Requisitos técnicos mínimos para a conexão de sistemas de armazenamento de energia via baterias

Nome	Documento	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos técnicos mínimos para a conexão de sistemas de armazenamento de energia via baterias	NT-ONS DPL 0111/2025 EPE-DEE-NT-095/2025	Requisitos	5	-

Nota Técnica Conjunta ONS e EPE

NT-ONS DPL 0111/2025

EPE-DEE-NT-095/2025

Requisitos técnicos mínimos para a conexão de sistemas de armazenamento de energia via baterias

Requisitos

Revisão	Motivo da revisão	Data
0	Emissão inicial.	22/08/2025
1	Aprimoramentos nos itens 3.2, 4.3.3, 4.4.2, 4.5.2, 4.7.1 e 4.7.3, após interações entre ONS e EPE.	24/09/2025
2	Aprimoramentos nos itens 4.2.2, 4.3.3.1. , 4.3.3.2. , 4.3.5.4. , 4.7.1.1. , 4.7.3.8. , 6 e 6.4, após contribuições da consulta pública.	29/12/2025
3	Correção de erro material: o item 3.6.2.1. (a) estava duplicado.	18/05/2026
4	Revisão do requisito do item 4.3.5, após aprofundamento da pesquisa sobre o assunto, com benchmark de códigos de rede de outros países e com fabricantes. Ajustes nos itens 4.7.1 e 5, em função desta alteração.	26/05/2026
5	Revisões pontuais, visando maior clareza em descrição de requisitos, bem como ampliando alternativas de fornecimento de modelos. Item 3.2 – Inclusão da possibilidade de envio dos modelos no formato ORGANON, além do ANATEM já previsto. Melhorias na descrição do modelo relativo ao item 3.2 (d). Item 4.3.5 – Aprimoramentos textuais, visando mais clareza no entendimento da potência base do requisito.	22/10/2026

ÍNDICE

1. OBJETIVOS 7

2. PONTOS DE REFERÊNCIA DE APLICAÇÃO DOS REQUISITOS 8

3. REQUISITOS GERAIS E DAS INSTALAÇÕES DE USO RESTRITO 10

3.1. Disposições gerais 10

3.2. Modelos Matemáticos de Simulação 11

3.3. Sistemas de proteção, de registro de perturbações e de telecomunicações para teleproteção 12

3.4. Sistemas Especiais de Proteção (SEP) 12

3.5. Proteções de caráter sistêmico 12

3.6. Sistemas de supervisão e controle para a operação 12

3.7. Sistemas de medição para faturamento 13

3.8. Sistemas de telecomunicações 13

3.9. Unidades de Medição de Sincrofasores (PMU) 13

3.10. Qualidade da Energia Elétrica 13

3.11. Arranjo de Barramento 14

3.11.1. Acesso às instalações de transmissão sob responsabilidade de agente de transmissão 14

3.11.2. Subestações de uso exclusivo de agente de geração, de importação/exportação ou consumidor com conexão às instalações de transmissão sob responsabilidade de agente de transmissão 15

3.12. Área da Subestação 15

3.12.1. Acesso às instalações de transmissão sob responsabilidade de agente de transmissão 15

3.12.2. Subestações de uso exclusivo de agente de geração, de importação/exportação ou consumidor com conexão às instalações de transmissão: 16

4. CONEXÃO DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA VIA BATERIAS 17

4.1. Aplicabilidade dos requisitos 17

4.2. Estratégias de controle a nível de inversor 18

4.2.1. Operação com comportamento de fonte de tensão: 18

4.2.2. Operação com comportamento de fonte de corrente: 18

4.3. Requisitos específicos para operação de inversores como formadores de rede 19

4.3.1. Comportamento de fonte de tensão com autonomia.....19

4.3.2. Resposta dinâmica de potência ativa e reativa 19

4.3.3. Passividade e provisão de amortecimento de oscilações sistêmicas 19

4.3.4. Correntes de sequência negativa.....20

4.3.5. Capacidade de sobrecorrente transitória 20

4.3.6. Critérios de desempenho das características de fonte de tensão.....21

4.4. Operação normal e suportabilidade 23

4.4.1. Frequência 23

4.4.2. Tensão.....24

4.4.3. Robustez elétrica do ponto de conexão 25

4.5. Controle de tensão / potência reativa 25

4.5.1. Geração/Absorção de potência reativa 25

4.5.2. Estratégia do controle a nível de planta 27

4.6. Controle de frequência / potência ativa 30

4.6.1. Controle primário de frequência a nível de planta.....30

4.6.2. Tomada de carga.....32

4.7. Comportamento sob condições específicas 33

4.7.1. Injeção de corrente reativa sob falta 33

4.7.2. Variação de tensão em regime permanente 34

4.7.3. Resposta Rápida em Frequência.....35

5. CONEXÃO DE BATERIAS IMPLANTADAS EM INSTALAÇÕES EXISTENTES..... 36

6. ANEXO 1 - TESTES PARA COMPROVAÇÃO DA CAPACIDADE DE OPERAÇÃO COMO FORMADOR DE REDE E FONTE DE TENSÃO (GRID FORMING)..... 39

6.1. Reação de potência ativa frente a salto de fase da tensão no sistema:.....39

6.1.1. Configuração de teste:.....39

6.1.2. Sequência de eventos: 39

6.1.3. Grandezas a serem observadas: 39

6.1.4. Critério: 39

6.2. Reação de potência reativa frente a degrau de tensão no sistema: 40

6.2.1. Configuração de teste: 40

6.2.2. Sequência de eventos: 40

6.2.3. Grandezas a serem observadas: 40

6.2.4. Critério: 40

6.3. Desconexão da última máquina síncrona: 40

6.3.1. Configuração de teste: 40

6.3.2. Sequência de eventos: 41

6.3.3. Grandezas a serem observadas: 41

6.3.4. Critério: 41

6.4. Teste de *blackstart* do SAE-B, em campo, no âmbito do comissionamento: 41

7. ANEXO 2 – SIMULAÇÕES ADICIONAIS PARA FINS DE VALIDAÇÃO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO E AJUSTES DE CONTROLADORES, NO ÂMBITO DA INTEGRAÇÃO DO EMPREENDIMENTO 41

8. REFERÊNCIAS 42

9. ÍNDICE DE FIGURAS 43

10. ÍNDICE DE TABELAS 43

Nome	Documento	Tipo	Revisão	Vigência
Requisitos técnicos mínimos para a conexão de sistemas de armazenamento de energia via baterias	**NT-ONS DPL 0111/2025 EPE-DEE-NT-095/2025**	**Requisitos**	**5**	**-**

1. OBJETIVOS

1.1. Estabelecer os requisitos técnicos mínimos para a conexão de Sistemas de Armazenamento de Energia via Baterias (SAE-B) às instalações sob responsabilidade de agente de transmissão, com o propósito de:

(a) balizar as ações do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS relativas à proposição das ampliações, reforços e melhorias nas instalações sob responsabilidade de agente de transmissão;

(b) fornecer aos novos usuários das instalações sob responsabilidade de agente de transmissão as informações necessárias para a elaboração do projeto do ponto de conexão e das instalações de transmissão de uso exclusivo/restrito; e

(c) fornecer aos usuários já conectados às instalações sob responsabilidade de agente de transmissão, que requeiram acesso e/ou contratação, as informações necessárias para atualização/adequação do projeto do ponto de conexão e das instalações de transmissão de uso exclusivo/restrito.

1.2. Os requisitos aplicam-se à conexão de SAE-B, de forma individual ou compartilhada com outro usuário, à Rede Básica, às Demais Instalações de Transmissão (DIT), às instalações de transmissão de interesse exclusivo de centrais de geração para conexão compartilhada (ICG) e às instalações de transmissão de energia elétrica destinadas a interligações internacionais conectadas à Rede Básica.

2. PONTOS DE REFERÊNCIA DE APLICAÇÃO DOS REQUISITOS

Neste item são descritas as orientações para a compreensão e aplicação deste documento, notadamente em termos de identificação dos Agentes envolvidos, abrangência de respectivas instalações, bem como pontos de referência de aplicação de requisitos.

2.2. Ao longo deste documento, serão usados precisamente estes termos, abrangências e pontos de referência para a especificação dos requisitos técnicos de conexão.

2.3. A Figura **1** a seguir apresenta a identificação de Acessantes individuais.

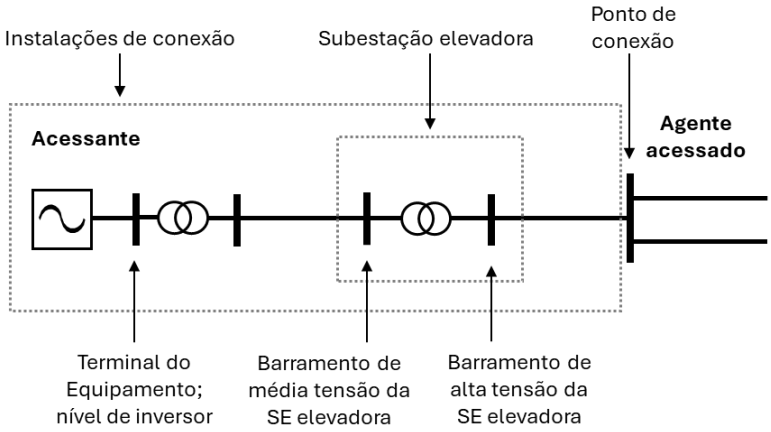


Figura 1 – Pontos de referência para Acessantes individuais

2.4. A Figura **2** a seguir apresenta a identificação de Acessantes quando o SAE-B for implantado em empreendimentos de forma compartilhada.

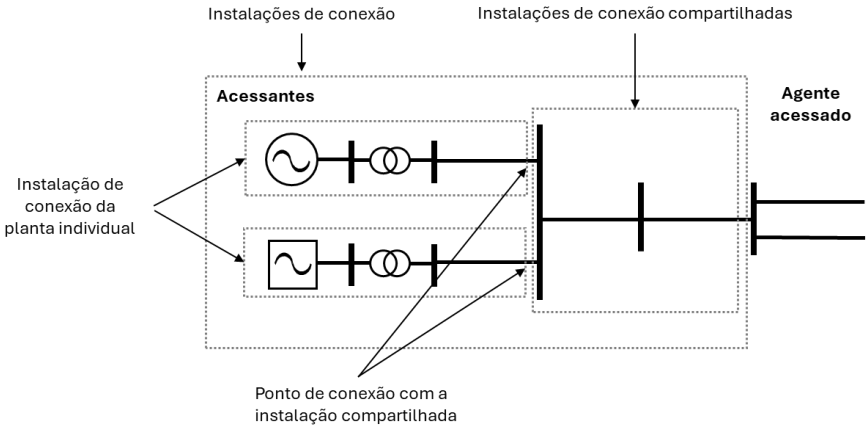


Figura 2 – Pontos de referência para Acessantes quando o SAE-B for implantado em empreendimentos de forma compartilhada.

2.5. A Figura 3 a seguir apresenta a identificação de Acessantes na Rede Básica, notadamente para identificar a abrangência de aplicação dos requisitos de sistemas de proteção dos itens 3.3, 3.4 e 3.5.

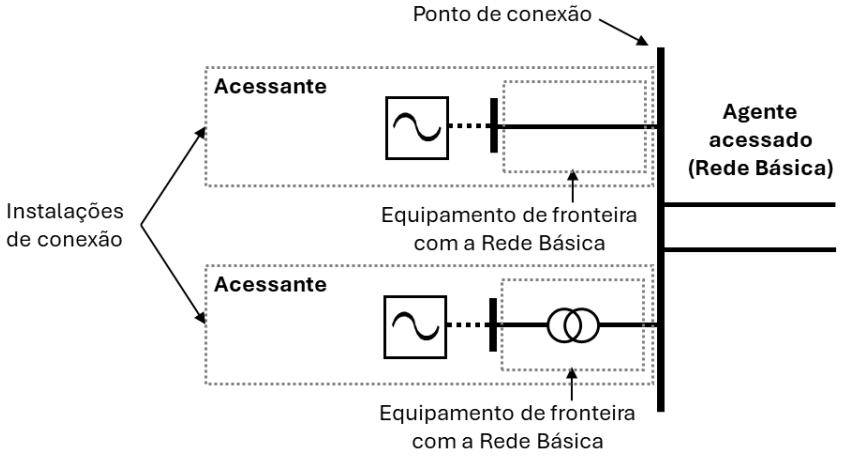


Figura 3 – Pontos de referência para acessantes na Rede Básica.

3. REQUISITOS GERAIS E DAS INSTALAÇÕES DE USO RESTRITO

3.1. Disposições gerais

3.1.1. Quando houver compartilhamento de instalações de interesse restrito para a conexão às instalações sob responsabilidade de agente de transmissão ou de distribuição, os requisitos técnicos mínimos devem ser atendidos por todos os usuários do compartilhamento na conexão das instalações compartilhadas às instalações sob responsabilidade de agente de transmissão ou de distribuição.

3.1.2. Os requisitos técnicos mínimos aplicáveis às instalações de conexão às DIT devem atender os padrões técnicos da concessionária de transmissão detentora da instalação acessada e às normas e padrões técnicos da concessionária ou permissionária de distribuição, quando houver transferência de instalações.

3.1.3. Por princípio, os requisitos técnicos mínimos das instalações de conexão do acessante devem estar em conformidade com as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, no que for aplicável e, complementados, com as normas técnicas da *International Electrotechnical Commission* – IEC e *American National Standards Institute* – ANSI.

3.1.4. Quando nenhuma das normas anteriores atenderem aos requisitos exigidos e com a anuência prévia pelo Operador, as recomendações *do Institute of Electrical and Electronics Engineers* – IEEE podem ser seguidas.

3.1.5. O ONS, a seu critério, pode propor à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL a adequação de instalação de conexão existente devido ao não atendimento aos requisitos técnicos estabelecidos neste submódulo, decorrente da evolução do Sistema Interligado Nacional (SIN).

3.1.6. O acessante é responsável por avaliar qualquer efeito que o SIN possa provocar sobre suas instalações e por tomar as ações corretivas e protetivas que lhe são cabíveis.

3.1.7. Todos os estudos necessários à avaliação do impacto do SAE-B no SIN devem ser realizados pelo acessante e disponibilizados seus resultados e as bases de dados utilizadas.

3.1.8. O acessante deve, ao implantar seu empreendimento, atentar para as regras de uso da Área de Desenvolvimento da Subestação (ADS), definidas em [2], de forma que suas instalações não prejudiquem a expansão da subestação a ser acessada, bem como as demais subestações de transmissão integrantes da Rede Básica (RB) ou Demais Instalações de Transmissão (DIT). As regras de uso da ADS se aplicam também para as subestações seccionadoras de linhas de transmissão a serem implantadas por acessantes.

3.2. Modelos Matemáticos de Simulação

3.2.1. Conforme estabelecido no Submódulo 3.9 – "Validação de dados e modelos de componentes para estudos elétricos", é de responsabilidade do acessante disponibilizar, segundo as diretrizes estabelecidas pelo ONS, para cada tipo de modelo computacional, os modelos matemáticos representativos dos controladores em operação na nova instalação sob sua responsabilidade.

3.2.2. Os modelos fornecidos devem ter correspondência direta entre os parâmetros da lista de parametrização dos controladores instalados em campo e os parâmetros utilizados no modelo.

3.2.3. As ferramentas computacionais nas quais os modelos devem estar disponíveis estão definidas no Submódulo 2.3 – "Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos". Além disso, ressalta-se o seguinte:

(a) Os modelos para estudos a nível de transitórios eletromecânicos (modelos de sequência positiva e valores eficazes), deverão ser fornecidos para o ONS e para a EPE nos seguintes termos:

a.1) no formato do programa ORGANON ou ANATEM, a critério do proponente, não sendo mandatório o fornecimento em ambos os programas;

a.2) deve ser disponibilizado de forma aberta (não compilado);

a.3) em caso de restrições para publicação do modelo nas bases de dados públicas, relacionadas à propriedade intelectual:

a.3.1) o Agente deverá indicar quais trechos/recursos do modelo efetivamente possuem restrição de publicação, acompanhado de justificativa;

a.3.2) a disponibilização nas bases de dados públicas será realizada mediante recursos que assegurem a proteção desta propriedade intelectual.

(b) Os modelos para estudos a nível de transitórios eletromagnéticos (modelos trifásicos no domínio do tempo), deverão ser fornecidos para o ONS e para a EPE nos seguintes termos:

b.1) no formato do Programa PSCAD (Manitoba Hydro International Ltd.);

b.2) podem ser fornecidos mediante criptografia dos códigos de controle embarcados, visando assegurar a proteção da propriedade intelectual.

(c) Ambos os modelos deverão ser fornecidos em conformidade com as especificações de modelagem e validação a serem disponibilizadas pelo ONS na etapa de integração do empreendimento. A validação inclui as seguintes etapas gerais:

c.1) validação do modelo para estudos de transitórios eletromagnéticos em PSCAD com testes do tipo "Controller Hardware-in-the-loop" (C-HIL).

c.2) validação do modelo para transitórios eletromecânicos em ORGANON ou ANATEM comparando-o com o modelo para transitórios eletromagnéticos em PSCAD, previamente validado.

(d) Adicionalmente ao modelo do item 3.2.3. (b), deverá ser disponibilizada uma outra versão em PSCAD, com desempenho equivalente garantido pelo Agente, que possa ser utilizada nas bases de

dados públicas. Esta versão respeitará os segredos industriais do fabricante, e sem restrições de confidencialidade.

3.3. Sistemas de proteção, de registro de perturbações e de telecomunicações para teleproteção

3.3.1. Os sistemas de proteção, de registro de perturbações e os sistemas de telecomunicações para teleproteção dos equipamentos que fazem fronteira com a Rede Básica (linhas de transmissão e transformador conforme a Figura 3), deverão atender integralmente aos requisitos técnicos estabelecidos no Submódulo 2.11 – Requisitos mínimos para os sistemas de proteção, de registro de perturbações e de teleproteção, considerando todos os terminais desses equipamentos.

3.4. Sistemas Especiais de Proteção (SEP)

3.4.1. Quando solicitado pelo ONS, após a elaboração de estudos com a participação dos agentes envolvidos, o agente de transmissão acessado e o acessante devem instalar/adequar/desinstalar SEP, conforme estabelecido no Submódulo 7.5 – Implantação de Sistemas Especiais de Proteção.

3.5. Proteções de caráter sistêmico

3.5.1. Quando solicitado pelo ONS, o agente de transmissão acessado e o acessante devem instalar/adequar proteções de caráter sistêmico, conforme estabelecido no Submódulo 7.6 – Implantação de proteções de caráter sistêmico.

3.6. Sistemas de supervisão e controle para a operação

3.6.1. Os sistemas de supervisão e controle devem atender aos requisitos técnicos descritos no Submódulo 2.12 – Requisitos mínimos de supervisão e controle para a operação.

3.6.2. Informações requeridas para a supervisão do sistema elétrico

3.6.2.1. Medições analógicas

(a) O período de transferência deve ser parametrizável por centro de operação do ONS, devendo os sistemas serem projetados para suportar períodos de aquisição de 4 (quatro) segundos e, em alguns casos, de 6 (seis) segundos, períodos esses definidos de comum acordo entre o agente e o ONS.

(b) As seguintes informações devem ser coletadas e transferidas para os centros de operação do ONS:

b.1) magnitude da tensão fase-fase, que pode ser obtida pela medição fase-fase ou por cálculo a partir de medição fase-neutro, em kV, entre quaisquer duas das três fases, de cada terminal de Linha de Transmissão (LT) no ponto de conexão que conecta o empreendimento à Rede de Operação;

b.2) potência trifásica ativa, em MW, e reativa, em Mvar, nos terminais de todas as linhas de transmissão (LT) que conectam o empreendimento à Rede de Operação;

b.3) corrente em uma das três fases, em Ampere (A), nos terminais de todas as LT que conectam o empreendimento a Rede de Operação;

b.4) Capacidade agregada em MW do parque de baterias conectado no ponto de conexão do empreendimento à Rede de Operação;

b.5) Capacidade agregada para descarregamento em MW do parque de baterias conectado no ponto de conexão do empreendimento à Rede de Operação;

b.6) Tempo para carregamento total (HH:MM:SS) do parque de baterias conectado no ponto de conexão do empreendimento à Rede de Operação;

b.7) Tempo para descarregamento total (HH:MM:SS) do parque de baterias conectado no ponto de conexão do empreendimento à Rede de Operação;

b.8) Energia armazenada agregada MWh e % do total do parque de baterias conectado no ponto de conexão do empreendimento à Rede de Operação;

b.9) Energia agregada MWh necessária para o carregamento total do parque de baterias conectado no ponto de conexão do empreendimento à Rede de Operação;

3.6.2.2. Medições digitais

(a) Sinalização de estado, referente a todos os disjuntores e chaves utilizados nos barramentos dos equipamentos que conectam o empreendimento à Rede Operação no ponto de conexão, exceto a chave de terra.

3.7. Sistemas de medição para faturamento

3.7.1. Os procedimentos e requisitos referentes aos sistemas de medição para faturamento estão estabelecidos no Submódulo 2.14 – Requisitos mínimos para Sistemas de Medição para Faturamento, no Submódulo 7.11 – Implantação do Sistema de Medição para Faturamento, no Submódulo 6.16 – Manutenção do Sistema de Medição para Faturamento e no Submódulo 6.17 – Coleta de dados de medição para faturamento.

3.8. Sistemas de telecomunicações

3.8.1. Os padrões e procedimentos referentes aos sistemas de telecomunicações estão estabelecidos no Submódulo 2.15 – Requisitos mínimos para telecomunicações, no Submódulo 7.12 – Implantação dos serviços de telecomunicações para atendimento às necessidades do Sistema Interligado Nacional, no Submódulo 5.9 – Manutenção dos serviços de telecomunicações que atendem a Operação do SIN e no Submódulo 6.10 – Avaliação do desempenho dos serviços de telecomunicações que atendem à Operação do SIN.

3.9. Unidades de Medição de Sincrofasores (PMU)

3.9.1. Deve ser prevista a instalação de Unidades de Medição de Sincrofasores (Phasor Measurement Unit - PMU), atendendo os requisitos técnicos definidos pelo ONS no Submódulo 2.13 – Requisitos mínimos para Sistemas de Medição Sincronizada de Fasores e no Submódulo 7.9 – Implantação dos sistemas de supervisão e controle para a operação.

3.10. Qualidade da Energia Elétrica

3.10.1. A conexão do acessante às instalações sob responsabilidade de agente de transmissão ou distribuição deve atender aos requisitos e limites estabelecidos para os indicadores de Qualidade da Energia Elétrica (QEE), conforme disposto nos Submódulos 2.3, 2.9, 7.8 e 9.7 dos Procedimentos de Rede.

3.11. Arranjo de Barramento

3.11.1. Acesso às instalações de transmissão sob responsabilidade de agente de transmissão

3.11.1.1. No caso de conexão em uma subestação sob responsabilidade de agente de transmissão, o acessante deve seguir o arranjo de barramento da referida subestação.

3.11.1.2. Caso o arranjo da subestação acessada não atenda ao requisito definido no item 3.1.1 do Submódulo 2.6 – "Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos", o acessante deve adequar sua conexão quando da adequação da subestação a esses requisitos. Essa obrigação do acessante deve constar do respectivo Contrato de Conexão às Instalações de Transmissão.

3.11.1.3. Para conexão por meio de seccionamento de LT da Rede Básica ou das instalações de transmissão de energia elétrica destinadas a interligações internacionais conectadas à Rede Básica, o arranjo de barramento da subestação a ser integrada deve observar o requisito definido no item 3.1.1 do Submódulo 2.6.

3.11.1.4. Em tensão igual ou superior a 345 kV, os vãos de entrada de linha associados ao seccionamento devem ser instalados no mesmo módulo de infraestrutura de manobra correspondente ao arranjo final da subestação do acessante.

3.11.1.5. A conexão pode ter arranjo de barramento inicial em anel simples, até o limite de quatro conexões, considerando aquelas do seccionamento da LT, e deve-se atender aos seguintes pontos:

(a) o arranjo físico desse barramento deve ser projetado de forma a permitir a evolução para o arranjo de barramento estabelecido no item 3.1.1 do Submódulo 2.6;

(b) as conexões não devem comprometer o desempenho sistêmico da Rede Básica, limitar a operação da Rede Básica ou das instalações de transmissão de energia elétrica destinadas a interligações internacionais conectadas à Rede Básica, tampouco impor restrições às instalações a elas conectadas;

(c) no caso de compartilhamento entre agentes de geração, de importação/exportação e/ou consumidores, os custos do disjuntor central da subestação com arranjo de barramento disjuntor e meio, e demais equipamentos e instrumentos a ele associados devem ser igualmente divididos entre as partes, sendo a responsabilidade pela operação do disjuntor central estabelecida no Contrato de Conexão às Instalações de Transmissão;

c.1) se o referido compartilhamento envolver uma transmissora, a responsabilidade pelo disjuntor compartilhado e demais equipamentos e instrumentos a ele associados é do agente de transmissão e, caso o disjuntor já exista, este deve ser transferido, sem ônus, à transmissora;

(d) o primeiro acessante deve adequar sua conexão quando da adequação da subestação ao requisito definido no item 3.1.1 do Submódulo 2.6; e

(e) as obrigações dos agentes e/ou consumidores devem estar dispostas nos respectivos Contrato de Conexão às Instalações de Transmissão e/ou Contrato de Compartilhamento de Instalações.

3.11.2. Subestações de uso exclusivo de agente de geração, de importação/exportação ou consumidor com conexão às instalações de transmissão sob responsabilidade de agente de transmissão

3.11.2.1. Subestações com isolamento a ar devem adotar uma das seguintes configurações para os arranjos de barramento, em função de sua classe de tensão:

(a) barramentos de tensão inferior a 230 kV: arranjo barra simples, com possibilidade de evolução para arranjo barra principal e transferência, ou arranjo barra principal e transferência;

(b) barramentos de tensão igual a 230 kV: arranjo barra principal e transferência, com possibilidade de evolução para arranjo barra dupla com disjuntor simples a quatro chaves, ou arranjo barra dupla com disjuntor simples a quatro chaves; e

(c) barramentos de tensão igual ou superior a 345 kV: arranjo em anel para subestações com até 6 (seis) conexões de LT e/ou equipamentos, com possibilidade de evolução para arranjo barra dupla com disjuntor e meio, ou arranjo barra dupla com disjuntor e meio para subestações com número de conexões superior a 6 (seis).

3.11.2.2. O vão de entrada de linha na subestação sob a responsabilidade do agente deve ser concebido e operado com uso de disjuntor.

3.11.2.3. O arranjo físico do barramento das subestações com isolamento a ar deve ser projetado de forma que:

(a) viabilize a evolução para o arranjo de barramento definido no item 3.1.1 do Submódulo 2.6 e possível futura expansão; e

(b) as conexões não comprometam o desempenho sistêmico da Rede Básica, limitem a operação da Rede Básica ou das instalações de transmissão de energia elétrica destinadas a interligações internacionais conectadas à Rede Básica, tampouco imponham restrições às instalações a elas conectadas.

3.11.2.4. Arranjos de barramentos alternativos com outras tecnologias de isolamento (SF6, por exemplo) podem ser propostos, em conformidade com os itens 3.1.2 e 3.1.3 do Submódulo 2.6.

3.11.2.5. Caso seja verificado nos estudos definidos pelo ONS ou pela EPE a necessidade de evolução dos arranjos de barramento da subestação de uso exclusivo no horizonte de 5 (cinco) anos para aqueles definidos no item 3.1.1 do Submódulo 2.6, a subestação deve ser implementada em seu arranjo final.

3.12. Área da Subestação

3.12.1. Acesso às instalações de transmissão sob responsabilidade de agente de transmissão

3.12.1.1. No caso de acesso às instalações de transmissão sob responsabilidade de agente de transmissão por agente de geração, de distribuição, de importação/exportação ou consumidor, para conexão por meio

de seccionamento de LT, a subestação com isolamento a ar deve ter pelo menos a área mínima, observado o maior nível de tensão da subestação (Vmax):

(a) Vmax < 88 kV: 8.000 m²;

(b) 88 kV ≤ Vmax ≤ 138 kV: 15.000 m²;

(c) 138 kV < Vmax ≤ 230 kV: 25.000 m²;

(d) 230 kV < Vmax ≤ 345 kV: 100.000 m²; ou

(e) Vmax ≥ 440 kV: 140.000 m².

3.12.2. Subestações de uso exclusivo de agente de geração, de importação/exportação ou consumidor com conexão às instalações de transmissão:

3.12.2.1. Caso seja verificado nos estudos definidos pelo ONS ou pela EPE a necessidade de especificação de área mínima, a subestação deve ser implementada com a área mínima especificada.

4. CONEXÃO DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA VIA BATERIAS

(a) Estes requisitos aplicam-se aos Sistemas de armazenamento de energia baseados em baterias eletroquímicas, conectadas ao sistema por meio de inversores.

(b) Os requisitos deverão ser atendidos independente de o SAE-B estar absorvendo ou fornecendo potência ativa.

4.1. Aplicabilidade dos requisitos

4.1.1. Os requisitos técnicos mínimos para conexão devem ser atendidos pelos acessantes conforme as indicações da Tabela **1** a seguir:

Tabela 1 – Aplicabilidade dos requisitos de SAE-B

Categoria	Condições de Conexão	Requisitos Técnicos Aplicáveis
SAE-B conectadas individualmente e diretamente ao Sistema Interligado Nacional	Conectados na Rede Básica, às Demais Instalações de Transmissão (DIT), às instalações de transmissão de interesse exclusivo de centrais de geração para conexão compartilhada (ICG) e às instalações de transmissão de energia elétrica destinadas a interligações internacionais conectadas à Rede Básica	Todos os requisitos técnicos deste item.
SAE-B implantadas em empreendimentos de forma compartilhada	SAE-B em Empreendimentos conectados na Rede Básica, às Demais Instalações de Transmissão (DIT), às instalações de transmissão de interesse exclusivo de centrais de geração para conexão compartilhada (ICG) e às instalações de transmissão de energia elétrica destinadas a interligações internacionais conectadas à Rede Básica	Todos os requisitos técnicos deste item, observando as condições do item 5, relativas à conexão dentro de empreendimentos existentes.

4.2. Estratégias de controle a nível de inversor

(a) O SAE-B deve ser concebido para operar nas seguintes estratégias de controle, as quais devem ser selecionáveis pelo ONS:

4.2.1. Operação com comportamento de fonte de tensão:

(a) Esta estratégia corresponde à operação como formador de rede (*Grid Forming*) e fonte de tensão. Devem ser observados todos os requisitos deste item 4, enfatizando os requisitos do item 4.3, que são exclusivos para a operação nesta estratégia de controle.

(b) Quando operando nesta estratégia, o SAE-B deve ser visto pelo sistema como equivalente a uma fonte de tensão controlada, em série com uma impedância. Isto é aplicável enquanto o SAE-B estiver operando dentro dos limites de corrente do conversor e com disponibilidade de energia.

4.2.2. Operação com comportamento de fonte de corrente:

(a) Esta estratégia corresponde à operação como seguidor de rede (*Grid Following*) e fonte de corrente. Devem ser observados todos os requisitos deste item 4, exceto os requisitos do item 4.3, que são exclusivos para a operação como Fonte de tensão. Destaca-se somente a necessidade de se observar a capacidade de sobrecorrente transitória do item 4.3.5 na injeção de corrente sob defeito do item 4.7.1.

(b) Quando operando nesta estratégia, o SAE-B deve ser visto pelo sistema como equivalente a uma fonte de corrente controlada. Isto é aplicável enquanto o sistema estiver operando dentro dos limites operativos de tensão, e dentro dos limites de corrente do conversor.

4.2.2.1. A estratégia de controle padrão a ser considerada para a operação interligada é o modo “comportamento de Fonte de tensão” – item 4.2.1. Esta estratégia de controle somente deve ser alterada mediante recomendação explícita do ONS, ou sob condições específicas, como na necessidade de utilizar este modo de controle para testes e comissionamento. Deve ser possível a comutação de modo de controle por comando operativo do usuário.

4.3. Requisitos específicos para operação de inversores como formadores de rede

(a) Nesta estratégia de controle, a concepção e o dimensionamento do SAE-B devem atender aos requisitos funcionais apresentados a seguir, garantindo que o equipamento seja caracterizado para o sistema como equivalente a uma fonte de tensão em série com uma impedância. Neste caso, o SAE-B deve atuar como um formador de rede, operando como formador de tensão, desde que estejam respeitados os limites de corrente do conversor e com margem de energia.

4.3.1. Comportamento de fonte de tensão com autonomia

4.3.1.2. Durante o período subtransitório após uma perturbação no sistema, o SAE-B deve resistir a variações de módulo e ângulo da tensão, resultando no fornecimento, de maneira praticamente instantânea, de níveis apropriados de potência ativa e reativa, com o objetivo primário de controlar o fasor de tensão terminal.

4.3.1.3. O SAE-B deve ser capaz de manter, de forma autônoma e independente do sistema, a tensão em seu terminal, e controlar sua magnitude e ângulo.

4.3.1.4. Em caso de desconexão com o sistema interligado, o SAE-B deve continuar operando de forma estável e independente.

4.3.2. Resposta dinâmica de potência ativa e reativa

4.3.2.1. O SAE-B deve ser capaz de operar, no mínimo, com os seguintes comportamentos de controle, ajustáveis e selecionáveis pelo ONS:

(a) Estatismo linear Q-V (potência reativa – tensão):

a.1) Ao menos o estatismo deve ser ajustável pelo ONS.

(b) Estatismo linear P-f (potência ativa – frequência):

b.1) Ao menos o estatismo deve ser ajustável pelo ONS.

(c) Controle P-f (potência ativa – frequência), com comportamento similar ao de uma máquina síncrona:

c.1) Ao menos o estatismo e a inércia devem ser ajustáveis pelo ONS.

4.3.2.2. O SAE-B deve manter sincronismo com o sistema, e ser capaz de dividir, de forma autônoma, potência ativa e reativa com os demais recursos dinâmicos do sistema, via princípios baseados em estatismo de tensão e frequência, com parâmetros ajustáveis pelo ONS. Os ajustes devem ser possíveis de serem realizados pelo usuário.

4.3.3. Passividade e provisão de amortecimento de oscilações sistêmicas

4.3.3.1. A impedância do SAE-B, vista pelo sistema, deve ser passiva (apresentar resistência positiva) dentro de um intervalo de frequências típicas de ressonâncias elétricas subsíncronas acima de 0,1 Hz, e supersíncronas até 120 Hz, prevenindo interações adversas ou oscilações. Além disso, não devem introduzir novos modos oscilatórios instáveis, nem agravar os já existentes.

4.3.3.2. Para a avaliação deste requisito, pode ser desconsiderada a resposta da impedância próxima à frequência fundamental, entre 55 Hz e 65 Hz. Não obstante, ela deve ser apresentada, em caráter informacional.

4.3.3.3. Na etapa de integração do empreendimento, o atendimento a este requisito deverá ser demonstrado a partir de simulações com o modelo PSCAD, notadamente utilizando a técnica de Varredura Dinâmica de Frequência (*Dynamic Frequency Scan*). A Varredura deverá cobrir uma faixa de frequência de até 1.000 Hz, sendo que, de 120 Hz até 1.000 Hz, a varredura em frequência terá caráter informacional, para fins de utilização pelo Operador, não sendo obrigatória a passividade nesta faixa.

4.3.3.4. Conforme as necessidades do sistema, o Agente poderá ser solicitado a realizar estudos e prestar informações adicionais, para que os equipamentos sejam ajustados adequadamente, visando evitar interações adversas com o sistema.

4.3.3.5. O SAE-B também deve ser capaz de prover amortecimento a oscilações sistêmicas com base em medições locais, permitindo parametrização ajustável pelo ONS, notadamente para frequências subsíncronas.

4.3.4. Correntes de sequência negativa

4.3.4.1. O SAE-B não deve se opor à circulação de correntes de sequência negativa, tanto sob pequenas assimetrias de tensão quanto em condições de faltas desbalanceadas.

4.3.4.2. Esse requisito se aplica enquanto o equipamento operar dentro dos limites admissíveis de correntes de sequência negativa.

4.3.5. Capacidade de sobrecorrente transitória

4.3.5.1. O SAE-B deve possuir a capacidade de sobrecorrente descrita na Tabela **2**, em cenários operativos em que o SAE-B esteja fornecendo, absorvendo, ou com potência ativa nula.

4.3.5.2. A capacidade de sobrecorrente deve ser atendida para qualquer fator de potência que seja demandado pelo sistema, portanto, para qualquer composição de potência ativa e reativa.

4.3.5.3. Este requisito deve ser atendido no ponto de conexão, portanto, compreende todos os equipamentos pertinentes ao SAE-B, não somente os inversores.

4.3.5.4. No caso de SAE-B conectado dentro de um empreendimento, este requisito deve ser atendido no ponto de conexão com as instalações compartilhadas (PC-IC), conforme item 5 e Figura **14**.

4.3.5.5. A base a ser utilizada para este requisito é a potência contratada, a ser disponibilizada no ponto de conexão do SAE-B com o sistema.

4.3.5.6. Nestas condições, o SAE-B deve preservar integralmente o atendimento aos requisitos previstos neste item 4.3, relativos à operação como formador de rede – fonte de tensão.

Tabela 2 – Capacidade de sobrecorrente transitória

Parâmetro	Descrição	Principal função
130% por 5 s	A planta deve ser capaz de manter suas características de fonte de tensão, bem como desempenho íntegro, caso o sistema demande até 130% da corrente nominal ao longo de um período de 5 segundos, durante excursões de tensão e frequência, em eventos transitórios.	Prover suporte de tensão durante a ocorrência de curto-circuito no sistema, tanto faltas equilibradas quanto desequilibradas, e durante instantes iniciais de quaisquer perturbações sistêmicas, que envolvam excursões de frequência e/ou tensão.

4.3.5.7. Caso o SAE-B atinja os limites máximos de sobrecorrente e ultrapasse o tempo mínimo previsto, é permitida a adoção de estratégias de limitação de corrente, visando preservar o equipamento, ainda que isso implique em não atender plenamente os requisitos previstos para a operação como formador de rede - fonte de tensão.

4.3.6. Critérios de desempenho das características de fonte de tensão

(a) As principais características funcionais previstas para a operação como fonte de tensão devem atender, no mínimo, aos critérios de desempenho previstos neste item. Estes critérios visam comprovar especialmente a capacidade de se comportar como fonte de tensão, com autonomia para prover sua própria referência.

(b) Os três requisitos de desempenho citados subsequentemente devem ser comprovados mediante testes de referência, cujo detalhamento consta no ANEXO 1 (item 6).

4.3.6.1. Desempenho frente a saltos de fase da tensão do sistema

(a) Na Tabela 3 a seguir é apresentado o desempenho mínimo esperado para a resposta de potência ativa, quando da ocorrência de saltos de fase da tensão do sistema.

(b) A Figura 4 apresenta uma resposta típica do comportamento esperado neste evento, com a identificação das grandezas de referência para aferição do desempenho.

Tabela 3 – Desempenho da resposta de potência ativa frente a saltos de fase da tensão do ponto de conexão

Parâmetro	Descrição	Critério de desempenho
Instante do evento	É o instante em que ocorre o evento, neste caso, o salto de fase no ponto de conexão da planta com o sistema.	-
90% do primeiro pico	Instante em que a potência ativa atinge 90% do valor do primeiro pico, após o evento.	Até 1 ciclo da frequência fundamental (1/60 segundos).

Primeiro pico pós-evento	Instante em que a potência ativa atinge o primeiro pico, após o evento.	-
Amortecimento	A resposta desenvolvida após o primeiro pico deve ser estável e apresentar bom amortecimento, a ser avaliado para cada caso particular.	-

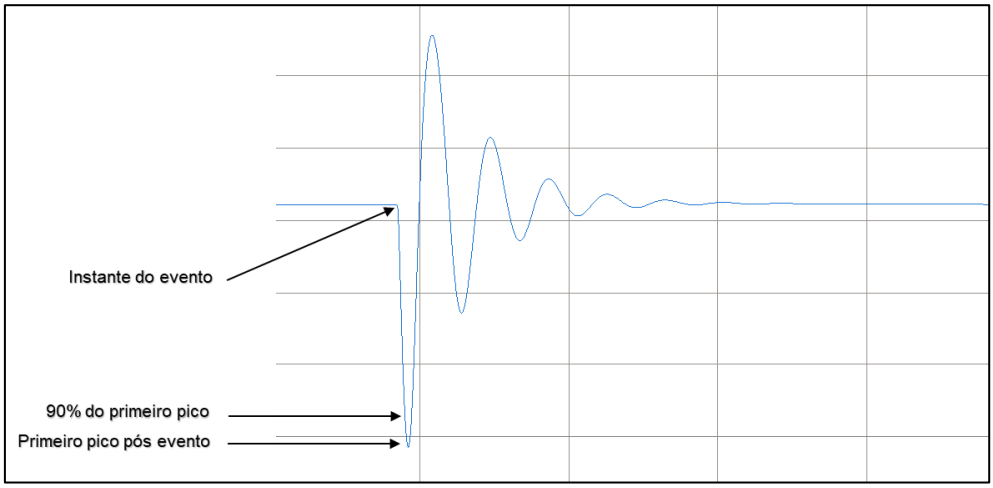


Figura 4 – Resposta típica de potência ativa frente a saltos de fase na tensão do sistema

4.3.6.2. Desempenho frente a variações da magnitude da tensão no sistema

(a) Na Tabela 4 a seguir é apresentado o desempenho mínimo esperado para a resposta de potência reativa, quando da ocorrência de variações de módulo de tensão no sistema.

(b) A Figura 5 apresenta uma resposta típica do comportamento esperado neste evento, com a identificação das grandezas de referência para aferição do desempenho.

Tabela 4 – Desempenho da resposta de potência reativa frente a variações de tensão no ponto de conexão

Parâmetro	Descrição	Critério de desempenho
Instante do evento	É o instante em que ocorre o evento, neste caso, o salto de fase no ponto de conexão da planta com o sistema.	-
90% do primeiro pico	Instante em que a potência reativa atinge 90% do valor do primeiro pico, após o evento.	Até 1 ciclo da frequência fundamental (1/60 segundos).
Primeiro pico pós-evento	Instante em que a potência reativa atinge o primeiro pico, após o evento.	-

Segunda oscilação, após o primeiro pico	Instante em que ocorre o segundo pico de potência reativa, após o evento.	O segundo pico não deve cruzar o valor de potência reativa pré-evento. Portanto, deve estar entre o valor pré-evento e o valor do primeiro pico.
Amortecimento	A resposta desenvolvida após o primeiro pico deve ser estável e apresentar bom grau de amortecimento, a ser avaliado para cada caso particular.	-

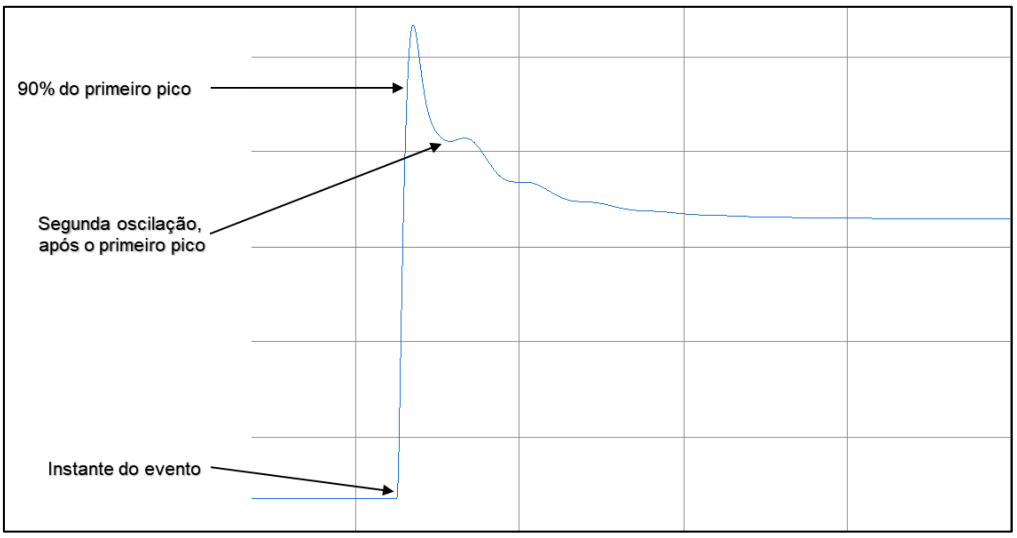


Figura 5 – Resposta típica de potência reativa frente a variação de tensão do sistema

4.3.6.3. Desempenho frente a perda de referência do sistema externo

(a) Caso ocorra o ilhamento do SAE-B, com ou sem cargas conectadas a ele, o SAE-B deve permanecer operando de forma estável, e alimentando as cargas eventualmente ilhadas com o SAE-B , desde que os limites de potência ativa e reativa estejam respeitados.

4.4. Operação normal e suportabilidade

4.4.1. Frequência

4.4.1.1. A Tabela **5** detalha os intervalos de frequência e os respectivos tempos mínimos de permanência em operação, exigidos para todos os equipamentos do SAE-B.

Tabela 5 – Suportabilidade mínima a condições de frequência não nominal

Faixas de frequência	56 ≤ f < 58,5	58,5 ≤ f < 62,5	62,5 ≤ f < 63
Suportabilidade mínima	**T ≥ 20s**	**Operação continua**	**T ≥ 10s**

4.4.2. Tensão

4.4.2.1. O ponto de referência de aplicação deste requisito é o ponto de conexão. Portanto, o empreendimento como um todo deve permanecer em operação interligada, sem desconexão, enquanto a tensão no ponto de conexão respeitar as condições estabelecidas na Figura 6.

4.4.2.2. A medida de tensão aplicável a este requisito é a seguinte: valor eficaz da magnitude do fasor, em frequência fundamental, observado individualmente em cada fase.

4.4.2.3. Especificamente para o nível de tensão nominal de 500 kV, os limites de tensão que devem ser suportados devem ser calculados utilizando como base o valor de 525 kV. Para os demais níveis de tensão, a curva da Figura 6 deve ser aplicada de forma direta.

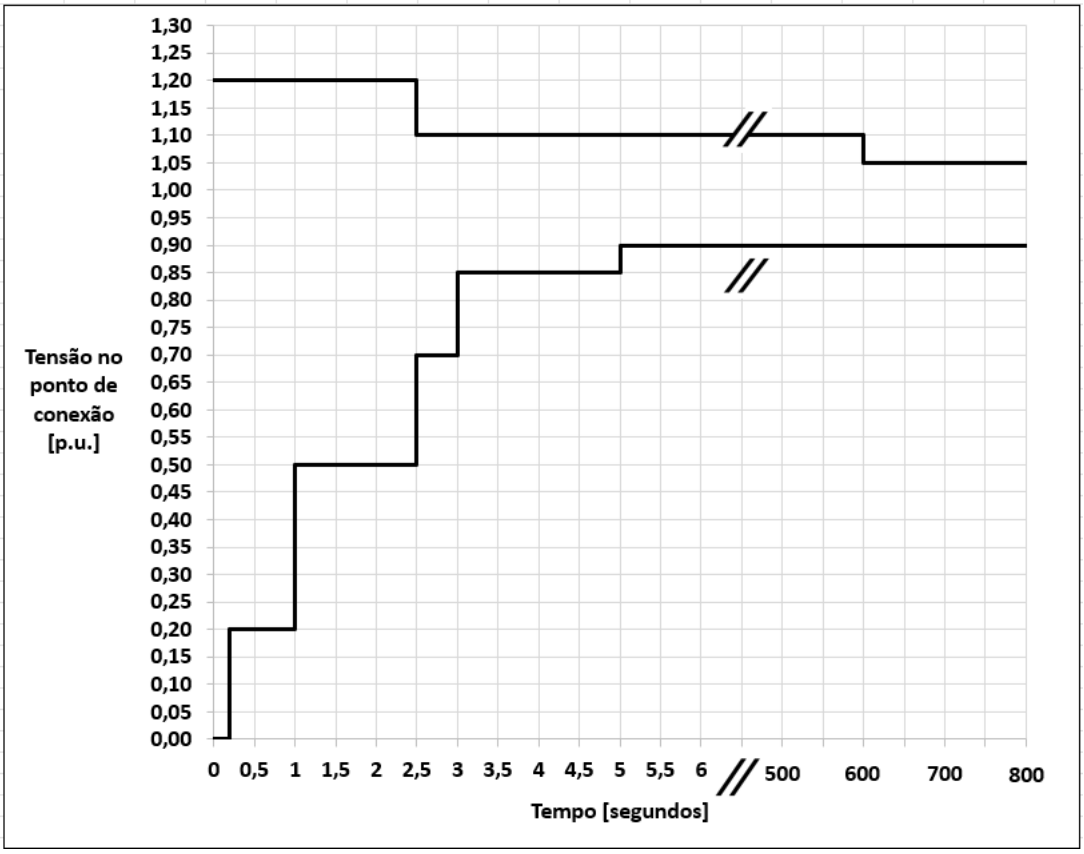


Figura 6 – Operação com tensão não nominal no ponto de conexão

Tabela 6 – Pontos de referência da Figura 6

Tensão [p.u.]	Tensão [p.u.] (Base 500 kV)	Tempo mínimo [seg]
1,20	1,26	2,5
1,10	1,16	600
1,05	1,10	Contínuo
0,90	0,95	
0,85	0,89	5
0,70	0,74	3
0,50	0,53	2,5
0,20	0,21	1
0	0	0,2

4.4.3. Robustez elétrica do ponto de conexão

4.4.3.1. O SAE-B deve operar de forma estável e atender aos critérios previstos neste documento, considerando os níveis de curto-circuito máximos e mínimos previstos para o seu ponto de conexão.

4.4.3.2. A qualquer momento, o ONS poderá solicitar a reavaliação de ajustes dos controladores do SAE-B, em função da evolução dos níveis de curto-circuito do SIN, ou de alterações topológicas significativas, ainda que temporárias.

4.4.3.3. O ONS poderá solicitar estudos adicionais ao Acessante, visando demonstrar a capacidade de operar de forma estável no ponto de conexão previsto, notadamente em condições de níveis de curto-circuito reduzidos.

4.5. Controle de tensão / potência reativa

(a) Os SAE-B devem dispor de modos de controle e capacidade de potência reativa que permitam sua atuação coordenada na regulação da tensão no ponto de conexão, conforme diretrizes do ONS.

(b) Este item define os modos de controle exigidos, os parâmetros mínimos de desempenho, os pontos de referência e a faixa de operação em regime permanente e dinâmico.

4.5.1. Geração/Absorção de potência reativa

4.5.1.1. O SAE-B deve possuir a capacidade mínima de geração e absorção de potência reativa, nas condições descritas ao longo deste item.

4.5.1.2. O ponto de referência de aplicação deste requisito é ponto de conexão às instalações do agente de transmissão.

4.5.1.3. O SAE-B deve operar com fator de potência indutivo ou capacitivo, em qualquer ponto da área indicada nas Figura **7**, em termos de ponto de operação de potência ativa, considerando tensão nominal no ponto de referência.

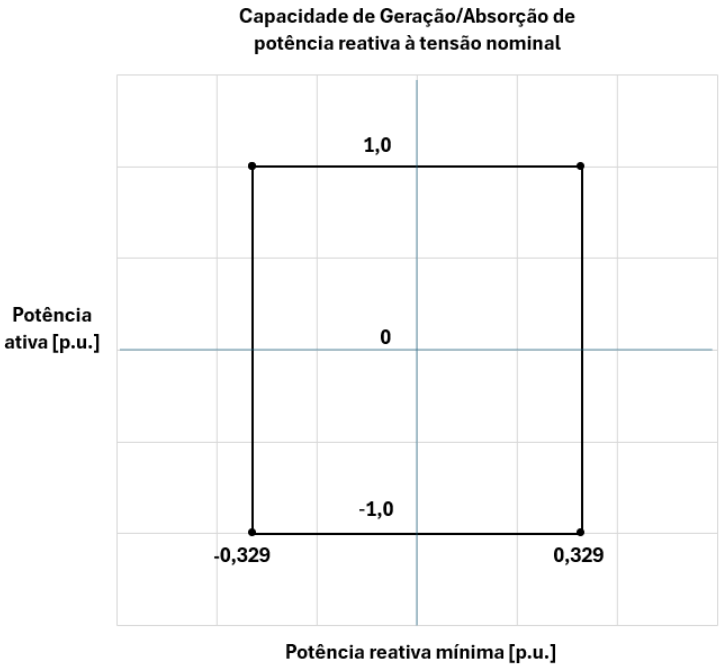
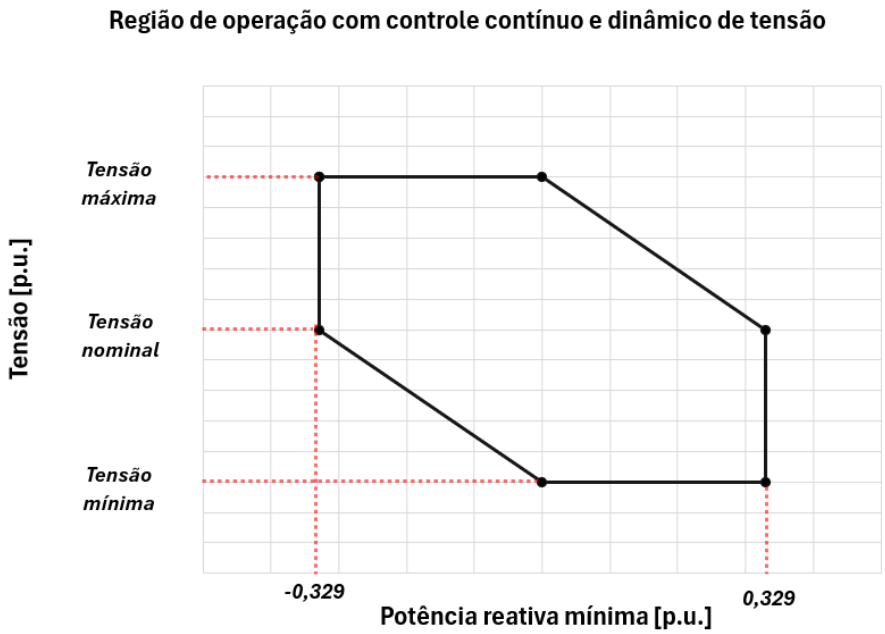


Figura 7 – Capacidade de geração/absorção de potência reativa à tensão nominal

4.5.1.4. Em qualquer ponto de operação P-Q estabelecido na Figura **7**, a planta deverá ser capaz de efetuar o controle contínuo da tensão no ponto de referência especificado para o controle de tensão a nível de planta, com desempenho dinâmico previsto no item 4.5.2, enquanto as condições operativas se mantiverem dentro da seguinte curva Q-V da Figura **8**.

4.5.1.5. Caso a medição de tensão seja realizada em um ponto diferente do ponto de conexão, o atendimento contínuo à faixa de reativo no ponto de conexão permanece obrigatório. Nesses casos, é permitida a utilização de modelos compensatórios ou ajustes no controle a nível de planta, desde que garantam o cumprimento dos limites estabelecidos na Figura **8**.



Legenda:

Tensão máxima, nominal, mínima: correspondem às tensões máximas, nominais e mínimas, em condição normal de operação, constantes na "Tabela 1 - Tensão admissível entre fases a 60 Hz" do submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede.

Base de potência: potência máxima possível de ser injetada/absorvida no ponto de referência de aplicação do requisito.

Figura 8 – Região de controle contínuo e dinâmico de tensão e potência reativa

4.5.1.6. Dispositivos chaveados mecanicamente, como comutadores sob carga de transformadores, bancos de capacitores e reatores, não são considerados recursos dinâmicos e não deverão ser utilizados para compor a capacidade de potência reativa contínua e dinâmica mínima exigida na curva Q-V da Figura 8.

4.5.2. Estratégia do controle a nível de planta

4.5.2.1. A nível de planta, o SAE-B deve operar, de forma contínua, no modo de controle de tensão, regulando a tensão no ponto de referência, em malha fechada, de acordo com um valor de referência ajustado por uma função de estatismo (*droop*).

4.5.2.2. O ponto de referência do controle de tensão a nível de planta é, preferencialmente, o barramento de alta tensão da subestação elevadora do SAE-B. O ONS poderá indicar um ponto de referência alternativo no Parecer de Acesso, caso haja necessidade sistêmica.

4.5.2.3. Além do modo de controle de tensão, o controlador da planta deve dispor de recursos para operar nos modos de controle de fator de potência e de potência reativa. A operação nesses modos alternativos somente deve ocorrer mediante solicitação expressa do ONS, sendo o modo de controle de tensão o padrão obrigatório de operação.

A Figura 9 indica esquematicamente o perfil de controle de tensão da central geradora.

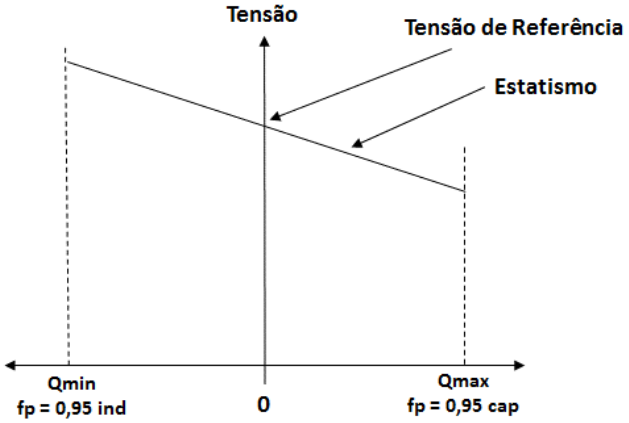


Figura 9 – Estatismo de tensão e potência reativa

4.5.2.4. Para uma variação em degrau na tensão do barramento de referência, o controle de tensão a nível de planta deve responder de acordo com os seguintes critérios mínimos, ilustrados na Figura 10 e na Tabela 7:

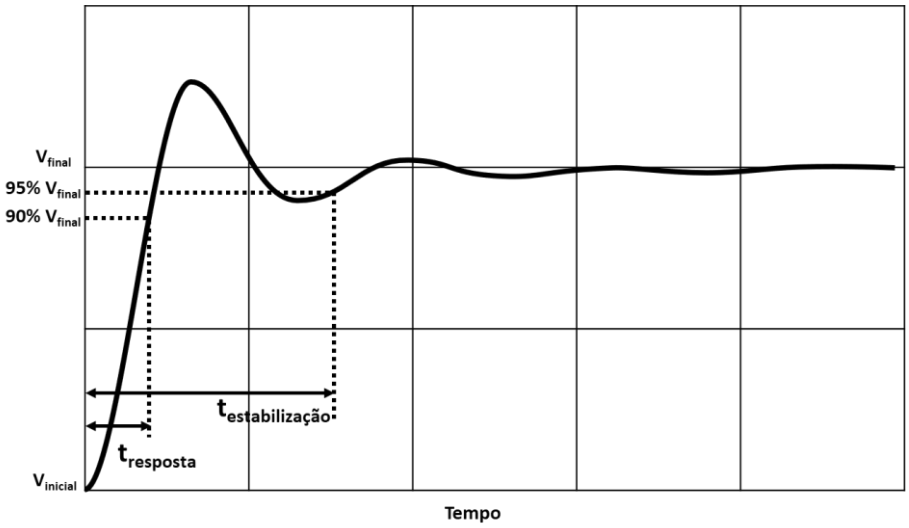


Figura 10 - Tempo de resposta do controle de tensão a nível de planta

Tabela 7 – Requisito de desempenho dinâmico do controle de tensão a nível de planta

Parâmetro		Valor padrão	Valor mínimo	Valor máximo
Estatismo	Estatismo (droop) ajustável numa faixa entre 0 e 7%, com valor padrão de 2%, na base da potência reativa nominal da planta (com uma resolução de 0,5%), obtida com potência ativa nominal e fator de potência igual a 0,95. O valor do estatismo pode ser reajustado dentro da faixa acima nos Estudos Pré-Operacionais.	2%	0%	7%
Tempo de reação	É o tempo necessário para início da resposta do controle de tensão após a variação em degrau na tensão do barramento de referência do controle.	0,2 s	-	0,2 s
Tempo de resposta	É o tempo necessário para que a potência reativa atinja 90% do valor final, para uma variação de tensão que implique em excursão de potência reativa de um valor inicial até o valor máximo ou até valor mínimo da planta.	2 s	-	2 s
Tempo de estabilização	É o tempo necessário para a potência reativa no ponto de conexão permanecer acima de 95% e abaixo de 105% de seu valor final.	5 s	-	5 s

4.6. Controle de frequência / potência ativa

4.6.1. Controle primário de frequência a nível de planta

4.6.1.1. O SAE-B deve ter a capacidade de variar a sua potência ativa, em função da frequência do sistema, de tal forma a participar da regulação primária de frequência.

4.6.1.2. O controle de potência ativa / frequência deverá possuir características de estatismo (*droop*), conforme Figura 11, com possibilidade de ajustes independentes para subfrequência e sobrefrequência. A inclinação deverá ser constante, baseada na diferença entre a capacidade máxima de geração/absorção da planta e a condição de geração/absorção nula.

4.6.1.3. A atuação da planta em situações de subfrequência e sobrefrequência pode estar limitada à potência ativa disponível na fonte primária, e sua capacidade nominal contínua, tanto no sentido de injeção como absorção de potência.

4.6.1.4. O ponto de referência padrão deste requisito é o mesmo estabelecido para o controle de tensão.

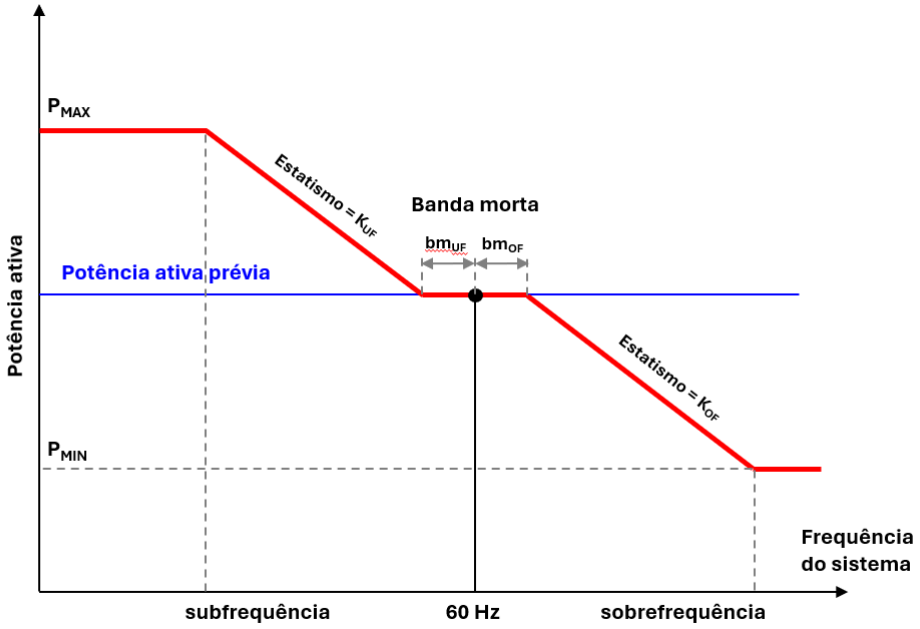


Figura 11 - Resposta do controle primário de frequência

Tabela 8 – Ajustes padrão e faixas de ajustes do controle primário de frequência

Parâmetro		Ajuste padrão	Ajuste mínimo	Ajuste máximo
bm_{UF}	Banda morta de subfrequência	0,1 Hz	0,040 Hz	0,2 Hz
bm_{OF}	Banda morta de sobrefrequência	0,1 Hz	0,040 Hz	0,2 Hz
k_{UF}	Estatismo para a faixa de subfrequência na base de potência nominal	5%	2%	8%
k_{OF}	Estatismo para a faixa de sobrefrequência na base de potência nominal	5%	2%	8%

4.6.1.5. O requisito de desempenho dinâmico do controle primário de frequência é indicado na Figura 12 e na Tabela 9. O controle deve responder com tempos inferiores aos apresentados na Tabela 9.

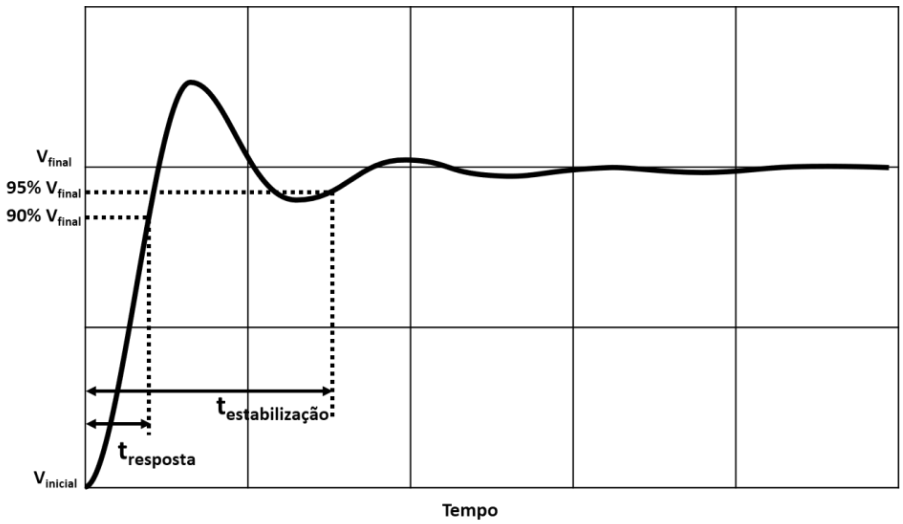


Figura 12 - Tempo de resposta do controle de frequência

Tabela 9 – Requisito de desempenho dinâmico do controle primário de frequência

Parâmetro		Valor máximo	
		ΔP < 50% (1)	ΔP ≥ 50% (1)
Tempo de reação	Tempo necessário para início da variação da potência ativa após a aplicação de um degrau de variação de frequência na referência da malha de controle de frequência.	1 s	
Tempo de resposta	Tempo necessário para a potência ativa no ponto de conexão da central geradora atingir 90% do valor final, quando sujeita a um degrau de variação de frequência na referência da malha de controle de frequência	10 s	30 s
Tempo de estabilização	Tempo necessário para a potência ativa no ponto de conexão permanecer acima de 95% e abaixo de 105% de seu valor final.	30 s	40 s
Amortecimento	O desenvolvimento da resposta deve apresentar amortecimento adequado, a ser analisado em cada caso particular.	-	-

Nota:

1. Variação de potência (ΔP), em percentual da potência nominal, exigida pelo controle de potência em função do degrau de frequência e do estatismo ajustado.

4.6.2. Tomada de carga

4.6.2.1. O SAE-B deve ser capaz de ajustar a potência ativa injetada/absorvida em resposta a comandos operacionais, com taxas de variação de potência ativa ajustáveis, nos seguintes termos:

(a) A taxa de variação da potência ativa deve ser, no mínimo, de 0,1 pu/s (10% da potência nominal por segundo).

(b) A taxa deve ser ajustável por recomendação do ONS. Os ajustes devem ser possíveis de serem feitos pelo usuário.

4.7. Comportamento sob condições específicas

4.7.1. Injeção de corrente reativa sob falta

4.7.1.1. Este recurso deve estar disponível e habilitado exclusivamente quando os inversores estiverem operando no modo "Seguidor de rede – fonte de corrente" – estratégia de controle correspondente ao item 4.2.2.

4.7.1.2. Caso esteja operando com estratégia de controle a nível de inversor de "seguidor de rede – fonte de corrente" – item 4.2.2, o recurso deverá estar por padrão habilitado.

4.7.1.3. Caso esteja operando no modo "formador de rede (Grid forming) e fonte de tensão", o recurso estará desabilitado, devendo a injeção de corrente reativa sob falta estar compatível com as exigências do item 4.3.

4.7.1.4. O recurso estando habilitado, quando de variações transitórias de tensão, conforme mostrado na Figura 13, os SAE-B devem ser capaz de dar suporte de tensão à rede elétrica através da:

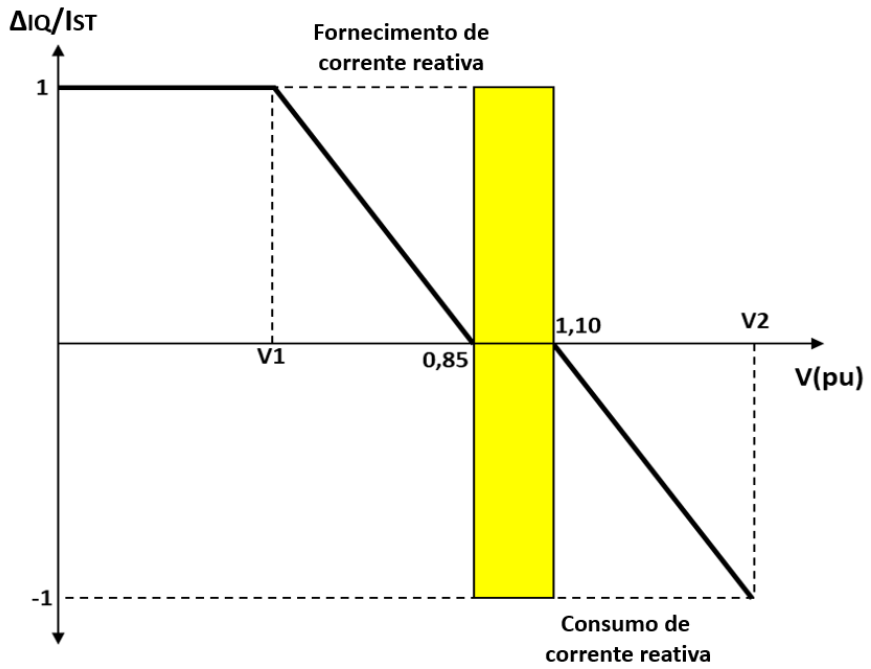
(a) injeção de corrente reativa adicional para tensões de sequência positiva inferiores a 85%; e

(b) absorção de corrente reativa adicional de sequência positiva para tensões acima de 110%.

4.7.1.5. Os SAE-B devem ser capazes de iniciar o suprimento de corrente reativa em até 30 ms após a detecção de falta (tempo de resposta do controle).

4.7.1.6. O SAE-B deve ser capaz de injeção ou absorção de corrente reativa em subtensão ou sobretensão até que seja atingido a sobrecorrente transitória máxima do equipamento 130% da corrente nominal (vide item 4.3.5).

4.7.1.7. Os SAE-B devem habilitar por padrão este recurso com os ajustes V1 = 0,5 pu e V2 = 1,2 pu. Cabe ao ONS indicar a necessidade de alterar estes ajustes, em função das características do sistema onde a central geradora será inserida.



Legenda:
Fórmulas e definições:
$\Delta IQ = IQ - IQ0$
Onde:
IQ = corrente reativa
$IQ0$ = corrente reativa pré-distúrbio
IST = sobrecorrente transitória máxima de 130% da corrente nominal (vide item 4.3.5)
$Vpu = Vn/Vpos$
Onde:
$Vpos$ = tensão de sequência positiva nos terminais do inversor
Vn = tensão nominal nos terminais do inversor

Figura 13 - Requisito para injeção de corrente reativa sob defeito.

4.7.1.8. A potência ativa de saída somente pode ser reduzida, de forma a não superar o valor dos limites máximos de sobrecorrente transitórias do equipamento, caso o incremento de injeção/absorção de corrente reativa durante o defeito leve a superação do valor absoluto do limite da sobrecorrente transitória máxima.

4.7.2. Variação de tensão em regime permanente

4.7.2.1. O SAE-B não deve produzir variação de tensão superior a 5% no ponto de conexão às instalações sob responsabilidade de agente de transmissão no caso de manobra parcial ou total, tempestiva ou não.

4.7.3. Resposta Rápida em Frequência

4.7.3.1. A Resposta Rápida em Frequência deve promover uma injeção de potência ativa, a partir da detecção de sub/sobrefrequência, com características de ativação e de resposta descritas a seguir. Ressalta-se que este recurso não deve ser tomado como a resposta de potência ativa, praticamente instantânea e natural, proveniente da estratégia de controle Formador de Rede (*Grid Forming*). A Resposta Rápida em Frequência é um recurso complementar, com atuação específica a partir de ajustes realizados pelo Operador.

4.7.3.2. Esta funcionalidade deve estar disponível nos SAE-B. No entanto, por padrão, deve permanecer desabilitada, sendo ativada somente mediante recomendação expressa do ONS. Este aspecto independe da Estratégia de controle adotada a nível de inversor, seja seguidor de rede ou formador de rede.

4.7.3.3. A Resposta rápida em frequência deve possuir as seguintes possibilidades de ativação:

(a) Por frequência absoluta: ativação ocorre quando a frequência medida atinge um valor inferior/superior a um limiar predefinido.

(b) Por taxa de variação de frequência: ativação ocorre quando a taxa de variação da frequência ultrapassa um valor limite.

4.7.3.4. A Resposta rápida em frequência deve possuir as seguintes possibilidades de resposta, após sua ativação:

(a) Potência ativa definida: injeção ou absorção temporária de potência ativa, equivalente a um percentual fixo da capacidade nominal.

(b) Potência ativa proporcional: resposta ativa proporcional ao desvio de frequência medido em tempo real.

4.7.3.5. A atuação deste recurso não deve comprometer a estabilidade do sistema, devendo apresentar resposta amortecida.

4.7.3.6. A lógica de atuação da Resposta rápida em frequência deve ser independente, mas complementar à função de Controle Primário de Frequência.

4.7.3.7. A recuperação de energia após a atuação da Resposta rápida em frequência deve ser planejada para não provocar nova queda de frequência no sistema.

4.7.3.8. Coordenação com o Controle Primário de Frequência, quando ambos os recursos estiverem habilitados simultaneamente:

(a) Os ajustes dos controladores devem ser coordenados, garantindo que cada função atue dentro de sua janela temporal específica.

(b) A atuação da Resposta Rápida em Frequência pode ocorrer de forma simultânea e combinada ao controle primário de frequência.

4.7.3.9. Retorno ao Estado Operativo Original

(a) Após o término da atuação, o SAE-B poderá retornar automaticamente ao seu estado pré-evento, desde que a frequência do sistema esteja na faixa de 59,8 Hz a 60,2 Hz; A taxa de variação da potência ativa no retorno seja limitada a 20% da potência nominal por minuto; Os parâmetros acima sejam ajustáveis pelo operador.

4.7.3.10. Na Tabela 10 a seguir são apresentados os parâmetros de desempenho mínimos da Resposta rápida em frequência.

Tabela 10 – Desempenho mínimo da Resposta Rápida em Frequência

Parâmetro		Valores de referência
Tempo de reação	Tempo necessário para início da variação da potência ativa após a aplicação de uma variação de frequência na referência da malha de controle de frequência.	≤200 ms
Tempo de resposta	Tempo necessário para a potência ativa atingir 90% do valor previsto. O valor deve ser ajustável.	≤1 s
Amortecimento	O desenvolvimento da resposta rápida em frequência deve apresentar nível adequado de amortecimento, a ser avaliado para cada caso específico.	-

5. CONEXÃO DE BATERIAS IMPLANTADAS EM INSTALAÇÕES EXISTENTES

5.1. Este item estabelece os requisitos aplicáveis à implantação de Sistemas de Armazenamento de Energia via baterias (SAE-B), acoplada no lado de corrente alternada em instalações existentes ou novas, desde que conectadas internamente a empreendimentos já vinculados ao Sistema Interligado Nacional (SIN), tais como:

(a) Usinas de geração;

(b) Autoprodutores;

(c) Consumidores livres ou cativos com conexão à Rede Básica, Demais Instalações de Transmissão (DIT) ou instalações compartilhadas.

5.2. Por princípio, a integração de SAE-B não implica na necessidade de reavaliação dos requisitos das instalações existentes. Ainda assim, o recurso do SAE-B pode ser utilizado para compor os requisitos das instalações existentes.

5.3. Caso haja alterações de características técnicas das instalações existentes, em conjunto com a implantação do SAE-B, o empreendimento existente estará sujeito à eventuais reavaliações de requisitos de conexão, necessários em função das alterações técnicas que porventura ocorrerem.

5.4. Para SAE-B implantados dentro de empreendimentos existentes, o ponto de referência para a verificação do atendimento aos requisitos técnicos deverá ser ajustado, conforme orientações constantes na Tabela **11**.

Tabela 11 – Ajustes nos pontos de referência dos requisitos do item 3.10 – para SAE-B implantados em empreendimentos existentes

Requisito	Ponto de referência, em comparação ao caso de conexão individual ao sistema	Observações sobre o desempenho
4.2 - Estratégias de controle a nível de inversor	Mantém no inversor.	Estes requisitos devem permanecer sendo atendidos na íntegra, independentemente de ser conectado individualmente ao sistema, ou em conjunto com outro empreendimento. Exceto para o requisito de sobrecorrente transitória, que tem pontos de referência distintos, vide item 4.3.5.
4.3 - Requisitos específicos para operação de inversores como formadores de rede	Mantém no inversor. Exceto o caso específico do requisito de sobrecorrente transitória, vide item 4.3.5.	
4.4 - Operação normal e suportabilidade	Quando aplicável ao Inversor, mantém, no inversor. Quando aplicável ao ponto de conexão, nesta situação deve ser aplicado ao ponto de conexão com as instalações do empreendimento (PC-IC).	-
4.5 - Controle de tensão / potência reativa	4.5.1 - Geração/Absorção de potência reativa: Este requisito deixa de ser avaliado no ponto de conexão, e passa a ser avaliado no ponto de conexão com as instalações do empreendimento (PC-IC). 4.5.2 - Estratégia do controle: O controle de tensão a nível de planta do SAE-B poderá usar como referência padrão o ponto de conexão com as instalações do empreendimento (PC-IC), ou outro, a ser avaliado no âmbito da Solicitação de Acesso.	O desempenho do controle de tensão do SAE-B, a nível de planta, deve continuar atendendo ao desempenho previsto neste documento.
4.6 - Controle de frequência / potência ativa	Quando aplicável ao Inversor, mantém, no inversor. Quando aplicável ao ponto de conexão, nesta situação deve ser aplicado ao ponto de conexão com as instalações do empreendimento (PC-IC). 4.6.1 - Controle primário de frequência O controle de tensão a nível de planta do SAE-B poderá usar como referência padrão o ponto de conexão com as instalações do empreendimento (PC-IC), ou outro, a ser avaliado no âmbito da Solicitação de Acesso.	O desempenho do controle primário de frequência do SAE-B, a nível de planta, deve continuar atendendo ao desempenho previsto neste documento.
4.7 - Comportamento sob condições específicas	Quando aplicável ao Inversor, mantém, no inversor. Quando aplicável ao ponto de conexão, nesta situação deve ser aplicado ao ponto de conexão com as instalações do empreendimento (PC-IC).	-

Sigla PC-IC: Ponto de conexão com as instalações do empreendimento existente.

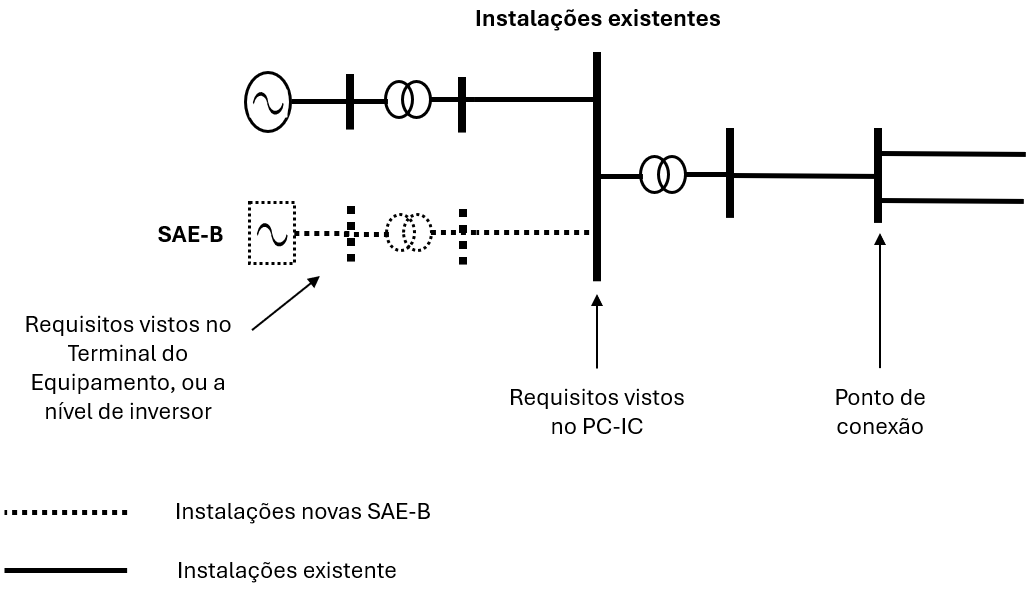


Figura 14 – Representação esquemática dos pontos de referência

6. ANEXO 1 - TESTES PARA COMPROVAÇÃO DA CAPACIDADE DE OPERAÇÃO COMO FORMADOR DE REDE E FONTE DE TENSÃO (GRID FORMING)

(a) O comportamento de fonte de tensão autônoma, com performance mínima requerida, deve ser demonstrado utilizando testes do tipo "Controller Hardware-In-The-Loop (C-HIL)", com o controle real, representativo do equipamento que será fornecido, conforme descrito nos itens 6.1, 6.2 e 6.3.

a.1) Não é mandatório utilizar o equipamento específico que será instalado em campo, mas deve ser efetuado teste em equipamento similar, que efetivamente represente as características de controle e performance do equipamento que será fornecido e implantado em campo, em especial nos aspectos que estão sendo submetidos a teste.

a.2) Estes testes devem ser informados ao ONS no âmbito do processo de integração do empreendimento, como subsídio para comprovação dos requisitos de formador de rede, quando for solicitado pelo ONS.

(b) Além disso, a capacidade de formação de rede e autonomia de referência deve ser demonstrada via teste em campo, no âmbito do processo de comissionamento e integração do empreendimento, conforme descrito no item 6.4.

6.1. Reação de potência ativa frente a salto de fase da tensão no sistema:

6.1.1. Configuração de teste:

6.1.1.1. Modelo do SAE-B, conectada a um sistema equivalente, formado por impedância em série com uma fonte de tensão ideal. Recomenda-se a utilização de um sistema equivalente parametrizado para uma relação de curto-circuito (SCR) de 5 e X/R de 6.

6.1.1.2. Estes testes devem ser realizados com o SAE-B ao menos nas seguintes condições:

(a) SAE-B injetando potência nominal;

(b) SAE-B absorvendo potência nominal.

6.1.1.3. Testes realizados com parametrizações e ajustes de caso ligeiramente diferentes são passíveis de aceitação, a ser analisado pelo ONS em cada caso particular.

6.1.2. Sequência de eventos:

6.1.2.1. Efetuar um salto de fase da tensão de 10º no ponto de conexão da planta com a impedância equivalente.

6.1.3. Grandezas a serem observadas:

6.1.3.1. no ponto de conexão da planta com a impedância equivalente, monitorar a fase, a magnitude da tensão e a potência ativa.

6.1.4. Critério:

6.1.4.1. Quando da ocorrência do salto de fase, espera-se que:

6.1.4.2. A tensão mantenha-se controlada pela planta, podendo ocorrer certa perturbação, mas retornando a valores próximos do instante pré-evento.

6.1.4.3. Haja uma variação de potência ativa da planta praticamente instantânea, atingindo 90% do valor do primeiro pico em até 1 ciclo da frequência fundamental.

6.1.4.4. O desenvolvimento da resposta de potência ativa, após o evento, deve ser estável e amortecido.

6.2. Reação de potência reativa frente a degrau de tensão no sistema:

6.2.1. Configuração de teste:

6.2.1.1. Modelo do SAE-B, conectada a um sistema equivalente, formado por impedância em série com uma fonte de tensão ideal. Recomenda-se a utilização de um sistema equivalente parametrizado para uma relação de curto-circuito (SCR) de 5 e X/R de 6.

6.2.1.2. Estes testes devem ser realizados com o SAE-B ao menos nas seguintes condições:

(a) SAE-B injetando potência nominal;

(b) SAE-B absorvendo potência nominal.

6.2.1.3. Testes realizados com parametrizações e ajustes de caso ligeiramente diferentes são passíveis de aceitação, a ser analisado pelo ONS em cada caso particular.

6.2.2. Sequência de eventos:

6.2.2.1. Efetuar um degrau de módulo de tensão de 5% no ponto de conexão da planta com a impedância equivalente.

6.2.3. Grandezas a serem observadas:

6.2.3.1. no ponto de conexão da planta com a impedância equivalente, a magnitude da tensão e a potência reativa.

6.2.4. Critério:

6.2.4.1. Quando da ocorrência do degrau de tensão no ponto de conexão, espera-se que:

6.2.4.2. A tensão mantenha-se controlada pela planta, podendo ocorrer certa perturbação, mas retornando a valores próximos do instante pré-evento.

6.2.4.3. Haja uma variação de potência reativa da planta praticamente instantânea, atingindo 90% do valor do primeiro pico em até 1 ciclo da frequência fundamental.

6.2.4.4. O segundo pico da oscilação de potência reativa não deve cruzar, no sentido oposto, o valor pré-evento.

6.2.4.5. O desenvolvimento da resposta de potência reativa, após o evento, deve ser estável e amortecido.

6.3. Desconexão da última máquina síncrona:

6.3.1. Configuração de teste:

6.3.1.1. modelo do SAE-B, conectado a um sistema equivalente, formado por impedância em série com uma fonte de tensão ideal. O sistema equivalente deve ser parametrizado para uma relação de curto-circuito (SCR) de 5 e X/R de 6.

6.3.1.2. No ponto de conexão da planta com o sistema equivalente, pode ser conectada uma carga, de valor relativamente baixo em relação à capacidade da planta. Recomenda-se valor na ordem de 10% da potência nominal da planta.

6.3.1.3. Testes realizados com parametrizações e ajustes de caso ligeiramente diferentes são passíveis de aceitação, a ser analisado pelo ONS em cada caso particular.

6.3.2. Sequência de eventos:

6.3.2.1. Desconectar o sistema equivalente (impedância em série com fonte de tensão ideal) do ponto de conexão da planta e da carga, mantendo a planta ilhada com a carga.

6.3.3. Grandezas a serem observadas:

6.3.3.1. no ponto de conexão da planta com a impedância equivalente, a magnitude da tensão, a frequência, as potências ativa e reativa.

6.3.4. Critério:

6.3.4.1. Quando da ocorrência da desconexão, espera-se que:

6.3.4.2. A tensão e a frequência mantenham-se estáveis, demonstrando a capacidade de a planta operar como Fonte de tensão com autonomia.

6.4. Teste de *blackstart* do SAE-B, em campo, no âmbito do comissionamento:

6.4.1. No âmbito do comissionamento e integração do SAE-B, o ONS poderá solicitar, como parte dos testes de comissionamento e de comprovação ao atendimento de requisitos de formador de rede (*Grid forming*), a partida do SAE-B de forma isolada do sistema (*blackstart*), com operação estável de forma ilhada com suas cargas próprias, com capacidade de controlar o fasor de tensão terminal.

6.4.2. Ressalta-se que este teste visa comprovar a capacidade de formação de rede e controle de tensão autônomo, não sendo requisito obrigatório a capacidade de realizar, de forma autônoma, recomposição sistêmica.

7. ANEXO 2 – SIMULAÇÕES ADICIONAIS PARA FINS DE VALIDAÇÃO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO E AJUSTES DE CONTROLADORES, NO ÂMBITO DA INTEGRAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

7.1. Além dos testes em C-HIL apresentados no ANEXO 1, poderão ser solicitadas simulações adicionais no âmbito do processo de integração do empreendimento e etapa pré-operacional, notadamente para fins de ajustes e parametrizações de controladores, visando a integração segura no ponto de conexão específico do sistema.

7.2. Neste caso, podem ser necessárias simulações adicionais, tais como: variação de nível de curto-circuito sucessiva (variação de SCR – Short-circuit ratio) com aplicação de falta, testes de comportamento sob condições de tensão e frequência não nominal, demonstração de operação estável com outros SAE-B em

paralelo operando como formador de rede, entre outros testes típicos para viabilizar a integração segura destes recursos ao SIN, em função do ponto de conexão específico do empreendimento.

8. REFERÊNCIAS

[1] ANEEL. Resolução Normativa nº 954, de 30 de novembro de 2021.

[2] ANEEL. Resolução Normativa nº 1.055, de 29 de dezembro de 2022. Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Módulo 5 – Acesso ao Sistema.

[3] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Inverter-Based Resources (IBRs) Interconnecting with Associated Transmission Electric Power Systems. IEEE Std 2800™-2022. Developed by the Energy Development & Power Generation Committee, Electric Machinery Committee, and Power System Relaying & Control Committee. IEEE Power and Energy Society, 2022.

9. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Pontos de referência para Acessantes individuais 8
Figura 2 – Pontos de referência para Acessantes quando o SAE-B for implantado em empreendimentos de forma compartilhada. 8
Figura 3 – Pontos de referência para acessantes na Rede Básica. 9
Figura 4 – Resposta típica de potência ativa frente a saltos de fase na tensão do sistema 22
Figura 5 – Resposta típica de potência reativa frente a variação de tensão do sistema 23
Figura 6 – Operação com tensão não nominal no ponto de conexão 24
Figura 7 – Capacidade de geração/absorção de potência reativa à tensão nominal 26
Figura 8 – Região de controle contínuo e dinâmico de tensão e potência reativa 27
Figura 9 – Estatismo de tensão e potência reativa 28
Figura 10 - Tempo de resposta do controle de tensão a nível de planta 28
Figura 11 - Resposta do controle primário de frequência 30
Figura 12 - Tempo de resposta do controle de frequência 31
Figura 13 - Requisito para injeção de corrente reativa sob defeito. 34
Figura 14 – Representação esquemática dos pontos de referência 38

10. ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Aplicabilidade dos requisitos de SAE-B 17
Tabela 2 – Capacidade de sobrecorrente transitória 21
Tabela 3 – Desempenho da resposta de potência ativa frente a saltos de fase da tensão do ponto de conexão 21
Tabela 4 – Desempenho da resposta de potência reativa frente a variações de tensão no ponto de conexão 22
Tabela 5 – Suportabilidade mínima a condições de frequência não nominal 24
Tabela 6 – Pontos de referência da Figura 6 25
Tabela 7 – Requisito de desempenho dinâmico do controle de tensão a nível de planta 29
Tabela 8 – Ajustes padrão e faixas de ajustes do controle primário de frequência 31
Tabela 9 – Requisito de desempenho dinâmico do controle primário de frequência 32
Tabela 10 – Desempenho mínimo da Resposta Rápida em Frequência 36
Tabela 11 – Ajustes nos pontos de referência dos requisitos do item 3.10 – para SAE-B implantados em empreendimentos existentes 37