



UMA DISCUSSÃO SOBRE OS REQUISITOS DE COMUNICAÇÃO DE DADOS PARA SUPERVISÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS BASEADA NAS EXIGÊNCIAS DO ONS^v



Adilson Antonio de Paiva MELO*
Antônio Ângelo Missiaglia PICORONE**

RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo discutir os requisitos de comunicação de dados para supervisão de usinas hidrelétricas exigidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Tais requisitos, embora descritos no procedimento de rede em seu submódulo 13.2, não são apresentados de forma clara. Além disso, o submódulo indica como referências bibliográficas normas desatualizadas. De uma forma geral, esse trabalho discute os requisitos de comunicação exigidos pelo ONS, tais como disponibilidade, latência, BER e *jitter*, considerando a descrição desses parâmetros conforme utilizado frequentemente em sistemas de comunicação digital. Finalmente, esse trabalho sugere que, caso se opte pela contratação dos serviços de comunicação junto às operadoras de comunicação, é altamente recomendado que as exigências de nível de serviço estejam bem definidas e que o agente proprietário da hidrelétrica obtenha acesso aos indicadores da rede de comunicação que lhe atende.

Palavras-chave: Requisitos de Telecomunicação. Disponibilidade. Latência. *BER*. *Jitter*.

1 INTRODUÇÃO

O setor elétrico tipicamente se organiza em partes distintas e totalmente relacionadas: geração, transmissão e distribuição. Essas partes, com seus sistemas

^v Artigo recebido em 22 de março de 2015 e aprovado em 25 de junho de 2015.

* Graduando em Engenharia de Telecomunicação no Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora (CES/JF), gerente da Usina Hidrelétrica Pedra do Cavalo do Grupo Votorantim.

@: adilson.melo@venergia.com.br

** Graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica (Sistemas Eletrônicos) pela Universidade Federal de Juiz de Fora, especialização em Fundamentos de Matemática e graduação em Ciências com Licenciatura Plena em Matemática pelo Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora. É funcionário da Companhia Energética de Minas Gerais S/A desde 1989, onde atua na área de manutenção em infraestrutura de telecomunicação. Professor do curso de Engenharia de Telecomunicações e de Engenharia Elétrica do Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora.

@: picorone@pucminas.cesjf.br



e equipamentos interligados, constituem o Sistema Elétrico de Potência (SEP) (CANTARINO, 2007). A Figura 1 apresenta, de forma simplificada, as partes do SEP da geração ao atendimento às unidades consumidoras.

FIGURA 1- Sistema Elétrico de Potência



Fonte: ABRADÉE (2014)

A geração é o seguimento do SEP responsável pela produção da energia elétrica e inserção desta nos meios de transporte de energia. No Brasil, a matriz energética é predominantemente formada por hidrelétricas. As diversas regiões do país estão sujeitas a diferentes regimes climáticos e hidrológicos. Esse fato leva à ocorrência de escassez em algumas regiões e excesso de produção hidrelétrica noutras. Como o sistema elétrico exige equilíbrio entre produção e consumo, surge a necessidade de interligação das diferentes regiões, permitindo a troca de energia entre as mesmas para melhor aproveitamento dos regimes das diferentes bacias hidrográficas do país (ANEEL, 2005). O sistema em rede que abrange as usinas, linhas de transmissão e a parte principal da distribuição, interligando as regiões do país é denominado Sistema Interligado Nacional (SIN) (ONS, 2009a).

Para realizar a operação coordenada do SIN foi criado o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece com especificidade as obrigações do ONS, dentre elas, a de elaborar os Procedimentos de Rede para normatização do SIN, devendo dispor sobre as regras, requisitos técnicos, procedimentos operacionais, penalidades, bem como as responsabilidades dos agentes proprietários.

Os procedimentos de rede elaborados pelo ONS e homologados pela ANEEL são atualmente organizados em 25 módulos, cada qual se referenciando a assuntos específicos. A responsabilidade do ONS de coordenar e operar um sistema de

tamanho dimensão como é o SIN, demanda deste operador a capacidade de identificar prontamente quaisquer condições do sistema. Para tanto, regras foram elaboradas estabelecendo a obrigação das estações conectadas ao SIN de fornecer dados de informação de estados de equipamentos e medições de grandezas das estações. Assim, surge a necessidade de comunicação dos sistemas de supervisão do ONS com os sistemas das diversas estações em operação.

Nesse contexto, os requisitos mínimos de telecomunicações para as instalações do sistema são também definidos pelos procedimentos de rede em seu submódulo 13.2, visando à qualidade e padronização dos recursos destinados à supervisão, controle, comando, faturamento, proteção e outros.

Entretanto, embora fosse altamente recomendado que os procedimentos descritos no submódulo 13.2 fossem seguidos de instruções claras e atualizadas sobre como quantificar e monitorar os parâmetros de qualidade exigidos pelo ONS, isso não acontece.

Este trabalho apresenta uma discussão sobre os requisitos de telecomunicações, estabelecidos no submódulo 13.2, e os parâmetros atualmente utilizados para quantificar e monitorar os sistemas de comunicação digital de dados para a telessupervisão de usinas hidrelétricas, cujo despacho de geração é realizado de forma centralizada pelo ONS. Para tanto, o presente trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta e discute as métricas de nível de serviço seus requisitos mínimos necessários de disponibilidade e qualidade dos serviços de telecomunicações exigidos pelo ONS. A Seção 3 registra as conclusões do trabalho.

2 MÉTRICAS DE NÍVEL DE SERVIÇO

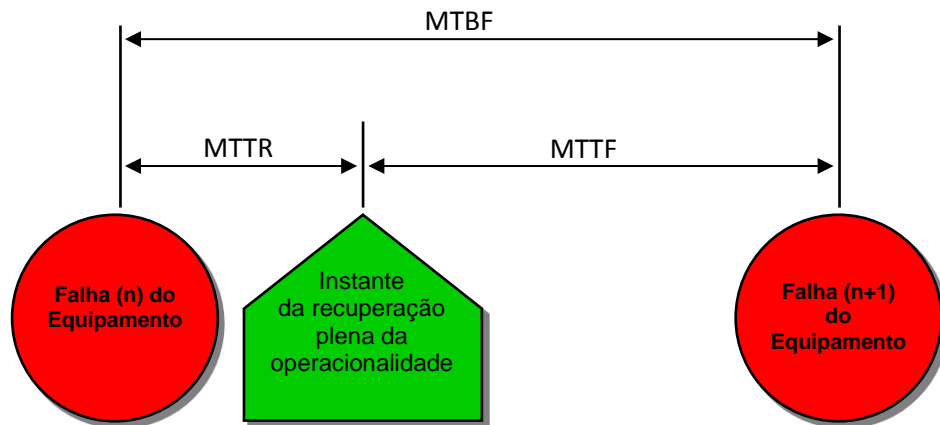
Conforme apresentado na Seção 1, esse trabalho apresenta uma análise dos requisitos de telecomunicação para hidrelétricas. Para esse tipo de instalação são definidos dois parâmetros que devem ser observados nos serviços de telecomunicações: disponibilidade e qualidade, além das configurações de topologia impostas.



2.1 DISPONIBILIDADE

A disponibilidade de um componente ou sistema é definida como “o grau de funcionalidade e acessibilidade que o sistema ou componente apresenta quando se requer a sua utilização” (TORELL, 2004, p.5). Para uma previsão da disponibilidade de um equipamento leva-se em conta o tempo médio entre falhas, (MTBF – *mean time between failures*), o tempo médio de reparo (MTTR – *mean time to repair*) e o tempo médio até a falha (MTTF – *mean time to failure*). A Figura 2 permite identificar os períodos de tempo utilizados para a obtenção do MTBF, MTTR e MTTF em relação ao instante da ocorrência de falhas.

FIGURA 2- Parâmetros relacionados com a disponibilidade



Fonte: Adaptado de CORRÊA (2008, p.23).

Esses parâmetros, geralmente representados em número de horas, correspondem à média: do tempo decorrido entre uma falha e outra - MTBF e do tempo decorrido entre a falha e o restabelecimento da operação plena do equipamento - MTTR. Conhecidos esses parâmetros o cálculo da disponibilidade de um componente individual é dado por (CORRÊA, 2008):

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.1)$$

Os parâmetros para cálculo da disponibilidade são geralmente informados pelo fabricante do componente. Como exemplo, supondo-se um equipamento com MTBF = 8760h e MTTR = 2,5h, a sua disponibilidade é:

$$D = \frac{8760}{8760 + 2,5} = 0,9997 .$$

Nesse exemplo, espera-se do equipamento uma disponibilidade de 99,97%.

De uma forma geral, os equipamentos são partes integrantes de um conjunto maior, o qual é responsável por um serviço ou grupo de serviços. Ao cliente desse serviço, interessa saber a disponibilidade do sistema como um todo e não apenas de um de seus componentes. Para o cálculo da disponibilidade desse sistema deve-se levar em conta a disponibilidade de cada componente, seja num arranjo série ou paralelo.

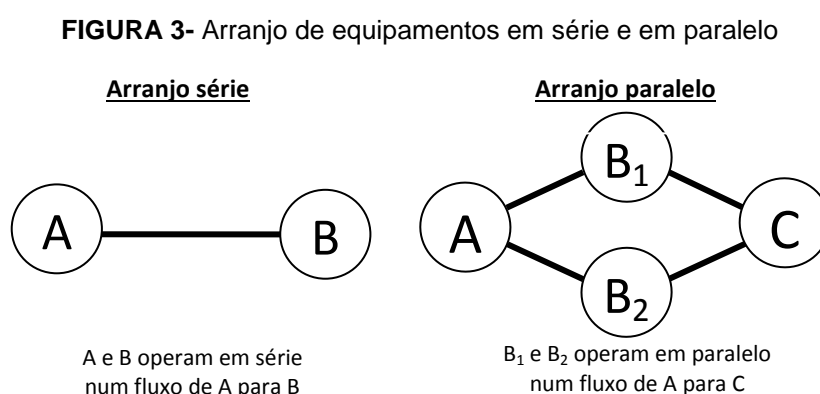
A disponibilidade no arranjo em série é dada por (CORRÊA, 2008):

$$D = \prod_{i=1}^n D_i . \tag{2.2}$$

Onde, D_i representa a disponibilidade do i -ésimo componente e n o número total de componentes em série. Por outro lado, a disponibilidade no arranjo paralelo é dada por (CORRÊA, 2008):

$$D = 1 - \left[\prod_{i=1}^n (1 - D_i) \right] . \tag{2.3}$$

Esses arranjos são exemplificados na Figura 3.

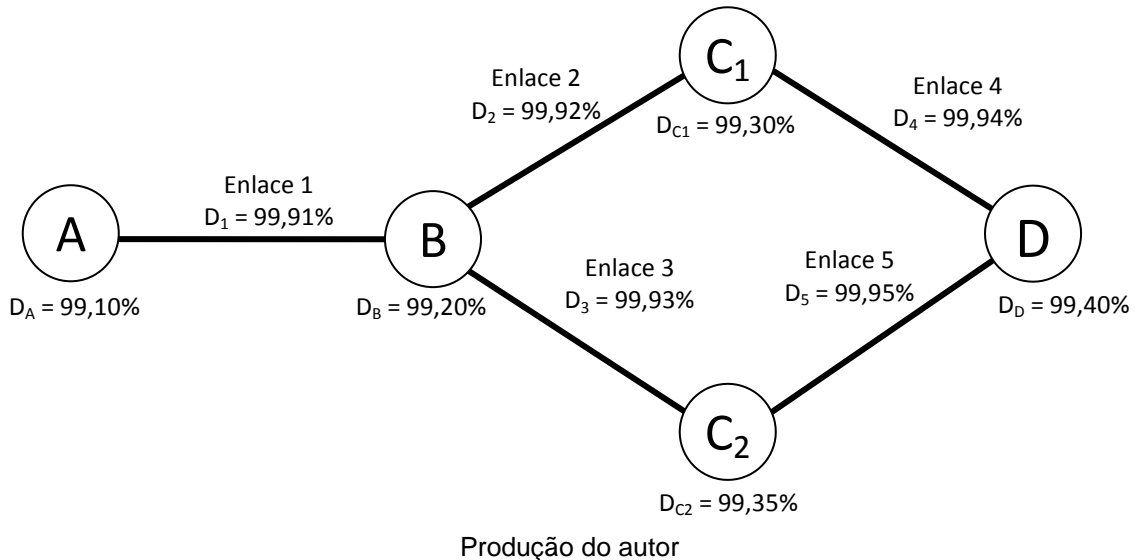


Produção do autor

Na prática, é comum encontrar associações em série e paralelo cujas disponibilidades podem ser estimadas pelo uso das equações (2.2) e (2.3) apresentadas. Para exemplificar o cálculo da disponibilidade de um sistema de telecomunicação,

considera-se o sistema da Figura 4. Na Figura 4, A, B, C₁, C₂ e D são equipamentos da rede de comunicação interligados pelos enlaces indicados com suas respectivas disponibilidades. Deseja-se saber a disponibilidade do sistema de A a D.

FIGURA 4- Sistema em combinação de série e paralelo



Pode-se calcular essa disponibilidade por:

- 1) Seja D_{24} a disponibilidade do caminho composto pelo enlace 2, equipamento C₁ e enlace 4. D_{35} a disponibilidade do caminho composto pelo enlace 3, equipamento C₂ e enlace 5. Logo, de (2.2):

$$D_{24} = D_2 \times D_{C_1} \times D_4 = 0,9992 \times 0,993 \times 0,9994 = 0,9916 = 99,16\%$$

$$D_{35} = D_3 \times D_{C_2} \times D_5 = 0,9993 \times 0,9935 \times 0,9995 = 0,9923 = 99,23\%$$

É importante notar que a disponibilidade resultante de componentes em série é menor do que a menor disponibilidade dentre os componentes.

- 2) Os caminhos correspondentes às disponibilidades calculadas, D_{24} e D_{35} formam entre si um arranjo em paralelo e, portanto, a disponibilidade D_{BD} do caminho equivalente, segundo (2.3) é dada por:

$$D_{BD} = 1 - [(1 - D_{24}) \times (1 - D_{35})] = 1 - [(1 - 0,9916) \times (1 - 0,9923)]$$

$$D_{BD} = 1 - [(1 - 0,9916) \times (1 - 0,9923)]$$

$$D_{BD} = 1 - [0,0084 \times 0,0077] = 0,9999 = 99,99\%$$

Em oposição ao que se observa no cálculo da disponibilidade de componentes em série, a disponibilidade resultante de componentes em paralelo é sempre maior do que a maior das disponibilidades entre os componentes.

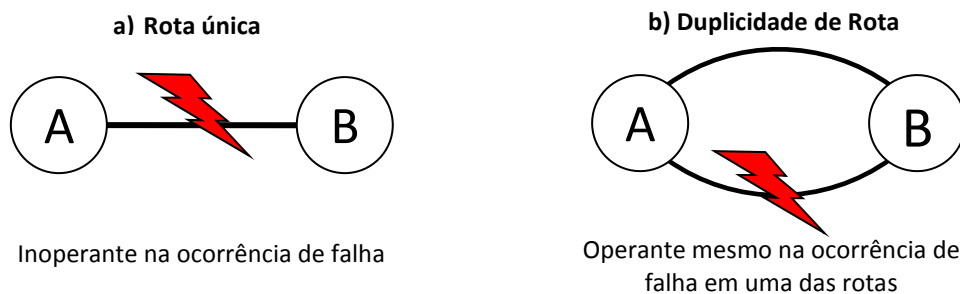
3) Todos os demais componentes formam um arranjo série juntamente com o caminho cuja disponibilidade D_{BD} foi calculada e, portanto, determina-se a disponibilidade D_{AD} do sistema que interliga A a D pela equação (2.2):

$$D_{AD} = D_A \times D_1 \times D_B \times D_{BD} \times D_D$$

$$D_{AD} = 0,9910 \times 0,9991 \times 0,9920 \times 0,9999 \times 0,9940 = 97,63\%$$

Como pode ser observado, a disponibilidade de um sistema de telecomunicação entre dois pontos é limitada pela menor disponibilidade entre todos seus componentes que representa um ponto de passagem obrigatório a todas as rotas possíveis desta interligação. Já o aumento do número de rotas alternativas eleva a disponibilidade de um sistema devido ao uso do arranjo em paralelo. Essa abordagem quando realizada com enlaces em paralelo, corresponde ao uso da diversidade de espaço que, em linhas gerais, consiste em fazer uso de outros locais físicos, livres dos incidentes que possam agredir a operação em um determinado local, como se pode observar na Figura 5. Na Figura 5a, nota-se que a incidência de um evento degradante cujo espaço de ação atinja a rota entre A e B é suficiente para deixar a rota inoperante. Com a mesma simplicidade pode-se notar na Figura 5b a vantagem da aplicação da diversidade de espaço com o uso de uma rota diferente e cuja localidade não fique sujeita às mesmas incidências de eventos degradantes.

FIGURA 5- Vantagem na diversidade de espaço

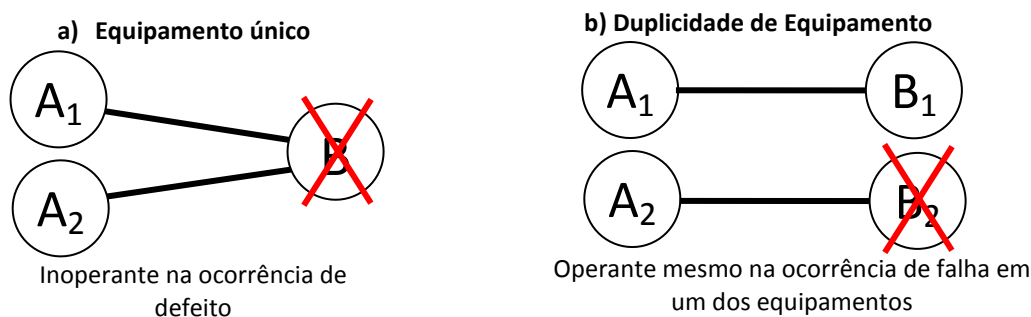


Produção do autor



Apesar da vantagem da diversidade espacial, nota-se que as rotas são realizadas de forma distinta, mas não independentes, pois ambas dependem da operacionalidade dos pontos A e B, que representam equipamentos como, por exemplo, um roteador, rádio ou multiplex. Uma falha em B deixaria o sistema indisponível. O uso da multiplicidade de equipamentos operando em paralelo elimina essa vulnerabilidade e corresponde à aplicação de redundância, cuja função é garantir que um equipamento esteja imediatamente disponível para assumir as funções de outro em caso de ocorrência de falha (MACEDO, 2008), como pode ser visto na Figura 6.

FIGURA 6- Vantagem na redundância de equipamentos



Produção do autor

Para atender as demandas do ONS, os requisitos de disponibilidade são especificados para três classes de serviços de voz e de dados: Classe A, Classe B e Classe C. Para serviços de voz e de dados que exigem altas disponibilidades são requeridos sistemas de comunicação que atendam a Classe A. Os sistemas de comunicação classificados como Classe B e Classe C são indicados para serviços de voz e de dados que não requerem tanta disponibilidade quanto ao Classe A. A Tabela 1 resume as métricas de disponibilidade total de cada classe de serviço de voz e dados especificada pelo ONS.

TABELA 1 – Métricas de disponibilidade das classes de serviços especificadas pelo ONS

Classe	Disponibilidade (%)	Indisponibilidade (h/ano)
A	99,98	1h45
B	99	87h36
C	95	438h

Fonte: Tabela produzida pelo autor com base em: ONS (2011, p. 4).

A Classe A requer uma alta disponibilidade do serviço de comunicação, por esse motivo, frequentemente, quando se exige seu uso o sistema de comunicação faz uso de duas rotas distintas e independentes. Essa classe é a requerida para os serviços de dados que atendem as necessidades da operação de tempo real do ONS e, portanto, o mesmo exige que se disponha de duas rotas para este serviço.

Alinhado ao uso mínimo de duas rotas, o submódulo 13.2 estabelece que os dados devem ser entregues a dois pontos distintos: um ao Sistema Local de Aquisição de Dados (SAL) e outro ao Sistema Remoto de Aquisição dos Dados (SAR), ambos de um mesmo Centro Regional de Operação do Sistema (COSR). Assim, a aplicação de no mínimo duas rotas distintas é inevitável.

Como as instalações em uma dada região do país se reportam ao COSR da sua região, faz-se comumente o uso de redes WAN. Para apresentar uma disponibilidade de 99,98% o projeto dessa rede deve considerar a disponibilidade individual de cada equipamento ao longo da mesma, bem como as suas configurações de topologia. No entanto, não é raro que em vez de projetar e implantar uma rede própria, o agente proprietário de hidrelétrica opte por contratar o serviço junto a operadoras de telecomunicação e, nesses casos, pode ser impossível ao contratante identificar todos os componentes de rede ou mesmo determinar a disponibilidade com base na topologia de uma rede complexa e compartilhada. Nesses casos, as disponibilidades de cada rota devem ser estabelecidas num Acordo de Nível de Serviço (SLA – *service level agreement*).

Além dos níveis de disponibilidade adequados, o submódulo 13.2 estabelece que a rede deve permitir o monitoramento da disponibilidade, mas não detalha os critérios para este monitoramento. Deduz-se que o monitoramento deva ser capaz de identificar ao menos os momentos de início e fim dos períodos de indisponibilidade total. Nos casos de contratação dos serviços, o contratante, que não é proprietário da rede de comunicação, deve firmar um contrato estabelecendo um SLA onde deve constar a disponibilidade mínima exigida. Com um SLA estabelecido, o contratante deve adotar mecanismos que o permita validar os resultados de monitoramento da disponibilidade para que estes não sejam de domínio restrito da operadora contratada. Existem equipamentos como o próprio *Gateway* de comunicação que podem ser configurados para alarmar quando da ocorrência de anormalidades, inclusive interagindo com o próprio sistema de supervisão da hidrelétrica que, geralmente, possui sistemas de registros de eventos com capacidade



para guarda de histórico. A apuração da disponibilidade do serviço de comunicação deve ser realizada mensalmente e seu valor de referência é o somatório dos últimos doze meses (ONS, 2011).

Para que um sistema de telecomunicação opere satisfatoriamente, cumprindo o propósito para o qual foi concebido, não é suficiente que o mesmo esteja simplesmente disponível, conforme discutido anteriormente, mas que atenda a níveis de qualidade que o permita ser considerado eficiente em suas operações (ONS, 2011). A seguir serão discutidos os parâmetros que caracterizam a eficiência de um sistema de telecomunicação à luz do ONS.

2.2 QUALIDADE

Baseado no ONS (2011), a qualidade de um sistema de telecomunicação pode ser avaliada conhecendo-se algumas métricas desse sistema, tais como: taxa de erro de bit (BER – *bit error rate*), latência, variação estatística do retardo e a taxa de perda de pacotes. A seguir, cada métrica acima citada será rapidamente discutida.

2.2.1 Taxa de Erro de Bit

Em sistemas digitais, a comunicação se dá pela informação transmitida através de bits. Um bit corresponde à menor unidade de informação capaz de ser processada ou transmitida por esses sistemas. Geralmente um bit é representado pelos dígitos 0 ou 1, como nesta sequência composta de 8 bits: “10110001”. Consideremos que em uma comunicação a sequência binária “10110001” seja transmitida para um determinado receptor e este, ao recebê-la, faz a seguinte leitura dos bits: “10110011”. A sequência recebida difere da originalmente emitida em seu 7^o (sétimo) bit, contados da esquerda para a direita. Nesse caso, ocorreu um erro de bit. Quando for possível quantificar os bits errados numa determinada quantidade de bits transmitidos, pode-se determinar a BER desse sistema de comunicação, que é dada por:

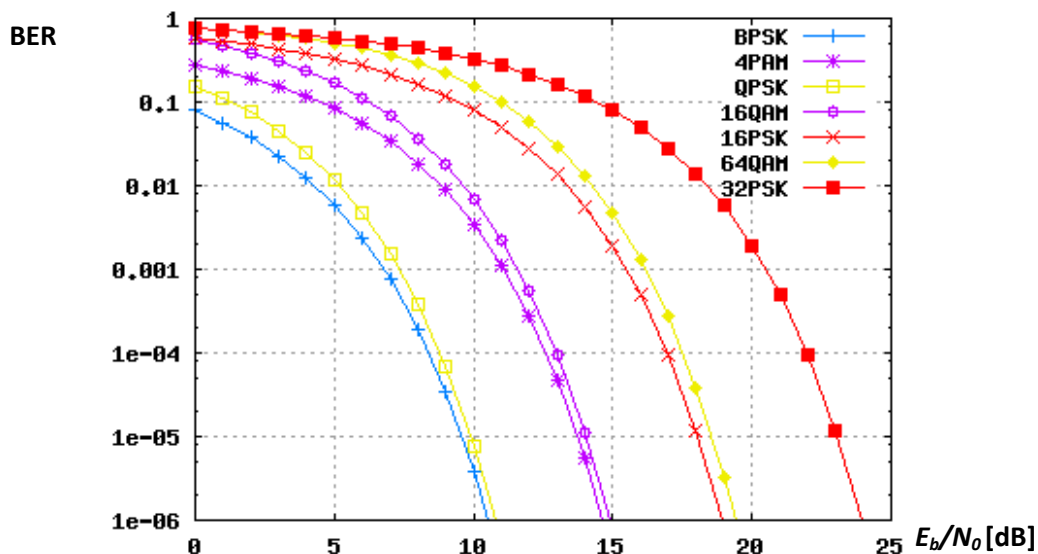
$$BER = \frac{N_{erro}}{N_{tx}}, \quad (2.4)$$

em que, N_{erro} representa o número de bits identificados erroneamente no receptor e N_{tx} o número de bits transmitidos.

Segundo Haykin (2007), a BER expressa a confiabilidade de um sistema de comunicação digital e está diretamente relacionada com a potência do ruído do canal de comunicação e inversamente relacionada à potência atribuída a cada bit nessa comunicação.

A adequação de um sinal para sua transmissão por um determinado meio, a fim de minimizar a BER, é uma atribuição dos esquemas de modulação. Embora, para cada tipo de modulação digital utilizada exista uma expressão distinta que relaciona a BER com as variáveis de potência do ruído e sinal, pode-se mostrar que a BER de todos os sistemas decrescem monotonicamente com valores crescentes da relação sinal-ruído $RSR = E_b/N_0$, em que E_b representa a energia do sinal transmitido por bit e N_0 a densidade espectral de potência do ruído do meio de comunicação (HAYKIN, 2007). O Gráfico 1 exemplifica as curvas de BER típicas de diferentes esquemas de modulação digital.

GRÁFICO 1 – BER em função de E_b/N_0 para diferentes esquemas de modulação



Fonte: Adaptado de PILLAI (2008)

Considerando-se apenas os sistemas puramente digitais, com taxa de transmissão maior ou igual a 64kbps (bits por segundo), o ONS exige uma taxa de erro de bits igual a zero pelo menos uma vez em cada três medições realizadas com 15min de duração cada (ONS, 2011). Para ser validado nas referidas medições, um sistema operando a qualquer taxa, desde que ≥ 64 kbps, deve ser projetado para superar os 900 segundos (15min), de operação sem erros. Assim, deve-se respeitar a relação

(2.5)

$$BER \leq \frac{1}{900R},$$

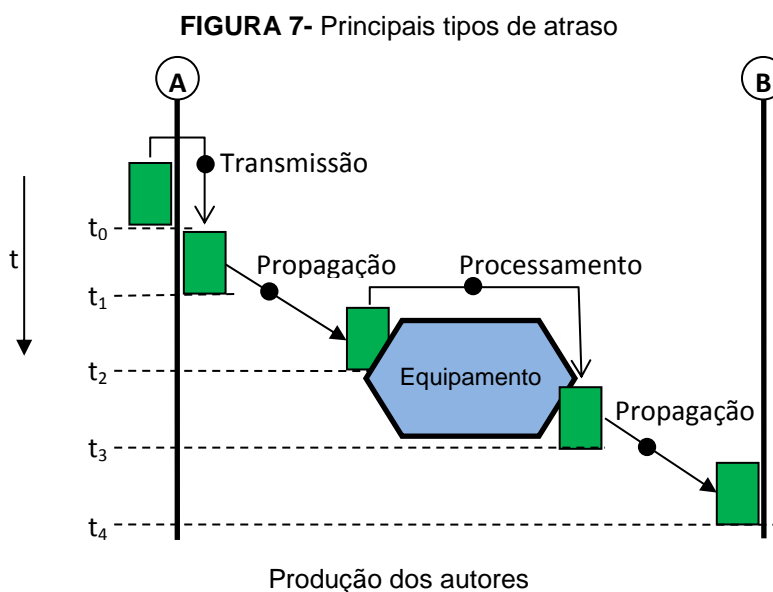
onde R é a taxa de bits da transmissão.

Verifica-se que a BER se relaciona com a taxa de transmissão de modo inversamente proporcional e, portanto, após a definição do meio físico e da taxa de transmissão a se utilizar, deve-se aplicar um esquema de modulação adequado para se obter a BER especificada.

No caso de sistemas operando com taxas de erro acima da especificada, é possível aplicar códigos corretores de erro. Contudo, o submódulo 13.2 não estabelece se a BER deve ser medida com ou sem a aplicação de códigos corretores e o uso dos mesmos podem implicar em aumento da latência.

2.2.2 Latência

A latência pode ser considerada, de maneira geral, como “o somatório dos atrasos impostos pela rede e equipamentos utilizados na comunicação” (SANTANA, 2013, p. 9). São três as principais atividades de um sistema de comunicação que caracterizam tipos de atrasos: transmissão, propagação e processamento. A Figura 7 permite identificar graficamente a ocorrência dos três tipos de atraso.

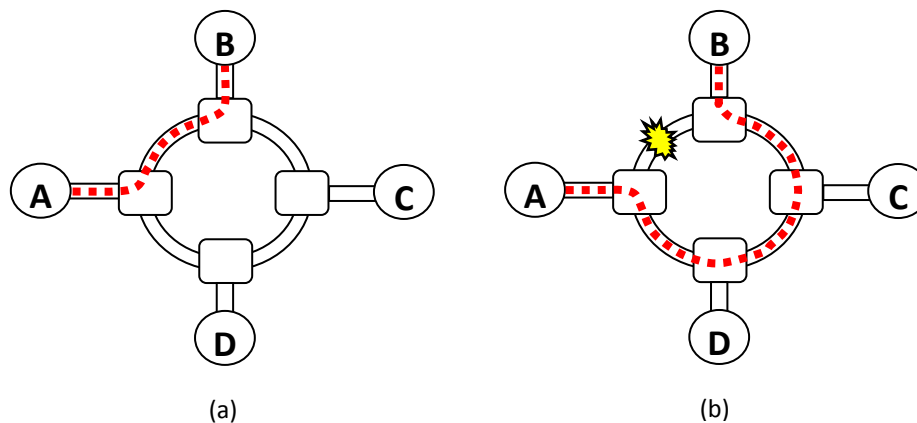


Entre t_0 e t_1 ocorre o atraso de transmissão, que corresponde ao tempo gasto entre a apresentação da informação ao transmissor e a disponibilização dos dados para o meio de transmissão. Esse tempo é definido pela taxa que o sistema consegue imprimir no processo de transmissão. Nesse processo, os dados apresentados à entrada do transmissor correspondem à informação que se deseja transmitir e os de saída são informação acrescida de dados para controle dos protocolos, detecção e correção de erros. A taxa de informação apresentada para a transmissão é conhecida por débito de informação, enquanto a taxa de bits que atravessam o canal, por débito binário (SILVA, 2009, p. 59). Entre t_1 e t_2 ocorre o atraso de propagação, que é o tempo necessário para que o sinal percorra a distância imposta pelo meio físico, tempo esse determinado pelo próprio meio utilizado e a respectiva distância a ser percorrida. O atraso de processamento verificado entre t_2 e t_3 é o tempo que o equipamento utiliza desde o instante em que recebe a informação até a destinação do dado para nova transmissão. No último trecho da Figura, observa-se novamente um atraso de propagação. Devido à dificuldade de se determinar os tempos de atrasos de cada um dos componentes envolvidos no sistema de comunicação, a latência pode ser estimada utilizando-se como parâmetro o tempo gasto entre a aplicação da informação no ponto A e a disponibilização de uma estimativa dessa informação em B. De uma forma mais prática, utiliza-se com frequência uma estimativa da latência baseada no tempo de ida e volta entre A e B do sinal transmitido em A. No último caso a latência é denominada tempo de ida-e-volta (RTT – *Round trip time*) (VALADÃO et al., 2010).

A Figura 7 retrata um enlace de comunicação ponto-a-ponto. Entretanto, devido às grandes distâncias envolvidas entre esses pontos, frequentemente, se faz opção pela contratação de operadoras que atuam com sistemas de alta capacidade como o SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) ou em nuvem. Nesses casos existem algumas considerações importantes sobre o impacto na latência. Seja uma comunicação estabelecida entre dois pontos A e B numa rede SDH operando com topologia em anel como apresentado na Figura 8, onde a Figura 8(a) indica a operação com a rota preferencial e a Figura 8(b) a retaguarda para os casos de falha na rota preferencial.



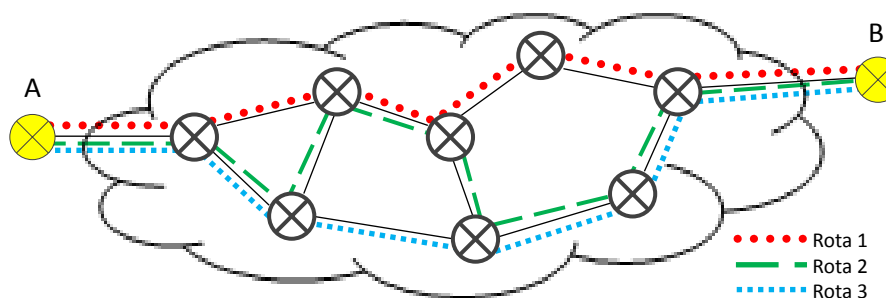
FIGURA 8- Comutação de rotas em redes SDH



Produção do autor

Devido ao novo trajeto a ser percorrido pelos dados, Figura 8(b), ocorrerá dilatação da latência. Esse fato deve ser considerado previamente na concepção do sistema. Além disso, redes que operam em nuvens cuja rota é indefinida no seu interior, podem apresentar variações de latência ainda menos previsíveis, dado o elevado número de rotas alternativas e a possível ocorrência de congestionamento de rotas que resultará na escolha de novo caminho. Um exemplo da possibilidade de múltiplas rotas no caminho de A até B é apresentado na Figura 9.

FIGURA 9- Multiplicidade de rotas na nuvem da rede



Produção do autor

Observe nessa Figura, que dependendo do caminho adotado no encaminhamento dos dados, um conjunto específico de equipamentos e rotas é acionado, o que implica em diferentes tempos de latência para cada opção selecionada. O tempo de ida-e-volta requerido pelo ONS para sistemas de dados puramente digitais que atendem às

atividades da operação de tempo real é indicado como $RTT \leq 140\text{ms}$ para uso de redes terrestres e $RTT \leq 700\text{ms}$ no caso de uso de redes de satélite (ONS, 2011).

Como visto, há três tipos de atrasos principais que compõem a latência: atraso de transmissão, de propagação e de processamento. A redução no atraso de transmissão pode ser obtida fazendo-se uso de equipamentos de transmissão com capacidade adequada e simplificando os processos de transmissão. O atraso de propagação está relacionado com a distância e o meio de propagação. A distância entre emissor e receptor é, geralmente, invariante, não sendo passível de ajustes. Já o meio de propagação pode ser escolhido para permitir maior velocidade e conseqüente redução do atraso. Em enlaces dedicados o atraso de processamento geralmente não será crítico. Já em redes compartilhadas a atenção deve ser aumentada, pois podem ocorrer congestionamentos em determinados nós da rede e, a depender do número de saltos e do nível de congestionamento geral, o atraso de processamento poderá ser expressivo.

Maior atenção deve ser aplicada na contratação de redes de alta capacidade ou de topologia em nuvem desconhecida, já que no interior dessas o percurso pode ser alterado aumentando tanto o atraso de propagação quanto o de processamento.

2.2.3 Variação Estatística do Retardo (*Jitter*)

A variação estatística do retardo, conhecida como *jitter* ou flutuação é o desvio padrão dos tempos de chegada dos pacotes (TANENBAUM, 2003). Considerando $t_{i,c}$ o instante de chegada ao receptor do i -ésimo pacote transmitido no instante $t_{i,e}$, a variação estatística do retardo pode ser obtida por

$$J = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}{N}}, \quad (2.6)$$

em que $t_i = t_{i,c} - t_{i,e}$ e

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i. \quad (2.7)$$



O *jitter* para sistemas de dados puramente digitais que atende às atividades da operação de tempo real estabelecido pelo ONS é indicado como $J \leq 20\text{ms}$ para uso de redes terrestres e $J \leq 90\text{ms}$ no caso de uso de redes de satélite (ONS, 2011).

Um dos principais fatores que introduzem o *jitter* é o uso de redes de comutação de pacotes, pois os dados podem sofrer atrasos em momentos de maior congestionamento da rede. Uma forma de eliminar o problema é o armazenamento em *buffers* no receptor, formando uma fila de pacotes que serão utilizados a taxa constante e as variações nos tempos de chegada ocasionarão apenas oscilações no tamanho da fila de chegada em vez das flutuações no tempo de chegada, porém isso resultará no aumento da latência. Outra opção de controle ocorre nos roteadores da rede calculando o tempo estimado para cada salto na rede. Um algoritmo no roteador irá priorizar os pacotes com atraso (TANENMAUM, 2003).

2.2.4 Taxa de Perda de Pacotes

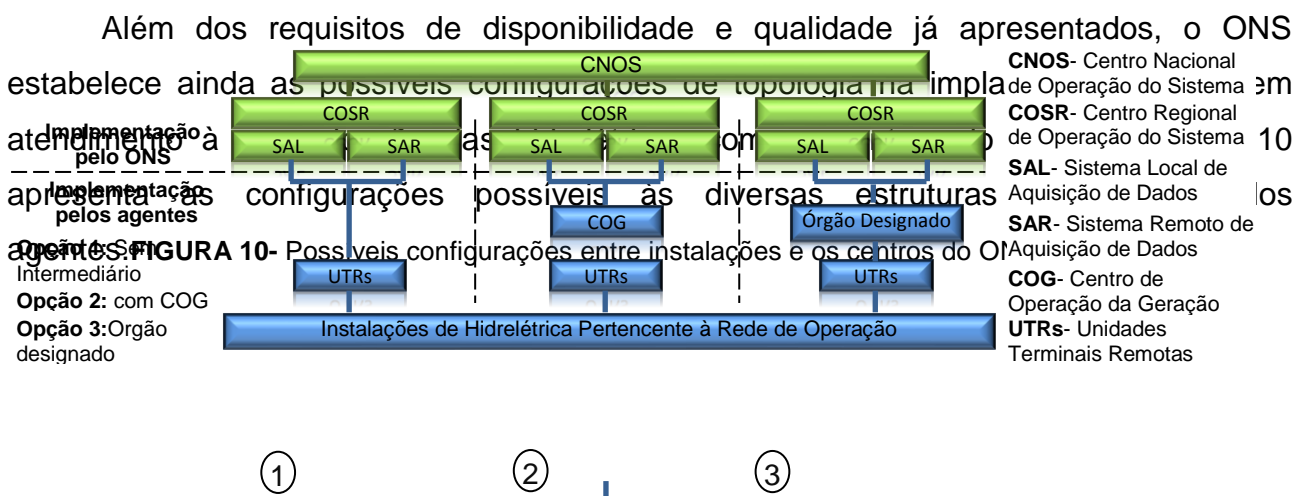
Os pacotes são as subdivisões dos dados a serem transmitidos em determinadas redes de comunicação. As redes capazes de transmitir individualmente os dados subdivididos, permitindo que os mesmos sejam reorganizados no destino, são as chamadas redes de comutação de pacotes. Uma das características de operação dessas redes é a ocorrência de descarte dos pacotes de maneira proposital ou por incapacidade de tratá-los. Por qualquer dos motivos, ocorre a chamada perda de pacotes.

Um dos motivos de perdas de pacotes é a ocorrência de transbordo das filas de roteadores da rede. Esse tipo de perda geralmente está associado ao congestionamento do canal. Há a ocorrência de perdas também pelo comportamento de protocolos que podem determinar o descarte pelo tempo ou número de saltos excessivos de um pacote na rede. Por último, podem ocorrer perdas devido à detecção de erros de bits por efeito de ruídos, distorções ou atenuações (KROPOTOFF, 2002).

Um pacote é considerado perdido “quando o destino não o receber por um tempo limite pré-determinado, conhecido como *time-out*” (KROPOTOFF, 2002, p. 12). A taxa de perda de pacotes é o percentual avaliado considerando os pacotes enviados e aqueles não recebidos no destino. A taxa de perda de pacotes para sistemas de dados puramente digitais que atende às atividades da operação de tempo real estabelecida pelo ONS deve ser menor do que 1% (ONS, 2011).

A perda de pacotes pode ocorrer por causas diversas. Em sistemas dedicados, um bom projeto e ajustes de campo são suficientes para a prevenção contra as perdas e em caso de falhas, estas são de mais fácil detecção e correção. No caso de uso das redes de comutação de pacotes, o usuário deve estabelecer, no SLA, a taxa de perda de pacotes sendo inferior a 1%, pois os principais causadores da perda de pacotes são problemas internos à rede e, portanto, de gestão da operadora.

2.3 CONFIGURAÇÃO



Fonte: Adaptado de: ONS (2011)

O submódulo 13.2 estabelece que qualquer que seja a estrutura hierárquica operacional utilizada pelo agente, o mesmo deve garantir a entrega dos dados a dois pontos distintos do ONS, um ao SAL e outro ao SAR. Essas localidades têm a característica de pertencer à mesma região metropolitana. As opções de estruturas hierárquicas aceitáveis e a exigência da entrega de dados em dois pontos distintos compõem o requisito de configuração de topologia apresentado pelo ONS.

Já quanto à estrutura hierárquica, a mesma extrapola os conceitos de telecomunicações aqui estudados e está relacionada com a hierarquia operacional adotada pelo agente proprietário de hidrelétricas, sendo portanto, indiferente para o atendimento aos requisitos estabelecidos.

Com todas essas variáveis em questão, de uma forma geral, uma das principais decisões dos agentes na elaboração da rede de dados para atendimento aos requisitos do ONS é quanto ao uso de redes de comutação de pacotes ou a implementação de uma rede dedicada. As vantagens de um sistema dedicado são ligadas ao maior controle



sobre o projeto e o correto dimensionamento para atendimento direto aos requisitos, mas esses sistemas em geral apresentam custos elevados e dificuldades de operação e manutenção para os agentes que não mantêm equipes especializadas. Por outro lado, os sistemas compartilhados como as redes de comutação de pacotes, oferecem melhor custo e maiores facilidades devido à existência, nas operadoras, de equipes especializadas em operação e manutenção, porém, o uso das redes pré-existentes e desconhecidas pelo agente tomador dos serviços traz insegurança quanto ao nível de serviço, uma vez que essas redes nem sempre estão preparadas para serviços de missão crítica, caracterizados pela exigência de alto nível de qualidade e disponibilidade. Assim, verifica-se que ao optar pela contratação dos serviços junto às operadoras é altamente recomendado que as exigências de nível de serviço estejam bem definidas num SLA detalhado e que o agente proprietário da hidrelétrica obtenha acesso e forma de garantir a consistência aos indicadores da rede em operação.

É também de grande importância na elaboração de contratos para estes serviços a definição das penalidades em caso de descumprimento por parte do prestador de serviços de telecomunicações, pois de igual modo o ONS prevê multas no valor correspondente a 5% da contribuição associativa anual paga pelos agentes do setor ao ONS. Este valor será relativo ao exercício em que ocorreu o descumprimento de algum procedimento de rede (ONS, 2009b).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho discutiu os requisitos de comunicação de dados para supervisão de usinas hidrelétricas exigidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico, baseados no submódulo 13.2 do procedimento de rede. Foram discutidos os parâmetros de disponibilidade, latência, BER e *jitter* considerando as descrições frequentemente utilizadas em comunicação digital.

Algumas das razões que levam os agentes a decidirem a investir em rede de comunicação própria ou terceirizada foram discutidas. O presente trabalho sugere que ao optar pela contratação dos serviços junto às operadoras de comunicação é altamente recomendado que as exigências de nível de serviço estejam bem definidas num acordo de nível de serviço detalhado. Além disso, que o agente proprietário da hidrelétrica obtenha acesso aos indicadores de qualidade da rede de comunicação que lhe atende, a fim de comprovar o atendimento às exigências de qualidade do ONS.

A DISCUSSION ON THE REQUIREMENTS OF COMMUNICATION DATA PLANTS SUPERVISION OF HYDROELECTRIC POWER PLANT BASED ON ONS REQUIREMENTS

ABSTRACT

The goal of this work is to discuss the requirements of data communication to supervision of hydroelectric power plant required by the Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Such requirements, although described in the network procedure on submodule 13.2, are not presented clearly. Furthermore, the submodule indicates as references outdated standards. In a general way, this work discusses the requirements of communication required by the ONS, such as availability, latency, BER and jitter, considering the description of these parameters like frequently used in digital communication systems. Finally, this work suggests that, if they choose to hire the services of communication with operators of communication, it is highly recommended that the service level requirements are well defined and that the owner agent of the hydroelectric get access to indicators of network communication that it attends.

Keywords: Requirements for Telecommunications. Availability. Latency. BER. Jitter.

REFERÊNCIAS

ABRADEE- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Visão Geral do Setor**. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor>>. Acesso em: 19 mar. 2014.

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília, 2005. 243 p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/atlas2005.zip>>. Acesso em: 21 mar. 2014.

CANTARINO, Marcelo. **Análise de Sensibilidade da Margem de Carregamento em Sistemas Elétricos de Potência: Um Estudo Comparativo**. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/ppee/files/2008/12/211059.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2014.

CORRÊA, Maximira Carlota. **Proposta de modelo para cálculo de disponibilidade em redes baseado na decomposição de espaço de est.** 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/4088>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

HAYKIN, Simon. **Sistemas de Comunicação: Analógicos e Digitais**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 837 p.

KROPOTOFF, Alexis Braga. **Um Emulador Paramétrico de Conexões Fim-a-Fim em Redes IP**. 2002. 116 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia de Sistemas e Computação, Departamento de Coordenação dos Programas de Pós-graduação de



Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<http://www.ravel.ufrj.br/sites/ravel.ufrj.br/files/publicacoes/tesealexis.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

MACEDO, Luís Gustavo Junqueira de. **Soluções de balanceamento e contingência em circuitos WAN**. 2008. 48 f. TCC (Especialização) - Especialização em Tecnologias, Gerência de Segurança em Redes de Computadores, Departamento de Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15976/000695274.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

ONS- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **SUBMÓDULO 1.1: O Operador Nacional do Sistema Elétrico e os Procedimentos de Rede: visão geral**. 1.0 ed. 2009a. 23 p. Disponível em: <<http://extranet.ons.org.br/operacao/prdocme.nsf/frmApresentalO?OpenForm&NumeroIO=1.1>>. Acesso em: 21 mar. 2014.

_____. **SUBMÓDULO 19.1: Identificação, tratamento de penalidades para as não-conformidades**. 1.0 ed. 2009b. 12 p. Disponível em: <<http://extranet.ons.org.br/operacao/prdocme.nsf/frmApresentalO?OpenForm&NumeroIO=19.1>>. Acesso em: 24 abr. 2014.

_____. **SUBMÓDULO 13.2: Requisitos mínimos de telecomunicações**. 2.0 ed. 2011. 8 p. Disponível em: <<http://extranet.ons.org.br/operacao/prdocme.nsf/83E7F406D2F98B268325774C0075C45A/8D3A1DD3DAA2F09D832575F60068CC52?OpenDocument>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

PILLAI, Krishna. Modulation roundup: error rates, noise, and capacity. 2008. Disponível em: <<http://www.embedded.com/print/4017668>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

SANTANA, Hugo. **Qualidade de Serviço (QoS) em Redes IP: princípios básicos, parâmetros e mecanismos**. Cursos de Telecom e Telemática. Universidade Santa Cecília, Santos, SP, 2006. Disponível em: <http://professores.unisanta.br/santana/downloads%5CTelecom%5CCom_Digitais%5CAulas%20o.%20Bimestre%5CTexto%20QoS_IP_Itelcon.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2013.

SILVA, Manuel. **Arquitetura de Redes e Serviços Telemáticos/Redes e Serviços Telemáticos**. Instituto Politécnico do Cávado e do Ave. Ensino Superior Público. Portugal, 2009. Disponível em: <[TANENBAUM, Andrew S.. **Redes de Computadores**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. 947 p. Tradução de: Vandenberg D. de Souza.](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=4&cad=rja&ved=0CEcQFjAD&url=https%3A%2F%2Fwoc.ipca.pt%2Fest%2FgetFile.do%3Ftipo%3D2%26id%3D6382&ei=7Ut8Uv_FHYfMkAftxYCABA&usg=AFQjCNFuWr4LI0sA4w64yHvN GjlZ01DUXA&sig2=kl3hVEQ2qNknNc--AgT43w&bvm=bv.56146854,d.eW0.> https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=4&cad=rja&ved=0CEcQFjAD&url=https%3A%2F%2Fwoc.ipca.pt%2Fest%2FgetFile.do%3Ftipo%3D2%26id%3D6382&ei=7Ut8Uv_FHYfMkAftxYCABA&usg=AFQjCNFuWr4LI0sA4w64yHvN GjlZ01DUXA&sig2=kl3hVEQ2qNknNc--AgT43w&bvm=bv.56146854,d.eW0.> Acesso em: 11 nov. 2013.</p></div><div data-bbox=)

TORELL, Wendy; AVELAR, Victor. **Tempo Médio entre Falhas**: Explicação e Padrões. 78. ed. W. Kingston, Rhode Island: American Power Conversion, 2004. 14 p. Disponível em: <http://computerworld.com.br/estaticas/downloads/wp_apc_mtbfb.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2013.

VALADÃO, Everthon et al. **Medição, análise e modelagem de tempos de ida-e-volta na Internet**. XXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2010. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbrc/2010/0029.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2013.