



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**IBANOR ANTÔNIO DOS SANTOS MORANDIN**

**O EFEITO DO USO DE ACOPLAMENTO CAPACITIVO EM CONEXÕES  
ETHERNET**

**Palhoça**  
**2020**

**IBANOR ANTÔNIO DOS SANTOS MORANDIN**

**O EFEITO DO USO DE ACOPLAMENTO CAPACITIVO EM CONEXÕES  
ETHERNET**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do  
Sul de Santa Catarina como requisito parcial à  
obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Fabio Ignácio da Rosa, Esp. Eng.

Palhoça  
2020

**IBANOR ANTONIO DOS SANTOS MORANDIN**

**O EFEITO DO USO DE ACOPLAMENTO CAPACITIVO EM CONEXÕES  
ETHERNET**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça. 20 de novembro de 2020.

---

Professor e orientador Fabio Ignácio da Rosa, Esp. Eng.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Prof<sup>a</sup> Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro, Me. Eng<sup>a</sup>.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Robson Veronezi Campos, Me. Eng.  
Intelbras

## RESUMO

A rede de computadores cresce de forma exponencial dentro das empresas e residências. A *ethernet*, ou rede local, evoluiu desde 1970 se tornando uma das tecnologias mais utilizadas como solução de comunicação de rede local. Aliada à evolução do cabeamento de par trançado, a evolução dos padrões de comunicação da rede local atingiu velocidades de *gigabit* por segundo, mantendo também a retro compatibilidade com os padrões anteriores. Dessa forma a padronização da eletrônica presente nos dispositivos de *ethernet* também evoluíram, até atingirem o padrão atual. A interface de acoplamento do dispositivo de rede local com o meio de comunicação, cabo de rede de par trançado, é denominada interface MDI, essa é baseada no uso de um transformador *ethernet*. Uma vez que este possui maiores dimensões em relação aos outros componentes presentes no circuito ele se torna um ponto de atenção dentro da montagem e manutenção industrial. Assim o presente estudo visa avaliar o uso de capacitores como forma substitutiva para este transformador dentro da interface MDI.

Palavras-chave: *ethernet*, interface MDI, transformador *ethernet*.

## **ABSTRACT**

*The computer network grows exponentially within companies and homes. Ethernet, or local area network, evolved since 1970 and become one of the most popular technologies as a local network communicatio. Allied to the evolution of the twisted pair cable, the evolution of the communication patterns of the local network reached the speed of gigabit per second, maintaining full compatibility with the previous standards. The configuration of electronics present in ethernet devices has also evolved, until reaching the current standard. The MDI is the interface coupling the LAN device to the communication medium, which is based on the use of an ethernet transformer. Since it has larger dimensions in relation to the other components present in the circuit, it makes it a point of attention within the assembly and industrial maintenance. Thus, this study aims to evaluate the use of capacitors as a substitute for this transformer within the MDI interface.*

*Keywords: ethernet, MDI interface, ethernet transformer.*

## LISTA DE VARIÁVEIS

**C** - capacitância

$I_p$  – corrente no primário

$I_s$  – corrente no secundário

$N_p$  – espirras no primário

$N_s$  – espirras no secundário

$\Omega$  – reatância elétrica

$X_c$  – impedância capacitiva

$\omega$  – velocidade angular

**Z** - Impedância

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Relação de transformação de um transformador.....	33
Equação 2 - Equação de perda de retorno .....	45
Equação 3 - Limite de magnitude do ângulo da carga .....	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do Padrão 802.3 ao longo dos anos.....	18
Figura 2 – Cabo de rede cat5e.....	19
Figura 3 - Comparativo da estrutura do Modelo OSI e o Modelo TCP/IP.....	20
Figura 4– Representação fundamental do crosstalk .....	24
Figura 5 – Camada física do padrão 10Base-T.....	25
Figura 6 – Módulo IP funcional.....	26
Figura 7 – Conexão entre a camada física e a camada de dados .....	27
Figura 8 – Comparação entre codificações binaria, Manchester e Manchester Diferencial .....	29
Figura 9 - Codificação NRZI .....	31
Figura 10 – Comparação MLT – 3 com NRZI.....	32
Figura 11 – Transformador Ethernet modelo P1032 .....	34
Figura 12 – Comportamento da Corrente em um Choke de modo Comum .....	35
Figura 13 - Composição eletrônica 802.3u.....	36
Figura 14 - Conexão do meio e terminação Bob Smith.....	37
Figura 15 - Combinações de pares para comunicação de rede.....	38
Figura 16 - Corrente de modo comum e o circuito de Bob Smith.....	38
Figura 17 - Diagrama de blocos do PHY Chip KS8721 .....	39
Figura 18 - Comportamento do sinal em 10 <i>Megabits</i> s.....	40
Figura 19 - Comportamento do sinal em 100 <i>megabits</i> s.....	40
Figura 20 – Amostra de sinal de 10 Mbps.....	41
Figura 21 – Amostra de sinal de 100 Mbps.....	41
Figura 22 - configuração <i>Transformless</i> .....	44
Figura 23 - Circuito do par de comunicação MDI do protótipo .....	46
Figura 24 - Circuito MDI montado .....	46
Figura 25 - Cenário para coleta do sinal no protótipo.....	47
Figura 26 - Exemplo da configuração Servidor IPERF.....	48
Figura 27 - Exemplo de tráfego de dados IPERF.....	48
Figura 28 - Pontos de medição do sinal .....	48
Figura 29 - Exemplo da medição realizada .....	49
Figura 30 - Sinal 10 Mbps medido no meio.....	50
Figura 31 - Sinal 100 Mbps medido no meio.....	50
Figura 32 - Sinal 1000 Mbps medido no meio.....	51

Figura 33 - Sinal 10 Mbps medido depois do transformador.....	51
Figura 34 - Sinal 100 Mbps medido depois do transformador.....	52
Figura 35 - Sinal 1000 Mbps medido depois do transformador.....	52
Figura 36 - Sinal 10 Mbps medido depois do acoplamento capacitivo.....	53
Figura 37 - Sinal 100 Mbps medido depois do acoplamento Capacitivo.....	53
Figura 38 - Sinal 1000 Mbps medido depois do acoplamento Capacitivo.....	54
Figura 39 - Sinal 10 Mbps medido depois do acoplamento capacitivo com <i>choke</i> ....	54
Figura 40 - Sinal 100 Mbps medido depois do acoplamento Capacitivo com <i>Choke</i>	55
Figura 41 - Sinal 1000 Mbps medido depois do acoplamento Capacitivo com Choke .....	55
Figura 42 - Cenário de teste de uma RFC.....	58
Figura 43 - Cenário de teste aplicado à RFC2889.....	58
Figura 44 - Resultado do Teste RFC 10mbps transformador comunicando com capacitor com <i>choke</i> .....	59
Figura 45 - Resultado do Teste RFC 100mbps transformador comunicando com capacitor com <i>choke</i> .....	60
Figura 46 - Resultado do Teste RFC 1000mbps transformador comunicando com capacitor com <i>choke</i> .....	61
Figura 47 - Resultado do Teste RFC 10mbps capacitor com <i>choke</i> comunicando com capacitor com <i>choke</i> .....	62
Figura 48 - Resultado do Teste RFC 100mbps capacitor com <i>choke</i> comunicando com capacitor com <i>choke</i> .....	63
Figura 49 - Resultado do Teste RFC 1000mbps capacitor com <i>choke</i> comunicando com capacitor com <i>choke</i> .....	64
Figura 50 - Resultado do Teste RFC 10mbps capacitor comunicando com capacitor .....	65
Figura 51 - Resultado do Teste RFC 100mbps capacitor comunicando com capacitor .....	66
Figura 52 - Resultado do Teste RFC 1000mbps capacitor comunicando com capacitor.....	67
Figura 53 - Resumo dos Resultados RFC capacitor e <i>choke</i> .....	68
Figura 54 - Resumo dos Resultados RFC acoplamento capacitivo.....	68

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1. JUSTIFICATIVA .....	13
1.2. DELIMITAÇÕES .....	15
1.3. OBJETIVOS .....	15
<b>1.3.1. Objetivo Geral</b> .....	15
<b>1.3.2. Objetivos Específicos</b> .....	15
1.4. METODOLOGIA .....	16
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	16
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	17
2.1. PADRÃO ETHERNET .....	17
2.2 MEIO FÍSICO .....	19
<b>2.2.1 Meio Não Guiado</b> .....	21
<b>2.2.2 Meio Guiado</b> .....	22
2.3 CONTROLE DA CAMADA FÍSICA DO PADRÃO 802.3 .....	25
<b>2.3.1 Codificação do Meio Físico no Padrão 802.3</b> .....	28
2.4 TRANSFORMADOR ETHERNET .....	33
<b>2.4.1 Choke de Modo Comum</b> .....	35
2.5 COMPOSIÇÃO ELETRONICA E SINALIZAÇÃO DO PADRÃO ETHERNET .....	35
<b>2.5.1 Conceito de <i>Bob Smith</i></b> .....	36
<b>2.5.2 Sinalização Ethernet no PHY</b> .....	39
<b>3 DESENVOLVIMENTO</b> .....	42
3.1 TOPOLOGIA UTILIZANDO CAPACITORES .....	43
<b>3.1.1 Escolha do Capacitor</b> .....	44
3.2 PROTÓTIPO .....	46
3.3 CENÁRIO DE TESTE PARA COLETA DA SINALIZAÇÃO .....	47
<b>3.3.1 Sinal coletado no cabo de rede</b> .....	50
<b>3.3.2 Sinal coletado entre transformador <i>ethernet</i> e <i>PHY</i></b> .....	51
<b>3.3.3 Sinal coletado entre capacitor e PHY</b> .....	53
<b>3.3.4 Sinal coletado entre o conjunto capacitor e <i>choke</i> e o <i>PHY</i></b> .....	54
<b>3.3.5 Análise dos sinais coletados</b> .....	56
3.4 TESTES DA RFC 2889 .....	56

3.4.1 Resultados da RFC 2889 transformador comunicando com capacitor com <i>choke</i> .....	59
3.4.2 Resultados da RFC 2889 capacitor com <i>choke</i> comunicando com capacitor com <i>choke</i> .....	62
3.4.3 Resultados da RFC 2889 capacitor comunicando com capacitor .....	65
3.4.4 Análise dos resultados da RFC 2889.....	67
4 CONCLUSÃO .....	70
REFERÊNCIAS.....	72

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente a rede de dados vem crescendo exponencialmente dentro das empresas e residências. Existem inúmeros padrões de conexão de dados a rede local, *ethernet* é um exemplo dessas. Tanto a *Internet*<sup>1</sup> quanto o ATM<sup>2</sup> (*Asynchronous Transfer Mode*) foram criados para redes geograficamente distribuídas. No entanto, muitas empresas, universidades e outras organizações têm um grande número de computadores que devem estar conectados. Essa necessidade deu origem à rede local. (TANENBAUM, 2003).

A história da rede local, conhecida como *Ethernet*, começa no ano de 1970, onde conforme TANENBAUM (2003), Bob Metcalfe ao chegar ao *Palo Alto Reserch Center* da *Xerox* juntamente com seu colega David Boggs, projetaram e implementaram a primeira rede local. O sistema foi chamado *Ethernet*, uma menção ao éter luminoso, através do qual os antigos diziam que a radiação eletromagnética se propagava. Em meados da década de 1990 o padrão *Ethernet* domina o mercado. Tornando-se a tecnologia mais utilizada atualmente nas redes de computadores locais, devido ao seu baixo custo, baixa complexidade e alta confiabilidade.

Parte da confiabilidade atribuída à rede *Ethernet* é devido à evolução dos cabos de par trançado utilizados e a evolução dos padrões de comunicação utilizados. O cabeamento de par trançado garante facilidade de instalação, possibilita imunidade à ruído dentro dos níveis exigidos pela norma, desde que sejam utilizados os cabos certificados, além da padronização da conexão. Segundo a instituição Gigabit Ethernet Alliance (1999) a *ethernet gigabit* é uma extensão dos padrões de alto sucesso dos padrões que o antecederam mantendo total compatibilidade com a infraestrutura já instalada. Ou seja, todas as velocidades suportadas pelo padrão de comunicação *ethernet* além de trabalharem com operações *full-duplex* utilizam o mesmo formato de encapsulamento e utilizam métodos de controle de fluxo. Essa padronização descarta a necessidade de traduções entre formatos, reduzindo assim a complexidade e aumentando o desempenho da comutação de pacotes.

---

<sup>1</sup> Internet - Rede de computadores geograficamente dispersos que trocam dados e mensagens utilizando um protocolo IP para comunicação. KUROSE (2013)

<sup>2</sup> ATM - *Asynchronous Transfer Mode* é uma tecnologia de comunicação de dados de alta velocidade usada para interligar redes locais, metropolitanas e de longa distância para aplicações de dados, voz, áudio, e vídeo. O ATM fornece um meio para enviar informações em modo assíncrono através de uma rede de dados, dividindo essas informações em pacotes de tamanho fixo denominados células. Bernal Filho, 2003

A evolução da *ethernet* permitiu que os equipamentos de comutação também pudessem aprimorar sua eletrônica, ou seja, nesses dispositivos a conexão ao meio físico pôde ser incrementada e padronizada. Essa conexão é composta por um acoplamento indutivo e um sistema de balanceamento de impedância. O acoplamento indutivo é realizado por um transformador *ethernet* em combinação com um indutor *choke* de modo comum para rejeição de ruído de modo comum e o transformador tem a finalidade de eliminar a componente de corrente contínua junto aos dados transmitidos.

Por se tratar de um componente com dimensões relativamente grandes, em relação aos outros componentes que fazem parte do circuito do dispositivo, e em alguns casos ter montagem manual na placa de circuito impresso o transformador *ethernet* se torna um item crítico nas linhas de produção, um componente com alto custo nos índices de GGF (Gastos Gerais de Fabricação) e muitas vezes um componente de alto valor para aquisição para os fabricantes nacionais. O presente estudo busca avaliar a viabilidade do uso de acoplamento capacitivo nas interfaces MDI<sup>3</sup> (*Media Dependent Interface*) como uma forma de redução de custo.

### 1.1. JUSTIFICATIVA

A evolução tecnológica dos componentes eletrônicos em conjunto com a expansão do mercado colabora para a criação de uma grande competitividade dentro do mercado eletrônico.

Segundo BOYLESTAD (2012), no último século a tecnologia vem mudando a um ritmo cada vez mais intenso. A pressão para desenvolver novos produtos, melhorar o desempenho de sistemas existentes e criar novos mercados apenas acelera esse ritmo.

Acompanhando o relatório da OEC (*Observatory of Economic Complexity*) é possível ver que o quarto tipo de produto mais importado da China pelo Brasil são os circuitos integrados. A participação desses produtos no mercado nacional vem aumentando a cada dia, e a indústria chinesa por possuir como característica a

---

<sup>3</sup> MDI – *Media Dependent Interface*, ou interface dependente do meio, é o circuito eletrônico de acoplamento do meio físico, o qual tem a sua configuração vinculada ao meio físico utilizado para a conexão de rede. Para fibra óptica é o conector fêmea da fibra juntamente com o conversor fotóptico, para os cabos coaxiais são os conectores BNC ou RG juntamente com o circuito de acoplamento. Já para os cabos de rede é o conjunto do conector RJ45 e o circuito de acoplamento.

velocidade e robustez de pesquisa, acaba com a competitividade do mercado eletrônico nacional. Conforme cita Rodriguez (2018).

O Brasil é um parceiro importante da China em termos econômicos e políticos. Têm atraído diversos investimentos chineses e desenvolve projetos conjuntos com a China em diferentes áreas de inovação tecnológica e científica. Entretanto, ao olharmos para a balança comercial do Brasil com relação à China, vemos que há uma característica preocupante de aumento das exportações de commodities e de importações de produtos manufaturados. Isto implica em uma relação econômica desigual, na qual os benefícios da distribuição de renda derivada da industrialização ficam no lado chinês e os riscos da desindustrialização ficam para o lado brasileiro.

A busca por circuitos aperfeiçoados com redução de custos e mais adaptados ao cliente final torna-se uma alternativa para balancear a competitividade dos produtos e evitar a desindustrialização nacional. Ou seja, o uso de soluções mais refinadas para produtos de grande volume de mercado é o que poderá tornar a indústria nacional competitiva novamente. Uma alternativa para acirrar e balancear a competitividade do mercado é o foco em redução de custo.

O presente trabalho visa analisar a interface dependente do meio para além de avaliar a viabilidade do uso de acoplamento capacitivo busca analisar a influência que o uso de capacitores, para simplificação da conexão dos elementos elétricos com o meio físico do padrão *Ethernet* de cabeamento de par trançado, apresentam para a integridade dos sinais na interface dependente do meio, MDI.

Este estudo trará através da experimentação em laboratório os resultados oriundos da análise do sinal do padrão *ethernet* atual (com o uso de transformador *ethernet*) em comparação com os sinais obtidos com o emprego da solução capacitiva, bem como os resultados de testes de performance para estas combinações.

## 1.2. DELIMITAÇÕES

O presente trabalho limita-se ao estudo do uso de acoplamento capacitivo para conexões com a interface dependente do meio e sua devida compatibilidade com o padrão *ethernet* atual. Este trabalho não irá abordar o estudo de outras interfaces de rede dados, por exemplo interfaces do tipo WLAN<sup>4</sup>, (*Wireless Local Area Network*) e nem irá aprofundar o estudo dos circuitos internos que geram o sinal padronizado para a propagação da comunicação de rede previstos pelas normas da IEEE<sup>5</sup>, (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).

## 1.3. OBJETIVOS

Em vista do tema apresentado foram definidos os seguintes objetivos para o estudo.

### 1.3.1. Objetivo Geral

Realizar o estudo da influência do uso de capacitores na conexão física de uma interface de rede, bem como a análise do sinal utilizado pelo padrão atual da norma sem menção a sua geração, apenas sua propagação no meio físico.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Análise do sinal utilizado para a comunicação de rede;
- b) Análise dos sinais utilizando transformadores no acoplamento de interface de rede;
- c) Analisar as respostas dos capacitores para o acoplamento da interface rede;
- d) Prover um protótipo funcional para realização dos ensaios;

---

<sup>4</sup> WLAN – *Wireless Local Area Network*, ou rede local sem fio, é o padrão de comunicação de rede local baseada em sinal modulado em frequência de rádio, o qual dispensa o uso de meio físico confinado. Em outras palavras é o padrão de rede não guiado.

<sup>5</sup> IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, ou Instituto dos engenheiros eletricitistas e eletrônicos, é uma organização sem fins lucrativos que visa o engajamento em atividades de políticas públicas coordenadas nos níveis nacional, regional e internacional, a fim de promover a missão e visão de garantir os benefícios da tecnologia para o avanço da sociedade.

e) Obter um relatório para comparar os resultados.

#### 1.4. METODOLOGIA

A metodologia escolhida para uso no presente trabalho é a pesquisa experimental, a qual segundo Prodanov e Freitas (2013)

Na pesquisa experimental, o pesquisador procura refazer as condições de um fato a ser estudado, para observá-lo sob controle. Para tal, ele se utiliza de local apropriado, aparelhos e instrumentos de precisão, a fim de demonstrar o modo ou as causas pelas quais um fato é produzido, proporcionando, assim, o estudo de suas causas e efeitos.

O embasamento em pesquisas bibliográficas para reforçar o conhecimento das variáveis presentes neste experimento também será adotado, para garantir a correta análise dos dados coletados e dos resultados obtidos.

#### 1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo compreende uma estrutura de 4 capítulos dispostos com conteúdo descritos a seguir. O capítulo 1 apresenta introdução ao tema, justificativa do estudo, objetivos e a metodologia utilizada. O capítulo 2 traz a fundamentação teórica aplicada para justificar a análise dos dados obtidos no experimento com acoplamento indutivo e capacitivo. O capítulo 3 irá expor os detalhes do desenvolvimento deste estudo, juntamente com os resultados obtidos nos ensaios desenvolvidos. Já o capítulo 4 abordará a conclusão do estudo.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo tem o objetivo de apresentar os conteúdos da fundamentação teórica necessários para o desenvolvimento do estudo proposto.

### 2.1. PADRÃO ETHERNET

A rede de dados, também conhecida como *Ethernet* foi criada por Bob Metcalfe ao chegar ao centro de pesquisa da Xerox em 1970, conhecido como *Palo Alto Reserch Center*, ao observar o Computador pessoal projetado pelos pesquisadores do local e ao perceber que as máquinas estavam isoladas, Bob e seu colega David Boggs, projetaram e implementaram a primeira rede local. O sistema foi chamado *Ethernet*, uma menção ao éter luminoso, através do qual os antigos diziam que a radiação eletromagnética se propagava. A invenção foi muito bem-sucedida conforme destaca TANEMBAUM (2003).

A Ethernet da Xerox foi tão bem-sucedida que a DEC, a Intel e a Xerox criaram em 1978 um padrão para uma Ethernet de 10 Mbps, chamado padrão DIX. Com duas pequenas alterações, o padrão DIX se tornou o padrão IEEE 802.3 em 1983.

Após seu nascimento em 1983 a Ethernet foi atualizada para a norma 802.3a do IEEE (*Institute of Eletrical and Eletronic Engineers*) a qual padronizou a evolução da *ethernet* projetada em *Palo Alto*, em 1985. Na Figura 1 é possível ver o panorama geral da evolução do padrão *ethernet*. Com a possibilidade de utilizar cabo de par trançado, cabo coaxial e fibra óptica. Durante os cinco anos seguintes o conselho de trabalho da IEEE amadureceu os parâmetros da comunicação *ethernet* até alcançar a estabilidade da comunicação de 10 *megabits* por segundo sobre cabos de par trançado em 1990 com a revisão 802.3i. Uma rede de comunicação de dados com 10 *megabits* de velocidade parecia bom o suficiente, mas a evolução do mercado mostrou que não era o bastante, em 1992 o comitê 802.3 foi novamente reunido com o objetivo de aumentar a velocidade de comutação da rede. A necessidade de manter a compatibilidade com os padrões já existentes, evitar imprevistos e terminar o novo

padrão antes que a tecnologia mudasse criou o adendo 802.3u, o qual foi aprovado em 1995 pela IEEE.

Figura 1 - Evolução do Padrão 802.3 ao longo dos anos

MOST COMMON SPECIFICATION SUPPLEMENTS		
Supplement	Year	Description
IEEE 802.3a	1985	10Base-2 Thin Ethernet
IEEE 802.3c	1985	10 Mb/s Repeater Specification
IEEE 802.3d	1987	Fiber Optic Inter-Repeater Link
IEEE 802.3i	1990	10Base-T Twisted Pair
IEEE 802.3j	1993	10Base-F Fiber Optic
IEEE 802.3u	1995	100Base-T Fast Ethernet and Auto-Negotiation
IEEE 802.3x	1997	Full-Duplex Standard
IEEE 802.3z	1998	1000Base-X Gigabit Ethernet (SX, LX, CX)
IEEE 802.3ab	1999	1000Base-T Gigabit Ethernet over Twisted Pair
IEEE 802.3ac	1998	Frame Size Extension to 1522 Octets for VLAN Tagging
IEEE 802.3ad	2000	Link Aggregation for Parallel Links
IEEE 802.3af	2003	Power Over Ethernet (PoE)

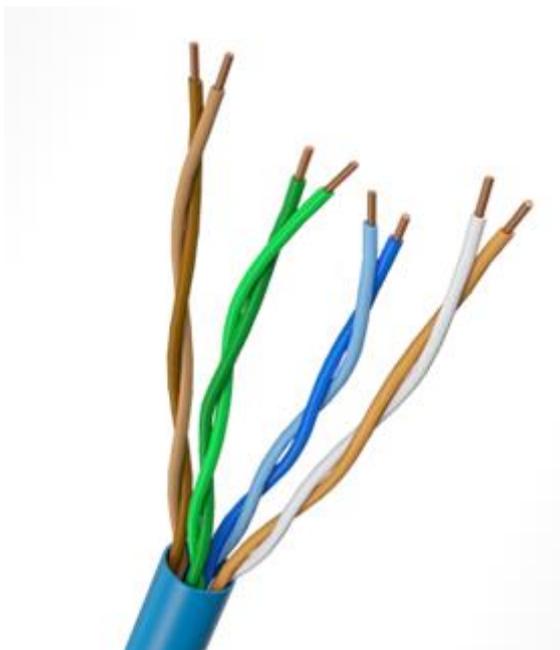
Fonte: PINHEIRO, O Padrão IEEE 802.3

A partir de 1995 a ratificação da norma IEEE 802.3u previa o uso de cabo de par trançado categoria 3, para o padrão 100Base-T4, e superiores para 100Base-TX. A rede *ethernet* que utilizava o 100Base-T4 necessitava utilizar 4 pares para comunicação, reaproveitando a fiação telefônica já existente.

Já para a comunicação 100Base-TX TANEMBAUM (2003) relata que para a fiação da categoria 5, o projeto 100Base-TX é mais simples, porque os fios são capazes de manipular velocidades do *clock* de até 125 MHz. A codificação utilizada é denominada 4b/5b, neste esquema de codificação cada grupo de cinco períodos de *clock* produz 32 combinações. Dezesesseis dessas combinações são usadas para transmitir os grupos de 4 *bits* e algumas das combinações restantes são utilizadas para controle. O 100Base-TX é um sistema *full-duplex*, as estações podem transmitir a 100 Mbps (*megabits* por segundo) e receber a 100 Mbps, ao mesmo tempo.

As redes *Ethernet* de gigabit que utilizam 1000Base-T empregam um esquema de codificação diferente, mesclando uma codificação de pulso e amplitude de 5 níveis sinalizando 2 bits em cada símbolo conseguindo transmitir 2 bits por par trançado. Essa solução utiliza os quatro pares trançados da categoria 5 para permitir a transmissão de quatro símbolos em paralelo. O *clock* também funciona a 125 MHz, permitindo operação a 1 Giga bit por segundo. Na Figura 2 é possível visualizar a forma construtiva do cabeamento de rede em pares trançados.

Figura 2 – Cabo de rede cat5e



Fonte: MEGATRON, Fios e Cabos especiais

Com os protocolos de comunicação definidos nos padrões de rede *ethernet* estáveis foi possível analisar mais detalhadamente o acoplamento do meio físico do padrão *ethernet*. Tal análise foca no estudo do acoplamento entre a interface dependente do meio e a subcamada de controle do meio físico.

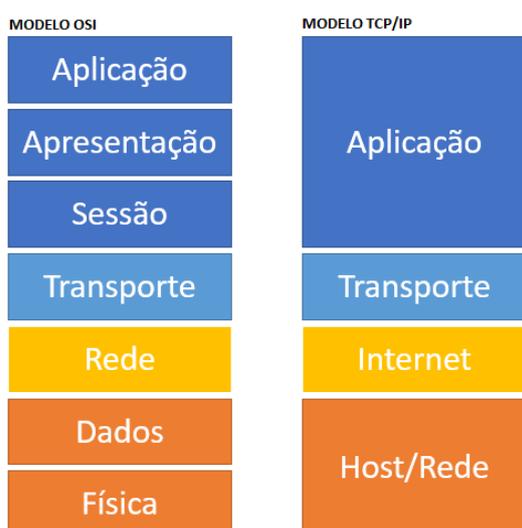
## 2.2 MEIO FÍSICO

A conexão de rede como um todo é baseada em dois modelos referência, o modelo de referência OSI (*Open System Interconnection*), e o modelo referência TCP/IP (*Transfer Control Protocol / Internet Protocol*). Esses dois modelos preveem uma padronização para os inúmeros protocolos utilizados nas diversas camadas da conexão de dados. Para TANEMBAUM (2003):

Embora os protocolos associados ao modelo OSI raramente sejam usados nos dias de hoje, o modelo em si é de fato bastante geral e ainda válido, e as características descritas em cada camada ainda são muito importantes. O modelo TCP/IP tem características opostas: o modelo propriamente dito não é muito utilizado, mas os protocolos têm uso geral.

Os modelos preveem a estrutura de rede subdivida em camadas, sendo que, o foco deste trabalho está direcionado para a camada 1, a camada física. Na Figura 3 apresenta um comparativo entre os modelos de referência, onde é possível perceber que para cada modelo o meio físico é definido em sua respectiva camada. Para o modelo OSI o meio físico é tratado na camada Física, já para o modelo TCP/IP o meio físico é tratado na camada Host/Rede.

Figura 3 - Comparativo da estrutura do Modelo OSI e o Modelo TCP/IP



Fonte: TANNENBAUM, Redes de Computadores, 2003.

Para o modelo de referência OSI a camada física é responsável pela transmissão dos bits de forma bruta, a qual deve garantir a integridade da informação enviada. As características mais relevantes para análise são, os níveis de tensão utilizados para representar os bits, a duração dos pulsos e as características de manutenção da conexão, início e término da mesma.

Segundo KUROSE (2013) a camada física tem a tarefa de movimentar os bits individuais que estão dentro do quadro. Os protocolos nessa camada dependem do enlace e do meio de transmissão. A Ethernet tem muitos padrões de sinalização de camada física um para cabeamento de cobre de par trançado, outro para cabo coaxial, mais um para fibra e assim por diante. Em cada caso, o bit atravessa o enlace de um modo diferente.

Em outras palavras, a camada física define as características mecânicas, elétricas, funcionais e os procedimentos para ativar, manter e desativar conexões

físicas para a transmissão de dados. Onde as características mecânicas regem o tamanho e forma dos conectores e cabos. As características elétricas definem os níveis elétricos utilizados para a transmissão. Mas principalmente os protocolos utilizados na camada física devem ser independentes do meio de transmissão permitindo que os terminais possam utilizar meios de par metálico trançado, cabos coaxiais, fibra ópticas e rádio frequência.

Para TANNENBAUM (2003) a referência TCP/IP não especifica muito bem o que acontece dentro da camada de *Host/Rede*, exceto o fato de que o *host* tem de se conectar à rede utilizando algum protocolo para que seja possível enviar pacotes IP. Esse protocolo não é definido e varia de host para host e de rede para rede.

Analisando os modelos de referência para a rede de dados é possível perceber que tanto o padrão de protocolos quanto o padrão de camadas definem como a comunicação deve ocorrer, para um modelo a camada física deve garantir a integridade da informação e para o outro a comunicação deve acontecer indiferente do meio. Para tal, os sistemas de comunicação do meio físico podem ser definidos como meios guiados e não guiados.

Em outras palavras o objetivo da camada física é transmitir um fluxo bruto de bits de uma máquina para outra, ou seja, as questões de projeto lidam com interfaces mecânicas, elétricas e de sincronização, e com o meio físico de transmissão que se situa abaixo da camada física. Assim vários meios físicos podem ser usados para realizar a transmissão. Cada um tem sua própria característica em termos de largura de banda, retardo, custo e facilidade de instalação e manutenção. Os meios físicos são agrupados em meios guiados, como fios de cobre e fibras ópticas, e em meios não guiados, como as ondas de rádio e os raios laser transmitidos pelo ar.

### **2.2.1 Meio Não Guiado**

Segundo Boylestad (2012) em 1862 *James Clerk Maxwell*<sup>6</sup> deduziu que quando os elétrons se movem esse movimento cria ondas eletromagnéticas que podem se

---

<sup>6</sup> James Clerk Maxwell, professor escocês de filosofia natural, realizou extensiva análise matemática para desenvolver um conjunto de equações conhecidas hoje como equações de Maxwell, além de desenvolver a teoria eletromagnética da luz em 1892 onde revelou que as ondas eletromagnéticas se propagam no ar com a velocidade da luz. (Boylestad, 2012)

propagar pelo espaço livre, até mesmo no vácuo. Em 1887 *Heinrich Rudolf Hertz*<sup>7</sup> conseguiu observar esse fenômeno. Quando se instala uma antena com o tamanho apropriado em um circuito elétrico, as ondas eletromagnéticas podem ser transmitidas e recebidas com eficiência por um receptor localizado a uma distância bastante razoável. Toda a comunicação sem fio é baseada no princípio de emissão de ondas eletromagnéticas onde podemos citar as micro-ondas, os raios infravermelhos e os raios laser. As ondas para a comunicação de rede local são emitidas através de ondas de rádio pelas características citadas por TANENBAUM (2003)

As ondas de rádio são fáceis de gerar, podem percorrer longas distâncias e penetrar facilmente nos prédios; portanto, são amplamente utilizadas para comunicação, seja em ambientes fechados ou abertos. As ondas de rádio também são omnidirecionais, o que significa que elas viajam em todas as direções a partir da fonte; desse modo, o transmissor e o receptor não precisam estar cuidadosa e fisicamente alinhados.

Em meados de 1990 quando o padrão de comunicação de ondas de rádio começou a ser padronizado, a *ethernet* já havia dominado o mercado de redes locais, e assim o padrão de comunicação sem fio, IEEE 802.11, foi concebido para ser compatível com a *Ethernet*. Em particular, deve ser possível enviar um pacote IP pela WLAN sem fio, do mesmo modo que um computador conectado envia um pacote IP pela *Ethernet*. Apesar disso, existem várias diferenças inerentes em relação à *Ethernet* e emissão sem fio, e essas diferenças são tratadas pelo padrão.

### 2.2.2 Meio Guiado

Os meios físicos guiados utilizados para transportar os dados da comunicação de rede atualmente utilizados são o cabo coaxial, a fibra óptica e o cabo de par trançado. Seguindo o mesmo princípio de funcionamento de onda eletromagnética, quando a informação é transportada através de cabos os dados viajam dentro do mesmo seguindo as leis de propagação eletromagnéticas.

---

<sup>7</sup> Heinrich Rudolph Hertz, professor de física alemão produziu ondas eletromagnéticas em seu laboratório. Feito qual permitiu medir o comprimento de onda das ondas eletromagnéticas e verificou que a velocidade de propagação era da mesma ordem da grandeza da velocidade da luz. (Boylestad, 2012)

Segundo TANENBAUM (2003) o volume de informações que uma onda eletromagnética é capaz de transportar está diretamente relacionado à sua largura de banda. Com a tecnologia atual, é possível codificar alguns bits por Hertz em frequências baixas. No entanto, comumente esse número pode aumentar muito em altas frequências. Assim, um cabo coaxial com uma largura de banda de 750 MHz pode transportar diversos gigabits.

Conforme cita KUROSE (2013) a *Ethernet* original de *Bob Metcalfe* e *David Boggs* executava uma velocidade de 2,74 *Megabits* por segundo e interligava até 256 (duzentos e cinquenta e seis) hospedeiros, tal concepção de transmissão de dados utilizava o cabo coaxial. Com o surgimento do padrão 10Base em 1985, os padrões 10Base5 e 10Base2 baseavam a sua comunicação em cabos coaxiais, cabo coaxial grosso e fino respectivamente. O primeiro padrão permitia derivações a cada 2,5 metros, o cabo era da espessura de uma mangueira, utilizava sinalização de banda base, sinal sem modulação, e permitia transmissões até 500 metros. Já o segundo o cabo era mais fino e maleável permitia conexões mais fáceis e econômicas, porém possuía um alcance de 185 metros.

Basicamente um cabo coaxial consiste em um fio de cobre esticado envolvido por um material isolante. O isolante é protegido por uma malha de condução entrelaçada. O condutor externo é coberto por uma camada plástica protetora. É possível perceber como os cabos coaxiais operam vendo o que TANENBAUM (2003) discorre sobre os mesmos.

A construção e a blindagem do cabo coaxial proporcionam a ele uma boa combinação de alta largura de banda e excelente imunidade a ruído. A largura de banda possível depende da qualidade do cabo, do tamanho e da relação sinal/ruído do sinal de dados. Os cabos modernos têm uma largura de banda próxima de 1 GHz. Os cabos coaxiais eram muito usados no sistema telefônico em linhas de longa distância, mas agora estão sendo substituídos por fibras ópticas nas rotas de longa distância. Porém, os cabos coaxiais ainda são usados em larga escala pelas redes de televisão a cabo e em redes metropolitanas.

A fibra óptica também era utilizada desde a concepção do padrão de comunicação ethernet. Em 1985 o padrão 10Base-F previa a instalação de fibras para enlaces de até 2 quilômetros de distância, e na década de 90 o padrão foi revisado

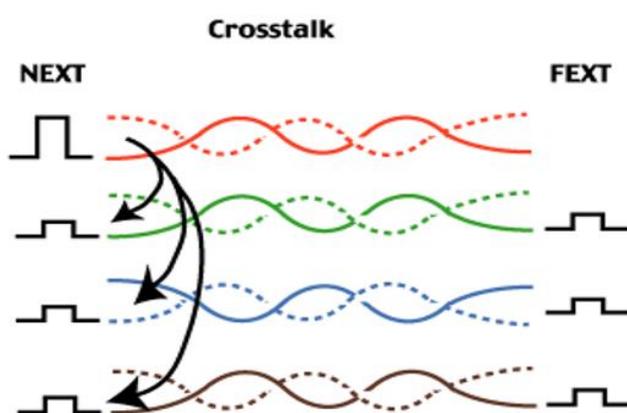
para o 100Base-FX prevendo a mesma distância utilizando dois filamentos de fibra multimodo, um para cada sentido da comunicação.

O meio físico de transmissão de dados da rede *Ethernet* dentro dos padrões 100BASE-TX E 1000BASE-T é o cabo de rede de par trançado categoria 5 ou superior. Tal cabeamento também é compatível com o padrão *ethernet* anterior devido à retro compatibilidade da norma. O cabo de rede é formado de 8 fios distribuídos em pares e trançados.

Segundo ROSS (2007) o cabo UTP (do inglês *Unshielded Twisted-Pair*) Cat 5e é o cabo mais utilizado em instalações de rede devido ao seu baixo custo, fácil instalação, flexibilidade para mudanças e compatibilidade com larguras de banda até 100MHz.

Embora originariamente projetado para voz, o cabo de par trançado passou por vários avanços que o tornaram adequado para telefones, estações de trabalho terminais e sistemas computacionais. De fato, a categoria 6, o par trançado de maior grau, pode suportar dados acima de 1 gigabit. Uma vantagem importante do cabo de par trançado sobre o cabo de não trançado é a resistência ao acoplamento de ruído entre os cabos. Os trançamentos minimizam o processo de interferência entre os pares do cabo, tal interferência é chamada de *crosstalk*. Como pode ser visto na Figura 4, o *crosstalk* é o acoplamento de ruído indesejado em um cabo vizinho ao que possui o sinal original.

Figura 4– Representação fundamental do crosstalk



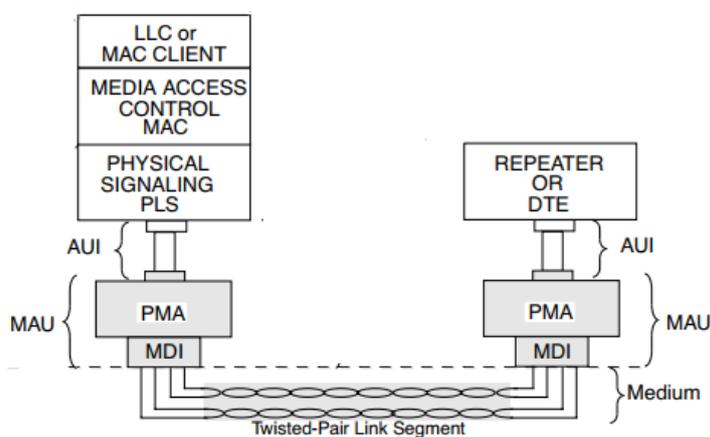
Fonte: DINTEK, Testing crosstalk

### 2.3 CONTROLE DA CAMADA FÍSICA DO PADRÃO 802.3

O foco do estudo é o acoplamento entre subcamada MDI (*Medium Dependent Interface*), que depende do meio físico de cabeamento de par trançado, e a subcamada de controle do meio físico, PHY (*Physical Layer Device*). Para compreender as características necessárias para o acoplamento indutivo entre essas interfaces é necessário entender a característica construtiva e comportamental das interfaces de controle do meio físico.

É possível visualizar na Figura 5 o posicionamento da subcamada MDI (*Medium Dependent interface*) em relação à subcamada MAU (*Media Attachment Unit*), a qual é a subcamada antecessora ao PHY. Para tal as subcamadas de controle do meio físico foram implementadas no decorrer da evolução da sinalização do padrão *ethernet*. Os níveis de sinalização foram melhorados conforme a necessidade de maiores velocidades de comunicação e o controle da camada física precisou ser implementado de formas a ter retro compatibilidade entre todos os padrões criados anteriormente.

Figura 5 – Camada física do padrão 10Base-T



Fonte: IEEE 802.3 ad, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

Desde seu surgimento com 10 *megabits* os protocolos de controle da camada de dados permanecem muito similares. A subcamada LLC (*Logical Link Control*) juntamente com a subcamada MAC (*Media Access Control*), interface de controle de acesso ao meio, são as interfaces que controlam a camada de Enlace, ou para o sistema OSI camada de dados ou camada 2. É possível perceber na Figura 6 segundo

a concepção da norma IEEE 802.3 por PINHEIRO, que o controle da camada de dados não sofreu alteração funcional desde sua concepção.

O controle da camada física por sua vez foi implementado ao longo da evolução do padrão *ethernet*. Ainda na Figura 6 é possível visualizar que a subcamada PLS (*Physical Layer Signaling*), que segundo a norma IEEE 802.3ad (2000) é a porção da camada de rede que provê acoplamento lógico e funcional entre a subcamada MAC e a sub camada MAU (*Medium Attachment Unit*), foi alocada abaixo da camada de reconciliação (RS). E na atualização seguinte foi substituída pela camada PHY, atual camada de controle do meio físico. Nota-se também na concepção a existência da subcamada AUI, definida como uma interface de compatibilidade secundária, a qual se torna opcional para os produtos com meio definido. Esta subcamada também foi implementada dentro da subcamada PHY.

Figura 6 – Módulo IP funcional

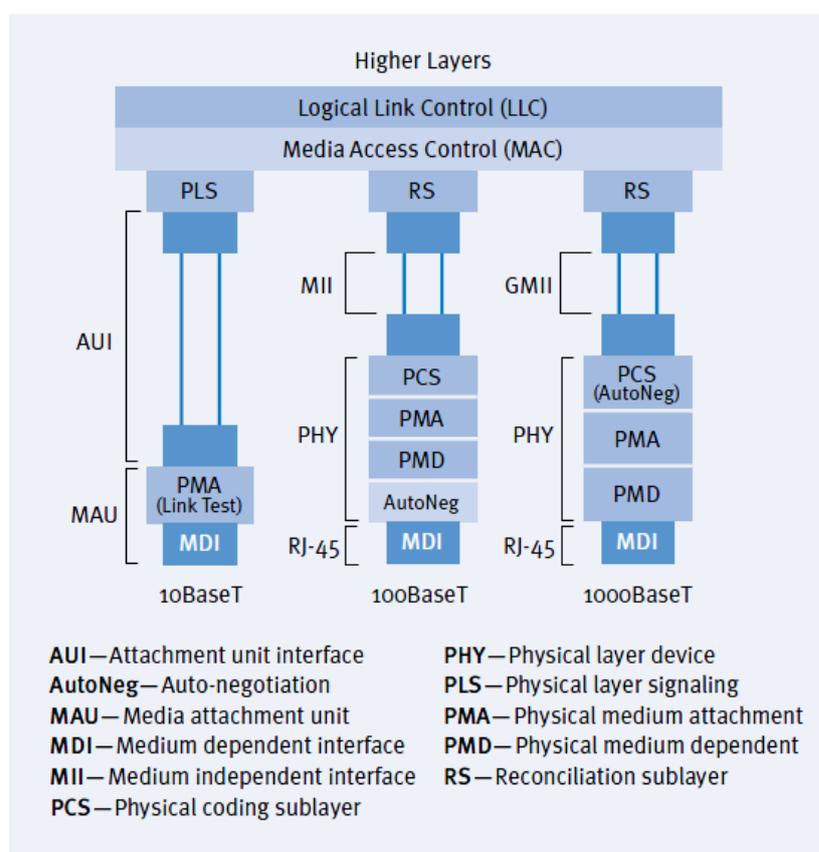


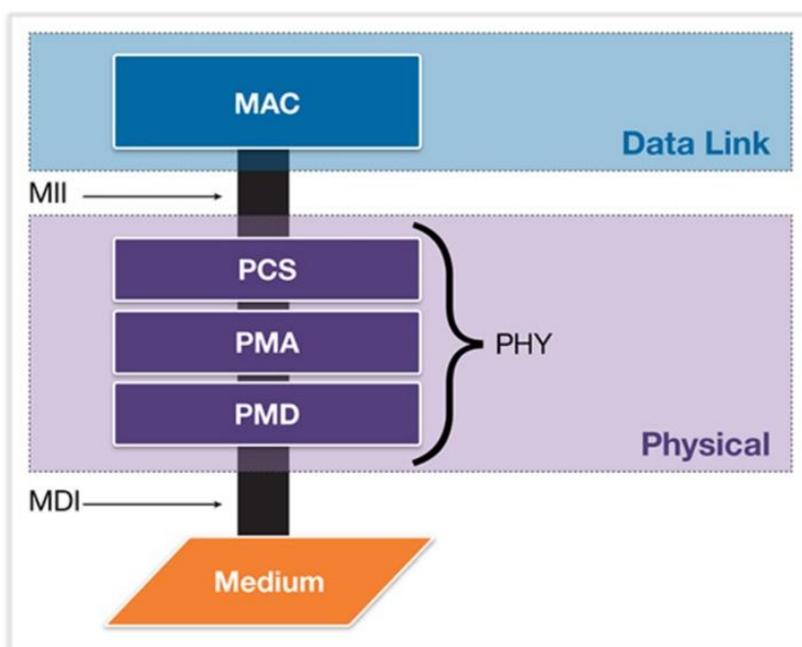
Figure 1. Data terminal equipment layer model (Redrawn from the IEEE Std 802.3, 1998 Edition)

Fonte: Pinheiro, O Padrão IEEE 802.3

Nos sistemas de rede a partir do padrão 100BASE-T a ligação entre a camada física e a camada de dados é realizada através de uma subcamada de reconciliação (em inglês *Reconciliation Sublayer* ou RS), (IEEE 802.3ad, clausula 22, 2000). A subcamada RS mapeia a sinalização da camada física para que os serviços de envio e recebimento de bits sejam fornecidos, juntamente com os serviços de detecção de colisões, presença de portadora e detecção e propagação de erros no canal.

Para as taxas de transferência previstas de 100 e 1000 *megabits* por segundo existe uma interface chamada MII<sup>8</sup>, *Media Independent Interface*, que permite que qualquer um dos meios físicos padronizados tratados pelo PHY possam se comunicar facilmente com a subcamada de reconciliação. Na Figura 7 é possível ver como a MII realiza o intermédio da camada física e a camada de dados. Para conexões *ethernet* com velocidade de 1 gigabit por segundo a Interface MII é conhecida como GMII, do inglês *Gigabit Media Independent Interface*. Nome qual remete à compatibilidade entre todas as normas baseadas em conexão de rede sobre cabo de par trançado.

Figura 7 – Conexão entre a camada física e a camada de dados



Fonte: HORNER, Understanding the Ethernet Nomenclature

<sup>8</sup> MII – *Media Independent Interface*, ou interface independente do meio é a interface padronizada para conexão ao controlador de rede, após o tratamento das camadas de controle do meio físico, dentro do PHY.

A conexão entre o MDI e o MII possui um mecanismo de gerenciamento de dispositivos da camada física (em inglês, *Physical Layers Devices*) ou também conhecida como PHYs, a qual pode ser vista na Figura 6 supracitada. O PHY para a norma 802.3ad (2000) é constituída pelas subcamadas PCS (*Physical Coding Sublayer*), PMA (*Physical Medium Attachment*) e quando presente também pelo PMD (*Physical Medium Dependent*). O PHY contém as funções de transmitir, receber e gerenciar os sinais codificados que são enviados e recuperados do meio físico.

A conexão do meio físico com o controlador PHY é feita através de um transformador *ethernet* que é composto por um indutor *choke* de modo comum e um acoplamento indutivo de transformação unitária. Essa característica de funcionamento serve para filtrar os ruídos de modo comum que podem ter sido acoplados ao sinal no meio físico, filtrar componentes de corrente contínua e garantir a integridade do sinal antes e depois do acoplamento. Protegendo assim o circuito eletrônico do PHY.

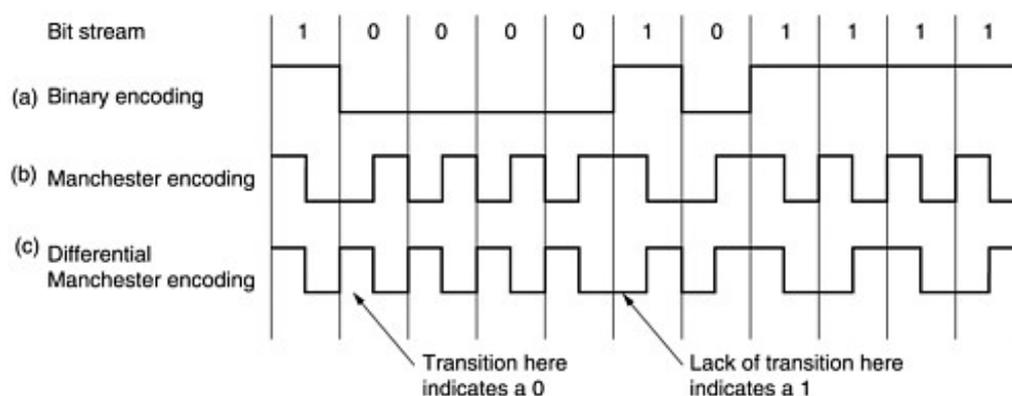
### 2.3.1 Codificação do Meio Físico no Padrão 802.3

O acoplamento lógico e funcional da camada de rede depende diretamente da codificação de canal utilizado na comunicação de rede. Segundo TANNENBAUM (2003) nenhuma das versões do padrão *ethernet* utiliza a codificação binária direta. Tal técnica traria muita ambiguidade para a comunicação quando os bits se repetissem. Além de evitar a ambiguidade e também buscando uma comunicação sem conflitos referentes as diferenças de *clock* entre geração do sinal e recepção do mesmo foi utilizada uma codificação que permitisse que os receptores determinassem o início, meio e o fim de cada bit transmitido. Surgiu então a codificação *Manchester* e *Manchester diferencial*. Esse sistema de codificação divide o período de um bit em dois intervalos iguais, esse esquema garante que cada bit transmitido terá uma transição de nível em seu período, trazendo facilidade para o receptor se sincronizar com o transmissor.

O *Manchester* foi o primeiro padrão de sinalização do Padrão 802.3. Na Figura 8 é possível ver as diferenças entre as codificações, no primeiro instante é possível ver um nível alto para um sinal lógico 1 (um) no sinal não codificado o qual é representado em uma alternância de alto para baixo nas comunicações *Manchester*. Já para o nível baixo não codificado representando um sinal lógico zero o sinal codificado o representa como uma alternância de um nível baixo para um alto.

A diferença entre o *Manchester* e *Manchester Diferencial* está na forma como os dados são codificados, para o Manchester um bit 0 é uma transição de nível baixo para o nível alto e um bit 1 o seu respectivo inverso, já para o *Manchester* diferencial a transição ocorre e somente há mudança da forma de sinal enviado quando possuímos um bit 1, também foi implementado o uso de sinais negativos e positivos para a transição que utiliza a passagem em nível zero de tensão como sinal de sincronismo, NEUHAUS (2005). Com o uso dessa codificação foi possível alcançar a transmissão de 10 *megabits* por segundo, cada bit com dois níveis de sinal o padrão de comunicação 10Base-T utiliza uma banda física de 20MHz na transmissão de dados, largura de banda.

Figura 8 – Comparação entre codificações binária, Manchester e Manchester Diferencial



Fonte: TANNENBAUM, Redes de Computadores

A comunicação diferencial foi a escolhida devido ao fato da comunicação ocorrer em pares. Em outras palavras a transição central de cada bit torna possível a sincronização entre o emissor e o receptor a qualquer instante, sendo assim a informação é aceita após a transição central, dessa maneira a qualquer instante a transmissão pode estar em um dos respectivos estados, hora transmitindo um bit 0 ou bit 1.

Após o sucesso da dissipação da *ethernet* no mundo 10 *megabits* já não eram mais o suficiente e o padrão foi atualizado para o 100Base-TX. O incremento de velocidade para 100 *megabits* por segundo foi resultado da redução do tempo de cada bit de 100 nanossegundos para 10 nanossegundos. Se a codificação de linha fosse mantida nos mesmos padrões da norma anterior seria necessária uma largura de banda de 200MHz disponíveis no cabeamento para a transmissão de 100 *megabits*

por segundo. Porém como citado anteriormente, o cabeamento de par trançado categoria 5e suporta até 100MHz de largura de banda, o que impossibilitaria o uso da codificação Manchester para a transmissão de dados. (TANNENBAUM, 2003)

Os padrões de comunicação de 100 *megabits* que antecederam o atual *Fast Ethernet*, 100 Base-TX, utilizavam-se de técnicas complexas conhecidas como 8 bits mapeados em 6 ternários (8b/6t) e dependiam de grandes processadores para utilizar com máxima eficiência os 25MHz por par de cabo para conseguir transmitir a velocidade referida. Conforme diz TANNENBAUM (2003) para ser possível transmitir 100 Mbps a utilização do esquema 8B/6T utiliza 3 pares direcionais de comunicação de que podem conter até 3 valores de símbolos, permitindo a transmissão de até 27 símbolos, viabilizando a transmissão de 4 bits em cada período de *clock*. O par restante é um canal reverso de 33,3 *megabits* por segundo. Devido às complexidades desses padrões intermediários e os custos de processadores mais robustos para a época, o surgimento da comunicação *Fast Ethernet* sobre o cabeamento categoria 5 levou esses padrões ao desuso.

Com a introdução do *fast ethernet* foi necessário alterar a codificação para NRZI<sup>9</sup> (*Non Return to Zero Inverted*). Conforme NEUHAUS (2005) com a introdução do novo padrão da norma, 100Base-TX, o padrão de codificação precisou ser alterado de *Manchester* para NRZI. Nesse modo de codificação os níveis lógicos altos são representados pela borda do sinal durante a transição, e quando não há transição isso indica um nível lógico baixo. Como pode ser visto na Figura 9, dessa forma a largura de banda utilizada nesse método é reduzida, porém se torna necessária a introdução de uma frequência de *clock* para sincronização.

Para TANENBAUM (2003) a simplicidade da codificação 100 Base-TX é capaz de utilizar somente dois pares do cabo categoria 5. O esquema de codificação utilizado é o 4B/5B<sup>10</sup> o qual permite que cada símbolo de 4 bits seja recomposto em 5 *Bauds*, ou o número de variações de *clock*. O conjunto de 5 *Bauds* permite a criação de até 32 símbolos, dos quais cada grupo de 5 períodos de *clock* podem conter até 32 símbolos, desses os primeiros 16 símbolos são utilizados para transmitir os 4 bits originais e três das combinações restantes são utilizadas para controle como a

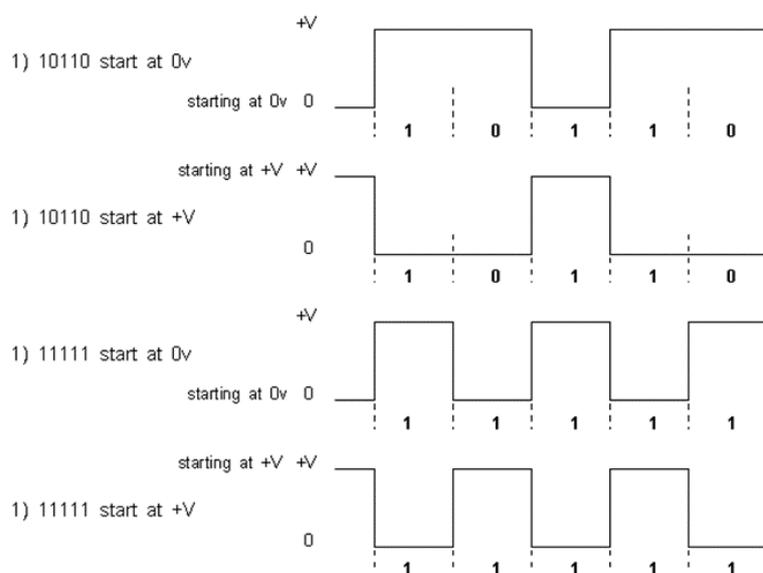
---

<sup>9</sup> NZRI – *Non Return to Zero Inverted*, ou sem retorno ao zero invertido, é um modo de codificação que quando não há transição de nível lógico o nível de tensão é constante.

<sup>10</sup> 4B/5B – é um método de codificação que transforma todos os símbolos de 4 bits em palavras de 5 bits. Transformando assim os códigos de 16 símbolos em 32 símbolos.

demarcação dos quadros. Por mais promissora que esta técnica seja, temos 100 *megabits* divididos em 4 bits criando símbolos de 25 MHz transmitidos em 5 *Bauds*, os quais resultam necessidade 125MHz. Ultrapassando assim a certificação do cabeamento utilizando de até 100 MHz.

Figura 9 - Codificação NRZI



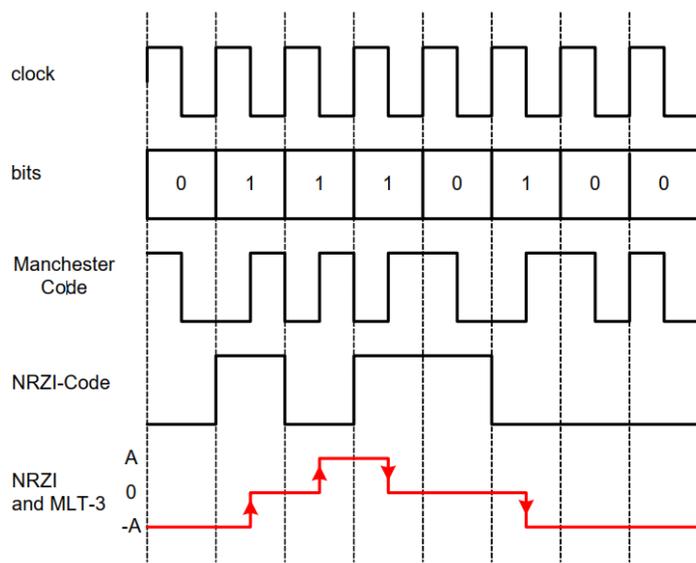
Fonte: NEUHAUS. A Beginner's Guide to Ethernet 802.3, 2005.

Esses 125MHz resultantes da codificação 4B/5B são convertidos diretamente para NRZI para assim garantir o mínimo possível de bordas no sinal. Mesmo com o uso da codificação 4B/5B antes da conversão para NRZI os 16 primeiros códigos utilizados gerariam pelo menos 2 bordas de sinal por palavra de 5 bits, o resultado seria um sinal com a metade da largura de banda do sinal original utilizando 62,5 MHz. Contudo devido ao ser comportamento, o NRZI, possui valor de tensão diferente de zero trazendo a sua primeira dificuldade perante à necessidade de isolamento galvânico do padrão além de ter a necessidade de introduzir de um *clock* mais alto para de sincronização no lado receptor, essas duas características se tornaram um grande desafio para a evolução da comunicação de rede. NEUHAUS (2005).

Para garantir que a comunicação de 100 *megabits* fosse propriamente suportada pelo cabeamento usa-se ainda outra técnica de codificação, o MLT-3 ou *Multi Level – 3*, a técnica utiliza como artifício 3 níveis de tensão, para um bit 0 mantêm-se o nível anterior e para um bit 1 alterna-se em 1 o nível de tensão, conforme Figura 10 abaixo. Essa técnica permite que o sinal enviado utilize somente a quarta

parte de largura de banda necessária, ou seja, para a comunicação de 100 *megabits* em 4B/5B de 125 MHz, na prática é utilizado uma sinalização máxima de 31,25 MHz. Assim reduzindo também a emissão radiada de *crosstalk* e para o método MLT-3 não é necessário o uso de *clock* para sincronismo.

Figura 10 – Comparação MLT – 3 com NRZI



Fonte: NEUHAUS. A Beginner's Guide to Ethernet 802.3, 2005.

Seguindo o padrão evolutivo do 100Base-TX, a comunicação de gigabit para alcançar os níveis atual de comunicação alteraram um pouco a codificação 4B/5B e a evoluíram para o padrão 8B/10B. Essa técnica utiliza a mesma base de comunicação que a anterior, porém para uma escala de 1 gigabit, dividindo símbolos de 8 bits em 10 *Bauds*, resultando em uma comunicação de 250 MHz de largura de Banda. Adequado ao cabeamento categoria 6 como falamos anteriormente. Devido à pressão do mercado e infraestrutura existente com cabeamento categoria 5e, a norma gigabit, 802.3z incorporou o uso da codificação MLT-3 resultando em uma comunicação final de 62,5 MHz, compatível com a infraestrutura já existente, sem necessidade de *clock* adicional.

## 2.4 TRANSFORMADOR ETHERNET

Como mencionado anteriormente a conexão do meio físico com o controlador PHY é feita através de um transformador *ethernet* o qual é composto por um indutor *choke* de modo comum e um acoplamento indutivo de uma transformação unitária. Essa característica de funcionamento serve para filtrar os ruídos de modo comum que podem ter sido acoplados ao sinal no meio físico, filtrar componentes de corrente contínua e garantir a integridade do sinal antes e depois do acoplamento. Protegendo assim o circuito eletrônico do PHY

O transformador é um indutor constituído de dois enrolamentos dispostos de forma que o fluxo magnético variável produzido por um destes enrolamentos seja induzido no outro, provocando uma diferença de potencial no secundário. A figura 11 ilustra o exposto. O enrolamento que recebe a tensão é normalmente chamado de enrolamento primário, enquanto o enrolamento que é conectado a carga, é chamado de secundário. O transformador tem a capacidade de prover no secundário tensão e corrente maiores ou menores do que o aplicado no primário. Esta capacidade depende da relação de voltas dos enrolamentos. A Equação 1 apresenta a relação entre a corrente e o número de voltas no primário e secundário. (BOYLESTAD, 2012)

Equação 1 - Relação de transformação de um transformador

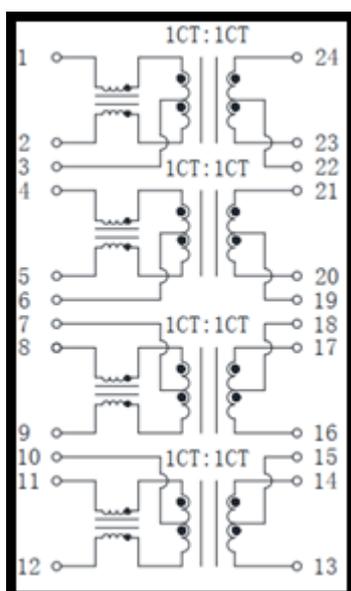
$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

Boylestad (2012) menciona que "Este dispositivo desempenha um papel fundamental nos sistemas de distribuição de energia elétrica e também pode ser utilizado em muitos circuitos eletrônicos e instrumentos de medida". Com base nisso é possível perceber que a utilização deste componente é bastante ampla, sendo utilizado tanto na área elétrica quanto eletrônica. Em sistemas de redes o transformador é utilizado como forma de acoplamento indutivo com o objetivo de filtrar a componente de corrente contínua e transientes presentes no meio físico simulando um isolamento galvânico entre seu primário e seu secundário protegendo assim o circuito PHY. Sua transformação unitária garante que somente os sinais em frequência sejam espelhados em seu enrolamento secundário.

Os transformadores *ethernet* ou circuito magnético segundo Chindley (2016) são parte da especificação IEEE para redes BASE-T, e como tais são requeridos para todos os equipamentos de rede baseados nesse padrão. Este circuito tem por objetivo proteger de faltas e transientes, incluindo a rejeição de sinais de modo comum entre o cabo e o circuito PHY. Esses sinais de modo comum são causados por interferências eletromagnéticas provenientes do acoplamento de ruído no cabo ou pelo descasamento de impedâncias. Além disso o circuito do transformador *ethernet* disponibiliza isolamento galvânico para componentes de corrente contínua vindas dos cabos de rede causadas por conexões provenientes de mais de uma origem.

As características desse componente são claramente expostas na norma IEEE, como é o caso para a norma 100BASE-T os transformadores devem apresentar pelo menos uma indutância de 350 micro *Henries* para uma corrente de 8 mili *Âmperes*, Chindley (2016). Uma vez que esses valores são fixados pela norma todos os transformadores irão apresentar essa característica. Como visto a proteção do circuito elétrico da subcamada PHY é feita pelo circuito magnético de um transformador unitário em conjunto com um indutor *choke*. Na Figura 11 é possível ver a construção interna de um transformador *ethernet*.

Figura 11 – Transformador Ethernet modelo P1032



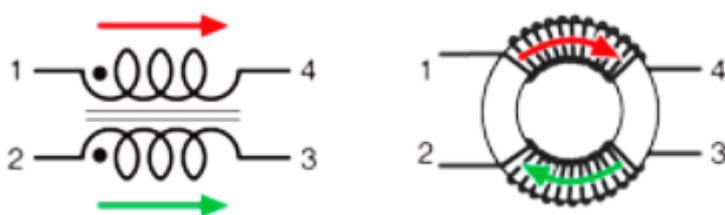
Fonte: DATASHEETSPDF

### 2.4.1 Choke de Modo Comum

O *choke* de modo comum é indutor de formato toroidal comumente de núcleo de ferrite que tem, segundo ANJOS (2019) "dois ou mais enrolamentos dispostos de tal forma que a corrente de ruído de modo comum cria um campo magnético que se opõe a qualquer aumento na corrente de modo comum". Ou seja, o choke de modo comum age como um filtro, suprimindo os ruídos de modo comum que podem se desenvolver em um circuito. No choke, as correntes de modo comum fluem no mesmo sentido, acarretando em um maior fluxo magnético no núcleo.

Para o conjunto do transformador *ethernet* o *choke* de modo comum atua no sinal transferido pelo transformador unitário agindo sobre os ruídos de modo comum que foram acoplados no sinal ao longo do cabeamento. Na Figura 12 é possível ver como a corrente se comporta dentro do *choke*. Quando o fluxo magnético do núcleo se eleva pela passagem de ruído de modo comum o *choke* forma uma alta impedância para o sinal evitando assim a interferência. Em outras palavras, o *choke* de modo comum representa uma alta impedância para o ruído de modo comum e uma baixa impedância para o modo diferencial na banda do sinal.

Figura 12 – Comportamento da Corrente em um Choke de modo Comum

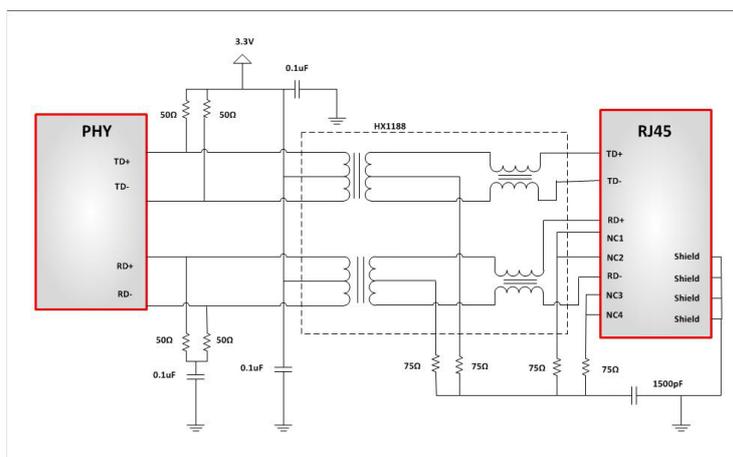


Fonte: ANJOS, Ruídos e filtros de modos comum e diferencial

## 2.5 COMPOSIÇÃO ELETRÔNICA E SINALIZAÇÃO DO PADRÃO ETHERNET

A camada física do padrão *fast ethernet*, 10 e 100 *megabits s*, conforme PINHEIRO possui a constituição eletrônica que pode ser observada na Figura 13. O sinal é conectado ao dispositivo através do conector RJ45, e em seguida é tratado pelo circuito do transformador *ethernet*. Entre a conexão do meio físico e o transformador é possível visualizar um circuito opcional, tal circuito será discutido com detalhes adiante.

Figura 13 - Composição eletrônica 802.3u



Fonte: IBRAHIM, Transformerless Applications of Microchip's Ethernet Devices, 2016.

O sinal que passa pelo acoplamento indutivo do transformador tem suas componentes de corrente contínua removidas pelo comportamento deste e passa pelo tratamento de ruído de modo comum, como descrito anteriormente. Após o circuito do transformador é possível ver no *tap* central dos transformadores, na parte interna do circuito, um circuito de desacoplamento e balanceamento capacitivo ligado à alimentação. Devido à característica física, um par serve para recepção do sinal e o outro par é utilizado para envio, é possível verificar que um está conectado ao positivo e o outro par está conectado ao negativo.

Em seguida possuímos dois circuitos resistivos para inserção da tensão ou remoção de componentes indesejadas de tensão na entrada do PHY. Ambos os circuitos mencionados são circuitos para garantir a integridade do sinal para sua compreensão. A sinalização que ocorre dentro do PHY poderá ser observada nos itens a seguir.

Entre a conexão do meio físico e o transformador *ethernet* existe um circuito opcional de terminação, trata-se do circuito de terminação de *Bob Smith*<sup>11</sup>.

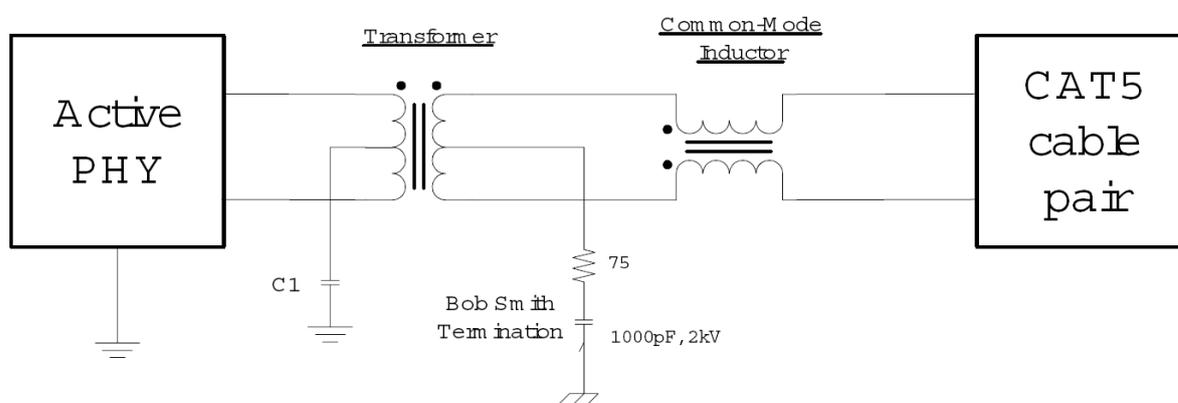
### 2.5.1 Conceito de *Bob Smith*

As portas *ethernet* estão sempre expostas à transientes externos causados por descargas eletrostáticas, transiente eletrônico, descargas atmosféricas e eventos de

<sup>11</sup> Bob Smith – Robert W. Smith patenteou em 1993 uma ideia que propõem uma maneira de reduzir as correntes de modo comum em sistemas multipares, a qual foi atualizada posteriormente em 1996.

descargas no meio utilizado. Conforme a SEMTECH tipicamente as portas utilizam transformadores para isolamento e *chokes* de modo comum para tratamento do sinal recebido. Porém além desses sistemas de proteção também existe uma terminação eletrônica denominada terminação de *Bob Smith*. Essa terminação utiliza um conjunto de resistores de  $75\ \text{Ohms}$ , utilizados para balancear a impedância entre os pares de cabos em modos de comunicação de multipares, os quais estão conectados à um capacitor de alta tensão de  $1000\ \text{pico Farads}$ . Como é possível observar na Figura 14 a seguir a conexão de um par de comunicação.

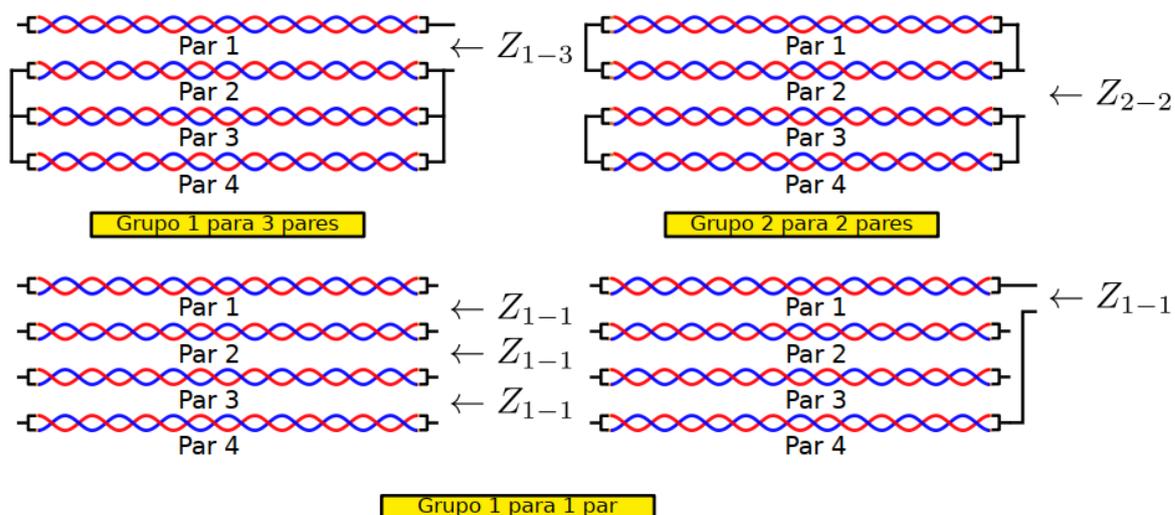
Figura 14 - Conexão do meio e terminação Bob Smith



Fonte: MICROCHIP, Magnetics Guide.

Nos padrões de comunicação que antecederam o *fast ethernet*, 802.3u, a comunicação ocorria utilizando todos os 4 pares do cabo. Para esse cenário de comunicação hora eram utilizados 3 pares para envio de informação e um para recebimento, hora utilizava-se a configuração 2 para 2, e em outros momentos utilizava-se 3 pares para recebimento e 1 par para envio, situação a qual estava sempre em estado de alternância. Uma vez que todos os pares estão inter-relacionados não é possível medir diretamente a impedância dos conjuntos. Como pode ser observado na Figura 15 a seguir. Dessa forma o uso dos resistores de  $75\ \text{Ohms}$  servem para garantir o devido casamento de impedância entre os pares.

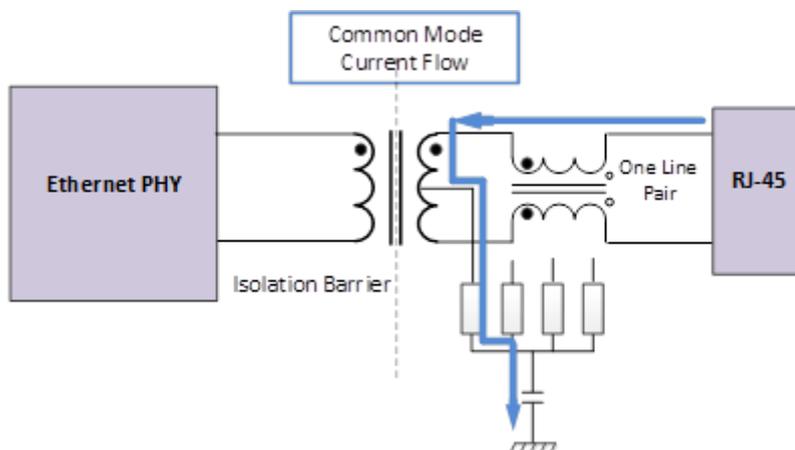
Figura 15 - Combinações de pares para comunicação de rede



Fonte: MONTEIRO, 2016.

Além de proporcionar o balanceamento das impedâncias entre os pares de comunicação, a terminação de *Bob Smith* também permite escoar surto elétrico de modo comum. Na Figura 16 é possível ver o comportamento da terminação escoando o surto de modo comum. De forma simplificada, durante um surto elétrico de modo comum, todos os condutores desenvolvem a mesma e instantânea tensão em relação à terra. Dessa maneira como todos os pares apresentam o mesmo potencial a corrente não flui de um par para o outro, ao invés disso é criado um caminho comum para o fluxo de corrente na ligação do *tap* central do transformador.

Figura 16 - Corrente de modo comum e o circuito de Bob Smith

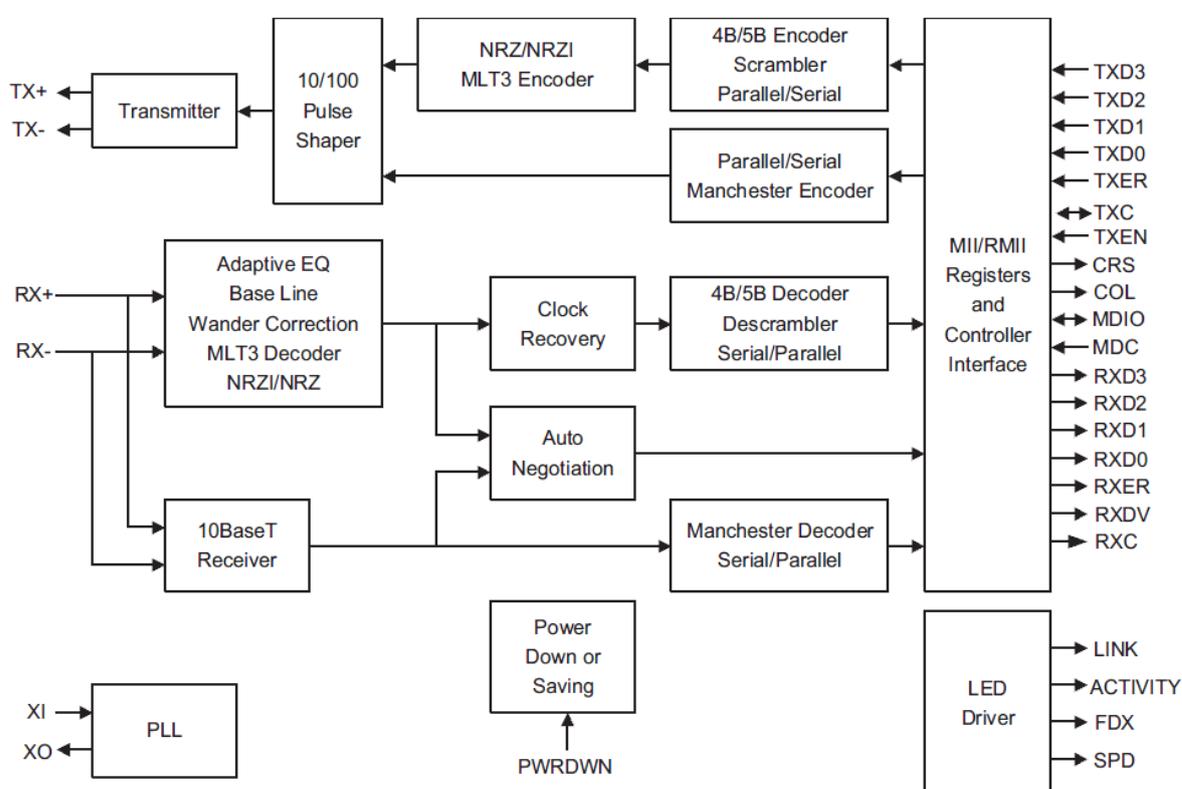


Fonte: SEMTECH, Ethernet Protection Methodology.

## 2.5.2 Sinalização Ethernet no PHY

Quando o sinal é devidamente tratado nos componentes eletrônicos e sua integridade está garantida o PHY desempenha o papel de tratar a informação. O PHY por sua vez é composto de inúmeros circuitos internos que são responsáveis por realizar todas as negociações necessárias para a troca de dados entre o emissor e o receptor. Na Figura 17 é possível ver a composição em um diagrama de blocos da composição de um PHY do Chip KS8721CL. (Pinheiro, O Padrão IEEE 802.3)

Figura 17 - Diagrama de blocos do PHY Chip KS8721



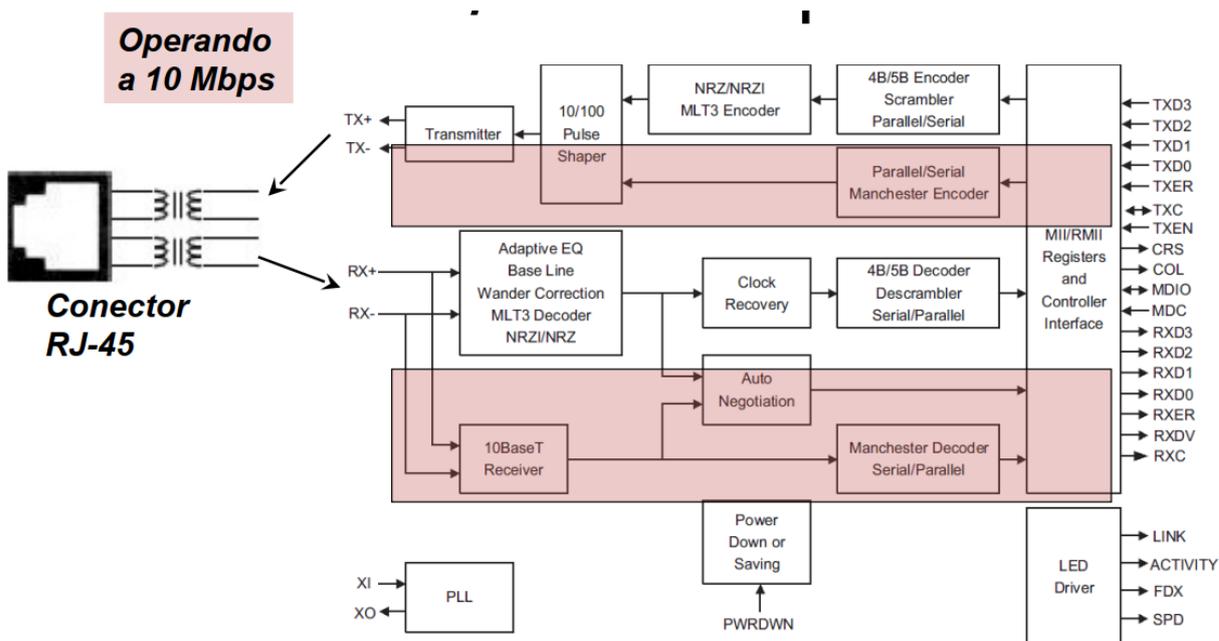
Fonte: Pinheiro, O Padrão IEEE 802.3

É possível notar na figura supracitada, que os pinos de recebimento de sinal estão conectados ao bloco de “Auto Negociação”, esse é responsável por negociar entre o emissor e o receptor qual será a velocidade de comunicação utilizada. Também é possível visualizar na Figura 17 a posição das codificações de linha utilizadas no padrão IEEE 802.3.

Na Figura 18 e na Figura 19, é possível verificar o comportamento do sinal nos respectivos padrões de velocidade depois da auto negociação. Quando a velocidade

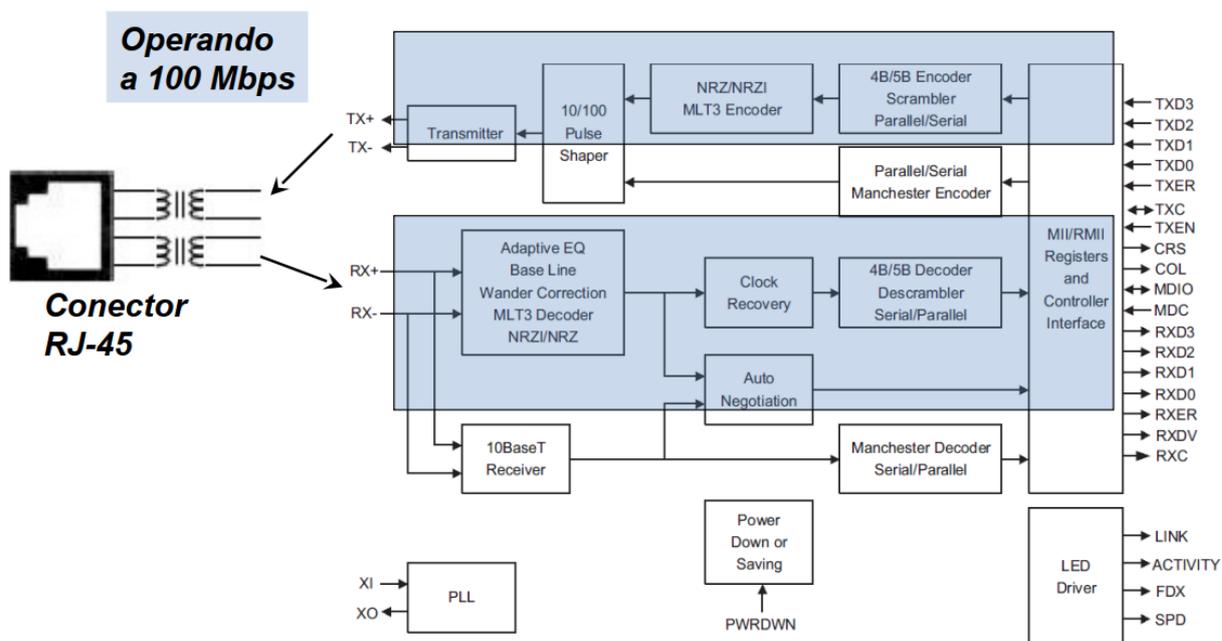
é negociada em 10 *megabits* é possível ver que o sinal transita unicamente nos blocos que possuem funções de menor largura de banda e foram pré-definidos nas versões anteriores da norma. Já para a conexão de 100 *megabits* s, o caminho que o sinal percorre dentro do PHY segue todos os sistemas de codificação mencionados anteriormente.

Figura 18 - Comportamento do sinal em 10 *Megabits* s



Fonte: Pinheiro, O Padrão IEEE 802.3

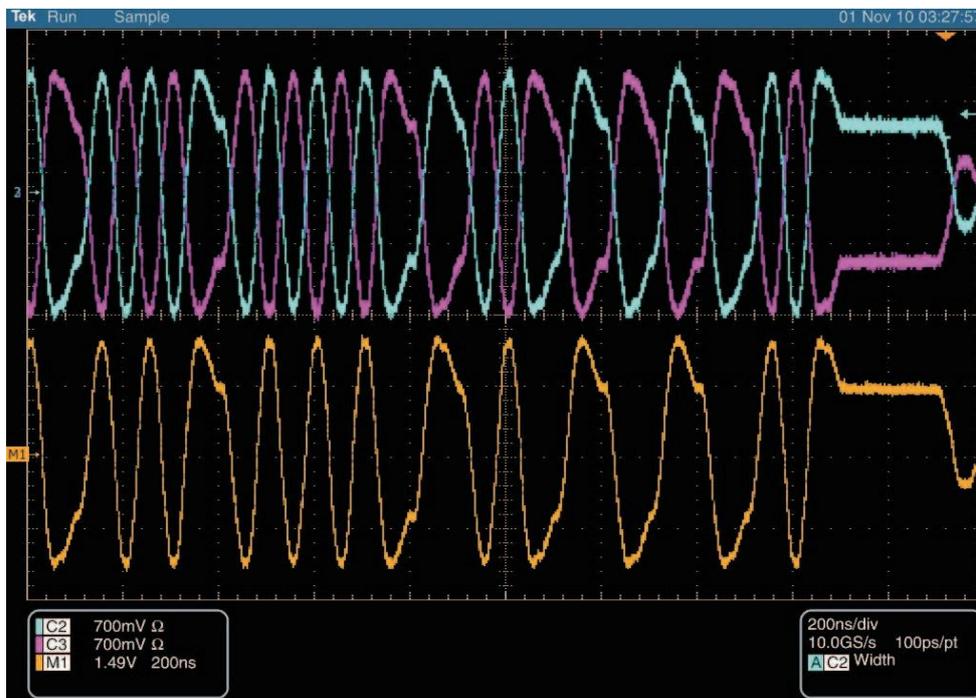
Figura 19 - Comportamento do sinal em 100 *megabits* s



Fonte: Pinheiro, O Padrão IEEE 802.3

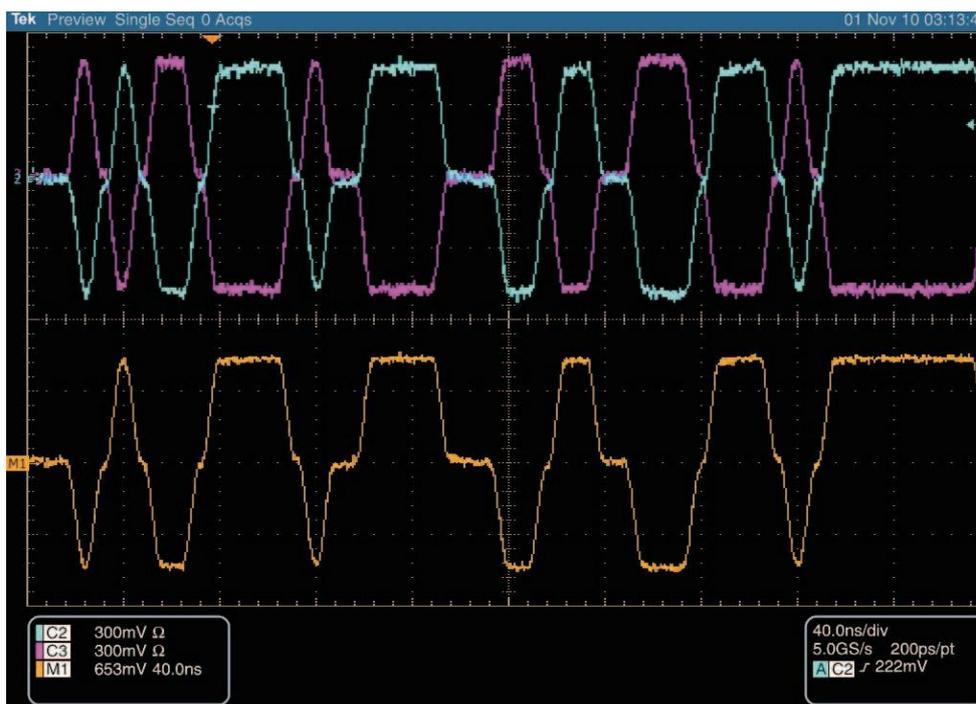
Por sua vez, o sinal que é emitido pelo PHY possui para 10 *megabits* o formato que pode ser visto na Figura 20, e para 100 *megabits* o formato que pode ser visto na Figura 21. Maiores detalhes sobre o sinal será aprofundado no Capítulo 3 (três) do presente estudo

Figura 20 – Amostra de sinal de 10 Mbps



Fonte: TLK110 Ethernet PHY Transformerless Operation, Texas Instruments, 2012

Figura 21 – Amostra de sinal de 100 Mbps



Fonte: TLK110 Ethernet PHY Transformerless Operation, Texas Instruments, 2012

### 3 DESENVOLVIMENTO

Conforme abordado na fundamentação deste trabalho, a comunicação de rede *ethernet* é realizada através de pulsos que representam bits e são representados por níveis positivos e negativos, por sua vez esses pulsos são codificados para se adequarem ao meio de propagação e sua referida velocidade de comunicação.

O sinal de 10 *megabits* como pode ser visto na Figura 20, é codificado para o padrão *Manchester* diferencial utilizando uma largura de banda de 20 MHz. Já o sinal de 100 *megabits* é codificado utilizando o recurso 4B/5B, com 125 MHz, em seguida é transformado em pulso NRZI, com 62,5 MHz, com pelo menos dois picos por palavra transmitida.

Para reduzir os picos de sinal e evitar a necessidade de um sinal adicional para sincronismo o sinal novamente é tratado utilizando MLT-3 para assim reduzindo a sua largura de banda para 31,25 MHz, tornando o sinal um pulso de auto sincronismo entre emissor e receptor, com largura de banda reduzida assim com menor *crosstalk* no meio. Como é possível ver na Figura 21. Para ambas as figuras temos primeiramente o sinal combinado e em seguida o sinal isolado por par de comunicação.

A comunicação de rede com velocidade de 1 *gigabit* utiliza um recurso semelhante ao 100 *megabits* para tratar seu sinal, chamado de 8B/10B, que de maneira simples é o mesmo recurso que o 4B/5B porém como dobro de palavras e quantidade de bit, o que cria uma frequência de comunicação 250 MHz, codificado para o NRZI e MLT-3 resultando em um sinal de 62,5 MHz de comunicação adequada ao cabeamento de categoria 5e. Dessa maneira a característica do sinal de 1 *gigabit* possui o mesmo formato que a comunicação de 100 *megabits*, com o dobro de sua frequência.

Dessa maneira, o sinal é gerado e através do circuito MDI do dispositivo é acoplado ao meio, sofrendo uma isolação galvânica no transformador, sendo transmitido. Quando esse sinal é recebido por outro dispositivo de rede, a interface MDI deste realizará a filtragem de ruído de modo comum no *choke* interno do transformador *ethernet* e o núcleo deste transformador irá isolar qualquer componente de corrente contínua que possa ter sido acoplada no meio, para que a comunicação possa acontecer. Entendendo essa característica do sinal, poderemos analisar o

comportamento do mesmo, bem como as definições para aprovação com base nas certificações internacionais, que serão apresentadas no decorrer deste trabalho.

Sendo assim, para validar a ideia em torno da proposta deste trabalho foi dimensionado o circuito MDI necessário para o uso do capacitor, realizadas coletas de sinais utilizando configurações indutivas e capacitivas para comparação e após a análise dos sinais foi necessário tomar como referência os requisitos de algumas RFC's (*Request for Comments*). As RFC's segundo Vitorino (2015) são documentos que contém notas técnicas e organizacionais sobre a rede e Internet, os quais cobrem muitos aspectos das redes de computadores. As RFC's tratam os temas com profundidade, discutem problemas, apresentam soluções e estabelecem um plano de atuação para a implementação e/ou desenvolvimento de serviços e protocolos ligados à rede de computadores.

Essas certificações estão sob a avaliação das documentações da IETF<sup>12</sup> (*Internet Engineering Task Force*), instituição a qual segundo Vitorino (2015) constantemente está discutindo e atualizando notas de conhecimento técnico utilizados como parâmetros para determinar as características de funcionamento dos dispositivos.

### 3.1 TOPOLOGIA UTILIZANDO CAPACITORES

Segundo o padrão IEEE 802.3, os transformadores ethernet devem prover o isolamento da corrente contínua proveniente do cabo UTP. Dessa forma a topologia utilizando isolamento capacitivo para comunicação de rede em *backplane*, comunicação de alta velocidade na placa de circuito impresso com distâncias menores que 1 metro ou uso em redes cabeadas até 100 metros, foi desenvolvida sob o nome de *Transformless*. Analisando algumas soluções de grandes fabricantes de chipset, foi possível chegar a uma solução utilizando capacitores não polarizados para dimensionar a interface MDI cumprindo os mesmos requisitos de isolamento que um transformador *ethernet*.

Para uso da topologia *Transformless* em aplicações de rede local, a *Texas Instruments* (2006) apresenta recomendações para configuração de dispositivos

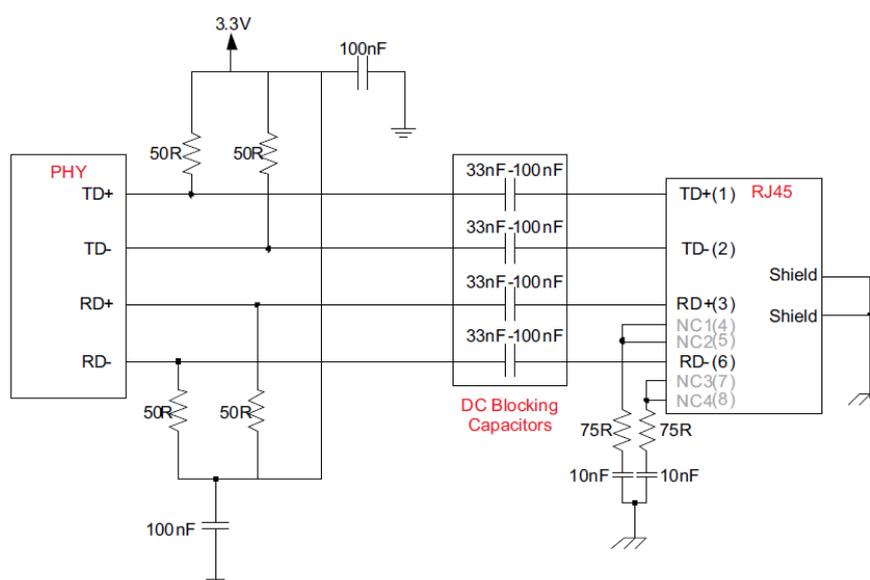
---

<sup>12</sup> IETF - *Internet Engineering Task Force* - é uma grande comunidade internacional aberta de designers de rede, operadoras, fornecedores e pesquisadores preocupados com a evolução da arquitetura da Internet e o bom funcionamento desta. (IETF)

baseados em PHY, dispositivos de rede, para ambientes de aplicação atípicos, pois utilizando capacitores não polarizados com isolamento de corrente contínua adequado é possível implementar os mesmos níveis de isolamento que o uso de transformador disponibiliza, conforme Figura 22.

Após análise de algumas soluções de diferentes fabricantes, foi utilizado como base a topologia da *Texas Instruments* como apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Configuração *Transformless*



Fonte: TLK110 Ethernet PHY Transformerless Operation, Texas Instruments, 2012

### 3.1.1 Escolha do Capacitor

Capacitores são componentes eletrônicos muito comuns em circuitos eletrônicos, que agem de forma reativa à passagem de corrente através do acúmulo de cargas elétricas. BOYLESTAD (2012) diz que o capacitor exibe suas verdadeiras características somente quando ocorre uma mudança na tensão ou na corrente do circuito. De maneira prática em condições estacionárias o capacitor pode ser substituído por um circuito aberto. Ou seja, este material isolante que separa as placas condutoras do capacitor se torna um filtro de componentes de corrente contínuas, um isolamento galvânico, para operações de acoplamento capacitivo.

Analogamente ao acoplamento indutivo, o capacitor também possui característica de espelhar sinais em frequência entre suas placas condutoras. Pois a

excitação que ocorre no terminal que recebe o sinal é transferido para a placa após a camada de isolamento.

Segundo a documentação disponibilizada pela *Texas Instruments* (2012), o padrão IEEE 802.3 indica uma perda de retorno de 16 dB na frequência de 2MHz para o uso correto dos transformadores *ethernet*, sendo assim é possível calcular a impedância capacitiva ou  $X_c$  para cumprir o mesmo requisito utilizando a equação abaixo:

Equação 2 - Equação de perda de retorno

$$\text{Return Loss} = -20 \times \log_{10} \times \frac{Z_{load} - Z_0}{Z_{load} + Z_0}$$

Utilizando  $\text{Return Loss} = 16\text{dB}$ ,  $Z_0=100\Omega$  que representa a impedância do cabo de rede de par trançado, e  $Z_{load} = Z_0 + 2 \times X_c$ , resolvendo a equação 2 define-se o valor estimado de para a impedância da carga de  $Z_{load} = 137,66\Omega$ . Lembrando que a frequência de interesse é 2 MHz que representa a impedância de pior cenário teríamos uma impedância capacitiva de  $X_c = 18,83\Omega$ .

Com o valor de impedância é possível chegar no valor  $C = 4,23\text{nF}$ . Levando em consideração o limite de magnitude previsto para o ângulo da carga. O qual é especificado pela novam ANSI como  $\pm 3^\circ$  máximo para  $100\Omega$ . Utilizamos a Equação 3.

Equação 3 - Limite de magnitude do ângulo da carga

$$\frac{2}{\frac{\omega C}{100}} = \tan(3)$$

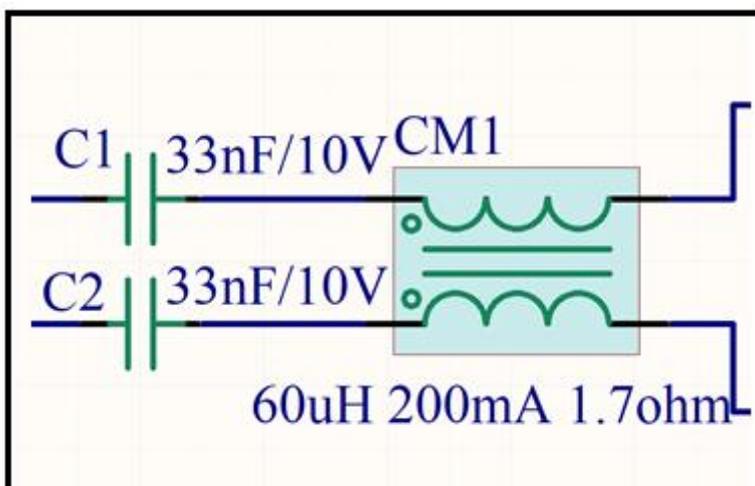
Com base na Equação 3 alcançamos um valor para  $C = 30,4\text{nF}$ , sendo assim o capacitor comercial imediatamente disponível é o capacitor de  $33\text{nF}$ .

Uma vez que os testes executados foram realizados em laboratório, uma topologia utilizando somente capacitores pode ter problemas quando o assunto é ruído de modo comum e *crosstalk*, para as aplicações práticas. Para tal, a construção do protótipo proposto irá prever o uso de um *choke* de modo comum para implementação.

### 3.2 PROTÓTIPO

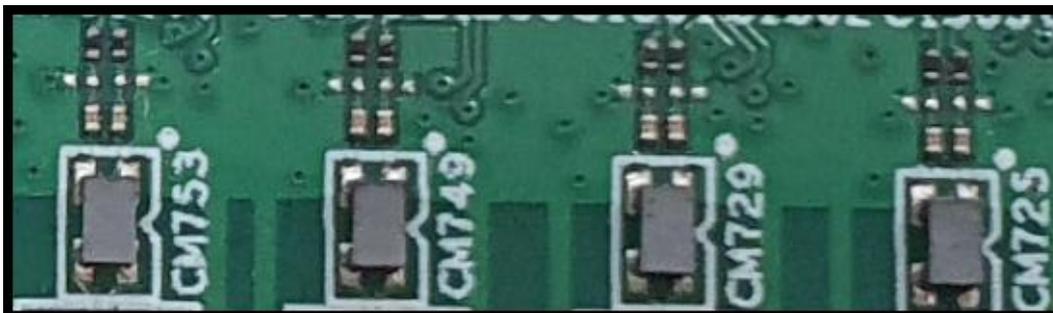
Uma vez que os limites de projeto estão definidos o protótipo foi concebido. Como visto anteriormente, o capacitor não possui características de filtragem de ruído. Logo o circuito MDI referente ao uso de capacitores como forma de acoplamento substitutivo ao transformador *ethernet* é o circuito mostrado na Figura 23 abaixo. Onde já há a previsão de um *choke* de modo comum. Para a figura 24 é mostrado o circuito montado em PCI.

Figura 23 - Circuito do par de comunicação MDI do protótipo



Fonte: próprio autor.

Figura 24 - Circuito MDI montado



Fonte: próprio autor.

### 3.3 CENÁRIO DE TESTE PARA COLETA DA SINALIZAÇÃO

A sinalização de rede em grandes lances de cabeamento acaba sofrendo com o *crosstalk*. Os transformadores *ethernet* já estão preparados para lidar com esses ruídos e são capazes de proporcionar o correto acoplamento para uma comunicação de rede, visto isso nessa seção será analisado o comportamento do acoplamento capacitivo em comparação ao transformador *ethernet*. Com o auxílio de um osciloscópio para realizar as medidas antes e depois do acoplamento.

Com o auxílio de um computador para geração de tráfego, e um Odroid-C2<sup>13</sup> com sistema Linux embarcado para atuar como par de comunicação, utilizando dois lances de 100 metros de cabo CAT-5 o cenário da Figura 25 foi construído para realizar as medições necessárias.

Figura 25 - Cenário para coleta do sinal no protótipo



Fonte: próprio autor.

Utilizando o programa IPERF<sup>14</sup> para gerar o tráfego no cenário a cima, conforme apresenta figura 26 e 27, respectivamente é apresentado um exemplo de servidor IPERF e um exemplo de fluxo de dados do IPERF, o local onde foram realizadas as medidas são os pontos indicados na Figura 28 abaixo.

Para não comprometer o sinal diferencial, a referência de GND do osciloscópio foi acoplada ao GND do protótipo e com o uso de duas ponteiras de 1GHz com 3,9pF e 10MΩ, uma representada pela onda em amarelo e a outra em azul, foi realizada a medida em modo comum de cada trilha de comunicação do par diferencial, utilizando a função MATH do osciloscópio a resultante da forma de onda é o que aparece no sinal em vermelho da Figura 29.

<sup>13</sup> Odroid-C2 - é um computador de placa única, de quatro núcleos de processamento 64bits. Uma das placas de desenvolvimento de maior custo-benefício disponível.

<sup>14</sup> IPERF - Iperf é um software utilizado para testar a largura de banda que é possível passar em um cenário de rede, realizando injeção de pacotes para medir o desempenho desta.

Figura 26 - Exemplo da configuração Servidor IPERF

```

odroid@odroid64: ~
odroid@192.168.0.14's password:
Welcome to Ubuntu 16.04.1 LTS (GNU/Linux 3.14.79-102 aarch64)

 * Documentation:  https://help.ubuntu.com
 * Management:    https://landscape.canonical.com
 * Support:       https://ubuntu.com/advantage

607 packages can be updated.
344 updates are security updates.

Last login: Thu Feb 11 11:41:32 2016 from 192.168.0.231
odroid@odroid64:~$ iperf -s
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
-----
[ 4] local 192.168.0.14 port 5001 connected with 192.168.0.231 port 50300
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4]  0.0-20.8 sec  21.6 MBytes  8.73 Mbits/sec
[ 5] local 192.168.0.14 port 5001 connected with 192.168.0.231 port 50317
[ 5]  0.0- 7.0 sec  7.25 MBytes  8.73 Mbits/sec
[ 4] local 192.168.0.14 port 5001 connected with 192.168.0.231 port 50359
[ 4]  0.0-101.5 sec 106 MBytes  8.73 Mbits/sec

```

Fonte: próprio autor.

Figura 27 - Exemplo de tráfego de dados IPERF

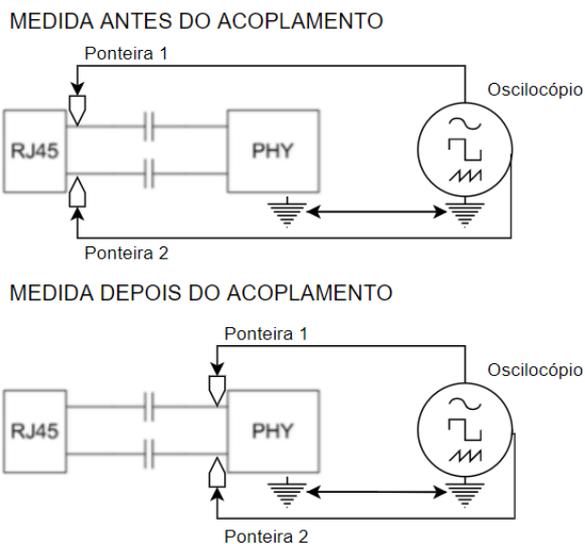
```

C:\Windows\system32\cmd.exe - iperf.exe -c 192.168.0.14 -i -w1518k -t 100
[ 3] 55.0-56.0 sec 1.12 MBytes 9.44 Mbits/sec
[ 3] 56.0-57.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 57.0-58.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 58.0-59.0 sec 1.12 MBytes 9.44 Mbits/sec
[ 3] 59.0-60.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 60.0-61.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 61.0-62.0 sec 1.12 MBytes 9.44 Mbits/sec
[ 3] 62.0-63.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 63.0-64.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 64.0-65.0 sec 1.12 MBytes 9.44 Mbits/sec
[ 3] 65.0-66.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 66.0-67.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 67.0-68.0 sec 1.12 MBytes 9.44 Mbits/sec
[ 3] 68.0-69.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 69.0-70.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 70.0-71.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 71.0-72.0 sec 1.12 MBytes 9.44 Mbits/sec
[ 3] 72.0-73.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 73.0-74.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 74.0-75.0 sec 1.12 MBytes 9.44 Mbits/sec
[ 3] 75.0-76.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 76.0-77.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 77.0-78.0 sec 1.12 MBytes 9.44 Mbits/sec
[ 3] 78.0-79.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 79.0-80.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 80.0-81.0 sec 1.12 MBytes 9.44 Mbits/sec
[ 3] 81.0-82.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 82.0-83.0 sec 1.00 MBytes 8.39 Mbits/sec
[ 3] 83.0-84.0 sec 1.12 MBytes 9.44 Mbits/sec

```

Fonte: próprio autor.

Figura 28 - Pontos de medição do sinal



Fonte: próprio autor.

Figura 29 - Exemplo da medição realizada

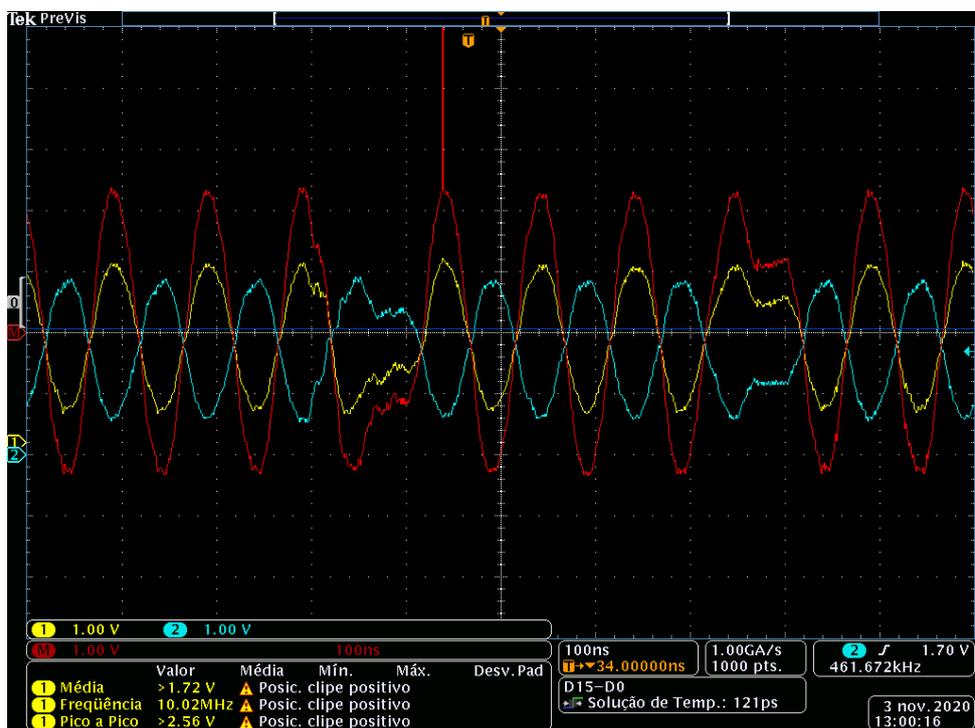


Fonte: próprio autor.

Nos sub tópicos a seguir serão apresentadas as coletas de sinal proveniente do cenário de uso atual com uso de transformador *ethernet* respeitando o cenário descrito a cima, sendo realizada a coleta antes do acoplamento e depois do acoplamento e então será realizada a mesma coleta de sinais para os acoplamentos capacitivo e capacitivo com *choke* de modo comum.

### 3.3.1 Sinal coletado no cabo de rede

Figura 30 - Sinal 10 Mbps medido no meio



Fonte: próprio autor.

Figura 31 - Sinal 100 Mbps medido no meio



Fonte: próprio autor.

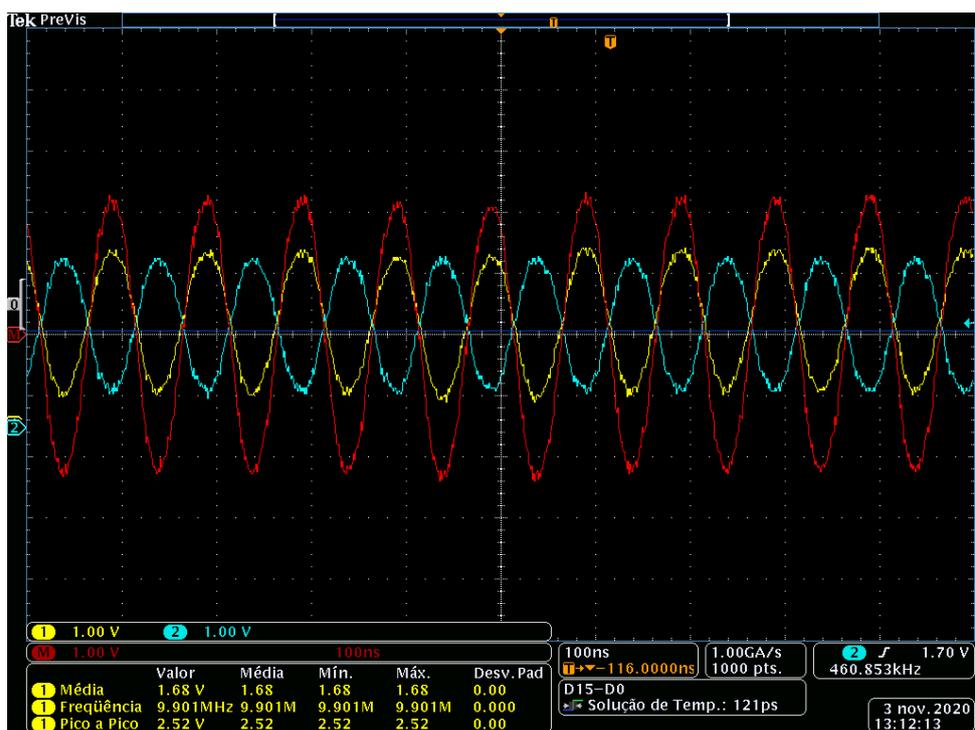
Figura 32 - Sinal 1000 Mbps medido no meio



Fonte: próprio autor.

### 3.3.2 Sinal coletado entre transformador *ethernet* e *PHY*

Figura 33 - Sinal 10 Mbps medido depois do transformador



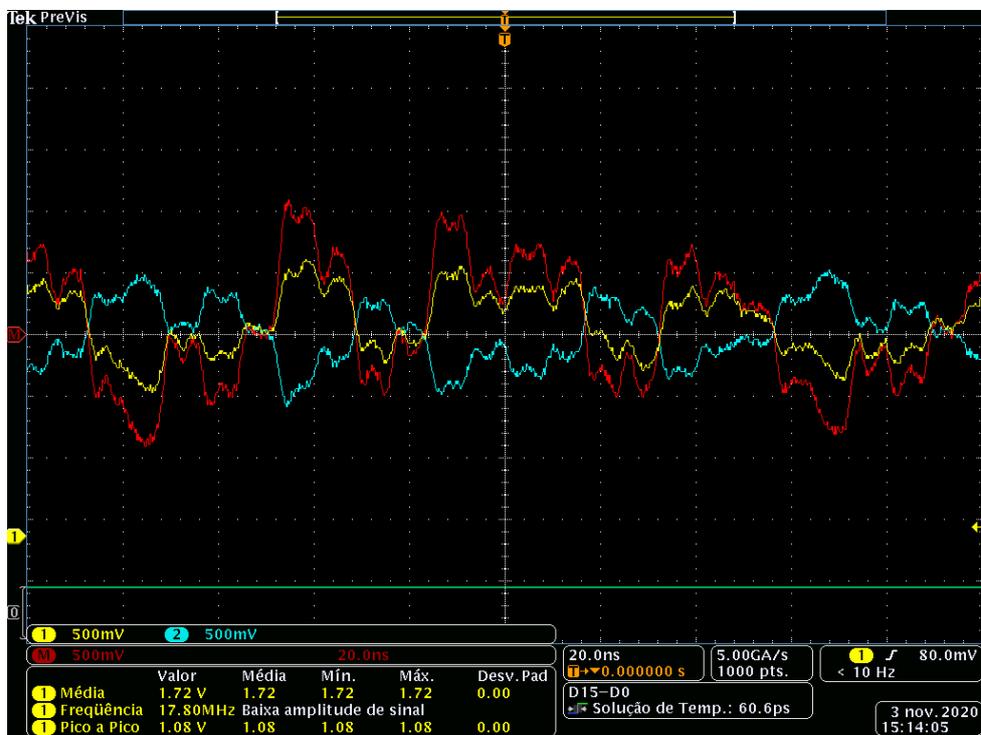
Fonte: próprio autor.

Figura 34 - Sinal 100 Mbps medido depois do transformador



Fonte: próprio autor.

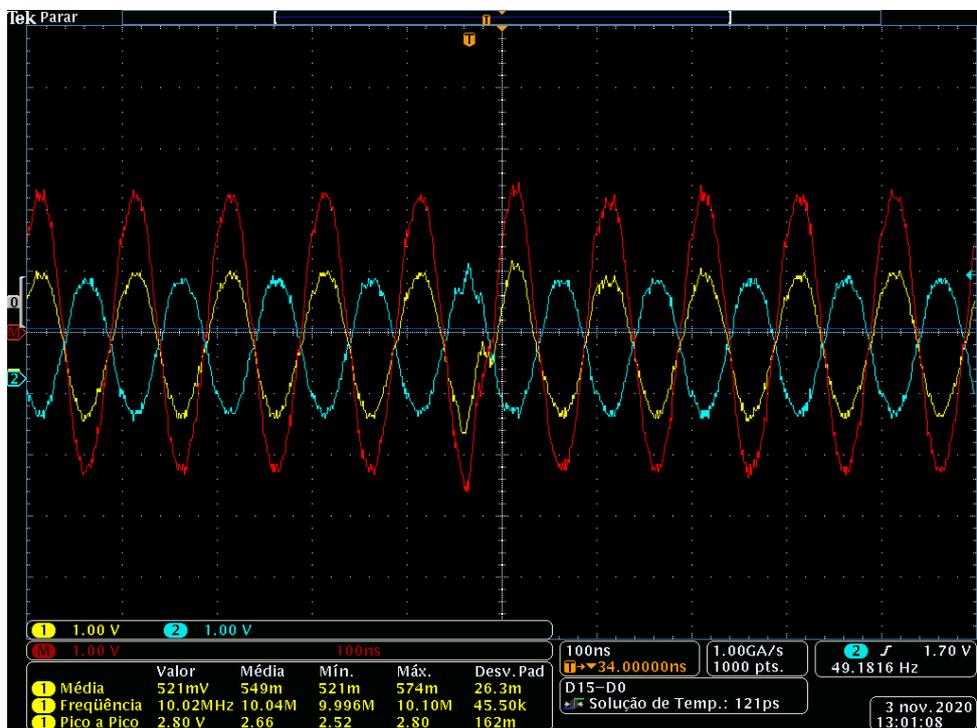
Figura 35 - Sinal 1000 Mbps medido depois do transformador



Fonte: próprio autor.

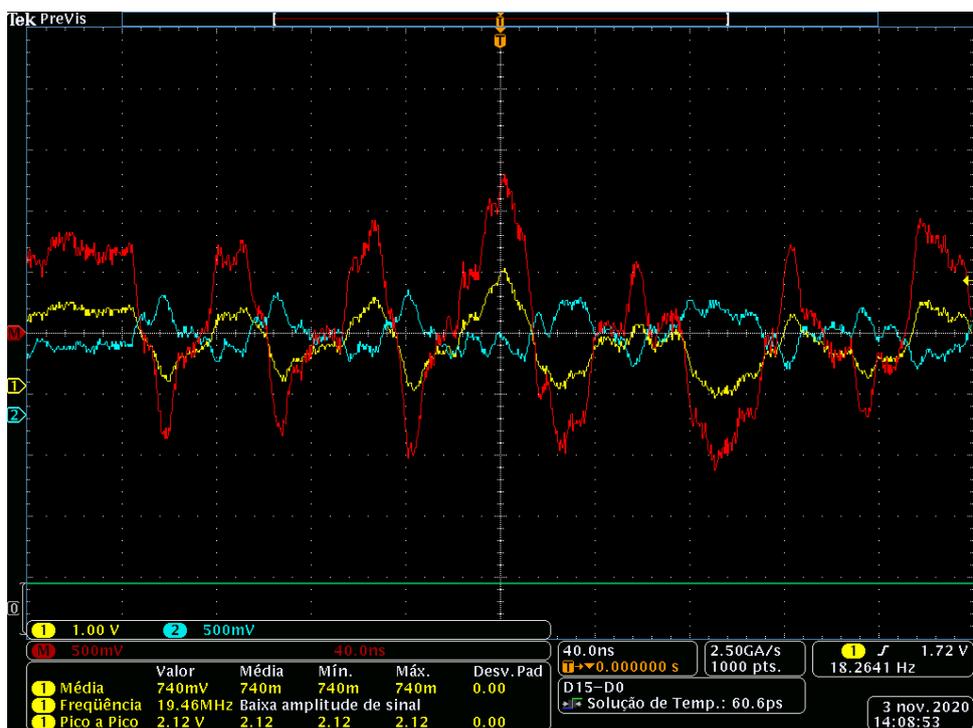
### 3.3.3 Sinal coletado entre capacitor e PHY

Figura 36 - Sinal 10 Mbps medido depois do acoplamento capacitivo



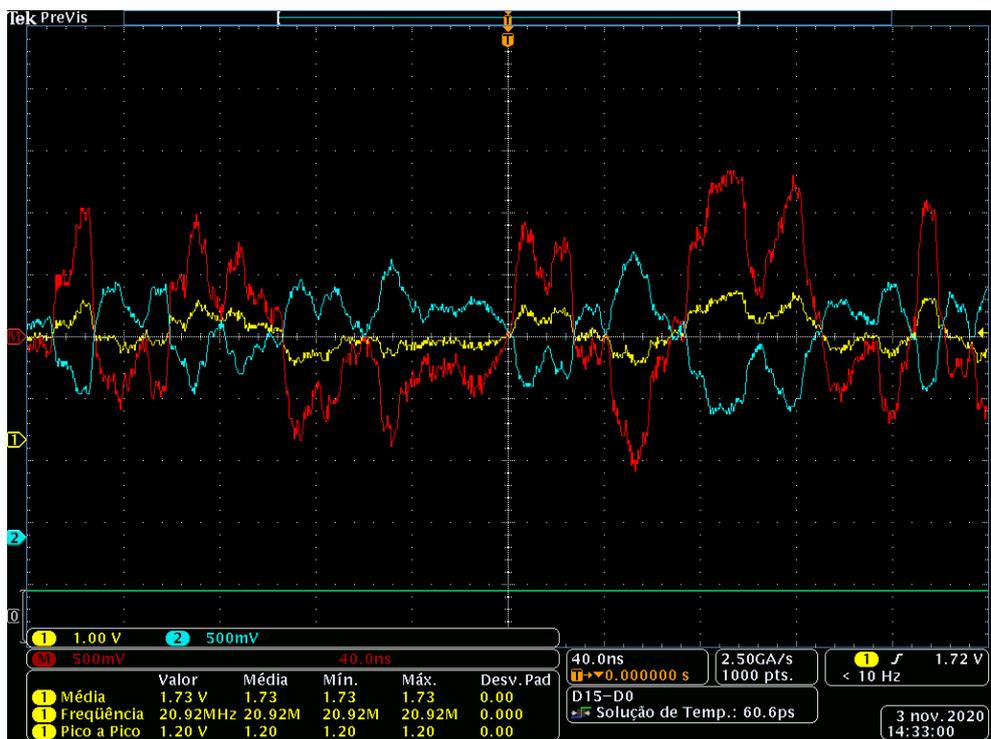
Fonte: próprio autor.

Figura 37 - Sinal 100 Mbps medido depois do acoplamento Capacitivo



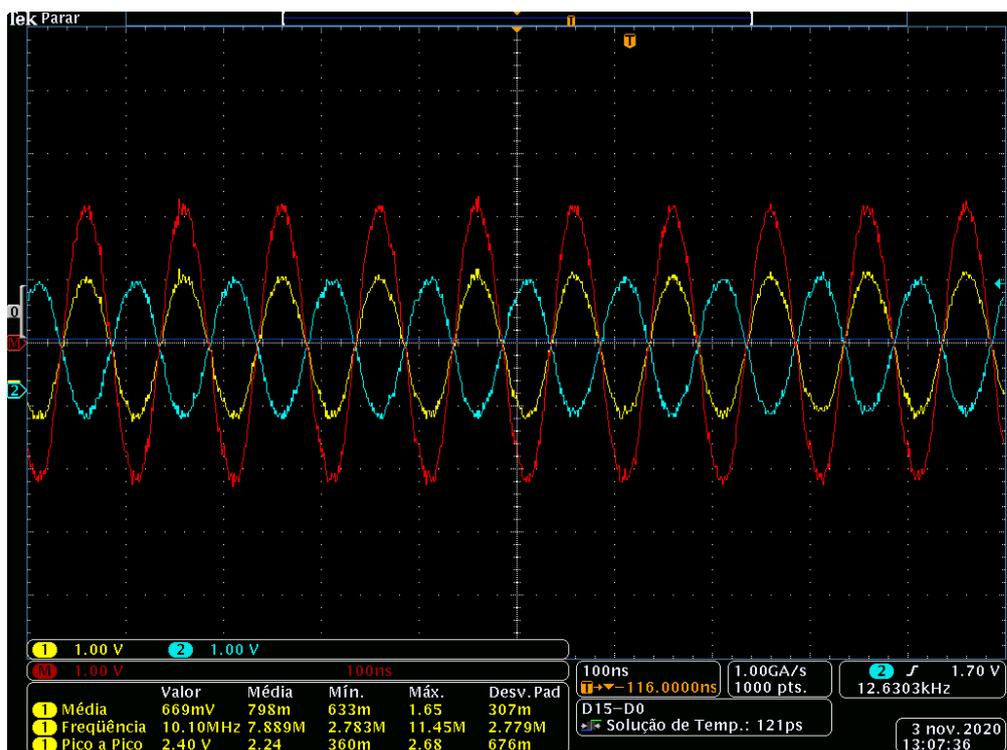
Fonte: próprio autor.

Figura 38 - Sinal 1000 Mbps medido depois do acoplamento Capacitivo



Fonte: próprio autor.

### 3.3.4 Sinal coletado entre o conjunto capacitor e *choke* e o *PHY*

Figura 39 - Sinal 10 Mbps medido depois do acoplamento capacitivo com *choke*

Fonte: próprio autor.

Figura 40 - Sinal 100 Mbps medido depois do acoplamento Capacitivo com *Choke*

Fonte: próprio autor.

Figura 41 - Sinal 1000 Mbps medido depois do acoplamento Capacitivo com *Choke*

Fonte: próprio autor.

### 3.3.5 Análise dos sinais coletados

Com base nas imagens anteriores é possível perceber a característica distorcida do sinal presente no meio físico, a qual é fortemente suavizada quando tratada por um transformador *ethernet*, porém para o acoplamento somente capacitivo, a característica ruidosa do sinal é espelhada após o acoplamento, já com o uso do *choke* de modo comum a suavização do sinal se torna muito semelhante à do sinal após o acoplamento indutivo.

Também é possível perceber nas imagens anteriores que para a velocidade de comunicação de 10 *megabits* por segundo não há grandes diferenças entre os sinais coletados, tanto no meio quanto após qualquer conjunto de acoplamento. Essa característica pode ser reflexo do tipo de codificação de linha utilizado, o padrão *Manchester*, uma frequência menor de operação, 20 MHz.

Já para os sinais com forma de onda MLT-3, tanto em 100 Mbps e 1000 Mbps é possível visualizar um sinal mais irregular tanto antes quanto depois dos acoplamentos. Esse comportamento do sinal pode ser consequência das frequências utilizadas pela velocidade de comunicação, respectivamente 31,25MHz e 62,5 MHz.

Para a compreensão dos ensaios se faz necessário a análise das RFC's que norteiam os testes.

## 3.4 TESTES DA RFC 2889

Como dito anteriormente os documentos denominados RFC's são discutidos e revisados pela IETF. O intuito de uma RFC é promover um *benchmarking*<sup>15</sup> sobre os serviços, dispositivos, protocolos, métodos relacionados à rede de computadores e a internet, a própria IETF é descrita por uma RFC, a de número 3160. As terminologias, metodologias e configurações dos testes para dispositivos de rede local, *ethernet*, são descritos pelas RFCs de números 2285, 2544 e 2889.

- A **RFC 2285** determina a nomenclatura e as definições que serão utilizadas nos testes, por exemplo o termo DUT - *Device Under Test* ou dispositivo em teste é a terminação de nomenclatura para o dispositivo que será testado sob o regime de uma RFC.

---

<sup>15</sup> *Benchmarking* - processo de avaliação da empresa em relação à concorrência, por meio do qual incorpora os melhores desempenhos de outras e/ou aperfeiçoa os seus próprios métodos.

- A **RFC 2889**, que define o *benchmarking* para os dispositivos de rede utilizando os parâmetros da RFC 2544. Através da configuração dos limites operacionais do teste, velocidade mínima aceita durante o teste, tipo de transição de dados, unidirecional, bidirecional ou em *mesh*<sup>16</sup>.
- A **RFC 2544** determina as características dos testes, tempo mínimo de teste deve respeitar o período de 60 segundos, o cenário de aplicação não deve apresentar falhas, erros, inundações de pacotes ou perda dos mesmos, todos os comprimentos de pacotes previstos nos usos da comunicação *ethernet* devem ser testados.

Todos os padrões de teste e validações das RFCs são proporcionados pelo gerador de tráfego *Valkyrie* (Xena Networks), que segundo a fabricante é um dispositivo para validação das RFC's 2544 e 2889, em outras palavras o *Valkyrie* é um gerador de tráfego sem estado da Camada 2 e 3 completo e uma plataforma de análise.

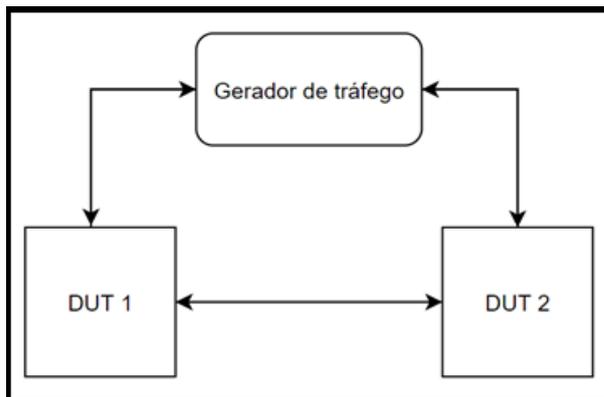
O *Valkyrie* é usado para configurar e gerar tráfego *ethernet* em todas as velocidades até 400 *gigabits* por segundo e analisar como os dispositivos e serviços de rede funcionam em resposta, tornando-o perfeito para a maioria dos cenários de teste de plano de dados baseados em laboratório. É possível verificar na Figura 42 como funciona a configuração de cenário para testes conforme RFC 2544. O qual será utilizado para monitorar o comportamento do sinal transmitido e suas características.

Uma vez que a RFC 2889 prevê todos os parâmetros para teste da RFC 2544, os resultados apresentados a seguir serão provenientes desta RFC. Na Figura 43 temos as combinações que serão analisadas no cenário previsto na Figura 42. Utilizando o cenário com cabeamento de 100 metros de cabo de par trançado homologado, pensando no cenário mais sensível à aplicação de rede, foram executados testes forçando a comunicação às velocidades de 10, 100 e 1000 *megabits* por segundo com as 3 configurações propostas, uma delas incluindo o uso de *choke* de modo comum.

---

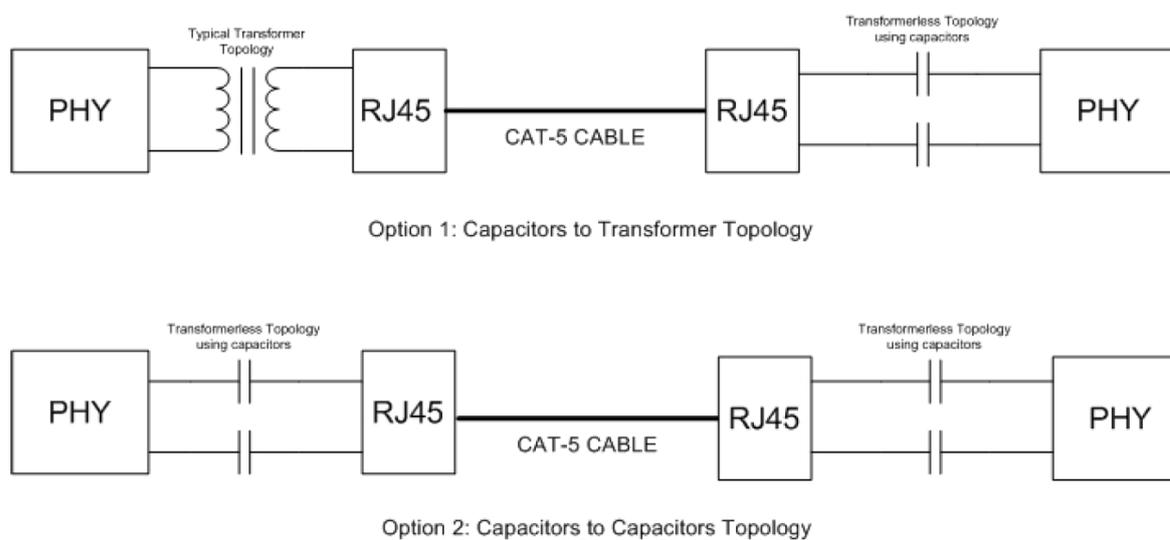
<sup>16</sup> *Mesh* ou malha é uma forma de transmissão de dados utilizada para testes com mais de uma porta de rede para simular o comportamento mais próximo do real de uma rede de dados, onde as interfaces se comunicam de todas para todas de forma aleatória.

Figura 42 - Cenário de teste de uma RFC



Fonte: próprio autor, adaptado da RFC2544

Figura 43 - Cenário de teste aplicado à RFC2889



Fonte: TLK110 Ethernet PHY Transformerless Operation, Texas Instruments, 2012

### 3.4.1 Resultados da RFC 2889 transformador comunicando com capacitor com *choke*

Figura 44 - Resultado do Teste RFC 10mbps transformador comunicando com capacitor com *choke*

#### Throughput Test Results

Frame Size	64	128	256	512	1024	1280
Result State	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
Iter. #	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	20 M	20 M	20 M	20 M	20 M	20 M
Tx Rate (Fps)	29.762	16.892	9.058	4.699	2.395	1.923
Rx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	20 M	20 M	20 M	20 M	20 M	20 M
Rx Rate (Fps)	29,76 K	16,89 K	9,06 K	4,7 K	2,39 K	1,92 K
Loss Rate (Percent)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Loss (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-2-3						
- Tx (Frames)	892.857	506.756	271.739	140.977	71.839	57.692
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M
- Tx Rate (Fps)	14.881	8.446	4.529	2.350	1.197	962
- Rx (Frames)	892.857	506.756	271.739	140.977	71.839	57.692
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M
- Rx Rate (Fps)	14.881	8.446	4.529	2.350	1.197	962
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-2-5						
- Tx (Frames)	892.857	506.756	271.739	140.977	71.839	57.692
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M
- Tx Rate (Fps)	14.881	8.446	4.529	2.350	1.197	962
- Rx (Frames)	892.857	506.756	271.739	140.977	71.839	57.692
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M
- Rx Rate (Fps)	14.881	8.446	4.529	2.350	1.197	962
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0

Frame Size	1518
Result State	PASS
Iter. #	1
Tx Rate (Percent)	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	20 M
Tx Rate (Fps)	1.625
Rx Rate (Percent)	100 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	20 M
Rx Rate (Fps)	1,63 K
Loss Rate (Percent)	0 %
Loss (Frames)	0
P-0-2-3	
- Tx (Frames)	48.764
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	10 M

Figura 45 - Resultado do Teste RFC 100mbps transformador comunicando com capacitor com *choke***Throughput Test Results**

<b>Frame Size</b>	<b>64</b>	<b>128</b>	<b>256</b>	<b>512</b>	<b>1024</b>	<b>1280</b>
Result State	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
Iter. #	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	200 M	200 M	200 M	200 M	200 M	200 M
Tx Rate (Fps)	297.619	168.919	90.580	46.992	23.946	19.231
Rx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	200 M	200 M	200 M	200 M	200 M	200 M
Rx Rate (Fps)	297,62 K	168,92 K	90,58 K	46,99 K	23,95 K	19,23 K
Loss Rate (Percent)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Loss (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-2-3						
- Tx (Frames)	8.928.571	5.067.567	2.717.391	1.409.774	718.390	576.923
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M
- Tx Rate (Fps)	148.810	84.459	45.290	23.496	11.973	9.615
- Rx (Frames)	8.928.571	5.067.567	2.717.391	1.409.774	718.390	576.923
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M
- Rx Rate (Fps)	148.810	84.459	45.290	23.496	11.973	9.615
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-2-5						
- Tx (Frames)	8.928.571	5.067.567	2.717.391	1.409.774	718.390	576.923
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M
- Tx Rate (Fps)	148.810	84.459	45.290	23.496	11.973	9.615
- Rx (Frames)	8.928.571	5.067.567	2.717.391	1.409.774	718.390	576.923
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M
- Rx Rate (Fps)	148.810	84.459	45.290	23.496	11.973	9.615
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0

<b>Frame Size</b>	<b>1518</b>
Result State	PASS
Iter. #	1
Tx Rate (Percent)	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	200 M
Tx Rate (Fps)	16.255
Rx Rate (Percent)	100 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	200 M
Rx Rate (Fps)	16,25 K
Loss Rate (Percent)	0 %
Loss (Frames)	0
P-0-2-3	
- Tx (Frames)	487.646
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	100 M

Fonte: próprio autor.

Figura 46 - Resultado do Teste RFC 1000mbps transformador comunicando com capacitor com *choke*

### Throughput Test Results

Frame Size	64	128	256	512	1024	1280
Result State	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
Iter. #	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	2 G	2 G	2 G	2 G	2 G	2 G
Tx Rate (Fps)	2.976.190	1.689.189	905.797	469.925	239.464	192.308
Rx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	2 G	2 G	2 G	2 G	2 G	2 G
Rx Rate (Fps)	2,98 M	1,69 M	905,8 K	469,92 K	239,46 K	192,31 K
Loss Rate (Percent)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Loss (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-2-3						
- Tx (Frames)	89.285.714	50.675.675	27.173.913	14.097.744	7.183.908	5.769.230
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M
- Tx Rate (Fps)	1.488.095	844.595	452.899	234.962	119.732	96.154
- Rx (Frames)	89.285.714	50.675.675	27.173.913	14.097.744	7.183.908	5.769.230
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M
- Rx Rate (Fps)	1.488.095	844.595	452.899	234.962	119.732	96.154
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-2-5						
- Tx (Frames)	89.285.714	50.675.675	27.173.913	14.097.744	7.183.908	5.769.230
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M
- Tx Rate (Fps)	1.488.095	844.595	452.899	234.962	119.732	96.154
- Rx (Frames)	89.285.714	50.675.675	27.173.913	14.097.744	7.183.908	5.769.230
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M
- Rx Rate (Fps)	1.488.095	844.595	452.899	234.962	119.732	96.154
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0

Frame Size	1518
Result State	PASS
Iter. #	1
Tx Rate (Percent)	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	2 G
Tx Rate (Fps)	162.549
Rx Rate (Percent)	100 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	2 G
Rx Rate (Fps)	162,55 K
Loss Rate (Percent)	0 %
Loss (Frames)	0
P-0-2-3	
- Tx (Frames)	4.876.462
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	1000 M

Fonte: próprio autor.

### 3.4.2 Resultados da RFC 2889 capacitor com *choke* comunicando com capacitor com *choke*

Figura 47 - Resultado do Teste RFC 10mbps capacitor com *choke* comunicando com capacitor com *choke*

#### Throughput Test Results

Frame Size	64	128	256	512	1024	1280
Result State	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
Iter. #	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	20 M	20 M	20 M	20 M	20 M	20 M
Tx Rate (Fps)	29.762	16.892	9.058	4.699	2.395	1.923
Rx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	20 M	20 M	20 M	20 M	20 M	20 M
Rx Rate (Fps)	29,76 K	16,89 K	9,06 K	4,7 K	2,39 K	1,92 K
Loss Rate (Percent)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Loss (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-2-3						
- Tx (Frames)	892.857	506.756	271.739	140.977	71.839	57.692
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M
- Tx Rate (Fps)	14.881	8.446	4.529	2.350	1.197	962
- Rx (Frames)	892.857	506.756	271.739	140.977	71.839	57.692
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M
- Rx Rate (Fps)	14.881	8.446	4.529	2.350	1.197	962
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-2-5						
- Tx (Frames)	892.857	506.756	271.739	140.977	71.839	57.692
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M
- Tx Rate (Fps)	14.881	8.446	4.529	2.350	1.197	962
- Rx (Frames)	892.857	506.756	271.739	140.977	71.839	57.692
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M	10 M
- Rx Rate (Fps)	14.881	8.446	4.529	2.350	1.197	962
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0

Frame Size	1518
Result State	PASS
Iter. #	1
Tx Rate (Percent)	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	20 M
Tx Rate (Fps)	1.625
Rx Rate (Percent)	100 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	20 M
Rx Rate (Fps)	1,63 K
Loss Rate (Percent)	0 %
Loss (Frames)	0
P-0-2-3	
- Tx (Frames)	48.764
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	10 M

Fonte: próprio autor.

Figura 48 - Resultado do Teste RFC 100mbps capacitor com *choke* comunicando com capacitor com *choke*

### Throughput Test Results

Frame Size	64	128	256	512	1024	1280
Result State	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
Iter. #	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	200 M	200 M	200 M	200 M	200 M	200 M
Tx Rate (Fps)	297.619	168.919	90.580	46.992	23.946	19.231
Rx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	200 M	200 M	200 M	200 M	200 M	200 M
Rx Rate (Fps)	297,62 K	168,92 K	90,58 K	46,99 K	23,95 K	19,23 K
Loss Rate (Percent)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Loss (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-2-3						
- Tx (Frames)	8.928.571	5.067.567	2.717.391	1.409.774	718.390	576.923
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M
- Tx Rate (Fps)	148.810	84.459	45.290	23.496	11.973	9.615
- Rx (Frames)	8.928.571	5.067.567	2.717.391	1.409.774	718.390	576.923
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M
- Rx Rate (Fps)	148.810	84.459	45.290	23.496	11.973	9.615
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-2-5						
- Tx (Frames)	8.928.571	5.067.567	2.717.391	1.409.774	718.390	576.923
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M
- Tx Rate (Fps)	148.810	84.459	45.290	23.496	11.973	9.615
- Rx (Frames)	8.928.571	5.067.567	2.717.391	1.409.774	718.390	576.923
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M
- Rx Rate (Fps)	148.810	84.459	45.290	23.496	11.973	9.615
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0

Frame Size	1518
Result State	PASS
Iter. #	1
Tx Rate (Percent)	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	200 M
Tx Rate (Fps)	16.255
Rx Rate (Percent)	100 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	200 M
Rx Rate (Fps)	16,25 K
Loss Rate (Percent)	0 %
Loss (Frames)	0
P-0-2-3	
- Tx (Frames)	487.646
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	100 M

Fonte: próprio autor.

Figura 49 - Resultado do Teste RFC 1000mbps capacitor com choke comunicando com capacitor com choke

### Throughput Test Results

Frame Size	64	128	256	512	1024	1280
Result State	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
Iter. #	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	2 G	2 G	2 G	2 G	2 G	2 G
Tx Rate (Fps)	2.976.190	1.689.189	905.797	469.925	239.464	192.308
Rx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	2 G	2 G	2 G	2 G	2 G	2 G
Rx Rate (Fps)	2,98 M	1,69 M	905,8 K	469,92 K	239,46 K	192,31 K
Loss Rate (Percent)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Loss (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-2-3						
- Tx (Frames)	89.285.714	50.675.675	27.173.913	14.097.744	7.183.908	5.769.230
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M
- Tx Rate (Fps)	1.488.095	844.595	452.899	234.962	119.732	96.154
- Rx (Frames)	89.285.714	50.675.675	27.173.913	14.097.744	7.183.908	5.769.230
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M
- Rx Rate (Fps)	1.488.095	844.595	452.899	234.962	119.732	96.154
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-2-5						
- Tx (Frames)	89.285.714	50.675.675	27.173.913	14.097.744	7.183.908	5.769.230
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M
- Tx Rate (Fps)	1.488.095	844.595	452.899	234.962	119.732	96.154
- Rx (Frames)	89.285.714	50.675.675	27.173.913	14.097.744	7.183.908	5.769.230
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M
- Rx Rate (Fps)	1.488.095	844.595	452.899	234.962	119.732	96.154
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0

Frame Size	1518
Result State	PASS
Iter. #	1
Tx Rate (Percent)	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	2 G
Tx Rate (Fps)	162.549
Rx Rate (Percent)	100 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	2 G
Rx Rate (Fps)	162,55 K
Loss Rate (Percent)	0 %
Loss (Frames)	0
P-0-2-3	
- Tx (Frames)	4.876.462
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	1000 M

Fonte: próprio autor.

### 3.4.3 Resultados da RFC 2889 capacitor comunicando com capacitor

Figura 50 - Resultado do Teste RFC 10mbps capacitor comunicando com capacitor

#### Throughput Test Results

Frame Size	64	128	256	512	1024	1280
Result State	FAIL	FAIL	FAIL	FAIL	FAIL	FAIL
Iter. #	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	96,5 %	96,5 %	96,5 %	96,5 %	96,5 %	96,5 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	19,3 M					
Tx Rate (Fps)	28.720	16.301	8.741	4.535	2.311	1.856
Rx Rate (Percent)	94,81 %	92,84 %	91,9 %	82,25 %	81,61 %	72,4 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	18,96 M	18,57 M	18,38 M	16,45 M	16,32 M	14,48 M
Rx Rate (Fps)	28,22 K	15,68 K	8,32 K	3,87 K	1,95 K	1,39 K
Loss Rate (Percent)	1,75 %	3,79 %	4,76 %	14,76 %	15,43 %	24,97 %
Loss (Frames)	30.184	37.055	24.980	40.170	21.395	27.807
P-0-4-1						
- Tx (Frames)	861.607	489.020	262.228	136.043	69.324	55.673
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	9,65 M					
- Tx Rate (Fps)	14.360	8.150	4.370	2.267	1.155	928
- Rx (Frames)	856.601	480.197	258.006	124.565	63.541	49.106
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	9,59 M	9,48 M	9,49 M	8,84 M	8,84 M	8,51 M
- Rx Rate (Fps)	14.277	8.003	4.300	2.076	1.059	818
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-4-3						
- Tx (Frames)	861.607	489.020	262.228	136.043	69.324	55.673
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	9,65 M					
- Tx Rate (Fps)	14.360	8.150	4.370	2.267	1.155	928
- Rx (Frames)	836.429	460.788	241.470	107.351	53.712	34.433
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	9,37 M	9,09 M	8,89 M	7,61 M	7,48 M	5,97 M
- Rx Rate (Fps)	13.940	7.680	4.025	1.789	895	574
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0

Frame Size	1518
Result State	FAIL
Iter. #	1
Tx Rate (Percent)	96,5 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	19,3 M
Tx Rate (Fps)	1.569
Rx Rate (Percent)	69,5 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	13,9 M
Rx Rate (Fps)	1,13 K
Loss Rate (Percent)	27,98 %
Loss (Frames)	26.329
P-0-4-1	
- Tx (Frames)	47.057
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	9,65 M

Figura 51 - Resultado do Teste RFC 100mbps capacitor comunicando com capacitor

**Throughput Test Results**

Frame Size	64	128	256	512	1024	1280
Result State	FAIL	FAIL	FAIL	FAIL	FAIL	FAIL
Iter. #	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	194 M	194 M	194 M	194 M	194 M	194 M
Tx Rate (Fps)	288.690	163.851	87.862	45.583	23.228	18.654
Rx Rate (Percent)	95,3 %	94,27 %	93,89 %	88,98 %	74,78 %	75,63 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	190,61 M	188,54 M	187,77 M	177,97 M	149,56 M	151,26 M
Rx Rate (Fps)	283,64 K	159,24 K	85,04 K	41,82 K	17,91 K	14,54 K
Loss Rate (Percent)	1,75 %	2,82 %	3,21 %	8,26 %	22,91 %	22,03 %
Loss (Frames)	302.860	276.791	169.179	226.006	319.248	246.562
P-0-4-1						
- Tx (Frames)	8.660.714	4.915.540	2.635.869	1.367.481	696.839	559.615
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	97 M	97 M	97 M	97 M	97 M	97 M
- Tx Rate (Fps)	144.345	81.926	43.931	22.791	11.614	9.327
- Rx (Frames)	8.583.523	4.890.082	2.610.803	1.353.216	593.121	519.778
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	96,14 M	96,5 M	96,08 M	95,99 M	82,56 M	90,09 M
- Rx Rate (Fps)	143.059	81.501	43.513	22.554	9.885	8.663
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-4-3						
- Tx (Frames)	8.660.714	4.915.540	2.635.869	1.367.481	696.839	559.615
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	97 M	97 M	97 M	97 M	97 M	97 M
- Tx Rate (Fps)	144.345	81.926	43.931	22.791	11.614	9.327
- Rx (Frames)	8.435.045	4.664.207	2.491.756	1.155.740	481.309	352.890
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	94,47 M	92,04 M	91,7 M	81,98 M	67 M	61,17 M
- Rx Rate (Fps)	140.584	77.737	41.529	19.262	8.022	5.882
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0

Frame Size	1518
Result State	FAIL
Iter. #	1
Tx Rate (Percent)	97 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	194 M
Tx Rate (Fps)	15.767
Rx Rate (Percent)	67,32 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	134,65 M
Rx Rate (Fps)	10,94 K
Loss Rate (Percent)	30,59 %
Loss (Frames)	289.432
P-0-4-1	
- Tx (Frames)	473.016
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	97 M

Fonte: próprio autor.

Figura 52 - Resultado do Teste RFC 1000mbps capacitor comunicando com capacitor

### Throughput Test Results

Frame Size	64	128	256	512	1024	1280
Result State	FAIL	FAIL	FAIL	FAIL	FAIL	FAIL
Iter. #	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	1,94 G	1,94 G	1,94 G	1,94 G	1,94 G	1,94 G
Tx Rate (Fps)	2.886.905	1.638.514	878.623	455.827	232.280	186.538
Rx Rate (Percent)	72,72 %	77,78 %	88,23 %	87,89 %	74,1 %	78,81 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	1,45 G	1,56 G	1,76 G	1,76 G	1,48 G	1,58 G
Rx Rate (Fps)	2,16 M	1,31 M	799,17 K	413,03 K	177,44 K	151,56 K
Loss Rate (Percent)	25,03 %	19,81 %	9,04 %	9,39 %	23,61 %	18,75 %
Loss (Frames)	43.348.472	19.474.750	4.767.076	2.568.023	3.290.276	2.098.712
P-0-4-1						
- Tx (Frames)	86.607.142	49.155.405	26.358.695	13.674.812	6.968.390	5.596.153
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	970 M	970 M	970 M	970 M	970 M	970 M
- Tx Rate (Fps)	1.443.452	819.257	439.312	227.914	116.140	93.269
- Rx (Frames)	66.731.254	41.079.949	25.435.643	13.464.422	6.640.723	5.259.569
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	747,39 M	810,64 M	936,03 M	955,08 M	924,39 M	911,66 M
- Rx Rate (Fps)	1.112.188	684.666	423.927	224.407	110.679	87.659
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0
P-0-4-3						
- Tx (Frames)	86.607.142	49.155.405	26.358.695	13.674.812	6.968.390	5.596.153
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	970 M	970 M	970 M	970 M	970 M	970 M
- Tx Rate (Fps)	1.443.452	819.257	439.312	227.914	116.140	93.269
- Rx (Frames)	63.134.558	37.756.111	22.514.671	11.317.179	4.005.781	3.834.025
- Rx Rate (L1) (Bit/s)	707,11 M	745,05 M	828,54 M	802,77 M	557,6 M	664,56 M
- Rx Rate (Fps)	1.052.243	629.269	375.245	188.620	66.763	63.900
- Flood Count (Frames)	0	0	0	0	0	0

Frame Size	1518
Result State	FAIL
Iter. #	1
Tx Rate (Percent)	97 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	1,94 G
Tx Rate (Fps)	157.672
Rx Rate (Percent)	74,11 %
Rx Rate (L1) (Bit/s)	1,48 G
Rx Rate (Fps)	120,46 K
Loss Rate (Percent)	23,6 %
Loss (Frames)	2.232.511
P-0-4-1	
- Tx (Frames)	4.730.169
- Tx Rate (L1) (Bit/s)	970 M

Fonte: próprio autor.

#### 3.4.4 Análise dos resultados da RFC 2889

Nas Figuras 53 e 54 é possível ver um resumo dos resultados do teste da RFC com as topologias de Capacitor com uso de *choke* de modo comum e um resumo dos resultados utilizando somente capacitores para o acoplamento, respectivamente. Através dessas respostas é possível entender o reflexo que as características de distorções presentes no sinal coletado no meio quando refletidas ao PHY podem causar.

Figura 53 - Resumo dos Resultados RFC capacitor e *choke*

10Mbps							
Frame Size	64	128	256	512	1024	1280	1518
Result State	PASS						
Iter. #	1	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	20 M						
100Mbps							
Frame Size	64	128	256	512	1024	1280	1518
Result State	PASS						
Iter. #	1	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	200 M						
1000Mbps							
Frame Size	64	128	256	512	1024	1280	1518
Result State	PASS						
Iter. #	1	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	2 G	2 G	2 G	2 G	2 G	2 G	2 G

Fonte: próprio autor.

Figura 54 - Resumo dos Resultados RFC acoplamento capacitivo

10Mbps							
Frame Size	64	128	256	512	1024	1280	1518
Result State	FAIL						
Iter. #	1	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	96,5 %	96,5 %	96,5 %	96,5 %	96,5 %	96,5 %	96,5 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	19,3 M						
100Mbps							
Frame Size	64	128	256	512	1024	1280	1518
Result State	FAIL						
Iter. #	1	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	194 M						
1000Mbps							
Frame Size	64	128	256	512	1024	1280	1518
Result State	FAIL						
Iter. #	1	1	1	1	1	1	1
Tx Rate (Percent)	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %
Tx Rate (L1) (Bit/s)	1,94 G						

Fonte: próprio autor.

Como é possível verificar os testes que foram aplicados à comunicação entre duas interfaces capacitivas com o uso de *choke* de modo comum obtiveram aprovação com 100% do uso da banda disponível no canal, já a topologia *transformless*, utilizando exclusivamente capacitores, por si só não atinge aprovação dentro das RFCs em altas velocidades, respeitando os mesmos níveis de criticidade utilizados nos testes com acoplamento indutivo e com o uso de *choke* de modo comum.

Dessa forma, como exposto nos testes de BER (*bit error rate*), ou taxa de erro de bit, os resultados da configuração *transformless*, segundo *Texas Instruments* (2012), satisfazem a maioria dos requisitos do padrão IEEE, se aproximando muito da compatibilidade total e alcançando a manutenção dos requisitos de performance.

Contudo, é possível perceber que para cenários de aplicação com 100 metros de cabeamento de par trançado, as interfaces que utilizam somente capacitores para

realizar o acoplamento da comunicação tem dificuldade em lidar com o ruído gerado, conforme os sinais apresentados na seção 3.3 deste trabalho.

As altas taxas de perda de pacotes apresentadas nas configurações exclusivamente capacitivas resultam, na prática, em conexões lentas que necessitam de muita retransmissão e não garantem a integridade da informação trafegada, uma vez que o percentual de perda de pacotes chega a ser excessivo.

## 4 CONCLUSÃO

Uma vez que o transformador *ethernet* de inserção de superfície tende a apresentar deslocamentos devido às suas dimensões, ou quando montado manualmente representa um maior custo de montagem, a substituição desses componentes por capacitores, os quais possuem tamanhos menores, e são inseridos automaticamente sem risco de deslocamento, logo a utilização da solução capacitiva em interfaces de rede, como já mencionado anteriormente, pode resultar em benefícios na linha de montagem dos dispositivos. Logo além da possível redução de custo para a implementação do circuito é possível esperar que a utilização desta topologia traga agilidade com menor custo para a linha de produção.

Como é possível perceber na seção 3.3 deste estudo, o sinal coletado em velocidades de 10 *megabits* apresentam pouca distorção na sua forma de onda no meio de comunicação, e entre o acoplamento e o PHY, tal característica pode ser decorrente dessa velocidade de comunicação utilizar uma frequência menor, mesmo com o uso de acoplamento capacitivo tal nível de distorção permanece muito semelhante, porém ao analisar frequências maiores é possível ver que a resposta do acoplamento unicamente capacitivo não suaviza o sinal distorcido proveniente do meio, e quanto maior a frequência maior a presença desta distorção.

Uma vez visto que para cenários mais agressivos no que tange instalações ruidosas, utilizando dimensões de cabeamento de aproximadamente 100 metros, o capacitor da forma utilizada nesta topologia não consegue filtrar ruído. Mesmo assim para alguns níveis de comunicação o sinal distorcido ainda pode ser interpretado pelo PHY e pelo chipset, no entanto, não há garantia para boa comunicação. Devido à essa observação foi previsto o uso de um *choke* de modo comum para auxiliar o circuito MDI a operar e filtrar o sinal de rede nesses ambientes.

Essa característica de comportamento do sinal justifica a reprovação nos resultados obtidos nos testes de RFC, uma vez que há um sinal distorcido antes e depois do acoplamento exclusivamente capacitivo.

Por mais que os testes de RFC tenham apresentado altos índices de perda de pacotes para velocidades próximas à velocidade máxima das configurações de 10, 100 e 1000 Mbps, a comunicação de rede ainda ocorre, quando utilizado unicamente capacitores para o circuito MDI. Assim, reforçando o que é exposto segundo a *Texas*

*Instruments* (2012), o uso de acoplamento capacitivo satisfaz a maioria dos requisitos do padrão IEEE, se aproximando muito da compatibilidade total e alcançando a manutenção dos requisitos de performance.

Considerando as ponderações anteriores, o protótipo foi construído para garantir uma comunicação sem perdas de pacotes e se adequando ao esperado pelas RFC's, dentro de um cenário de rede. A versão final do protótipo foi concebida com o uso da solução completa de capacitor e *choke*, alcançando assim a aprovação com uso de 100% da banda disponível, sem apresentar retransmissões ou qualquer outra característica que seria prevista pela RFC como reprovativa.

Por fim, fica como sugestão de trabalho futuro a análise do desempenho deste sistema com a injeção de ruído no cabo de rede.

## REFERÊNCIAS

ANJOS, A. F. dos. **Ruídos e filtros de modos comum e diferencial**. 2019. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/ruidos-e-filtros-de-modos-comum-e-diferencial/>. Acesso em 18 de maio de 2020.

BERNAL FILHO, Humberto. **Asynchronous Transfer Mode (ATM)**. Teleco, 2003. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialatm/default.asp> acesso em 10 de agosto de 2020.

BOYLESTAD, R. L. **Introdução a Análise de circuitos**. 12. ed. [S.l.]: Pearson, 2012. ISBN 978-85-64574-20-5.

CHINLEY, Adam. **Ethernet magnetics – Discrete or integrated?** 2016. Disponível em <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/resources/article/ethernet-magnetics-discrete-or-integrated/>. Acesso em 18 de maio de 2020.

DATASHEETSPDF. **PTG-2401 MODULES. Datasheet: P1031 e PTG-2401**. Disponível em: <https://datasheetpdf.com/pdf/1247228/PPT/PTG-2401/1>. Acesso em 30 de Abril de 2020.

DINTEK, LAN Cabling Systems. **Testing crosstalk – at both ends of the cable**. Disponível em <https://www.dintek.com.tw/index.php/Articles/Crosstalk-at-both-ends-of-the-cable.html>. Acesso em 05 de Maio de 2020.

GIGABIT ETHERNET ALLIANCE. **Gigabit Ethernet, acelerando os padrões de velocidade**. Disponível em [http://www.gigabit-ethernet.org/GEA-Accel1999\\_rev-wp.pdf](http://www.gigabit-ethernet.org/GEA-Accel1999_rev-wp.pdf), acesso em 12 de Abril de 2020.

HARDKERNEL. **Odroid-C2**. Disponível em <https://www.hardkernel.com/shop/odroid-c2/>, acesso em 15 de outubro de 2020.

HAYT, William Hart. **Engineering circuit analysis** / William H. Hayt, Jr., Jack E. Kemmerly, Steven M. Durbin. — 8th ed. ISBN 978-0-07-352957-8

HORNER, Rita. **Understanding the Ethernet Nomenclature – Data Rates, Interconnect Mediums and Physical Layer.** Disponível em <https://www.synopsys.com/designware-ip/technical-bulletin/ethernet-dwtb-q117.html>. Acesso em 28 de Abril de 2020.

KUROSE, James F. **Redes de computadores e a Internet:** uma abordagem top-down. 6. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

IBRAHIM, Kansal M. B. S. **Transformerless Applications of Microchip's Ethernet Devices.** Microchip, 2016. Disponível em <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00002189A.pdf>, acesso 14 de Abril de 2020.

IEEE 802.3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD), método de acesso especificações da camada física. New York, 2005 (IEEE,2005ad).

IETF. **Who we are.** Disponível em <https://www.ietf.org/about/who/>, acesso em 10 de outubro de 2020.

MATTOS, M. A. **Introdução a Compatibilidade Eletromagnética.** Edição do kindle. [S.l.]: SpdaTerra, 2016.

MEGATRON. **Fios e Cabos especiais – Cabo de Rede LAN 4Px24AWG.** Disponível em: [https://megatron.com.br/produto\\_detalhe/cabo-de-rede-lan-4px24awg](https://megatron.com.br/produto_detalhe/cabo-de-rede-lan-4px24awg). Acesso em 29 de Março de 2020.

MICROCHIP, Microsemi. **Magnetics Guide.** Application Note ENT-AN0098. 2018. Disponível em <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/VPPD-01740.pdf> acesso em 15 de julho de 2020.

MONTEIRO, W. B. RODRIGUES, R. M. e COSTA, J. C. W. A. **Avaliação do método Bob Smith Para Mitigação de Emissões em Cabos de Pares Trançados.** XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, 2016.

MONTROSE, Mark I. **EMC and the Printed Circuit Board: Design, Theory and Layout Made Simple**. 1. ed. [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 1998. ISBN 978-0780347038.

NEUHAUS, Ralf. **A Beginner's Guide to Ethernet 802.3**. EE- 269, Revisão 1. Engineer-to-Engineer Note. Junho de 2005.

OEC. **China (CHN) Exportação, Importação, e Parceiro Comercial**. 2020  
Disponível em <https://oec.world/pt/profile/country/chn/> Acesso em 02 de Abril de 2020.

PINHEIRO, Gil. **O Padrão IEEE 802.3 (Ethernet)**. UERJ-FEN-DETEL. Disponível em:  
<http://www.lee.eng.uerj.br/~gil/redesII/Ethernet.pdf> . Acesso em 15 de Abril de 2020.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2 e-book. ed. Feevale, 2013. Disponível em: <<https://www.feevale.br/institucional/editora-feevale/metodologia-do-trabalho-cientifico---2-edicao>> acesso em 9 de abril de 2020.

RFC2285. **Benchmarking Terminology for LAN Switching Devices**. R. Mandeville. Fevereiro, 1998. Disponível em <https://tools.ietf.org/html/rfc2285>, acesso em 19 de setembro de 2020.

RFC2544. **Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices**. S. Bradner, J. McQuaid. Maio, 1996. Disponível em <https://tools.ietf.org/html/rfc2544>, acesso em 19 de setembro de 2020.

RFC2889. **Benchmarking Methodology for LAN Switching Devices**. R. Mandeville, J. Perser. Agosto, 2000. Disponível em <https://tools.ietf.org/html/rfc2889>, acesso em 19 de setembro de 2020.

RODRIGEZ, Júlio César. **China, nova potência mundial**. Revista do Instituto Humanitas Unisinos, nº 528, ano xviii, de 17 de setembro de 2018. Disponível em

<<http://www.ihuonline.unisinos.br/media/pdf/IHUOnlineEdicao528.pdf>> acesso em 06 de abril de 2020.

ROSS, Júlio. **Cabeamento estruturado**. Rio de Janeiro: Antenna, 2007.

SEMTECH, Blog Corporativo. **Ethernet Protection Methodology**. Disponível em <https://blog.semtech.com/ethernet-protection-methodology> acesso em 20 julho de 2020.

TANEMBAUM, A. **Redes de Computadores**. Terceira Edição. Editora Campus, 2003.

TEXAS INSTRUMENTS. **AN-1519 DP83848 PHYTER Transformerless Ethernet Operation**. 2006. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/an/snla088a/snla088a.pdf>. Acesso em 25 de julho de 2020.

TEXAS INSTRUMENTS. **TLK110 Ethernet PHY Transformerless Operation**. 2012. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/an/slla327/slla327.pdf?ts=1597927906994>, acesso em 25 de julho de 2020.

VITORINO, J. C. **Você sabe o que é RFC? E para que serve uma RFC?** 2015. Disponível em <https://blog.ccna.com.br/2015/09/07/voce-sabe-o-que-e-rfc-e-para-que-serve-uma-rfc/>, acesso em 22 de setembro de 2020.

XENA NETWORKS. **VALKYRIE**. Disponível em <https://xenanetworks.com/valkyrie/>, acesso em 12 de setembro de 2020.