receptor para se adaptar às mudanças do enlace. Em enlaces de alta velocidade, tal mecanismo mostra-se fundamental para apoiar a mudança rápida para o retorno de transferências em altas velocidades sem danos à integridade dos dados. A constituição específica do sinal de atualização é desenhada especialmente para cada modelo de interface de rede, a fim de propiciar um melhor acerto para o ambiente de suporte [12].

Os padrões de transmissão 100Base-TX e 10GBase-T, tanto no transmissor quanto no receptor, podem operar de forma independente sobre o modo ativo e o modo sono. Em outras palavras, o enlace pode enviar dados (em modo ativo) em uma direção enquanto ele está ocioso (em modo sono) na direção oposta. No entanto, tal ação não é permitida com o padrão 1000Base-T, onde o enlace entra ou sai do modo sono em ambas as direções ao mesmo tempo. Por outro lado, 100Base-TX e 1000Base-T permitem uma transição de volta ao modo ativo durante uma transição no modo sono, sem a necessidade de tempo para sair do modo sono, aumentando, assim, a eficiência do padrão [46].

2.3.2.3 Políticas LPI

A definição da sinalização entre os dispositivos conectados em rede são definidos pelo padrão IEEE 802.3az. Porém, não há nenhuma política explícita para a economia de energia. Neste sentido, tem-se a ausência de termos que indiquem quando uma interface deve entrar no modo de economia. As políticas são implementadas por cada fornecedor podendo variar de um dispositivo para o outro. A seguir, tem-se a especificação de alguns tipos de políticas [12]:

- Simples (do Inglês, *Simple*), onde o LPI é comunicado depois de um pequeno intervalo de tempo da fila de transmissão vazia e o enlace é reativado imediatamente depois da constatação da necessidade do envio de um pacote;
- Fila-e-explosão (do Inglês, *Buffer-and-burst*), onde o LPI é comunicado após um curto período de tempo em que a fila de transmissão esteve vazia. O enlace é reativado após um aumento expressivo (explosão) ou até que um temporizador expire o seu tempo pré-determinado; e
- Explosões sincronizadas (do Inglês, *Synchronized bursts*), onde o enlace é desativado e ativado em intervalos predefinidos, onde os envios dos dados são sincronizados.

2.4 Estado da Arte

A partir da homologação do padrão IEEE 802.3az em 2010, foram realizados vários esforços da comunidade científica e de fabricantes de equipamentos objetivando verificar a eficiência e eficácia deste padrão [9], [40], [46] e [41]. De acordo com o contexto apresentado, realizou-se uma extensa pesquisa sobre a economia de energia em redes de computadores com foco no EEE.

Neste sentido, tem-se a apresentação de uma sucinta revisão dos trabalhos correlacionados aos objetivos centrais dispostos na presente pesquisa. As pesquisas selecionadas foram agrupadas em duas categorias, quais sejam: (i) simulações; e (ii) experimentos.

Simulações

O trabalho realizado em [9] apresenta os resultados de uma avaliação de desempenho com base em simulações com a ferramenta NS-2 (do Inglês, *Network Simulator 2*). Nela é mostrado como pacotes coalescentes podem ser utilizados para melhorar significativamente a eficiência energética no EEE. Os atrasos absolutos são mantidos em limites toleráveis, mesmo com os autores tendo consciência de que esta técnica pode causar perdas de pacotes em filas, principalmente quando se utiliza o protocolo TCP (do Inglês, *Transport Control Protocol*). A “coalescência” é uma técnica já bastante utilizada em processamento de pacotes em CPU (do Inglês, *Central Processing Unit*) de sistemas para redução de carga. Esta técnica consiste no agrupamento de pacotes, como forma de limitar o número de interrupções de recebimento e, como resultado, a redução da quantidade de processamento requerida. Na realização dos testes foram criados dois perfis de execução. O primeiro perfil era composto de uma fila máxima de 10 pacotes com temporizador com tempo de expiração de 12 μs . O segundo perfil teve os seus valores aumentados em 10 vezes em relação ao primeiro perfil, ou seja, fila máxima de 100 pacotes e temporizador expirando em 120 μs . Os resultados do primeiro perfil trouxeram um ganho de 30% de economia energética em relação ao EEE utilizado independentemente. Já o segundo perfil apresentou ganhos próximos ao uso ideal que traz a melhor relação entre consumo energético e utilização do enlace. Porém, essa abordagem não apresenta somente benefícios. Com o aumento das filas e aumento no tempo de expiração dos temporizadores os pacotes sofrem com efeito do atraso. O primeiro perfil apresentou atrasos constantes de 12 μs , o dobro do atraso relativo à implementação com EEE independente. O segundo perfil apresentou atrasos na faixa entre 65 e 75 μs .

A pesquisa feita em [46], traz uma ideia semelhante à expressa em [9]. Nela são apresentadas as potenciais economias trazidas com transmissões em rajadas no EEE. Com esta técnica podem ser inseridos atrasos extras nos quadros, mas no trabalho é

apresentado que o saldo de economia de energia contra o tempo do atraso é algo que pode ser modelado. Foi explorado o uso de transmissões com explosões com algumas variações em temporizadores em vários cenários representativos. As simulações, além de considerarem tempos pré-determinados para envio, também computaram tamanho máximo de filas. Foram realizados testes simulando cenários reais, sendo realizados três testes: *download* de vídeo, troca de arquivos e acesso *web*. Os experimentos consideraram quadros de dados de 1500 bytes e implementação de filas de 1000 quadros de dados, de modo que, caso esta fila esteja cheia, os dados sejam enviados de imediato. O temporizador está configurado para transmitir os dados após 10 ms. Com estas configurações os enlaces de 100 Mbps, 1 Gbps e 10 Gbps ficam com seu gasto energético em uma relação proporcional com a carga transmitida. Foram obtidos resultados consideráveis ao reduzir o valor do temporizador para 1 ms. Embora o estudo tenha utilizado tempos relativamente altos para sua abordagem fica visualmente comprovada a eficácia da utilização de filas e temporizadores conjuntamente ao EEE.

Experimentos

Embora o objetivo final dos estudos em [40] e [41] tenha sido examinar a tecnologia em torno do padrão IEEE 802.az com o propósito de aplicá-lo em redes que interligam *clusters* de computadores, foram eles os estudos que mais contribuíram para execução deste projeto. Em ambas as pesquisas foram dedicadas um capítulo/seção para testar o EEE em equipamentos de rede em ambiente real. Foram utilizados três *switches* de fabricantes distintos: o SG300-28 [11], da Cisco, o S1728GWR-4P [26], da Huawei e o x440-24p [37], da Extreme. Os trabalhos em questão fazem análise de comportamento energético na *Green Ethernet*. Foram realizados testes para verificar o consumo energético dos equipamentos com o padrão EEE habilitado e desabilitado. Após esse teste, o *switch* da Extreme foi retirado das demais análises por ser constatado que não havia alteração no consumo energético com o padrão habilitado ou não. Além disso, foram realizados testes para comparar a questão de carga de transmissão nos equipamentos em relação ao consumo energético. Houve uma análise da relação entre a economia de energia com o atraso no envio entre quadros para comparar com os tempos instituídos pelo padrão. Os resultados obtidos nos experimentos trazem que a quantidade de energia consumida aumenta linearmente conforme o aumento da velocidade de transmissão. Outro ponto de constatação foi que o uso energético não aumenta de forma constante até alcançar a velocidade máxima de transmissão. Notou-se que o consumo de energia aumenta até alcançar um ponto de inflexão, após há estabilização no gasto com alimentação. Os diferentes equipamentos avaliados mostram diferenças quantitativas, porém

compatíveis e consistentes. O EEE se comporta de maneira semelhante em ambos os casos, mas a energia economizada e os seus limiares são diferentes. Porém, nos testes em enlaces 100Base-TX, a redução foi de 9% nos equipamentos avaliados.

2.5 Resumo Conclusivo

O presente capítulo buscou revisar conceitos importantes como, por exemplo, o conceito de *Green Network*. Encaminhando para o tema central do trabalho, foram mostrados em detalhes os mecanismos utilizados visando economia de energia em redes de computadores com base no padrão Ethernet. O ALR, que é uma técnica fundamentada na adaptação da taxa de transferência, foi apresentado com suas principais técnicas de funcionamento. Essa abordagem teve seu funcionamento descartado por conta do seu alto tempo de transição entre as diferentes taxas de transmissão. O EEE é o padrão instituído de fato para economia de energia em enlaces Ethernet. Uma das principais razões é o fato de manter o enlace ativo (mesmo nos momentos em que não há transmissão de dados) e ainda assim permitir economia de energia.

Este capítulo também apresentou uma breve revisão dos trabalhos relacionados ao tema desta pesquisa. Foram apresentadas as abordagens que contribuíram na elaboração e fundamentação deste trabalho. A escolha dos artigos foi fundamentada na adequação ao trabalho e compatibilidade nos experimentos realizados embora nenhum dos trabalhos tenham analisado o mesmo equipamento que será utilizado nesta pesquisa. A análise comparativa entre o trabalho experimental em laboratório e a observação do uso de Departamentos para projetar qual será o ganho obtido com a implementação da abordagem é um dos diferenciais desta pesquisa em relação às demais.

O capítulo seguinte é destinado a apresentar a infraestrutura de redes da UnB. Sua abrangência e aspectos gerais serão explorados. Serão analisadas as características do fluxo de dados de dois departamentos da instituição a fim de verificar o possível ganho de economia energética com a implementação do EEE na substituição de equipamentos. Por fim, será avaliado o gasto de energia de um comutador de dados comumente utilizado na REDUnB. Objetivo é confrontar os resultados obtidos nos experimentos realizados nos próximos capítulos para auxiliar na tomada de decisões no que tange a substituição de equipamentos no atual cenário de uso na REDUnB.

Capítulo 3

EEE na Infraestrutura de TIC da UnB

O presente capítulo trata da infraestrutura de rede na Universidade de Brasília (UnB) com exposição de alguns aspectos, tais como: área de abrangência, organização, tipos de serviços e utilização. São mencionados os equipamentos que fazem parte desta estrutura. E ainda, as características do tráfego de dois Departamentos da UnB foram exploradas apresentando-se as ferramentas e os resultados obtidos. Também será avaliada a escala de consumo energético de um comutador de dados comumente utilizado na rede da Instituição.

3.1 A Rede de Comunicação da Universidade de Brasília (REDUnB)

A Rede de Comunicação da Universidade de Brasília (REDUnB), mantida e administrada pelo Centro de Informática (CPD) da UnB e teve sua última grande alteração estrutural em janeiro de 2011. Deu-se ali uma mudança na rede cujo objetivo era instituir o processo de roteamento dinâmico em todos os *switches* de agregação e núcleo, além de substituir os equipamentos de núcleo que já estavam em processo de descontinuidade pela fabricante. O roteamento atualmente realizado se dá via protocolo OSPF v3 (do Inglês, *Open Shortest Path First version 3*). A REDUnB além de interligar Centros de Custo, Faculdades, Departamentos e Institutos localizados no *campus* Darcy Ribeiro, através de convênio com as Redes Comunitárias de Educação e Pesquisa (REDECOMEP) [14], interliga outros *campi*/Departamentos consideravelmente distantes da administração central da Universidade através de uma malha de fibras ópticas. A Figura 3.1, adaptada de [15], apresenta as referidas localidades geograficamente afastadas, quais sejam: Faculdade UnB

Ceilândia (FCE), Faculdade UnB Gama (FGA), Faculdade UnB Planaltina (FUP), Núcleo de Práticas Jurídicas (NPJ), pós graduação da FGA - localizada no Fórum do Gama, Pós-Graduação da FCE - Centro de Ensino Médio 4 (CEM4) da Ceilândia Sul, Hospital Veterinário da Granja do Torto (HVET-Granja), Fazenda Água Limpa (FAL) - localizada no Núcleo Rural da Vargem Bonita, Edifícios Anápolis e OK - Setor Comercial Sul (SCS) na zona central de Brasília, Estação Experimental de Biologia (EEB) - localizada no final da Asa Norte, Centro de Ensino à Distância (CEAD) - localizado em quadra comercial da Asa Norte e o Hospital Universitário de Brasília (HUB), que, apesar de suas mudanças administrativas, ainda faz uso de infraestrutura de rede provida pelo CPD/UnB.

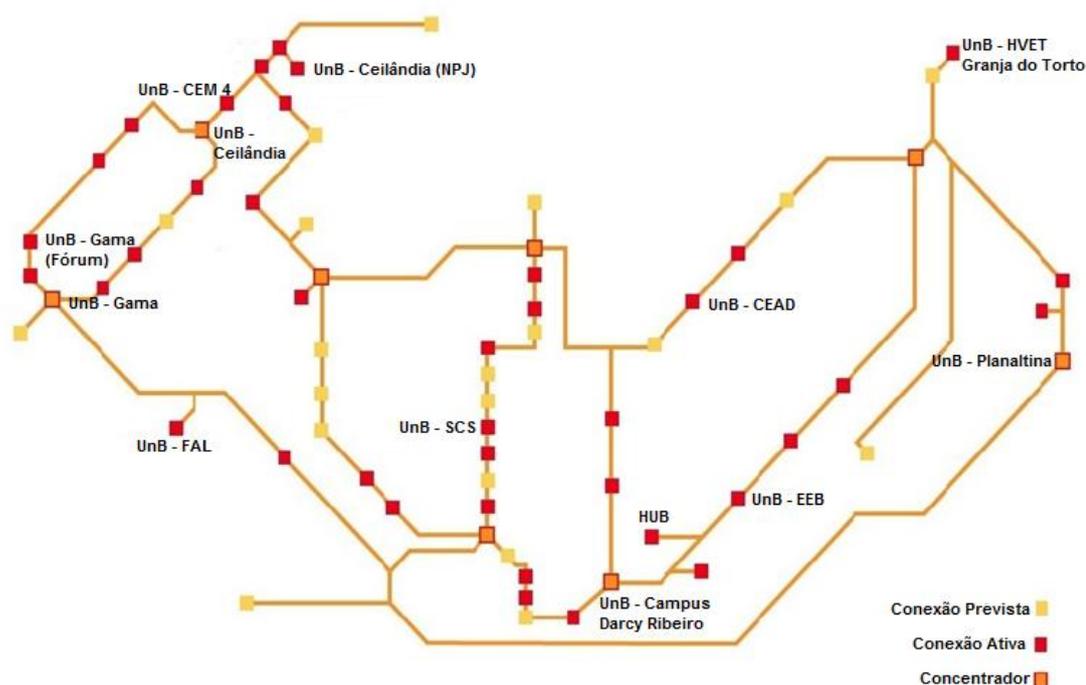


Figura 3.1: Área de cobertura da REDUnB

Como detentora do Número de Sistema Autônomo (do Inglês, *Autonomous System Number* - ASN) 21506, a REDUnB é provedora de acesso à Internet. O seguimento de endereços públicos IPv4 (do Inglês, *Internet Protocol version 4*), rede classe B, 164.41.0.0/16, é de posse da UnB. O referido quantitativo de endereços pode chegar a um alcance de 65.536 (sessenta e cinco mil e quinhentos e trinta e seis). A REDUnB também possui o seu bloco de endereçamento IPv6 (do Inglês, *Internet Protocol version 6*) desde 2014. O intervalo de endereços é um /48 identificado como 2801:80:b90::/48.

Com sistemas acadêmicos e administrativos, a REDUnB atende toda comunidade acadêmica (alunos, docentes, servidores e colaboradores diversos). A estrutura mantém-

se disponível 24 horas por dia, 7 dias por semana, 365 dias por ano, em um cenário de alta disponibilidade para seus principais ativos de rede em uma sala-cofre.

Atualmente, em toda sua abrangência de atuação, a referida rede atende, aproximadamente 17.500 (dezesete mil e quinhentos) pontos de rede cabeada. A Figura 3.3 apresenta a topologia da REDUnB dividida em níveis (área de atuação na infraestrutura) de funcionamento, quais sejam: (i) acesso, (ii) distribuição, (iii) núcleo e (iv) borda. A abordagem é apresentada na direção de baixo para cima, sendo as redes locais o nível mais baixo e a Internet o nível mais alto. O nível de acesso é o inicial para chegada dos computadores, impressoras e demais equipamentos relacionados às redes locais da UnB. Tal ingresso se dá através de *switches* e pontos de acesso da rede *wireless* - equipamentos responsáveis por encaminhar o tráfego da rede para o próximo nível. Já a distribuição serve como intermediário entre o primeiro e o terceiro nível. Esta é ligada ao acesso através de cabos UTP de par trançado (em sua grande maioria) que variam suas taxas de transmissão em enlaces de 100 Mbps e 1 Gbps. O segundo nível se interliga ao núcleo através de fibra óptica com velocidades de 1 Gbps. O terceiro nível é composto no seu *backbone* por quatro equipamentos *switches core* interligados por uma topologia *full mesh*. Os enlaces tem a velocidade de 10 Gbps e são interligados com a referida topologia visando maior tolerância às falhas e redundâncias. Finalmente, tem-se o nível da borda, que é composto de *cluster* de *firewalls*, que tem como função impedir o acesso do tráfego indevido aos ativos da REDUnB. Há também um *cluster* de roteadores que serve como ligação da UnB com todo o universo da Internet. A Figura 3.2, a seguir, ilustra a topologia da REDUnB.

Os quatro nós que fazem parte do *backbone* da REDUnB são nomeados de acordo com o local onde estão instalados, a saber: CORE-CPD (CORE Centro de Informática), CORE-FINATEC (CORE Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos), CORE-FT (CORE Faculdade de Tecnologia) e CORE-ICC (CORE Instituto Central de Ciências). Estes equipamentos são responsáveis pela interligação dos Departamentos à infraestrutura central da rede de dados da UnB. Cada *switch core* é responsável por fazer a ligação dos Centros de Custo mais próximos. O CORE-CPD - atualmente o menos populado - faz a ligação de quinze localidades. O CORE-FINATEC provê acesso a vinte locais. O CORE-FT é responsável pela ligação a vinte e cinco localidades. E, por fim, o CORE-ICC - aquele que abrange o maior número de localidades - interliga trinta e oito locais.

A Tabela 3.1, detalha o quantitativo de ativos da REDUnB. Tem-se ali a especificação do tipo e das particularidades que as distinguem umas das outras. O quantitativo é estimado com base nos equipamentos que atualmente fazem parte da gerência do CPD/UnB em informações levantadas na primeira semana de agosto de 2015.

No final do ano de 2014, com repasse de verba ao CPD/UnB pela administração superior da Instituição, foram adquiridos equipamentos para interligação de redes. Entre

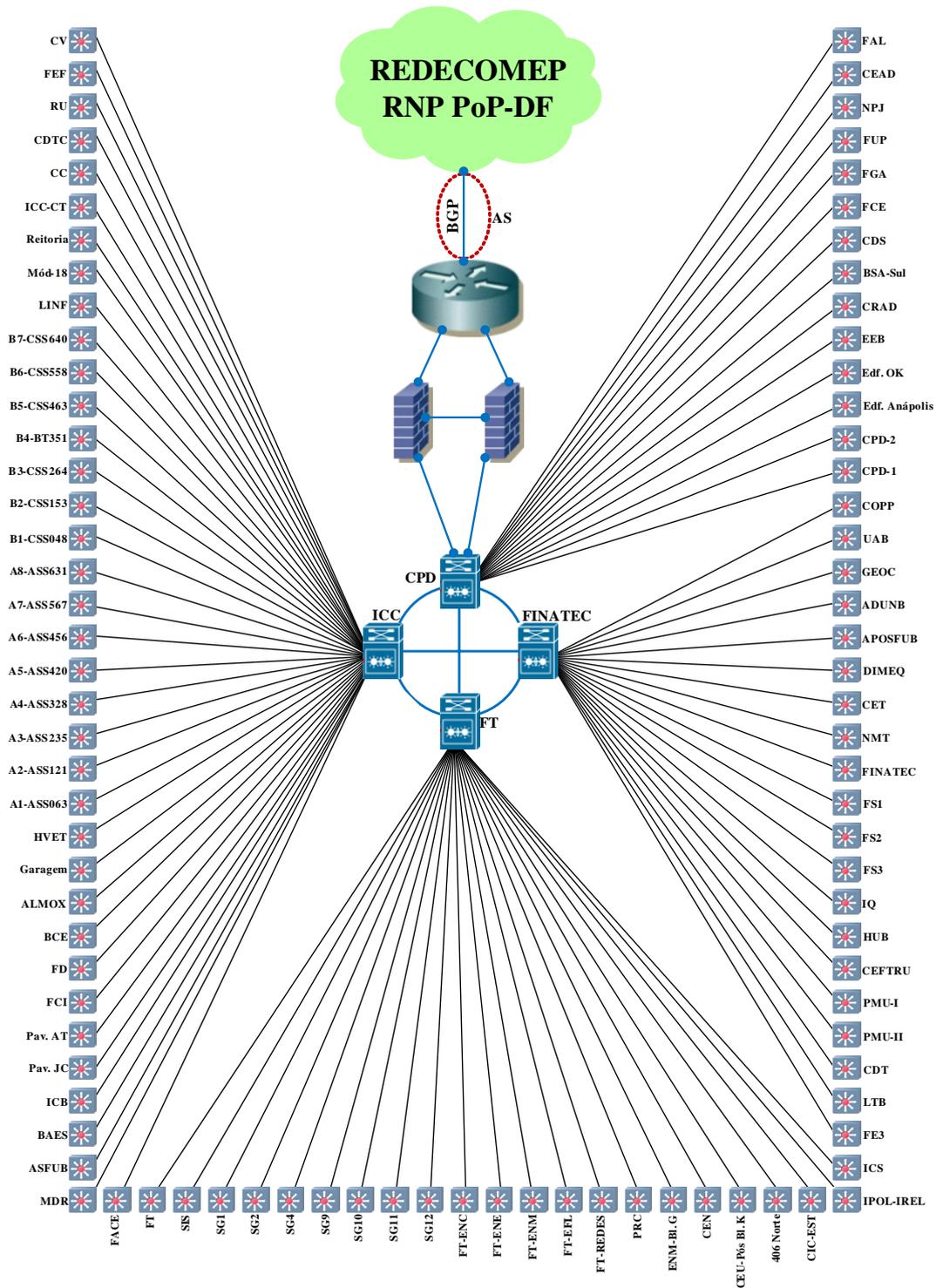


Figura 3.2: Visão ampla da REDUnB

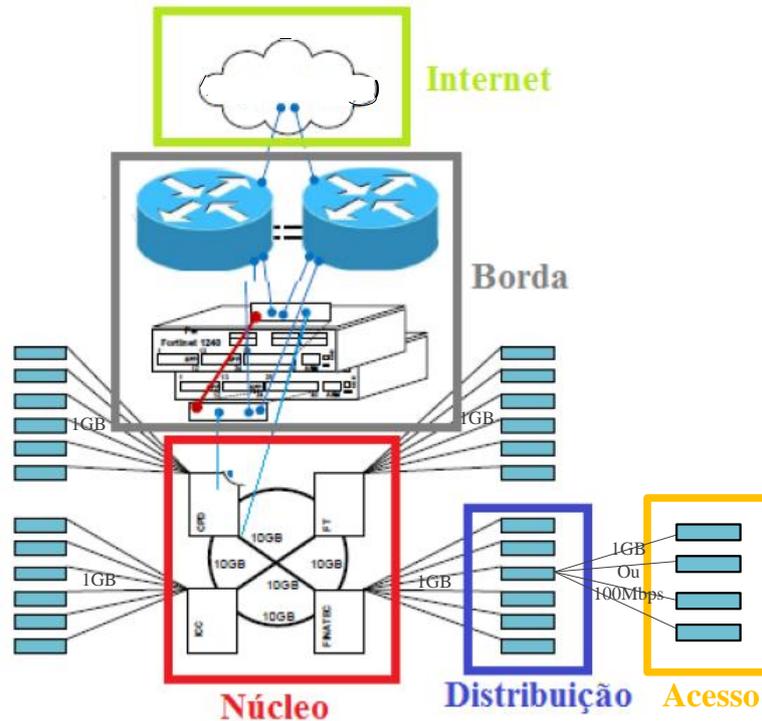


Figura 3.3: Topologia da REDUnB dividida em níveis

os equipamentos adquiridos, foram comprados quarenta *switches* modelo 08G20G4-24P [34], da Enterasys Network (fabricante de aproximadamente 90% dos ativos de rede que compõem o parque tecnológico da UnB). Tal equipamento traz consigo a possibilidade de implementação do EEE na REDUnB, sendo aquele que subsidiou a realização dos experimentos que serão apresentados no próximo capítulo da presente dissertação. A Tabela 3.2, adaptada de [34], traz as características do equipamento adquirido com a funcionalidade do EEE.

3.2 Características do Tráfego da REDUnB

As linhas que se seguem apresentam uma análise das características do tráfego da REDUnB. Este estudo preliminar teve por objetivo verificar o fluxo de dados de dois pontos isolados da Instituição e suas peculiaridades. Neste sentido, desejou-se projetar qual seria o impacto da implementação de uma abordagem voltada à economia de energia com EEE em um ambiente real em funcionamento e suas atuais características de funcionamento. Os resultados obtidos visam prover informações para a tomada de decisões sobre quais

Tabela 3.1: Ativos da REDUnB

Dispositivo	Qtd	Observação
Roteador	3	Dois deles utilizados para conectar a REDUnB à Internet e o outro utilizado para comunicação de um sistema legado.
<i>Firewall</i>	40	São utilizados nas bordas das redes locais e na saída da REDUnB.
<i>Switches Core</i>	5	São utilizados no núcleo da rede. Suas interfaces são de 10 Gbps e 1 Gbps.
<i>Switches de Distribuição</i>	95	Distribuem rede aos <i>switches</i> de acesso via camada 2 e se conectam aos <i>switches core</i> por camada 3.
Controladoras Wifi	11	Equipamento utilizado para fazer gerência e configuração dos pontos de acesso.
Pontos de Acesso	550	Interconecta dispositivos móveis a rede corporativa.
<i>Switches de Acesso</i>	624	Interliga-se aos <i>switches</i> de distribuição via camada 2 e conecta-se aos usuários finais. Ambas as ligações com velocidades que variam entre 1 Gbps e 100 Mbps.
Telefones IP	96	Esse tipo de equipamento utiliza a infraestrutura de rede para comunicação, diferentemente da telefonia tradicional.
<i>Hosts</i>	13.000	Dispositivos utilizados pelo usuário final (computadores, <i>scanners</i> , impressoras etc.)

os melhores locais para substituição de equipamentos que não possuem mecanismos de economia de energia por dispositivos com esta funcionalidade.

Nas subseções apresentadas a seguir têm-se os locais utilizados para a captura e análise dos dados. A ferramenta utilizada para a coleta e avaliação dos dados também foi detalhada. Por fim, foram explorados os resultados obtidos com os fluxos observados.

Tabela 3.2: Especificações técnicas *switch* Enterasys 08G20G4-24P

Enterasys 08G20G4-24P	
<i>Switching fabric bandwidth</i>	41,7Mpps
Capacidade de comutação	56Gbps
Tabela de endereçamento MAC	16K
VLANs suportadas	255
Interfaces	24 RJ45 + 4 SPF, todas de 1 Gbps
Sistema de alimentação	PoE de 375 W por <i>switch</i> com 30 W por porta
Suprimento de energia	1 fonte interna, 1 entrada para fonte externa
Tensão de entrada	100-240 VAC
Frequência de entrada	50-60Hz
Corrente de entrada	7,65A max
Consumo de energia	36,4W
Versão do <i>hardware</i>	A1
<i>Firmware</i>	01.03.03.0003

3.2.1 Localidades Selecionadas para Estudo

Após os testes realizados, foi necessário um processo de coleta de dados para executar a projeção de economia de energia com a implementação do EEE. Duas localidades foram escolhidas para a realização das capturas. Os centros de custo selecionados foram Reitoria e Departamento de Ciência da Computação e Estatística (CIC/EST). Tal escolha se deu pelo fato das diferentes características entre os dois prédios. A Reitoria, por sua essência, é um local de execução de atividades administrativas. Já o CIC/EST, além de sua área administrativa, é composto de salas de professores, laboratórios e auditórios. Outro fator que pesou na decisão da seleção destas duas Unidades, uma acadêmica e outra administrativa, deu-se pelo fato de ambas apresentarem um volume de tráfego superior aos demais locais, em suas respectivas categorias (administrativa e acadêmica).

A Reitoria é a localidade da UnB onde administração superior fica alojada. Seu prédio é dividido em cinco andares (subsolo, térreo, primeiro andar, segundo andar e terceiro andar). Gabinete do Reitor (GRE), Vice Reitoria (VRT), todos os Decanatos, a Procuradoria Jurídica (PJU), o Arquivo Central (ACE), a Secretaria de Comunicação (SECOM), entre outros setores, são alocados fisicamente neste local. Sua infraestrutura de comunicação é composta de diversos segmentos de redes públicas. Subdivididos em 10 segmentos “/24” (sendo dois segmentos de endereçamentos privados), três segmentos “/26”, dois segmentos “/28”, três segmentos “/29” e mais três segmentos “/30”. Para distribuir acesso aos diversos pontos espalhados nos cinco andares do prédio é necessária a utilização de quarenta e seis comutadores de dados. A Figura 3.4 apresenta a distribuição destes equipamentos pelo prédio em seus sete diferentes *racks* de comunicação.

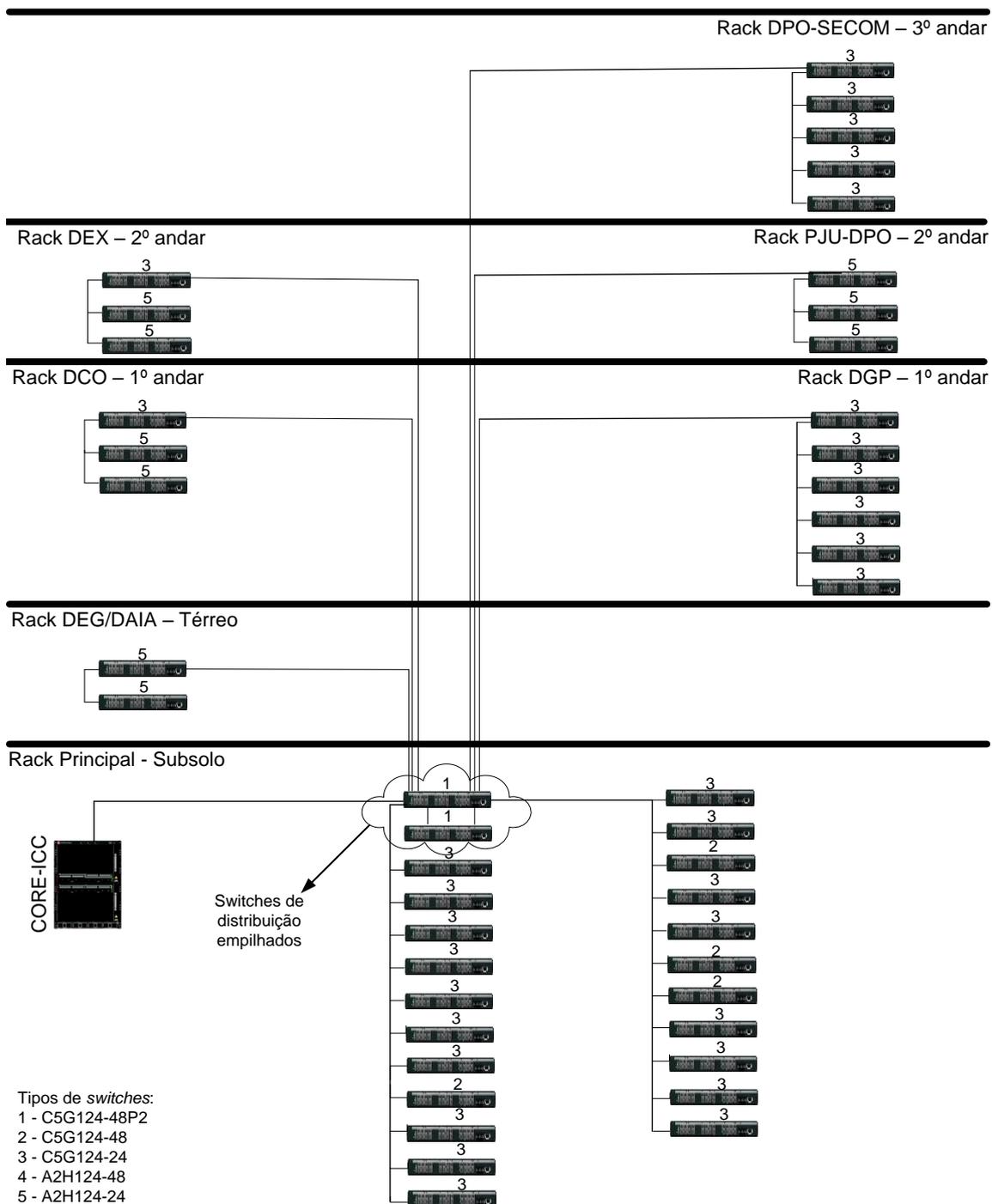


Figura 3.4: Distribuição de *switches* pelo prédio da Reitoria

O prédio do CIC/EST, local onde ficam estes dois departamentos vinculados ao Instituto de Exatas (IE), é dividido em dois andares. Sua infraestrutura de comunicação é composta de diversos segmentos de redes públicas. Subdivididos em quatro segmentos “/24” (sendo 2 segmentos de endereçamentos privados), dois segmentos “/25”, três segmentos “/27”, um segmento “/28” e dois segmentos “/30”. Com intuito de prover acesso

aos pontos distribuídos nos dois andares do local são utilizados dezoito *switches*. A Figura 3.5, ilustra a distribuição destes dispositivos no único *rack* de dados do prédio.

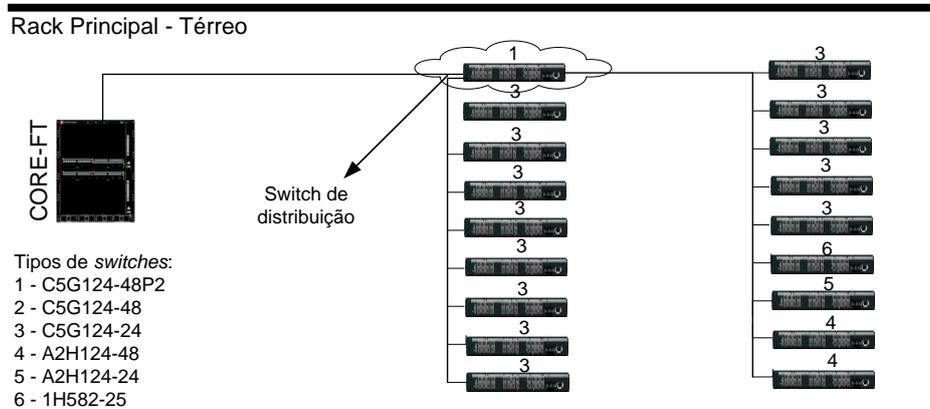


Figura 3.5: Distribuição de *switches* pelo prédio do CIC/EST

3.2.2 Ferramenta Utilizada para Coleta e Análise do Tráfego

As informações referentes à largura de banda e tamanho médio de pacote de cada Centro de Custo selecionado foram coletadas pela ferramenta Netsight [35]. O Netsight, licenciado na UnB em sua versão 4.4.0.113, é uma ferramenta proprietária distribuída pela Extreme Networks. É nela que se tem o controle centralizado dos recursos de rede ponta a ponta. Neste sentido, faz-se importante apresentar cada um dos itens colhidos através da Janela de Monitoramento de Porta (do Inglês, *Port Monitor Window*), que é uma funcionalidade que permite visualizar uma grande variedade de informações e estatísticas de uma porta:

- Descrição: traz o número da interface cuja captura de tráfego está sendo efetuada;
- Nome: exibe o nome da porta do *switch* alvo da coleta. Por exemplo: ge.1.48, significa que é quadragésima oitava porta Gigabit Ethernet, localizada no primeiro equipamento de uma provável pilha de *switches*;
- Alias: nomenclatura dada a uma porta pelo administrador do equipamento para maior entendimento do seu funcionamento;
- Descrição: traz informações como padrão Ethernet da porta e tipo de cabeamento utilizado;
- Informação: exibe o tipo de método cujas informações estão sendo coletadas (por exemplo, *ethernetCsmacd*);
- Velocidade: exibe a velocidade atual de transmissão da porta examinada;

- Endereço: é o endereço MAC da interface de análise;
- Situação da Porta: traz a situação da porta como administração e operacionalidade;
- Utilização: é a parte responsável por informar as estatísticas de tráfego. São trazidas as informações sobre total de bytes transmitidos desde a última atualização (delta, em segundos); uso atual, médio e picos (em percentual); horário de pico de utilização (dias, horas, minutos e segundos); tráfego de entrada, saída e total (KBps), também dividido em percentual; pacotes válidos divididos em *unicast* e *não-unicast* de entrada e de saída e pacotes inválidos divididos em erros e descartes de entrada e de saída, bem como protocolos desconhecidos.

Através de outra funcionalidade do Netsight, Estatísticas Ethernet RMON (do Inglês, *RMON Ethernet Statistics*), foram coletadas as informações referentes ao tamanho de pacotes de cada localidade selecionada. Tal funcionalidade, que traz os seus resultados em forma numérica e em forma de gráficos, é dividida em cinco partes, a saber: descrição, contagem, tipo de pacotes, tamanho dos quadros e erros, conforme se segue:

- Descrição: exibe a descrição da porta e do tipo da interface seguido pelo número da porta;
- Endereço: traz o endereço MAC da porta selecionada;
- Tipo: apresenta o tipo da interface da coleta;
- Contagem: exibe o número total de bytes, os pacotes processados e o total de pacotes descartados pelo segmento;
 - Bytes: apresenta o total de bytes dos pacotes processados no segmento de rede, incluindo os bytes contidos nos pacotes de erro;
 - Pacotes: exibe o total de pacotes processados no segmento de rede, incluindo neste número os pacotes de erro;
 - Eventos de Descarte: traz o quantitativo de vezes que os pacotes foram descartados;
- Tipo de Pacote: apresenta o número e o percentual de pacotes transmitidos no segmento dividindo em transmissão *Multicast*, *Broadcast* e *Unicast*. Os resultados são apresentados em gráficos do tipo pizza;
 - *Multicast*: exibe o número de pacotes processados no segmento de rede cujo destino foi mais de um endereço. Na coluna percentual é mostrada a proporção em porcentagem de pacotes processados;

- *Broadcast*: exibe o número de pacotes processados no segmento de rede cujo destino foi o endereço de *broadcast* (FF:FF:FF:FF:FF:FF). Na coluna percentual é mostrada a proporção em porcentagem de pacotes processados;
- *Unicast*: exibe o número de pacotes processados no segmento de rede cujo destinatário foi um único endereço. Na coluna percentual é mostrada a proporção em porcentagem de pacotes processados;
- Tamanho do Quadro em Bytes: apresenta o número de pacotes (inclusive os pacotes de erro) dentro destes intervalos de comprimento (excluindo bits de enquadramento, porém, incluindo os quadros de sequência) processados pelo segmento de rede. Os resultados são apresentados em gráficos do tipo pizza;
- Erros: apresenta o tipo e número de pacotes processados pelo segmento de rede com algum problema. A divisão percentual dos erros é apresentada em gráficos do tipo pizza;
 - Alinhar/CRC: exibe o número de pacotes processados pelo segmento de rede que tiveram um número não integral de bytes (erro de alinhamento) ou erro de Checagem de Redundância Cíclica (do Inglês, Cyclic Redundancy Check - CRC);
 - Fragmentos: apresenta o quantitativo de pacotes subdimensionados (pacotes com comprimento inferior a 64 bytes) processados pelo segmento de rede e tiveram problemas no alinhamento;
 - *Jabbers*: exibe o quantitativo de pacotes superdimensionados (pacotes com comprimento superior a 1518 bytes) processados pelo segmento de rede e tiveram problemas de alinhamento;
 - Colisões: mostra o número total de colisões detectadas no segmento de rede;
 - Subdimensionado: exibe o número de pacotes processados pelo segmento de rede que continham menos de 64 bytes e foram bem formados;
 - Superdimensionado: exibe o número de pacotes processados pelo segmento de rede que continham mais de 1518 bytes e foram bem formados.

As Figuras 3.6 e 3.7 apresentam, respectivamente, uma tela de captura que apresenta um dos períodos de análise da largura de banda utilizada em uma das localidades escolhidas e uma tela de captura do comparativo da proporção do tamanho dos pacotes trafegados em determinado intervalo de tempo.

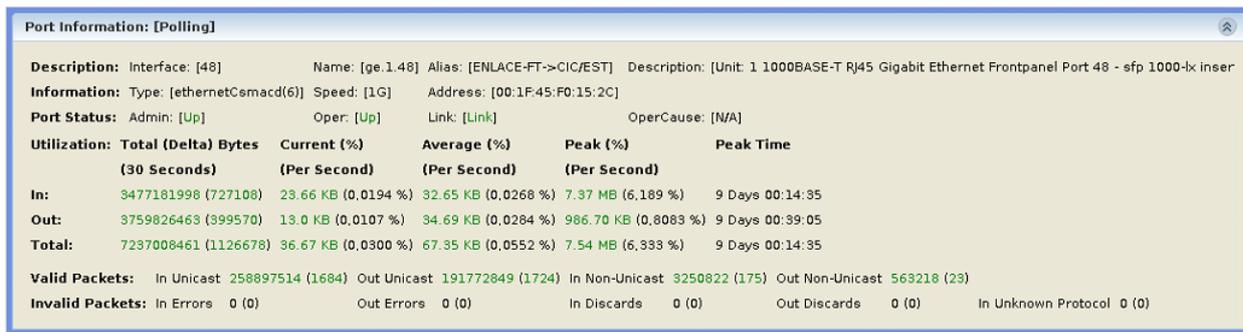


Figura 3.6: Tela que apresenta coleta de largura de banda utilizada

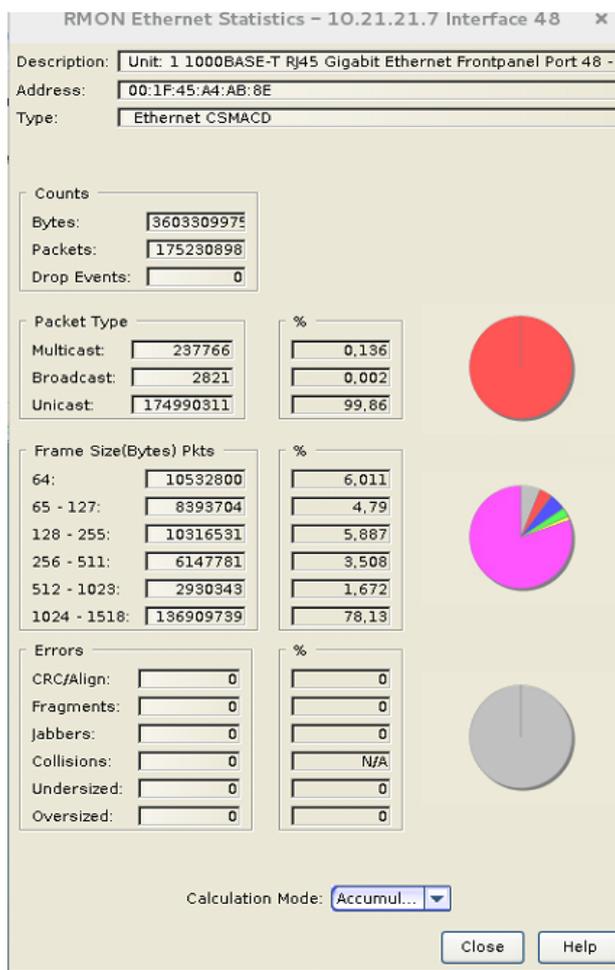


Figura 3.7: Tela que apresenta coleta da relação entre o tamanho dos pacotes trafegados

3.2.3 Avaliações e Resultados Obtidos

A forma de coleta dos dados escolhida foi a acumulativa. Tal opção não faz a limpeza dos contadores do equipamento, o que denota na computação do fluxo de pacotes de períodos específicos e a largura de banda consumida, zerando as coletas sempre que necessário.

Os dados foram apanhados da interface “ge.1.48” do *switch* de distribuição de cada

um dos equipamentos dos locais selecionados. Tais interfaces são as de *uplink*, ou seja, as que interligam toda infraestrutura destas localidades ao *backbone* da rede. A seguir, a Tabela 3.3 apresenta a escala de coleta de dados. As coletas foram realizadas na segunda quinzena do mês de julho. Este período foi escolhido pelo fato da Instituição estar em férias escolares, porém, com funcionamento da sua área administrativa. O prazo reduzido para montagem do ambiente de testes e obtenção de equipamentos essenciais para execução do trabalho não permitiu uma maior abrangência nos períodos de coleta dos dados. A escala foi dividida em quatro distintos períodos de acordo com a característica do horário e do dia da captura.

Tabela 3.3: Escalas de capturas de dados

Descrição das Coletas			
	Intervalo	Dias	Observações
Período 1	8 h às 20 h	quinta-feira e sexta-feira	Dia de semana em horário de expediente
Período 2	20 h às 8 h	quinta para sexta e sexta para sábado	Dia de semana em horário noturno
Período 3	8 h às 20 h	sábado e domingo	Final de semana período diurno
Período 4	20 h às 8 h	sábado para domingo e domingo para segunda	Final de semana período noturno

Após o término das coletas, cada período teve seus dados somados e as médias extraídas de cada fase de capturas. As Figuras 3.8 (a) e (b) e 3.9 (a) e (b) apresentam, respectivamente, em forma de gráficos, período a período, como ficaram as condições de largura de banda com suas médias e picos de consumo em KBps (*download* e *upload*) e a divisão de pacotes de cada localidade analisada com seus tamanhos em Bytes.

Nas figuras referentes às vazões médias e picos de vazão encontrados é possível verificar uma grande discrepância entre os valores de *download* e *upload*. Em apenas dois casos, dos dezesseis analisados, a taxa de *upload* superou a de *download*. Os percentuais de utilização não tiveram comportamentos muito divergentes entre as duas localidades analisadas. Os valores encontrados condizem com a largura de banda total da UnB, que tem seu enlace com a Internet com velocidade de 1 Gbps.

As coletas referentes aos tamanhos de pacotes expressas nas Figuras 3.9 (a) e (b) apresentam as proporções de pacotes trafegados nos dois Departamentos analisados nos períodos escolhidos. Os pacotes foram divididos entre os seguintes intervalos de tamanhos,

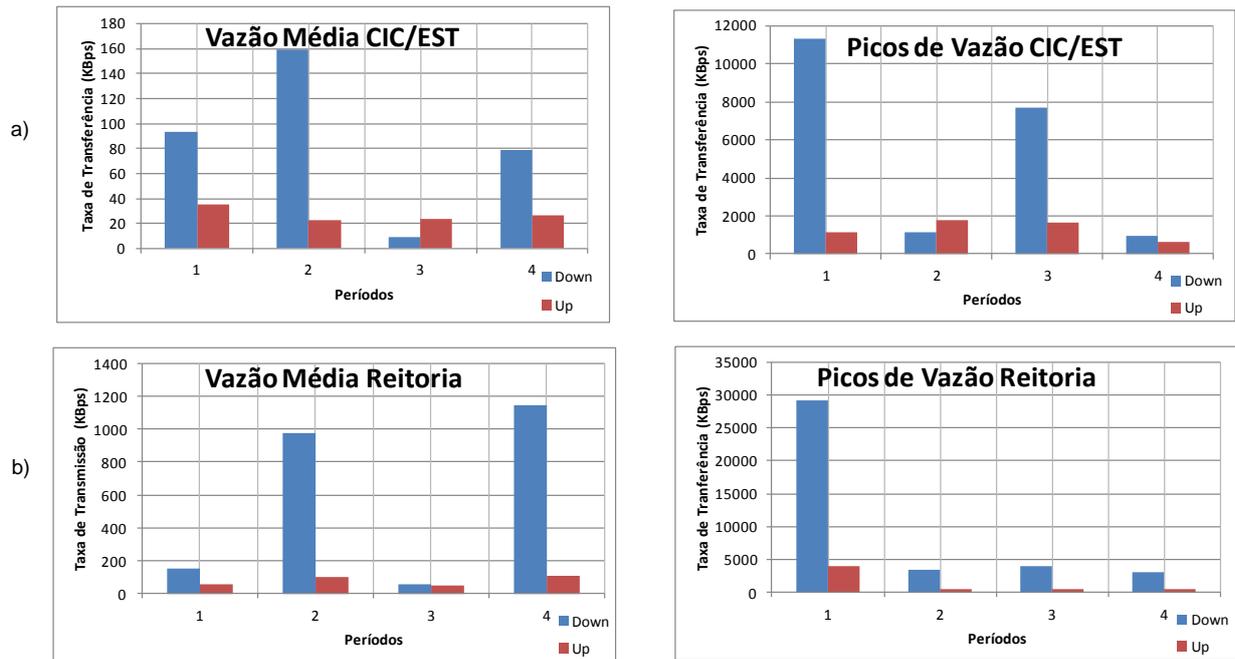


Figura 3.8: Consolidação das coletas referentes à largura de banda utilizada (médias e picos)

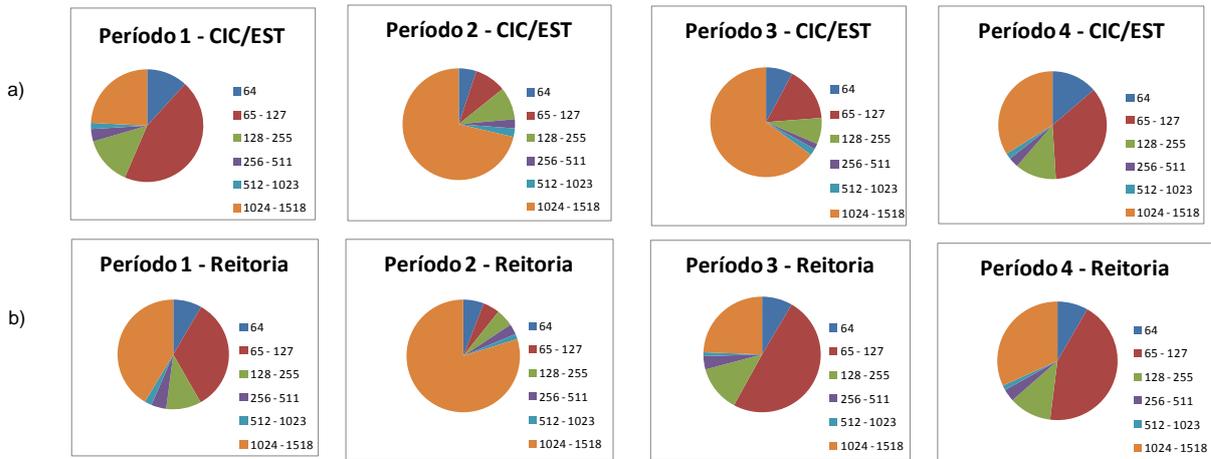


Figura 3.9: Consolidação das coletas referentes ao tamanho dos pacotes

em bytes: 64, 65 a 127, 128 a 255, 256 a 511, 512 a 1023 e 1024 a 1518. Nas oito coletas realizadas, a maioria dos pacotes ficou dividida em duas faixas de tamanhos. Os intervalos de tamanhos que mais se repetiram foram os de pacotes entre 65 e 127 e 1024 e 1518 bytes. Ou seja, os pacotes transitaram entre o maior e segundo menor intervalo de tamanhos possíveis.

3.2.4 *Switch* sem EEE Avaliado

Conforme evidenciado na Tabela 3.1, a REDUnB é composta por seiscentos e vinte e quatro *switches* de acesso. Estes são os comutadores de dados que mais ficam próximos ao usuário final interligando computadores, impressoras e demais equipamentos de acesso à rede. Tais equipamentos têm suas velocidades máximas entre 100 Mbps e 1 Gbps. Os modelos que estão sob gerência do CPD são: C5G124-48P2, C5G124-48, C5G124-24P2, C5G124-24, B5G124-48P2, B5G124-24P2, A2H124-48, A2H124-24, V2H124-24 e 1H582-25, todos da fabricante Enterasys Network.

Entre os equipamentos mencionados na seção anterior, vale destacar o modelo C5G124-24 para a comparação com o equipamento que dispõe da funcionalidade EEE, escolhido pela alta incidência de utilização na UnB. O modelo corresponde a 32% do quantitativo total dos equipamentos utilizados. A Tabela 3.4, adaptada de [36], apresenta as características do referido equipamento.

Tabela 3.4: Especificações técnicas *switch* Enterasys C5G124-24

Enterasys C5G124-24	
<i>Switching fabric bandwidth</i>	48Mpps
Capacidade de comutação	176Gbps
Tabela de endereçamento MAC	16K
VLANs suportadas	255
Interfaces	24 RJ45 + 4 SPF (combo), todas de 1 Gbps
Sistema de alimentação	Não possui
Suprimento de energia	1 fonte interna, 1 entrada para fonte externa
Tensão de entrada	100-240 VAC
Frequência de entrada	50-60Hz
Corrente de entrada	2A max
Consumo de energia	65W
Versão do <i>hardware</i>	BCM56620
<i>Firmware</i>	06.42.01.0046

A captura do gasto energético no *switch* C5G124-24, com cenário utilizado apresentado na Figura 3.10, foi executado com o comutador de dados com características especificadas na Tabela 3.4, nomeado como “SW-A”. A este equipamento foi conectado um *notebook*, via porta serial, nomeado como “PC-1”. O *switch* teve suas portas interconectadas entre si com cabos de par trançado UTP categoria 6. As ligações foram realizadas com os cabos ligando as portas sequencialmente. Por exemplo, a porta 1 foi conectada a porta 2 do mesmo equipamento, assim, fez-se com as vinte e quatro portas com interface RJ45. As portas 25 a 28 não foram utilizadas por se tratarem de interfaces SFP (do Inglês, *Small Form-factor Pluggable*). O “SW-A” teve seu cabo de energia conectado ao monitor de

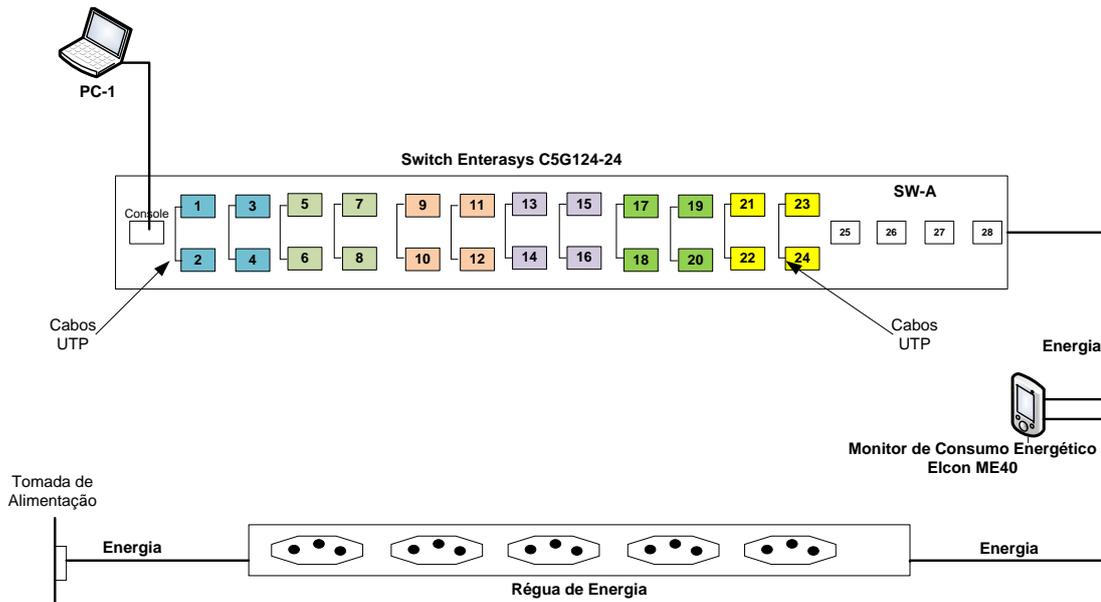


Figura 3.10: Cenário de realização das capturas do consumo energético do *switch* C5G124-24

consumo energético [18] (será detalhado no próximo capítulo), que, por sua vez foi ligado a uma régua de energia. Tal monitor foi utilizado para o cálculo do consumo energético do *switch* a partir da sua função de acumulação de kWh (*quilowatt-hora*).

O experimento foi executado com seis repetições em cada cenário. O teste teve início com todas as portas desabilitadas (0 portas). A cada 15 segundos um conjunto de quatro portas (0, 4, 8...) era habilitado, pelo “PC-1”, via porta serial. Os conjuntos de portas foram habilitados até as 24 portas estarem ativas. Os testes foram realizados com o EEE habilitado e desabilitado.

A Figura 3.11, apresenta o comportamento de gasto de energia do *switch* em relação à sua utilização. O gráfico apresenta a evolução do consumo energético de acordo com habilitação de suas portas. Os resultados foram expressos pela média aritmética simples obtida nos conjuntos de testes realizados. A figura também apresenta, através de linha vertical preta sobre o marcador, os desvios padrões encontrados. No caso de marcador sem esta linha, isso se dá pelo fato dos resultados do conjunto de testes terem sido todos iguais.

Os resultados da análise realizada no *switch* Enterasys C5G124-24 são exibidos na Figura 3.11. É apresentado um crescimento do consumo próximo ao linear; o comportamento se altera do ponto entre a inserção da décima sexta para a vigésima porta. O consumo médio por porta ficou em torno de 0,58 Watts. O consumo por porta está

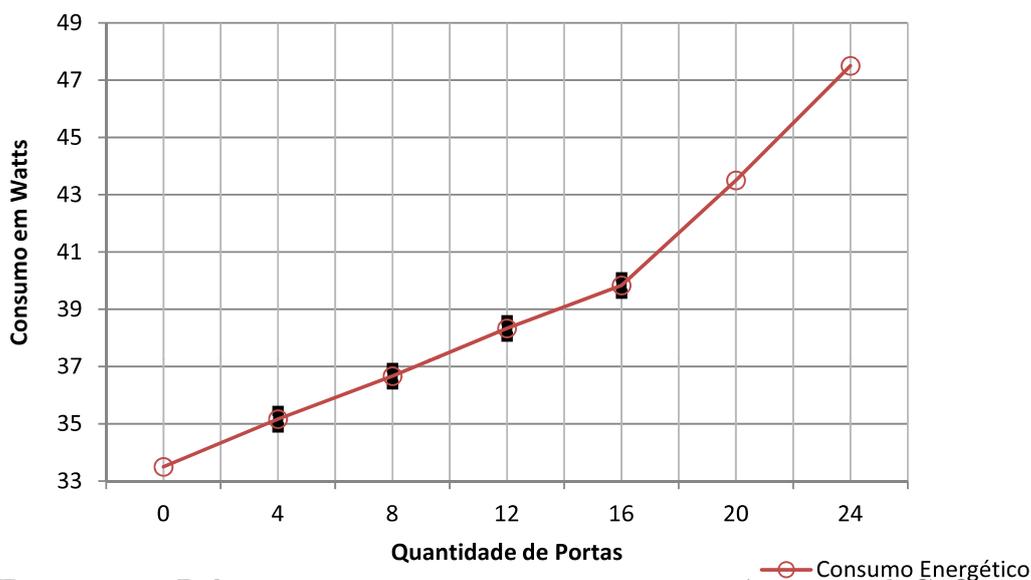


Figura 3.11: Relação portas em uso vs consumo energético *switch* C5G124-24

muito próximo ao que é relatado em [5], onde é expresso que em interfaces 1000Base-T, o consumo é, em geral, de 0,5 Watts podendo variar entre fabricante e equipamento.

3.3 Resumo Conclusivo

As informações expostas até aqui neste capítulo serviram para apresentar a REDUnB, com o desenho de sua topologia e a exposição da sua área de abrangência. Foram apresentadas algumas particularidades, como, por exemplo, as faixas de endereçamento dos *hosts*, tanto no protocolo IPv4 como no IPv6. O quantitativo de equipamentos também foi listado mostrando o potencial de economia de energia que pode ser alcançado com a implementação do padrão IEEE 802.3az. São, aproximadamente trinta mil interfaces que podem ser incluídas em abordagens para a economia de energia. Evidenciou-se aqui o relato de que mesmo após quatro anos da criação do padrão, a UnB não possui tal funcionalidade implantada no seu parque tecnológico.

Com base na coleta de dados de dois diferentes departamentos da UnB, buscou-se aqui identificar as características de utilização de banda de rede e o tamanho dos pacotes trafegados nos referidos locais. Os dados servirão para, após realização dos experimentos, projetar a economia de energia que pode ser alcançada no atual ambiente de produção de algumas localidades da REDUnB.

O próximo capítulo da presente dissertação destina-se a exibir os experimentos realizados, sendo expostos os cenários, as ferramentas e os métodos utilizados. Os resultados serão ilustrados através do uso de gráficos.

Capítulo 4

EEE: Experimentos e Resultados

O capítulo que se segue trata de uma avaliação prática envolvendo o padrão IEEE 802.3az. Conforme o exposto na Seção 2.4, as pesquisas não apontam informações precisas sobre a economia energética em ambientes em produção com característica semelhante ao da UnB. A variação nos resultados encontrados nos estudos que subsidiaram esta pesquisa comprovaram a necessidade de uma análise mais apurada em busca da confirmação da eficiência do padrão. O fato da não realização de estudos com o comutador de dados selecionado (informações sobre o equipamento na tabela 3.2) contribuiu para esta tomada de decisão. As informações sobre a rede da UnB, coletadas no capítulo anterior, também subsidiaram a realização dos testes expostos no presente capítulo. Os dados coletados deverão ser confrontados com os resultados dos testes que foram realizados. Neste sentido, configurou-se como objetivo verificar as condições encontradas e projetar a economia energética que pode ser alcançada com a implantação do EEE na atual infraestrutura de rede da UnB. Para finalizar o capítulo, será feita uma projeção da economia alcançada com a presente abordagem em kWh/mês na comparação entre os diferentes modelos de equipamentos.

As seções subsequentes do capítulo apresentarão as ferramentas utilizadas e suas peculiaridades, topologias utilizadas, as diferenças entre os testes realizados, a avaliação dos resultados obtidos nos experimentos executados e a projeção de economia de energia com base na captura de dados realizada no ambiente real, confrontando-a com o atual consumo de energia do comutador de dados apresentado na Figura 3.11.

Os experimentos realizados neste capítulo visam abordar diferentes características que envolvem o funcionamento dos enlaces Ethernet. O objetivo é confrontar a variação das características dos experimentos com o consumo energético de um comutador de dados. A seguir serão apresentados os aspectos que serão analisados nos experimentos nas seções que se seguem:

- relação de consumo energético em momentos de ociosidade dos enlaces;

- relação de consumo energético em condições de diferentes taxas de vazão dos enlaces;
- relação de consumo energético com a variação dos tamanhos de pacotes em taxas de transferência iguais;
- relação de consumo energético com a variação entre o intervalo de envio de quadros em taxas de transferência iguais; e
- por fim, fazer a projeção da economia de energia obtida nos experimentos comparando às capturas de dados realizadas em ambiente real.

4.1 Ferramentas Utilizadas

Na fase de experimentos fez-se necessária a realização de diferentes testes. Cada fase foi composta de diferentes características que exigiram formas distintas de execução. Assim, tem-se na presente seção a apresentação das ferramentas utilizadas na fase de realização dos testes empregados da dissertação em curso. Suas principais características são evidenciadas para facilitar o entendimento de seus funcionamentos e aplicabilidades. Em seguida, têm-se os detalhes sobre as ferramentas Iperf, Netlimiter, Ostinato e MZ.

- **Iperf** [49]: *software* criado no início dos anos 2000, pelo *National Laboratory for Applied Network Research/Distributed Application Support Team* NLANDR/DAST para medição da largura banda de redes de computadores cabeadas e sem fio, com suporte aos protocolos TCP e UDP (do Inglês, *User Datagram Protocol*) através de injeção de tráfego. Ferramenta executada através da CLI (do Inglês, *Command Line Interface*), não possuindo interface gráfica. Tal aplicação funciona com base no modelo cliente/servidor, com o cliente iniciando as sessões e o servidor respondendo às solicitações de testes. O Iperf está disponível para diversos sistemas operacionais, tais como Windows, MacOS, Linux, Solaris, FreeBSD e OpenBSD. O protocolo padrão utilizado por esta ferramenta é o TCP, o que não limita a utilização do UDP. A seguir, têm-se as principais peculiaridades de cada protocolo utilizado pela ferramenta:
 - **TCP**: conexões simultâneas para cliente/servidor e servidor/cliente, medida da largura de banda, suporte à modificação do tamanho da janela TCP e relatório do tamanho do Maximum Segment Size/Maximum Transmission Unit (MSS/MTU);
 - **UDP**: fluxo com variação na largura de banda, múltiplas conexões simultâneas entre cliente e servidor (indisponível no Windows) e relatórios com resultado de perda de pacotes e *jitter* de uma simulação.

- **NetLimiter** [51]: é uma ferramenta de controle e monitoramento de tráfego de redes desenvolvida pela Yours Locktime Software. Este *software*, executado somente através de interface gráfica, está disponível apenas para plataforma Windows. Entre as principais características do NetLimiter estão:
 - Controle total sobre a largura de banda de computadores e aplicações;
 - Estatísticas de longo prazo sobre o tráfego de rede; e
 - Bloqueio sobre conexões selecionadas.

- **Ostinato** [43]: desenvolvido inicialmente por Srivats P. em 2007, esta é uma ferramenta multiplataforma *open-source* que cria e analisa diferentes pacotes, utilizando uma diversidade de protocolos com transmissões variáveis. A aplicação funciona a partir de interface gráfica. As suas principais características são:
 - Suporte a estatísticas;
 - Suporte a diversos protocolos de diversas camadas;
 - Permite abrir, reproduzir, editar e salvar arquivos com formato “PCAP”;
 - Permissão para alteração de campos de protocolos; e
 - Captura e visualização de pacotes.

- **MZ (Mausezahn)** [25]: aplicação *open-source* em linha de comando criada em 2007 por Herbert Haas. Esta ferramenta é um gerador de tráfego que permite o envio de vários tipos de pacote em diferentes protocolos. O MZ encontra-se somente disponível para a plataforma Linux (e outros sistemas que têm por base o UNIX). A seguir, tem-se algumas de suas características:
 - Especificação de dígitos hexadecimais;
 - Inserção de atraso entre quadros;
 - Relatórios de estatísticas de testes realizados; e
 - Suporte às solicitações DNS.

4.2 Experimento 1 - Análise do EEE em Períodos de Ociosidade

Este experimento examina a questão do consumo energético do *switch* com e sem o padrão IEEE 802.3az habilitado em momentos de ociosidade nos enlaces. O objetivo aqui é analisar o consumo de energia destes equipamentos nos momentos em que os enlaces

encontram-se ligados, mas sem transferência de dados. Neste sentido, foi avaliado aqui um cenário perfeito, pois é sabido que mesmo não existindo uma transmissão de dados direta, muitos aplicativos e protocolos trocam, sem a percepção do usuário, pacotes de atualização e/ou sinalização, entre outros.

4.2.1 Especificação dos Testes

O primeiro teste, com cenário utilizado apresentado na Figura 4.1, foi executado com dois *switches* com características especificadas na Tabela 3.2 do capítulo 3, nomeados como “SW-A” e “SW-B”. Ao “SW-A” foi conectado um *notebook*, via porta serial, nomeado como “PC-1”. Os *switches* foram interconectados entre si com cabos de par trançado UTP categoria 6. As ligações foram realizadas com os cabos ligando os seus pares de portas. Por exemplo, a porta 1 do “SW-A” foi conectada a porta 1 do “SW-B” e, assim, fez-se com as vinte quatro portas com interface RJ45. As portas 25 a 28 não foram utilizadas por se tratarem de interfaces SFP. O “SW-A” teve seu cabo de energia conectado ao monitor de consumo energético [18], que, por sua vez foi ligado a uma régua de energia. Portanto, apenas o “SW-A” teve suas informações sobre variação no consumo energético coletadas. Tal monitor foi utilizado para o cálculo do consumo energético do *switch* a partir da sua função de acumulação de kWh (*quillowatt-hora*). Além da função de energia elétrica consumida no período, o monitor traz potência ativa em Watt, potência reativa em Va, tensão instantânea em volt, corrente elétrica instantânea em Ampere, frequência em Hz, fator de potência do equipamento em teste e o custo da energia consumida no período em reais.

4.2.2 Método de Realização

O experimento foi executado com seis repetições em cada cenário. O teste teve início com todas as portas desabilitadas (0 portas). A cada 60 segundos um conjunto de quatro portas (0, 4, 8...) era habilitado, pelo “PC-1”, via porta serial. Os conjuntos de portas foram habilitados até as 24 portas estarem ativas. Os testes foram realizados com o EEE habilitado e desabilitado.

4.2.3 Análise dos Resultados

Com término deste experimento notou-se que a escolha de conjunto de quatro portas foi acertada. Além de dividir o *switch* em conjuntos de tamanhos iguais foi possível visualizar a diferença no consumo. Os resultados do experimento estão ilustrados na Figura 4.2, que apresenta claramente a diferença de consumo energético para as análises realizadas com o EEE habilitado e desabilitado. O EEE com aumento de portas ativas,

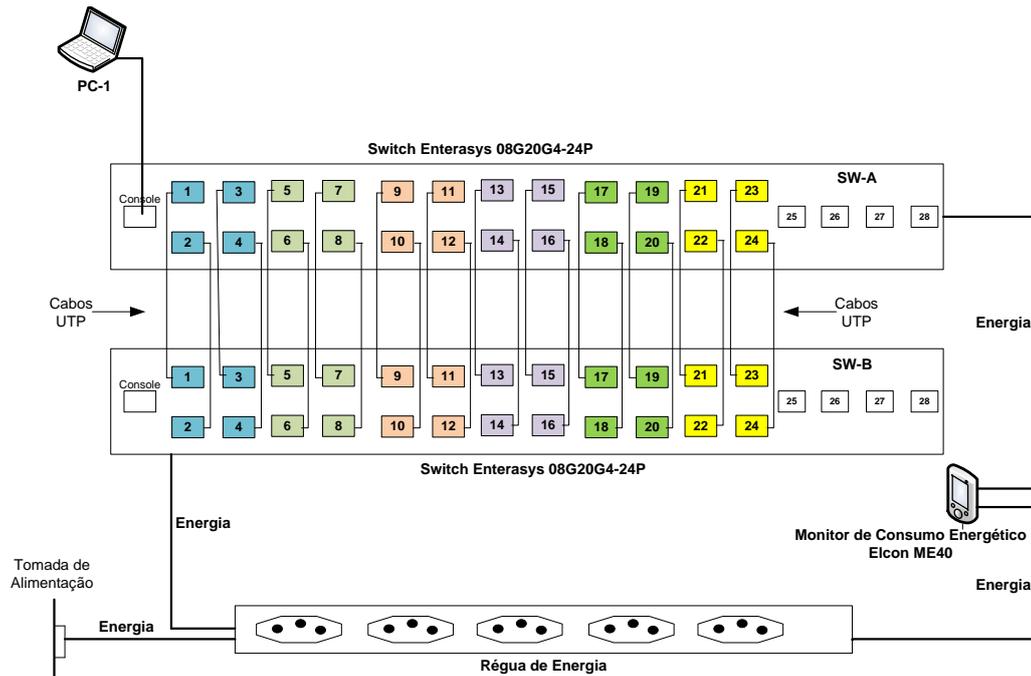


Figura 4.1: Cenário de realização do experimento 1

obviamente, também aumentou o seu consumo de energia, mas o aumento final - em relação ao inicial - foi de aproximadamente 30%. Já com cenário de avaliação com o padrão IEEE 802.3az habilitado, foi possível constatar um crescimento próximo ao linear, o que em [32] é considerado como o consumo ideal em relação à proporcionalidade da carga. Mas, comparado ao padrão em funcionamento, o gasto se tornou bastante superior. Os resultados foram expressos pela média aritmética simples obtida nos testes realizados. A figura também apresenta, através de linha vertical preta sobre o marcador, os desvios padrões encontrados. No caso de marcador sem esta linha, isso se dá pelo fato dos resultados do conjunto de testes terem sido todos iguais.

4.3 Experimento 2 - Relação Consumo de Energia \times Vazão

Esta fase dos experimentos pautou-se em verificar o comportamento do gasto energético do *switch* em relação às diferentes taxas de transmissão de dados. A finalidade dos testes é analisar a relação entre o consumo de energia dos equipamentos com o padrão IEEE habilitado e as diferentes taxas de transferência empregadas.

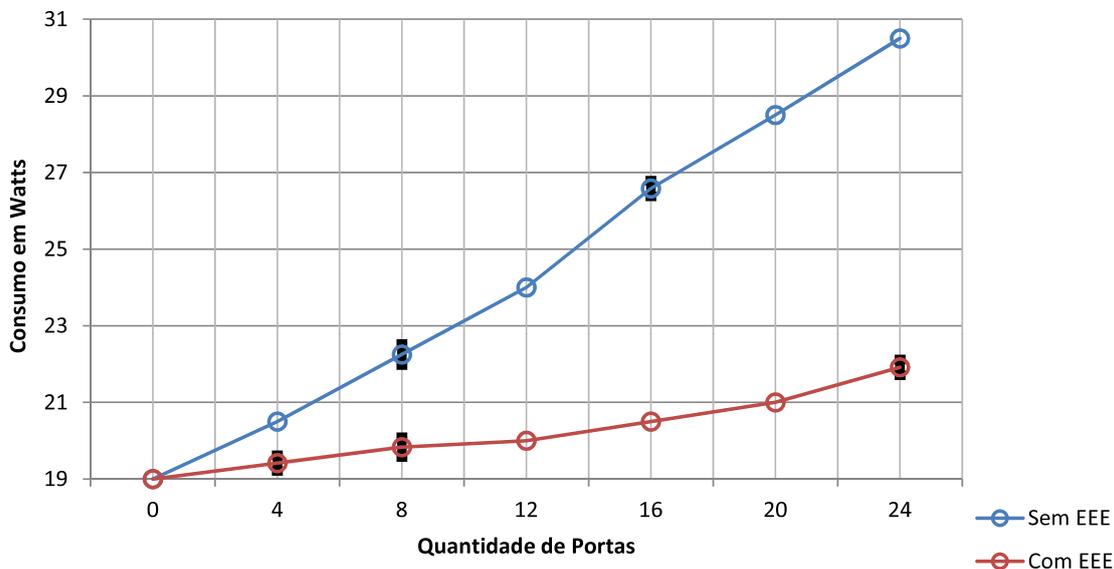


Figura 4.2: Relação portas em uso vs consumo energético

4.3.1 Especificação dos Testes

A Figura 4.3, apresenta o cenário de testes para este segundo experimento. A configuração foi montada com base em uma topologia serpente (do Inglês, *snake topology*) [48]. A primeira porta do *switch* foi conectada a um notebook que foi nomeado como “PC-1”. O computador nomeado como “PC-2” foi conectado à porta 23. As placas de rede, de ambos os computadores, suportam o padrão IEEE 802.3az. As especificações dos referidos equipamentos estão expostas na Tabela 4.1. As demais portas foram ligadas de forma que o tráfego da porta 1, através do barramento interno do *switch* (*backplane*), comunique-se com a porta 2, por sua vez, está ligada externamente à porta 3, via cabo UTP categoria 6, e assim por diante até chegar a porta 24. A cada par de portas sequenciais foi atribuída uma única *vlan* com o objetivo de obrigar o tráfego a usar o caminho externo, ao invés de utilizar o barramento interno do equipamento. Tal ação garante que todas as portas tenham a mesma carga e o mesmo tráfego gerado pela origem da transmissão. O *switch*, por sua vez, submete cada uma de suas portas a gerar a mesma quantidade de transições nos estados do EEE. O *switch*, a exemplo do experimento 1, teve seu cabo de energia ligado ao monitor de consumo de energia, a fim de apurar as oscilações no consumo energético.

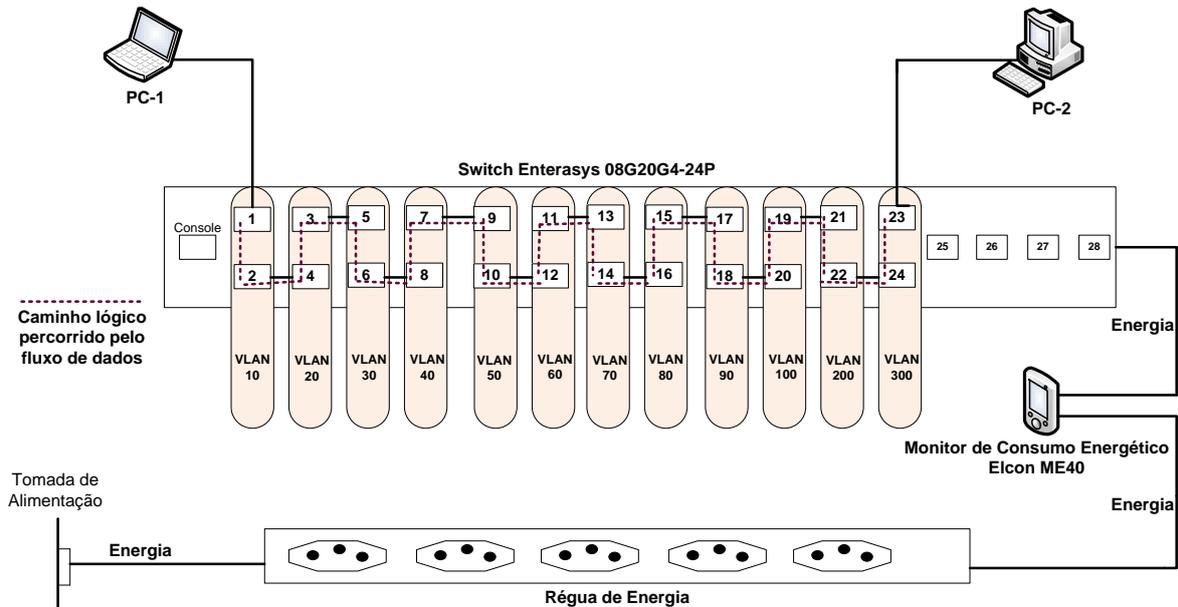


Figura 4.3: Cenário de realização do experimento 2

Tabela 4.1: Especificações dos computadores utilizados no experimento 2

	Tipo	Sistema Operacional	Placa de Rede
PC-1	Notebook	Windows 7	Realtek PCIe GBE Family Controller
PC-2	Desktop	Debian 8	Intel 82579LM Gigabit Ethernet

4.3.2 Método de Realização

Neste experimento o tráfego foi gerado a partir do cliente de origem (“PC-1”) até o destino (“PC-2”): o servidor. O experimento foi executado com seis repetições em cada velocidade alternando entre um teste com o EEE habilitado e um desabilitado. Cada experimento teve duração de 60 segundos. A injeção de tráfego fez-se com cargas múltiplas de 100 Mbps até chegar a 1000 Mbps, começando sem nenhuma contabilização de carga. O Iperf [27] foi a ferramenta utilizada tanto para os experimentos com o protocolo TCP como para o UDP; porém, para os testes com TCP foi necessária a utilização de uma ferramenta adicional. Como o Iperf só faz limitação de tráfego quando está utilizando o UDP, a ferramenta NetLimiter [51] foi utilizada na origem para adequar o tráfego ao experimento. A partir da tela principal da ferramenta é apresentada uma lista de todos os processos em produção no momento, e que, de alguma forma, estão fazendo uso da conexão de rede. Para a limitação da banda para os processos, faz-se importante indicar a opção “*Limit*”, para *download*, *upload* ou ambos, localizada ao lado de cada item da lista e aguardar até que a alteração seja efetuada. Os pacotes enviados tinham o tamanho de 1512 bytes (tamanho selecionado pela ferramenta). Na Tabela 4.2, tem-se os comandos utilizados no Iperf para execução dos testes.

Tabela 4.2: Comandos utilizados no experimento 2

TCP	
Servidor	Iperf -s
Cliente	Iperf -c <ip servidor> -P 2 -t 60
UDP	
Servidor	Iperf -s -u
Cliente	Iperf -c <ip servidor> -u -b <largura de banda +m> -t 60

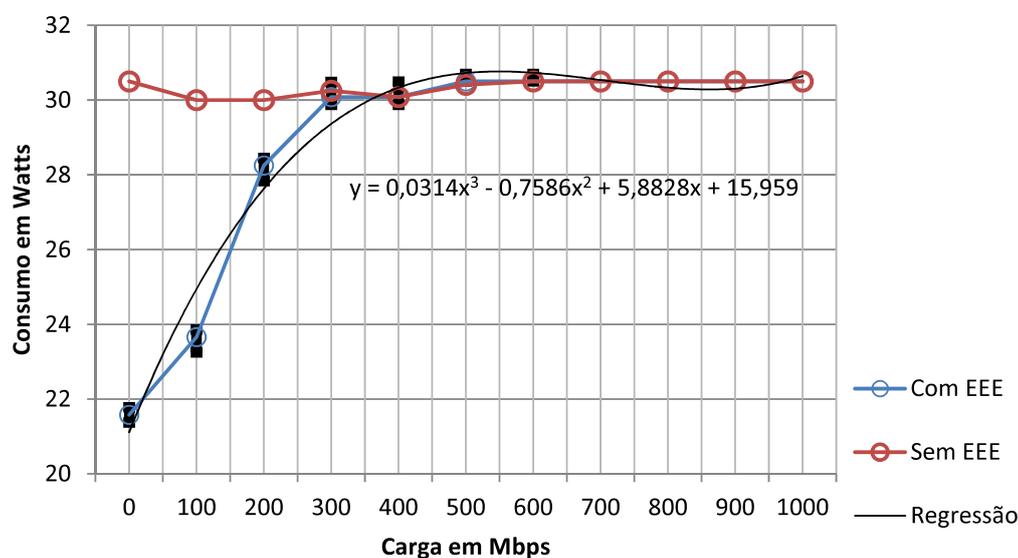


Figura 4.4: Relação entre carga vs consumo energético com regressão (TCP)

4.3.3 Análise dos Resultados

A Figura 4.4, exibe os resultados deste experimento, alcançados por meio dos testes realizados com o protocolo TCP. Os resultados foram obtidos através da média aritmética simples obtida nos testes realizados. Além disso, a figura exibe a regressão e a equação determinada. A figura também apresenta, através de linha vertical preta sobre o marcador, os desvios padrões encontrados. No caso de marcador sem esta linha, isso se dá pelo fato dos resultados do conjunto de testes terem sido todos iguais.

Já a Figura 4.5, exibe os resultados deste experimento alcançados por meio dos testes realizados com o protocolo UDP. Os resultados foram obtidos através da média aritmética simples obtida nos testes realizados. Além disso, a figura exibe a regressão e a equação determinada. A figura também apresenta, através de linha vertical preta sobre o marcador, os desvios padrões encontrados. No caso de marcador sem esta linha, isso se dá pelo

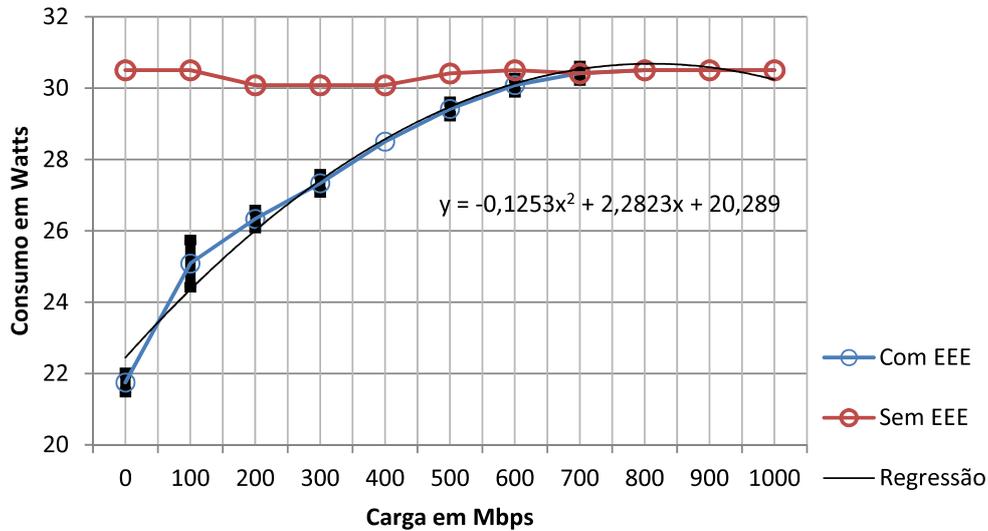


Figura 4.5: Relação entre carga vs consumo energético com regressão (UDP)

fato dos resultados do conjunto de testes terem sido todos iguais.

Nos resultados obtidos foi possível observar que com o tráfego UDP, a economia teve seu limiar em torno da taxa de 700 Mbps. Com o protocolo TCP, a economia se deu até a taxa de 400 Mbps. As análises com o UDP evidenciaram que o crescimento chegou próximo ao linear até o momento em que não houve mais economia de energia, diferentemente do TCP. A diferença nos resultados pode ser atribuída às características de cada protocolo. De acordo com [53], o UDP oferece um meio para as aplicações enviarem datagramas IP encapsulados sem que haja necessidade de estabelecer conexão. Assim, o referido protocolo é largamente utilizado para serviços de tempo real. Já o TCP, como destacado por [30], é um protocolo orientado a conexão. Como principais características têm-se: transferência de dados confiável fim a fim (todo pacote transmitido requer um *Ack* - bit de reconhecimento, onde se dá a recuperação de dados perdidos, o descarte de dados duplicados e a reorganização dos dados recebidos fora de ordem), comunicação bidirecional (*full-duplex*) entre o cliente e o servidor, o sequenciamento: bytes de segmentos são numerados, de forma a garantir a entrega em ordem e a detecção e eliminação de duplicatas e é voltado para atuar sobre redes heterogêneas com tamanhos máximos de pacotes variáveis, faixas de passagem variáveis em topologias distintas. A troca de pacotes constantes, em ambos os sentidos, no TCP, evidencia que não se tem grandes intervalos de tempo, como no UDP, para que o EEE aja nos intervalos, alcançando a economia de energia objetivada pelo padrão.

4.4 Experimento 3 - Relação de Consumo de Energia × Variação no Tamanho dos Pacotes

O experimento 3 tem como objetivo verificar o comportamento de economia energética do comutador de dados com variações de tamanho de pacote nas transmissões. Os experimentos foram realizados com a mesma taxa de transferência, porém, com diferentes tamanhos de pacote - o que proporcionou que entre a variação de um experimento para o outro haja um maior intervalo entre os pacotes. Assim, os estados do EEE podem agir com maior eficiência nos cenários de maior intervalo de envio entre os pacotes, trazendo, conseqüentemente, um menor uso dos recursos de energia.

4.4.1 Método de Realização

Para este experimento foi utilizado o mesmo cenário ilustrado na Figura 4.3 para a realização dos testes (ver Seção 4.3.1). Como no experimento 2, o envio se deu a partir do cliente de origem (“PC-1”) até o destino (“PC-2”). O experimento foi executado com seis repetições para cada tamanho de pacote. Os pacotes variaram entre 512, 768, 1024 e 1280 bytes, respectivamente. Os testes simularam o envio em uma taxa constante de 200 Mbps. Cada experimento teve duração de 120 segundos. Os primeiros 20 segundos de cada experimento foram descartados por conta do preenchimento dos *buffers* dos computadores e filas que poderiam interferir nos resultados. A ferramenta utilizada foi o Ostinato [38], que necessita somente de configuração no computador de origem. Os testes foram realizados com os protocolos TCP e UDP.

Para que cada experimento fosse composto de iguais taxas de transmissão, os fluxos tiveram de ser customizados. A Tabela 4.3, apresenta como os pacotes foram divididos em cada fluxo. Como a taxa de transmissão é de 25 MBps, esse valor foi dividido pelos tamanhos de pacotes que foram utilizados: 512, 768, 1024 e 1280 bytes.

A taxa de transferência ficou em torno de vinte e cinco milhões de bytes por segundo, o que corresponde a uma taxa de 200 Mbps. A referida taxa de transferência é aqui apontada pois, nos experimentos realizados na Seção 4.3, os protocolos TCP e UDP tiveram consideráveis níveis de economia de energia neste limiar, caso os testes fossem realizados com uma taxa maior os resultados desta fase de experimentos teriam prejuízo na visualização dos resultados.

4.4.2 Análise dos Resultados

Os testes realizados com variação no tamanho dos pacotes (e automaticamente na taxa de transmissão) podem ser verificados na Figura 4.6. A consolidação dos resultados se

Tabela 4.3: Divisão dos pacotes em cada fluxo de dados

25 MB		
Bytes Totais	Tamanho do Pacote em Bytes	Quantidade de Pacotes por Segundo
25.000.000	512	48.828
25.000.000	768	32.552
25.000.000	1.024	24.414
25.000.000	1.280	19.531

deu a partir da média aritmética simples obtida nos testes realizados. A figura também apresenta, através de linha vertical preta sobre o marcador, os desvios padrões encontrados. No caso de marcador sem esta linha, isso se dá pelo fato dos resultados do conjunto de testes terem sido todos iguais.

O tamanho de pacote “0” foi exposto nos gráficos apenas para ilustrar o comportamento do *switch* antes da injeção do tráfego. Os resultados evidenciam a diferença nos resultados entre os experimentos com TCP e UDP. Apesar das diferenças entre os resultados com os dois protocolos, notou-se uma melhor eficiência energética com envio de pacotes maiores. O referido resultado se explica pelo fato de que, com a mesma taxa de transmissão, o EEE age nos intervalos de envio entre um pacote e outro. Quanto maior o pacote, maior será o intervalo do envio entre eles. O fato do TCP consumir mais energia tem por base as mesmas explicações do experimento anterior.

4.5 Experimento 4 - Relação Consumo de Energia \times Intervalo entre Quadros

Nesta fase do estudo, o experimento com o *switch* com o padrão EEE habilitado, visa correlacionar a redução do consumo energético com intervalos pré-determinados no envio de quadros. O envio nas transmissões será igual. As alterações são evidenciadas entre os intervalos, em microssegundos, no envio de um quadro para o outro.

4.5.1 Método de Realização

Como no experimento anterior, nesta etapa de testes também foi utilizado o cenário da Figura 4.3 (ver Seção 4.3.1). O experimento foi executado com seis repetições em cada intervalo instituído em microssegundos. Cada experimento teve duração de 60 segundos, mudando os intervalos de um teste para o outro. Os tempos de envio entre os quadros

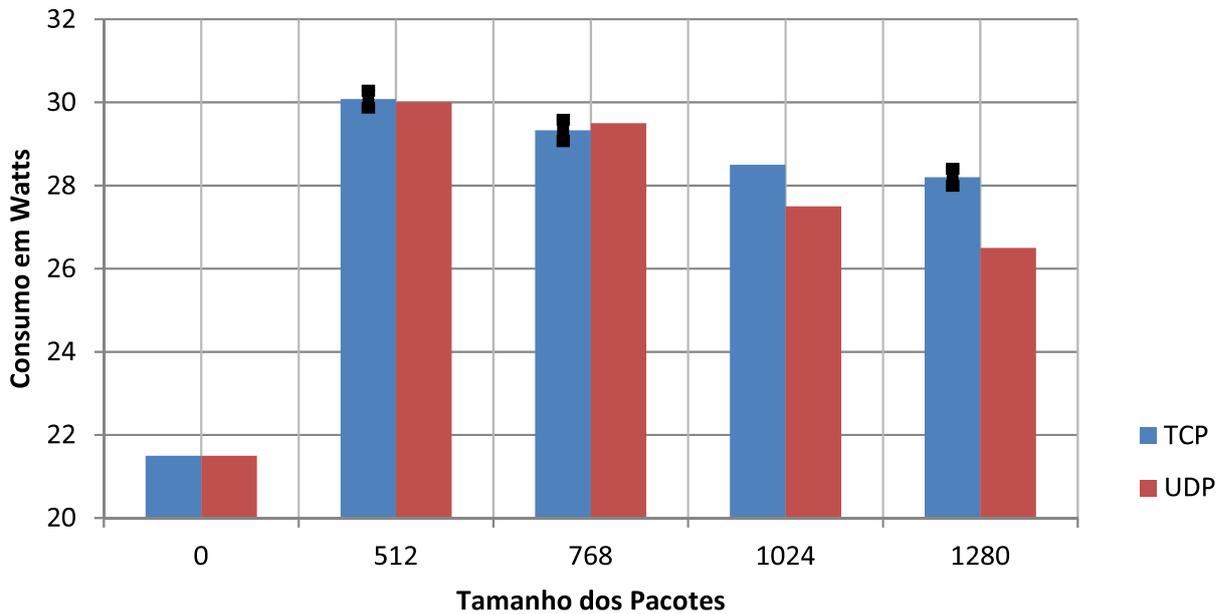


Figura 4.6: Relação entre tamanho de pacote enviado vs consumo energético (TCP e UDP)

foram de 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900 e 2000 microssegundos, respectivamente. A ferramenta utilizada foi MZ [25], tanto para os testes com o protocolo TCP como para UDP. No MZ não se faz necessária configuração no computador de destino. A Tabela 4.4, apresenta os comando utilizados na execução deste experimento.

Tabela 4.4: Comandos utilizados no experimento 4

TCP e UDP
<code>mz eth0 -c 0 -d <intervalo em μs> -A <ip origem> - B <ip destino> - t <TCP ou UDP></code>
<p>Esse comando permite o envio de quadros a partir da interface “eth0” da origem em um fluxo infinito de quadros com intervalos de envio entre eles em microssegundos utilizando os protocolos TCP e UDP</p>

4.5.2 Análise dos Resultados

Os resultados desta parte dos experimentos são apresentados na Figura 4.7. O gráfico exibe o consumo médio de energia do *switch* em relação ao intervalo no envio entre quadros. A análise deu-se sobre a média aritmética simples dos experimentos realizados. A figura

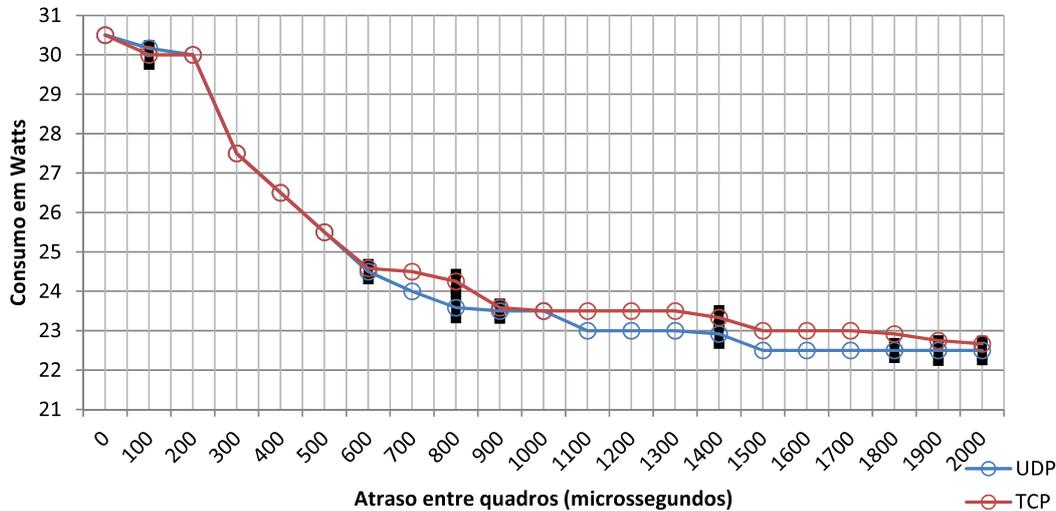


Figura 4.7: Relação entre intervalo entre quadros enviados vs consumo energético (TCP e UDP)

também apresenta, através de linha vertical preta sobre o marcador, os desvios padrões encontrados. No caso de marcador sem esta linha, isso se dá pelo fato dos resultados do conjunto de testes terem sido todos iguais.

Nos resultados apresentados houve uma pequena diferença nos resultados com os diferentes protocolos da camada de transporte. Porém, mesmo com o UDP com economia de energia um pouco maior que o TCP, não é possível afirmar, neste caso, que o protocolo fez grande diferença nos testes.

No que tange a economia de energia obtida, os atrasos instituídos conflituam com os valores correspondentes no padrão IEEE 802.3az. Até que um dispositivo entre em um estado de economia energética, com interfaces 1000Base-T, as interfaces devem estar sem transmissões de dados por um período mínimo de: mínimo (T_s) + mínimo (T_w) (ver na Figura 2.9), o que representa um total de $198,5 \mu s$ ($182 \mu s + 16,5 \mu s$) (de acordo com a Tabela 2.1). Assim tem-se uma contradição nos resultados dos testes em relação aos tempos dos estados do EEE, o que não explica uma breve economia de energia já no primeiro intervalo instituído: $100 \mu s$. Para tanto, uma explicação que se tem pode ser que, embora não esteja expresso em nenhum documento, a fabricante tenha otimizado os tempos padrões na implementação do *hardware* e *software* do *switch* utilizado no experimento. É quando do intervalo de $300 \mu s$ em relação ao intervalo anterior de $200 \mu s$,

tem-se um salto na economia energética - mais de 8% a diferença de economia tanto no protocolo TCP como no UDP em um intervalo que já estaria dentro do que o padrão diz ser relativo à redução no consumo energético.

4.6 Potencial Economia de Energia

Antes de tecer qualquer análise sobre as coletas de dados, faz-se importante informar que a UnB segue um calendário acadêmico, o que significa que o funcionamento da Instituição tem o seu cronograma bastante definido. Outro fator que deve ser frisado é que a referida Universidade possui alguns comportamentos sazonais, tais como: férias, feriados, greves etc - aspectos que muito alteram o seu funcionamento influenciando no fluxo de uso da infraestrutura de redes.

Em todos os experimentos realizados nas seções anteriores, os *switches* não tiveram os seus níveis de utilização alterados. A memória, o processamento e a temperatura se mantiveram constantes durante a execução de todos os testes.

Neste sentido, a seguir, tem-se uma análise dos dados capturados e apresentados na Seção 3.2.1. A avaliação da captura dos dados se deu em relação aos resultados obtidos nos experimentos apresentados nas seções anteriores deste capítulo. Como as capturas foram realizadas em diferentes localidades, a análise dos dados será feita separadamente. Os resultados obtidos condizem com análise feita sobre o ambiente de toda a REDUnB. A avaliação realizada em [29], já detalhada no capítulo inicial do presente estudo, de 2014, aponta que não houve mudanças no comportamento da rede no decorrer do último ano.

Os resultados obtidos nos experimentos, somados às capturas realizadas nos ambientes reais de funcionamento, permitem concluir que com a utilização do EEE seria possível alcançar a máxima redução em energia tanto no CIC/EST como na Reitoria. A sazonalidade acrescida da variação de consumo de banda destes locais propicia um cenário bastante vantajoso para a utilização do padrão IEEE 802.3az.

As Tabelas 4.5 e 4.6, apresentam os possíveis melhores casos de economia de energia, período a período, média e picos de consumo. Conforme evidenciado no capítulo anterior, na Tabela 3.3, as coletas foram divididas em quatro períodos alternados entre noturno e diurno, dias de semana e finais de semana. Os dados são referentes à largura de banda utilizada pelo CIC/EST e pela Reitoria. O percentual de economia apresentado se deu sobre a média dos resultados encontrados com os protocolos TCP e UDP.

Como em ambos os casos quase todos os períodos não ultrapassaram a taxa de utilização, nem na média e nos picos, de 100 Mbps, a taxa de economia foi indicada em 20% em relação ao funcionamento dos equipamentos sem utilização do EEE. Tem-se aí a primeira taxa de limitação nos experimentos referentes à injeção de tráfego apresentados

Tabela 4.5: Projeção de economia de energia pelas capturas em relação aos experimentos realizados - largura de banda CIC/EST

Largura de Banda				
Períodos	Vazão Média (Mbps)	Taxa de Economia com EEE (%)	Picos de Vazão (Mbps)	Taxa de Economia com EEE (%)
1	1,028	20	92,64	20
2	1,456	20	14,60	20
3	0,264	20	61,64	20
4	0,842	20	7,81	20

Tabela 4.6: Projeção de economia de energia pelas capturas em relação aos experimentos realizados - largura de banda Reitoria

Largura de Banda				
Períodos	Vazão Média (Mbps)	Taxa de Economia com EEE (%)	Picos de Vazão (Mbps)	Taxa de Economia com EEE (%)
1	1,623	20	239,92	8,5
2	8,625	20	28,16	20
3	0,828	20	31,44	20
4	10,02	20	26,80	20

na Seção 4.3.3. Em um único período de pico, a taxa de utilização da banda excedeu aos 200 Mbps. Neste sentido, a taxa de economia foi indicada em 8,5%. O percentual de economia encontrado é o resultado da média obtida no experimento entre os protocolos TCP e UDP. As Tabelas 4.7 e 4.8, apresentam os possíveis melhores casos de economia de energia, período a período, com a média dos pacotes transmitidos pela rede. Os dados são referentes ao tamanho dos pacotes trafegados pelo CIC/EST e pela Reitoria. Na tabela encontram-se os percentuais que tais localidades estiveram transmitindo pacotes com o tamanho mais favorável à economia de energia (1024 a 1518 bytes).

De acordo com os resultados obtidos com os experimentos da Seção 4.4.2, com os pacotes com tamanhos superiores a 1280 bytes, a economia, com a mesma taxa de transmissão, chega a 13% em relação a uma transmissão com pacotes de 512 bytes ou menores. Nos experimentos, a taxa média de transferência de dados foi de 200 Mbps para todas as variações de tamanho de pacote. Em relação à largura de banda verificada, em apenas um caso, em um pico de transmissão, esta taxa foi extrapolada, não prejudicando as comparações.

Tabela 4.7: Projeção de economia de energia pelas capturas em relação aos experimentos realizados - tamanho de pacotes CIC/EST

Tamanho de Pacotes	
Períodos	Pacotes entre 1024-1518 bytes (%)
1	24,19
2	71,34
3	64,80
4	33,89

Tabela 4.8: Projeção de economia de energia pelas capturas em relação aos experimentos realizados - tamanho de pacotes Reitoria

Tamanho de Pacotes	
Períodos	Pacotes entre 1024-1518 bytes (%)
1	41,43
2	79,83
3	24,39
4	31,82

Os resultados obtidos nos experimentos desta seção subsidiaram a previsão de economia de energia que seria alcançada no atual cenário de funcionamento dos equipamentos

da REDUnB. A Figura 3.11 ilustrou o comportamento no gasto de energia do *switch* C5G124-24. São mais de duzentos equipamentos deste modelo em funcionamento na parte de acesso das redes locais da UnB. Na escala de consumo, o dispositivo apresenta sua potência de gasto energético de 47,5 W com suas vinte e quatro interfaces RJ45 em uso.

Fazendo a comparação dos referidos equipamentos com os resultados obtidos com os experimentos aqui apresentados, é possível visualizar uma economia de 1909,5 W. Tal análise leva em consideração apenas os *switches* C5G124-24 com suas vinte e quatro interfaces de rede ativas. Ao comparar o modelo avaliado com EEE habilitado nos experimentos nos momentos sem utilização até o momento que está com 100% da sua largura de banda preenchida (Seção 4.3.3), é possível verificar economias de energia de 30%. Projetando este cenário para o *switch* C5G124-24, seria possível usufruir de uma economia de até 14,25 Watts por equipamento em momentos de ociosidade total.

4.7 Avaliação do Impacto da Abordagem EEE na REDUnB

Esta seção quantificará o impacto da inserção de equipamentos com EEE na infraestrutura da REDUnB. A ideia é projetar qual seria a diferença, em kWh, alcançada com a substituição dos atuais equipamentos pelos que foram utilizados nos testes deste capítulo.

Para a comparação do gasto de energia entre os dois equipamentos, foi utilizado o simulador de consumo energético da CEMIG, disponível em [6]. Como os experimentos tiveram como alvo o nível de acesso da infraestrutura da REDUnB, os cálculos serão realizados de acordo com a quantidade destes dispositivos. A Tabela 3.1, expressa no Capítulo 3, apresenta o quantitativo de 624 (seiscentos e vinte e quatro) *switches*. O consumo de energia dos comutadores de dados C5G124-24 e 08G20G4-24P, apresentados nas Tabelas 3.4 e 3.2, respectivamente, foram de 65 W e 36,4 W.

Para os cálculos além das variáveis já citadas é necessário incluir a quantidade de horas diárias de utilização dos equipamentos. Como estes dispositivos funcionam em tempo integral, a quantidade de horas utilizada foi 24 (vinte e quatro). A Figura 4.8 apresenta, o resultado da simulação com a comparação do consumo energético entre os dois modelos de *switches*.

Os resultados apresentam uma redução de 45% na simples substituição de um modelo de equipamento pelo o outro. Os *switches* do modelo 08G20G4-24P ainda poderiam trazer uma maior redução no consumo energético. Como apresentado nos experimentos, sua função EEE traz economias de até 30% em relação ao funcionamento dos equipamentos que funcionam com enlaces Ethernet convencionais. Neste sentido, o consumo que já

Simulador de Consumo						
Equipamento	Quantidade	Potência	Dias de Uso	Tempo de Uso		Total
Switch Enterasys C5G124-24	624	65 W	Dias/mês 30	Hr. 24	Min. 0	29203.2
Consumo: 29203.2 kWh/mês						
<input type="button" value="Calcular"/> <input type="button" value="Limpar os dados"/>						
<input type="button" value="Imprimir"/>						
Switch Enterasys 080G024-24P	624	36,4 W	Dias/mês 30	Hr. 24	Min. 0	16174.08
Consumo: 16174.08 kWh/mês						
<input type="button" value="Calcular"/> <input type="button" value="Limpar os dados"/>						
<input type="button" value="Imprimir"/>						

Figura 4.8: Cálculo de consumo kWh/mês conforme simulador disponível em [6]

seria reduzido para 16.174 (dezesesse mil, cento e setenta e quatro) kWh/mês poderia ser diminuído para 11.322 (onze mil, trezentos e vinte e dois) kWh/mês. Desta maneira, os equipamentos com EEE testados nos experimentos, em vista aos dispositivos atualmente utilizados no acesso da REDUnB, trazem uma previsão de redução no consumo energético de até 2,57 vezes menos do que os *switches* convencionais.

4.8 Resumo Conclusivo

Nesta fase da pesquisa foram realizados diversos e diferentes experimentos. O principal objetivo desta etapa foi avaliar o funcionamento e comportamento do padrão IEEE 802.3az no equipamento selecionado. A comparação entre o funcionamento do dispositivo com o padrão habilitado e desabilitado foi realizada. As diferentes circunstâncias foram avaliadas a fim de traçar modelos de utilização dos dispositivos para verificar em quais condições se tem o maior proveito da abordagem de economia energética. Os parâmetros utilizados nas variações dos experimentos foram, entre outros, a análise do equipamento nos momentos de ociosidade, a taxa de transmissão, o tamanho dos quadros, o intervalo de envio entre os quadros e a análise comportamental dos *switches* em ambiente real. As diversas ferramentas também foram apresentadas com a devida explicação dos seus funcionamentos.

Ainda foi realizado o estudo de consumo de um modelo de dispositivo que está em funcionamento na REDUnB e não é composto da funcionalidade do EEE. O equipamento mostrou um gasto energético superior ao do *switch* utilizado no teste, o que indica que, proporcionalmente, a economia também seria superior. Também foi feita a comparação entre a diferença de kWh/mês consumidos entre os dois modelos de equipamentos avaliados.

O próximo capítulo será o responsável por finalizar o trabalho. Nele estarão apresentadas as conclusões da pesquisa e indicadas as próximas ações a serem tomadas que culminarão em trabalhos futuros.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

O presente estudo apresentou o padrão IEEE 802.3az (Ethernet Eficiente em Energia - EEE), consolidando sua estrutura e principais características. O EEE é um protocolo de sinalização para redes Ethernet, que permite que o transmissor avise ao receptor os momentos que precedem um período sem transmissão de dados, a fim de que os envolvidos na comunicação sejam capazes de assumirem um estado de repouso. A transição de estados do enlace gera economia de energia. Para tanto, os dois lados da comunicação devem dispor do padrão em sua estrutura. Do contrário o enlace funcionará de modo legado, permitindo a heterogeneidade dos elementos da rede.

A pesquisa foi motivada pelo fato das infraestruturas de redes, normalmente, funcionarem em tempo integral e nem sempre os seus recursos estando plenamente em funcionamento. Os enlaces de rede Ethernet não consomem energia proporcionalmente ao seu uso, ou seja, em momentos de baixa transmissão, as conexões continuam utilizando a máxima potência oferecida pelo comutador de dados. Neste sentido, os experimentos foram realizados em diversos cenários, a fim de verificar a eficiência e eficácia do EEE. Os experimentos também tiveram por norte estabelecer a relação de quais seriam as melhores condições para a implementação da substituição de equipamentos sem o padrão por dispositivos com EEE com maior proveito da funcionalidade de economia de energia.

Os experimentos executados em ambiente de laboratório apontaram uma economia de até 30% na ligação dos enlaces. E ainda, apresentaram que os protocolos de transporte (TCP e UDP), em condições semelhantes, trouxeram diferentes resultados no que tange a economia de energia. Neste sentido, foram analisados dois Departamentos da Universidade de Brasília (UnB), em diferentes períodos, para verificar a viabilidade e quão proveitosa seria a implementação de equipamentos com EEE nestes locais. Os resultados foram bastante animadores, pois ambas as localidades mostraram um comportamento de tráfego relativamente baixo com tráfego de pacotes com tamanho grande, o que faz com que a implementação do padrão IEEE 802.3az seja mais efetiva.

```
config ports all speed 100_full
Command: config ports all speed 100_full

Cannot force speed on the port 1 with EEE enabled
Fail!
08G20G4-24P:admin#
```

Figura 5.1: Mensagem de alerta do *switch* 08G20G4-24P sobre a mudança de velocidade de transmissão conjuntamente ao uso do EEE

A pesquisa aqui empreendida trouxe a previsão de economia de energia levando em consideração um comutador de dados utilizado na rede da UnB que não detém a função EEE. O prognóstico se deu com base no consumo do equipamento relacionado aos ganhos de economia alcançados nos experimentos executados. Os resultados - com os equipamentos com todas suas interfaces em uso - chegam a 9,5 W por equipamento. A potência que seria economizada é capaz de alimentar dispositivos como telefones IPs ou *access points* através de funções PoE (do Inglês, *Power over Ethernet*), por exemplo.

A partir das linhas aqui empreendidas, criou-se uma metodologia de testes que propicia a validação de tecnologias entre diversos fabricantes e modelos diferentes a fim de comparar o desempenho do EEE entre eles.

O objetivo dos experimentos seria diversificar os modelos de equipamentos. A razão disso seria determinar se diferentes modelos de *switches* se comportariam de maneira semelhante após submissão a testes em condições equivalentes. Tal fato não foi possível pelo fato de não ter sido cedido, por nenhum parceiro do Centro de Informática (CPD) da UnB, equipamento com o devido padrão para que a análise fosse realizada. A utilização de apenas um equipamento trouxe algumas limitações. O *switch* Enterasys 08G20G4-24P - equipamento que tem sua atuação abrangendo a camada 2 - tem suas interfaces com velocidade máxima de transmissão de 1 Gbps. A utilização do EEE neste equipamento, de acordo com a Figura 5.1, só pôde ser feita com as portas configuradas para transmissão no modo de Auto-Negociação. Assim, todos os experimentos foram realizados com a velocidade de transmissão de 1 Gbps, limitando todos os experimentos a uma única taxa de transmissão. Futuramente, de acordo com a disponibilidade de equipamentos, testes com as demais velocidades de transmissão serão realizados. Neste sentido, também faz-se necessário, em circunstâncias futuras, fazer uma coleta de dados por um período maior abrangendo mais Centros de Custo. Isto trará um maior conhecimento sobre o funcionamento das redes e auxiliará na projeção dos melhores locais para inserção de equipamentos com EEE.

Vê-se a necessidade do CPD adquirir ou elaborar algum mecanismo que auxilie no monitoramento do consumo energético de todos os ativos de rede. A introdução de instrumentos deste tipo traria um melhor entendimento das localidades cujas demandas por energia são mais altas.

Além dos testes realizados, tem-se a necessidade de um profundo estudo da relação do EEE com técnicas de Qualidade de Serviço (do Inglês, *Quality of Service* - QoS). Algumas técnicas, como, por exemplo, o enfileiramento e a modelagem de tráfego podem trazer excelentes resultados no que tange o funcionamento conjunto ao EEE.

Com a consolidação do presente estudo é possível propor à Comissão Permanente de Aquisição de Recursos de TI (CPARTI), grupo responsável por conduzir o processo de aquisição de recursos de TIC (equipamentos e serviços) do CPD da UnB, a orientação na aquisição de equipamentos que tenham o padrão IEEE 802.3az em sua estrutura, o que abrangeria dispositivos, a saber: computadores, impressoras, *scanners*, pontos de acesso e servidores.

É visível que esta área de pesquisa ainda pode ser bastante explorada. No caso da RE-DUnB, ainda o componente de sala-cofre formado por equipamentos de armazenamento, *firewalls* e *switches* de núcleo de alta utilização. Uma área que é composta de oscilações no uso em períodos como madrugadas e finais de semana. Com a implementação do IPv6 na rede da UnB, faz-se importante analisar o seu trabalho conjuntamente ao IPv4 no que tange a eficiência do EEE.

Por fim, é visto a recomendação da utilização do padrão que trará ganhos com economia de energia nas redes de computadores, principalmente em Instituições com sazonalidade no tráfego ou com baixas taxas de transferências em seus comutadores de dados na maioria dos períodos de utilização. No caso da UnB, a troca dos equipamentos atuais traria uma redução - nos melhores casos - de 2,57 vezes menor em relação ao uso atual.

Referências

- [1] Ethernet Alliance. Improving the Energy Efficiency of Ethernet: Adaptive Link Rate Proposall. *White Paper*, page 13, Jul 2006. 12, 13
- [2] IEEE Standards Association. IEEE 802.3 LAN/MAN CSMA/CD Access Method. <http://goo.gl/DPkDT>. Último acesso em: 12 de setembro de 2015. 9
- [3] IEEE Standards Association. IEEE Standard for Information technology– Local and metropolitan area networks– Specific requirements– Part 3: CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications Amendment 5: Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for Energy-Efficient Ethernet. *IEEE Std 802.3az-2010 (Amendment to IEEE Std 802.3-2008)*, pages 1–302, Out 2010. 14
- [4] A.P. Bianzino, C. Chaudet, D. Rossi, e J. Rougier. A survey of Green Networking research. *Communications Surveys Tutorials, IEEE*, 14(1):3–20, Jan 2012. 6
- [5] Vicente Casares-Giner, Pietro Manzoni, e Ana Pont. *NETWORKING 2011 Workshops: International IFIP TC 6 Workshops, PE-CRN, NC-Pro, WCNS, and SUNSET 2011, Held at NETWORKING 2011, Valencia, Spain, May 13, ... Networks and Telecommunications*). Springer Publishing Company, Incorporated, 1st edition, 2011. 2, 41
- [6] CEMIG. Simulador de Consumo. <http://goo.gl/gkVur0>. Último acesso em: 15 de setembro de 2015. xi, 58, 59
- [7] P. Chowdhury, M. Tornatore, S. Sarkar, e B. Mukherjee. Building a Green Wireless-Optical Broadband Access Network (WOBAN). *Journal of Lightwave Technology*, 28(16):2219–2229, Ago 2010. 1
- [8] K. Christensen e B. Nordman. Reducing the Energy Consumption of Networked Devices. <http://goo.gl/LA4Xfw>. Último acesso em: 12 de setembro de 2015. 15
- [9] K. Christensen, P. Reviriego, B. Nordman, M. Bennett, M. Mostowfi, e J.A. Maestro. IEEE 802.3az: the road to energy efficient ethernet. *Communications Magazine, IEEE*, 48(11):50–56, Nov 2010. 2, 15, 22
- [10] Cisco. Cisco Small Business 200 Series User Manual: Green Ethernet; Green-mode Energy-detect. <http://goo.gl/pH1fR9>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 7

- [11] Cisco. Powerful Features and Performance at an Affordable Price. <http://goo.gl/PHf4S1>. Último acesso em: 12 de setembro de 2015. 7, 23
- [12] Cisco/Intel. IEEE 802.3az Energy Efficient Ethernet: Build Greener Networks. *White Paper*, page 9, 2011. 15, 16, 17, 20, 21
- [13] Universidade de Brasília UnB. Fundação Universidade de Brasília (FUB): Estatuto. <http://goo.gl/ecacDq>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 3
- [14] Rede Nacional de Ensino e Pesquisa REDECOMEP-DF. Rede GigaCandanga. <http://goo.gl/Suuq1f>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 25
- [15] Rede Nacional de Ensino Pesquisa REDECOMEP-DF. MAPA DA REDE. <http://goo.gl/6mx7FB>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 25
- [16] Empresa de Pesquisa Energética EPE. INFORME À IMPRENSA Demanda de energia elétrica – 10 anos. <http://goo.gl/zzcitV>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 1
- [17] Guia do Hardware. TI Verde: conceitos e práticas. <http://goo.gl/XGz1NJ>. Último acesso em: 12 de setembro de 2015. 1
- [18] Elcon Equipamentos e Sistemas. ME40. <http://goo.gl/1gy8MV>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 40, 45
- [19] Google. Google Green. <https://goo.gl/9RxAAG>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 1
- [20] Google. Visão geral. <http://goo.gl/mcrnhu>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 1
- [21] IEEE 802.3 Working Group. Energy Efficient Ethernet Call-for-Interest. <http://goo.gl/RQYwbe>. Último acesso em: 12 de setembro de 2015. 15
- [22] C. Gunaratne, K. Christensen, e B. Nordman. Managing Energy Consumption Costs in Desktop PCs and LAN Switches with Proxying, Split TCP Connections, and Scaling of Link Speed. *Int. J. Netw. Manag.*, 15(5):297–310, Set 2005. 8
- [23] C. Gunaratne, K. Christensen, B. Nordman, e S. Suen. Reducing the Energy Consumption of Ethernet with Adaptive Link Rate (ALR). *Computers, IEEE Transactions on*, 57(4):448–461, Abr 2008. 8, 9, 10, 12, 15
- [24] M. Gupta e S. Singh. Greening of the Internet. *Proceedings of the 2003 Conference on Applications Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications - SIGCOMM '03*, pages 19–26, Ago 2003. 15
- [25] H. Hass. Mausezahn User’s Guide. <http://goo.gl/Gqmt6e>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 44, 53
- [26] Huawei. S1700 Series Enterprise Switches. <http://goo.gl/w8etVd>, Jun. Último acesso em: 12 de setembro de 2015. 23

- [27] Iperf.fr. Iperf - The TCP/UDP Bandwidth Measurement Tool. <https://iperf.fr/>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 48
- [28] iTel. Green Ethernet Overview. <http://goo.gl/OMFwV2>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 6
- [29] Marcelo Monte Karam. Avaliação e Implementação de Web Cache Institucional com Foco em URLs Dinâmicas. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília - UnB, 2014. 3, 55
- [30] James F. Kurose e Keith W. Ross. *Redes de computadores e a Internet: uma abordagem top-down*. Pearson Education, 6th edition, 2013. 50
- [31] Schweitzer Engineering Laboratories Brasil LTDA. Questões relacionadas com aplicação de rede ethernet em subestações. <http://goo.gl/vPIbVt>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 2
- [32] M. Mostowfi. Improving the Energy Efficiency of IEEE 802.3az EEE and Periodically Paused Switched Ethernet. Dissertação (Mestrado), Universidade do Sul da Flórida, 2010. 16, 18, 19, 46
- [33] MPOG. Estatísticas - Portal de Compras do Governo Federal Compras Governamentais. <http://goo.gl/nzDwcw>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 3
- [34] Extreme Networks. Extreme Networks 800-Series. <http://goo.gl/mj0oqD>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 29
- [35] Extreme Networks. Network Management Software - Extreme Networks NetSight. <http://goo.gl/XGf5zB>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 33
- [36] Extreme Networks. PoE Gigabit Ethernet Switch. <http://goo.gl/d8Bkk2>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 39
- [37] Extreme Networks. Summit x440 Series. <http://goo.gl/OISddi>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 23
- [38] Ostinato. Ostinato Packet/Traffic Generator and Analyzer. <https://goo.gl/HQjEBP>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 51
- [39] Task Force P802.3az. IEEE P802.3az Energy Efficient Ethernet Task Force. <http://goo.gl/sKW5NX>. Último acesso em: 12 de setembro de 2015. 2, 14, 16, 17
- [40] D. Pavlov e J. Soeurt. Green Computing in IEEE 802.3az-enabled Clusters. Dissertação (Mestrado), Universidade de Amsterdã, 2012. 7, 8, 9, 18, 22, 23
- [41] D. Pavlov, J. Soeurt, P. Grosso, Z. Zhao, K. van der VELDT; Hao Zhu, e C. Laat. Towards Energy Efficient Data Intensive Computing Using IEEE 802.3az. *Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SCC), 2012 SC Companion*., pages 806,810, 10–16, Nov 2012. 22, 23
- [42] G. Pinheiro. O Padrão IEEE 802.3 (Ethernet). <http://goo.gl/VI0BnC>. Último acesso em: 12 de setembro de 2015. 20

- [43] Pedro Pinto. Ostinato – Aplicação para injectar e analisar tráfego de rede. <http://goo.gl/z1DPf8>, Out 2011. 44
- [44] P. Reviriego, K. Christensen, J. Rabanillo, e J.A. Maestro. An Initial evaluation of Energy Efficient Ethernet. *Communications Letters, IEEE*, 15(5):578–580, Mai 2011. 17
- [45] P. Reviriego, J.A. Hernandez, D. Larrabeiti, e J.A. Maestro. Performance evaluation of energy efficient ethernet. *Communications Letters, IEEE*, 13(9):697–699, Set 2009. 18
- [46] P. Reviriego, J.A. Maestro, D. Larrabeiti, e D. Larrabeiti. Burst Transmission for Energy-Efficient Ethernet. *Internet Computing, IEEE*, 14(4):50–57, Jul 2010. 13, 18, 21, 22
- [47] K.P. Saravanan, P.M. Carpenter, e A. Ramirez. Power/performance evaluation of energy efficient Ethernet (EEE) for High Performance Computing. *IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS)*, pages 205–214, Abr 2013. 13, 15
- [48] Network Sherpa. Test – Throughput alchemy using a snake topology. <http://goo.gl/7DQumF>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 47
- [49] P. Silva e N. Alves Jr. Ferramenta IPERF: geração e medição de Tráfego TCP e UDP. *White Paper*, page 13, Jun 2014. 43
- [50] SLTI. Comprasnet - Legislação. <http://goo.gl/PwoDwm>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 3
- [51] Yours Locktime Software. NetLimiter Homepage. <http://www.netlimiter.com/>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 44, 48
- [52] Symetrix. Symetrix Solutions: Tech Tip. <http://goo.gl/ZgPhFI>. Último acesso em: 13 de setembro de 2015. 6
- [53] Andrew S. Tanenbaum. *Computer Networks*. Editora Campus, 4th edition, 2003. 50
- [54] Tech the future. How much electricity does the internet use. <http://goo.gl/nxZWTG>. Último acesso em: 12 de setembro de 2015. 1
- [55] Top500 the list. Top500 list. <http://goo.gl/fXK2ZF>. Último acesso em: 12 de setembro de 2015. 1