

RESUMO DO ENTREGÁVEL:

E3.3: Guia de recomendações para a identificação e quantificação de falhas e para a elaboração de planos de prevenção/mitigação em instalações energéticas



1. Resumo Executivo

O documento desenvolve um guia metodológico para identificar, classificar, quantificar e gerir falhas em instalações energéticas associadas a micro-redes e Comunidades de Energia Local (CEL) no âmbito do projeto AGERAR PLUS.

Enquadra-se na Atividade A3, centrada na conceção de sistemas de controlo resilientes, com integração de técnicas de controlo preditivo e gestão da incerteza.

O guia apresenta recomendações para:

- A identificação e classificação de falhas.
- A quantificação do risco associado.
- A elaboração de planos de prevenção e mitigação.
- A utilização de árvores de decisão para relacionar falhas com ações.

2. Âmbito e Objetivos

O âmbito abrange a fase de operação e manutenção das instalações-piloto, abordando falhas em:

- Componentes de hardware: FV, baterias, inversores, sistemas H₂ entre outros.
- Software e sistemas de controlo.
- Comunicações.
- Fatores ambientais ou operacionais.

Os principais objetivos são:

- Identificar os modos de falha mais prováveis e críticos.
- Quantificar o risco, combinando probabilidade e severidade.
- Desenvolver planos de prevenção e mitigação específicos para o AGERAR PLUS.

3. Metodologia para a Identificação e Quantificação de Falhas

3.1 Categorização das Falhas

É adotada uma adaptação da metodologia FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*). As falhas são classificadas em:

- Componentes (hardware): módulos FV, baterias, inversores, eletrólisadores, supercondensadores, entre outros.
- Software/controlo: erros em algoritmos, bugs e ciberataques.
- Comunicações: latência, perda de conectividade e falhas de sensores.
- Operacionais/ambientais: erro humano e condições meteorológicas extremas.

Cada categoria inclui falhas típicas, sinais mensuráveis e o respetivo impacto na micro-rede.

3.2 Quantificação das Falhas

São utilizadas métricas normalizadas:

- Probabilidade de Falha (PF): frequência relativa de ocorrência.
- Taxa de Falha (*Failure Rate*): número de falhas por hora de operação.
- Impacto Energético (IE): diferença entre a energia prevista e a energia efetivamente fornecida.
- Impacto Económico (IC): combinação da energia não fornecida e do custo de reparação.
- Índice de Severidade (IS): escala de 1 a 5, desde insignificante até catastrófico.

Com base nestes parâmetros, define-se a Prioridade da Falha:

$PRIOR(f) = PF(f) \times IS(f) \times (\text{fatores adicionais de acordo com os critérios estabelecidos})$

(O documento remete para a integração de múltiplos critérios de impacto.)

4. Falhas por Tipo de Componente

O documento descreve exhaustivamente as falhas mais relevantes nos seguintes sistemas:

4.1 Fotovoltaica

Exemplos: degradação, *hot-spots*, falha de diodo *by-pass*, perda de MPPT, sobreaquecimento, falha de isolamento, falhas no inversor, falhas de comunicação.

Inclui, para cada caso:

- Sinais detetáveis (curvas I-V, termografia, valores SCADA, entre outros).
- Impacto na energia disponível, estabilidade e segurança.

4.2 Baterías

- Falhas típicas: degradação do SOH, sobreaquecimento, desequilíbrio (*desbalanceamento*), falha do BMS, falhas em conversores DC/DC, operação fora da gama de temperatura recomendada e emissões perigosas.
- Impactos: redução da autonomia, ciclos ineficientes e riscos térmicos.

4.3 Eletrólisadores

Falhas: degradação da membrana PEM, inundação/secagem, falhas térmicas, degradação dos catalisadores, fugas de H₂, contaminações gasosas, sobrepressão.

4.4 Pilhas de Combustível

Inclui falhas como: envenenamento do catalizador, problemas de hidratação da membrana, falhas nos fluxos gasosos, falhas térmicas, degradação progressiva.

4.5 Armazenamento de Hidrogénio

Exemplos: fugas, falhas do compressor, fragilização do reservatório, falhas de válvulas, condensação, falhas de sensores, sobrepressão.

4.6 Supercondensadores

Falhas: degradação dos elétrodos, fuga ou decomposição do eletrólito, microcurtos-circuitos, operação fora da gama de temperatura recomendada, sobrecorrentes.

5. Procedimento para a Elaboração de Planos de Prevenção

Os planos de prevenção têm como objetivo reduzir a PF e/ou o IS.

O procedimento recomendado é composto por 4 fases:

1. Priorização das Falhas e Definição do Âmbito

São seleccionadas as falhas críticas com base na metodologia FMEA e delimitado o âmbito do plano.

2. Monitorização Sistemática de Sinais-Chave

3. Sinais elétricos, térmicos, mecânicos, químicos e funcionais.

4. Estimativa da Vida Útil e da Degradação

SOH em baterías, impedâncias em eletrólisadores e pilhas de combustível, degradação térmica/mecânica.

5. Seleção de Ações Preventivas

São identificadas 15 Ações Preventivas (AP1-AP15), incluindo:

- Manutenção preditiva (CBM).
- Limiares dinâmicos de operação.
- Recalibração de sensores.
- Ensaio funcionais programados.
- Balanceamento de células em baterias.
- Gestão térmica preventiva.
- Auditorias à qualidade da energia.
- Validação das comunicações, entre outras.

6. Procedimento para a Elaboração de Planos de Mitigação

As ações de mitigação são aplicadas quando a falha já se encontra presente. Estas ações agrupam-se em sete categorias:

- Reconfiguração operacional (isolamento de ramais FV, *bypass* de inversores, entre outros).
- Utilização do armazenamento para sustentar a operação.
- Modos degradados do MPC.
- Gestão flexível da procura.
- Ações de segurança (desligamentos e proteções).
- Mitigação sensorial/SCADA (estimadores).
- Recuperação pós-falha.

O documento inclui 15 Ações de Mitigação (AM1-AM15), abrangendo desde a reconfiguração, isolamento e controlo térmico de emergência até ao encerramento de válvulas de H₂ paragem segura de eletrólisadores e pilhas de combustível e estratégias de *fallback* perante falhas de comunicação.

6.1 Árvore de Decisão Falha-Ações

Recomenda-se a estruturação de uma árvore de decisão que relacione:

- Confirmação da falha.
- Avaliação da criticidade.
- Ativação de ações preventivas (quando a falha é incipiente).
- Ativação de ações de mitigação (quando a falha afeta a operação).
- Modo seguro de operação.
- Recuperação e reconexão progressiva.

O documento inclui um exemplo de diagrama ilustrativo deste fluxo.

7. Conclusões

O entregável estabelece um quadro abrangente para a gestão de falhas em sistemas energéticos avançados, combinando: Identificação estruturada de falhas, Quantificação do risco, Ações preventivas e de mitigação, Utilização de árvores de decisão para operação em condições reais.

Esta abordagem fornece uma base sólida para aumentar a resiliência, a segurança e a eficiência das instalações energéticas do projeto AGERAR PLUS.



@AgerarPlus



Agerar Plus