



Estratégia de Agendamento de Purificação Híbrida para Redes Quânticas de Canais Ruidosos Heterogêneos

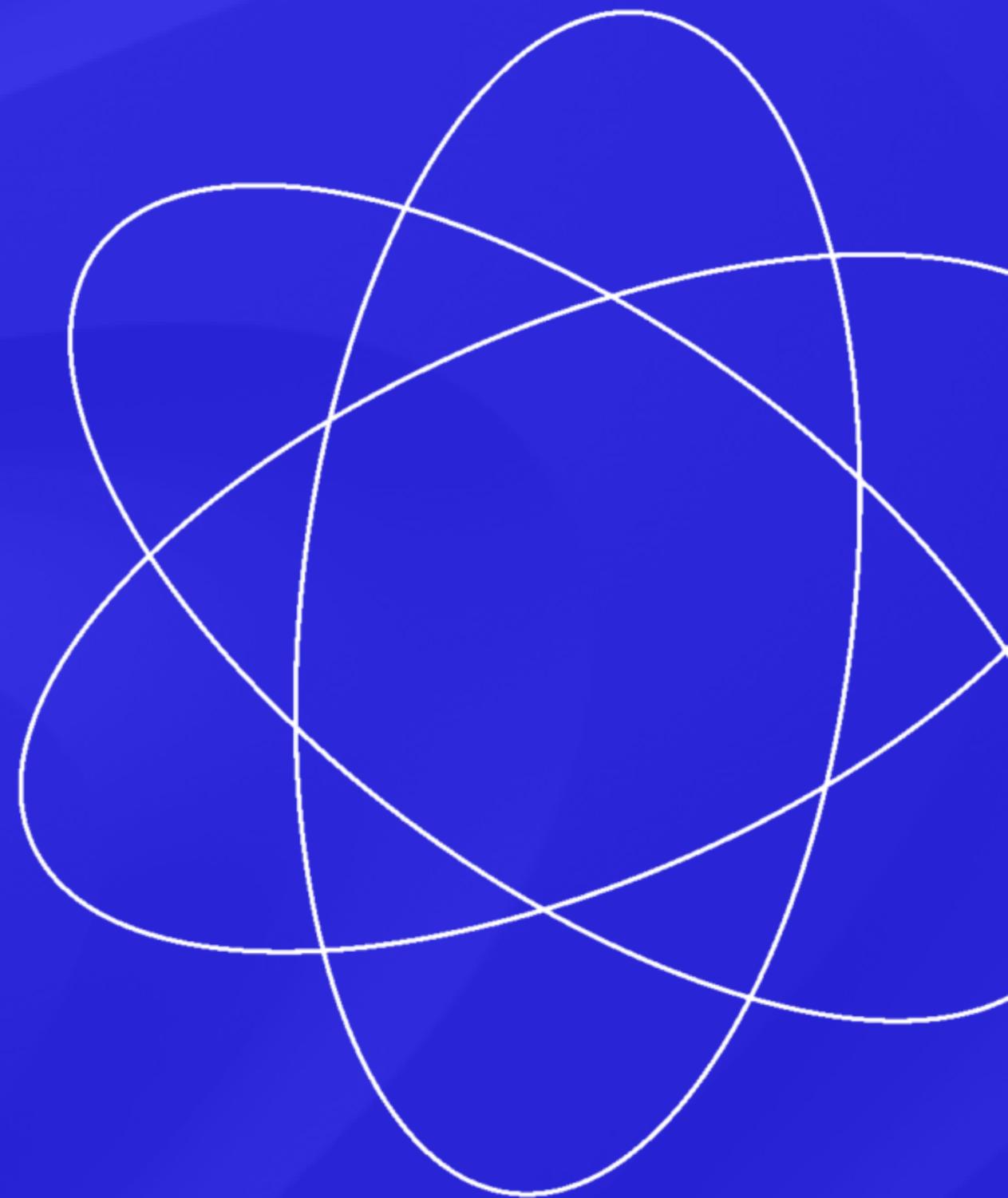
AUTORES

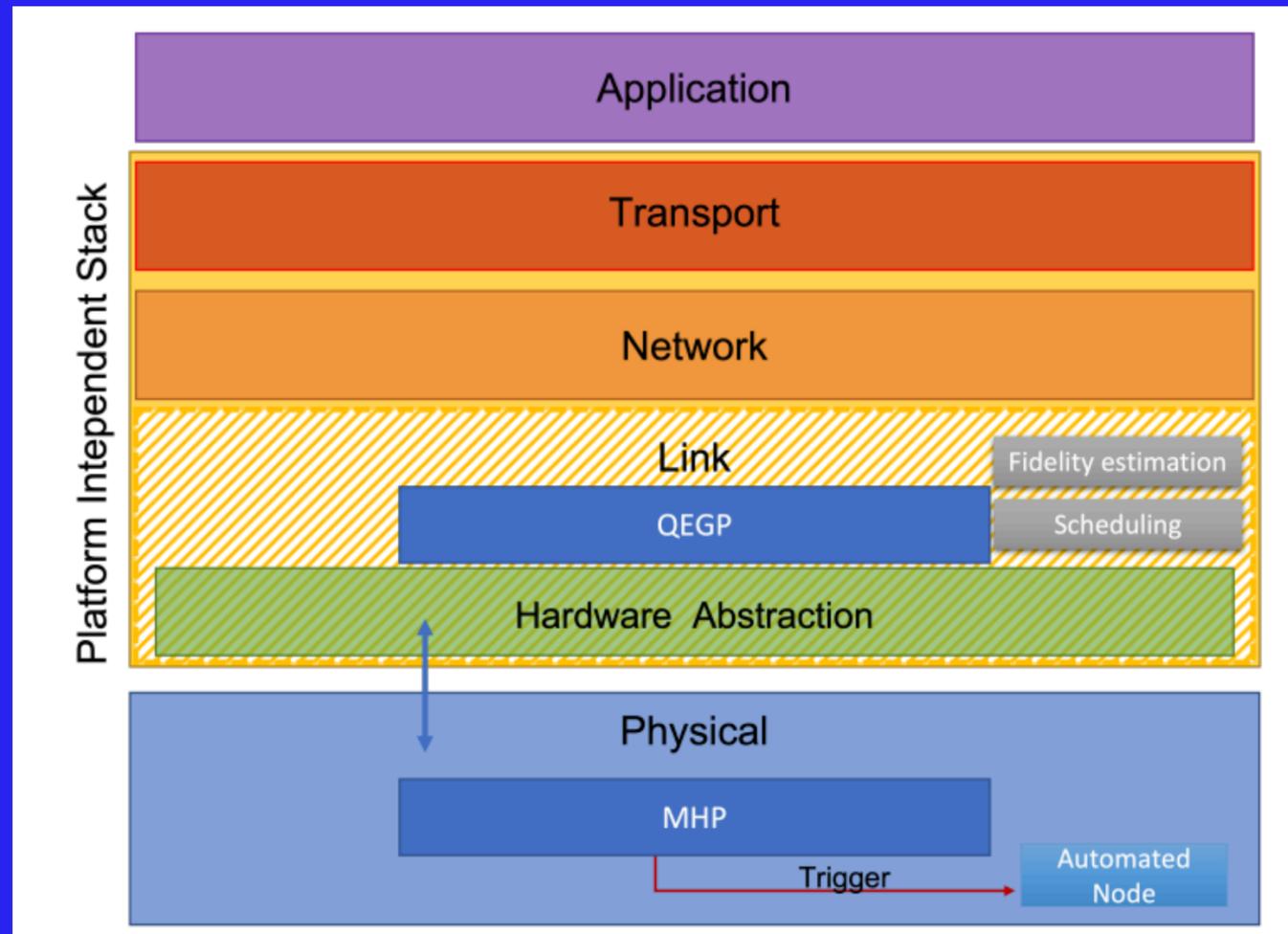
David Tavares

Diego Abreu

et al.

Antônio Abelém





A camada de Enlace em Redes de Entrelaçamento Quântico com repetidores de 1 geração tem como objetivo prover pares EPRs de alta fidelidade.

OBJETIVO DA CAMADA DE ENLACE

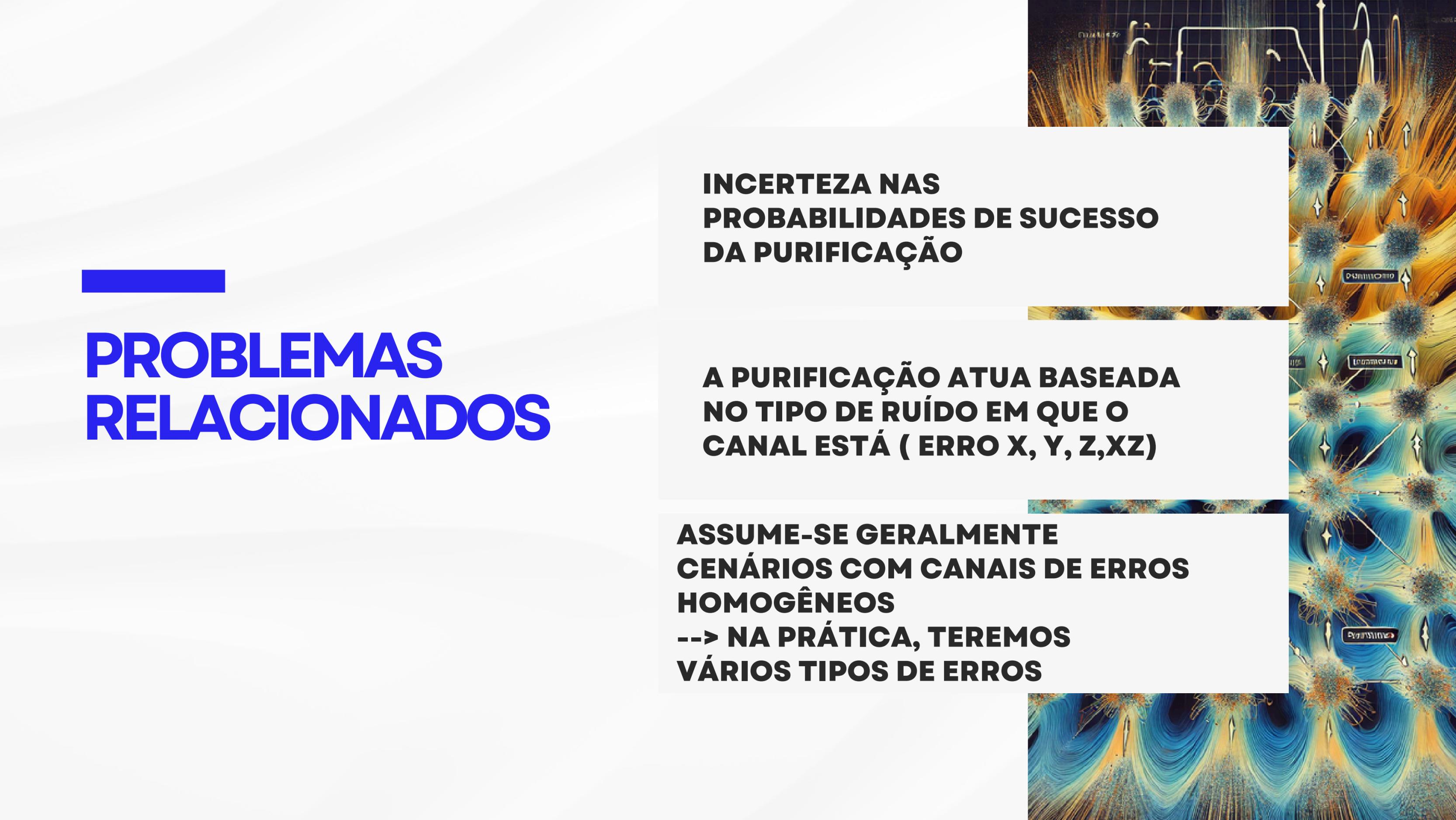
CONTROLE EFICIENTE DA GERAÇÃO DE PARES EPRS

ENTREGA OS PARES EPRS DADO UMA FIDELIDADE MINIMA PEDIDA NA CAMADA DE ENLACE

ACIONA A CAMADA FÍSICA PARA QUE OS PROCESSOS SEJAM FEITOS



PROBLEMAS RELACIONADOS



**INCERTEZA NAS
PROBABILIDADES DE SUCESSO
DA PURIFICAÇÃO**

**A PURIFICAÇÃO ATUA BASEADA
NO TIPO DE RUÍDO EM QUE O
CANAL ESTÁ (ERRO X, Y, Z,XZ)**

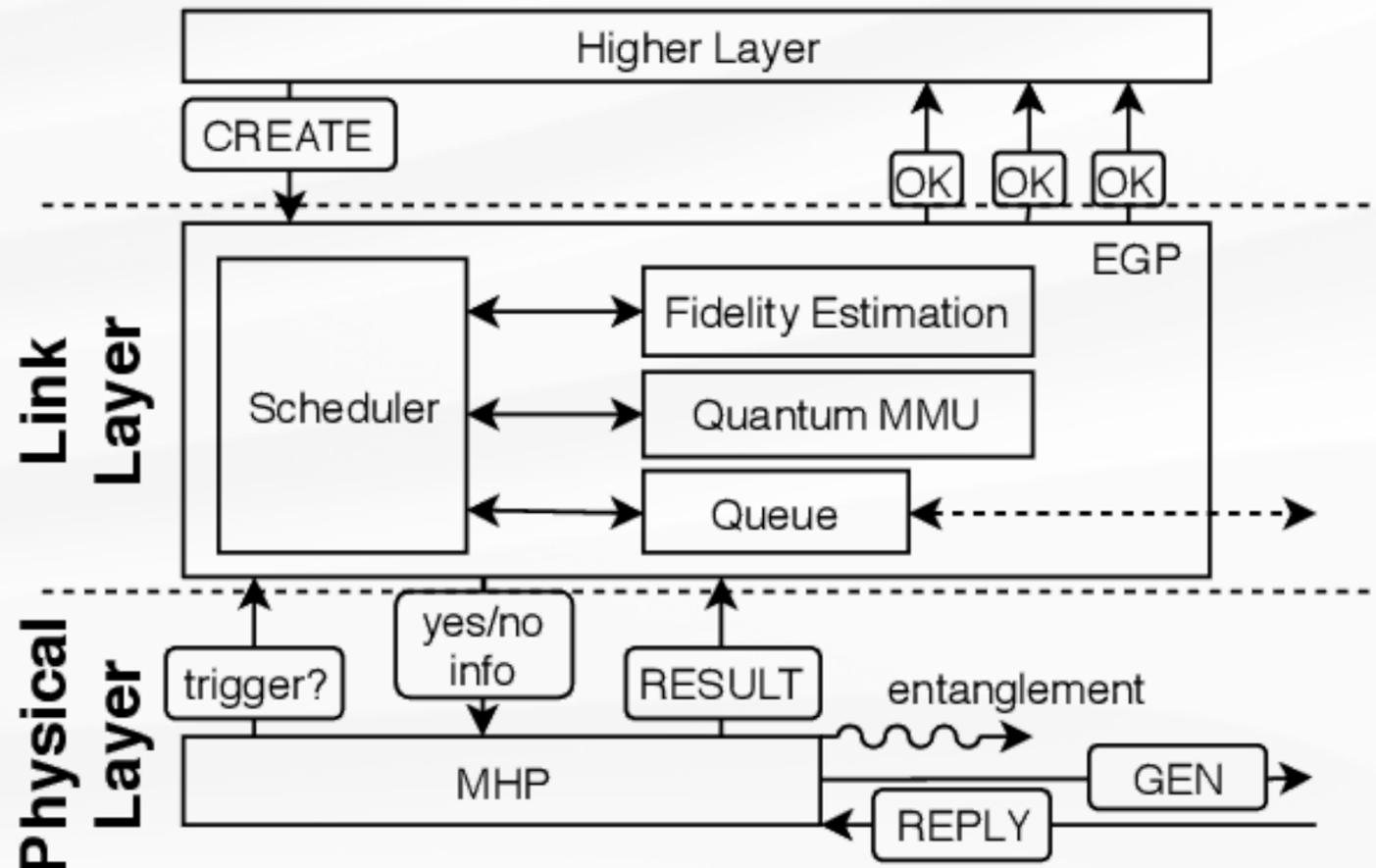
**ASSUME-SE GERALMENTE
CENÁRIOS COM CANAIS DE ERROS
HOMOGÊNEOS
--> NA PRÁTICA, TEREMOS
VÁRIOS TIPOS DE ERROS**

JUSTIFICATIVA

- Variabilidade imprevisível de ruídos
- Adaptação contínua e otimização necessária
- Desperdício de recursos quânticos

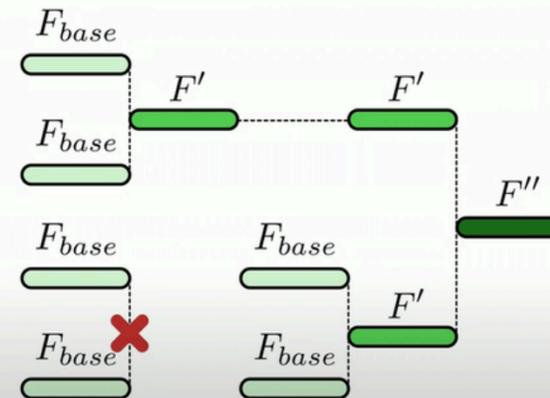
QUESTÕES DE PESQUISA

1. Como as técnicas de agendamento de purificação tradicionais se comportam diante de canais heterogêneos?
2. Como podemos melhorar o desempenho da camada de enlace considerando canais heterogêneos?

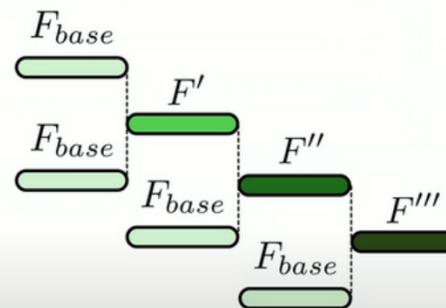


PROPOSTA VS TÉCNICAS ATUAIS

Recurrent (symmetric) purification scheme.



Entanglement pumping purification scheme.



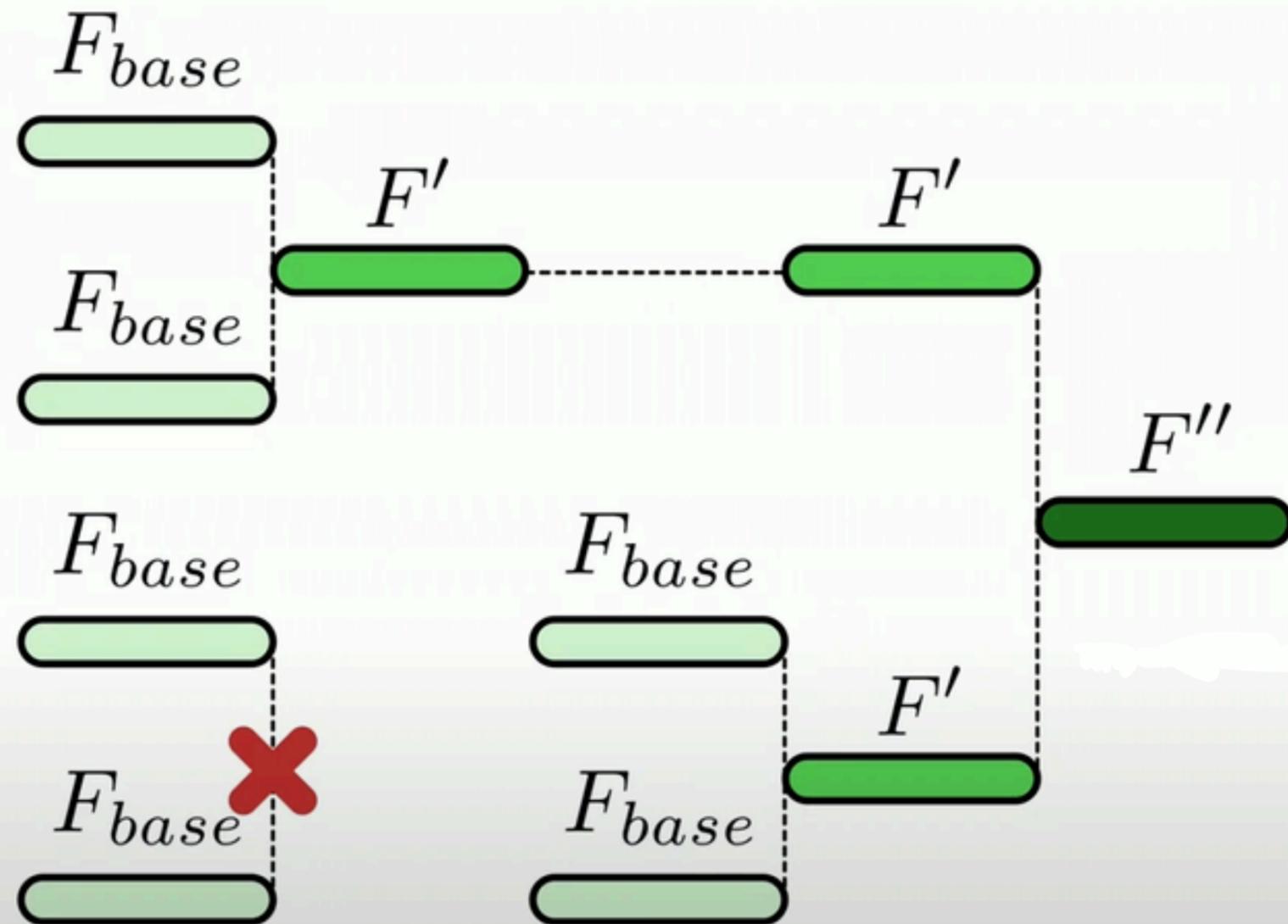
SYMMETRIC PURIFICATION

- Usa mais pares EPRs
- Requer a alocação de 2^2
- limita o paralelismo das requisições,

PUMPING PURIFICATION

- Usa menos pares EPRs
- Depende da criação de pares EPRs sob demanda

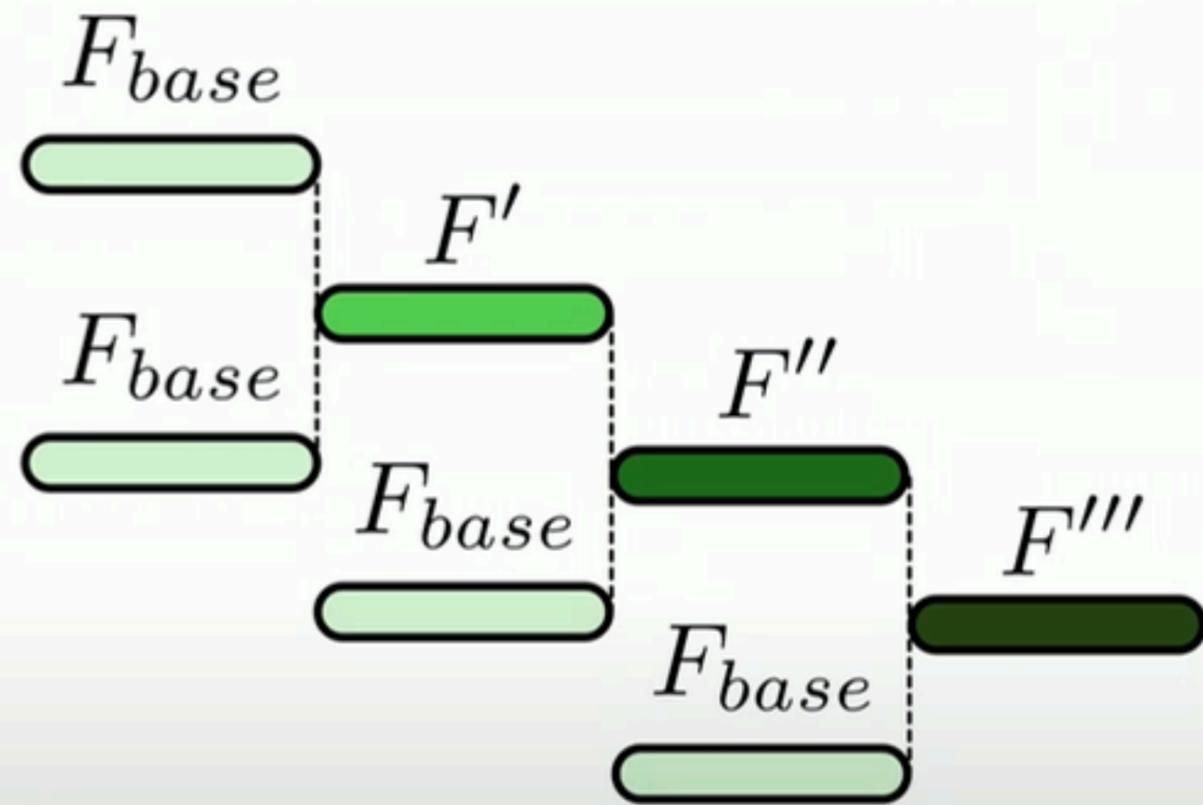
Recurrent (symmetric) purification scheme.



SYMMETRIC PURIFICATION

- Usa mais pares EPRs
- Requer a alocação de 2^n
- limita o paralelismo das requisições,

Entanglement pumping purification scheme.



PUMPING PURIFICATION

- Usa menos pares EPRs
Depende da criação de pares EPRs sob demand

CANAIS X/Y/XZ VS WERNER

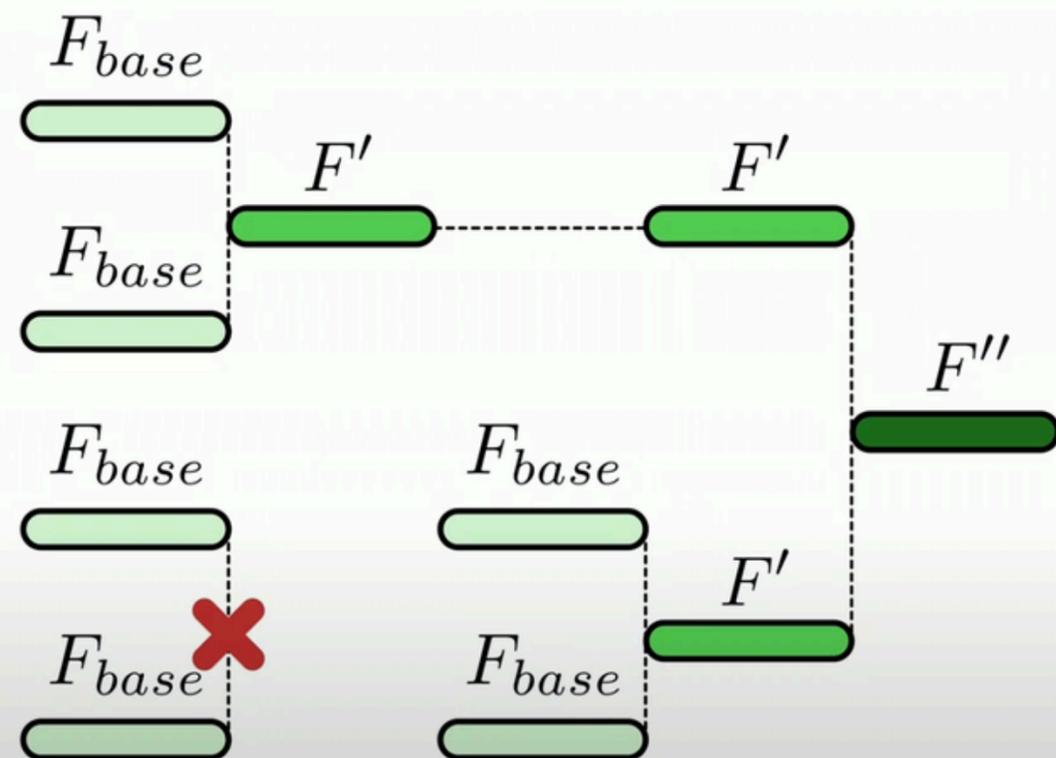
FIDELIDADE AO FINAL DA PURIFICAÇÃO É MAIOR
QUANDO OS ERROS SÃO APENAS X Y OU XZ

$$F' = \frac{F_1 \cdot F_2}{F_1 \cdot F_2 + (1 - F_1) \cdot (1 - F_2)}$$

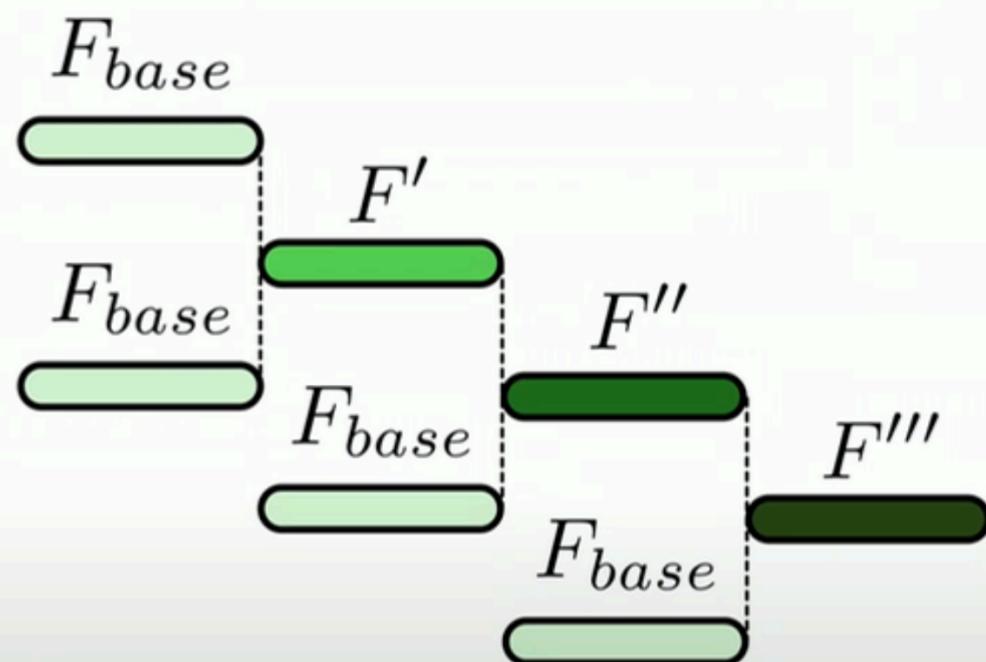
QUANDO É WERNER (CANAL COM DESPOLARIZAÇÃO),
A PURIFICAÇÃO NÃO É TÃO EFETIVA

No error: $\frac{1}{P_{\text{success}}} \left(F^2 + \left(\frac{1 - F}{3} \right)^2 \right)$

Recurrent (symmetric) purification scheme.



Entanglement pumping purification scheme.



REDE HETEROGÊNEA VS AGENDAMENTO

- Erros probabilísticos
- Mudança dinâmica do canal
- Executar com frequência tomografia da rede

PROBLEMA 1: ERRO NA ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE ROUNDS

- Symmetric Purification
 - Se não reservar a quantidade necessária de EPRs, a fidelidade final pode não aumentar e todo o processo será perdido.
 - Reservar pares EPRs para o pior cenário (Werner) pode resultar em uso excessivo ou desperdício de recursos.
- Pumping Purification
 - Se a fidelidade não atingir o nível esperado, será necessário criar mais EPRs, o que pode causar perda de fidelidade devido à decoerência.
 - Criar EPRs com base no pior cenário pode gerar pares ociosos e ineficiência no uso de recursos.



REDE HETEROGÊNEA VS AGENDAMENTO

PROBLEMA 2: AUMENTO NO CONSUMO DE RECURSOS

- EPRs "nativos" e criados sob demanda elevam a demanda por armazenamento e processamento.
- Cada enlace possui um número limitado de "slots" de EPRs, aumentando a competição por recursos escassos.

SOLUÇÃO PROPOSTA

- Estratégia Híbrida: Simétrica e Pumping
- Depende do tipo de requisição e do estado atual da rede.

PROPOSTA 1:

- Enquanto houver muitos EPRs disponíveis, utiliza purificação simétrica. Quando não houver o suficiente, muda para pumping.
- Monitora erros de operação na purificação e ajusta a estratégia conforme necessário.

PROPOSTA 2:

- Mede a rede periodicamente para ajustar um limiar (threshold) e estimar melhor o número de rounds necessários para a purificação.
- Um controlador monitora a rede, decide a estratégia ideal e faz ajustes dinâmicos.



SOLUÇÃO PARA OS PROBLEMAS

Solução vs Problema 1:

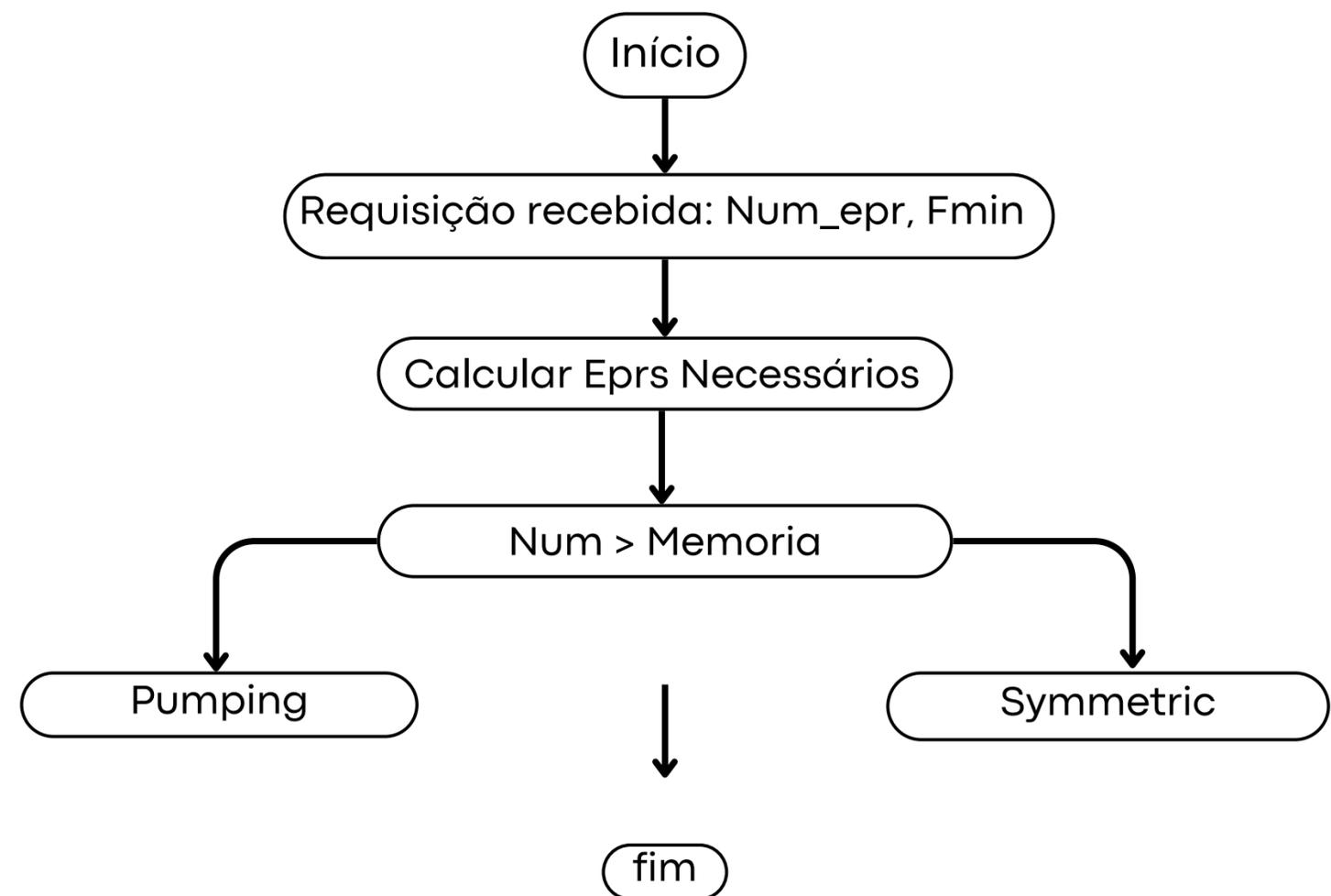
- Erros na estimativa de rounds continuarão ocorrendo, mas diminuirão com o tempo à medida que o sistema aprende e se ajusta.

Solução vs Problema 2:

- Otimiza o uso dos recursos, equilibrando a alocação de EPRs "nativos" e criados sob demanda, reduzindo o consumo excessivo e melhorando a eficiência.

CORE DA PROPOSTA

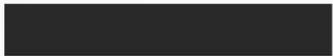
A abordagem de tomada de decisões na escolha entre dois métodos de purificação de EPRs em redes quânticas



METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Parâmetros da Simulação

- Rede Default: 4x3 (topologia de rede 4 nós por 3 nós)
- Fbase: Fidelidade inicial dos EPRs = 0.75
- Decoerência: Definida de acordo com o tipo de canal (X/XZ ou Werner)
- Número de qubits: 30
- Número de EPRs disponíveis inicialmente: 10
- Requisições:
 - quero_x_eprs: Número de EPRs solicitados (varia entre 1 a 8)
 - fmin: Fidelidade mínima requerida (varia entre 0.65 a 0.95)



MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO

- Consumo de EPRs
- Criação de EPRs adicionais
- Fidelidade média dos pares entregues
- Pares EPRs entregues com sucesso
- Erros por nível de round



AVALIAÇÕES

Avaliação 1: Canais X/XZ

- Avalia-se como a purificação lida com canais com erros de fase e bit (com ou sem correlações entre eles).
- Avaliação 2: Canais Werner
- Todos os canais da rede seguem o modelo de Werner, que mistura erros de fase e bit de forma simétrica.

Avaliação 3: Canais mistos (X/XZ e Werner)

- Os canais são uma combinação de X/XZ e Werner, o que representa uma rede heterogênea e mais dinâmica. O objetivo é testar como a estratégia híbrida (Simétrica + Pumping) se comporta em cenários realistas.



CENÁRIOS DE TESTE

- Cenário 1: $\text{sim}(\text{Canal}=\text{X}, \text{EPR}[1,3], \text{fmin}[0.65, 0.75])$
 - Cenário 2: $\text{sim}(\text{Canal}=\text{XZ}, \text{EPR}[4,6], \text{fmin}[0.80, 0.90])$
 - Cenário 3: $\text{sim}(\text{Canal}=\text{Werner}, \text{EPR}[5,8], \text{fmin}[0.85, 0.95])$
 - Cenário 4: $\text{sim}(\text{Canal}=\text{misto}, \text{EPR}[2,8], \text{fmin}[0.70, 0.95])$
- 

PRINCIPAIS MELHORIA:

Principais Melhorias

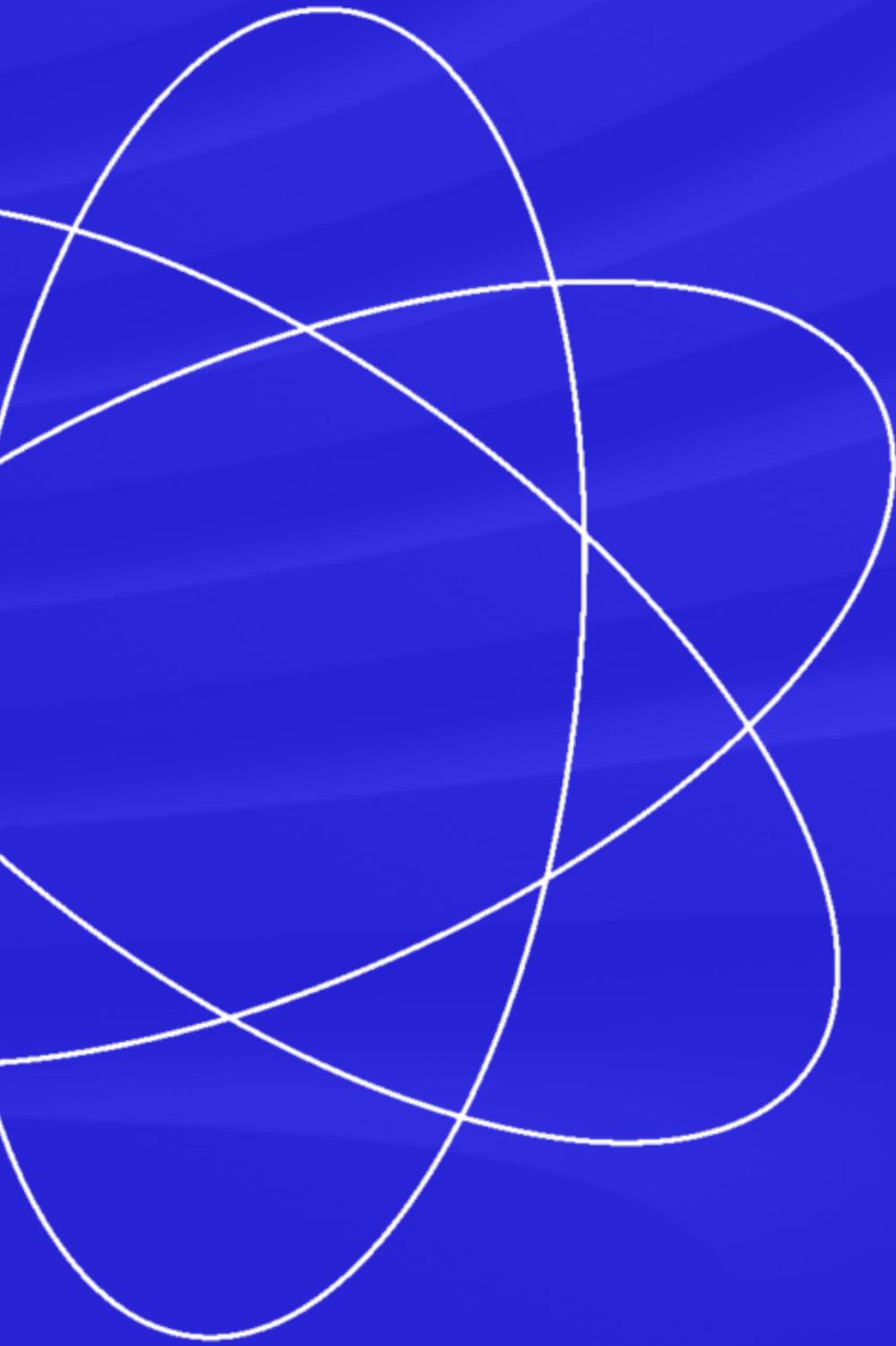
1. Uso de IA
2. Utilizar técnicas de inteligência artificial, como árvores de decisão (Decision Tree),
3. Algoritmos de aprendizado por reforço para ajustar dinamicamente as estratégias de purificação.
4. Integração com SDN (Proposta do Arthur)

COMPLEXIDADE DO PROBLEMA

- políticas como:
 - Greedy:
 - Banded:
- Tratamento de Pares Não Usados:
 - Devolvê-los à rede.
 - Purificá-los para aumentar sua fidelidade e mantê-los disponíveis.
- Seleção de Protocolos de Purificação



TRABALHOS FUTUROS



OBRIGADO!

Desejamos a todos um ótimo
dia de trabalho.