

REDES ÓPTICAS EM SUBESTAÇÕES: OPGW, ADSS, TOPOLOGIAS E ENSAIOS

Entenda redes ópticas em subestações: OPGW, ADSS, topologias, redundância, orçamento óptico, OTDR, teleproteção, IEC 61850 e critérios de projeto.

SUMÁRIO

1. O QUE É UMA REDE ÓPTICA EM SUBESTAÇÃO	5
2. POR QUE A FIBRA ÓPTICA É UTILIZADA EM SUBESTAÇÕES	5
3. CAMADAS DA ARQUITETURA ÓPTICA	6
3.1. INFRAESTRUTURA FÍSICA	6
3.2. CAMADA DE TRANSMISSÃO	6
3.3. CAMADA DE REDE E COMUTAÇÃO	6
3.4. CAMADA DE SERVIÇOS	6
4. O QUE É CABO OPGW	6
5. OPGW NÃO É APENAS UM CABO DE FIBRA ÓPTICA	7
6. O QUE É CABO ADSS	7
7. DIFERENÇA ENTRE OPGW, ADSS E CABO ÓPTICO DIELÉTRICO INTERNO	7
8. OPPC E OUTRAS CONSTRUÇÕES	8
9. FIBRA MONOMODO E MULTIMODO	8
10. ITU-T G.652, G.655 E OUTRAS CATEGORIAS	8
11. TOPOLOGIAS DE REDE EM SUBESTAÇÕES	9
11.1. PONTO A PONTO	9
11.2. ESTRELA	9
11.3. ANEL	9
11.4. DUPLA ESTRELA	9
11.5. MALHA PARCIAL	9
12. REDUNDÂNCIA FÍSICA E LÓGICA	9
13. DISPONIBILIDADE E CLASSES DE SERVIÇO DO ONS	10
14. LATÊNCIA, JITTER E PERDA DE PACOTES	10
15. TELEPROTEÇÃO SOBRE REDES ÓPTICAS	10
16. TELEPROTEÇÃO NÃO DEVE SER CONFUNDIDA COM TELEASSISTÊNCIA	11
17. REDES SDH, OTN, MPLS-TP E ETHERNET	11
17.1. SDH	11
17.2. OTN E WDM	11
17.3. MPLS-TP	11
17.4. CARRIER ETHERNET E IP/MPLS	11
18. REDES LOCAIS IEC 61850	12
19. PRP E HSR	12
20. SINCRONISMO DE TEMPO	12
21. PMU E DADOS SINCROFASORIAIS	12

22. SCADA, UTR E SSCL	13
23. TELEASSISTÊNCIA E MONITORAMENTO OPERATIVO	13
24. SEGREGAÇÃO DE REDES	13
25. CIBERSEGURANÇA	13
26. DISTRIBUIDORES ÓPTICOS, DIOS E CAIXAS DE EMENDA	14
27. CONECTORES ÓPTICOS	14
28. TRANSCEPTORES E SFPS	14
29. ORÇAMENTO ÓPTICO	14
30. EXEMPLO CONCEITUAL DE ORÇAMENTO ÓPTICO	15
31. ROTAS, DUTOS E SEPARAÇÃO FÍSICA	15
32. COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA	15
33. ALIMENTAÇÃO AUXILIAR	16
34. CAPACIDADE E CRESCIMENTO	16
35. PLANO DE FIBRAS E IDENTIFICAÇÃO	16
36. ENSAIOS DE CABOS E ENLACES ÓPTICOS	16
36.1. INSPEÇÃO VISUAL	16
36.2. CONTINUIDADE E IDENTIFICAÇÃO	16
36.3. MEDIÇÃO DE PERDA POR INSERÇÃO	17
36.4. OTDR	17
36.5. REFLECTÂNCIA E ORL	17
36.6. DISPERSÃO	17
37. COMO INTERPRETAR UM TRAÇO DE OTDR	17
38. ENSAIOS BIDIRECIONAIS	17
39. CABOS DE LANÇAMENTO E RECEPÇÃO	18
40. TESTES DOS EQUIPAMENTOS ATIVOS	18
41. TESTE DE REDUNDÂNCIA	18
42. FAT E SAT	18
43. DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO	18
44. MODERNIZAÇÃO DE REDES EXISTENTES	18
45. ERROS COMUNS EM REDES ÓPTICAS DE SUBESTAÇÕES	19
45.1. ESCOLHER O CABO APENAS PELA QUANTIDADE DE FIBRAS	19
45.2. CONSIDERAR FIBRAS NO MESMO CABO COMO ROTAS INDEPENDENTES	19
45.3. NÃO CALCULAR O ORÇAMENTO ÓPTICO	19
45.4. USAR SFPS SEM ESPECIFICAÇÃO COMPLETA	19
45.5. TRATAR O OTDR COMO ÚNICO ENSAIO	19

45.6. COMPARTILHAR REDE SEM PRIORIZAÇÃO	19
45.7. IGNORAR ALIMENTAÇÃO AUXILIAR	19
45.8. NÃO TESTAR RECUPERAÇÃO	19
45.9. NÃO REGISTRAR EMENDAS E RESERVAS	20
45.10. GENERALIZAR REQUISITOS DO ONS	20
46. CHECKLIST DE ESPECIFICAÇÃO	20
47. APLICABILIDADE NORMATIVA	20
48. CONCLUSÃO	20

As **redes ópticas em subestações** formam a infraestrutura de comunicação que interliga equipamentos de proteção, controle, supervisão, telecomunicações, sincronismo, teleassistência e operação remota. Em instalações críticas, a fibra óptica não é apenas um meio de transmissão de alta capacidade: ela participa diretamente da disponibilidade, da seletividade das proteções, da rastreabilidade dos eventos e da continuidade operacional.

A arquitetura pode reunir cabos OPGW em linhas de transmissão, cabos ADSS em rotas aéreas, cabos dielétricos internos, distribuidores ópticos, caixas de emenda, switches industriais, multiplexadores, roteadores, gateways, enlaces de teleproteção e sistemas de gerenciamento.

O projeto precisa tratar o sistema como uma cadeia completa. Um cabo com baixa atenuação não garante, por si só, que o serviço atenderá aos requisitos de latência, disponibilidade, redundância, sincronismo e recuperação após falhas.

1. O QUE É UMA REDE ÓPTICA EM SUBESTAÇÃO

Uma rede óptica em subestação é o conjunto de cabos, fibras, emendas, conectores, distribuidores, transceptores, equipamentos ativos, protocolos e rotas utilizados para transportar informações entre sistemas locais e remotos.

Ela pode atender, conforme o empreendimento:

A rede deve ser concebida a partir dos serviços que transportará. A escolha do cabo e dos equipamentos vem depois da definição de requisitos funcionais, criticidade, disponibilidade e interfaces.

2. POR QUE A FIBRA ÓPTICA É UTILIZADA EM SUBESTAÇÕES

Subestações possuem campos eletromagnéticos intensos, correntes de falta, manobras, descargas atmosféricas e diferenças de potencial de terra. A fibra óptica oferece isolamento galvânico e elevada imunidade a interferências eletromagnéticas.

Entre suas vantagens estão:

Essas vantagens não eliminam a necessidade de engenharia. Cabos com elementos metálicos, messageiros, armaduras ou componentes condutivos exigem avaliação de aterramento, equipotencialização e exposição a surtos.

3. CAMADAS DA ARQUITETURA ÓPTICA

Uma rede crítica pode ser dividida em quatro camadas.

3.1. INFRAESTRUTURA FÍSICA

Inclui cabos, fibras, caixas de emenda, bandejas, distribuidores ópticos, dutos, postes, estruturas, terminações e rotas.

3.2. CAMADA DE TRANSMISSÃO

É formada pelos transceptores, multiplexadores, equipamentos SDH, OTN, MPLS-TP, Carrier Ethernet ou outras plataformas utilizadas para transportar os serviços.

3.3. CAMADA DE REDE E COMUTAÇÃO

Inclui switches, roteadores, VLANs, redundância, qualidade de serviço, multicast, endereçamento e mecanismos de recuperação.

3.4. CAMADA DE SERVIÇOS

Abrange teleproteção, SCADA, voz operacional, IEC 61850, teleassistência, CFTV, sincronismo e demais aplicações.

A separação ajuda a identificar responsabilidades e falhas. Uma perda de serviço pode resultar de rompimento de cabo, falha de SFP, configuração de VLAN, saturação, perda de sincronismo ou indisponibilidade da aplicação.

Projeto de Telecomunicações para subestações e ambientes críticos

A engenharia deve integrar rotas ópticas, OPGW, ADSS, equipamentos ativos, redundância, alimentação, sincronismo, teleproteção, supervisão e documentação de aceite.

[Conhecer o serviço de Projeto de Telecomunicações](#)

4. O QUE É CABO OPGW

OPGW, de *Optical Ground Wire*, é um cabo para-raios de linha de transmissão que incorpora fibras ópticas em sua construção.

Ele desempenha duas funções principais:

A construção pode variar conforme fabricante, quantidade de fibras, capacidade de corrente de curto-circuito, resistência mecânica, diâmetro, massa, flecha, condições ambientais e compatibilidade com a linha.

A especificação não deve considerar apenas a contagem de fibras. Também são relevantes:

5. OPGW NÃO É APENAS UM CABO DE FIBRA ÓPTICA

O OPGW integra o sistema mecânico e elétrico da linha. Sua substituição, lançamento ou intervenção exige projeto específico, análise da estrutura, procedimento de instalação e coordenação com a operação da linha.

O comportamento durante faltas deve ser compatível com as correntes que podem circular pelo cabo. A seleção incorreta pode comprometer a função de blindagem, a integridade mecânica ou as fibras internas.

A rede óptica deve prever o caminho entre a caixa de emenda de descida e o ambiente interno da subestação. Essa transição pode utilizar cabo óptico dielétrico, distribuidores e rotas protegidas.

6. O QUE É CABO ADSS

ADSS, de *All-Dielectric Self-Supporting*, é um cabo óptico autossustentado e totalmente dielétrico, projetado para instalação aérea sem mensageiro metálico separado.

Pode ser empregado em linhas, redes de distribuição, pátios, interligações entre edificações e outras rotas, desde que seja compatível com as condições elétricas e mecânicas.

A seleção considera:

O fato de ser dielétrico não torna qualquer cabo ADSS adequado a qualquer posição em uma estrutura de alta tensão. O campo elétrico e a possibilidade de degradação da capa precisam ser avaliados.

7. DIFERENÇA ENTRE OPGW, ADSS E CABO ÓPTICO DIELÉTRICO INTERNO

O **OPGW** integra a função de cabo para-raios da linha e possui responsabilidade elétrica e mecânica sobre a transmissão.

O **ADSS** é autossustentado e dielétrico, destinado a rotas aéreas específicas.

O **cabo óptico dielétrico interno ou subterrâneo** é utilizado em eletrodutos, canaletas, galerias, bandejas e interligações internas. Sua construção deve ser compatível com umidade, tração, compressão, raio de curvatura, propagação de chama, presença de roedores e método de instalação.

A escolha depende da rota, e não apenas da distância.

8. OPPC E OUTRAS CONSTRUÇÕES

O **OPPC**, de *Optical Phase Conductor*, incorpora fibras em um condutor de fase. É uma solução específica, diferente do OPGW, e exige coordenação completa com a função elétrica do condutor.

Também existem cabos submarinos, cabos armados, cabos para dutos, cabos resistentes a roedores e construções especiais. O projeto deve especificar a solução adequada ao ambiente e evitar descrições genéricas como “cabo de fibra para uso externo”.

9. FIBRA MONOMODO E MULTIMODO

Redes de subestações e enlaces de longa distância utilizam predominantemente fibras monomodo. Elas oferecem menor atenuação e suporte a distâncias superiores.

Fibras multimodo podem aparecer em enlaces locais ou equipamentos legados, mas exigem compatibilidade entre fibra, transceptor, comprimento de onda e distância.

A documentação deve indicar:

Não é suficiente registrar apenas “fibra monomodo”. Diferentes categorias possuem características distintas.

10. ITU-T G.652, G.655 E OUTRAS CATEGORIAS

A recomendação ITU-T G.652 é amplamente utilizada para fibras monomodo convencionais. A G.655 trata de fibras com dispersão deslocada não nula, aplicadas em determinados sistemas de longa distância e multiplexação por comprimento de onda.

Outras categorias podem ser adequadas conforme o sistema. A escolha deve considerar:

Misturar categorias sem documentação pode produzir desempenho imprevisível, principalmente em enlaces longos.

11. TOPOLOGIAS DE REDE EM SUBESTAÇÕES

A topologia deve ser escolhida a partir do risco e da criticidade dos serviços.

11.1. PONTO A PONTO

Conecta diretamente dois equipamentos ou locais. É simples e previsível, mas pode depender de uma única rota.

11.2. ESTRELA

Os enlaces convergem para um ponto central. Facilita operação e gerenciamento, mas o núcleo precisa ser redundante quando a criticidade exigir.

11.3. ANEL

Permite caminhos alternativos entre os nós. O desempenho depende do protocolo de recuperação, da disposição física e da separação real entre as rotas.

11.4. DUPLA ESTRELA

Cada equipamento crítico se conecta a dois núcleos ou switches independentes. É comum em redes de automação e supervisão.

11.5. MALHA PARCIAL

Cria múltiplos caminhos entre pontos selecionados. Aumenta a resiliência, mas exige maior controle de roteamento, documentação e testes.

Topologia lógica redundante sobre um único cabo não oferece independência física. Duas fibras no mesmo cabo podem falhar simultaneamente.

12. REDUNDÂNCIA FÍSICA E LÓGICA

A redundância deve ser analisada em camadas:

A expressão “dupla rota” deve ser comprovada por desenhos e levantamento. Cabos que percorrem o mesmo duto, a mesma ponte ou a mesma caixa de passagem possuem causa comum de falha.

13. DISPONIBILIDADE E CLASSES DE SERVIÇO DO ONS

O Submódulo 2.15 dos Procedimentos de Rede do ONS estabelece classes de serviços de voz e dados para as aplicações em seu campo de aplicação.

Na revisão 2025.02, o serviço Classe A possui requisitos superiores de disponibilidade e utiliza recursos e rotas independentes. O documento também define requisitos para serviços Classe B e Classe C, além de parâmetros de qualidade de rede.

Esses valores não são requisitos universais para toda subestação. Aplicam-se aos serviços e agentes enquadrados no objetivo do Submódulo 2.15.

Em instalações fora desse campo, as classes podem ser utilizadas como referência de engenharia somente quando isso for definido pelo proprietário ou pelo contrato.

14. LATÊNCIA, JITTER E PERDA DE PACOTES

A capacidade em megabits por segundo não descreve sozinha a qualidade do enlace.

Serviços operacionais podem depender de:

O Submódulo 2.15 estabelece, para redes em seu campo de aplicação, limites de latência de ida e volta, variação estatística do retardo e perda de pacotes.

O projeto deve converter requisitos dos serviços em critérios mensuráveis de aceitação.

15. TELEPROTEÇÃO SOBRE REDES ÓPTICAS

A teleproteção troca sinais entre terminais de uma linha ou entre instalações para acelerar, bloquear ou permitir ações de proteção.

A aplicação pode utilizar:

A escolha depende da filosofia de proteção, do tempo máximo admissível, da disponibilidade, da simetria, do comportamento em falhas e dos requisitos do empreendimento.

Uma rede com elevada capacidade pode ser inadequada se não controlar latência, assimetria, prioridade e recuperação.

16. TELEPROTEÇÃO NÃO DEVE SER CONFUNDIDA COM TELEASSISTÊNCIA

Teleproteção relaciona-se às funções de proteção do sistema elétrico e à troca de sinais entre terminais.

Teleassistência é o regime em que a instalação é acompanhada ou operada a partir de um centro remoto, com supervisão, telecomando, voz, imagens e outros recursos.

As duas funções podem compartilhar infraestrutura, mas possuem riscos, critérios e prioridades diferentes.

17. REDES SDH, OTN, MPLS-TP E ETHERNET

Redes de concessionárias podem combinar tecnologias legadas e novas.

17.1. SDH

A hierarquia digital síncrona foi amplamente utilizada para voz, dados, teleproteção e circuitos determinísticos. Muitas redes permanecem em operação por sua previsibilidade e integração com equipamentos existentes.

17.2. OTN E WDM

Tecnologias ópticas de transporte e multiplexação por comprimento de onda permitem ampliar capacidade e transportar múltiplos serviços sobre pares de fibras.

17.3. MPLS-TP

MPLS-TP oferece mecanismos orientados a transporte, operação, manutenção e proteção de caminhos.

17.4. CARRIER ETHERNET E IP/MPLS

Podem integrar serviços em redes de pacotes, desde que os requisitos de qualidade, priorização, disponibilidade e segurança sejam atendidos.

A modernização não deve substituir uma tecnologia apenas por obsolescência comercial. É necessário mapear dependências, serviços, interfaces, tempos, alarmes e plano de migração.

18. REDES LOCAIS IEC 61850

Dentro da subestação, a rede óptica pode transportar tráfego IEC 61850 entre IEDs, switches, servidores e merging units.

A arquitetura pode incluir:

O artigo sobre **Subestação digital e IEC 61850** aprofunda os protocolos e o processo de engenharia. Nesta página, o foco é a infraestrutura óptica e sua disponibilidade.

19. PRP E HSR

PRP e HSR são mecanismos de redundância definidos para redes industriais de alta disponibilidade.

No PRP, o dispositivo envia quadros por duas redes independentes. No HSR, os quadros percorrem sentidos diferentes em um anel.

A duplicação lógica não substitui diversidade física. Duas LANs PRP instaladas no mesmo cabo, rack sem redundância de energia ou rota física comum permanecem vulneráveis a falhas de causa comum.

20. SINCRONISMO DE TEMPO

Proteção, oscilografia, sequência de eventos, PMU e Sampled Values podem exigir sincronismo preciso.

A rede pode transportar:

O projeto deve definir precisão, hierarquia de relógios, redundância, *grandmasters*, *boundary clocks*, *transparent clocks*, perda de referência e alarmes.

A fibra é apenas o meio. O desempenho depende da arquitetura de sincronismo e da configuração dos equipamentos.

21. PMU E DADOS SINCROFASORIAIS

PMUs produzem medições sincronizadas no tempo. A transferência desses dados exige largura de banda, sincronismo, baixa perda e disponibilidade coerentes com a aplicação.

O Submódulo 2.15 prevê, para instalações enquadradas, serviços de comunicação específicos entre PMU ou PDC e sistemas designados pelo ONS.

Esse requisito deve ser avaliado conforme o enquadramento do agente e do empreendimento.

22. SCADA, UTR E SSCL

O Submódulo 2.12 considera a interligação de dados como o conjunto entre o ponto de aquisição ou comando no campo e o centro de operação.

A cadeia pode incluir:

A rede óptica deve suportar medições, estados, comandos, eventos e qualidade do dado. O projeto também precisa definir o comportamento durante falhas e reinicializações.

23. TELEASSISTÊNCIA E MONITORAMENTO OPERATIVO

Câmeras, sensores, controle de acesso e sistemas de detecção podem utilizar a mesma infraestrutura óptica, desde que exista segregação e capacidade adequadas.

O projeto deve considerar:

O tráfego de vídeo não deve degradar teleproteção, supervisão ou comandos.

Teleassistência e monitoramento operativo sobre infraestrutura crítica

A solução integra imagens, sensores, telecomunicações, redes ópticas, alimentação auxiliar e interfaces com a operação, preservando a prioridade dos serviços críticos.

[Conhecer a solução de Teleassistência e Monitoramento Operativo](#)

24. SEGREGAÇÃO DE REDES

Nem todo serviço deve compartilhar o mesmo domínio lógico.

A arquitetura pode separar:

A segregação pode utilizar redes físicas, VLANs, VRFs, firewalls e políticas de acesso. A decisão deve resultar da criticidade e do risco.

25. CIBERSEGURANÇA

Redundância não é sinônimo de segurança cibernética. Uma rede disponível pode estar vulnerável a acessos indevidos, configurações inseguras ou propagação lateral.

O projeto deve coordenar:

O conteúdo **Segurança em Redes de Automação de Sistemas de Potência** aprofunda esse tema e permanece responsável pela intenção de cibersegurança.

26. DISTRIBUIDORES ÓPTICOS, DIOS E CAIXAS DE EMENDA

Os distribuidores ópticos organizam terminações, emendas, cordões e reservas.

O projeto deve definir:

Caixas de emenda externas devem ser adequadas ao ambiente, à vedação, à fixação e aos esforços do cabo.

27. CONECTORES ÓPTICOS

Conectores comuns incluem LC, SC e outras interfaces específicas. Também é necessário definir o polimento, como UPC ou APC, conforme os equipamentos e o orçamento óptico.

Conectores incompatíveis podem aumentar a refletância, causar perda e danificar interfaces. A documentação deve indicar claramente o padrão de cada porta.

A limpeza é parte do processo de aceitação. Uma conexão contaminada pode apresentar perda intermitente e degradar com reconexões.

28. TRANSCEPTORES E SFPS

Transceptores devem ser compatíveis com:

A indicação “SFP monomodo” não é especificação suficiente. O orçamento óptico deve respeitar tanto a sensibilidade mínima quanto a potência máxima admissível no receptor.

29. ORÇAMENTO ÓPTICO

O orçamento óptico compara a potência disponível no transmissor com as perdas esperadas até o receptor.

De forma simplificada:

Perda total = perda da fibra + perdas de emendas + perdas de conectores + perdas de componentes passivos + margem de engenharia

A perda da fibra pode ser estimada por:

Perda da fibra = comprimento × atenuação por quilômetro

O resultado deve ser comparado com o orçamento permitido pelo par transmissor-receptor.

A margem deve considerar envelhecimento, reparos, novas emendas, variação de temperatura, dispersão de fabricação e futuras intervenções.

Em enlaces muito curtos, também é necessário verificar se a potência recebida não ultrapassa o limite máximo do receptor.

30. EXEMPLO CONCEITUAL DE ORÇAMENTO ÓPTICO

Considere um enlace monomodo com 18 km, quatro emendas e dois conectores.

O cálculo deve somar:

O valor final é comparado com a diferença entre potência mínima do transmissor e sensibilidade do receptor.

Esse exemplo demonstra o método. Os valores devem resultar das folhas de dados, da norma adotada e dos critérios do empreendimento.

31. ROTAS, DUTOS E SEPARAÇÃO FÍSICA

O projeto deve mapear a rota completa, incluindo:

Rotas redundantes devem evitar pontos comuns de falha. A separação deve considerar incêndio, escavação, alagamento, impacto mecânico, roedores, vandalismo e manutenção.

32. COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

A fibra é imune a interferência no meio óptico, mas os equipamentos ativos, fontes, cabos de energia e interfaces metálicas continuam expostos.

Devem ser coordenados:

A ABNT NBR 5419-4:2026 fornece critérios para proteção de sistemas elétricos e eletrônicos internos contra efeitos de descargas atmosféricas em seu campo de aplicação.

33. ALIMENTAÇÃO AUXILIAR

Switches, roteadores, multiplexadores, relógios, conversores e servidores dependem de alimentação contínua.

O projeto deve definir:

Uma rede com dois caminhos ópticos pode falhar integralmente se todos os equipamentos dependerem de uma única fonte auxiliar.

34. CAPACIDADE E CRESCIMENTO

O dimensionamento deve incluir serviços atuais e futuros.

Devem ser avaliados:

Reservas devem ser documentadas. Fibras sem identificação acabam reutilizadas de forma descontrolada.

35. PLANO DE FIBRAS E IDENTIFICAÇÃO

O plano de fibras registra a continuidade desde a origem até o destino.

Pode conter:

A identificação física precisa coincidir com o cadastro e o as-built.

36. ENSAIOS DE CABOS E ENLACES ÓPTICOS

A aceitação deve combinar inspeção, medições e testes funcionais.

36.1. INSPEÇÃO VISUAL

Verifica rota, fixação, raio de curvatura, caixas, vedação, identificação, limpeza e integridade.

36.2. CONTINUIDADE E IDENTIFICAÇÃO

Confirma se cada fibra chega ao destino previsto e se a polaridade está correta.

36.3. MEDIÇÃO DE PERDA POR INSERÇÃO

Utiliza fonte óptica e medidor de potência para medir a perda total do enlace nas janelas definidas.

36.4. OTDR

O reflectômetro óptico no domínio do tempo ajuda a localizar eventos, emendas, conectores, curvaturas, reflexões e distância.

O OTDR não substitui a medição de perda fim a fim. Os dois métodos fornecem informações diferentes.

36.5. REFLECTÂNCIA E ORL

Podem ser relevantes para enlaces sensíveis a reflexões, altas taxas ou determinados sistemas ópticos.

36.6. DISPERSÃO

Em enlaces longos e de alta capacidade, podem ser necessários ensaios de dispersão cromática e dispersão por modo de polarização.

37. COMO INTERPRETAR UM TRAÇO DE OTDR

O traço apresenta a potência retroespalhada ao longo da fibra. Eventos podem indicar:

A configuração do instrumento influencia o resultado:

A aprovação não deve ser baseada apenas em um traço visualmente “limpo”. Os limites precisam estar definidos no procedimento.

38. ENSAIOS BIDIRECIONAIS

Emendas podem apresentar ganho aparente em uma direção devido às diferenças de retroespalhamento entre fibras. A média de medições bidirecionais fornece avaliação mais representativa da perda do evento.

Para enlaces críticos, o procedimento deve definir quando a medição bidirecional é obrigatória.

39. CABOS DE LANÇAMENTO E RECEPÇÃO

Cabos de lançamento e recepção permitem avaliar os conectores das extremidades e reduzir zonas mortas do OTDR.

Sem esses elementos, o primeiro e o último conector podem não ser medidos adequadamente.

40. TESTES DOS EQUIPAMENTOS ATIVOS

Além da camada óptica, devem ser verificados:

Os testes devem representar os serviços reais e os cenários de falha previstos.

41. TESTE DE REDUNDÂNCIA

Um teste de redundância deve interromper controladamente um elemento e verificar:

Não basta desconectar uma fibra e observar que o ping voltou. Teleproteção, GOOSE, SCADA, vídeo e sincronismo possuem tolerâncias diferentes.

42. FAT E SAT

O FAT pode validar equipamentos, configurações, interfaces e lógica de rede antes da instalação.

O SAT confirma o desempenho na configuração real, com cabos, rotas, alimentação, aterramento e sistemas integrados.

O comissionamento deve registrar versões, configurações, resultados e pendências.

43. DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO

Um projeto de rede óptica pode incluir:

A documentação deve permitir operar, manter e ampliar o sistema sem depender da memória da equipe de implantação.

44. MODERNIZAÇÃO DE REDES EXISTENTES

A modernização começa pelo inventário.

Devem ser levantados:

O plano de migração precisa preservar serviços críticos e definir retorno seguro em caso de falha.

45. ERROS COMUNS EM REDES ÓPTICAS DE SUBESTAÇÕES

45.1. ESCOLHER O CABO APENAS PELA QUANTIDADE DE FIBRAS

Características mecânicas, elétricas, ambientais e de instalação são igualmente importantes.

45.2. CONSIDERAR FIBRAS NO MESMO CABO COMO ROTAS INDEPENDENTES

Um rompimento elimina todas as fibras do cabo.

45.3. NÃO CALCULAR O ORÇAMENTO ÓPTICO

O enlace pode operar próximo ao limite e apresentar falhas com envelhecimento ou novas emendas.

45.4. USAR SFPS SEM ESPECIFICAÇÃO COMPLETA

Comprimento de onda, potência, sensibilidade, temperatura e compatibilidade precisam ser verificados.

45.5. TRATAR O OTDR COMO ÚNICO ENSAIO

O OTDR localiza eventos, mas não substitui a medição de perda fim a fim.

45.6. COMPARTILHAR REDE SEM PRIORIZAÇÃO

Vídeo e tráfego corporativo podem afetar serviços operacionais.

45.7. IGNORAR ALIMENTAÇÃO AUXILIAR

A falha de uma fonte pode derrubar os dois caminhos da rede.

45.8. NÃO TESTAR RECUPERAÇÃO

Topologia redundante não garante tempo de recuperação compatível com a aplicação.

45.9. NÃO REGISTRAR EMENDAS E RESERVAS

A manutenção futura fica sujeita a tentativa e erro.

45.10. GENERALIZAR REQUISITOS DO ONS

Os Submódulos 2.12 e 2.15 possuem campos de aplicação específicos e não se aplicam automaticamente a toda subestação.

46. CHECKLIST DE ESPECIFICAÇÃO

A especificação deve registrar, conforme a aplicação:

47. APLICABILIDADE NORMATIVA

O Submódulo 2.15 do ONS estabelece requisitos para serviços de telecomunicações utilizados para suporte às atribuições do Operador e para viabilizar teleassistência, dentro de seu campo de aplicação.

O Submódulo 2.12 relaciona recursos de supervisão e controle, interligações de dados, UTR, SSCL, concentradores, enlaces e centros de operação para as instalações enquadradas.

A ABNT NBR IEC 61850-10 trata de ensaios de conformidade para redes e sistemas de comunicação em automação de sistemas de potência. A disponibilidade desta Parte 10 na base institucional não significa cobertura documental de toda a série IEC 61850.

A ABNT NBR 5419-4:2026 trata da proteção dos sistemas elétricos e eletrônicos internos contra efeitos de descargas atmosféricas em seu campo de aplicação.

As séries IEC 60794 e IEC 61280 contêm requisitos e métodos relacionados a cabos e sistemas ópticos. As recomendações ITU-T definem características de fibras e sistemas de telecomunicações. Devem ser utilizadas as edições vigentes e as adoções brasileiras aplicáveis.

48. CONCLUSÃO

Uma rede óptica de subestação precisa ser projetada a partir dos serviços e riscos da instalação. OPGW, ADSS, cabos internos, distribuidores, SFPs, switches e protocolos devem funcionar como uma única infraestrutura operacional.

A confiabilidade depende de diversidade física, alimentação, orçamento óptico, segregação, sincronismo, gerenciamento e testes de recuperação. Dois caminhos desenhados no diagrama podem continuar sujeitos à mesma falha física.

O projeto deve terminar com critérios mensuráveis de aceite, documentação como construída e uma arquitetura que possa ser mantida e ampliada sem comprometer proteção, supervisão, teleassistência ou operação remota.

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR IEC 61850-10:2018 – Redes e sistemas de comunicação para automação de sistemas de potência – Parte 10: Ensaio de conformidade. Consultar edição vigente no [Catálogo ABNT](#).

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5419-4:2026 – Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Consultar edição vigente no [Catálogo ABNT](#).

[3] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Submódulo 2.15 – Requisitos mínimos para telecomunicações. Aplicar conforme o enquadramento do documento.

[4] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Submódulo 2.12 – Requisitos mínimos de supervisão e controle para a operação. Aplicar conforme o enquadramento do documento.

[5] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60794 – Optical fibre cables. Consultar partes e edições aplicáveis.

[6] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61280 – Fibre optic communication subsystem test procedures. Consultar partes e edições aplicáveis.

[7] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. ITU-T G.652 – Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.

[8] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. ITU-T G.655 – Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.

O que é OPGW? OPGW é um cabo para-raios de linha de transmissão que incorpora fibras ópticas. Ele participa da blindagem da linha e fornece infraestrutura de telecomunicações. **Qual é a diferença entre OPGW e ADSS?** O OPGW integra a função de cabo para-raios da linha. O ADSS é um cabo óptico autossustentado e dielétrico, instalado em rotas aéreas específicas. **A fibra óptica é imune a interferência em subestações?** O meio óptico não conduz corrente e possui elevada imunidade eletromagnética. Equipamentos ativos, fontes e elementos metálicos ainda precisam de proteção e

equipotencialização. **Duas fibras no mesmo cabo formam uma rede redundante?** Elas podem fornecer redundância lógica, mas não independência física. Um rompimento do cabo elimina as duas fibras. **O que é orçamento óptico?** É a comparação entre a potência disponível no transmissor e as perdas previstas na fibra, emendas, conectores e componentes, incluindo margem de engenharia. **OTDR substitui o teste de perda por inserção?** Não. O OTDR localiza eventos ao longo da fibra, enquanto a medição com fonte e medidor de potência determina a perda fim a fim. **O que deve constar no plano de fibras?** Cabo, tubo, fibra, cor, caixas, bandejas, posições nos distribuidores, conectores, equipamentos, portas, serviços, reservas e resultados de testes. **Teleproteção e teleassistência são a mesma coisa?** Não. Teleproteção troca sinais associados às funções de proteção. Teleassistência envolve supervisão e operação remota da instalação. **Quais testes são realizados em uma rede óptica de subestação?** Podem incluir inspeção, continuidade, identificação, perda por inserção, OTDR, reflectância, potência óptica, taxa de erro, latência, perda de pacotes e recuperação de redundância. **Os requisitos do ONS valem para qualquer subestação?** Não. Os Procedimentos de Rede possuem objetivos e campos de aplicação definidos. O enquadramento deve ser verificado para cada instalação e agente.

Soluções

Serviços de engenharia

Materiais técnicos complementares

Conteúdos correlatos

Sobre a A3A Engenharia de Sistemas

Com 30 anos de história, a A3A Engenharia de Sistemas se consolidou como referência em serviços de Engenharia, oferecendo soluções integradas de Telecomunicações, Segurança Eletrônica, Segurança Digital e Instalações Elétricas.

A empresa atua em todas as etapas do ciclo de Engenharia, desde a elaboração de projetos e consultoria técnica até a implantação, manutenção e retrofit de sistemas, sempre em conformidade com as normas técnicas e melhores práticas do setor.