# 🔍 ANÁLISE DOS REQUISITOS DE COORDENAÇÃO DA PROTEÇÃO – ProtecAI\_Mini

## 1. Premissas Fundamentais do Projeto

O ProtecAI\_Mini tem como foco a **coordenação seletiva da proteção** em um ambiente controlado e adaptável, com:

* Base topológica reduzida (IEEE 14 modificada)
* Apenas **dois transformadores de 25 MVA, 13.8 kV**
* Simulação de falhas graves com **reação adaptativa via Reforço (RL)**
* Interface **frontend** para parametrização dos dispositivos de proteção

Essas premissas **simplificam o domínio físico**, mas **aumentam a exigência lógica e algorítmica**, exigindo que os mecanismos de proteção sejam:

* **Sensíveis o suficiente** para atuar em curto-circuitos locais
* **Seletivos o bastante** para evitar desligamentos desnecessários
* **Flexíveis** para serem ajustados dinamicamente pelo RL

## 2. Dispositivos de Proteção e sua Lógica de Atuação

Os dispositivos selecionados são coerentes com a aplicação:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Dispositivo | Função | Relevância |
| Relé 87T | Proteção diferencial de trafo | Altamente seletivo, rápido, ideal para zonas Z1 e Z2 |
| Relé 50/51 | Sobrecorrente temporizado | Fundamental para backup e coordenação em barra |
| Disjuntores temporizados | Execução do isolamento | Interface direta com a ação do RL |
| Fusíveis simulados | Redundância econômica | Aumenta a granularidade da coordenação |

🔧 **Análise Técnica**:

* A presença dos **relés 87T** garante **proteção instantânea** e **limitada à zona do trafo**, o que evita desligamentos cascata.
* Os **relés 50/51** fornecem **curvas temporizadas** e podem ser utilizados para **ensinar o RL a coordenar o tempo e corrente**, essencial no aprendizado por tentativa e erro.
* Os **disjuntores temporizados** são o elo final da cadeia de atuação, sendo **acionados tanto por relés quanto pelo agente RL**, exigindo sincronia entre ação automática e ação inteligente.
* Os **fusíveis** simulam redundâncias com custo computacional leve e são úteis para **testes de falha controlada**.

## 3. Zonas de Proteção (Z1 e Z2)

Definidas em torno dos dois transformadores:

* **Z1**: abrange o trafo entre barras **0 e 4**
* **Z2**: abrange o trafo entre barras **1 e 5**

📌 Isso permite **abordagem modular e escalável**:

* A coordenação pode ser feita primeiro por zona (local), depois testada para falhas cruzadas (interzonais).
* Permite **criar políticas locais de atuação** e **transferência de carga** entre zonas, um dos principais **casos de uso do RL**.

## 4. Critérios de Coordenação Esperados

Para que a proteção seja dita “coordenada”, os seguintes requisitos devem ser atendidos:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Requisito | Descrição | Status no Tutorial |
| Seletividade | Apenas o dispositivo mais próximo da falha atua | ✔️ (87T e 51 com zonas delimitadas) |
| Sensibilidade | Atuação rápida mesmo em correntes baixas | ✔️ (pickup ajustável por RL) |
| Velocidade | Minimização do tempo de interrupção | ✔️ (relé diferencial instantâneo + disjuntor temporizado) |
| Redundância | Atuação secundária caso a principal falhe | ⚠️ Simulada via fusíveis, mas sem lógica completa de backup |
| Isolação eficiente | Abertura correta dos disjuntores | ✔️ (via tempo programado + ação RL) |
| Restabelecimento automático | Reconexão após falha isolada | ⚠️ Previsto via frontend ou RL, mas não descrito em detalhe |
| Adaptabilidade | Ajuste automático de parâmetros | ✔️ (via RL + frontend) |
| Documentação das decisões | Registro das ações do sistema | ⚠️ Recomendado no tutorial, mas depende de logging externo |

## 5. Integração com Reforço (RL)

O uso de aprendizado por reforço traz **complexidade adicional**, mas também **grandes benefícios**:

* O **ambiente controlado** (IEEE14 customizado) é adequado para aplicar RL com segurança.
* O agente pode **aprender políticas ótimas de coordenação** com base nas recompensas/punições:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Situação | Recompensa | Penalidade |
| Evitar blackout | Alta | – |
| Atuar seletivamente | Média | – |
| Desligamento de carga crítica | – | Alta |
| Não atuação em curto | – | Altíssima |
| Recuperação pós-falha | Média | – |

🔁 O ciclo de aprendizagem depende de um **modelo consistente de reconfiguração** (ex: isolar Z1 e redirecionar carga para Z2), o que foi corretamente sugerido no tutorial como parte dos testes de reconfiguração.

## 6. Interface Frontend e Ajuste Dinâmico

A presença de uma interface frontend para ajuste dinâmico dos dispositivos é **fundamental para treinar, validar e monitorar** o desempenho do RL.

O tutorial propõe:

* Parametrização dos dispositivos em tempo real
* Geração e leitura de arquivos .json com os parâmetros atuais
* Visualização da topologia com estados dos disjuntores e relés

Isso **alinha com as melhores práticas** em sistemas de P&D envolvendo inteligência artificial em tempo real.

## ✅ Conclusão da Análise

O tutorial cobre de forma **bastante robusta** os **requisitos fundamentais** de coordenação da proteção, especialmente para:

* Estudo de atuação seletiva em transformadores
* Reconfiguração adaptativa com base em falhas
* Inserção do RL como camada decisora intermediária
* Monitoramento via frontend

### Pontos que merecem atenção futura:

1. Simulação de backup completo entre relés (87T falha → 51 assume)
2. Registro completo de logs de decisão do RL (para validação futura)
3. Estratégia de religamento automático inteligente
4. Priorização de cargas críticas em redistribuição

### 👇 Próximos passos:

1. ✅ **Diagrama de fluxo de atuação coordenada** (visual .png ou .svg)
2. ✅ **Tabela comparativa dos estados possíveis da rede após falhas**
3. ✅ **Manual do Agente RL** com:
   * Espaço de observação
   * Espaço de ações
   * Estrutura de recompensas e penalidades
   * Lógica de atualização do ambiente e do .json