

Submódulo 2.8

Requisitos mínimos para elos em corrente contínua

Requisitos

Revisão	Motivo da revisão	Data de aprovação
2020.12	Resolução Normativa nº 903/2020	08/12/2020

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

ÍNDICE

1. OBJETIVO.....	4
2. ETAPA DE CONCEPÇÃO – DEFINIÇÃO DO CIRCUITO PRINCIPAL.....	4
2.1. Requisitos gerais.....	4
2.2. Valores nominais e capacidade de sobrecarga	5
2.2.1. Frequência no lado CA.....	5
2.2.2. Tensão no lado CA.....	5
2.2.3. Potência do elo CC.....	5
2.2.4. Tensão CC da transmissão.....	6
2.2.5. Intercâmbio de potência reativa	6
2.2.6. Níveis de curto-circuito	6
2.2.7. Capacidade de sobrecarga.....	7
2.2.8. Filtros e demais equipamentos para compensação reativa – Premissas básicas.....	8
2.3. Configurações de operação.....	8
2.4. Modos de controle	8
2.5. Filosofia de operação do elo CC – Interação CA-CC-CA.....	9
2.6. Compensação reativa	11
2.6.1. Requisitos de potência reativa para elementos manobráveis	11
2.6.2. Requisitos de potência reativa controlável	12
2.7. Filtros do lado CA	12
2.7.1. Desempenho	12
2.7.2. Capacidade nominal de filtros CA (<i>rating</i>).....	16
2.7.3. Chaveamento de filtros do lado CA.....	17
2.8. Filtros do lado CC.....	18
2.8.1. Desempenho harmônico	18
2.8.2. Capacidade nominal de filtros CC.....	20
2.9. Válvulas de conversão CA/CC/CA.....	21
2.10. Transformadores conversores.....	21
2.11. Perdas	21
2.12. Confiabilidade	22
2.13. Coordenação de isolamento	22
2.13.1. Geral	22
2.13.2. Operação de elos CC em paralelo.....	22
2.13.3. Margens mínimas de proteção/isolamento	23
2.13.4. Distâncias de escoamento.....	23
2.13.5. Descargas atmosféricas	24
2.13.6. Da avaliação da conformidade	24
2.14. Eletrodos	24
2.14.1. Requisitos gerais.....	24
2.14.2. Interferências	24
2.14.3. Características operacionais.....	25
2.14.4. Características elétricas.....	25
2.15. Linha do Eletrodo	25
2.15.1. Capacidade de corrente	25
2.15.2. Definição da flecha máxima dos condutores.....	26
2.15.3. Perda Joule nos cabos condutores.....	26

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021
2.15.4. Coordenação de isolamento.....				26
3. ETAPA DE DETALHAMENTO – OTIMIZAÇÃO DO CIRCUITO PRINCIPAL, DAS INTERAÇÕES CA/CC E TESTES				26
3.1. Requisitos gerais.....				26
3.2. Tomada e retomada de carga				27
3.3. Requisitos quanto a falhas de comutação.....				27
3.4. Operação dos conversores durante defeitos no sistema				28
3.5. Interferência em rádio e em onda portadora				28
3.6. Ruído audível.....				28
3.7. Telecomunicação.....				28
3.8. Requisitos de confiabilidade do sistema de controle.....				29
3.9. Requisitos do sistema de controle				29
3.10. Controle Mestre (<i>Master Control</i>).....				30
3.11. Proteção				31
3.12. Requisitos de supervisão e controle.....				31
3.13. Registro de perturbações				32
3.14. Perdas				32
4. REFERÊNCIAS				32

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

1. OBJETIVO

1.1. Estabelecer os requisitos técnicos mínimos para os elos em corrente contínua (elos CC), com ou sem linha CC, que integram ou se conectam à Rede Básica ou às instalações de transmissão de energia elétrica destinadas a interligações internacionais conectadas à Rede Básica.

1.1.1. Os requisitos descritos neste submódulo aplicam-se aos elos de corrente contínua (elos CC), com tecnologia LCC (*Line Commutated Converter*), integrantes da Rede Básica ou das instalações de transmissão de energia elétrica situadas no Brasil destinadas a interligações internacionais conectadas à Rede Básica.

1.1.2. Este submódulo também se aplica aos elos CC sob responsabilidade de agente de geração, de transmissão e de importação/exportação, situados dentro ou fora do Brasil, que se conectam à Rede Básica ou ao Sistema Elétrico Interligado (SIN), naquilo que se refere aos aspectos que afetam as interações corrente alternada – corrente contínua (CA/CC), tais como faixas de variação de frequência e de tensão a serem respeitadas, fluxo de reativos entre o sistema CA e o sistema CC, requisitos de desempenho durante e após aplicações de defeitos, níveis de injeção de harmônicos no sistema CA e interação entre controles de equipamentos eletricamente próximos, definidos pelos Procedimentos de Rede.

1.1.3. Considera-se, neste submódulo, que as instalações CA necessárias ao funcionamento dos elos CC localizadas nas subestações terminais, tais como transformadores conversores, filtros, compensadores síncronos e capacitores em derivação, fazem parte desses elos CC.

1.1.4. Apesar de este submódulo não tratar dos requisitos de elos CC com configurações multiterminais, esses elos devem respeitar os requisitos de interação entre as conversoras e o sistema CA aqui estabelecidos.

1.1.5. Os requisitos são estabelecidos neste submódulo para as duas etapas de elaboração do projeto básico dos elos CC, de acordo com processo descrito no Submódulo 7.3 – Verificação da conformidade das instalações de transmissão aos requisitos:

- (a) etapa de concepção, que consiste na definição do circuito principal; e
- (b) etapa de detalhamento, que consiste na otimização do circuito principal, das interações CA/CC e testes.

2. ETAPA DE CONCEPÇÃO – DEFINIÇÃO DO CIRCUITO PRINCIPAL

2.1. Requisitos gerais

2.1.1. Os requisitos e as características das instalações e dos equipamentos constantes no Submódulo 2.6 – Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos, Submódulo 2.7 – Requisitos mínimos para linhas de transmissão e Submódulo 2.11 – Requisitos mínimos para os sistemas de proteção, de registro de perturbações e de teleproteção devem ser atendidos.

2.1.2. O arranjo de barramento da subestação CA deve atender ao disposto no Submódulo 2.6.

2.1.3. Devem ser seguidas as recomendações para elos CC constantes das normas técnicas nacionais e internacionais, especialmente das normas IEC [8], [9] e [10].

2.1.4. Devem ser definidos os componentes do circuito principal, a saber: válvulas, transformadores conversores e sua faixa de tapes, reatores de alisamento, compensação reativa, filtros CA e filtros CC, linha CC e linha do eletrodo, sistemas de aterramento (critérios), modos de operação, diagramas unifilares, pátios CA e CC e a filosofia dos sistemas de proteção, supervisão e controle, incluindo o *Master Control*. Devem

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

também ser estimadas por meio de cálculo as perdas máximas a serem obtidas. Os requisitos associados às características relacionadas à definição do circuito principal devem ser demonstrados previamente à etapa de otimização, detalhada no item 3 do presente submódulo, uma vez que as ordens de produção dos equipamentos são baseadas nas definições da etapa de definição do circuito principal.

2.2. Valores nominais e capacidade de sobrecarga

2.2.1. Frequência no lado CA

2.2.1.1. Como a frequência nominal no lado CA do SIN é de 60 Hz, podendo variar transitoriamente de 56 Hz até 66 Hz, o elo CC deve ser dimensionado para operar, sem bloqueios, nas seguintes faixas de frequência:

- (a) faixa de variação de frequência em regime permanente, utilizada para o cálculo do desempenho dos equipamentos e dimensionamento de seus componentes (*ratings*): 60 Hz \pm 0,2 Hz;
- (b) faixas de variação transitória de frequência, utilizadas para o cálculo do dimensionamento dos componentes (*ratings*):
 - (1) de 56,0 Hz até 59,8 Hz (exclusive) por até 20 segundos;
 - (2) de 60,2 Hz (exclusive) até 66,0 Hz por até 20 segundos.

2.2.2. Tensão no lado CA

2.2.2.1. O elo CC, seus filtros e demais equipamentos dos pátios CA devem ser dimensionados para operar com desempenho adequado e sem causar restrições de qualquer tipo ao SIN.

2.2.2.2. As faixas de tensão de operação estão estabelecidas no Submódulo 2.3 – Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos.

2.2.2.3. O dimensionamento do elo CC e de sua compensação reativa deve ser feito de modo que seja possível operá-lo sem restrições, atendendo aos níveis de tensão mínima estabelecidos para a operação em condição de emergência apresentados no Submódulo 2.3.

2.2.3. Potência do elo CC

2.2.3.1. A potência nominal do elo CC, para cada um dos dois sentidos do fluxo de potência, deve ser aquela definida pelos estudos de planejamento da expansão ou no instrumento técnico dos documentos de outorga.

2.2.3.2. Considera-se como potência nominal do elo CC a potência em regime contínuo no terminal CC, medida entre o reator de alisamento e a linha CC, do lado de maior capacidade que esteja operando como retificador.

2.2.3.3. Essa potência nominal deve ser alcançada com todos os polos do elo CC em operação, submetidos a uma temperatura ambiente definida no instrumento técnico dos documentos de outorga, sem uso da redundância de refrigeração.

2.2.3.4. A redundância de refrigeração deve ser dimensionada para permitir, no mínimo, a transmissão da potência nominal continuamente e simultaneamente à ocorrência da temperatura ambiente máxima definida no instrumento técnico dos documentos de outorga.

2.2.3.5. O elo CC e sua compensação reativa devem ser dimensionados de forma que seja possível operar nas faixas de tensão admissíveis definidas no Submódulo 2.3 para operação em condição normal e em condição de emergência e com potência mínima de 10% da potência nominal para as condições extremas de potência de curto-circuito do sistema CA adjacente. Em caso de mais de um elo CC operando em paralelo

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

entre as mesmas estações conversoras, isoladamente e em transmissão conjunta, utilizando ou não a mesma linha CC, cada um deles deve ser capaz de operar com potência mínima de 10% da potência nominal de cada bipolo isoladamente.

2.2.4. Tensão CC da transmissão

2.2.4.1. A tensão nominal CC deve corresponder ao valor médio da tensão no terminal de maior capacidade que opera como retificador.

2.2.4.2. Admite-se a operação com valores de tensão CC superiores ao valor nominal, desde que respeitada a máxima suportabilidade de projeto da linha CC, nos moldes das definições contidas no Submódulo 2.7.

2.2.5. Intercâmbio de potência reativa

2.2.5.1. As estações conversoras devem ser equipadas com os equipamentos de compensação reativa necessários à sua operação, desde a condição de bloqueio até a de plena carga, para os modos de operação definidos no item 2.3 deste submódulo, em qualquer situação operativa, mesmo considerando a operação na condição de ausência do maior banco manobrável de suas instalações, com a rede CA adjacente em condição íntegra ou degradada dentro das faixas de potência de curto-circuito definidas no item 2.2.6 deste submódulo, com fluxo transmitido em ambos os sentidos e considerando os níveis de frequência e tensão das barras CA nas faixas descritas nos itens 2.2. e 2.2.2 deste submódulo.

2.2.5.2. Os limites de absorção e de fornecimento de potência reativa do sistema CA para o elo CC, nos pontos de conexão à Rede Básica ou ao SIN são estabelecidos pelo instrumento técnico dos documentos de outorga.

2.2.5.3. Para o caso de instalações de transmissão de energia elétrica, situadas dentro ou fora do Brasil, destinadas a interligações internacionais conectadas à Rede Básica ou ao SIN, a compensação reativa do elo CC deve ser dimensionada de modo a que não haja nenhuma absorção de reativos da rede CA no ponto de conexão.

2.2.5.4. A compensação reativa do elo CC deve ser dimensionada de modo a evitar o surgimento do fenômeno de auto-excitação em unidades geradoras próximas.

2.2.5.5. Caso seja utilizado o controle da conversora como recurso quanto à absorção de reativos pelo elo CC para limitar o intercâmbio de potência reativa entre as redes CA e CC, esse procedimento não pode ocasionar interações indesejáveis para a coordenação do controle de ambos os lados (retificador e inversor) do elo CC.

2.2.5.6. No caso de operação bipolar, para despachos mínimos, ou mesmo no desbloqueio das conversoras, não é admitida a utilização de controle de tensão CA do lado da válvula, no secundário do transformador conversor.

2.2.5.7. O atendimento a esses requisitos deve ser garantido considerando-se todas as tolerâncias de fabricação e de medição que impactem no consumo de potência reativa.

2.2.6. Níveis de curto-circuito

2.2.6.1. Se os valores de curto-circuito máximo e mínimo não tiverem sido especificados no instrumento técnico dos documentos de outorga, será de responsabilidade da transmissora identificar e demonstrar a adequação dos valores de curto-circuito máximo e mínimo a serem adotados no projeto das estações conversoras, por meio da apresentação dos estudos específicos para essa finalidade, tomando como referência os casos de curto-circuito utilizados para elaboração dos relatórios R1 e R2 do empreendimento.

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

2.2.6.2. Os níveis de curto-circuito máximo e mínimo nas estações retificadora e inversora devem ser calculados considerando todas as condições operativas possíveis utilizando a configuração de rede completa e (n-1), a saber: todos os níveis de carga (mínimo, leve, média, máxima) e intercâmbios nas principais interligações do país (Norte-Sul, Sul-Sudeste, Sudeste-Nordeste e Norte-Nordeste) em ambas as direções. Para os casos de curto-circuito mínimo na inversora, deve também ser considerada a configuração de inércia mínima do sistema elétrico receptor.

2.2.6.3. O projeto deve considerar, para o cálculo de curto-circuito, todas as fases de desenvolvimento da alternativa CC. Caso essas fases ocorram dentro do horizonte de operação, deve ser utilizada a base de dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. Para as situações fora desse horizonte, deve-se utilizar os dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE.

2.2.6.4. O dimensionamento das válvulas CA/CC deve levar em consideração as solicitações advindas de correntes transitórias máximas, tendo como base o mesmo valor adotado para a corrente de interrupção simétrica/assimétrica especificada para os disjuntores do pátio CA das estações terminais.

2.2.7. Capacidade de sobrecarga

2.2.7.1. Os conversores devem ser capazes de suportar, quando operando com os sistemas de refrigeração íntegros, em qualquer modo de operação disponível, os seguintes tipos de sobrecarga, sem perda de vida útil, nas condições de temperatura ambiente estabelecidas no instrumento técnico dos documentos de outorga (condições para as quais é possível a transmissão da potência nominal do bipolo):

- (a) sobrecarga de potência de longa duração de cada polo, por 30 (trinta) minutos, com a finalidade de permitir redespacho adequado das unidades geradoras do SIN durante esse período;
- (b) sobrecarga de potência de curta duração, por 5 (cinco) segundos, em valor superior à sobrecarga de longa duração, com redução em rampa suave até o valor de sobrecarga de longa duração e/ou até a potência nominal, com a finalidade de auxiliar o sistema CA durante distúrbios.

2.2.7.2. Os montantes de sobrecarga de potência de longa duração devem levar em conta o impacto da perda do polo no sistema receptor. Os equipamentos devem ser projetados de forma que a periodicidade mínima de ocorrência de ciclos de sobrecarga de potência de longa duração corresponda a um intervalo entre dois ciclos subsequentes igual ou inferior a 24 (vinte e quatro) horas em montante determinado no instrumento técnico dos documentos de outorga.

2.2.7.3. A transmissora deve informar ao ONS a capacidade de sobrecarga contínua do elo CC, para temperaturas ambientes inferiores àquela considerada por ocasião do seu dimensionamento para a operação com tensão e potência nominais, sem perda de vida útil adicional.

2.2.7.4. Adicionalmente, a transmissora deve informar ao ONS qualquer capacidade de sobrecarga disponível, de acordo com o projeto das estações conversoras, sem perda de vida útil das pontes tiristoras, mesmo que haja perda de vida útil dos transformadores e dos reatores de alisamento. Nesses casos, deve informar o valor estimado da perda de vida útil por hora, em função da temperatura ambiente.

2.2.7.5. Os filtros devem ser dimensionados (ratings) para suportar o aumento da geração de harmônicas para a operação nas condições não nominais mencionadas nos itens 2.2.7. , 2.2.7.2. e 2.2.7.3. deste submódulo.

2.2.7.6. Também deve ser informado pela transmissora o nível das distorções harmônicas geradas pela conversora nas condições operativas definidas nos itens 2.2.7. , 2.2.7.2. e 2.2.7.3. deste submódulo, assim como a potência reativa adicional a ser absorvida pela conversora.

2.2.8. Filtros e demais equipamentos para compensação reativa – Premissas básicas

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

2.2.8.1. A compensação reativa pode ser composta por capacitores, reatores e/ou filtros.

2.2.8.2. A maior unidade de agrupamento de filtros e de equipamentos de compensação reativa é o banco. Um banco pode ser composto de um ou mais sub-bancos. O sub-banco pode ser composto por um ou mais ramos.

2.2.8.3. Tanto o banco quanto o sub-banco devem ser manobráveis por disjuntor e possuir seus próprios TC. Caso o sub-banco seja composto por apenas um ramo, esse ramo deve ser manobrável pelo disjuntor do próprio sub-banco.

2.2.8.4. O ramo pode ser constituído por um filtro (sintonia simples ou múltipla) ou por um equipamento de compensação reativa (capacitiva ou indutiva).

2.3. Configurações de operação

2.3.1. Cada elo CC deve ser dimensionado para ser capaz de operar, no mínimo, nas seguintes configurações de operação: bipolar, monopolar com retorno pela terra e monopolar com retorno metálico. Conversores do tipo *back-to-back* devem ser capazes de operar nas configurações mono-bloco e bi-bloco.

2.3.2. Cada elo CC deve também ser capaz de operar com fluxo de potência direto ou reverso, se especificado para tal, bem como com tensão de pelo menos 70% da tensão nominal, exceção feita a conversores do tipo *back-to-back*.

2.3.3. Elos CC conectados entre as mesmas estações conversoras previstos dentro de um mesmo ciclo de planejamento, ainda que com datas de entrada em operação comercial diferentes, pertencentes ou não a transmissoras diferentes e fabricados por fornecedores diferentes, devem ser concebidos de forma a permitir a operação dos elos em paralelo. Para tanto, deve-se prever a instalação, em cada polo conversor e na conexão à linha do eletrodo, de quantidade de equipamentos de manobra suficiente para viabilizar todas as combinações possíveis de paralelismo, com retorno metálico e retorno pela terra, por meio da utilização respectivamente de dispositivos MRTB (*Metalic Return Transfer Breaker*) e GRTS (*Ground Return Transfer Switch*).

2.3.4. Deve-se projetar os eletrodos de terra de modo a garantir que, na operação dos elos CC com retorno pela terra, não haja consequências danosas às próprias conversoras ou a oleodutos, gasodutos, ferrovias, transformadores com o neutro aterrado ou estruturas metálicas, bem como para evitar a ocorrência de problemas ambientais. Essas análises devem ser submetidas à apreciação do ONS e dos demais órgãos cujas atribuições estejam relacionadas às potenciais consequências decorrentes da operação monopolar.

2.3.5. Na hipótese de serem construídos eletrodos independentes para bipolos que compartilhem a mesma subestação, o projeto dos eletrodos de cada transmissora deve levar em conta o nível de interferência resultante da operação monopolar com retorno pela terra de um bipolo sobre a operação do bipolo vizinho, com foco especial na saturação dos transformadores conversores.

2.4. Modos de controle

2.4.1. Os controles dos conversores devem ser projetados para assegurar que mudanças de modo de controle não ocorram com variações de até 3,0% da tensão nominal CA do sistema. Devem estar disponíveis os seguintes modos de controle para toda a faixa operativa:

- (a) controle de corrente; e
- (b) controle de potência.

2.4.2. O sistema deve dispor de um controle que use os comutadores de derivação sob carga dos transformadores conversores para auxiliar no controle das válvulas.

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

2.4.3. Deve ser possível alterar automaticamente o modo de controle de potência para controle de corrente após a perda do sistema de telecomunicação, a ocorrência de problemas no suporte de reativos ou a possibilidade de surgimento de situações que possam gerar instabilidade de tensão ou falha de comutação.

2.4.4. Além dos controles convencionais, o sistema de controle deve possibilitar:

- (a) a minimização do consumo de reativos pelas conversoras;
- (b) a operação com consumo elevado e controlado de reativos voltada para o controle da tensão da barra CA em regime permanente em condições de baixa potência transmitida;
- (c) o controle da frequência por meio da variação da potência ativa;
- (d) a modulação da potência ativa ou reativa para a estabilização do sistema CA com a consequente redução de instabilidades angulares;
- (e) o amortecimento de oscilações subsíncronas; e
- (f) a redução da potência ou da corrente para possibilitar o controle do efeito de contingências que possam causar instabilidades de tensão no sistema CA e falhas de comutação no inversor.

2.5. Filosofia de operação do elo CC – Interação CA-CC-CA

2.5.1. O elo CC não deve causar perturbações na Rede Básica que se traduzam na degradação da qualidade da energia fornecida, em dificuldades no controle de oscilações de tensão e de frequência, em riscos de danificação de equipamentos e instalações dessa rede, assim como em perturbações em seus sistemas de telecomunicação.

2.5.2. Para possibilitar a operação adequada da Rede Básica, o elo CC deve atender às seguintes condições e requisitos:

- (a) operar sem restrições dentro da faixa operativa de potência especificada para configurações (n) e (n-1) dos sistemas CA adjacentes, durante todas as fases de implantação e operação do empreendimento, sem provocar oscilações perturbadoras de potência, tensão ou frequência;
- (b) auxiliar a Rede Básica no controle de tensão dentro da faixa de geração ou de absorção de reativos definida no item 2.2.5 deste submódulo;
- (c) permitir, em caso de indisponibilidade prolongada de qualquer um dos polos, a utilização das linhas CC como retorno metálico;
- (d) auxiliar a Rede Básica no controle de oscilações eletromecânicas, por meio da modulação de potência e/ou de reativos;
- (e) não submeter o sistema CA adjacente a instabilidade de tensão, em qualquer condição operativa do elo CC, para configurações (n) e (n-1) da rede CA, mesmo durante afundamento de tensão provocado por faltas;
- (f) ser projetado para possibilitar a manobra automática de elementos da compensação reativa pertencentes ao elo CC para atingir os objetivos de controle de tensão e níveis de harmônicos no ciclo de carga diário da conversora, devendo ser evitada qualquer possibilidade de hunting entre controles internos e/ou externos ao elo que venha a produzir manobras intermitentes dos elementos de compensação reativa;
- (g) não causar perturbações de origem harmônica nas barras CA das conversoras acima dos limites individuais especificados no Submódulo 2.9 – Requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

para acesso ou integração à Rede Básica, para quaisquer configurações (n) e (n-1) da rede CA, bem como perturbações decorrentes de falha de componentes individuais do elo CC, com o elo operando até a potência nominal;

- (h) manter, ao longo do contrato de concessão, para quaisquer configurações (n) e (n-1) da rede CA, o desempenho harmônico requerido para as condições de máxima dessintonia dos filtros passivos associadas às condições mais severas de geração de correntes harmônicas pelos conversores. Deve ser considerada a possibilidade de operação da rede CA com um desequilíbrio máximo de sequência negativa de 2,0% (conforme Submódulo 2.9). Nos casos de filtros ativos ou passivos de sintonia automática, devem ser considerados os erros de controle.

2.5.3. O elo CC deve ser dimensionado de forma a não permitir que sobretensões de caráter transitório ou temporário nele originadas ou por ele influenciadas, para qualquer condição operativa, exijam de equipamentos ou instalações do sistema CA adjacente às estações conversoras desempenho acima da sua suportabilidade, observando-se que:

- (a) deve-se dar especial atenção às sobretensões temporárias com distorção harmônica, normalmente relativas a contingências que envolvem saturação de transformadores;
- (b) quanto aos valores máximos de sobretensões:
- (1) deve-se limitar a máxima sobretensão temporária a 1,40 pu (fase-fase-eficaz), nas barras das subestações conversoras, considerando a situação de bloqueio total das conversoras, o que deve ser comprovado por meio de simulação com o programa Anatem;
 - (2) o valor instantâneo máximo de sobretensões pode ser superior a 628,7 kV pico fase-terra (1,54 pu ou 1,467 em rede 500 kV ou 525 kV, respectivamente) por, no máximo, 3 ciclos de 60 Hz após o evento gerador da sobretensão, no momento da abertura dos filtros, considerando a situação de bloqueio total das conversoras. Tal comportamento deve ser comprovado por meio de simulação trifásica (ATP/PSCAD);
 - (3) a componente na frequência fundamental de sobretensões temporárias não deve exceder 1,25 pu (fase-fase), durante 1 (um) segundo;
 - (4) para a abertura de correntes capacitivas pelos disjuntores do pátio CA das subestações onde estão localizadas as conversoras, é necessário limitar o valor instantâneo máximo, fase-terra, das sobretensões temporárias, no momento da abertura desses disjuntores a 628,7 kV pico fase-terra, para a operação com frequência nominal. Na frequência máxima, de 66 Hz, esse valor se reduz para 571,5 kV pico fase-terra.
- (c) sob o aspecto de sobretensões de manobra, deve-se avaliar às situações que envolvam:
- (1) rejeições de carga das LT de CA derivadas da conversora, especialmente após curto-circuito;
 - (2) injeção forçada de corrente no lado inversor sobre rede sem fontes; e
 - (3) falta trifásica/monofásica na barra CA do conversor do lado do sistema seguida de bloqueio total das conversoras e conseqüente retirada dos filtros.

2.5.4. Caso a transmissora opte pela variação do ângulo de disparo das válvulas para limitar a variação de tensão, utilizando a manobra de capacitores e/ou reatores, deve demonstrar que não há prejuízo ao desempenho adequado do elo CC e do sistema CA adjacente às estações conversoras. Não será admitida a utilização de controle de Udio para a partida e rampeamento de potência, considerando tensão DC plena,

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

operação bipolar e ausência de chaveamento de bancos e/ou sub-bancos no intervalo de potência considerado.

2.6. Compensação reativa

2.6.1. Requisitos de potência reativa para elementos manobráveis

2.6.1.1. A estação conversora deve ser equipada com os equipamentos de compensação reativa necessários à sua operação, desde a condição de bloqueio até a de plena carga, em qualquer situação operativa, considerando os níveis de tensão e de frequência das barras CA nas faixas descritas nos itens 2.2. e 2.2.2 deste submódulo, de modo a atender ao disposto no item 2.2.5 deste submódulo. Essa compensação pode ser subdividida em bancos, sub-bancos e ramos de capacitores, reatores e filtros e deve ser dimensionada considerando a ausência de qualquer elemento manobrável, sejam sub-bancos ou ramos dessa compensação.

2.6.1.2. Nos casos em que a estação conversora estiver localizada próxima a geradores ou a compensadores síncronos, o dimensionamento da compensação reativa, seu tipo e montante devem respeitar os limites de auto-excitação das máquinas síncronas, especialmente para as condições de rejeição de carga, para toda e qualquer fase de implantação do empreendimento. Entretanto, permanece a necessidade de atendimento ao item 2.2.5.2. deste submódulo.

2.6.1.3. A manobra de capacitores, sub-bancos e reatores na barra CA da conversora não deve provocar variação na tensão superior a 3,0% em relação à tensão pré-manobra, mesmo com o menor nível de curto-circuito em configurações (n-1) da rede CA. As manobras desses equipamentos não devem provocar perturbações operativas no elo CC nem na rede CA.

2.6.1.4. A variação do ângulo de disparo das válvulas para limitar a variação de tensão com a manobra de capacitores e/ou reatores só deve ser aceita se for demonstrado que isso não prejudica o desempenho adequado do elo CC e do sistema CA adjacente às estações conversoras.

2.6.1.5. O atendimento aos requisitos de compensação reativa e de regulação de tensão nas instalações do elo CC deve ser demonstrado por meio de estudos de fluxo de potência para todas as condições possíveis de carga da conversora e para configurações (n-1) da rede CA. Esses estudos devem utilizar informações de carga ativa e reativa nas barras, de limites de tensão e de potência reativa dos geradores próximos e de disponibilidade de reatores chaveáveis, para viabilizar a integração ou a conexão da conversora à Rede Básica ou às instalações de transmissão de energia elétrica destinadas a interligações internacionais conectadas à Rede Básica.

2.6.1.6. Em caso de utilização de bancos e sub-bancos, conforme definições do item 2.2.8 deste submódulo, seja para compensação reativa, seja para filtragem, cada sub-banco deve conter seus próprios disjuntores e transformadores de corrente, de forma a garantir a completa independência da proteção de cada sub-banco, em caso de defeitos internos em qualquer dos seus ramos.

2.6.1.7. Em caso de utilização de bancos, conforme definições do item 2.2.8 deste submódulo, a abertura intempestiva do maior deles, mesmo para as condições mais degradadas da rede CA, não deve causar falhas de comutação no elo CC do qual fazem parte. Tal requisito deve ser demonstrado por meio de avaliações em programas de transitórios como, por exemplo, o PSCAD. Caso o modelo completo do controle ainda não esteja definido, admite-se a utilização de um modelo simplificado.

2.6.2. Requisitos de potência reativa controlável

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

2.6.2.1. Os compensadores estáticos, síncronos e statcoms, caso necessário, devem ser dimensionados de forma a atender aos seguintes requisitos de desempenho e de recuperação do elo CC, tomando por base estudos de estabilidade e de DPS (*Dynamic Performance Study*):

- (a) tempo máximo de recuperação após eliminação de faltas no sistema CA compreendido entre 150 e 350 ms, o qual deve ser estipulado no instrumento técnico dos documentos de outorga (entende-se por tempo de recuperação àquele necessário para atingir 90% do valor da potência transmitida antes da falta, sem posterior redução de potência);
- (b) tensão mínima decorrente de aplicação de falta no sistema CA, na primeira oscilação após a sua eliminação, não inferior a 0,80 pu;
- (c) minimização da ocorrência de falhas de comutação sucessivas em um mesmo evento.

2.6.2.2. As perdas elétricas associadas aos compensadores estáticos, síncronos e *statcoms* devem ser consideradas para a quantificação das perdas da instalação, que devem respeitar os limites máximos definidos para a estação conversora.

2.7. Filtros do lado CA

2.7.1. Desempenho

2.7.1.1. O projeto deve respeitar as seguintes exigências:

- (a) Para o cálculo do desempenho de filtros CA, devem ser utilizadas as máximas correntes harmônicas individuais injetadas pelos conversores para cada condição operativa do lado CC.
- (b) Para o cálculo dos harmônicos característicos de 12 pulsos ($12 h \pm 1$), deve ser utilizado o método determinístico, no qual as correntes dos terminais retificador e inversor são obtidas de forma independente e os barramentos de conexão das estações conversoras com a Rede Básica ou com as instalações de transmissão de energia elétrica destinadas a interligações internacionais conectadas à Rede Básica são considerados como barras infinitas (tensão puramente senoidal na frequência fundamental no lado de alta do transformador conversor), buscando-se maximizar os resultados e considerando combinações das seguintes premissas:
 - (1) operação dentro da faixa de potência especificada;
 - (2) operação com tensão reduzida e com alto consumo de reativo;
 - (3) toda a faixa de tensão CA definida no item 2.2.2 deste submódulo;
 - (4) valores das reatâncias dos transformadores conversores na faixa estabelecida na especificação dos transformadores conversores;
 - (5) valores dos ângulos de disparo (lado retificador) e extinção (lado inversor) na faixa compatível com a operação do sistema CCAT.
- (c) Para o cálculo dos harmônicos característicos não cancelados ($6h \pm 1$, h ímpar) deve ser utilizado o método determinístico de cálculo, no qual as correntes dos terminais retificador e inversor são obtidas de forma independente, buscando-se maximizar os resultados e considerando combinações das seguintes premissas:
 - (1) combinações mais desfavoráveis das premissas listadas no item 2.7.1.1. (b) deste submódulo;

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

(2) máxima diferença nas reatâncias entre transformadores conversores, por ponte de 12 pulsos, conforme estabelecido na especificação dos transformadores conversores.

(d) Admite-se tratamento estatístico das seguintes tolerâncias, para o cálculo de harmônicos não característicos:

(1) diferenças nas reatâncias entre fases dos transformadores da ponte de 12 pulsos, conforme faixas e valores máximos estabelecidos em especificação;

(2) assimetrias nos instantes de disparo das válvulas conforme estabelecido em especificação;

(3) diferenças nos valores dos tapes entre fases dos transformadores conversores, conforme estabelecido em especificação;

(4) desbalanço de tensão do sistema CA considerando a componente de sequência negativa com magnitude de 2% e ângulo de fase variando aleatoriamente com distribuição uniforme entre 0 e 360 graus.

(5) para este tratamento, deverá ser observado um número mínimo de 500 combinações e o valor extraído deve corresponder a probabilidade de 1,0% de ser excedido.

2.7.1.2. Deve-se considerar, para a avaliação do desempenho harmônico, as seguintes condições e requisitos.

(a) Operação nos modos de controle e desempenho relacionados na Tabela 1.

Tabela 1 - Modos de operação do elo CC – Cálculo de filtros CA

Modos de Operação	Requisitos para o Retificador e para o Inversor
Bipolar com tensão nominal (“normal”)	A
Bipolar com tensão reduzida (de 70% a 95% da tensão nominal)	B
Bipolar com tensão nominal e fluxo de potência reverso	A
Monopolar com tensão nominal (retorno metálico)	A
Monopolar com tensão nominal (retorno pelo solo)	A
Monopolar com tensão reduzida (retorno metálico)	B
Monopolar com tensão reduzida (retorno pelo solo)	B
Operação em Sobrecarga (caso disponível)	
Sobrecarga <i>Low Ambient</i> (operação bipolar ou monopolar)	C

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

Sobrecarga de Longa Duração (operação bipolar ou monopolar)	C
Sobrecarga de Curta Duração (operação bipolar ou monopolar)	C

Legenda:

A– Há necessidade de atendimento ao desempenho harmônico, estabelecido para quaisquer configurações (n) e (n-1) da rede CA externa, bem como contingência (n-1) de sub-banco da instalação do elo CC.

B– Há necessidade de atendimento ao desempenho harmônico, estabelecido para quaisquer configurações (n) e (n-1) da rede CA externa, com todos os bancos de filtros do elo CC presentes.

C– O nível das distorções harmônicas geradas pela conversora nas condições operativas de sobrecarga deve ser informado pela transmissora, em qualquer modo ou combinação de modos operativos disponíveis.

D – Os modos de operação associados a paralelismo de bipolos devem ser definidos pelo instrumento técnico dos documentos de outorga.

E – O instrumento técnico dos documentos de outorga pode definir modos adicionais de operação.

(b) Para todas as fases de implementação, bem como ao longo do contrato de concessão referente às conversoras, deve ser atendido o desempenho harmônico (individual) estabelecido no Submódulo 2.9, no ponto de observação da tensão, aqui referenciado como ponto de acoplamento comum (PAC), considerando as condições de máxima dessintonia dos filtros e as condições mais severas de geração de correntes harmônicas pelos conversores.

(1) A metodologia a ser adotada para o cálculo da distorção harmônica no PAC deve representar a instalação conversora através do seu equivalente Norton e a rede externa através de envelopes de impedância, conforme ilustrado na Figura 1.

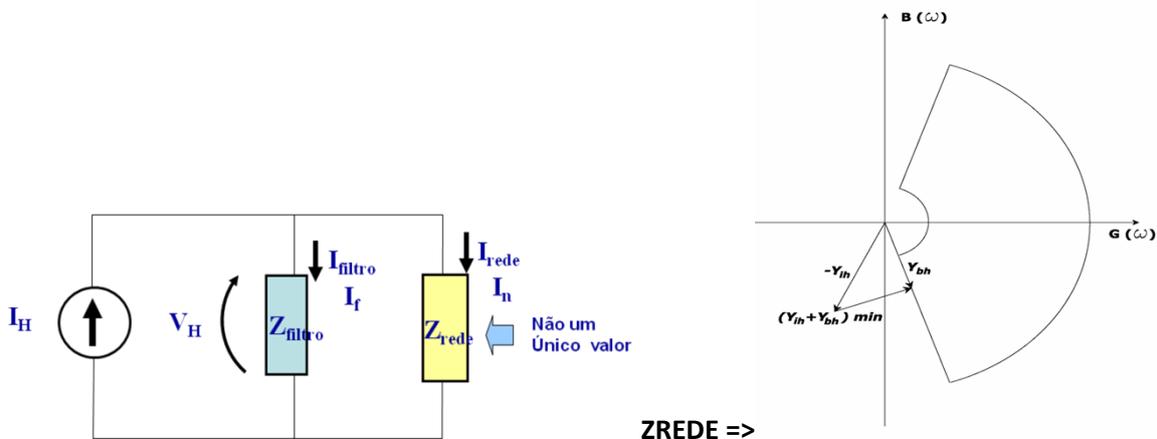


Figura 1 - Equivalente Norton e envelope de impedância

(2) Desde que apresentem comprovadamente resultados mais conservadores, outras metodologias podem ser propostas pela transmissora.

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

- (c) Caso os envelopes representativos da rede CA externa à conversora não sejam explicitamente apresentados no instrumento técnico dos documentos de outorga, devem ser determinados pela transmissora atendendo às seguintes condições:
- (1) considerar os diversos cenários de evolução da rede ao longo do período de concessão, nos patamares de carga leve, média e pesada;
 - (2) para distâncias superiores a 200 km, pode-se representar as cargas na modelagem do sistema, demonstrando, por meio de estudos, a adequação do modelo de carga adotado, sendo que preferencialmente as cargas devem ser representadas onde estão concentradas;
 - (3) representar o lugar geométrico por meio de setores anulares, caracterizados pelos valores dos raios máximo e mínimo e dos ângulos máximo e mínimo, de modo que esse envelope envolva todos os pontos de impedância calculados, para cada ordem harmônica ou conjuntos de harmônicas de ordens vizinhas; e
 - (4) utilizar lugares geométricos para grupos de harmônicas de ordens vizinhas que apresentem comportamento similar no plano complexo de impedâncias, devendo ser observado, contudo, que, além do grupo de harmônicas de ordens vizinhas, devem também ser consideradas na formação do lugar geométrico as impedâncias correspondentes às ordens harmônicas imediatamente inferior e superior ao grupo.
- (d) Para os modos de operação com “Requisitos para o Retificador e para o Inversor” “A” ou “B”, conforme item 2.7.1.2. (a) deste submódulo, deve ser considerada a possibilidade de operação da rede CA com um desbalanço máximo de sequência negativa de 2%. Nos casos de filtros ativos ou passivos de sintonia automática, devem ser considerados os erros de controle.
- (e) Devem ainda ser consideradas, na avaliação do desempenho dos filtros, as máximas condições de dessintonia, incluindo: faixa de frequência estabelecida no item 2.2. deste submódulo, variações nos valores dos componentes dos filtros com a temperatura e tolerâncias de fabricação, tapes para ajuste de sintonia e erros de medição. Com exceção da variação de frequência, as demais variações deverão ser representadas através de alterações nos valores nominais dos componentes dos filtros.

2.7.1.3. O desempenho quanto à distorção harmônica no PAC com a Rede Básica deve ser demonstrado por meio de estudos.

2.7.1.4. A transmissora deve realizar campanhas de medição nos barramentos CA da Rede Básica que se conectam à subestação conversora, conforme estabelecido no Submódulo 2.9, quando do comissionamento das instalações ou quando for solicitado pelo ONS.

2.7.1.5. A transmissora deve instalar um sistema de medição contínua, para monitoração das tensões harmônicas no PAC e das correntes harmônicas injetadas na Rede Básica. Os instrumentos de medição deverão atender aos requisitos estabelecidos para a classe A [1]. Os resultados dessa medição devem ser disponibilizados ao ONS.

2.7.1.6. As correntes harmônicas nas linhas CA provocadas pela injeção de correntes harmônicas geradas pelas estações conversoras não devem produzir interferências em linhas telefônicas em operação na data de comissionamento do elo CC acima dos limites das normas correspondentes.

2.7.1.7. A transmissora deverá informar o valor máximo do indicador TIF (*Telephone Interference Factor*) e do produto IT, resultante do projeto de filtros, considerando os modos de operação da conversora estabelecidos na Tabela 1 e, eventualmente, complementados pelo instrumento técnico dos documentos de outorga.

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

2.7.1.8. Caso ocorra a instalação de mais de um bipolo na estação retificadora ou inversora, mesmo que com datas de entrada em operação comercial diferentes, os empreendimentos, ainda que pertencentes a transmissoras diferentes e fabricados por fornecedores diferentes, devem ser concebidos como um projeto integrado, do ponto de vista de projeto dos filtros CA. Para empreendimentos licitados no mesmo leilão, mesmo que com datas de entrada em operação diferentes, deve ser considerada a mesma representação do sistema CA (envelope de impedâncias).

2.7.1.9. Caso os bipolos citados no item 2.7.1.8. deste submódulo pertençam à mesma transmissora, devem ser considerados como uma única instalação, do ponto de vista de avaliação de desempenho, conforme estabelecido no item 2.7.1.2. deste submódulo.

2.7.2. Capacidade nominal de filtros CA (*rating*)

2.7.2.1. O projeto deve respeitar as seguintes exigências:

- (a) Para o dimensionamento dos componentes dos filtros CA, devem ser utilizadas as máximas correntes harmônicas individuais injetadas pelos conversores, considerando as condições estabelecidas nos itens 2.7.1.1. (b) à (d) deste submódulo. Adicionalmente:
 - (1) devem ser levados em conta os modos de operação estabelecidos no item 2.7.1.2. deste submódulo;
 - (2) devem ser consideradas as máximas sobrecargas das conversoras.
- (b) Para o dimensionamento dos elementos dos filtros, a transmissora também deve considerar:
 - (1) as contribuições das correntes harmônicas geradas pelos conversores;
 - (2) as contribuições provenientes da rede externa (*background harmonic voltages*):
 - (i) para tanto devem ser utilizados os valores dos limites globais inferiores de tensões harmônicas, conforme estabelecido no Submódulo 2.9, que impliquem nos piores valores de corrente e tensão nos componentes dos filtros, respeitando o limite global de DTHT;
 - (ii) para o cálculo da contribuição gerada pelo conversor, deve ser aplicada a metodologia descrita no item 2.7.1.2. deste submódulo;
 - (iii) para harmônicas provenientes da rede externa, caso o documento técnico de outorga não estabeleça claramente a metodologia para a sua determinação, deve ser utilizada a aplicação direta dos limites inferiores de tensões harmônicas globais no PAC. Nesse caso, o subconjunto de tensões harmônicas globais a ser considerado no cálculo deve ser, para cada filtro, aquele que resulte nos maiores valores de rating para cada um de seus componentes, respeitando-se o valor de DTHT superior estabelecido. Deve também ser considerado no dimensionamento o valor máximo da tensão fundamental.
- (c) Os filtros em derivação utilizados devem ser capazes de operar sem qualquer dano nas seguintes situações:
 - (1) em frequência nominal e para variações de frequência na faixa definida no item 2.2. deste submódulo;
 - (2) com qualquer dos filtros pertencentes à estação conversora fora de operação;
 - (3) com filtros de mesma sintonia dessintonizados em sentidos opostos;
 - (4) com a máxima tensão de emergência em regime permanente na rede CA;

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

(5) em condições de sobretensões dinâmicas, incluindo ferroressonância, rejeição de carga e recuperação de faltas;

(6) em todos os modos de operação disponíveis; e

(7) em condições de sobretensões temporárias produzidas durante energização de transformadores, início e eliminação de faltas próximas, inclusive com bloqueio dos conversores.

2.7.2.2. As capacidades nominais (*ratings*) dos componentes dos filtros devem ser dimensionadas para suportar o aumento da geração de harmônicas para a operação nas condições não nominais mencionadas no item 2.2.7 deste submódulo.

2.7.2.3. Cada filtro deve contar com sistemas de monitoração de corrente por meio direto e de determinação da temperatura de seus componentes, por meio direto ou indireto, bem como com sistemas de alerta e proteção adequados, de maneira a permitir que ações operativas possam ser tomadas com a antecedência necessária.

2.7.2.4. Deve ser considerada a possibilidade de operação da rede CA com um desbalanço máximo de sequência negativa de 2,0%.

2.7.2.5. Nos casos de filtros ativos ou passivos de sintonia automática, devem ser considerados os erros de controle.

2.7.2.6. Os filtros devem ser dimensionados para que não haja necessidade de desligamento por sobrecarga em condições operativas normais e de contingências simples (n-1) da rede externa situada na vizinhança imediata da conversora, mesmo em caso de operação com indisponibilidade de um filtro.

2.7.3. Chaveamento de filtros do lado CA

2.7.3.1. Devem ser disponibilizados pelo elo CC os sinais de controle necessários à supervisão de seus elementos e à tomada de ações de controle, por meio de um Controle de Estação/Mestre.

2.7.3.2. Devem ser concebidas e implementadas todas as sequências de chaveamento de filtros identificadas como necessárias pelos estudos de dimensionamento das estações conversoras ou ainda recomendadas pelos estudos operativos realizados pelo ONS.

2.7.3.3. A transmissora deve identificar a necessidade de chaveamento dos filtros em outras situações específicas, implementando tais desligamentos, mesmo que seja necessária a aquisição de equipamentos especiais.

2.7.3.4. Em situações de perda de conversoras o Controle de Estação/Mestre deve supervisionar e comandar a retirada automática de filtros CA para reduzir as sobretensões nos sistemas CA a níveis estipulados nos Procedimentos de Rede.

2.8. Filtros do lado CC

2.8.1. Desempenho harmônico

2.8.1.1. Para a avaliação do desempenho harmônico, devem ser consideradas as seguintes condições e requisitos:

- (a) Operação nos modos de controle e desempenho relacionados na Tabela 2.

Tabela 2 - Modos de operação do elo CC – Cálculo de filtros CC

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

Modos de Operação	Requisitos para o Retificador e para o Inversor
Bipolar com tensão nominal (“normal”)	A
Bipolar com tensão reduzida (de 70% a 95% da tensão nominal)	B
Bipolar com tensão nominal e fluxo de potência reverso	A
Monopolar com tensão nominal (retorno pelo solo)	A
Monopolar com tensão nominal (retorno metálico)	A
Monopolar com tensão reduzida (retorno pelo solo)	B
Monopolar com tensão reduzida (retorno metálico)	B
Operação em Sobrecarga (Caso Disponível)	
Sobrecarga <i>Low Ambient</i> (operação bipolar ou monopolar)	C
Sobrecarga de Longa Duração (operação bipolar ou monopolar)	C
Sobrecarga de Curta Duração (operação bipolar ou monopolar)	C

Legenda:

A– Há necessidade de atendimento ao desempenho harmônico, estabelecido para qualquer configuração (n-1) de cada tipo de filtro CC.

B– Há necessidade de atendimento ao desempenho harmônico com todos os filtros CC presentes.

C– O nível de interferência gerada pelas conversoras nas condições operativas de operação em sobrecarga deve ser informado pela transmissora em qualquer modo ou combinação de modos operativos disponíveis.

D – Os modos de operação associados a paralelismo de bipolos devem ser definidos pelo instrumento técnico dos documentos de outorga.

E – O instrumento técnico dos documentos de outorga pode definir modos adicionais de operação.

- (b) Para todas as fases de implementação do empreendimento, bem como ao longo do contrato de concessão referente às conversoras, manter um desempenho harmônico adequado considerando as condições de máxima dessintonia dos filtros e as condições mais severas de geração de tensões harmônicas pelos conversores.

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

(c) Para os modos de operação com *Requisitos para o Retificador e para o Inversor "A" ou "B"*, conforme item 2.8.1.1. (a) deste submódulo, deve ser considerada a possibilidade de operação da rede CA com um desbalanço máximo de sequência negativa de 2%. Nos casos de filtros ativos ou passivos de sintonia automática, devem ser considerados os erros de controle.

2.8.1.2. As correntes harmônicas nas linhas CC e linhas de eletrodo não devem produzir interferências em linhas telefônicas em operação na data de comissionamento do elo CC acima dos limites fixados nas normas correspondentes. De forma a possibilitar o atendimento a esse requisito, os limites da corrente equivalente de distúrbio ao longo das linhas CC e linhas de eletrodo são informados no instrumento técnico dos documentos de outorga.

2.8.1.3. A definição desse limite deve ser precedida e baseada em um estudo de coordenação indutiva. Caso esse estudo não esteja finalizado até a emissão da primeira versão dos estudos do circuito principal, a transmissora deve considerar que o valor de corrente equivalente de distúrbio em operação bipolar, com todos os filtros presentes, é no máximo igual a 500 mA. Para a operação monopolar com todos os filtros (retorno pelo solo ou metálico), o valor não pode exceder 1.000 mA. Durante a operação bipolar na configuração (n-1) dos filtros, o valor das correntes harmônicas não pode exceder 1000 mA. A transmissora deve definir o critério a ser adotado para operação monopolar na configuração (n-1) dos filtros. Permanece, entretanto, com ou sem estudo de coordenação indutiva a responsabilidade da transmissora de mitigar os efeitos de interferências que venham a ser identificadas.

2.8.1.4. O projeto de filtros CC deve apresentar desempenho harmônico do ponto de vista de interferência telefônica ao longo da linha CC, a ser demonstrado por meio de estudos e de medições, cuja realização é de responsabilidade da transmissora. As medições devem ser realizadas durante o comissionamento, mas podem também vir a ser solicitadas em outras ocasiões, a critério do ONS.

2.8.1.5. Os filtros CC devem, também, minimizar os efeitos da corrente induzida, em 60 Hz, por linhas CA na linha CC, evitando potenciais distúrbios nos sistemas de controle do elo CC, bem como a saturação indesejável dos transformadores conversores, o que poderia eventualmente causar desligamento bipolar.

2.8.2. Capacidade nominal de filtros CC

2.8.2.1. O projeto deve respeitar as seguintes exigências:

- (a) As tensões e correntes harmônicas nos elementos devem ser determinadas considerando as máximas tensões harmônicas geradas pelos conversores. No cálculo dessas tensões harmônicas, deve-se levar em conta:
- (1) operação dentro da faixa de potência especificada;
 - (2) máximas sobrecargas das conversoras;
 - (3) operação com tensão reduzida e com alto consumo de reativo;
 - (4) máximos desequilíbrios da rede externa, ou seja, componente de tensão de sequência negativa igual a 2,0%;
 - (5) a operação das conversoras com os máximos desvios (tolerâncias) dos valores de projeto das reatâncias entre transformadores conectados a ponte de doze pulsos e com os máximos desvios dos valores de projeto das reatâncias entre fases de cada transformador conectado a ponte de seis pulsos;

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

- (6) a operação com o máximo desvio de projeto do ângulo de disparo entre as pontes de seis pulsos de uma mesma ponte de doze pulsos e com o máximo desvio de projeto de ângulo de disparo entre as válvulas de uma mesma ponte de seis pulsos;
- (7) toda a faixa de tensão CA e frequência definidas nos itens 2.2. e 2.2.2 deste submódulo.
- (b) Os filtros devem ser capazes de operar sem qualquer dano nas seguintes situações:
- (1) em frequência nominal e para variações de frequência na faixa definida no item 2.2. deste submódulo;
 - (2) com qualquer dos filtros pertencentes a estação conversora fora de operação;
 - (3) com filtros de mesma sintonia dessintonizados em sentidos opostos;
 - (4) com a pior ressonância entre filtros CC, reator de alisamento e linha de transmissão CC;
 - (5) com a máxima tensão de emergência em regime permanente na rede CA;
 - (6) em condições de sobretensões dinâmicas incluindo ferorressonâncias, rejeição de carga e recuperação de faltas;
 - (7) nos modos de operação constantes do anexo técnico do edital de leilão.

2.8.2.2. As capacidades nominais dos componentes (ratings) dos filtros devem ser dimensionadas para suportar o aumento da geração de harmônicas para a operação nas condições não nominais mencionadas no item 2.2.7 deste submódulo.

2.8.2.3. Cada filtro deve contar com sistemas de monitoração de corrente por meio direto e de determinação da temperatura de seus componentes por meio direto ou indireto, bem como com sistemas de alerta e proteção adequados, de maneira a permitir que ações operativas possam ser tomadas com a antecedência necessária.

2.8.2.4. Deve ser considerada a possibilidade de operação da rede CA com um desbalanço máximo de sequência negativa de 2,0%.

2.8.2.5. Nos casos de filtros ativos ou passivos de sintonia automática, devem ser considerados os erros de controle.

2.9. Válvulas de conversão CA/CC/CA

2.9.1. A transmissora deve estabelecer as solicitações de correntes máximas de curto-circuito (em kA pico) sobre as válvulas, durante curto-circuito na ponte, com bloqueio das mesmas (um ciclo de sobrecorrente) e sem bloqueio (3 ciclos de sobrecorrente). Esses valores devem ser documentados e fundamentados. Esta fundamentação pode ser feita por meio analítico ou por simulação. Cabe à transmissora comprovar a correção dos valores adotados por meio de simulações ciclo-a-ciclo em programas do tipo PSCAD.

2.9.2. Deve ser definido, pela transmissora, um nível mínimo de redundância de tiristores por válvula.

2.9.3. É admitida, no projeto de dimensionamento das válvulas, a utilização de disparo protetivo apenas como proteção secundária da válvula, cabendo aos para-raios das mesmas a função de proteção principal contra sobretensões, independentemente do fato de a válvula pertencer à estação retificadora ou à estação inversora.

2.9.4. A transmissora deve fornecer uma planilha que relacione toda a cadeia de dimensionamento da coordenação de isolamento da válvula, incluindo os níveis de tensão operativa, as sobretensões temporárias,

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

o *overshoot* de comutação, os desequilíbrios de divisão de tensão entre tiristores com a redundância “*bypassada*” e os níveis de proteção dos para-raios e do disparo protetivo.

2.10. Transformadores conversores

2.10.1. Os transformadores dedicados à conversão CA/CC devem possuir unidades de reserva, de forma que possa ser atingido o nível de confiabilidade estabelecido para a instalação, respeitando, no mínimo, o índice definido no item 2.12 deste submódulo.

2.10.2. Deve ser minimizada a circulação de corrente contínua no neutro dos transformadores, de forma a evitar interferências indesejáveis no controle das conversoras.

2.10.3. Quando houver mais de um elo CC em uma mesma subestação, o projeto de cada elo deve levar em conta a possibilidade de operação do elo adjacente em operação monopolar com retorno pelo solo e a elevação de tensão no neutro de seus transformadores advinda de tal fato. Deve, também, explicitar os critérios adotados para os máximos valores de elevação de tensão permitidos no neutro.

2.11. Perdas

2.11.1. As perdas devem ser avaliadas considerando:

- (a) a temperatura máxima definida pelo instrumento técnico dos documentos de outorga;
- (b) na falta dessa definição, a temperatura média das máximas anuais da região de instalação das conversoras.

2.11.2. A transmissora deve apresentar a memória de cálculo do projeto, demonstrando sua compatibilidade com os níveis de perdas definidos no instrumento técnico dos documentos de outorga.

2.12. Confiabilidade

2.12.1. A disponibilidade média anual de transmissão de potência do elo CC deve ser de no mínimo 98,5%, incluindo as saídas programadas e forçadas, caso não tenham sido incluídos no escopo da outorga equipamentos reserva das instalações. A disponibilidade deve ser calculada conforme prescrições de norma IEC [8] considerando dados de estatísticas internacionalmente reconhecidas, tais como, por exemplo, da Cigré.

2.12.2. Para o cálculo da disponibilidade garantida, considera-se o conjunto dos conversores localizados em ambos os terminais da linha CC, bem como os respectivos transformadores conversores e demais equipamentos necessários para a operação desses terminais, como disjuntores, filtros, equipamentos de medição, síncronos etc.

2.12.3. O número de saídas forçadas de cada polo deve ser de, no máximo, 2,5 saídas por ano.

2.12.4. O número de saídas forçadas de cada bipolo não deve ultrapassar 1 saída a cada 5 anos.

2.13. Coordenação de isolamento

2.13.1. Geral

2.13.1.1. Para a coordenação de isolamento e proteção de equipamentos situados nos pátios CC e CA das estações conversoras, devem ser utilizados para-raios de óxido de zinco (ZnO).

2.13.1.2. O esquema de proteção contra sobretensões, os requisitos dos para-raios, a metodologia de estudos e as sobretensões a serem consideradas devem seguir as determinações das normas IEC [2], [3], [4] e [5].

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

2.13.1.3. Os para-raios que têm por finalidade a proteção das válvulas de conversão CA/CC e CC/CA são aqueles responsáveis pela proteção primária desses equipamentos. As válvulas devem contar, adicionalmente, com sistemas de disparo protetivo que devem ser ajustados, considerando os tiristores redundantes “*by-passados*” e as tolerâncias de fabricação e medição em, no mínimo, 3% acima do nível de proteção dos para-raios.

2.13.2. Operação de elos CC em paralelo

2.13.2.1. Em caso de entrada em operação de um segundo elo CC na subestação CA terminal, a transmissora responsável pelo segundo elo CC deve compatibilizar o seu projeto de coordenação de isolamento para o pátio CA com o de coordenação de isolamento do primeiro elo CC, evitando sobrecarregar os para-raios existentes. Devem ser avaliadas eventuais diferenças de distribuição de corrente nos para-raios, ao considerar um e dois elos CC, para dimensionamento das energias a serem dissipadas.

2.13.2.1.1. Em caso de mais de um elo CC licitado em um mesmo Leilão, mesmo que com datas de entrada em operação comercial diferentes, o projeto de coordenação de isolamento deve ser integrado de modo a levar em consideração os mesmos níveis de isolamento CA e margens de proteção compatíveis com tais níveis de isolamento para todos os empreendimentos licitados.

2.13.2.2. Em caso de possibilidade de operação cruzada de um elo CC com as linhas CC do outro elo, faz-se necessária a compatibilização da coordenação de isolamento dos respectivos pátios CC.

2.13.2.3. Para o dimensionamento dos para-raios e disjuntores do pátio CA e dos filtros CA, a transmissora deve considerar a aplicação e eliminação de faltas seguida de bloqueio do bipolo com a permanência dos filtros CA em operação, de acordo com o procedimento recomendado pela Cigré [11]. Essa investigação deve ser realizada pela transmissora para patamares de potência nominal CC transmitida pré-falta de 25%, 50%, 75% e 100% da potência nominal CC, além daquelas indicadas no anexo técnico do Edital do Leilão, quando for o caso.

2.13.3. Margens mínimas de proteção/isolamento

2.13.3.1. A transmissora deve utilizar como margens mínimas de proteção/isolamento, no mínimo, os seguintes percentuais:

(a) Válvulas:

- (1) 20 % para surtos de frente íngreme;
- (2) 15 % para surtos de manobra e surtos atmosféricos.

(b) Outros equipamentos da casa de válvulas CC:

- (1) 25 % para surtos de frente íngreme;
- (2) 15 % para surtos de manobra e surtos atmosféricos.

(c) Equipamentos do pátio CC, incluindo filtros CC e reator de alisamento:

- (1) 25 % para surtos de frente íngreme;
- (2) 20 % para surtos atmosféricos;
- (3) 15 % para surtos de manobra.

(d) Transformadores conversores (lado CC):

- (1) 25 % para surtos de frente íngreme;

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

(2) 20 % para surtos atmosféricos;

(3) 15 % para surtos de manobra.

(e) Transformadores conversores (lado CA):

(1) Considerar determinações da norma IEC [6].

(f) Equipamentos do pátio CA (exceto filtros):

(1) Considerar determinações da norma IEC [6].

(g) Filtros CA:

(1) 20% para surtos de manobra;

(2) 15% para surtos de manobra;

2.13.4. Distâncias de escoamento

2.13.4.1. No cálculo da distância de escoamento a ser considerada para a definição dos isoladores CA externos, para a tensão máxima operativa, deve-se levar em conta as características de contaminação da região conforme norma IEC [7].

2.13.4.2. Na definição das distâncias de escoamento específicas para o isolamento dos equipamentos para instalação abrigada e sujeitos a tensão CC, devem ser seguidas as determinações de norma IEC [5]. No entanto, devem ser respeitados os seguintes valores mínimos para as distâncias de escoamento:

(a) instalação CC externa: 40 mm/kV para vidro ou porcelana;

(b) instalação CC externa: 35 mm/kV para borracha silicone ou RTV;

(c) instalação CC abrigada: 14 mm/kV para válvulas e 20 mm/kV para as demais instalações.

2.13.4.3. Na definição das distâncias de escoamento específicas para o isolamento externo de equipamentos desabrigados sujeitos à tensão CC+CA e CC, deve ser seguida a norma IEC [5].

2.13.5. Descargas atmosféricas

2.13.5.1. O sistema de proteção contra descargas atmosféricas da subestação deve ser dimensionado de forma a assegurar risco de falha menor ou igual a uma falha por 50 (cinquenta) anos, autoregenerativa ou não.

2.13.5.2. Além disso, deve-se assegurar que não haja falha de blindagem nas instalações para correntes superiores a 2 kA.

2.13.6. Da avaliação da conformidade

2.13.6.1. A transmissora deve apresentar o cálculo (estimativa) da coordenação de isolamento, tanto do pátio CA quanto do pátio CC, considerando as premissas iniciais de correntes de coordenação assumidas com base na experiência. Entretanto, essas premissas de coordenação devem ser comprovadas por meio de simulações realizadas com o uso de ferramentas computacionais, considerando os casos mais críticos para o dimensionamento de equipamentos.

2.13.6.2. O sistema CA ao qual estão conectadas as subestações conversoras deve ser representado pelo menos até a segunda vizinhança, ou seja, os equivalentes de 60 Hz devem ser representados, no mínimo, a duas barras (subestações diferentes) de distância.

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

2.14. Eletrodos

2.14.1. Requisitos gerais

2.14.1.1. Um bipolo CC ponto-a-ponto deve ser provido de eletrodos de terra para escoamento para a terra das correntes de retorno em operação monopolar e das correntes resultantes de condições operativas desbalanceadas. O projeto do eletrodo deve levar em conta todos os modos de operação previstos para o bipolo e a possibilidade de operação em sobrecarga nesses modos.

2.14.1.2. É prerrogativa da transmissora a escolha do local de implantação dos eletrodos de terra, desde que a distância entre o eletrodo de terra e a subestação conversora seja igual ou superior a 15 km. O projeto deve ser elaborado de forma a evitar a circulação de corrente contínua pelo neutro do transformador conversor capaz de provocar sua saturação.

2.14.1.3. Caso haja o compartilhamento de uma subestação conversora com transmissoras detentoras de concessão de bipolos CC ponto-a-ponto, o eletrodo de terra de cada bipolo pode ser dimensionado para escoar tanto as correntes próprias quanto as dos demais bipolos que compartilhem a mesma subestação. Cabe ao instrumento técnico dos documentos de outorga a definição da forma de compartilhamento.

2.14.2. Interferências

2.14.2.1. A transmissora deve determinar, através de estudos, os efeitos que as correntes CC injetadas no solo pelos eletrodos podem provocar ao circular pelos neutros dos transformadores da rede elétrica, nas torres das linhas de transmissão do sistema CC e da rede elétrica CA e na proteção catódica de dutos e demais estruturas metálicas localizadas em sua área de influência.

2.14.2.2. O eletrodo de terra deve ser dimensionado de forma a garantir a segurança de seres vivos quanto a potenciais de passo, potenciais de toque e potenciais transferidos, considerando a circulação da corrente de sobrecarga e um sub-eletrodo fora de serviço para manutenção.

2.14.2.3. A transmissora deve tomar as providências necessárias para mitigar todos os efeitos de interferência (corrosão de dutos e estruturas metálicas de linhas de transmissão e seus aterramentos, saturação de transformadores CA, etc) que o retorno da corrente CC no solo pode provocar, de acordo com os requisitos das empresas responsáveis pelos ativos sujeitos à interferência.

2.14.3. Características operacionais

2.14.3.1. O dimensionamento e a manutenção do eletrodo de terra devem levar em conta que, em caso de operação bipolar, cada bipolo deve ser dimensionado para operar com um valor máximo de desbalanço, em regime contínuo, correspondente a 1,5% do valor de sua corrente nominal. Deve ainda considerar que a operação do bipolo em modo monopolar com retorno pela terra pode ocorrer. O instrumento técnico dos documentos de outorga deverá determinar o ciclo de operação monopolar com retorno pela terra, ou seja, o período máximo em horas por ano, a quantidade de operações nesse modo e o intervalo mínimo entre operações sucessivas. Tais condições devem ser atendidas com um sub-eletrodo fora de serviço para manutenção.

2.14.3.2. A máxima densidade de corrente superficial deve ser menor que aquela que provoque migração de água por eletro-osmose. Em caso de utilização de eletrodo em anel a máxima densidade de corrente superficial, para efeito de dimensionamento, deve ser inferior a 0,5 A/m².

2.14.3.3. Nas condições ambientais e de solo mais desfavoráveis com a circulação de corrente máxima pela linha do eletrodo (no modo de operação monopolar), a elevação de temperatura dos eletrodos em relação ao ambiente não pode exceder a 60°C, desde que a temperatura final não seja superior a 100°C.

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

2.14.3.4. Além da conexão das linhas do eletrodo aos eletrodos, devem ser especificados os equipamentos necessários para a equalização da distribuição de corrente nas várias secções do eletrodo bem como os dispositivos para monitoramento adequado da temperatura na superfície do eletrodo e da umidade do solo.

2.14.4. Características elétricas

2.14.4.1. A modelagem adotada para a resistividade do solo e sua estratificação deve ser devidamente justificada e comprovada a partir de medição. Para pequenas profundidades, pode ser utilizado o método Wenner ou similar e, para camadas mais profundas, devem ser utilizados métodos geológicos, como o método de medição magneto-telúrica.

2.14.4.2. A resistência de aterramento do eletrodo de terra deve ser igual ou inferior a $0,35 \Omega$, com um sub-eletrodo fora de serviço para manutenção.

2.14.4.3. O eletrodo de terra deve ser dimensionado de forma a possibilitar sua operação em regime anódico ou catódico.

2.15. Linha do Eletrodo

2.15.1. Capacidade de corrente

2.15.1.1. A linha do eletrodo deve ser projetada com pelo menos dois conjuntos de condutores ou feixe de subcondutores independentes.

2.15.1.2. A linha do eletrodo deve ser dimensionada de forma a permitir a operação do bipolo ao qual pertence sem qualquer tipo de restrição, para todos os modos operativos disponíveis. Em caso de compartilhamento da linha do eletrodo com outro bipolo na mesma estação conversora, a linha do eletrodo deve ser dimensionada para permitir, no mínimo, a operação do primeiro bipolo em operação bipolar e do segundo bipolo com operação monopolar, acrescida da sobrecarga disponível para este tipo de operação.

2.15.2. Definição da flecha máxima dos condutores

2.15.2.1. As distâncias de segurança da linha do eletrodo devem ser calculadas considerando a máxima corrente estabelecida para a operação do bipolo e levando em conta a ocorrência simultânea das seguintes condições climáticas:

- (a) temperatura máxima média da região;
- (b) radiação solar máxima da região; e
- (c) brisa mínima prevista para a região, desde que não superior a 1 m/s.

2.15.3. Perda Joule nos cabos condutores

2.15.3.1. A resistência equivalente por unidade de comprimento do feixe de subcondutores que compõe a linha de eletrodo deve ser igual ou inferior ao valor indicado pela documentação técnica que define as características do empreendimento. Em caso de licitação, deve ser seguido o Anexo Técnico, em caso de autorização, deve ser atendido o relatório R2 – Relatório de Detalhamento da Alternativa de Referência, que apresenta o detalhamento de engenharia da alternativa elaborada pelo planejamento e, em caso de licitação para interligação internacional, deve ser atendido o documento técnico da outorga.

2.15.4. Coordenação de isolamento

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

2.15.4.1. As cadeias de isoladores devem contemplar um isolador adicional e centelhadores, para facilitar a extinção do arco no caso de falta.

2.15.4.2. O aterramento das torres que suportam essas linhas, dentro e fora da subestação, deve apresentar resistência compatível com a necessidade de extinção do arco.

3. ETAPA DE DETALHAMENTO – OTIMIZAÇÃO DO CIRCUITO PRINCIPAL, DAS INTERAÇÕES CA/CC E TESTES

3.1. Requisitos gerais

3.1.1. Devem ser realizadas análises para a otimização dos controles, da proteção, dos esquemas de emergência e dos procedimentos operativos de forma geral, abordando de forma mais detalhada as interações CA/CC.

3.1.2. O atendimento aos requisitos estabelecidos nos Procedimentos de Rede deve ser demonstrado considerando:

- (a) os horizontes de planejamento e de operação;
- (b) as configurações de rede mais críticas no escopo da operação, dentro da abrangência do Plano de Ampliações e Reforços (PAR);
- (c) as etapas de implantação do projeto;
- (d) as condições extremas de potência de curto-circuito;
- (e) o número mínimo de máquinas em operação; e
- (f) a inércia mínima no sistema CA associado a qualquer terminal do elo CC.

3.2. Tomada e retomada de carga

3.2.1. O elo CC não deve permitir que tomadas e retomadas de carga da estação conversora, durante os processos de partida ou de recuperação após defeitos, produzam oscilações perturbadoras ou de longa duração na potência transmitida, na tensão ou na frequência.

3.2.2. Em caso de recuperação após quaisquer faltas transitórias no lado CA, a estação conversora deve recuperar a potência transmitida para o valor de 90% daquela transmitida antes da falta entre 150 e 350 ms, devendo este valor ser estipulado no instrumento técnico dos documentos de outorga. Durante o período de recuperação não deve ocorrer nenhuma falha de comutação. Estão incluídos nesse caso os religamentos com ou sem sucesso.

3.2.3. A operação de uma ou mais conversoras afetadas pelo evento não deve restringir a utilização de religamento monopolar ou tripolar rápido nas linhas de transmissão CA da Rede Básica.

3.2.4. Operações do sistema de controle manual ou automático, de elementos manobráveis e/ou de comutadores automáticos de transformadores não devem resultar, no elo CC, em manobras intermitentes ou em oscilações anômalas na potência, na tensão ou na frequência, em qualquer configuração ou condição de operação da rede CA.

3.2.5. O elo CC deve manter a transferência de potência e a operação das conversoras estáveis para variações de frequência na faixa de 56,5 a 66 Hz e para qualquer distorção da forma de onda da tensão CA causada pela dessintonia dos filtros CA ou pela perda de um banco de filtros.

3.2.6. A conversora não deve prejudicar o desempenho normal e transitório de outras conversoras eletricamente próximas conectadas à Rede Básica ou às instalações de transmissão de energia elétrica

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

destinadas a interligações internacionais conectadas à Rede Básica, o que deve ser demonstrado por meio de estudos específicos de operação conjunta com as conversoras afetadas (*multi-infeed*), considerando a possibilidade de instabilidade ou de colapso de tensão e de recuperação simultânea após faltas.

3.3. Falhas de comutação

3.3.1. Nos casos de utilização de comutação natural na estação conversora em funcionamento como inversora:

- (a) não deve haver falha de comutação para variações instantâneas de tensão inferiores a 7% da tensão pré-falta, considerando que a tensão pré-falta se encontra dentro da faixa de tensão operativa;
- (b) as manobras de energização e abertura de equipamentos no pátio CA das estações conversoras e de linhas CA conectadas às subestações conversoras, quando operando dentro da faixa operativa de tensão definida em 2.2.2 deste submódulo, não devem provocar falhas de comutação;
- (c) a abertura intempestiva do maior banco de um elo CC, mesmo para as condições mais degradadas da rede CA, não deve causar falhas de comutação nos elos CC pertencentes à mesma subestação;
- (d) após a eliminação de faltas no sistema CA, o elo CC não deve apresentar falhas de comutação após a tensão alcançar o patamar de 0,90 pu, devendo a recuperação da potência CC se dar conforme item 3.9 deste submódulo; e
- (e) casos específicos deverão ser definidos no instrumento técnico dos documentos de outorga.

3.4. Operação dos conversores durante defeitos no sistema

3.4.1. O elo CC deve ser capaz de se manter em operação com potência reduzida nas seguintes condições de tensão reduzida no lado CA da conversora:

- (a) tensão zero na fase sob defeito, para defeitos monofásicos com duração mínima de 0,5 segundo; e
- (b) tensão maior que 30% da nominal, para defeitos trifásicos com duração mínima de 0,25 segundo.

3.4.2. Em qualquer desses casos, a recuperação da potência transmitida para os níveis pré-defeito deve se dar nas condições descritas no item 3.2.2. deste submódulo.

3.4.3. A tensão decorrente de aplicação de falta no sistema CA, na primeira oscilação após a sua eliminação, deve ser de, no mínimo, 0,80 pu. Caso a tensão seja inferior a esse patamar, deve ser implantado equipamento de compensação reativa controlável.

3.5. Interferência em rádio e em onda portadora

3.5.1. As conversoras devem ser projetadas de maneira que os níveis de rádio interferência (RI) das radiações eletrostática e eletromagnética geradas, para qualquer condição operativa, pelas conversoras, pelos seus periféricos e pelas LT-CC e LT-CA delas derivadas não afetem equipamentos de telecomunicações da Rede Básica e não excedam os limites normatizados [12] sem a necessidade de qualquer blindagem na área externa da conversora.

3.5.1.1. As interferências na faixa de 30 kHz a 500 kHz, provocadas pela estação conversora no sistema de onda portadora das linhas de transmissão da Rede Básica ou das instalações de transmissão de energia elétrica destinadas a interligações internacionais conectadas à Rede Básica, devem ficar limitadas a 20 dB abaixo do nível de sinal.

3.6. Ruído audível

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

3.6.1. O ruído audível medido no limite externo da cerca da subestação não deve exceder 58 dBA para o conjunto de todas as conversoras operando em condição normal e a plena carga, considerando condição de chuva fina (0,00148 mm/min). Para situações em que exista mais de uma conversora na mesma subestação, o limite individual é estabelecido no instrumento técnico dos documentos de outorga.

3.6.2. A transmissora deve demonstrar por meio de simulações o atendimento a esse limite e, se necessário, indicar a aplicação de medidas mitigadoras eventualmente necessárias, tais como blindagem acústica, aumento da área da subestação, construção de muro etc. Deve ser considerado pelo projeto, em subestações em operação, o ruído pré-existente.

3.7. Telecomunicação

3.7.1. Os sistemas de telecomunicação para voz e dados do elo CC e para instalações *back-to-back* devem atender ao estabelecido no Submódulo 2.15 – Requisitos mínimos para telecomunicações.

3.7.2. Os sistemas de telecomunicação para as proteções das linhas CA conectadas às subestações conversoras devem atender ao estabelecido no Submódulo 2.11.

3.7.3. Falhas do sistema de comunicação não devem causar operação incorreta do sistema de controle do elo CC. Caso ocorra falha da comunicação entre as estações, a transmissão de potência deve ser mantida no mesmo nível existente antes da falha.

3.7.4. Durante falha de telecomunicação entre as estações, deve ser possível partir, operar e parar manualmente o elo CC a partir da sala de controle local de uma das estações. Nesse caso, a comunicação entre os operadores das estações conversoras deve ser mantida por telefone ou por outro meio de comunicação.

3.8. Confiabilidade do sistema de controle

3.8.1. O sistema de controle deve ter redundância de 100% (ser duplicado) e ser projetado para que cada um dos sistemas possa ser mantido, testado ou reparado durante a operação do elo CC, sem afetar o desempenho do elo CC.

3.8.2. A perda de um dos dois sistemas de controle não deve causar distúrbio na potência transmitida pelo elo CC nem perda de um polo.

3.9. Sistema de controle

3.9.1. Os tempos de resposta devem ser especificados considerando as configurações de rede previstas nos estudos do planejamento da expansão e as configurações de rede previstas no PAR. Devem também levar em conta a possibilidade de operação do elo CC com fluxo de potência nas duas direções, caso essa condição seja prevista nos estudos de planejamento.

3.9.2. O erro do controle de potência não deve ser superior a 1,5%.

3.9.3. O erro do controle de corrente não deve ser superior a 0,7%.

3.9.4. Embora a operação da conversora seja automática, deve ser possível ao operador exercer as seguintes funções:

- (a) selecionar o modo de operação;
- (b) selecionar o local de despacho, seja no retificador, seja no inversor;
- (c) selecionar potência total, taxa de variação e direção do fluxo;

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

- (d) ligar ou desligar filtros, reatores e capacitores em derivação e posicionar os comutadores de derivação sob carga; e
- (e) comandar a partida e a parada do elo CC, a parada do sistema em emergência e a alteração de tomada de carga.

3.9.5. Para defeitos na LT CC, o sistema de controle deve restabelecer 90% da potência que era transmitida antes do defeito, em 150 ms, sem incluir o tempo de arco e de deionização.

3.9.6. Resposta da corrente CC:

- (a) Para operação em qualquer ordem de potência entre a potência mínima e a capacidade de sobrecarga contínua, a corrente CC deve responder a um degrau de aumento ou de diminuição na ordem de corrente, atingindo 90% do valor final sem redução posterior, da seguinte forma:
 - (1) para um degrau aplicado a ordem de corrente inferior à margem de corrente, já considerando as tolerâncias e erros de medição da corrente, em até 30 ms;
 - (2) para um degrau de 30% na ordem de corrente em até 70 ms.

3.9.7. Resposta da potência CC:

- (a) O controlador de potência CC deve ser ajustado de tal maneira que o sistema CC tenha as características de um sistema de corrente constante para defeitos nos sistemas CA seguidos de oscilações amortecidas de tensão e de potência de baixa frequência na faixa de 0,2 a 2 Hz.
- (b) A resposta do controlador de potência para um degrau de aumento ou de diminuição na ordem de potência de 50% deve ser tal que, em até 150 ms, seja atingido 90% do valor da nova ordem, sem redução posterior.
- (c) Em caso de recuperação após qualquer falta transitória, no lado CA, o elo deve recuperar a potência transmitida para o valor de 90% daquela transmitida antes da falta, no valor especificado pelo instrumento técnico dos documentos de outorga, sem posterior redução de potência. Durante o período de recuperação, não deve ocorrer nenhuma falha de comutação. Estão incluídos neste caso os religamentos com e sem sucesso.

3.9.8. Resposta da Tensão CC:

- (a) A resposta da tensão CC deve ser tal que, para qualquer degrau de corrente, potência ou tensão CA, a tensão CC não seja superior à tensão máxima de projeto da linha.

3.9.9. Inversão do fluxo de potência na LT-CC

- (a) Na transmissão bidirecional, os controles devem ser capazes de reverter o fluxo de potência do elo CC, que deve operar com qualquer potência entre a potência mínima e a capacidade de sobrecarga contínua especificada pelo agente.

3.9.10. Limitadores de corrente:

- (a) O sistema de controle do elo CC deve dispor de um limitador da ordem de corrente, dependente da tensão CA, para limitar transitoriamente a corrente no elo CC durante afundamentos de tensão no sistema CA. Esse limitador deve ser dimensionado com base nos estudos de sistema.
- (b) Em caso de estações *back-to-back*, o elo CC deve dispor de um limitador de ordem de corrente dependente da tensão CA, para restringir transitoriamente a corrente no elo durante afundamentos de tensão no sistema CA. Esse limitador deve ser dimensionado com base nos estudos de sistema.

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

3.9.11. Controle de desbalanço dos polos:

- (a) O controle de desbalanceamento dos polos pertencentes ao controle da estação conversora deve ser projetado para minimizar a corrente na linha do eletrodo.
- (b) A corrente de desbalanço entre polos da transmissão bipolar deve ser inferior a 1,5% da corrente nominal.

3.10. Controle Mestre (*Master Control*)

3.10.1. Elos CC constituídos por múltiplos bipolos devem ser providos de um Controle Mestre para a coordenação de sua operação.

3.10.2. Devem ser disponibilizados ao Controle Mestre todos os sinais necessários à sua correta operação, incluindo os sinais topológicos referentes ao estado dos equipamentos das subestações conversoras, bem como aqueles provenientes de usinas e demais subestações que possam afetar o seu desempenho.

3.10.3. Seus controles devem ter redundância mínima de 100%. Esta redundância se aplica também aos serviços auxiliares de alimentação CC e CA. Os painéis alimentados pelos serviços auxiliares CC devem ser completamente independentes. Os painéis CA também devem ter alimentação independente.

3.10.4. O Controle Mestre deve ser capaz de desempenhar as seguintes funções principais:

- (a) avaliar e implementar, com base na topologia da subestação e na potência transmitida no(s) elo(s) CC, a inserção ou retirada de operação de filtros e de compensação reativa;
- (b) comandar as ações de controle dos bipolos para a modulação da potência CC para a estabilização de frequência do sistema CA;
- (c) comandar as ações dos bipolos para amortecimento de oscilações do sistema CA;
- (d) comandar automaticamente a redistribuição de potência entre polos e/ou bipolos, em caso de perda de elementos;
- (e) comandar automaticamente as ações de paralelismo de elementos de transmissão dos bipolos incluindo as linhas de eletrodo.

3.10.5. O Controle Mestre deve estar equipado para comandar automaticamente a abertura de equipamentos pertencentes ao seu empreendimento, como por exemplo filtros, e comandar a abertura de equipamentos de terceiros, como por exemplo linhas ou geradores, seja por ação direta ou por meio de centros de controle de terceiros, inclusive do ONS. Em caso de equipamentos de terceiros, caberá ao Sistema de Controle e Proteção do agente responsável pelo equipamento processar a ação solicitada e executar o comando nos seus equipamentos, conforme os requisitos de tempo de resposta necessários.

3.10.6. O Controle Mestre deve estar equipado para efetuar ações de *run back* (redução de potência automática) para evitar variações de frequência no sistema coletor, ou para fazer frente a perda de linhas no sistema CA adjacente às estações conversoras ou a perda de elementos que compõem o sistema de geração, que impossibilitem a manutenção do nível de potência transmitida pelo elo CC. Para outras situações, o Controle Mestre deve estar também equipado para efetuar ações de *run forward* (aumento de potência automático).

3.10.7. O instrumento técnico dos documentos de outorga deve definir a quem cabe a responsabilidade pela obtenção dos sinais em instalações de terceiros, que devem atender a requisitos de telecomunicações e respeitar os tempos de latência necessários à operação adequada do Controle Mestre. Os estudos de Projeto Básico devem definir quantos e quais são os sinais necessários.

Nome	Submódulo	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	2.8	Requisitos	2020.12	01/01/2021

3.11. Proteção

3.11.1. No projeto da proteção dos equipamentos do lado CA e CC das estações conversoras, deve-se considerar a influência dos harmônicos gerados pelas conversoras em seu desempenho durante defeitos e atender aos requisitos constantes do Submódulo 2.11.

3.12. Supervisão e controle

3.12.1. Os sistemas de supervisão e controle dos equipamentos de manobra dos pátios CA e CC devem atender ao disposto no Submódulo 2.12 – Requisitos mínimos de supervisão e controle para a operação. Deve haver comunicação entre a instalação do elo CC e os centros de controle do ONS, por meio dos protocolos de comunicação disponíveis nesses centros.

3.12.2. O ONS define o centro com o qual as instalações do elo CC devem se relacionar.

3.13. Registro de perturbações

3.13.1. Os registradores de perturbações devem atender aos requisitos constantes no Submódulo 2.11.

3.14. Perdas

3.14.1. A transmissora, entre a etapa de detalhamento e a entrada em operação comercial, deve comprovar o atendimento dos níveis de perdas por meio de ensaios, executados pelo fornecedor, dos diversos componentes do elo CC.

4. REFERÊNCIAS

- [1] *International Electrotechnical Commission. IEC 61000-4-30. Testing and Measuring Techniques – Power Quality Measurement Methods. 2003 IEC 61000-4-30.*
- [2] *International Electrotechnical Commission. Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules. IEC-60071-1.*
- [3] *International Electrotechnical Commission. Insulation co-ordination – Part 2: Application guide. IEC-60071-2.*
- [4] *International Electrotechnical Commission. Insulation co-ordination – Part 4: Computational guide to insulation co-ordination and modeling of electrical networks. IEC-60071-4.*
- [5] *International Electrotechnical Commission. Insulation co-ordination – Part 5: Procedures for high-voltage current (HVDC) converter stations. IEC-60071-5.*
- [6] *International Electrotechnical Commission. Insulation co-ordination. IEC 60071.*
- [7] *International Electrotechnical Commission. Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions. IEC/TR 60815.*
- [8] *International Electrotechnical Commission. Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with line-commutated converters – Part 1: Steady-state conditions. IEC 60919-1.*
- [9] *International Electrotechnical Commission. Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with line-commutated converters – Part 2: Faults and Switching. IEC 60919-2.*
- [10] *International Electrotechnical Commission. Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with line-commutated converters - Part 3: Dynamic conditions. IEC 60919-3.*
- [11] *CIGRE Working Group 33/14-05. Application guide for metal oxide arresters without gaps for HVDC converter stations. Junho, 1988.*
- [12] *Associação Brasileira de Normas Técnicas. Transformador de potência. ABNT NBR 5356.*