



Proposta para Grupo de Trabalho 2022

**Olho no Enlace! (OnE!): Supervisão Contínua,
Escalável e Acessível para Plantas de Cabos
Ópticos em Redes de Campus e Metropolitanas
Assistida por Aprendizagem de Máquina.**

Prof. Dr. Camilo A. R. Diaz

25/09/2022

1. Título

Olho no Enlace! (OnE!): Supervisão Contínua, Escalável e Acessível para Plantas de Cabos Ópticos em Redes de Campus e Metropolitanas Assistida por Aprendizagem de Máquina.

2. Coordenador Acadêmico

Camilo A. R. Diaz

Universidade Federal do Espírito Santo

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2410092083336272>

Google Scholar: <https://scholar.google.es/citations?user=lpGDEHkAAAAJ&hl>

Informação de contato: camilo.diaz@ufes.br

3. Líder e Assistente(s) de Inovação

Ricardo C. de Mello

Universidade Federal do Espírito Santo

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1569638571582691>

Google Scholar: <https://scholar.google.com.br/citations?user=ZrIpfkUAAAAJ&hl>

Informação de contato: ricardo.c.mello@ufes.br

Renato Souza Silva

QMC Telecom International e Vixphy Soluções de Computação Em Nuvem LTDA

LinkedIn: <https://br.linkedin.com/in/renato-silva-7a029b49>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5621222487285967>

Google Scholar: <https://scholar.google.com.br/citations?user=i7ouhtsAAAAJ&hl=pt-BR>

Informação de contato: renato@vixphy.com.br

Luiz Guilherme Bergamaschi Bueloni

Rede Nacional de Pesquisa - PoP-ES

LinkedIn: <https://br.linkedin.com/in/luiz-guilherme-bergamaschi-bueloni-24903823b>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0046171208377897>

Informação de contato: luiz.bueloni@pop-es.rnp.br

4. Tópicos de Interesse

Principal: CT-MON (Monitoramento de Redes)

Secundário: CT-IA (Inteligência Artificial)

Tópicos de Interesse: Internet das coisas, Inteligência Artificial, Big Data e Cibersegurança

5. Parcerias e respectivas contrapartidas

A instituição executora deste Projeto será a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e o Projeto será executado pelos Laboratório de Telecomunicações (LabTel) e Núcleo de Estudos em Redes Definidas por Software (NERDS) da universidade. Ambos laboratórios estão inscritos no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq e possuem largo histórico na execução de projetos de pesquisa e inovação. Ambos laboratórios contam com infraestrutura adequada para o desenvolvimento do Projeto e irão disponibilizar espaço de trabalho e computadores para os bolsistas, assim como bancadas para prototipação, para montagem de testbed e para experimentação. O NERDS irá disponibilizar parte de seu datacenter e sua infraestrutura de computação em nuvem para a execução de experimentos preliminares no desenvolvimento do MVP. Os equipamentos necessários para realização do Projeto cuja compra não está prevista no orçamento deste Projeto também serão disponibilizados pelos laboratórios participantes.

Na direção de consolidação do MVP o GT-OnE! estabelecemos parceria estratégica com o ponto de presença da RNP na UFES (PoP-ES). Preferimos este arranjo com o PoP (no lugar de uma parceria com startup) por entendermos que os PoPs representam o cliente foco desta solução, o qual poderá estender à rede de Campus das Instituições que são potenciais clientes, conforme detalhamento no Plano de Negócios. O MVP será demonstrado utilizando a contrapartida da infraestrutura da rede metropolitana Metrovix e na rede campus da UFES. Este Projeto prevê a alocação de um bolsista que irá desenvolver atividades do Projeto relacionadas ao PoP-ES, sendo parte da carga horária do bolsista alocada no PoP-ES sob orientação de um Assistente de Inovação. Por fim, o segundo Assistente de Inovação será responsável pela prospecção de oportunidades/negócios fora do âmbito acadêmico/PoPs uma vez que além de estar ligado a uma startup local é Global Operations Manager de uma empresa multinacional na área de comunicação.

6. Descrição da Proposta

6.1. Sumário Executivo

O GT-OnE! propicia a supervisão contínua de plantas ópticas customizadas para o nicho de redes de campus e metropolitanas a fim de garantir altos níveis de disponibilidade, tal qual exigido atualmente. Este problema é abordado pelo GT-OnE! de forma pragmática, visando o desenvolvimento de uma solução escalável e integrável. A solução parte do uso de elementos ópticos *commodity* para extrair diversas informações de camada física da planta óptica, aproveitando-se de grandes quantidades de dados monitorados e de aprendizagem de máquina. Dessa forma, o GT-OnE! reduz custos associados à identificação de eventos ao mesmo tempo que aumenta a capacidade de identificar causalidade de eventos. Isso se deve à medição direta da transmissão em baixo nível, enquanto que medições em níveis mais altos têm acesso apenas a efeitos indiretos dos eventos monitorados. Ou seja, eventos imperceptíveis às camadas superiores de monitoramento poderão ser identificados e alarmados, trazendo ao GT-OnE! à funcionalidade de predição de falhas. A solução GT-OnE! será facilmente integrável com redes de gerência tradicionais, utilizando-se de interfaces SNMP, Syslog e OAM do Ethernet. Assim, o GT-OnE! busca vantagem competitiva ao fornecer uma solução de monitoramento contínuo com características de IoT, isto é, primando por baixo custo, escalável e com autonomia energética e de comunicação visando avançar na integração de funcionalidades inovadoras de exploração de plataformas em nuvem e aprendizagem de máquina.

6.2. Desenvolvimento Tecnológico

Há uma crescente centralidade dos sistemas de comunicação, e da internet em particular, nas nossas atividades cotidianas. Presentemente, a infraestrutura física de comunicação torna-se ainda mais crítica com migração de softwares, serviços, plataformas e funções para fora das instituições pela ampla adoção da computação em nuvem. Como consequência, há a necessidade técnica de monitoramento ininterrupto da saúde dos cabos ópticos. Diferente dos demais elementos do sistema de comunicação, os cabos são ativos expostos em postes (e/ou dutos) margeando rodovias, ferrovias e ruas. Tais cabos estão, portanto, vulneráveis a intempéries do clima, acidentes nas vias de transporte ou da construção civil, vandalismo e também, face às desigualdades sociais e econômicas, à ocorrência de furtos equivocados em busca de metais para reciclagem. No contexto de cibersegurança, a exposição física da fibra em locais públicos cria uma ampla superfície de ataque no que tange à disrupção intencional, mas também à espionagem em nível físico das comunicações.

Um eventual rompimento de cabo óptico tem um enorme custo operacional de deslocamento de equipe, longo tempo de localização e de reparo. E, evidentemente, ainda há a diminuição dos indicadores de disponibilidade de serviços e satisfação dos clientes - o que pode representar prejuízo muito maior que o custo de reparo. Identificação e localização de falhas é, portanto, fundamental. Porém, a predição de falhas explorando ferramentas modernas, como o aprendizado de máquina, está ganhando cada vez mais atenção como estratégia de antecipação a eventos [1] - o que poderia evitar os problemas descritos acima.

O “padrão ouro” de monitoramento de fibras em cabos ópticos durante a sua instalação é pelo uso de um equipamento conhecido como *Optical Time Domain Reflectometer* (OTDR) [2]. Daí, para atender a demanda descrita acima, para monitorar constantemente durante a operação regular do cabo óptico, atualmente OTDRs têm sido transformados em sistemas de monitoramento contínuo. O ITU-T tem uma série de Padrões L que trata da construção, instalação, proteção de cabos e outros elementos de planta externa. O OTDR pode ser colocado em fibras reservas, comprimentos de onda não utilizados em fibra em operação. Mais especificamente, a recomendação ITU-T L41 determina comprimentos de onda de manutenção (“*maintenance wavelength*”) para trabalho em fibra que já transportam sinais. As grandes operadoras de telecomunicações adotam com sucesso estes sistemas de monitoramento de cabos equipamentos de supervisão na sua planta de fibra, os quais envolvem, além do OTDR, um monitor de potência e também chaves ópticas para comutar os módulos anteriores para que alcancem as diversas fibras do cabo (ou fibras de cabos diferentes) [3],[4]. Um único equipamento desses em um “centro de fios” em uma operadora pode ser usado para monitorar com conjunto grande de fibras/cabos, diluindo o seu custo. Todavia, para algumas aplicações, a abordagem multiplexação temporal da medida, e o longo tempo em cada medida do OTDR, pode inviabilizar seu uso. A integração da planta de fibras aos sistemas de “*operation administration and maintenance*” (OAM) é um passo importante para ajudar a resolver o problema clássico de delimitação de domínios e isolamento de falhas (e também de responsabilização) para redução do tempo de indisponibilidade do sistema. Do ponto de vista moderno, entretanto, o monitoramento move-se na direção do “*big data*” visando a detecção de padrões para diagnósticos complexos e também predições de falhas [5].

A realidade econômica e topológica e do número de cabos das redes em campus universitários e em metropolitanas, entretanto, é bem diferente do cenário da planta de

fibra em provedores backbones. Nem por isso é menor a necessidade e a pressão crescente de monitoramento contínuo uma vez que pode ser o elo fraco que leva o sistema de comunicação à indisponibilidade. O orçamento disponível e número de fibras e a topologia de interconexão não permitem a economia de escala presente em “centro de fios” no processo de gerenciamento contínuo. Uma alternativa recente é dotar os próprios transceptores ópticos de funcionalidades avançadas OAM como os denominados *Smart SFPs* [6]; e até mesmo de medição, pela integração de um micro OTDR nos transceptores [7], [8]. Entretanto, o custo de tais dispositivos é ainda muito alto e a escalabilidade limitada. Não há uma sistemática definida de uso de forma a garantir cobertura de cabos, fibras e trechos. Do ponto de vista de consolidação de informações, embora sigam alguns padrões/protocolos populares, cada fabricante implementa diferentes funcionalidade e não há garantia de integração plena entre eles quando consideramos redes heterogêneas - o que pode gerar “*vendor lock-in*”.

O GT-OnE! visa atacar, de forma pragmática, escalável e integrada, o problema de supervisão contínua de plantas ópticas. O nicho é a planta de cabos ópticos em redes de campus e metropolitanas. Além de fornecer os serviços básicos de OAM o GT-OnE! permite ainda exploração de aprendizagem de máquina sobre o grande conjunto de dados (big data) que extrai da camada física da planta óptica usando elementos ópticos commodity, isto vai permitir em custo reduzido, melhor identificar causalidade de eventos, uma vez que os níveis mais altos de medição têm acesso apenas a seus efeitos indiretos. Mais ainda, eventos, que são inicialmente imperceptíveis às camadas superiores, poderão ser identificados e alarmados dando a entrada do GT-OnE! no campo de predição de falhas.

Nesse contexto, é um objetivo da invenção fornecer um sistema de monitoramento de cabos ópticos capaz de monitorar constantemente a saúde dos cabos ópticos, conceito apresentado na Figura 1. Primeiramente, a planta óptica é integrada ao sistema de monitoramento via *patch panel*. A função deste primeiro módulo é justamente flexibilizar o sistema proposto, ou seja, dependendo das características da planta óptica, como por exemplo a disponibilidade da fibra (ativa/inativa), tamanho do link, monitoramento na transmissão/recepção, entre outros, o sistema é reconfigurável com um custo operacional muito baixo. Essa eficiência é alcançada pois reconfigurações e alterações de SFPs e *patch cords* podem ser feitas para adaptar a solução à condição da planta óptica. Para a reconfiguração do sistema, o *patch panel* se comunica com dispositivos ópticos passivos (*splitter/combiner*, WDMs, Mux /Demux, polarização), os quais por sua vez se integram ao arranjo de SFPs. Dois tipos de monitoramento podem ser executados: i) monitoramento de potência óptica para integridade do link óptico; ii) uso de interferometria para estimativa de eventos ao longo do link, assistida por algoritmos de aprendizado de máquina. O paradigma de computação em nuvem vai ser explorado também na modalidade borda, como descreveremos abaixo.

Para controle e aquisição de dados dos SFP, é usado um microcontrolador (μC) de alto desempenho e baixo custo o qual contém comunicação serial I2C (comumente usada no SFP para acessar à memória) e conversores analógico a digital (ADC) com 12 bits de resolução com taxas de até algumas centenas de kHz. Parte do processamento de sinais será realizado na borda e parte em nuvem (dependendo do tipo de análise a alarme a ser disparado ao sistema de gerência. A implementação de protocolos de OAM serão feitos nesta ponta do sistema.

Adicionalmente o μC conta com módulo de comunicação ethernet para acesso à rede por cabo [9], e módulos de comunicação sem fio como WiFi e LoRa podem ser

facilmente integrados para aplicações específicas onde o acesso à rede por cabo pode estar restrito. Autonomia energética pode ser buscada fechando o caráter de IoT da abordagem do OnE! de forma a pode ser instalado sem exigir recursos locais de rede e de alimentação.

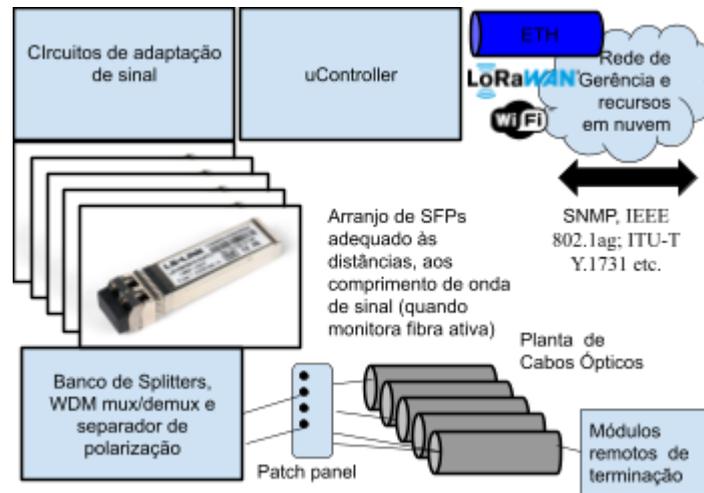


Figura 1. Esquemático do sistema proposto.

Em termos de flexibilidade do sistema no quesito de comprimento do(s) link(s) e disponibilidade da fibra óptica (ativa/inativa) a ser monitorada, existe uma relação de comprimento de onda, potência do laser e sensibilidade do receptor do SFP. Assim, quanto maior seja o link, maior potência do laser é requerida, o que aumenta os custos do SFP. Por outra parte, se a planta óptica só tiver fibras ativas, é necessário o uso de comprimentos de onda diferentes no SFP, e conseqüentemente o uso de dispositivos passivos. O sistema proposto tem grande capacidade de adaptação, pois a substituição de SFPs e reconexão de *patch cords* no *Patch panel* é uma tarefa trivial, que demanda pouco tempo e esforço operacional. Uma etapa de desenvolvimento envolverá o estudo de cenário e arquitetura para maximizar o número de cabos (ou lances de cabos), delimitadores de domínio de gerência e demais estruturas em função da capacidade de identificação e isolamento de falhas exigidas pelos clientes. Módulos remotos (passivos e/ou ativos) podem ser requeridos dependendo dos requisitos de desempenho e custo nesta fase do projeto. Evidentemente, a facilidade de instalação e manutenção será tido em conta, assim como as questões de autonomia de comunicação e alimentação como já discutido anteriormente.

A execução do projeto será dividida em três fases:

Fase 0 - Determinação da arquitetura e de requisitos de operação. Estudo cenários típicos para definição do sistema de monitoramento de redes ópticas (por exemplo, fibras ativas/inativas, uma fibra ou múltiplas monitoradas por cabo, múltiplos cabos com um sistema só de monitoramento etc.), visando flexibilidade/adaptabilidade da solução aos casos práticos/reais de redes de Campus e Metropolitanas. O objetivo é preservar as características de baixo custo, necessidade ou não de módulos remotos (passivos e ativos), aspectos de alimentação e comunicação. Nesta fase, vamos considerar ainda o conjunto de protocolos de comunicação e de gerenciamento a serem incorporados à solução do GT-OnE!.

Fase 1 - Monitoramento de continuidade/potência com diversos SFPs: Serão explorados comprimentos de onda diferentes para trabalhar com fibras em uso. Para reconfiguração do sistema serão testados diversos componentes ópticos passivos (divisores de potência e filtros WDM) para montar uma arquitetura flexível e adaptável aos requerimentos da planta óptica.

Fase 2 - Monitoramento de Interferência e uso de algoritmos de aprendizado de máquina para o auxílio de detecção de diversos eventos ao longo da fibra: Técnicas de interferometria têm sido amplamente usadas em diversas aplicações dadas as características de alta sensibilidade, faixa dinâmica grande e simplicidade de implementação [10]. De entre os interferômetros em fibra pode se destacar o Mach-Zehnder, o qual consiste na divisão da potência óptica em dois caminhos diferentes (duas fibras por exemplo) as quais têm *paths* ópticos diferentes o que gera diferenças de fase entre os dois sinais transmitidos. Esses sinais são combinados gerando o padrão de interferência, que é produto da diferença de fases entre os dois sinais. A interferência pode ser construtiva (máximo valor de amplitude do sinal) ou destrutiva (valor nulo ou muito baixo do sinal). Alterações externas como variação de temperatura, vibração ou deformações nas fibras, levará a codificação dessa variável física em variações de amplitude do sinal recebido. A estabilidade do sinal de interferência é um ponto crítico nestes sistemas, pois qualquer alteração externa à fibra gera grandes variações de fase, dificultando a identificação de algum evento no cabo óptico. Para contornar esse problema, o uso de técnicas de aprendizado de máquina têm sido abordados na literatura [1].

6.3 Modelo de Negócios

Este projeto visa o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de planta óptica oferecendo serviços de OAM, monitoramento da saúde estrutural dos cabos de fibra, isso auxiliado com algoritmos de IA para detecção de anomalias nos enlaces ópticos e geração de alarmes. Esta solução é destinada ao monitoramento de redes de campus e metropolitanas, podendo eventualmente integrar o monitoramento das Redes de acesso à Rede Ipê da RNP, assim como os PoPs poderiam vender serviço de monitoramento das plantas dos Campus das Instituições clientes da RNP usando a solução OnE!.

Adicionalmente, *dashboards* de visualização podem ser desenvolvidos a clientes do OnE! permitindo, dentro de outras coisas, a visualização de dados em tempo real e ágil acesso aos dados. Isso acelera o desenvolvimento do serviço e permite saber o estado da planta óptica de forma mais simples e direta. O plano de negócios - canvas é apresentado a seguir:

Parcerias Principais	Atividades Principais	Proposta de valor	Relacionamento com clientes	Segmentos de clientes
<ul style="list-style-type: none"> • RNP • PoP-ES • STI-Ufes 	<ul style="list-style-type: none"> • Serviço de identificação e predição de falhas em plantas ópticas • Consultoria técnica • Monitoramento em tempo real em nuvem do estado atual da planta óptica 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de sistema de monitoramento contínuo de plantas ópticas flexível, escalável e integrado • Uso de algoritmos de IA e aplicações em nuvem para auxiliar e melhorar a identificação e diagnóstico de falhas em plantas 	<ul style="list-style-type: none"> • Atendimento WOW e SAC personalizado • Trabalho em equipe • Workshops de aproximação • Aprendizado continuado 	<ul style="list-style-type: none"> • Redes de Campus • Redes metropolitanas
	Recursos		Canais	

	principais	ópticas		
	<ul style="list-style-type: none"> • Propriedade intelectual • Equipe técnica 		<ul style="list-style-type: none"> • Plataformas Virtuais • Alunos egressos da graduação e pós-graduação • Parceria com operadoras 	

Estrutura de custos	Fontes de Receita
<ul style="list-style-type: none"> • Equipe de pesquisadores e manutenção da estrutura dos laboratórios • Recursos para bolsas de estudos para formação de estudantes em Engenharia Elétrica e Engenharia de Computação em nível de Graduação e Pós-Graduação • Insumos e material para desenvolvimento dos sistemas • Aquisição de novos equipamentos e melhoria de infraestrutura laboratorial • Serviços de nuvem pública IaaS 	<ul style="list-style-type: none"> • Serviços de monitoramento contínuo de redes de Campus e metropolitanas

7. Ambiente de validação da solução proposta e documentação dos aprendizados

A validação experimental será executada em duas etapas, sendo a primeira no ambiente laboratorial (Laboratório de Telecomunicações - LabTel e o Núcleo de Redes Definidas por Software - NERDS, na UFES) e a segunda fazendo uso da infraestrutura disponibilizada pela RNP no Espírito Santo, no caso a rede Metrovix [11]. No que tange a infraestrutura, o LabTel conta com equipamentos para caracterização de dispositivos ópticos, como o analisador de espectro óptico (OSA), OTDR comercial, medidores de potência óptica, máquinas de fusão, entre outros. Aplicações em nuvem serão executadas em momento inicial fazendo uso da rede local e do datacenter disponível no NERDS.

Por se tratar de uma proposta com duas abordagens diferentes, diversos esquemas de monitoramento serão validados. Vale a pena destacar que os equipamentos e dispositivos usados nos dois setups são compartilhados e só é mudado o esquema de monitoramento. Para acesso à transmissão e recepção dos sinais ópticos serão utilizados kits de desenvolvimento atualmente disponíveis no laboratório [12]. A descrição detalhada de cada abordagem é feita a seguir:

Monitoramento de potência: O monitoramento de potência óptica, será validado em ambiente laboratorial com equipamentos de referência. Uso de medidores de potência óptica servirão como base para calibração da resposta a perturbações na fibra (dobras, curvaturas, etc), com o intuito de verificar a sensibilidade/linearidade da resposta do detector integrado no SFP. Vale a pena destacar que o monitoramento de potência óptica é limitado pois só proporciona informação se a fibra está em funcionamento ou não. Ou seja, ao não obter sinal de potência óptica no detector em funcionamento, infere-se a ruptura mecânica da fibra. Isso permite detectar falhas e classificar se a falha se encontra na fibra ou no *transceiver* caso a comunicação seja interrompida. Assim o esquema de alarmes será integrado ao microcontrolador, responsável por transmitir esta informação à rede de gerência e recursos em nuvem.

Técnica interferométrica: Uma segunda abordagem de fonte contínua é explorar a interferometria. Os sistemas interferométricos são extremamente sensíveis às alterações do meio externo [10]. Neste caso, será necessário que a fonte óptica seja

finia o suficiente para ser coerente e gerar um padrão interferométrico, o qual estará associado com alguma condição específica da fibra óptica. Os SFP centrados em 1550/1310 nm usam lasers DFB (*distributed feedback*) os quais satisfazem o requisito de espectro fino. O espectro será analisado no analisador de espectro óptico (OSA). Para a geração de interferência, serão adicionados componentes externos (acopladores/divisores de potência óptica 2x1 - 50/50) ao *transceiver* em cada ponta da fibra. Perturbações serão induzidas ao longo da fibra em posições específicas e serão registradas com o sistema proposto. Um OTDR será usado como referência. Os dados serão processados com algoritmos de aprendizado de máquina, como por exemplo algoritmos de classificação (supervisionados e não supervisionados), regressão ou redes neurais [14], [15] para determinar/classificar quais e onde os eventos aconteceram.

Após a calibragem (validação em ambiente laboratorial) o sistema será validado em redes ópticas locais e na Metrovix. As atividades associadas às macros do projeto para desenvolvimento do MVP são descritas a seguir:

- a) Estudo de arquiteturas e cenários típicos para definição do sistema de monitoramento de redes ópticas, visando flexibilidade/adaptabilidade e baixo custo;
- b) Interfaceamento do SFP com o microcontrolador para criação da unidade de gerenciamento de rede e monitoramento de potência;
- c) Análise da resposta temporal da fonte óptica com medidor de potência óptica. A estabilidade da potência óptica é um parâmetro muito importante para sistemas baseados em variação de potência;
- d) Validação em laboratório do sistema proposto com diversos valores de atenuação;
- e) Integração do medidor de potência baseado em SFP, ao sistema de monitoramento;
- f) Validação de interferometria em condições estáticas;
- g) Coleta de dados com perturbações conhecidas em laboratório como torção, dobras na fibra e temperatura;
- h) Tratamento dos dados coletados com algoritmos de aprendizado de máquina para classificação de eventos;
- i) Uso de serviço em nuvem para coleta e processamento de dados com algoritmos de aprendizado de máquina;
- j) Validação do MVP em teste de campo.

O trabalho científico realizado no marco deste Projeto de Pesquisa será divulgado através de publicações científicas na área de engenharia, com fator de impacto (JCR) superior a 1, e em eventos nacionais e internacionais relevantes para a discussão ampla e direta com pesquisadores da área. Pretende-se gerar, no mínimo, uma publicação em Congressos Nacionais ou Internacionais de alta relevância, e uma publicação em Revista.

8. Cronograma de marcos

M1 - Infraestrutura especificada

M2 - Equipamentos comprados

M3 - Plataforma de nuvem privada disponível

M4 - Testbed para validação preliminar montado para todos setups de experimentação

M5 - Testes iniciais em laboratório realizados

M6 - Validação da técnica de processamento de sinais realizada

M7 - Sistema de monitoramento e visualização em nuvem privada implementado

- M8 - Validação preliminar do MVP realizada
- M9 - Plataforma de nuvem pública contratada
- M10 - Sistema de monitoramento e visualização em nuvem pública implementado
- M11 - Testbed para validação final do MVP montado
- M12 - Validação final do MVP realizada
- M13 - Demonstração do MVP em campo realizada
- M14 - Entrega Final realizada

Marco	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
M1												
M2												
M3												
M4												
M5												
M6												
M7												
M8												
M9												
M10												
M11												
M12												
M13												
M14												

9. Referências

- [1] M. Šlapák, J. Vojtěch, O. Havliš and R. Slavík, Monitoring of Fibre Optic Links With a Machine Learning-Assisted Low-Cost Polarimeter, in IEEE Access, vol. 8, pp. 183965-183971, 2020.
- [2] P. Healey, Review of long wavelength single-mode optical fiber reflectometry techniques. Journal of Lightwave Technology, vol. 3.4, pp. 876-886, 1985.
- [3] What is Fiber Optical Cable Monitoring System? GLsun, 2022. Disponível em <<https://www.qlsun.com/article-p107-what-is-fiber-optical-cable-monitoring-system.html>>. Acesso em: 25 de set. de 2022.
- [4] Cable Monitoring System. Fiberer, 2022. Disponível em <<https://www.fiberer.com/Cable-Monitoring-System.html>>. Acesso em: 25 de set. de 2022.
- [5] P. Layec and F. Boitier, Using AI and automation to protect optical networks from fiber cuts. Nokia, 2021. Disponível em

<<https://www.nokia.com/blog/using-ai-and-automation-to-protect-optical-networks-from-fiber-cuts/>>. Acesso em: 25 de set. de 2022.

[6] IP OAM Smart SFP. SmartSFP, 2022. Disponível em <<https://www.smartsfp.com/ip-oamsmart-sfp/>>. Acesso em: 25 de set. de 2022.

[7] Smart SFP OTDR. PlumSpace, 2022. Disponível em <<https://plumspace.com/products/smart-sfp/smart-sfp-otdr/>>. Acesso em: 25 de set. de 2022.

[8] N. Parkin, M. Bartur, D. Nettet and D. Jenkins, "Gigabit SFP transceiver with integrated optical time domain reflectometer for ethernet access services," 39th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2013), 2013, pp. 1-3.

[9] Teensy® 4.1 Development Board. Microcontrolador ARM Cortex-M7. Disponível em <<https://www.pjrc.com/store/teensy41.html>>. Acesso em: 25 de set. de 2022.

[10] B. H. Lee, Y. H. Kim, K. S. Park, J. B. Eom, M. J. Kim, B. S. Rho, and H. Y. Choi, "Interferometric fiber optic sensors", Sensors, vol. 12, no. 3, pp. 2467– 2486, 2012.

[11] Metrovix. PoP-ES, 2022. Disponível em <<http://www.pop-es.rnp.br/#nocmetrovox>>. Acesso em: 25 de set. de 2022.

[12] Finisar FDB-1032-SFP+ SFP28 Optical Transceiver Evaluation Board, TransceiverUSA, 2022. Disponível em <<https://www.transceiverusa.com/products/finisar-evalboard-fdb-1032-sfp>>. Acesso em: 25 de set. de 2022.

[13] C. Díaz et al., Envelope-based technique for liquid level sensors using an in-line fiber Mach-Zehnder interferometer. Applied Optics, v. 55, p. 9803, 2016.

[14] W. Duque et al., Fiber-Optic Hydrophone Based on Michelson's Interferometer with Active Stabilization for Liquid Volume Measurement. Sensors, v. 22, p. 4404, 2022.

[15] A. Leal-Junior et al., A machine learning approach for simultaneous measurement of magnetic field position and intensity with fiber Bragg grating and magnetorheological fluid. Optical Fiber Technology, v. 56, p. 102184, 2020.