



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
CAMPUS JOÃO PESSOA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO  
NÍVEL MESTRADO PROFISSIONAL**

**WANDERLEY ALMEIDA DE MELO JUNIOR**

**RODOVIAS CONECTADAS POR MEIO DE TECNOLOGIAS PON E  
FIBRA ÓPTICA DAS OPERADORAS DE TELECOMUNICAÇÕES**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**JOÃO PESSOA/PB  
2021**

**WANDERLEY ALMEIDA DE MELO JUNIOR**

**RODOVIAS CONECTADAS POR MEIO DE TECNOLOGIAS PON E FIBRA  
ÓPTICA DAS OPERADORAS DE TELECOMUNICAÇÕES**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito final para obtenção do título de Mestre em Tecnologia da Informação pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB.

**Orientador:** Prof. Dr. Thiago Gouveia da Silva

**Coorientadores:** Prof. Dra Luciana Pereira Oliveira

**JOÃO PESSOA/PB  
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP  
Biblioteca Nilo Peçanha – IFPB, *campus* João Pessoa

M528r

Melo Junior, Wanderley Almeida de.

Rodovias conectadas por meio de tecnologias pon e fibra óptica das operadoras de telecomunicações / Wanderley Almeida de Melo Junior. – 2021.

74 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Informação) – Instituto Federal da Paraíba – IFPB / Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Gouveia da Silva.

Coorientadora: Profa. Dra. Luciana Pereira Oliveira.

1. Telecomunicações. 2. Fibra óptica. 3. Redes PON. 4. Rodovias conectadas. I. Título.

CDU 621.39

Bibliotecária responsável Josinete Nóbrega de Araújo – CRB15/116

**Wanderley Almeida de Melo Junior**

**RODOVIAS CONECTADAS POR MEIO DE TECNOLOGIAS PON E FIBRA  
ÓPTICA DAS OPERADORAS DE TELECOMUNICAÇÕES**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito final para obtenção do título de Mestre em Tecnologia da Informação pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB.

**BANCA EXAMINADORA:**

*Francisco Petró Alencar de Medeiros*

Prof. Dr. Francisco Petró Alencar de Medeiros – IFPB

Avaliador

Documento assinado digitalmente

gov.br

Luciana Pereira Oliveira  
Data: 14/05/2021 16:32:08-0300  
CPF: 044.791.764-11

Prof. Dra. Luciana Pereira Oliveira – IFPB

Avaliador

*Bruno Jácome Cavalcanti*

Prof. Dr. Bruno Jácome Cavalcanti – IFPB

Avaliador Externo

**Orientador:** Prof. Dr. Thiago Gouveia da Silva

**Coorientador:** Prof. Dra. Luciana Pereira Oliveira

Visto e permitida a impressão  
João Pessoa/PB

Prof. Dr. Francisco Petró Alencar de Medeiros  
Coordenador PPGTI

*Este trabalho foi desenvolvido em um momento difícil, diante de uma pandemia, o COVID-19, dedico então à todas as famílias que perderam seus entes queridos para a doença, em especial à família do professor Francisco Petrônio e a Linaldo Ramos Ferreira, ex-aluno do Mestrado Profissional em Tecnologia da Informação do IFPB*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre iluminar e guiar meus passos, livrando-me de todos os males, por ter me protegido nas diversas viagens que fiz durante o curso, entre Campina Grande e João Pessoa.

À minha amada esposa, Camila Pontes, a única que esteve ao meu lado tanto nos bons quanto nos maus momentos durante o curso, sempre me incentivando a continuar, pela sua paciência demonstrada no cuidado de nosso filho recém-nascido enquanto eu viajava a João Pessoa a fim de assistir as aulas.

À minha família, que se esforçou tanto para me dar uma boa educação e sempre esteve ao meu lado dando total apoio e suporte, quer por afetos ou orações, em especial ao meu primo, Vinicius Melo, que mesmo distante sempre me fez lembrar que sou capaz.

Ao meu gestor, Astrossol Pedro Coelho, por ter me apoiado desde quando soube da minha aprovação no mestrado, flexibilizando meu horário quando foi preciso.

Aos meus colegas de profissão, em especial, Leilson Santos, auxiliando-me inclusive em algumas pesquisas.

À Escola Técnica Redentorista, que me acolheu em 2006 quando iniciei minha vida acadêmica no curso de telecomunicações, e desde lá sempre atuei na área, e que em 2018 me acolheu como professor do mesmo curso, fazendo despertar em mim o desejo de continuar estudando e investir na carreira acadêmica.

Ao meu orientador, Thiago Gouveia, muito atuante do início ao fim, me orientou na reta final do trabalho, mas foi fundamental para o término, assim como a professora Luciana Oliveira, sou realmente muito grato à ambos.

Aos membros da banca, Bruno Jácome, Luciana Pereira e Francisco Petrônio, que tiveram uma contribuição bastante relevante na conclusão deste trabalho.

A Francisco Petrônio, o qual, se não fosse a sua perseverança, sequer existiria o mestrado no IFPB. Além de um excelente professor, mostrou-se um coordenador extremamente ativo e competente.

Por fim, aos meus colegas de turma, cuja união nos propôs levar os mais preciosos resultados e o real valor de ajudarmos uns aos outros.

## RESUMO

As cidades estão mais conectadas, constituídas de uma infraestrutura de telecomunicações que integra diversos produtos e serviços, como, por exemplo, Internet acessível por fibra óptica ou *Wifi*, voz sobre IP (VOIP) e videomonitoramento, nas modalidades de contrato oneroso ou gratuito. No entanto, não existe um equilíbrio nos investimentos em todas as regiões do Brasil, inclusive em termos de tecnologia, pois existem cidades com Internet sem qualidade e territórios sem acesso a esse serviço. Por isso, este trabalho apresenta uma proposta inovadora para implantar os serviços de telecomunicações com baixo custo (não requer instalação de fibra óptica) e alta qualidade (uso do mecanismo PON - *Passive Optical Network*) em todas as rodovias brasileiras, utilizando pesquisa de campo, por meio de entrevista com profissionais de telecomunicações e fabricantes dos equipamentos, validado com testes e simulações realizados em laboratório.

**Palavras-chave:** Fibra óptica. PON. Internet. Rodovias conectadas.

## ABSTRACT

Cities are more connected. They have telecommunications infrastructures integrating several products and services, such as optical fiber or wireless Internet, voice over IP (VOIP), and video monitoring, over free or non-free contracts. However, there is no balance in the investments in all Brazilian regions, including technology investments. Indeed, some cities do not have good quality Internet access, while some territories do not have any access. For this reason, this work presents an innovative proposal to install telecommunication services on Brazilian roads. This proposal has a low cost and high quality, given that it does not require the installation of optical fibers and uses PON (Passive Optical Network) technologies, respectively. The methodology uses field research, interviewing telecommunication professionals and manufacturers. Finally, tests and simulations were carried out in the laboratory to validate the proposal.

**Keywords:** Fiber optics. PON. Internet. Connected highways.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Área de Sombra na BR 230.....	16
<b>Figura 2</b> – Área com Cobertura na BR 230.....	16
<b>Figura 3</b> – Formato do cabo coaxial.....	22
<b>Figura 4</b> – Arquitetura de rede HFC.....	23
<b>Figura 5</b> – Cabo de Par Trançado UTP.....	24
<b>Figura 6</b> – Cabo de Par Trançado STP.....	24
<b>Figura 7</b> – Cabo de Par Trançado F/UTP.....	25
<b>Figura 8</b> – Conector RJ-45.....	25
<b>Figura 9</b> – Cabo de Fibra Óptica.....	27
<b>Figura 10</b> – Sistema Irradiante Telefonía Móvel.....	30
<b>Figura 11</b> – Diagrama em blocos de um radioenlace.....	30
<b>Figura 12</b> – Arquitetura básica de uma rede PON.....	32
<b>Figura 13</b> – <i>Splitter</i> 1:8.....	33
<b>Figura 14</b> – Topologia Tradicional de Estações Base.....	36
<b>Figura 15</b> – Topologia utilizando Backhaul PON.....	36
<b>Figura 16</b> – Acesso à Internet por DSL.....	37
<b>Figura 17</b> – Arquitetura RSU.....	43
<b>Figura 18</b> – Aplicação VANET.....	45
<b>Figura 19</b> – Topologia de Rede Cidade Digital.....	47
<b>Figura 20</b> – Caixa de Emenda Óptica.....	49
<b>Figura 21</b> – Topologia para conexões.....	50
<b>Figura 22</b> – Topologia Completa da Rede.....	49
<b>Figura 23</b> – Configuração de VLANs na OLT.....	54
<b>Figura 24</b> – Instalação de ONU e switch.....	50
<b>Figura 25</b> – Configuração de VLANs na ONU.....	55
<b>Figura 26</b> – Nível de Potência de TX e RX na ONU.....	56
<b>Figura 27</b> – Tráfego Gerado Pelas Câmeras.....	56
<b>Figura 28</b> – Teste de Ping entre roteador de borda e roteador cliente.....	57
<b>Figura 29</b> – Conexões entre <i>Splitter</i> , ONU e Câmera.....	58
<b>Figura 30</b> – Locais de Instalação entre João Pessoa e Cajá.....	60
<b>Figura 31</b> – Locais de Instalação entre Campina Grande e Gurinhem.....	60

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Evolução do Protocolo 802.11.....	20
<b>Tabela 2</b> – Padrões 802.3.....	21
<b>Tabela 3</b> – Terminação Conector RJ45 nos padrões T568A e T568B.....	26
<b>Tabela 4</b> – Categorização cabos UTP.....	26
<b>Tabela 5</b> – Comparativo Entre Fibras Multimodo e Fibras Monomodo.....	28
<b>Tabela 6</b> – Quadro Comparativo das Arquiteturas PON.....	34
<b>Tabela 7</b> – Arquiteturas PON de Próxima Geração.....	34
<b>Tabela 8</b> – Taxas de transmissão de dados alcançadas para todas as alternativas <i>backhaul</i> consideradas para suporte ao <i>fronthaul</i> totalmente <i>indoor</i> .....	37
<b>Tabela 9</b> – Publicações encontradas na revisão sistemática.....	41
<b>Tabela 10</b> – Testes de Saturação e Sensibilidade, OLT e ONU.....	52
<b>Tabela 11</b> – Atenuações em Passivos de Rede.....	53
<b>Tabela 12</b> – Atenuação <i>Splitter</i> 1:2 Desbalanceado.....	53
<b>Tabela 13</b> – Configurações básicas nas OLTs.....	58
<b>Tabela 14</b> – Locais de Instalações das ONUs.....	57
<b>Tabela 15</b> – Orçamento de Potência e tipos de <i>Splitters</i> .....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADSL	<i>Assymetrical Digital Subscriber Line</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
BNC	<i>Bayonet Neill Concelman</i>
BPON	<i>Broadband Passive Optical Network</i>
CCIA	<i>Computer Communication Industry Association</i>
DOCsis	<i>Data Over Cable Service Interface Specification</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
DSLAM	<i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer</i>
EIA	<i>Eletronic Industries Alliance</i>
EPON	<i>Ethernet Passive Optical Network</i>
ERB	Estação Rádio Base
FTTH	<i>Fiber To The Home</i>
GPON	<i>Gigabit Passive Network</i>
HDSL	<i>High-bit-rate DSL</i>
HFC	<i>Hybrid Fiber Coax</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISSO	<i>International Standards Organization</i>
ITU	<i>Telecommunication Standardization Sector</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>
MCM	<i>Multicarrier Modulation</i>
OLT	<i>Optical Line Terminal</i>
ONU	<i>Optical Network Unit</i>
PAM	<i>Pulse-Amplitude Modulation</i>
PON	<i>Passive Optical Network</i>
RADSL	<i>Rate-adaptive DSL</i>
RF	Radiofrequência
SDSL	<i>Symetric DSL</i>

TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TIA	<i>Telecommunications Industries Association</i>
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i>
VDSL	<i>Very-High-Bit-Rate Digital Subscriber Line</i>
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 MOTIVAÇÃO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	15
1.2 OBJETIVOS .....	17
1.2.1 Objetivo geral .....	<b>17</b>
1.2.2 Objetivos específicos .....	<b>18</b>
1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	18
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>20</b>
2.1 TIPOS DE MEIO DE TRANSMISSÃO DE DADOS .....	20
2.1.1 Cabos Coaxiais .....	<b>22</b>
2.1.2 Cabos de Par Trançado .....	<b>23</b>
2.1.3 Cabos de Fibra Óptica .....	<b>27</b>
2.2 MEIOS DE TRANSMISSÃO NÃO GUIADOS.....	29
2.2.1 Ondas de Rádio.....	<b>29</b>
2.3 REDES PON E DSL .....	31
2.4 REDES PON .....	32
<b>2.4.1 Divisores de Potência</b> .....	<b>33</b>
<b>2.4.2 Tipos de Tecnologias PON</b> .....	<b>33</b>
<b>2.4.3 Redes PON de Próxima Geração</b> .....	<b>34</b>
2.5 ARQUITETURA PON APLICADA EM TOPOLOGIAS <i>BACKHAUL</i> E <i>FRONTHAUL</i> DA TELEFONIA MÓVEL .....	35
2.6 TECNOLOGIAS xDSL .....	37
<b>2.6.1 Tipos de Tecnologias xDSL</b> .....	<b>38</b>
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>40</b>
3.1 PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA.....	400
3.2 TRABALHOS RELACIONADOS .....	411
<b>3.2.1 Compartilhamento de RSUs para acesso à Internet</b> .....	<b>42</b>
<b>3.2.2 Sistema de Segurança Rodoviário Baseado em IoT</b> .....	<b>43</b>
<b>3.2.3 Alternativas <i>Backhaul</i> e <i>Fronthaul</i> para Arquiteturas de Rádio, utilizando Tecnologia PON</b> .....	<b>45</b>
3.3 DISCUSSÃO .....	46
<b>4 DESCRIÇÃO DA PROPOSTA</b> .....	<b>47</b>
4.1 APLICABILIDADE .....	47

4.2	METODOLOGIA .....	48
4.3	PROJETO RODOVIAS CONECTADAS.....	49
4.4	VIABILIDADE FINANCEIRA.....	51
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
5.1	TESTES COM OLT E ONU .....	52
5.2	TESTES DE ATENUAÇÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO .....	52
5.3	ATENUAÇÕES <i>SPLITTER</i> 1:2 DESBALANCEADO .....	53
5.4	TESTES DE FUNCIONALIDADE.....	54
5.5	ANÁLISE DOS RESULTADOS E APLICAÇÃO PRÁTICA.....	57
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>
	<b>APÊNDICE A – DEPÓSITO DE PATENTE .....</b>	<b>67</b>
	<b>ANEXO A – COMPARTILHAMENTO DE REDES ENTRE EMPRESAS DE TELECOMUNICAÇÕES.....</b>	<b>70</b>
	<b>ANEXO B – PROJETO DE LEI APRESENTADO NA ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DA PARAÍBA .....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O incremento tecnológico é mais que uma tendência da infraestrutura urbana, é a sua própria ordem de desenvolvimento (ROLAND, 2018). Por isso, várias cidades vêm investindo em tecnologia com o intuito de torná-las “conectadas”, oferecendo, assim, inúmeros serviços, dentre os quais se pode destacar: videomonitoramento, conexão de *Wi-Fi* (*Wireless Fidelity*) gratuita e Internet banda larga de qualidade a diversos órgãos públicos. As câmeras de videomonitoramento, instrumentos pelos quais se estende a percepção geral e imediata dos principais pontos da cidade, são instaladas em lugares estratégicos e ajudam tanto o setor de segurança pública na investigação de crimes quanto os órgãos fiscalizadores de trânsito. As conexões *Wi-Fi*, geralmente, são instaladas em parques e praças públicas, locais de amplo acesso da população, ampliando sua conectividade.

Essa infraestrutura antes consistia em uma rede mista, composta por meios de transmissão utilizando fibra óptica, cabos metálicos e rádiofrequência. Atualmente, para um melhor desempenho e baixo custo, utiliza-se, em grande escala, uma única tecnologia (PINHEIRO, 2017), a GPON (*Gigabit Passive Optical Network*). Seu diferencial é a utilização de fibra óptica como meio de transmissão fim-a-fim, agregando aplicações mais diversificadas e sofisticadas, e por apenas uma via do cabo de fibra óptica é possível transmitir serviços de voz, dados e vídeo em um raio de até 100 quilômetros entre o cliente e a central, dependendo do tipo da tecnologia adotada.

Para aplicar essa solução nas principais rodovias é necessário um alto investimento na aquisição de fibra óptica. Assim, o estudo aqui apresentado propõe uma solução tão eficaz quanto aquela que ocorre nas cidades, e discute a implementação de um projeto para tornar as rodovias conectadas, utilizando a tecnologia PON, e por intermédio de apenas uma via do cabo de fibra óptica já existente, de uso pelas operadoras de telecomunicações, o que torna o projeto financeiramente econômico.

Em pesquisa informal, por meio de ligações para empresas de telecomunicações, OI e VIVO, observou-se que os cabos de fibra óptica são instalados para o *backbone*<sup>1</sup> das operadoras, e algumas vias disponíveis para contrato com outras empresas do segmento. Por exemplo, em João Pessoa/PB há a ligação via fibra óptica até Recife/PE, Natal/RN e Patos/PB,

---

<sup>1</sup> De acordo com Tanenbaum e Wetherall (2011), *Backbone* são linhas de transmissão de longa distância que interconectam roteadores nas diferentes cidades.

pelas operadoras OI e VIVO (OI, 2020; TELEFONICA, 2020). Trata-se de cabos com mais de 36 vias, nos quais certa quantidade delas sobra com a finalidade de aluguel para outras empresas que desejam transportar dados entre equipamentos situados nessas cidades. Sabendo que é possível o aluguel de algumas vias desse *backbone*, a exequibilidade desse projeto se faz perfeitamente atingível, a saber: firmando um contrato com as operadoras de telecomunicações para o fornecimento do meio de transmissão ao longo das rodovias.

## 1.1 MOTIVAÇÃO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Apesar das cidades estarem cada vez mais conectadas, pode-se observar que suas rodovias estaduais e federais não espelham esse desenvolvimento, pois não existem lugares estratégicos com Internet *Wi-Fi*, por exemplo. Ao contrário, há trechos em que é impossível até comunicação por telefonia móvel, dada a área de sombra. Os órgãos federais e estaduais, geralmente, são atendidos com Internet via rádio, bem como os medidores fixos de velocidade. Além disso, câmeras de videomonitoramento só são percebidas em algumas cidades que ficam às margens das rodovias.

Existem situações em que uma pessoa não consegue efetuar chamadas por meio da telefonia móvel. Isso pode ocorrer se o usuário estiver em uma zona de sombra, que são áreas com baixo ou nenhum sinal, devido à presença de obstáculos que afetam a comunicação entre o aparelho celular e a antena, a exemplo de construções e montanhas (ANATEL, 2020).

Ao trafegar pelas rodovias estaduais e federais é notória a ausência de sinal no celular em diversos pontos, assim, a propagação do sinal de rádio é vital para o funcionamento das comunicações na telefonia móvel. É preciso conhecer os trechos e definir bem os locais para implantação das torres, levando em consideração a potência dos sinais eletromagnéticos emitidos pelas antenas (SEKER; ZEYBEK; YENER, 2020).

O raio de cobertura de uma ERB (Estação Rádio Base) é de, aproximadamente, 10km. A intensidade desse sinal se perde na medida que o usuário se distancia da ERB, as características geológicas e perfis das rodovias são fatores que potencializam a perda do sinal, provocando, assim, as áreas de sombra (SEKER; ZEYBEK; YENER, 2020). Os trabalhos relacionados, que foram encontrados, ressaltam a importância de uma rodovia conectada enfatizam a melhoria na questão da segurança, porém todos dependem da tecnologia móvel que, por sua vez, não fornece cobertura nas rodovias em sua totalidade, sendo assim, a proposta de implantação de uma rodovia conectada, por meio de tecnologias PON, é mais eficaz, pois não dependeria do sinal das operadoras de telefonia móvel.

A Anatel possui uma plataforma conhecida como Mosaico, em que é possível enxergar a cobertura das operadoras. Vários trechos nas rodovias do Brasil possuem áreas de sombra, analisando, como exemplo, o trecho entre as cidades de Juazeirinho/PB e Soledade/PB, ambas ficam às margens da BR 230, é possível verificar diversas áreas de sombra, a Figura 1 mostra o local onde não há sinal de telefonia móvel.

**Figura 1** – Área de Sombra na BR 230.



Fonte: Anatel (2021).

Quando existe sinal de telefonia móvel, o sistema aponta, inclusive, quais as operadoras e as tecnologias. A Figura 2 apresenta um exemplo no mesmo trecho do exemplo anterior, porém com área de cobertura.

**Figura 2** – Área com Cobertura na BR 230.



Fonte: Anatel (2021).

A cor faz referência à qualidade do sinal, em que: Verde representa boa; Amarela regular; e Vermelha ruim. O preenchimento dessas cores nos cinco pontos representa a intensidade do sinal (ANATEL, 2021). Para um melhor entendimento, com o exemplo da operadora TIM, o sinal 2G está na cor vermelha sendo de baixa qualidade, o mesmo ocorre no

3G e ambos não estão com todos os pontos preenchidos, portanto a intensidade do sinal também não é de boa qualidade, enquanto o 4G possui a cor amarela e com preenchimento em três pontos, podendo concluir que, para essa tecnologia, o trecho possui uma melhor comunicação via 4G.

A implantação do projeto proposto tem as seguintes situações como desvantagens:

- Rede suscetível a rompimentos no cabo de fibra óptica;
- Como a topologia é em cascata, uma falha no início da rede afetaria os serviços até o último ponto do *backbone*;
- Os equipamentos ficam expostos em gabinetes ao longo das rodovias, podendo ocorrer roubos ou vandalismos.

Ao estender a solução apresentada por este trabalho às rodovias do País, têm-se como vantagens:

- Inserção de pontos de socorro com conexão *Wi-Fi* gratuita;
- Atendimento com *link* de Internet de qualidade, via fibra óptica, à Polícia Rodoviária Federal, estadual e demais órgãos de fiscalização que atuam nas rodovias federais e estaduais;
- Inserção, em lugares estratégicos, de câmeras de segurança para monitoramento da rodovia, sendo possível até mesmo identificar focos de incêndio ou acidentes nas vias, otimizando o tempo de atendimento;
- Radares fixos conectados via Internet, permitindo que o acesso aos dados seja realizado remotamente.

## 1.2 OBJETIVOS

Abaixo serão aduzidos os objetivos geral e específicos deste trabalho.

### 1.2.1 Objetivo geral

Aplicar uma solução financeiramente econômica e tecnicamente vivável na elaboração do projeto “Rodovia Conectada” – um projeto inovador e economicamente viável para tornar as principais rodovias, que cruzam o estado da Paraíba, conectadas por meio de tecnologias xPON, inserindo pontos de *Wi-Fi*, câmeras de segurança em lugares estratégicos, Internet de qualidade em postos fiscais e demais órgãos de fiscalização, em especial à Polícia Rodoviária Federal (PRF).

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Explicar, por meio de uma fundamentação teórica, as características básicas sobre os demais meios de transmissão e o porquê de não serem viáveis para implantação do projeto “Rodovia Conectada”;
- Explicar sobre o funcionamento das principais redes de acesso à Internet: DSL e PON;
- Realizar pesquisas em campo com as principais operadoras de telecomunicações, a fim de levantar a disponibilidade de cabos de fibra óptica;
- Realizar levantamento com os principais fabricantes de equipamentos PON, buscando entender questões sobre sensibilidade, saturação, capacidade de transmissão e alcance para elaboração do projeto;
- Implantar e configurar os ativos de rede: OLT (*Optical Line Terminal*) e ONUs (*Optical Network Unit*) para testar a aplicabilidade;
- Apresentar resultados quanto aos tipos de passivos (elementos que não precisam de energia para seu funcionamento) e ativos de rede (elementos que precisam de energia para seu funcionamento) que serão utilizados.

### 1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

A fim de alcançar a real concretude deste projeto, será apresentado, ao longo dos capítulos, os principais tipos de meio de transmissão e um estudo sobre as mais destacadas tecnologias de acesso e as tecnologias PON existentes.

No Capítulo 2 serão apresentadas as características básicas dos principais meios de transmissão, bem como o funcionamento das duas tecnologias mais utilizadas para acesso à Internet: Rede PON e DSL (*Digital Subscriber Line*) (ANATEL, 2019).

No Capítulo 3 será apresentada a descrição da proposta, contendo sua aplicabilidade e metodologia para desenvolvimento do projeto proposto, em que se utiliza a tecnologia xPON para tornar uma rodovia conectada com pontos de *Wi-Fi* e câmeras de segurança em locais estratégicos, além da validação do projeto, com o desenvolvimento do trabalho, apresentando topologia da rede e arquitetura.

O Capítulo 4 contém os resultados dos testes executados, tais como, atenuações e potências de recepção e transmissão nos equipamentos. Nesse capítulo também serão apresentados os testes de funcionalidade das aplicações.

Por fim, no capítulo 5, serão explicitadas as conclusões e propostas de trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão discutidos os fundamentos teóricos deste trabalho, tendo como subdivisões: a discussão sobre os tipos de meio de transmissão de dados, os meios de transmissão não guiados, as redes PON e DSL e suas tecnologias.

### 2.1 TIPOS DE MEIO DE TRANSMISSÃO DE DADOS

Em uma rede de telecomunicações, para que uma informação seja transmitida de um ponto “A” para um ponto “B”, existem dois tipos de meio de transmissão: com fio e sem fio (NIXON; DEVARAJ, 2016), os quais são também conhecidos como guiados e não guiados, respectivamente.

Os meios com fio podem ser por cabos ou fios de cobre, onde os dados transmitidos são convertidos em sinais elétricos, que se propagam pelo material condutor e, também, por fibra óptica, na qual os dados são convertidos em sinais luminosos e, então, propagados pelo material transparente da fibra (NIXON; DEVARAJ, 2016). Já os meios sem fio se propagam por meio de ondas eletromagnéticas, pelas quais os dados transmitidos são irradiados por meio de antenas para o ambiente, como, por exemplo, as transmissões via satélite, infravermelho, *Bluetooth* e *Wi-Fi* (WALDOW, 2017).

Existe um padrão para as redes locais sem fio ou *Wi-Fi*, que é o IEEE 802.11, e posteriormente, uma evolução desses padrões foram implantados (TANENBAUM; WETHERALL, 2011). Um quadro resumo é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1** – Evolução do Protocolo 802.11.

PADRÃO	20 MHZ	40 MHZ	80 MHZ	160 MHZ
802.11b	11 Mbps			
802.11a/g	54 Mbps			
802.11n (1 SS)	72 Mbps	150 Mbps		
802.11ac (1 SS)	87 Mbps	200 Mbps	433 Mbps	867 Mbps
802.11n (2 SS)	144 Mbps	300 Mbps		
802.11ac (2 SS)	173 Mbps	400 Mbps	867 Mbps	1.7 Gbps
802.11n (3 SS)	216 Mbps	450 Mbps		
802.11ac (3 SS)	289 Mbps	600 Mbps	1.3 Gbps	2.3 Gbps
802.11n (4 SS)	289 Mbps	600 Mbps		
802.11ac (4 SS)	347 Mbps	800 Mbps	1.7 Gbps	3.5 Gbps
802.11ac (8 SS)	693 Mbps	1.6 Gbps	3.4 Gbps	6.9 Gbps

Elaboração Própria.

Um grande problema na transmissão 802.11 são as condições da rede sem fio, que variam até mesmo com pequenas mudanças no ambiente. Nas frequências usadas para o protocolo, os sinais de rádio podem ser refletidos por objetos sólidos, de modo que vários ecos de uma transmissão podem alcançar um receptor por diferentes caminhos (KUROSE; ROSS, 2013).

Quando se fala em redes locais com fio, conhecidas como *Ethernet*, também existe um padrão que é o 802.3 (TANENBAUM; WETHERALL, 2011). As versões para esse padrão mais conhecidas são: 10BASE-T, 10BASE-2, 100BASE-T, 1000BASE-LX e 10GBASE-T. A primeira parte do acrônimo se refere à velocidade padrão: 10, 100, 1000 ou 10G, por 10 *Megabits* (por segundo), 100 *Megabits* e 10 *Gigabits Ethernet*, respectivamente. “BASE” diz respeito à banda base da *Ethernet*, significando que a mídia física só suporta o tráfego da *Ethernet* (KUROSE; ROSS, 2013). Essas e outras versões são apresentadas na Tabela 2. A *Ethernet* passou por uma série de etapas de evolução ao longo dos anos, as instalações são conectadas, geralmente, por cabos coaxiais, pares trançados ou cabos de fibra óptica (KUROSE; ROSS, 2013). Assim, nas Seções 2.1.1, 2.1.2 e 2.1.3 será discutido o funcionamento desses meios de transmissão.

**Tabela 2 – Padrões 802.3.**

Original IEEE	IEEE Shorthand Name	Informal Name(s)	Speed	Typical Cabling
802.3i	10BASE-T	<i>Ethernet</i>	10 Mbps	UTP
802.3u	100BASE-T	<i>Fast Ethernet</i> (Fast E)	100 Mbps	UTP
802.3z	1000 BASE-X	<i>Gigabit Ethernet</i> (Gig E, GbE)	1000 Mbps	Fiber
802.3ab	1000 BASE-T	<i>Gigabit Ethernet</i> (Gig E, GbE)	1000 Mbps	UTP
802.3ae	10GBASE-X	10 GbE	10 Gbps	Fiber
802.3an	10GBASE-T	10 GbE	10 Gbps	UTP
802.3ba	40GBASE-X	40GbE (40 GigE)	40 Gbps	Fiber
802.3ba	100GBASE-X	100GbE (100 GigE)	100 Gbps	Fiber

Fonte: Cisco (2018).

Os padrões “T” e “X” utilizam comunicação *full duplex*. Atualmente, embora as operadoras de telecomunicações estejam migrando suas tecnologias para meios guiados e por fibra óptica, ainda existem vários modelos de comunicações em que se utilizam cabos e antenas. É importante saber, de antemão, que qualquer que seja o meio de transmissão utilizado em uma

determinada aplicação ocasionará uma influência no sinal transmitido, o qual pode ser limitado pela largura de banda disponível, provocando, assim, distorções e atenuações.

### 2.1.1 Cabos Coaxiais

O primeiro tipo de cabeamento que surgiu foi o coaxial (JIA; CAMPOS, 2020). Em seu centro encontra-se um núcleo composto por um fio de cobre, coberto por um isolamento e uma malha metálica. Essa malha age como uma blindagem ao condutor interno. Por fim, uma cobertura isolante, em formato cilíndrico, envolve o conjunto interior de fios. A Figura 3 apresenta o formato do cabo coaxial.

**Figura 3** – Formato do cabo coaxial.



Fonte: Nixon; Devaraj (2016).

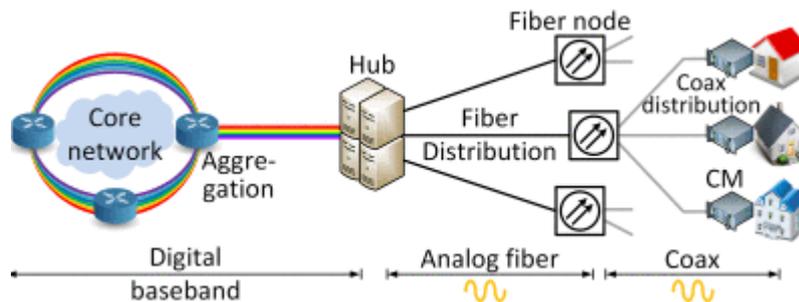
Na década de 60, o cabo coaxial era empregado para conectar computadores em uma rede LAN (*Local Area Network*) e por meio do padrão *Ethernet*, na década de 70 (FEY; GAUER, 2014). Atualmente, é mais utilizado para circuitos fechados de televisão (CFTV) analógicos e, também, para sistemas de TV a cabo.

Os cabos coaxiais também são utilizados em redes HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*) que, de forma simultânea, fazem uso de cabos de fibra óptica na transmissão de dados. Para melhorar a configuração, em termos de capacidade, confiabilidade, qualidade da imagem, resistência ao ruído, interferência e redução de custos de manutenção, o sistema de televisão substituiu grande parte de seus planos, totalmente coaxiais, com fibra, e isso se tornou uma rede HFC (MILAN; INA; CICA, 2017).

Atualmente, as redes HFC fornecem largura de banda e ampliaram sua funcionalidade para fornecer o chamado "serviço *triple play*", ou seja, TV, acesso à Internet em banda larga e

telefonia IP, serviços esses que são padronizados pelo DOCSIS<sup>2</sup> (*Data Over Cable Service Interface de Specification*). A arquitetura de uma rede HFC é apresentada na Figura 4.

**Figura 4** – Arquitetura de rede HFC.



Fonte: WANG *et al.* (2018).

A rede é dividida em três segmentos, do *core* de rede ao *hub*, do *hub* para os nós de fibra e dos nós de fibras para os modems. Os sinais DOCSIS e vídeo são agregados no *hub* em sinal digital e entre aos nós de fibra de forma analógica. Por fim, em os nós de fibra, os sinais analógicos recebidos são entregues aos modems por meio de cabos coaxiais.

Esse meio de transmissão poderia ser utilizado para o projeto “Rodovia Conectada”, no entanto, existiria o custo para lançamento dos cabos, bem como a instalação de inúmeros repetidores devido sua limitação quanto à distância máxima, que pode chegar somente a 3 km (COOMANS; CHOW; MAES, 2018), impactando a qualidade nos serviços, sem contar o alto risco de interferências elétricas.

### 2.1.2 Cabos de Par Trançado

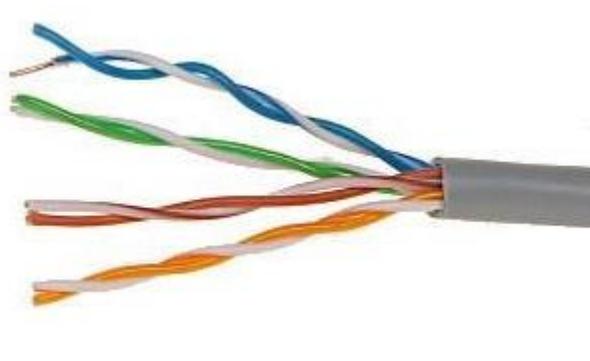
Os cabos de par trançado são bastante utilizados na atualidade. São de fácil manuseio e adotam o padrão para redes *Ethernet* e TCP/IP (*Transmission Control Protocol/ Internet Protocol*) nas comunicações de dados (KAVUN; ZAMULA; MIKHEEV, 2017). Os cabos de par trançados mais conhecidos são: UTP (*Unshielded Twisted Pair*) e STP (*Shielded Twisted Pair*).

Conforme Waldow (2017), os cabos UTP consistem em pares de fios de cobre isolados e trançados entre si, que servem para reduzir o acoplamento gerado entre eles dada à indutância

<sup>2</sup> Padrão internacional de especificação para transmissão de dados em por meio de redes de cabos coaxiais.

mútua e ao desbalanceamento capacitivo, minimizando, assim, os efeitos da diafonia e do ruído. Na Figura 5 é apresentado o tipo de cabo par trançado UTP.

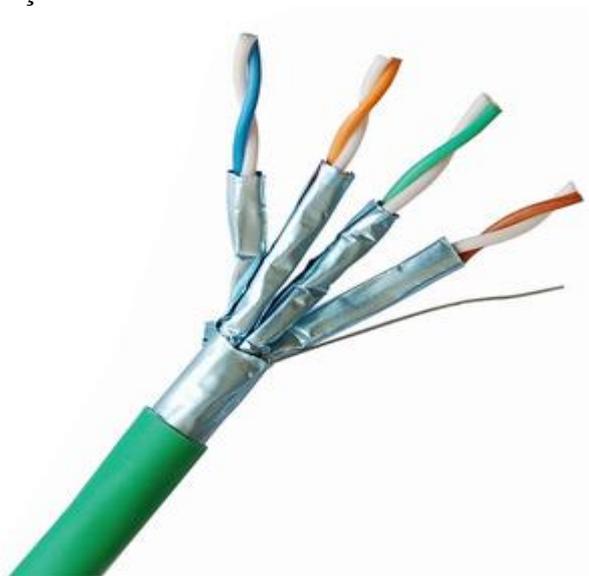
**Figura 5** – Cabo de Par Trançado UTP.



Fonte: Fey; Gauer (2014).

Já com relação ao cabo STP, todos os pares são blindados para proteção contra interferências eletromagnéticas (FEY; GAUER, 2014). Na Figura 6 é apresentado o cabo STP.

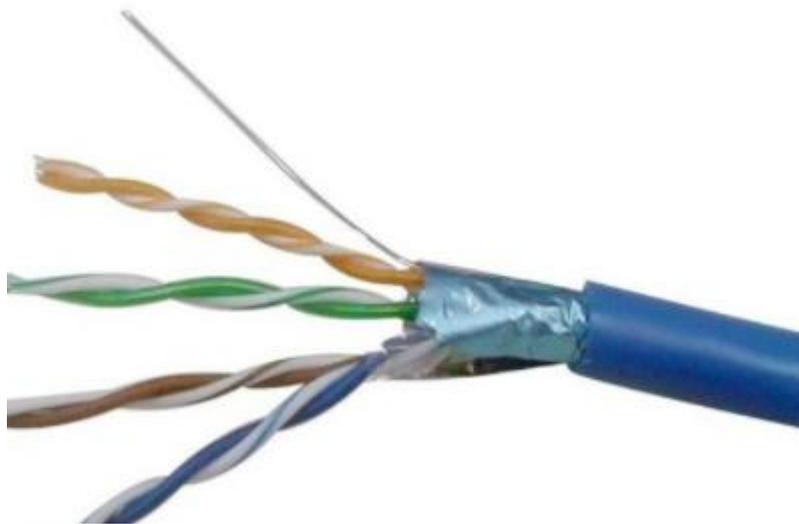
**Figura 6** – Cabo de Par Trançado STP.



Fonte: Fey; Gauer (2014).

Os cabos com blindagem parcial ou em folha são conhecidos como F/UTP, a Figura 7 apresenta esse tipo de cabo.

**Figura 7** – Cabo de Par Trançado F/UTP.



Fonte: Fey; Gauer (2014).

É importante ressaltar que tanto os cabos UTP quanto STP possuem quatro pares de fios, porém para conexões *Gigabit*, a transmissão do sinal utiliza apenas dois pares, os outros dois ficam de reserva (KAVUN; ZAMULA; MIKHEEV, 2017). A conectorização dos cabos, citados anteriormente, é realizada por meio de conectores RJ45; seu modelo é apresentado na Figura 8 e pode ser feito por dois padrões: T568A e T568B. A diferença entre eles é quanto ao código de cores e sinal, conforme explicado na Tabela 3.

**Figura 8** – Conector RJ-45.



Fonte: Furukawa (2020).

**Tabela 3** – Terminação Conector RJ45 nos padrões T568A e T568B.

VIA	T568B		T568A	
	Cor	Sinal	Cor	Sinal
1	Branco/ Laranja	TX+	Branco/Verde	RX+
2	Laranja	TX-	Verde	RX-
3	Branco/Verde	RX+	Branco/Laranja	TX+
4	Azul		Azul	
5	Branco/Azul		Branco/Azul	
6	Verde	RX-	Laranja	TX-
7	Branco/Marrom		Branco/Marrom	
8	Marrom		Marrom	

Fonte: Fey; Gauer (2014).

Os cabos UTP foram evoluindo e, a partir dos anos 80, ganharam uma classificação baseada na categorização desse cabo, a saber, quanto maior a categoria maior a qualidade, o que significa suportar maior taxa de dados em virtude de possuir maior largura de banda (FEY; GAUER, 2014). As especificações técnicas de cada categoria são apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4** – Categorização cabos UTP.

Categoria	Frequência	Taxa de Transmissão	Utilização
Cat 1	< 1 MHz	Menor que 1 Mb/s	Telefonia e dados de baixa velocidade, 56 Kb/s
Cat 2	1 MHz	Até 4 Mb/s	Arcnet 1,5 Mb/s e Token Ring 4 Mb/s
Cat 3	16 MHz	Até 10 Mb/s	10 BaseT, VoIP, Telefonia e ISDN
Cat 4	20 MHz	Até 20 Mb/s	10 BaseT e 100BaseT4, Token Ring
Cat 5	100 MHz	Até 100 Mb/s	100 BaseT (FastEthernet)
Cat 5e	100 MHz	Até 1 Gb/s	1000 BaseT (GigaEthernet)
Cat 6	250 MHz	Até 1 Gb/s	Cabos Blindados (Alguns Modelos)
Cat 6 <sup>a</sup>	500 MHz	Ate 10 Gb/s	Cabos Blindados
Cat 7	600 MHz	Ate 10 Gb/s	Cabos Blindados
Cat 7 <sup>a</sup>	1 GHz	Ate 40 Gb/s	Cabos Blindados
Cat 8	2 GHz	Ate 40 Gb/s	Transmissão até 2Ghz

Elaboração Própria; Fey; Gauer (2014).

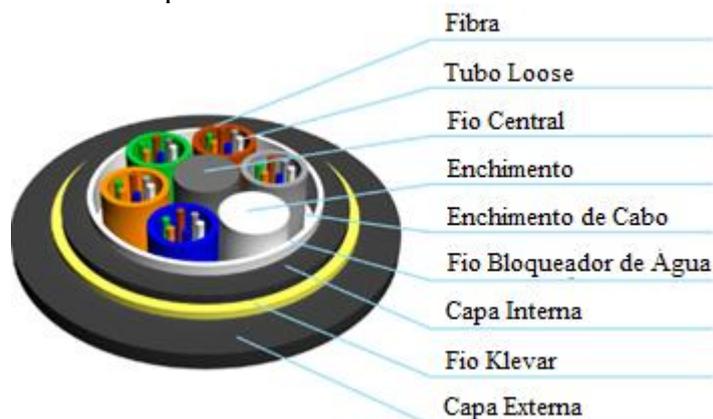
Apesar de existirem várias categorias com capacidades de 10 Gb/s a 100 Gb/s, a grande desvantagem desse meio de transmissão é a limitação quanto à distância, pois é recomendado que o cabo não ultrapasse os 100 metros (KAVUN; ZAMULA; MIKHEEV, 2017), assim, não são indicadas transmissões à longa distância, como conexões WAN (*Wide Area Network*) ou MAN (*Metropolitan Area Network*).

### 2.1.3 Cabos de Fibra Óptica

O cabo de fibra óptica utiliza pulsos de luz para transmitir informações através de uma rede, sendo, assim, bem mais rápido por natureza. Esse tipo de cabo pode ser usado por muitos quilômetros, porque não há interferências elétricas ou eletromagnéticas, além de uma largura de banda bastante elevada (NIXON; DEVARAJ, 2016). Mais detalhes sobre a composição do cabo óptico são apresentados na Figura 9.

É necessário um cuidado extra para instalar um cabo de fibra óptica e, para localizar uma falha, é indispensável inserir instrumento de medição na extremidade desse cabo. O núcleo dele consiste em vidro ou plástico e é protegido por uma camada de gel ou luz refletindo plástico. Uma bainha de isolamento de plástico depois o envolve por completo. Em comunicações por fibra óptica a velocidade de transmissão é de até 100 Gb/s. Esse modelo é sobejamente aplicado em transmissões de longa distância (NIXON; DEVARAJ, 2016).

**Figura 9** – Cabo de Fibra Óptica.



Elaboração Própria; Furukawa (2020).

A capacidade de transmissão, quanto à banda passante, depende da geometria e do perfil de índices de refração da fibra, seu tipo de material utilizado define as frequências suportadas e os níveis de atenuação, já as características mecânicas dependem do material dielétrico, do processo de fabricação e dos revestimentos aplicados (PINHEIRO, 2017). Diante dessas informações existem duas classificações quanto aos tipos de fibras ópticas: Fibras monomodo e multimodo. Um comparativo entre elas é apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5** – Comparativo Entre Fibras Multimodo e Fibras Monomodo.

	<b>Fibra Multimodo</b>	<b>Fibra Monomodo</b>
<b>Núcleo</b>	50 µm até 200 µm, padronizado comercial e tecnicamente em 50 µm e 62,5 µm	8 µm a 10 µm, padronizado comercial e tecnicamente em 9 µm
<b>Casca</b>	125 µm até 400 µm, padronizado comercialmente em 125 µm	125 µm até 240 µm, padronizado comercialmente em 125 µm
<b>Ângulo de Incidência</b>	Incidência de luz em diferentes ângulos	Incidência da luz em um único ângulo
<b>Comprimento de Onda</b>	Entre 850 nm e 1.300 nm	Entre 1.310 nm e 1.650 nm
<b>Atenuação</b>	Conforme ITU-T G.651.1: 4,0 dB/km em 850 nm 2,0 dB/km em 1.300 nm	Conforme ITU-T G.652.2D: 0,4 dB/km em 1.310 nm até 1625 nm (Aplicações Externas) 0,3 dB/km em 1.550 nm (Aplicações Externas) 1,0 dB/km em 1.310 nm e 1.550 nm (Aplicações Internas)
<b>Transmissores e Receptores</b>	Mais simples e de menor custo	Mais complexos e de maior custo
<b>Aplicação Principal</b>	Normalmente, utilizada em LAN e curtas distâncias	Normalmente, utilizada em WAN e longas distâncias

Fonte: Pinheiro (2017).

A sociedade de hoje depende de uma troca rápida e confiável de informação, além de sistemas avançados de comunicação que dão suporte a operação de indústrias, negócios e bancos; veículos e sistemas de transporte; eletrônicos de entretenimento doméstico e o fluxo global de notícias e conhecimentos. Pode-se destacar que isso se deve ao fato de que a alta qualidade na transmissão de vídeo, em tempo real, reduz a necessidade de transporte de documentos e pessoas em relação ao consumo de energia, contribuindo para um ambiente sustentável (AGRELL *et al.*, 2016), as comunicações por fibra ópticas têm crescido bastante para atender tais demandas (ANATEL, 2019).

Inúmeros serviços e aplicações emergentes como, por exemplo, diagnóstico e tratamento médico, segurança e orientação no trânsito e demais aplicações envolvendo Internet das Coisas (IoT), necessitarão cada vez mais de comunicações com alta capacidade e confiabilidade. É por isso que se assinala que nenhum outro meio conhecido pode suportar as enormes demandas por altas taxas de dados, confiabilidade e eficiência energética como a fibra óptica (AGRELL *et al.*, 2016), sendo, além disso, o instrumento mais indicado para comunicações à longa distância, tornado-se o meio de transmissão ideal para aplicação do projeto “Rodovia Conectada”.

## 2.2 MEIOS DE TRANSMISSÃO NÃO GUIADOS

O meio de transmissão sem fio é chamado de não guiado. Seu princípio básico está na transmissão de ondas eletromagnéticas por meio de antenas. As antenas transmitem essas ondas por intermédio de um equipamento de transmissão para um receptor, que pode estar localizado à longas distâncias. O meio não guiado mais adotado na transmissão de dados é por ondas de rádio, as quais terão seus princípios básicos apresentados a seguir.

### 2.2.1 Ondas de Rádio

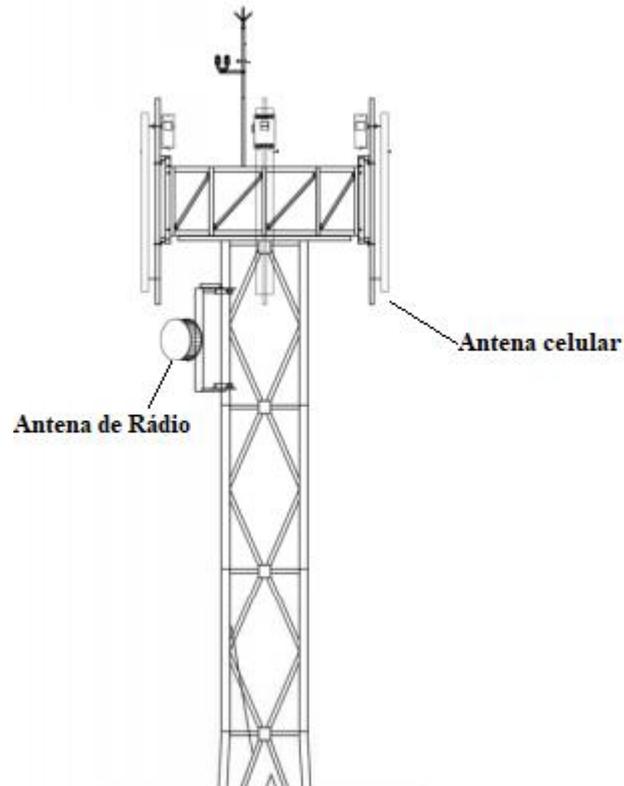
Ondas de rádio são campos eletromagnéticos de alta frequência, não audíveis e não visíveis pelo homem, irradiados pela antena do radiotransmissor (BALANIS, 2016). Esse tipo de transmissão é bastante utilizado nas operadoras de telecomunicações, tanto para transporte de dados na telefonia fixa quanto na telefonia móvel. Um exemplo de enlace de rádio para atendimento a uma ERB (Estação Rádio Base) é apresentado na Figura 10.

A antena é feita de condutor metálico e tem, na transmissão, a função de converter a energia elétrica em energia radiante (ondas eletromagnéticas) e, inversamente na recepção, captar a onda de rádio e convertê-la em corrente elétrica (BALANIS, 2016).

Na transmissão guiada (com fio), quando uma onda plana está se propagando com amplitude constante em uma única direção, ao longo de uma linha de transmissão, a atenuação é, nesse caso, principalmente, causada por perdas em condutores metálicos e dielétricos, considerados ativos de rede. Já na transmissão sem fio, as antenas irradiam uma onda esférica, cuja intensidade é reciprocamente proporcional à distância, em todas as direções no espaço (CARVALHO; GEORGIADIS, 2020).

Essa onda irradiada pela antena transmissora vai perdendo potência ao longo do percurso no espaço livre, por esse motivo é necessário inserir estações repetidoras caso o percurso seja longo. Por exemplo, entre João Pessoa e Campina Grande existe uma repetidora localizada na cidade do Cajá. Outro detalhe importante é que tais ondas eletromagnéticas se contaminam com ruído elétrico ou até mesmo outras ondas presentes no canal de comunicação.

**Figura 10** – Sistema Irradiante Telefonia Móvel.



Fonte: Medeiros (2007).

Desse modo, o radioenlace de comunicações se desenvolve entre antenas, a transmissora localizada em “A”, e a receptora localizada em “B”, conforme ilustração na Figura 11.

**Figura 11** – Diagrama em blocos de um radioenlace.



Fonte: Medeiros (2007).

O transmissor é o aparelho eletrônico gerador da corrente senoidal de radiofrequência que alimenta a antena. A corrente sai do transmissor e atravessa a linha de transmissão (LT) chegando à antena, onde é convertida em energia irradiante (BALANIS, 2016).

O receptor é encarregado de receber e processar a corrente elétrica de RF (Rádio Frequência), que surge por indução na antena receptora, quando está envolvida pelo campo eletromagnético de onda transmitida (BALANIS, 2016).

Esse tipo de tecnologia tem a vantagem de ser fácil instalação e, em determinadas aplicações, é financeiramente mais econômico. Entretanto, sua grande desvantagem é a sensibilidade a ruídos e interferências eletromagnéticas. Para o projeto “Rodovia Conectada”, esse meio de transmissão é de difícil implementação, pois em cada ponto de conexão para serviços de *Wi-Fi* e videomonitoramento seria necessário instalar uma torre para comunicação via rádio.

### 2.3 REDES PON E DSL

Nos dias atuais, os dois tipos, predominantes, de acesso residencial à banda larga são xDSL e FTTH (*Fiber To The home*) (ANATEL, 2019). Nos países, ditos desenvolvidos, mais de 65% dos lares possuem acesso à Internet e, dentre eles, destacam-se Coreia, Holanda, Finlândia e Suécia, posto que lideram com mais de 80%, majoritariamente por meio de banda larga em alta velocidade. Os dois tipos de acessos prevalentes são DSL e Fibra Óptica (KUROSE; ROSS, 2013). A principal diferença entre as duas redes de acesso é o meio de transmissão de dados: na xDSL o serviço é oferecido em linhas telefônicas comuns, via cabos de cobre; enquanto na outra, o cabo de fibra óptica é utilizado como meio fim-a-fim, também conhecida como FTTH.

Segundo o relatório anual da ANATEL, no Brasil, entre 2016 e 2017, a tecnologia de fibra registrou o maior aumento no número de usuários, com o acréscimo de 1,3 milhão de acessos (o equivalente a 66,5% da base existente em 2016), passando a responder por 10,6% do mercado. Entre 2017 e 2018, os acessos à banda larga fixa, por meio de redes de fibras ópticas, registraram um aumento de 2,5 milhões no número de acessos em serviço (o equivalente a 81,3% de aumento em relação à base existente em 2017), passando a responder por 18,1% do mercado. Já em 2019, a principal tecnologia do serviço de comunicação multimídia foi a xDSL, com 31,6 % dos acessos, contudo, os acessos em fibra óptica cresceram expressivamente e chegaram a representar 30,7% do total (ANATEL, 2019).

Nos dias atuais, há uma necessidade por acesso de banda larga confiável e com alta velocidade. Além da presença de aplicativos que afetam a eficácia da rede, a adoção em larga escala da Internet das Coisas introduziu a necessidade de *links* de banda larga confiáveis para

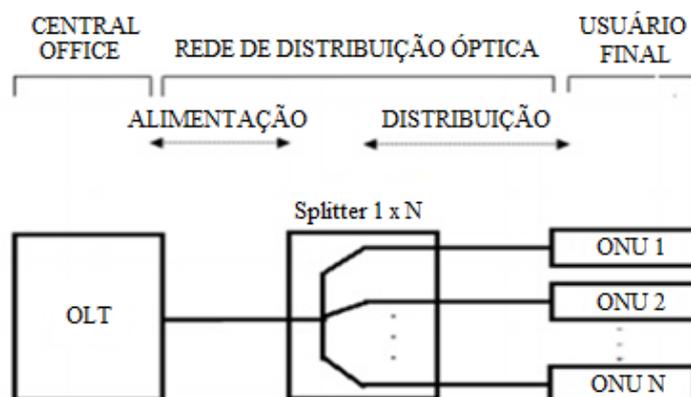
distribuição rápida e fácil de dispositivos IoT. A solução FTTH é uma das mais aplicadas para suprir tais necessidades, tanto os provedores de pequeno porte quanto as operadoras de telecomunicações têm investido em redes FTTH. Portanto, é provável que o número de acessos por meio de tecnologias que utilizam fibra óptica cresça de tal maneira que a tecnologia xDSL fique obsoleta. Nas seções 2.4 e 2.5 será possível entender o porquê dessa crescente implantação de redes de acesso por fibra óptica, justificado por meio de uma abordagem teórica, apresentando as características das redes PON e DSL.

## 2.4 REDES PON

A rede de acesso óptico PON, na década de 80, ganhou esse nome devido à utilização de diversos componentes passivos, como combinador, *splitters* ou divisores e acopladores (KUMARI; SHARMA; SHEETAL, 2018). Ela é bidirecional (*upstream/downstream*) e sua implantação é menos onerosa se comparada a outras redes. Além disso, possui recursos eficientes, transparentes, seguros, adaptáveis, sem contar o fato de ser atualizável para rede de acesso óptico de próxima geração (KUMARI; SHARMA; SHEETAL, 2018). Seu grande diferencial é que não precisa de energia elétrica, e, portanto, não sofre interferências elétricas por outras redes.

Na Figura 12 é apresentado um diagrama de blocos de uma rede PON, que consiste em uma OLT, a rede óptica de distribuição, e no usuário final ficam as ONUs. Na OLT concentram-se os serviços de dados, voz e vídeo, e a partir dela inicia-se a rede de distribuição, que, por meio do *splitter*, permite a divisão do sinal óptico, fazendo com que uma única fibra óptica forneça serviços à vários usuários finais.

**Figura 12** – Arquitetura básica de uma rede PON.

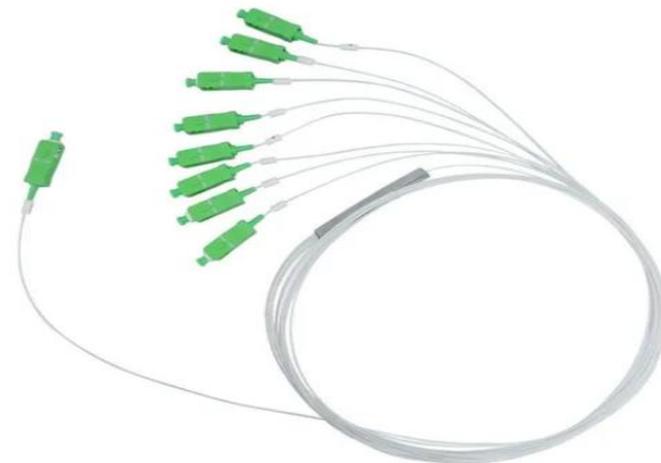


Fonte: Kumari; Sharma; Sheetal (2018).

### 2.4.1 Divisores de Potência

Uma rede PON é configurada a partir de uma única fibra óptica, que é compartilhada com o uso de divisores ópticos (ITU-T, 2004). Esses divisores de potência óptica, os quais são também chamados de *splitters*, são dispositivos passivos que operam como guias de onda ópticos, elementos de transmissão reflexão e refração da luz (ITU-T, 2004). Eles têm a finalidade de combinar ou separar sinais ópticos, podendo ser em 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 ou 1:64. Essa divisão de sinal resulta em perdas de acoplamento, quanto maior o número de saídas maior a perda. Na Figura 13 é apresentado um *splitter* 1:8.

**Figura 13** – *Splitter* 1:8.



Fonte: Furukawa (2020).

Quando se afirma que um GPON suporta até 128 usuários por porta PON, significa que o sinal pode se dividir por meio dos *splitter* até que chegue esse valor, por exemplo, *splitter* de primeiro nível 1:16 e, em cada saída desse *splitter*, conectando 16 *splitters* 1:8, logo, tem-se  $16 \times 8 = 128$ .

### 2.4.2 Tipos de Tecnologias PON

A evolução e padronização das redes PON oferecem novas funcionalidades e facilidades, que suportarão as futuras redes de acesso de banda larga e de serviços, e aumentam a capacidade de tráfego, usuários por porta PON e alcance máximo em quilômetros entre OLT e ONU (ZHANG *et al.*, 2017). Sabe-se que, atualmente, a tecnologia mais adotada é a GPON, mas outras também podem ser citadas: BPON (*Broadband Passive Optical Network*) e EPON

(*Ethernet Passive Optical Network*). É apresentado um resumo, na Tabela 6, com as características das principais arquiteturas (PINHEIRO, 2017).

Cada OLT suporta apenas um padrão, se é do tipo GPON suporta apenas ONU da mesma tecnologia, o mesmo acontece com OLT EPON, porém um estudo apresentado por Zhang *et al.* (2017) permite que uma OLT suporte vários padrões. Um algoritmo de largura de banda correspondente é proposto para satisfazer os requisitos de qualidade de serviços da ONU e o sinal é transmitido em um único comprimento de onda (ZHANG *et al.*, 2017).

**Tabela 6** – Quadro Comparativo das Arquiteturas PON.

<i>ÍTENS</i>	<i>BPON</i>	<i>EPON</i>	<i>GPON</i>
Norma	ITU-T G.983	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984
Tamanho de Células Por Pacotes	54 bytes	De 64 bytes até 1.518 bytes	De 64 bytes até 1.518 bytes
Transmissão Em Downstream	1,2 Gbps	1,25 Gbps	2,5 Gbps
Transmissão Em Upstream	622 Mbps	1,25 Gbps	2,5 Gbps
Protocolo	ATM	Ethernet e TDM	Ethernet Over ATM/IP ou TDM
Alcance	20 Km	20 Km	20 Km
Usuários Por Porta PON	32	64	128

Fonte: Pinheiro (2017).

### 2.4.3 Redes PON de Próxima Geração

O rápido crescimento do tráfego da Internet, impulsionado, principalmente, pelos novos serviços multimídia em banda larga, exige redes de acesso capazes de lidar com maiores taxas de dados e oferecer melhor qualidade nos serviços agregados (PINHEIRO, 2017).

As chamadas PON de próxima geração demonstram uma tendência para a transmissão com alta largura de banda, maior alcance e mais usuários por porta PON. Essas redes incluem novos desenvolvimentos, utilizando diferentes técnicas de multiplexação dos sinais ópticos. As principais características dessa evolução são apresentadas na Tabela 7.

**Tabela 7** – Arquiteturas PON de Próxima Geração.

(continua)

<i>ITENS</i>	<i>XG-PON 1</i>	<i>XG-PON 2</i>	<i>10 G-EPON</i>	<i>WDM-PON</i>
Norma	ITU-T G.987	ITU-T G.987	IEEE 802av	ITU-T G.694
Transmissão Em Downstream	10 Gbps	40 Gbps	10 Gbps	20 Gbps à 40 Gbps

**Tabela 7 – Arquiteturas PON de Próxima Geração.**

(conclusão)

<i>ITENS</i>	<i>XG-PON 1</i>	<i>XG-PON 2</i>	<i>10 G-EPON</i>	<i>WDM-PON</i>
Transmissão Em <i>Upstream</i>	2,5 bps	10 Gbps	10 Gbps	20 Gbps à 40 Gbps
Alcance	Até 100 Km	Até 100 Km	Até 100 Km	Até 100 Km
Usuários Por Porta PON	256	256	256	256

Fonte: Pinheiro (2017).

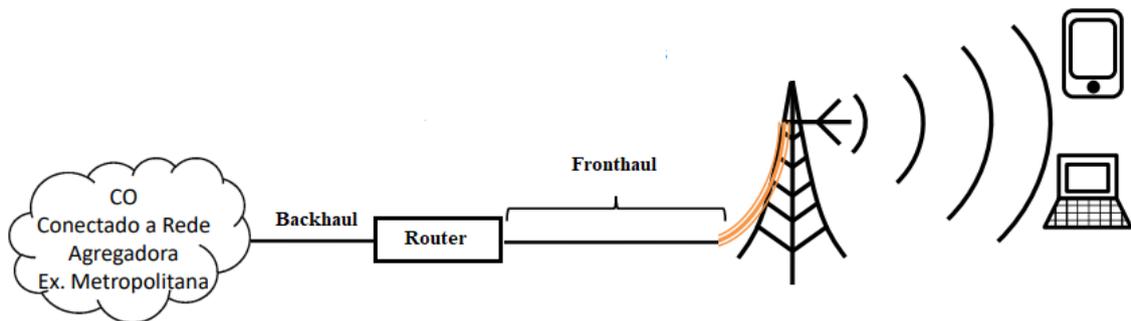
Segundo Zhang *et al.* (2020), em discussões na ITU, sobre evolução das redes PON, tornou-se claro que a próxima etapa deve oferecer taxa de transmissão ainda maior que as atuais, sendo 50 Gb/s a capacidade permitida na próxima geração da tecnologia PON.

## 2.5 ARQUITETURA PON APLICADA EM TOPOLOGIAS *BACKHAUL* E *FRONTHAUL* DA TELEFONIA MÓVEL

O uso da rede sem fio continua a crescer junto com o uso gradativo de smartphones. Atualmente, as redes sem fio entraram no 5G e os recursos e capacidades fornecidos pelo 5G pressam por alta largura de banda, velocidade e baixa latência (HUANG; CHENG; WEIBEL, 2019).

A tecnologia PON, que utiliza fibra óptica, tem sido amplamente empregada para serviços de banda larga fixa e tornou-se uma solução massiva. Por outro lado, o desenvolvimento de serviços de telefonia celular (4G e 5G) é tão rápido que também desenvolve serviços com as características de necessidade de serviço (largura de banda elevada), grande capacidade e baixa latência. Algumas alternativas atuais, usadas para soluções de *backhaul*, utilizam a tecnologia sem fio (Radio IP) e *wireline* (cobre e fibra), mas existem estudos para uso de fibra óptica, com a abordagem de arquitetura PON, para interligação de ERBs 4G e 5G, garantindo maior velocidade e com baixa latência. Para um melhor entendimento sobre *backhaul* e *fronthaul*, a Figura 14 apresenta a topologia tradicional de estações base.

**Figura 14** – Topologia Tradicional de Estações Base.

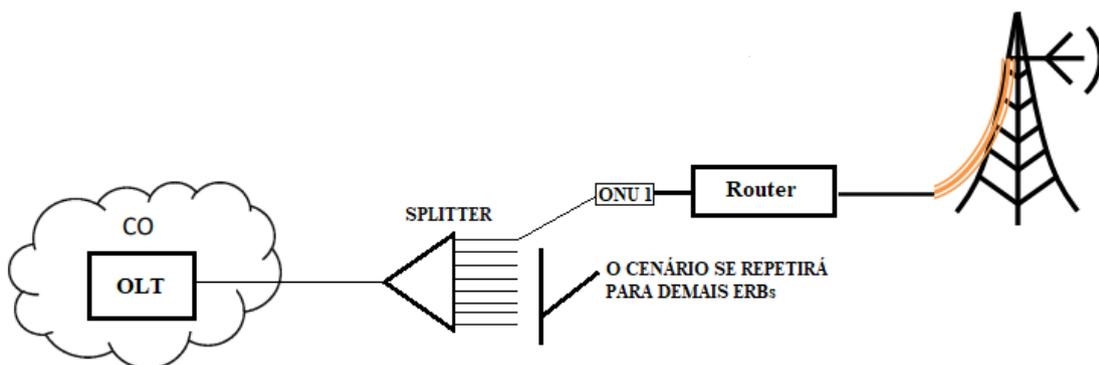


Fonte: Fernandes (2019).

A distância entre a CO (*Central Office*) e o Router, responsável por interligar o sistema irradiante na ERB, geralmente é de mais de 10 km e o meio de transmissão utilizado nesse trecho é chamado de *Backhaul*. Já o *Fronthaul* corresponde à conexão entre o Router e o sistema irradiante que, por sua vez, não ultrapassam os 100 metros (HUANG; CHENG; WEIBEL, 2019).

A Figura 15 apresenta uma arquitetura de topologia utilizando *backhaul* PON. A OLT é interligada com *splitter* e este é conectado com oito ONUs que, conseqüentemente, conectam-se com oito roteadores das torres, conhecidos como BBU (*Baseband Unit*).

**Figura 15** – Topologia utilizando Backhaul PON.



Fonte: Fernandes (2019).

Esse modelo de arquitetura agrega as maiores taxas de transmissão em tecnologias 4G e 5G, considerando que é possível fornecer uma taxa máxima elevada, sendo limitada apenas pelas capacidades no *fronthaul* (FERNANDES, 2019). Conseqüentemente, conectam-se com oito roteadores das torres, conhecidos como BBU (*Baseband Unit*). A Tabela 8 apresenta as taxas

de transmissão de dados alcançadas pelos usuários no ambiente *indoor*, para as três alternativas de padrão para o *backhaul* PON consideradas.

**Tabela 8** – Taxas de transmissão de dados alcançadas para todas as alternativas *backhaul* consideradas para suporte ao *fronthaul* totalmente *indoor*.

PARÂMETRO	40-GPON	WDM-PON (1 Gbps)	WDM-PON (10 Gbps)
Taxa Máxima (Gbps)	4,176	0,5	4,176
Taxa no Pico de Tráfego (Gbps)	0,102	0,041	0,409
Taxa Diluída entre todos os Usuários no Ambiente <i>Indoor</i> (Gbps)	0,016	0,007	0,065
Suporte a Demanda de Dados	2026 a 2029	2024 a 2026	2029 a 2030+

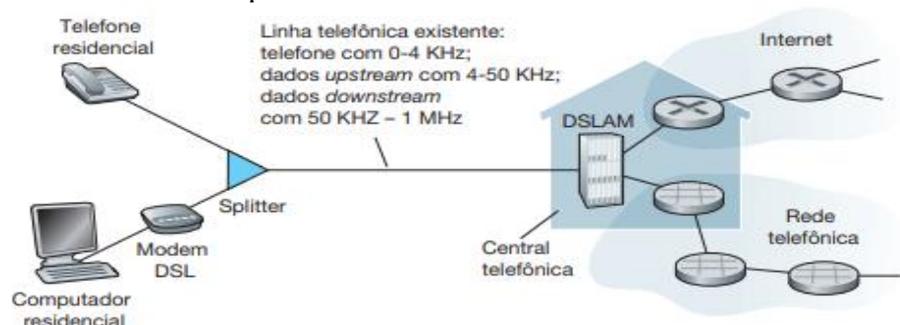
Elaboração Própria.

É possível destacar que o pico de tráfego da rede, tanto 40G-PON quanto WDM-PON de 10 Gbps, pode fornecer mais de 100 Mbps a cada usuário na rede, o qual se espera ter a mínima taxa alcançada por redes 5G (FERNANDES, 2019). Esse tipo de compartilhamento torna a rede menos confiável, uma vez que várias ERBs estarão conectadas a um único *splitter* e, caso exista alguma falha nessa parte da rede, provocará indisponibilidade em várias estações base.

## 2.6 TECNOLOGIAS XDSL

Uma das primeiras tecnologias de banda larga a ganhar escala, assim como uma das mais utilizadas no mundo, foi a DSL. Isso se deve ao fato de utilizar a infraestrutura de rede da telefonia fixa (PINHEIRO, 2017), assim, possui par trançado como meio de transmissão. Na Figura 16 é ilustrado o funcionamento de uma rede DSL.

**Figura 16** – Acesso à Internet por DSL.



Fonte: Kurose; Ross (2013).

O modem DSL de cada cliente utiliza a linha telefônica para trocar dados, que ficam localizados nas centrais telefônicas, com o DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*). A linha telefônica conduz, simultaneamente, dados e sinais telefônicos tradicionais, que são codificados em frequências diferentes: um canal *downstream* de alta velocidade, com uma banda de 50 kHz a 1 MHz; um canal *upstream* de velocidade média, com uma banda de 4 kHz a 50 kHz; um canal de telefone bidirecional comum, com uma banda de 0 a 4 kHz (KUROSE; ROSS, 2013). E o *splitter* tem a função de dividir o sinal de voz e dados.

### 2.6.1 Tipos de Tecnologias xDSL

O termo xDSL é um nome genérico que define uma família de tecnologias, cuja é usada para transmissão de dados, por meio de linhas telefônicas, de acordo com a ITU-T (*Telecommunication Standardization Sector*) e ANSI (*American National Standards Institute*). Vários tipos de tecnologia DSL evoluíram conduzidas por uma tendência em direção a taxas de bits mais altas, e cada tipo de DSL possui atributos distintos. As características dos principais tipos de tecnologia DSL serão apresentadas nos próximos tópicos.

#### 2.6.1.1 HDSL

O serviço HDSL (*High bit rate Digital Subscriber Line*) foi introduzido, em 1992, como uma alternativa de baixo custo ao uso de linhas T1 e E1<sup>3</sup> repetidas. As linhas T1 (1,544 Mb/s) e as linhas E1 (2,048 Mb/s) exigiram repetidores para praticamente todas as linhas, tornando sua implantação onerosa. Já as linhas HDSL não requerem repetidores. A tecnologia HDSL fornece taxa fixa, transmissão simétrica de 1.544 Mb/s ou 2.048 Mb/s (GORSHE *et al.*, 2014).

Existem três tipos de tecnologias HDSL, cujo alcance de cada uma delas pode ser visto a seguir:

- HDSL – Até 3,7 Km utilizando dois pares de fios;
- HDSL2 – Até 3,7 Km utilizando um par de fios;
- HDSL4 – Até 4 Km utilizando dois pares de fios.

---

<sup>3</sup> São métodos de transmissão digital para multiplexar canais de voz ou dados em um par de fios. E1 é um padrão europeu de linha telefônica digital e possui taxa de transferência de 2Mb/s. T1 padrão norte-americano e com taxa de 1,5 Mb/s.

### 2.6.1.2 SHDSL

O SHDSL (*Single-pair High-speed Digital Subscriber Line*) é considerado uma evolução do HDSL, por utilizar apenas um par de fios. O serviço SHDSL foi introduzido, em 1999, para fornecer taxa de bits simétrica, variando de 192 kb/s (a 6 km) a 5,7 Mb/s (a 600 m). O SHDSL é melhor para altas taxas de bits *upstream* em linhas de média a longas distâncias (GORSHE *et al.*, 2014). As operadoras de telecomunicações utilizam essa tecnologia para entrega de serviços de voz via E1, por meio de centrais telefônicas.

### 2.6.1.3 ADSL

O serviço ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) foi introduzido em 1995. E é considerada a forma de acesso de banda larga mais amplamente implantada no mundo (GORSHE *et al.*, 2014), apesar de estar perdendo espaço para redes FTTH. É usado com mais frequência para acesso à Internet de alta velocidade, como também para alguns serviços de vídeo. Por meio desta tecnologia, é possível atingir linhas de até 6 quilômetros, mas a capacidade de taxa de bits é menor para linhas mais longas (GORSHE *et al.*, 2014).

A Tecnologia ADSL evoluiu em suas versões, aumentando à taxa de bits conforme abaixo:

- ADSL – Até 8 Mb/s de *downstream* e 1 Mb/s de *upload*;
- ADSL2 – Até 20 Mb/s de *downstream* e 1 Mb/s de *upload*;
- ADSL2plus - Até 24 Mb/s de *downstream* e 1 Mb/s de *upload*.

### 2.6.1.4 VDSL

O serviço VDSL (*Very High Bit-rate Digital Subscriber Line*) foi lançado em 2003 e é amplamente utilizado para fornecer serviços de reprodução tripla (vídeo, voz e dados). Assim como o ADSL, ele também opera com taxa de bits de forma assimétrica. Numa distância de até 1 quilômetro, essa tecnologia fornece 25 Mb/s de *download* e 3,5 Mb/s de *upload*. Já o VDSL2, que é uma versão evoluída da tecnologia, suporta transmissão simétrica de taxa de bits de até 100 Mb/s.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta os trabalhos relacionados à conectividade em rodovias, sejam eles utilizando a tecnologia PON ou demais tecnologias de acesso. A análise do estado da arte foi realizada por meio de um protocolo de revisão sistemática, que forneceu embasamento técnico-científico na identificação de trabalhos relacionados. A revisão sistemática foi organizada da seguinte forma:

- A primeira seção apresenta o protocolo de busca, onde são informadas as palavras-chaves utilizadas para busca, as bases de conhecimento utilizadas e os critérios de exclusão empregados para filtrar os resultados;
- Na segunda seção são apresentados os trabalhos relacionados e pesquisa, resultados da busca baseada no protocolo elaborado.

A metodologia da elaboração do protocolo proposto foi baseada no trabalho de Aécio Pires (PIRES, 2021) e nos estudos de Petersen *et al.* (2008).

#### 3.1 PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA

A revisão sistemática realizada se propõe a responder a seguinte pergunta: Qual tecnologia e meio de transmissão é tecnicamente viável e financeiramente econômico para tornar uma rodovia conectada?

Nem todas as cidades brasileiras recebem recursos financeiros suficientes para investir em tecnologia. Por esse motivo, existem áreas de sombra em alguns trechos das rodovias. A solução de baixo custo, aqui apresentada, oferece o benefício de conectividade nas rodovias e para pequenas cidades ou regiões entorno.

As bases de conhecimento, utilizadas para realizar a busca por trabalhos relacionados, foram Scopus e BDTT (Banco de Testes e Dissertações). A coleta foi realizada utilizando as seguintes palavras-chaves que possuem relação com este trabalho: *Connected Roads AND PON; Backhaul AND PON; Smart roads; Net-on-road; Roads AND Fiber Óptica; Road Safety AND Internet.*

Quanto aos critérios de exclusão (CE) de trabalhos, a escolha foi feita para que, ao final, fossem selecionados os estudos mais relevantes para a solução proposta. Assim, foram definidos seis critérios de exclusão:

- CE 1 – Artigos com ano de publicação inferior a 2016;
- CE 2 – Trabalhos que não foram publicados em conferências ou periódicos;
- CE 3 – Publicações que não estiverem no formato PDF;
- CE 4 – Publicações duplicadas;
- CE 5 – Trabalhos que tratam de tecnologias PON, mas aplicadas em outras soluções como Internet residencial;
- CE 6 – Artigos com conteúdo irrelevante para os objetivos da pesquisa, como engenharia de tráfego, análise tráfego de rodovias, sistemas de informação veicular, entre outros.

A busca foi realizada em 16 de março de 2021, em que 788 trabalhos foram indexados, aplicando os critérios de exclusão CE 1, CE 2 e CE 3. A Tabela 9 mostra a quantidade de publicações encontradas nos resultados da busca em cada base, os critérios de exclusão aplicados e os resultados obtidos.

**Tabela 9** – Publicações encontradas na revisão sistemática.

Critérios de exclusão	Publicações por base		
	IEEE Xplore	Scopus	BDTT
Resultados aplicando os critérios de exclusão: CE 1, CE 2 e CE 3	591	10	187
Artigos pré-selecionados	788		
Resultados aplicando os critérios de exclusão: CE 4, CE 5 e CE 6	7	3	2
<b>Resultado após aplicação dos filtros</b>	<b>12</b>		
<b>Resultado final</b>	<b>5</b>		

Elaboração Própria.

Ao aplicar os critérios de exclusão CE 4, CE 5 e CE 6, a pesquisa retornou um total de 12 trabalhos. Para um melhor refinamento e obter os resultados mais específicos e relacionados possíveis, a partir desse total, foram aplicados os critérios de exclusão que serão apresentados na seção a seguir.

### 3.2 TRABALHOS RELACIONADOS

Dos 12 trabalhos obtidos, um estudo mais aprofundado foi realizado em cinco desses, e a justificativa para escolha levou em consideração duas características:

- Trabalhos que mostravam a aplicação de uma determinada tecnologia, a fim de resolver algum problema relacionado à conectividade em rodovias;
- Trabalhos que propunham ideias inovadoras para solução de problemas relacionados à conectividade em rodovias.

Mais detalhes sobre os cinco trabalhos escolhidos serão discutidos nos próximos tópicos.

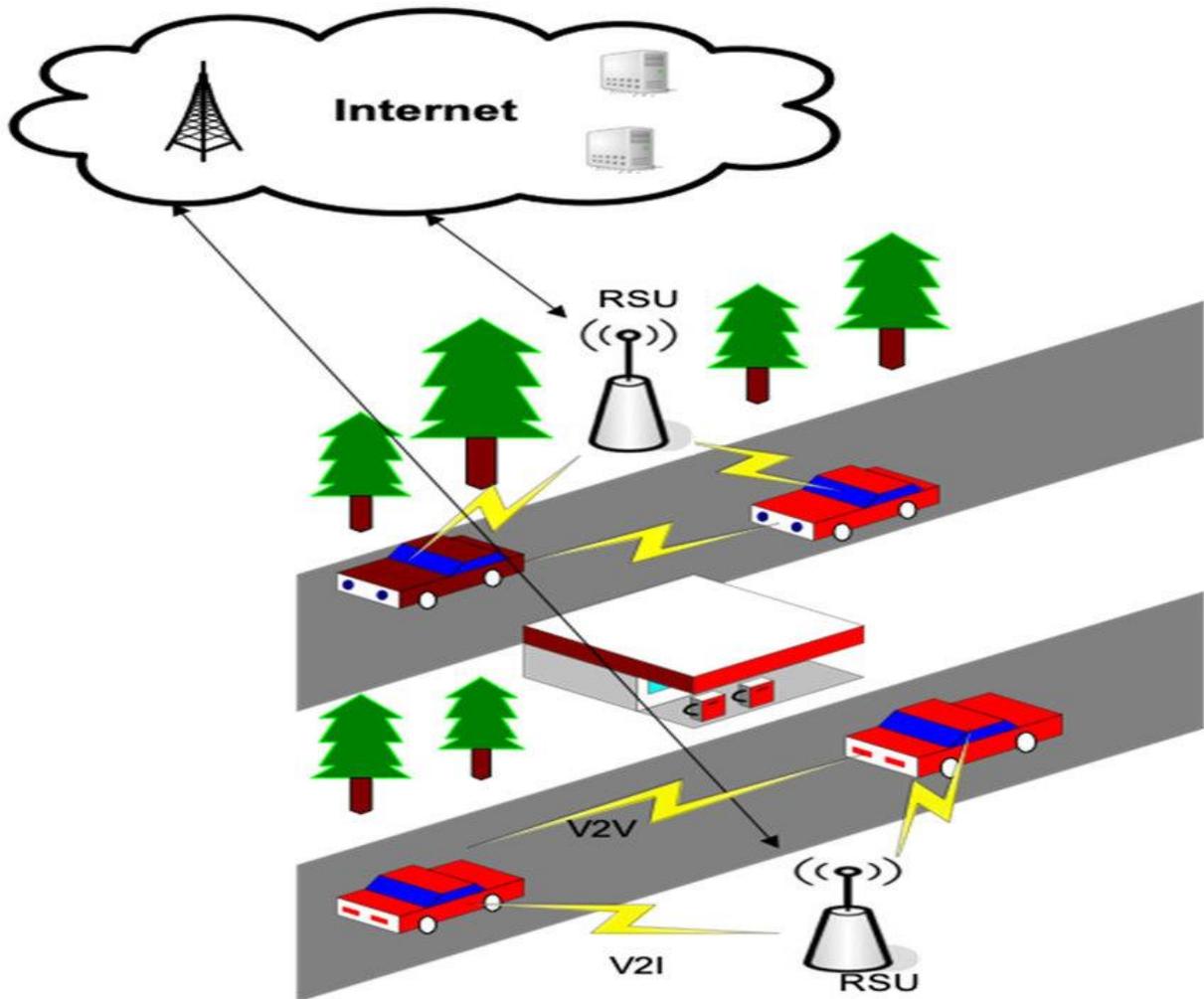
### **3.2.1 Compartilhamento de RSUs para acesso à Internet**

As rodovias americanas possuem sistemas de comunicações denominados RSUs (*Roadside units*), que servem para aplicações que envolvem segurança e iluminação pública. A proposta de Ligo, Peha e Barros (2017) é que essas RSUs sejam compartilhadas com outros tipos de aplicações envolvendo provedores de Internet e, com isso, os custos seriam compartilhados. Segundo os pesquisadores, o governo poderia economizar cerca de um quinto do custo nacional de RSUs de segurança nos EUA, além de, com o compartilhamento das RSUs, poder oferecer suporte a aplicativos de segurança, como prevenção de acidentes e acesso à Internet. A Figura 17 mostra a arquitetura de uma topologia utilizando RSUs.

A Internet cresceu acentuadamente e continuará crescendo, incluindo seu acesso no veículo, que atualmente é servido nos Estados Unidos, assim como no Brasil, principalmente, por meio da telefonia móvel. Portanto, para que essa demanda seja atendida com eficácia, a infraestrutura celular precisa continuamente de expansão, onde as redes têm capacidade limitada e, conforme visto na seção 1.1, é inevitável o alcance do sinal quando há áreas de sombra. A proposta de compartilhamento RSUs, implantadas pelo Governo, com provedores de Internet, seria a solução para uma melhor conectividade nas rodovias americanas.

Para o tornar o projeto Rodovias Conectadas viável economicamente, é proposta a solução de compartilhamento da fibra óptica das operadoras de telecomunicações, semelhante à proposta de compartilhar RSUs. Outra semelhança entre os trabalhos se refere à motivação e justificativa para solução, que é o fato da limitação do sinal de telefonia móvel. Por outro lado, no Brasil, não existe um esquema de redes de comunicações baseadas em RSUs, tornando, então, não aplicável a solução proposta nesse País. Implantar RSUs requer um investimento bilionário, dessa forma, a solução apresentada no trabalho é mais viável, tendo em vista que já existem cabos de fibra óptica implantados às margens das rodovias brasileiras.

**Figura 17** – Arquitetura RSU.



Fonte: Ligo, Peha e Barros (2017).

### 3.2.2 Sistema de Segurança Rodoviário Baseado em IoT

Para Vishal *et al.* (2017), as estradas são partes integrantes da civilização humana, além de serem o sistema nervoso de qualquer país e desempenharem um papel crucial na rotina diária, podem ser modeladas de maneira inteligente para servir a sociedade com recursos aprimorados. A proposta do trabalho de Vishal *et al.* (2017) é apresentar como usar as tecnologias IoT para reduzir o risco de colisões nas estradas. De acordo com o estudo, existem muitas situações em que as tecnologias podem ser usadas para evitar acidentes, o que abre uma ampla janela para a exigência de um sistema rodoviário inteligente, porém as estradas de hoje se tornaram caminhos estagnados que não têm capacidade de assistência. Os pesquisadores concluíram que a principal restrição para quaisquer medidas de segurança no trânsito, na Índia, é a largura da estrada e,

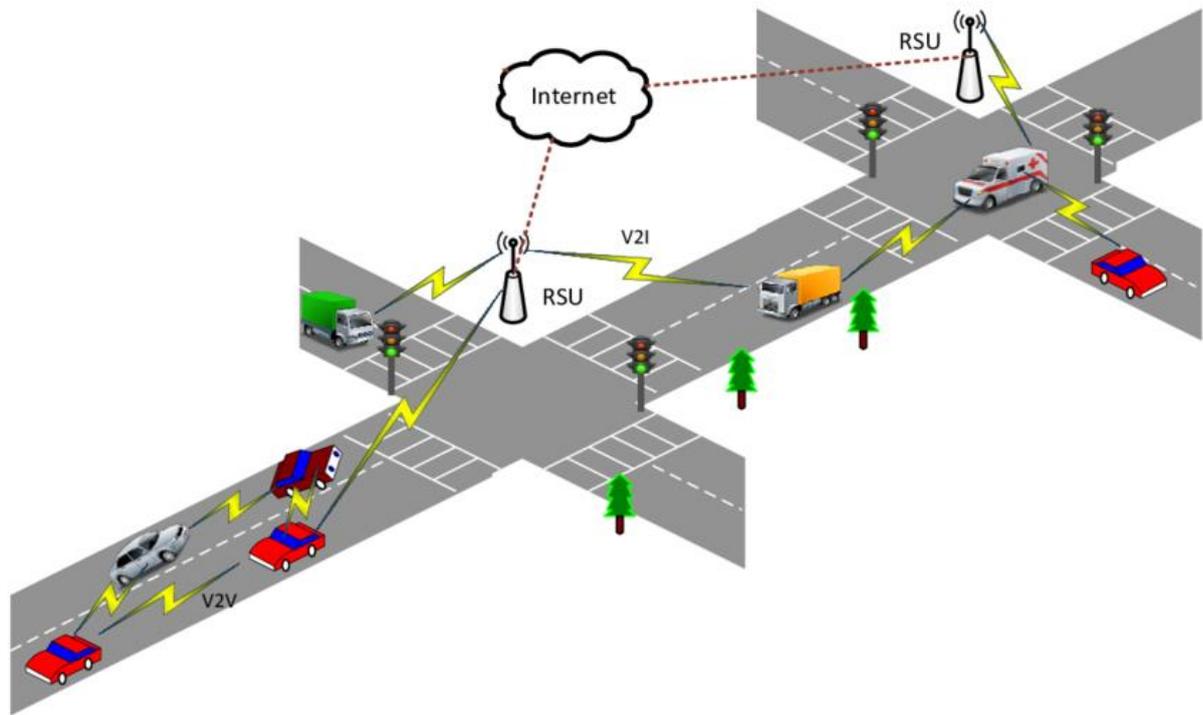
desse modo, criaram um sistema de segurança rodoviário, que é uma tecnologia avançada e não requer uma estrada extra.

Com a implantação dessa tecnologia, a estrada é dividida em seções de cerca de cinco quilômetros, com cada seção da estrada tendo incorporada várias antenas nas margens da estrada, designada como zona de perigo, e são conectadas aos veículos que, por sua vez, devem estar conectados via Internet e com sensores instalados. Pode-se considerar que, no Brasil, também existem algumas estradas nas condições existentes na Índia, e essa solução seria algo relevante, porém precisaria de Internet para o pleno funcionamento, e o trabalho apresentado nesse artigo não resolve o problema de conectividade nas rodovias.

Omar, Lu e Zhuang (2016), também pensando no uso de tecnologias para evitar acidentes em estradas, propõem, em seu estudo, a implantação da tecnologia VANET (*Vehicular Ad Hoc Network*). Essa tecnologia permite uma variedade de aplicações avançadas de segurança no trânsito, por meio da transmissão de mensagens de segurança para os veículos nas rodovias. Seu funcionamento depende da rede de telefonia móvel que, conforme discutido na Seção 1.1, devido à ausência de sinal de telefonia móvel em alguns trechos, torna-se impossível qualquer tipo de comunicação, assim, essa solução não é tão eficaz quanto a proposta aqui apresentada, uma vez que não há necessidade de rede móvel para conectividade. A Figura 18 apresenta como funciona uma aplicação VANET.

Essa mesma conclusão ocorre quanto ao estudo de Laplante (2018), que enfatiza a importância de rodovias mais inteligentes, com o intuito de reduzir acidentes e melhorar congestionamentos. O pesquisador fornece, em seu estudo, algumas orientações e uma visão do futuro para fabricantes de dispositivos móveis e planejadores para construção de estradas. Em sua pesquisa, é explicado que os veículos conectados envolvem tecnologias sem fio que permitem interações entre carros, por meio de acesso a pontos de Internet sem fio nas margens das rodovias, utilizando, também como recurso, a comunicação móvel.

**Figura 18** – Aplicação VANET



Fonte: Omar, Lu e Zhuang (2016).

### 3.2.3 Alternativas *Backhaul* e *Fronthaul* para Arquiteturas de Rádio, utilizando Tecnologia PON

No trabalho de Fernandes (2019) é explicado que a tecnologia 5G busca dar suporte a uma sociedade altamente digital, a qual possui altas demandas de operação. As arquiteturas de rede de transporte dividem-se em duas seções, o *backhaul* e o *fronthaul* (características apresentadas na Seção 1.1), as quais podem se subdividir em vários níveis de enlaces, sejam eles ópticos, metálicos ou baseados em micro-ondas.

Fernandes (2019) realiza uma avaliação técnica e econômica de arquiteturas de redes de transporte no 5G, atendendo o ambiente *indoor* com *backhaul* e utilizando tecnologias PON. Os resultados foram satisfatórios no âmbito do seu objetivo, a utilização da tecnologia PON é capaz de fornecer elevadas taxas de transmissão, sendo uma máxima de quase 7 Gbps, e garantindo ao menos 100 Mbps a qualquer momento. Assim, como a solução apresentada para o projeto rodovias conectadas, este trabalho também utiliza recursos da tecnologia PON para dar solução referente aos fatores técnico-econômicos voltados para conexões sem fio. No entanto, essa solução não melhora a questão cobertura da telefonia móvel nas rodovias, sendo

assim, uma vez aplicada tal proposta, ainda teríamos áreas de sombra impedindo a comunicação dos usuários em certas regiões.

### 3.3 DISCUSSÃO

Observa-se que todos os trabalhos encontrados ressaltaram a importância de uma rodovia conectada, enfatizaram a melhoria na questão da segurança, porém todos dependem da tecnologia móvel que, por sua vez, não fornece cobertura nas rodovias em sua totalidade, embora haja estudos e planejamento para instalação de torres de telefonia móvel em lugares estratégicos, tentando fornecer o máximo de cobertura possível. As áreas de sombra são inevitáveis, sendo assim, a proposta de implantação de uma rodovia conectada, por meio de tecnologias PON, é mais eficaz, pois não dependeria do sinal das operadoras de telefonia móvel. Como melhoria para estudo em trabalhos futuros, pode-se realizar experimentos utilizando a abordagem *wardriving* para capturar e disponibilizar dados referentes às áreas de sombra existentes nas rodovias brasileiras, de forma que a implantação do projeto seja aplicada em regiões onde não existem quaisquer tipos de acesso à Internet.

## 4 DESCRIÇÃO DA PROPOSTA

Neste capítulo, pretende-se aduzir a proposta a partir de sua aplicabilidade, metodologia e validação. Dessa forma, as discussões a seguir integram um conjunto de argumentos que fundamentam a execução do projeto, quer por sua viabilidade técnica, quer por sua relevância prática à sociedade.

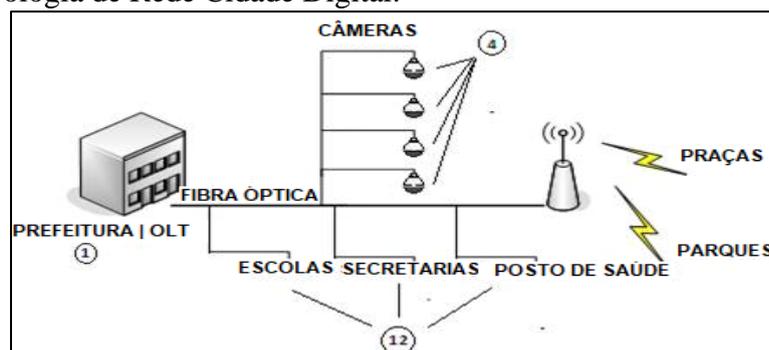
### 4.1 APLICABILIDADE

As cidades inteligentes empregam tecnologias de informação e comunicação para melhorar a qualidade de vida de seus cidadãos, a economia local, os meios de transporte, o gerenciamento de tráfego, o meio ambiente e a interação com a administração pública (ISMAGILOVA *et al.*, 2019). Pode-se destacar, dentre os inúmeros benefícios já citados, a sua importância para implementação da IoT.

Um exemplo prático ocorre no município de Dois Irmãos/RS. A cidade investiu em uma infraestrutura de telecomunicações que consiste em uma rede urbana de fibra óptica aérea, projetada na área urbana, utilizando tecnologia GPON, atendendo 12 pontos da administração municipal e quatro câmeras de videomonitoramento urbano, convergindo para a sede da prefeitura (ROLAND, 2018). Como complemento da cobertura, também foi implantada uma rede urbana de rádio com tecnologia *Wimax* a 3,5 GHz, atendendo aos pontos remotos da administração pública.

Foi disponibilizada uma rede de distribuição com tecnologia *Wi-Fi* a fim de atender ao cidadão, com foco inicial em praças e parques, mas com possibilidade de expansão para atender 100% da população (ROLAND, 2018). A topologia de rede para essa aplicação está presente na Figura 19.

**Figura 19** – Topologia de Rede Cidade Digital.



Fonte: Roland (2018).

O presente trabalho apresenta uma solução, utilizando os mesmos recursos tecnológicos de uma cidade digital, para tornar as principais rodovias da Paraíba conectadas com Internet *Wi-Fi* grátis e câmeras de videomonitoramento em lugares estratégicos.

## 4.2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi necessário realizar uma pesquisa de campo utilizando entrevista como instrumento de coleta e dialogando com os profissionais responsáveis pela infraestrutura de fibra óptica das operadoras OI e VIVO, a fim de compreender como funcionam as questões contratuais quanto ao aluguel de fibras de *backbone* das respectivas empresas de telecomunicações. Outra pesquisa foi realizada com alguns dos principais fabricantes de tecnologias PON – Digistar, Huawei e Fiberhome –, questionando-os, via e-mail para o suporte, sobre os detalhes técnicos de cada modelo, no tocante aos níveis de potência de transmissão e ao mínimo aceitável para potência de recepção.

A validação foi realizada por meio de testes e simulações, executados em bancada na empresa Fibratech, um provedor de Internet local da cidade de Campina Grande – PB, e no condomínio ParkVille Residence, também localizado na mesma cidade, onde foram analisadas as potências de transmissão dos ativos de redes e atenuações, assim como examinaram os requisitos, sensibilidade e saturação de potência óptica em toda rede de distribuição, para saber quais tipos de *splitters* utilizar e qual a distância mínima desejável para inserir os serviços ao longo das rodovias, bem como os testes de funcionalidades para garantir a operação dos serviços desejados.

A metodologia para elaboração de um projeto PON deve ser detalhada, rigorosa e exata, bem como toda ação desenvolvida, pois é nela que se desenvolve uma visão lógica da rede antes de desenvolver a ação física (PINHEIRO, 2017). Primeiro foram analisados os parâmetros dos elementos ativos (OLT e ONU) e, em seguida, os elementos passivos de rede (*Splitters*, Conectores e Cabo óptico) quanto aos níveis de potência e atenuações aceitáveis pelos fabricantes.

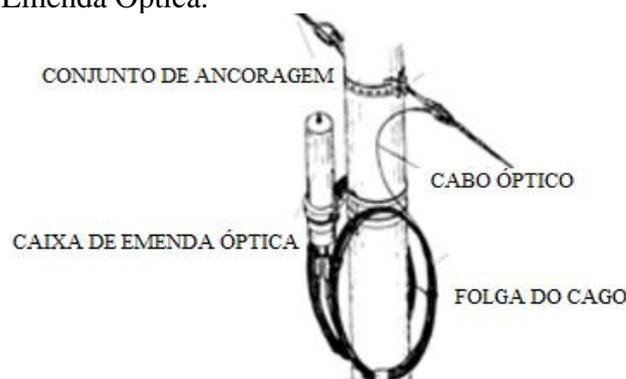
Com os resultados dos testes e simulações, por fim, o projeto foi elaborado atendendo o requisito principal para o pleno funcionamento da rede, que é a implantação de uma infraestrutura óptica com orçamento de potências adequado quanto aos níveis de recepção e transmissão na OLT e ONU.

### 4.3 PROJETO RODOVIAS CONECTADAS

As principais cidades do Brasil estão conectadas por meio de cabos ópticos das operadoras de telecomunicações, geralmente são cabos com 36 ou 48 vias. Em um cabo óptico as vias servem para conectar aos dispositivos de uma rede. Existem cabos de apenas uma via e de até 144 vias. Quando uma empresa deseja transportar dados entre cidades e não possui *link* de *backbone* próprio, é feito um contrato com a operadora proprietária do cabo existente, utilizando algumas vias para transmissão de dados. Um exemplo prático ocorre no Brasil, entre João Pessoa/PB e Campina Grande/PB, a operadora Tely utiliza um par de fibra óptica do *backbone* da operadora VIVO. Para elaboração do projeto é necessário realizar um levantamento, a fim de saber qual operadora possui cabo de fibra óptica às margens da rodovia, onde se deseja disponibilizar os serviços desejados, no caso, a inserção de pontos de *Wi-Fi* grátis e câmeras de segurança e, depois, firmar contrato e aluguel, sendo necessária apenas uma via do cabo.

A bobina desse cabo, também conhecida como carretel, é utilizada para acomodação da fibra e geralmente possui o tamanho de cinco quilômetros, portanto esse cabo será interceptado ao longo do trecho com uma caixa de emenda óptica. Dentro dela, é feita a fusão com outro cabo para seguir até seu destino. A forma como a caixa de emenda será fixada no poste é destacada na Figura 20.

**Figura 20** – Caixa de Emenda Óptica.

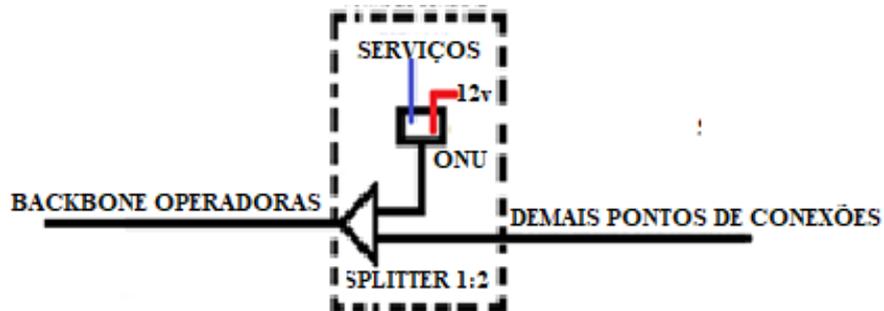


Elaboração própria.

Dentro dessas caixas de emenda óptica será inserido o *splitter* 1:2 assimétrico. Quando for extrair algum serviço para aquela localidade, seja câmera de segurança ou ponto de *Wi-Fi*, o sinal irá se dividir em dois, onde em uma via será inserida a ONU, que terá a função de roteador *Wi-Fi* e conectada à uma câmera IP, e a outra via será fusionada para seguir no

backbone e atender demais pontos de conexão. A topologia do projeto está presente na Figura 21.

**Figura 21** – Topologia para conexões.



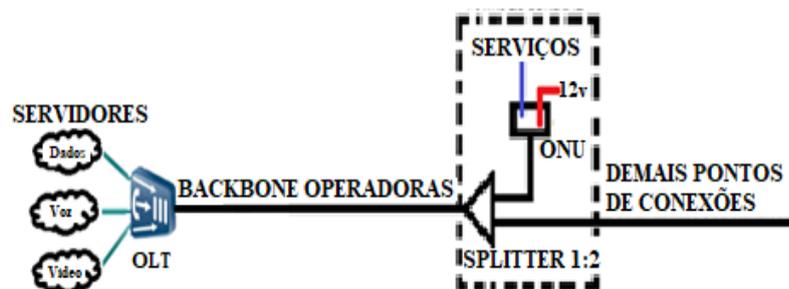
Elaboração Própria.

A OLT ficará situada no lugar onde serão inseridos os serviços. Haverá conexão entre ela e o servidor de Internet e com o servidor de vídeo. Para cada serviço, será configurada uma VLAN (*Virtual Local Area Network*), por exemplo:

- Serviço de Internet, VLAN 10;
- Serviço de Videomonitoramento, VLAN 11.

Na ONU, deverá ser configurada a VLAN, conforme o serviço que deseja ser extraído ao longo da rodovia. Essa OLT terá um alcance de, aproximadamente, 50 quilômetros, desse modo, deverá ser inserida outra OLT para repetir o sinal e seguir atendendo demais pontos de conexão. A topologia completa é apresentada na Figura 22.

**Figura 22** – Topologia Completa da Rede.



Elaboração Própria.

#### 4.4 VIABILIDADE FINANCEIRA

Esta seção visa enfatizar a viabilidade financeira do projeto proposto, realizando um levantamento superficial dos custos de implementação deste em comparação com a aquisição de uma infraestrutura própria de *backbone*.

Um cabo de fibra óptica com seis vias custa, em média, R\$ 1,80 por metro (FURUKAWA, 2020; PRYSMIAN, 2020). Ao incluir mão de obra e ferragens para sustentação de cabos, esse custo aumenta para cerca de R\$ 8,00 por metro. Tomando como base um trecho de, aproximadamente, 100 km de rodovia, o custo para implantação de cabos de fibra óptica seria por volta de R\$ 800.000,00. Vale ressaltar que, além desse custo, teria uma despesa mensal entre R\$ 2.000,00 e R\$ 5.000,00 para manutenção da rede.

Por outro lado, o que torna a solução proposta, economicamente, viável é a possibilidade de aproveitar a infraestrutura de fibra óptica pré-existente ao longo das rodovias, mediante um contrato de aluguel de uma via do cabo óptico. Estima-se que o custo desse aluguel seria da ordem de R\$ 2.000,00 por mês, independente do tamanho do trecho, já incluídas as taxas de manutenção da rede. Desse modo, não seria necessária a implantação de quilômetros de cabos, evitando altas despesas com aquisições de bens e custos operacionais.

## 5 RESULTADOS

Aqui, este estudo apresenta resultados constatáveis a partir de testes, bem como de todo aparato metodológico específico.

### 5.1 TESTES COM OLT E ONU

Os testes foram realizados no laboratório da empresa Fibratech, provedor de Internet, com a OLT Huawei SmartAX MA5883T XGPON e ONU, do mesmo fabricante, com o propósito de verificar a potência de transmissão, sensibilidade e saturação de ambos os equipamentos (Tabela 10). Entende-se sensibilidade como o máximo de potência óptica que a ONU necessita para seu funcionamento, ou seja, se uma ONU tem uma sensibilidade de 20 dBm, significa que não pode receber mais que esse valor. Compreende-se saturação como o mínimo de potência óptica que a ONU necessita para seu funcionamento, assim, se uma ONU tem uma saturação de 10 dBm, ela não pode receber menos que esse valor, podendo danificar o equipamento.

**Tabela 10** – Testes de Saturação e Sensibilidade, OLT e ONU.

<i>OLT</i>		
Potência de transmissão	Saturação	Sensibilidade
4,5 dBm	-10 dBm	-32 dBm
<i>ONU</i>		
Potência de transmissão	Saturação	Sensibilidade
4 dBm	-10 dBm	-30 dBm

Elaboração Própria.

Baseado nos testes acima, é imprescindível que as potências de recepção, tanto na OLT quanto na ONU, estejam entre -10dBm e -32dBm.

### 5.2 TESTES DE ATENUAÇÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Uma vez conhecidas as potências de transmissão, tanto na OLT quanto na ONU, a etapa seguinte consistiu em testes para descobrir a atenuação do sinal, passando por todos os elementos passivos de rede, conectados na OLT, que são: Conexões, fusões e o próprio cabo de fibra óptica. Os resultados constam na Tabela 11.

**Tabela 11** – Atenuações em Passivos de Rede.

<i>Item passive</i>	<i>Atenuação</i>
Conexão	0,4 dB por conexão
Fusão	0,01 dB por fusão
Cabo óptico	0,25 dB por Km

Elaboração Própria.

No desenvolvimento do projeto deve-se fazer o levantamento de todos os itens passivos que tenham na rede, considerando as atenuações que constam na Tabela 11, de maneira que, na soma total, o sinal de recepção não ultrapasse os limites informados na Tabela 10.

### 5.3 ATENUAÇÕES *SPLITTER* 1:2 DESBALANCEADO

Além dos testes para identificar as atenuações quanto às conexões, às fusões e ao próprio cabo óptico, outro fator importante a ser analisado é quanto aos *splitters*. Para que seja utilizada apenas uma via do cabo de fibra óptica, deverá ser considerado o *splitter* do tipo 1:2 desbalanceado e, para cada modelo, há uma atenuação diferente. Desse modo, é preciso identificar tais atenuações para saber quais tipos deverão ser utilizados. A Tabela 12 apresenta os resultados quanto às atenuações em cada tipo de *splitter* desse modelo.

**Tabela 12** – Atenuação *Splitter* 1:2 Desbalanceado.

<b>Modelo 1:2</b>	<b>Atenuação via 1</b>	<b>Atenuação via 2</b>
50 / 50	3,5 dB	3,5 dB
40 / 60	4,7 dB	2,7 dB
30 / 70	6 dB	1,9 dB
20 / 80	7,9 dB	1,2 dB
15 / 85	9,6 dB	1 dB
10 / 90	11,3 dB	0,65 dB
5 / 95	14,6 dB	0,4 dB
2 / 98	18,8 dB	0,3 dB
1 / 99	22,5 dB	0,25 dB

Elaboração Própria.

A via 1, por possuir maior atenuação, deverá ser conectada à ONU e a via 2, por ter uma menor atenuação, deverá seguir no *backbone* para atendimento aos demais pontos de conexão.

## 5.4 TESTES DE FUNCIONALIDADE

Todos os testes realizados anteriormente apresentaram resultados que ajudaram na elaboração do projeto físico. Dessa forma, foi possível garantir que as potências ópticas estarão em conformidade com as normas técnicas exigidas pelo fabricante. Nesta etapa, os testes foram realizados para garantir a parte lógica, ou seja, os serviços de Internet e videomonitoramento concentrados em uma OLT, por meio de uma rede PON.

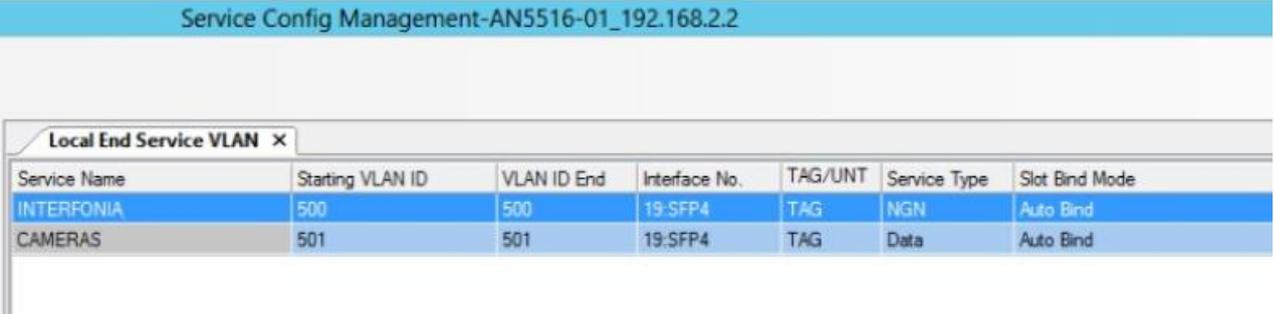
Os testes foram realizados no condomínio ParkVille Residence, que fica localizado no município de Campina Grande/PB. Esse condomínio possui uma infraestrutura própria de fibra óptica e, por meio de uma OLT modelo AN5516-01 do fabricante chinês FiberHome, agregam o sistema de interfonos, câmeras de segurança e Internet *Wi-Fi* para áreas comuns.

A OLT foi configurada com três VLANs de serviços:

- VLAN 500 para o serviço de telefonia VOIP (Interfones);
- VLAN 501 para o serviço de videomonitoramentos;
- VLAN 401 para o serviço de Internet.

Na Figura 23 é apresentada a tela de configuração de VLANs na OLT.

**Figura 23** – Configuração de VLANs na OLT.



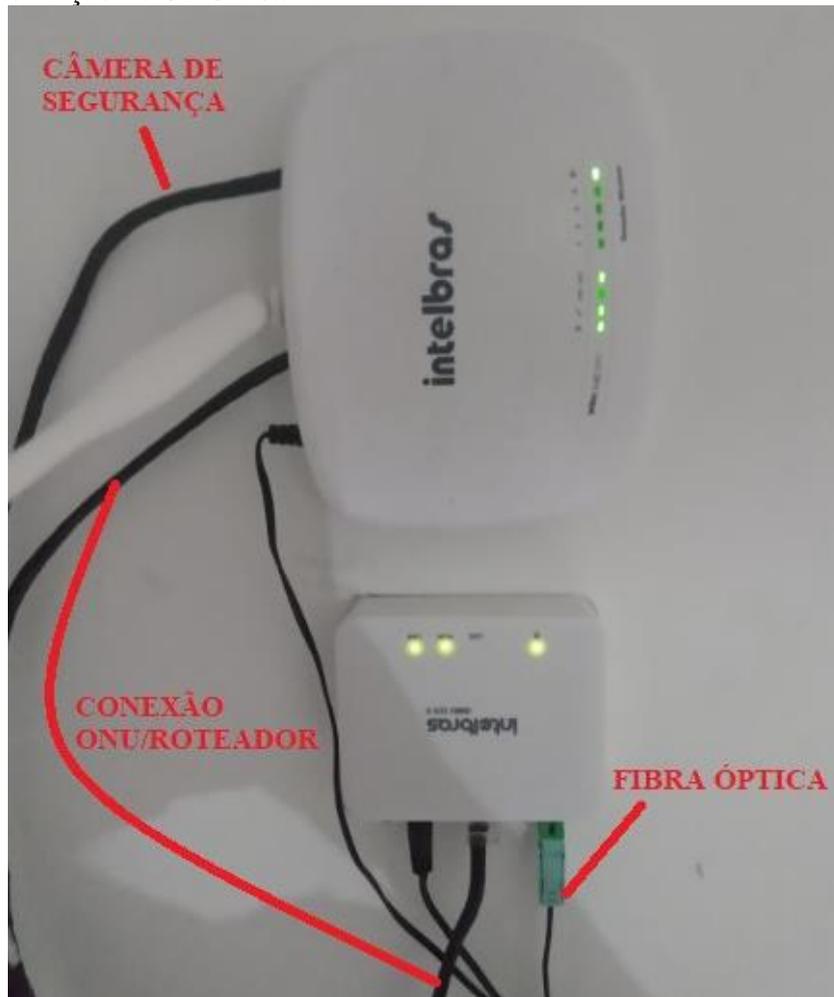
Service Name	Starting VLAN ID	VLAN ID End	Interface No.	TAG/UNT	Service Type	Slot Bind Mode
INTERFONIA	500	500	19-SFP4	TAG	NGN	Auto Bind
CAMERAS	501	501	19-SFP4	TAG	Data	Auto Bind

Elaboração Própria.

Na área da piscina foi instalada uma ONU com as VLANs de Internet e videomonitoramento (Figura 24). Como a ONU Intelbras possui apenas uma porta *ethernet*, foi instalado um roteador do mesmo fabricante com quatro portas. Na porta dois foi conectado um roteador *Wi-Fi* e à porta 3 foi conectada uma câmera de monitoramento.

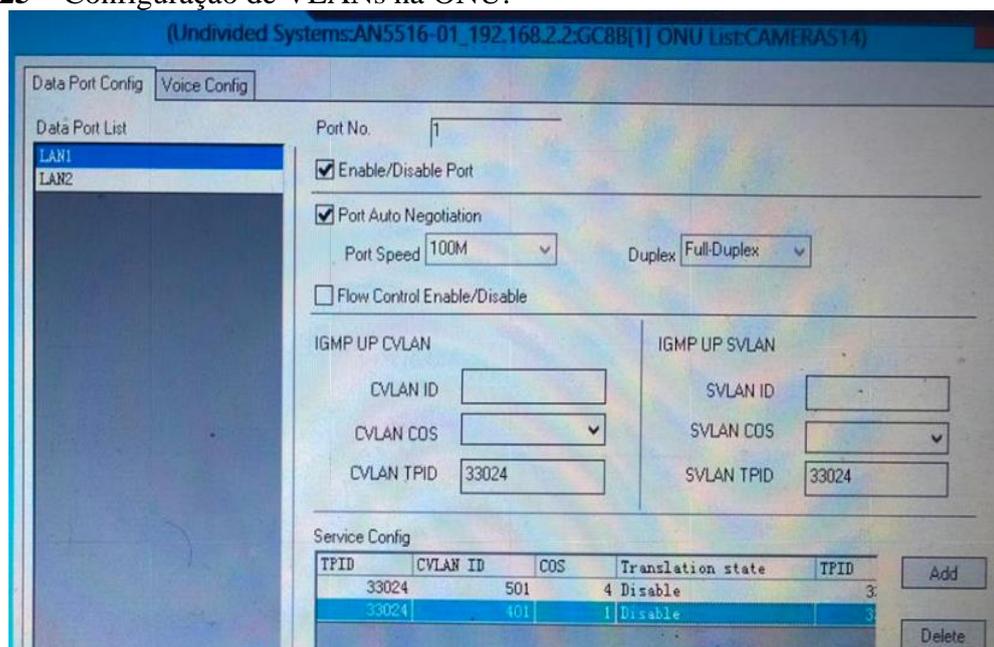
Para que haja o funcionamento dos serviços, foi configurada, na ONU, as VLANs 501 de Videomonitoramento e 401 para Internet. Na Figura 24 é apresentada a tela de configuração de VLANs na ONU.

**Figura 24** – Instalação de ONU e switch.



Elaboração Própria.

**Figura 25** – Configuração de VLANs na ONU.



Elaboração Própria.

A potência óptica, recebida na ONU, é de -22.67 dBm e está dentro do limite aceitável, o qual, conforme apresentado anteriormente, é: Saturação -10 dBm e Sensibilidade -30 dBm. O nível de potência de recepção é apresentado na Figura 26.

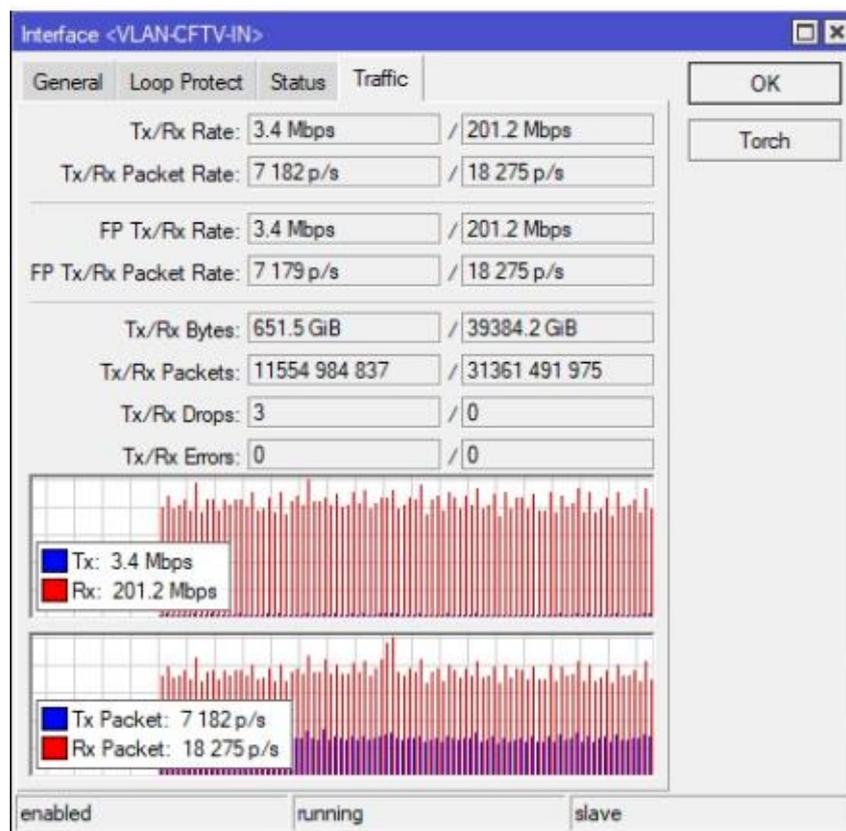
**Figura 26** – Nível de Potência de TX e RX na ONU.

Service Config Management-AN5516-01									
OptModule Para Information X									
Slot No.	PON No.	ONU No.	Optical Module Type(KM)	Temperatur(°c)	Voltage(V)	Bias current(mA)	Tx power(dBm)	Receive power(dBm)	
1	1	1	20	51.25	3.19	18.40	2.73	-22.67	

Elaboração Própria.

Por intermédio da aplicação dessas configurações, dividindo a rede por meio de VLANs, foi possível operacionalizar os serviços de telefonia IP, Internet e Videomonitoramento. O tráfego gerado pelas câmeras é apresentado na Figura 27.

**Figura 27** – Tráfego Gerado Pelas Câmeras.



Elaboração Própria.

O teste para o serviço de Internet foi realizado mediante a ferramenta “Ping” partindo do roteador de borda (Onde chega à Internet) para o roteador *Wi-Fi*, que fica na área da piscina (Figura 28).

**Figura 28** – Teste de Ping entre roteador de borda e roteador cliente.

```

64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=82 ttl=64 time=2.40 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=83 ttl=64 time=2.26 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=84 ttl=64 time=2.37 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=85 ttl=64 time=2.40 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=86 ttl=64 time=2.37 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=87 ttl=64 time=2.38 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=88 ttl=64 time=2.48 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=89 ttl=64 time=2.51 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=90 ttl=64 time=2.20 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=91 ttl=64 time=2.37 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=92 ttl=64 time=2.39 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=93 ttl=64 time=2.35 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=94 ttl=64 time=2.37 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=95 ttl=64 time=2.55 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=96 ttl=64 time=2.42 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=97 ttl=64 time=2.20 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=98 ttl=64 time=2.62 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=99 ttl=64 time=2.36 ms
64 bytes from 192.168.202.1: icmp_seq=100 ttl=64 time=2.41 ms

--- 192.168.202.1 ping statistics ---
100 packets transmitted, 100 received, 0% packet loss, time 99135ms
rtt min/avg/max/mdev = 2.140/2.467/4.305/0.341 ms

```

Elaboração Própria.

Foram 100 pacotes enviados e todos recebidos sem perda. Tempo mínimo 2.145 ms, médio 2.462 ms e máximo 5.368 ms.

## 5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E APLICAÇÃO PRÁTICA

Baseado nas potências de transmissão, sensibilidade e saturação dos dispositivos ativos, bem como as atenuações presentes nos elementos passivos da rede óptica, foi possível concluir, por este estudo, que a melhor forma de aplicar a solução – e tornar uma rodovia “conectada” por meio da tecnologia PON – seria utilizando o OLT XG-PON1 ou superior, pois seu alcance chega a 100 quilômetros, enquanto que as tecnologias de primeira geração, como EPON e GPON, possuem o alcance limitado a 20 quilômetros. A cada 65 quilômetros é possível inserir até 10 pontos de conexão para extrair o serviço desejado (*Wi-Fi* e câmeras de segurança).

Para um melhor entendimento, esta seção apresenta uma aplicação prática dos testes e resultados obtidos, explicando os requisitos para elaboração e execução de um projeto que beneficia o trecho da BR 230 entre Campina Grande/PB e João Pessoa/PB. A distância entre as respectivas cidades é de, aproximadamente, 140 quilômetros, e serão instalados 20 pontos de conexões contendo, em cada um deles, uma câmera de videomonitoramento e Internet *Wi-Fi* gratuita.

Serão instaladas duas OLTs, sendo uma em Campina Grande (OLT\_CGE) e outra em João Pessoa (OLT\_JPA). As principais configurações de ambas constam na Tabela 13.

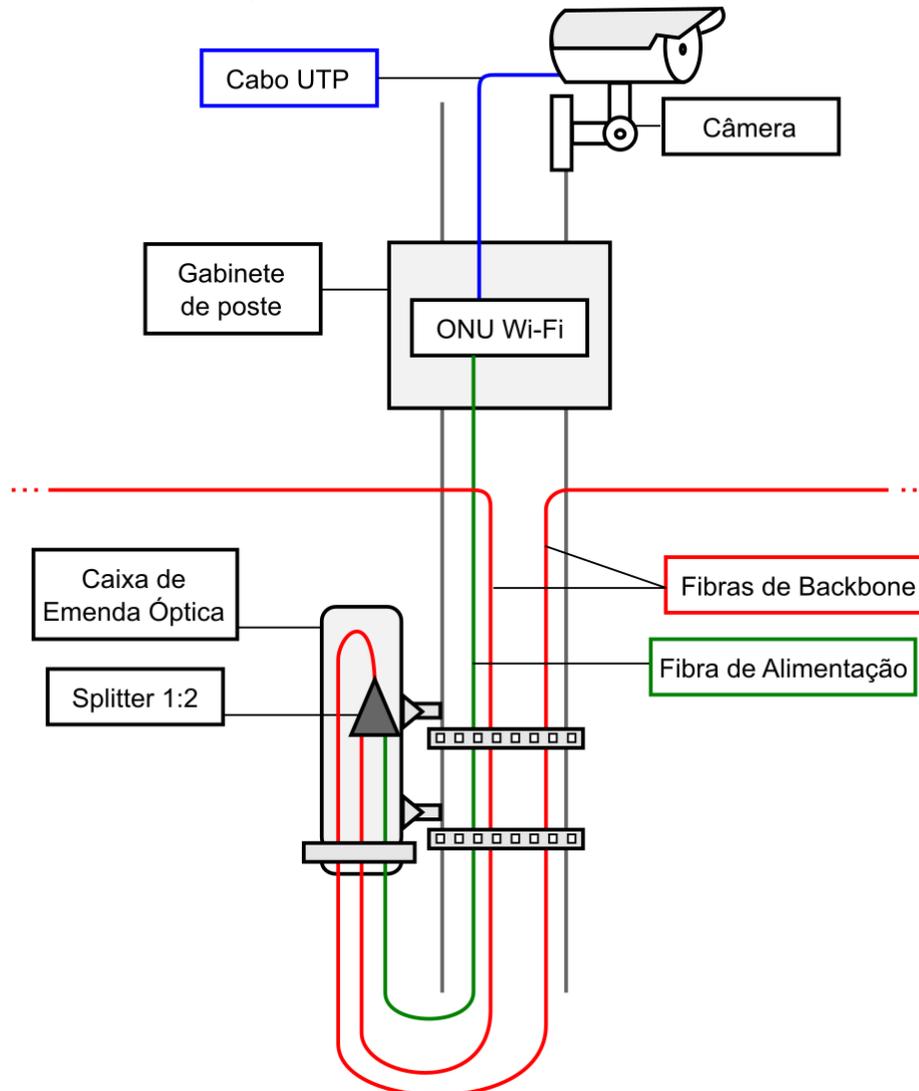
**Tabela 13** – Configurações básicas nas OLTs.

OLT	IP DE GERÊNCIA	VLAN DE DADOS	VLAN DE VÍDEO
OLT_JPA	10.0.0.1	10	11
OLT_CGE	10.0.0.2	10	11

Elaboração Própria.

Em cada ponto de conexão será instalado: um *splitter* 1:2 assimétrico, uma ONU *Wi-Fi* e uma câmera. As conexões são apresentadas na Figura 29.

**Figura 29** – Conexões entre *Splitter*, ONU e Câmera.



Elaboração Própria.

Os pontos de conexões de 1 a 10, serão instalados entre João Pessoa e o distrito do Cajá/PB, e receberão sinal da OLT\_JPA; já os pontos de conexões de 11 a 20 serão instalados entre Campina Grande e o município de Gurinhém/PB, e receberão sinal da OLT\_CGE. A Tabela 14 mostra os locais para instalação dos pontos de conexões.

**Tabela 14** – Locais de Instalações das ONUs.

ONU	DISTÂNCIA ENTRE ONU E OLT	LOCALIZAÇÃO
1	20 km da OLT_JPA	7°07'50.8"S 34°57'22.4"W
2	25 km da OLT_JPA	7°08'37.4"S 34°59'48.2"W
3	30 km da OLT_JPA	7°09'52.6"S 35°01'34.2"W
4	35 km da OLT_JPA	7°10'15.5"S 35°01'56.7"W
5	40 km da OLT_JPA	7°12'08.3"S 35°06'58.3"W
6	45 km da OLT_JPA	7°12'00.1"S 35°09'37.4"W
7	50 km da OLT_JPA	7°12'13.4"S 35°09'30.5"W
8	55 km da OLT_JPA	7°11'21.9"S 35°14'50.1"W
9	60 km da OLT_JPA	7°11'18.3"S 35°17'04.2"W
10	65 km da OLT_JPA	7°10'12.1"S 35°19'49.8"W
11	10 km da OLT_CGE	7°15'35.8"S 35°48'33.2"W
12	15 km da OLT_CGE	7°17'01.6"S 35°45'59.9"W
13	20 km da OLT_CGE	7°16'39.5"S 35°43'41.5"W
14	25 km da OLT_CGE	7°15'38.2"S 35°41'18.1"W
15	30 km da OLT_CGE	7°14'46.8"S 35°39'12.1"W
16	35 km da OLT_CGE	7°14'22.2"S 35°36'26.5"W
17	40 km da OLT_CGE	7°12'34.3"S 35°34'27.8"W
18	45 km da OLT_CGE	7°12'19.6"S 35°32'26.7"W
19	50 km da OLT_CGE	7°12'12.3"S 35°29'36.1"W
20	55 km da OLT_CGE	7°11'13.9"S 35°27'34.3"W

Elaboração Própria.

As distâncias são valores aproximados. Para definir os locais de instalação, deve-se levar em consideração dois pontos:

- Tentar instalar próximo às caixas de emenda óptica existentes, a fim de aproveitá-las, evitando seccionamento do cabo;
- Priorizar instalação ao longo da rodovia, evitando perímetro urbano, haja vista que nesses locais já existem várias formas de acesso à Internet e videomonitoramento.

A Figura 30 mostra as posições aproximadas para instalações entre João Pessoa/PB e Cajá/PB, e a Figura 31 entre Campina Grande/PB e Gurinhem/PB.

**Figura 30** – Locais de Instalação entre João Pessoa/PB e Cajá/PB.

Elaboração própria.

**Figura 31** – Locais de Instalação entre Campina Grande/PB e Gurinhem/PB.

Elaboração própria.

Conforme visto nos resultados obtidos na Tabela 10, para obter um bom desempenho no funcionamento dos serviços, é imprescindível que o sinal de recepção na OLT e ONU estejam dentro do limiar aceitável, desse modo, é necessário realizar um levantamento quanto às possíveis atenuações na rede. A Tabela 15 mostra o orçamento de potência óptica e os tipos de *splitters* que serão utilizados.

**Tabela 15** – Orçamento de Potência e tipos de *Splitters*.

(continua)

ONU	<i>Splitter</i>	Sinal de RX ONU	Sinal de RX OLT
1	5//95	-16,1 dBm	-16,6 dBm
2	5//95	-17,7 dBm	-18,3 dBm
3	5//95	-19,4 dBm	-19,9 dBm
4	5//95	-21 dBm	-21,5 dBm
5	5//95	-22,7 dBm	-23,2 dBm
6	10//90	-21 dBm	-21,5 dBm
7	15//85	-21,2 dBm	-21,7 dBm
8	20//80	-22,5 dBm	-23 dBm
9	30//70	-23 dBm	-23,5 dBm
10	30//70	-24 dBm	-24,5 dBm
11	5//95	-14,1 dBm	-14,6 dBm

**Tabela 15** – Orçamento de Potência e tipos de *Splitters*.

(conclusão)

12	5//95	-16,6 dBm	-17,2 dBm
13	5//95	-16,1 dBm	-16,6 dBm
14	5//95	-17,7 dBm	-18,3 dBm
15	5//95	-19,4 dBm	-19,9 dBm
16	10//90	-21 dBm	-21,5 dBm
17	15//85	-22,7 dBm	-23,2 dBm
18	20//80	-21 dBm	-21,5 dBm
19	30//70	-21,2 dBm	-21,7 dBm

Elaboração Própria.

É importante ressaltar, novamente, que esses valores são aproximados e podem sofrer alterações, devido a degradação no laser da porta PON na OLT, e possíveis manutenções na rede óptica.

Mesmo com os testes sendo satisfatórios, é importante destacar dois pontos negativos em usar essa topologia, que são:

- Como a rede é extensa, há mais chances de ocorrerem variações de sinal óptico no *backbone*, devido atenuações por fusões, conexões e por manutenções, afetando diretamente o desempenho da rede;
- As ONUs ficarão em cascata, ou seja, se houver algum problema em uma delas, as demais também serão afetadas.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A solução apresentada neste estudo, para tornar as principais rodovias conectadas, é financeiramente econômica, tendo em vista a possibilidade de utilizar um cabo de fibra óptica dentro de uma infraestrutura já implantada, por intermédio de aluguel com as operadoras de telecomunicações. As próprias operadoras podem implantar o projeto, além de órgãos públicos e demais empresas de tecnologia. A empresa ou órgão que adote tal solução, evitará despesas com aquisições de bens e custos operacionais, pois toda infraestrutura será adquirida através de aluguel. O fato de utilizar infraestrutura óptica existente torna o projeto bastante econômico, considerando que os valores atuais de cabos de fibra óptica, informados no Capítulo 1, evitaria um custo de mais de R\$ 200.000,00 a cada 100 km.

Apesar de ser uma tecnologia bastante utilizada para distâncias menores, fornecendo acesso à Internet nas residências, por meio da fibra óptica, a pesquisa mostrou, ao utilizar testes e simulações, que é tecnicamente funcional, desde que se utilizem os ativos e passivos de rede corretamente, prezando sempre para que o orçamento de potências ópticas estejam dentro do limiar aceitável.

Dentre os *benefícios à sociedade* pode-se destacar: Internet gratuita em pontos estratégicos, principalmente em áreas de sombra, onde não há possibilidade de comunicação por telefonia móvel e câmeras de monitoramento favorecendo a segurança pública.

Tal solução pode ser estendida para o fornecimento de *links* às torres de telefonia celular que ficam às margens das rodovias, principalmente à tecnologia 5G, que exigirá altas velocidades com baixa latência, requisitos que podem ser satisfatórios com a utilização da fibra óptica como meio de transmissão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANATEL. **Relatório Anual**. 2019. Disponível em: <https://www.anatel.gov.br/institucional/institucional-menu/relatorio-institucional>. Acesso em: 03 jun. 2020.
- ANATEL. **Zonas de sombra**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/consumidor/conheca-seus-direitos/telefoniamovel/cobertura-e-zona-de-sombra>. Acesso em: 14 out. 2020.
- ANATEL. **Plataforma Mosaico**. 2021. Disponível em: <http://sistemas.anatel.gov.br/se/public/cmap.php>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- AGRELL, E. *et al.* Roadmap Of Optical Communications. **Journal of Optics**, v. 18, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/2040-8978/18/6/063002>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2040-8978/18/6/063002/pdf>. Acesso em: 09 jun. 2020.
- BALANIS, C. A. **Antenna Theory Analysis and Design**. 4. ed. [S. l.]: Wiley, 2016.
- CARVALHO, B. N.; GEORGIADIS, A. **Wireless Power Transmission for Sustainable Electronics**. [S. l.]: Wiley. 2020.
- CISCO. CCNA Academy. **IEEE Ethernet standards**. 2018. Disponível em: <https://www.ccnacademy.com/2018/09/ieee-ethernet-standards.html>. Acesso em: 14 jul. 2020.
- COOMANS, W.; CHOW, H.; MAES, J. Introducing Full Duplex in Hybrid Fiber Coaxial Networks. **IEEE Communications Standards Magazine**, Canadá, v. 2, n. 1, p. 74-79, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MCOMSTD.2018.1700011>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8334925/authors#authors>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- FERNANDES, A. L. P. **Avaliação Técnico Econômica de Alternativas Backhaul e Fronthaul para Arquiteturas de Rádio Centralizado em Cenários 5G Indoor**. 2019. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
- FEY, A. F.; GAUER, R. R. **Cabeamento estruturado da teoria à prática**. 2. ed. Caixias do Sul: ITIT, 2014.
- FURUKAWA. **Catálogos de Produtos**. Disponível em: <https://www.furukawatam.com/pt-br/catalogo-de-produtos-detalhes>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- GORSHE, S. *et al.* DSL Technology – Broadband via Telephone Lines. **Wiley Online Library**, 2014, p.143-174. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/9781118878774.ch07>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781118878774.ch07>. Acesso em: 16 out. 2020.

HUANG, H.; CHENG, Y.; WEIBEL, R. Transport mode detection based on mobile phone network data: A systematic review. **Transportation Research Part C**, v. 101, p. 297-312, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.02.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X1831369X>. Acesso em: 23 set. 2020.

ISMAGILOVA, E. *et al.* Smart cities: Advances in research - An information systems perspective. **International Journal of Information Management**. 2019, v. 47, p. 88–100. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268401218312738>. Acesso em: 12 out. 2020.

ITU-T G.984.4. **Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): ONT management and control interface specification**, 2004.

JIA, Z.; CAMPOS, L. A. **Coherent Optical Access Networks**. Boca Raton: CRC Press, 2020.

KAVUN, S.; ZAMULA, A; MIKHEEV, I. Calculation of expense for local computer networks. *In: 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkov, 2017, p. 146-151. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246369>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8246369>. Acesso em: 24 out. 2020.

KUMARI, M.; SHARMA, R.; SHEETAL, A. Passive Optical Network Evolution to Next Generation Passive Optical Network: A Review. *In: 6th Edition of International Conference on Wireless Networks & Embedded Systems (WECON)*, Rajpura, India, p. 102-107, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/WECON.2018.8782066>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8782066>. Acesso em: 20 set. 2020.

KUROSE, J.; ROSS, K. **Redes de Computadores e a Internet**. 6. ed. Editora Pearson Education, 2013.

LAPLANTE, P. “Smarter” Roads and Highways. **IEEE Internet of Things Magazine**, v.1, n. 2, p. 30-35, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IOTM.2018.1800007>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8717599>. Acesso em: 20 set. 2020.

LIGO, A. K.; PEHA, J. M.; BARROS, J. Is It Cost-Effective to Share Roadside Infrastructure for Internet Access? *In: 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Sydney, Austrália, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/VTCspring.2017.8108560>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8108560>. Acesso em: 18 jul. 2020.

MEDEIROS, C. O. **Princípios de Telecomunicações**. São Paulo: Erica, 2007.

MILAN, S. N.; INA, M. B.; CICA, Z. G. Performance monitoring challenges in HFC networks. *In: 13th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications (TELSIKS)*, Nis, 2017, p. 385-388. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TELSIKS.2017.8246305>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8246305/authors#authors>. Acesso em: 22 ago. 2020.

NIXON, J. S.; DEVARAJ, A. F. S. A Study on Guided and Unguided Transmission Medias and a Proposed Idea to Extend the Limit of Gi-Fi. **Int. Journal of Engineering Research and Application**, v. 6, p.11-16, 2016. Disponível em: [https://www.ijera.com/papers/Vol6\\_issue7/Part%20-1/C060701011016.pdf](https://www.ijera.com/papers/Vol6_issue7/Part%20-1/C060701011016.pdf). Acesso em: 14 jul. 2020.

OI. **Perfil Corporativo**. Disponível em: [https://www.oi.com.br/ri/conteudo\\_pt.asp?idioma=0&tipo=43302&conta=28&id=215863](https://www.oi.com.br/ri/conteudo_pt.asp?idioma=0&tipo=43302&conta=28&id=215863). Acesso em: 14 jul. 2020.

OMAR, H. A.; LU, N.; ZHUANG, W. Wireless Access Technologies for Vehicular Network Safety Applications. *In: IEEE Network*, v. 30, n. 4, p. 22-26, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MNET.2016.7513860>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7513860>. Acesso em: 10 ago. 2020.

PETERSEN, K. *et al.* Systematic mapping studies in software engineering. *In: Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*. Swindon, GBR: BCS Learning & Development Ltd., 2008, p. 68–77. DOI: <http://dx.doi.org/10.5555/2227115.2227123>. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2227115.2227123>. Acesso em: 14 jul. 2020.

PINHEIRO, J. M. S. **Redes Ópticas de Acesso em Telecomunicações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

PIRES, A. S. **Solução Integrada para Configuração Automatizada de Ativos de Rede**. 2021. 80f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Informação) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação, Instituto Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

PRYSMIAN. **Cabos Ópticos e Conectividade**. Disponível em: <https://br.prysmiangroup.com/products-and-solutions/telecoms/telecomnetworks/optical-cables-and-connectivity>. Acesso em: 16 jul. 2020.

ROLAND, F. B. **Cidade Digital: Projeto Baseado em Tecnologia GPON**. 2018. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcidgpon/default.asp>. Acesso em: 12 jul. 2019.

SEKER, S. S.; ZEYBEK, N. E.; YENER, S. C. Unified Propagation Model for Determination of Macrocell GSM (2G, 3G, 4G) Coverage Areas. **Journal of Engineering Science and Technology Review**, v. 13, n. 3, p. 15 – 22, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.25103/jestr.133.03>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/342711361\\_Unified\\_Propagation\\_Model\\_for\\_Determination\\_of\\_Macrocell\\_GSM\\_2G\\_3G\\_4G\\_Coverage\\_Areas](https://www.researchgate.net/publication/342711361_Unified_Propagation_Model_for_Determination_of_Macrocell_GSM_2G_3G_4G_Coverage_Areas). Acesso em: 23 jul. 2020.

TANENBAUM, A. S.; WETHERALL, D. **Rede de Computadores**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

TELEFONICA. **Fornecedores**. Disponível em: <https://www.telefonica.com.br/>. Acesso em: 20 jul. 2020.

VISHAL, D. *et al.* IoT-Driven Road Safety System. **International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer and Optimization Techniques**, Mysuru, India,

2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICEECCOT.2017.8284624>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8284624>. Acesso em: 19 jul. 2020.

WALDOW, T. **Tutoriais Banda Larga**. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcameraip1/default.asp>. 2017. Acesso em: 12 jun. 2020.

WANG, J. *et al.* Delta-Sigma Digitization and Optical Coherent Transmission of DOCSIS 3.1 Signals in Hybrid Fiber Coax Networks. **Journal of Lightwave Technology**, v. 36, n. 2, p. 568-579, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JLT.2017.2775858>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8115134>. Acesso em: 16 jul. 2020.

ZHANG, Y. *et al.* GPON-and-EPON transmission based on multi-standard OLT management structure for VPON in metroaccess optical network. **Optical Switching and Networking**, v. 25, n. 1, p. 24-32, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.osn.2017.01.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1573427716300364>. Acesso em: 13 jul. 2020.

ZHANG, D. *et al.* Progress of ITU-T higher speed passive optical network (50G-PON) standardization. **Journal of Optical Communications and Networking**, v. 12, n. 10, p. 99-108, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1364/JOCN.391830>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9123509>. Acesso em: 14 jul. 2020.

## APÊNDICE A – DEPÓSITO DE PATENTE

Existe um depósito de patente (Modelo de utilidade), realizado pelo autor, por meio do processo número: BR 20 2019 009791 0, com título: Rodovias conectadas através de tecnologia PON e *backbone* das operadoras. O depósito da patente foi enviado pelo sistema de peticionamento eletrônico em 14/05/2019. O pedido atende formalmente as disposições legais, especialmente quanto ao Art. 19 da LPI e o Instrução Normativa nº 31/2013, estando apto a ser protocolado. Abaixo os detalhes do pedido quanto às Reivindicações e Relatório Descritivo:

### REIVINDICAÇÕES

**1. Rodovias conectadas através de tecnologia PON e *backbone* das operadoras,** caracterizado pelo fato que compreende: Em utilizar uma tecnologia GPON (Gigabit Passive Optical Network), para transmitir o link de dados, voz ou vídeo a pontos de conexões, através da OLT (Óptical line terminate) que terá a função de controlar o fluxo desses dados e concentrar diversas ONTs ( Óptical network unit) que ficará em lugares estratégicos ao longo das rodovias, podendo suportar até 128 ONT/pontos de conexões por porta PON da OLT.

**2. Rodovias conectadas através de tecnologia PON e *backbone* das operadoras,** caracterizado por apresentar os itens descritos na reivindicação 1, e por utilizar um projeto com splitter desbalanceado 1:2 (uma fibra na entrada, transformando em duas saídas), utilizando apenas uma via de fibra óptica de um *backbone* já existente das operadoras.

**3. Rodovias conectadas através de tecnologia PON e *backbone* das operadoras,** caracterizado por apresentar os itens descritos na reivindicação 1, por utilizar o projeto citado na reivindicação 2, com os seguintes detalhes: Uma OLT localizada numa central, para concentrar um conjunto de ONTs, localizadas em lugares estratégicos as margens das rodovias, utilizando apenas uma via de fibra óptica de um *backbone* existente, pertencente a alguma operadora, que fornecerá essa via através de contrato, essa única via será conectada a um splitter de 1:2 desbalanceado, interceptando o cabo com uma caixa de emenda óptica, onde uma via desse splitter se conectará a uma ONT, que por sua vez fornecerá naquele lugar estratégico algum serviço (Internet, telefonia, videomonitoramento, etc), e a outra via do splitter de 1:2 seguirá no *backbone* para conectar outros pontos de conexão.

**4. Rodovias conectadas através de tecnologia PON e *backbone* das operadoras,** caracterizado por apresentar os itens descritos na reivindicação 1, por utilizar o projeto citado na reivindicação 2, com os detalhes da reivindicação 3 e por levar em consideração a potência

de transmissão da porta PON na OLT, e a sensibilidade (mínimo de potência óptica recebida) da ONT, calculando as atenuações ao longo do trecho, seja por fusões, conexões ou pelos próprios splitters de 1:2, garantindo então uma quantidade ideal de ONTs por porta PON, havendo ou não necessidade de inserir outras OLTs ao longo do trecho, a fim de conectar outras ONTs e OLTs.

**5. Rodovias conectadas através de tecnologia PON e *backbone* das operadoras,** caracterizado por apresentar os itens descritos na reivindicação 1, por utilizar o projeto citado na reivindicação 2, com os detalhes da reivindicação 3, por levar em consideração os itens da reivindicação 4, e por se atentar para o seguinte detalhe: Quando o lugar estratégico/Ponto de conexão não houver como extrair energia da concessionária local para alimentação da ONT, utilizar uma placa de energia solar suficiente para sua energização, baseado na potencia da mesma.

### **Relatório Descritivo**

[001] A tecnologia PON tem sido cada vez mais incluída nos serviços oferecidos para o acesso de banda larga. O GPON é um dos padrões que faz parte das normas PON, seu funcionamento é basicamente através de um Terminal de Linha Óptica (*Optical Line Terminal – OLT*), instalado num site central, e por diversos terminais de rede Óptica (*Optical Network Terminal – ONT*), que são conectados a OLT através de fibra óptica oferecendo os serviços de internet, voz, vídeo etc, uma unica porta PON da OLT, é possível conectar até 128 ONTs, através de divisores ópticos (splitter). A figura 1 mostra uma topologia GPON.

[002] Outras características relevantes da tecnologia GPON são: Opera em velocidades de 2,5 Gbps para *downstream*, e 1,25 Gbps para *upstream*, com largura de banda assimétrica, destaca-se pela sua principal característica em não necessitar de eletricidade no meio de transmissão, dispensando o uso de equipamentos ativos entre central local e o equipamento do usuário final de rede, e um alcance de 20 quilômetros entre a OLT e ONT. A evolução da tecnologia (XGPON, NGPON1, NGPON2, etc) vem aumentando a capacidade de ONTs por portas, as velocidades de down e up por porta e o alcance, podemos aplicar a solução em qualquer tecnologia, mas aqui abordaremos como GPON.

[003] Tornar uma rodovia conectada utilizando a tecnologia GPON é inviável, devido ao alto custo da fibra óptica. A presente invenção trata-se de uma solução utilizando fibra óptica existente as margens das principais rodovias, esses cabos são instaladas para o *backbone* das operadoras, por exemplo, em João Pessoa-PB, tem fibra até Recife-PE, até Natal-RN e até

Patos-PB (operadoras OI e VIVO), são cabos com mais de 36 vias e naturalmente com uma certa quantidade de vias sobrando, portanto, utilizando no máximo duas vias desses cabos, e firmando contrato com as operadoras, tornaria viável o transporte de voz, dados, vídeo, etc, através de tecnologias PON, distribuindo tais serviços em lugares estratégicos às margens das principais rodovias do país.

[004] Para um melhor entendimento da invenção, consideremos que na solução aplicada, nesses lugares estratégicos, teremos um ponto de conexão, alguns exemplos desses pontos são: Câmeras de segurança com raio de 360° e alta capacidade, internet *WI-FI* grátis, internet em radar fixo, internet e serviços de voz sobre IP em órgãos como polícia rodoviária federal e estadual, e receita estadual.

## **ANEXO A – COMPARTILHAMENTO DE REDES ENTRE EMPRESAS DE TELECOMUNICAÇÕES**

Um dos fatores mais importantes nesse trabalho é quanto à economia financeira na execução do projeto para tornar uma rodovia conectada, que seria utilizando as redes de fibra óptica existentes ao longo das rodovias, as quais pertencem às operadoras de telecomunicações e grandes provedores de Internet, evitando, com isso, o alto investimento em fibra óptica. A Abranet (Associação Brasileira de Internet) enfatiza a importância para o crescimento das redes de telecomunicações com o compartilhamento de redes entre empresas do ramo. A seguir a matéria na íntegra sobre o assunto:

### **Swap de fibras e compartilhamento de canais viabilizam novas redes<sup>4</sup>**

Firmar parcerias para compartilhar redes tem sido uma alternativa para as empresas de internet construir redes de alta capacidade, que requerem altos investimentos. “As parcerias e os compartilhamentos são um processo importante para rentabilizar a rede”, disse Rui Gomes, CEO da UM Telecom, em entrevista.

Na hora de escolher parceiro, Gomes aponta que tem de ser uma relação de confiança, porque as empresas vão construir trechos. “Você vai entregar o trecho seu e ele, o dele. Tem de ter a confiança de que ele vai entregar dentro do prazo para você honrar os compromissos com seus clientes”, detalhou.

A UM Telecom tem investido na construção de rede de fibra óptica, principalmente, em regiões do Nordeste que são desassistidas pelas grandes operadoras. Em palestra durante o XI Seminário TelComp 2018, Rui Gomes, CEO da UM Telecom, explicou que o objetivo da empresa é construir infraestrutura para as aplicações passarem e que a rede já atende a todos os Estados do NE e conta com interligação com Rio de Janeiro e São Paulo.

“Precisamos construir redes e também compartilhar a infraestrutura para termos custo menor, fazer swap de fibras, de capacidade e de canais. São vários modelos de negócios que podemos ter para a rede se expandir”, afirmou. “As competitivas aproveitaram gap de mercado deixado pelas grandes e temos mercados que são desassistidos pelas grandes e onde temos rede de fibra óptica e elas não. E estas localidades também têm necessidade grande de banda larga”, completou.

---

<sup>4</sup> PRESCOTT, R.; SUZUKI, R. Swap de fibras e compartilhamento de canais viabilizam novas redes. 2018. Disponível em: <https://www.abranet.org.br/Noticias/Swap-de-fibras-e-compartilhamento-de-canais-viabilizam-novas-redes-2167.html?UserActiveTemplate=site#.YKHnQ7VKjIU>. Acesso em: 12 jan. 2021.

Hoje, o Nordeste tem carência grande de infraestrutura e para fazer funcionar a economia digital é necessário investir em novas tecnologias de infraestrutura, como DWDM e tecnologia de interconexão de data centers (DCI). “Também é preciso focar em desenvolver soluções e fazer parceria com fabricantes que são bastante estratégicas para desenvolver e estruturar a nossa rede”, afirmou.

No entanto, obter crédito ainda é um desafio para as empresas de internet. Na entrevista, Gomes avaliou a situação atual de obtenção de crédito.

**ANEXO B – PROJETO DE LEI APRESENTADO NA ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DA PARAÍBA**



**ESTADO DA PARAÍBA  
ASSEMBLEIA LEGISLATIVA  
Casa de “Epitácio Pessoa”  
Gabinete do Deputado Manoel Ludgério**

**INDICAÇÃO nº. 560 /GDML.**

**AUTOR: DEPUTADO MANOEL LUDGÉRIO**

INDICO, nos termos do Art. 111, Inciso I do Regimento Interno (Resolução nº 1.578/2012), que seja encaminhada manifestação desta Casa Legislativa ao Excelentíssimo Senhor João Azevedo, Governador do Estado, no sentido de que o mesmo adote a iniciativa do Projeto de Lei que segue anexo, que dispõe sobre a implantação do Projeto “Rodovias Estaduais Conectadas”. Em face da impossibilidade de iniciativa parlamentar, por se tratar de matéria legislativa relacionada dentre as de iniciativa privada do Governador do Estado, conforme preconizado no Art. 63 da Constituição Estadual, encaminho a presente indicação legislativa, haja vista tratar-se de matéria de relevante e inegável interesse público.

**JUSTIFICATIVA**

A proposta desta indicação é de sugerir a implantação do projeto “Rodovias Estaduais Conectadas”, que consiste em oferecer recursos de internet e câmeras de segurança em rodovias ou estradas estaduais, utilizando tecnologias PON (Passive Óptical Network), com o objetivo de torná-las mais seguras.

**Segue abaixo relatório que justifica esta indicação.**

Sala das Sessões da Assembleia Legislativa da Paraíba, 20 de agosto de 2020.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Manoel Ludgério'.

**MANOEL LUDGÉRIO**  
Dep. Estadual – PSD/PB



ESTADO DA PARAÍBA  
ASSEMBLEIA LEGISLATIVA  
Casa de “Epitácio Pessoa”  
Gabinete do Deputado Manoel Ludgério

**PROJETO “RODOVIAS ESTADUAIS CONECTADAS”**

(APRESENTAÇÃO)

As cidades estão mais conectadas, investindo em infraestrutura de telecomunicações focada na transmissão de dados. Parte desses investimentos são de empresas privadas e outros do próprio governo. Entre os serviços, destaco dois: Internet

- É cada vez mais comum desfrutar de Internet Wi-Fi gratuita em praças públicas, parques e demais lugares com grandes movimentações; Câmeras de Segurança - Seja nos comércios locais ou de órgãos públicos, as cidades estão repletas de câmeras de segurança, isso ajuda bastante no combate ao crime e conscientização das leis de trânsito.

Mas por que não estender essas soluções às rodovias federais e estaduais? Por que não vemos nenhuma câmera de segurança ao longo das estradas? Por que não temos pontos de Wi-Fi gratuita em lugares estratégicos onde sequer existe sinal de telefonia móvel às margens das rodovias? A resposta mais concreta para essas perguntas é: Devido ao alto investimento na implantação de meios físicos (Cabos, sinais via rádio, satélite ou fibra óptica) para comunicação. Meu projeto apresenta uma solução inovadora, financeiramente viável e tecnicamente possível, visando economia e qualidade na transmissão de sinais à longa distância, utilizando tecnologias PON (Passive Óptical Network), tornando as rodovias tão conectadas quanto as grandes cidades. Por que financeiramente viável? Nas principais rodovias do nosso estado já existem cabos de fibra ópticas que pertencem as operadoras de telecomunicações e provedores de Internet que servem basicamente para conectar cidades. Esses cabos possuem de 6 a 48 vias de fibra óptica, e geralmente possuem vias sobrando. A ideia é utilizar essas vias que sobram, para transmissão do sinal de Internet e Videomonitoramento no caso das câmeras, seja o governo firmando contrato de aluguel com as empresas proprietárias desses cabos ou as próprias empresas fornecendo os serviços, por meio de contratos de licitação, evitando assim, um investimento de milhões para lançar cabos novos.

Por que é tecnicamente possível? Por meio de tecnologias PON, explicando resumidamente, essas tecnologias utilizam um equipamento que serve como concentrador óptico, denominado OLT (Óptical Line Terminate), que fica localizado nas centrais das empresas de telecomunicações, nela são configurados os serviços (Internet e Videomonitoramento). Com apenas uma via do cabo de fibra óptica existente, conectado a essa OLT, é possível inserir serviços de internet e câmeras de segurança ao longo da rodovia, utilizando um divisor óptico que divide o sinal em dois. Então, onde desejar inserir os serviços, implanta-se esse divisor de potência óptica.

**Fonte:** Projeto de Mestrado do Mestrando em Tecnologia da Informação pelo Instituto Federal da Paraíba - IFPB, **Wanderley Almeida de Melo Júnior**, Graduado em Tecnologia da Informação, Pós-Graduado em Engenharia de Redes de Computadores.