

1 Introdução

A gestão de riscos e incertezas em exploração e produção de petróleo e gás ocorre em sistemas com alta complexidade técnica, interfaces operacionais e requisitos regulatórios cada vez mais restritivos. Métodos como APR/HAZID, HAZOP, FMECA, BowTie e LOPA são amplamente utilizados, mas, não raro, seus resultados permanecem distribuídos entre estudos, equipes e ciclos.

Essa fragmentação dificulta a rastreabilidade entre perigos, cenários, barreiras, decisões e monitoramento. O problema tratado neste trabalho é, portanto, de integração e governança: como organizar as evidências produzidas por métodos consagrados em uma sequência coerente e auditável, que apoie a tomada de decisão sem substituir essas ferramentas.

Apresentamos a APR II – Análise Preliminar dos Riscos e Incertezas Integrados – como uma arquitetura que reúne princípios de gestão de riscos e análise de barreiras, em alinhamento com a integração, estruturação e melhoria contínua propostas pela ISO 31000 (ISO, 2018). A contribuição deste procedimento é ilustrada em três aplicações selecionadas entre os estudos realizados: análise de riscos de poços pré-FEL, revisão quinquenal de riscos e integridade de duto flexível submetido a SCC-CO₂.

2 Método

A APR II foi usada e aprimorada em mais de 30 estudos onshore e offshore. Para ilustrar seu uso, os casos foram selecionados por sua diversidade operacional e relevância decisória. A avaliação apresentada é descritiva e baseada nos registros dos estudos e na documentação técnica de suporte; os resultados numéricos referem-se aos respectivos casos e não devem ser interpretados como estimativas universais de desempenho.

2.1 Princípios da Arquitetura

A APR II organiza a análise em cinco princípios: (1) rastreabilidade vertical entre perigo, cenário, barreira, decisão e monitoramento; (2) sequência e uniformização de nomenclaturas, critérios e premissas; (3) consolidação de barreiras, considerando suficiência, independência e desempenho; (4) avaliação de tolerabilidade e ALARP apoiada em evidências; e (5) monitoramento por indicadores e reavaliação quando mudam o desempenho das barreiras ou as condições operacionais. A análise de barreiras e os conceitos de ALARP seguem as referências técnicas adotadas nos estudos (CCPS, 2015; HSE, 2001; Sklet, 2006).

2.2 Entradas, Fases e Saídas

As entradas incluem riscos e incertezas, hipóteses acidentais, premissas, condições de contorno, dados e estudos existentes, tais como HAZOP, LOPA e FMECA. Sua origem e registro são mantidos na documentação técnica de cada aplicação. A consolidação percorre quatro fases:

Entrada	Uso e Rastreabilidade
Perigos e Incertezas	caracterizam o que pode Afetar Pessoas, Instalações, Meio Ambiente e Objetivos do Ativo; permanecem Ligados aos Cenários Avaliados
Hipóteses Acidentais	delimitam Eventos Iniciadores, combinações de Falhas e Consequências Consideradas
Premissas e Condições de Contorno	registram Limites e Condições Assumidos; são Validados na identificação e Revistos quando mudam os dados ou a operação
Estudos e Dados Preexistentes	incluem Análises e Evidências; sua Origem e Qualidade são Consideradas

Tabela 1. Entradas da Análise e sua Função na APR II

Fase	Tratamento na APR II	Saída Rastreável
1. Identificação	identificar Perigos e Incertezas; Validar Hipóteses, Premissas e Condições de Contorno com apoio de APR/HAZID	registro de Perigos, Hipóteses e Bases do estudo
2. Cenários	relacionar Causas, Evento Topo e Consequências, usando princípios de HAZOP e BowTie	cenários com Relações Causais explicitadas
3. Barreiras	consolidar Barreiras e Avaliar suficiência, independência e desempenho, com conceitos de FMECA e LOPA	barreiras vinculadas aos Cenários e Critérios de tolerabilidade
4. Decisão e Monitoramento	avaliar Risco Residual e ALARP; definir KPIs para acompanhar Condições e Barreiras	decisão, Recomendações, indicadores e gatilhos de Reavaliação

Tabela 2. Sequência Operacional e Saídas Rastreáveis da APR II

2.3 Formulação do Risco Residual

A APR II representa o risco residual por uma formulação semiquantitativa:

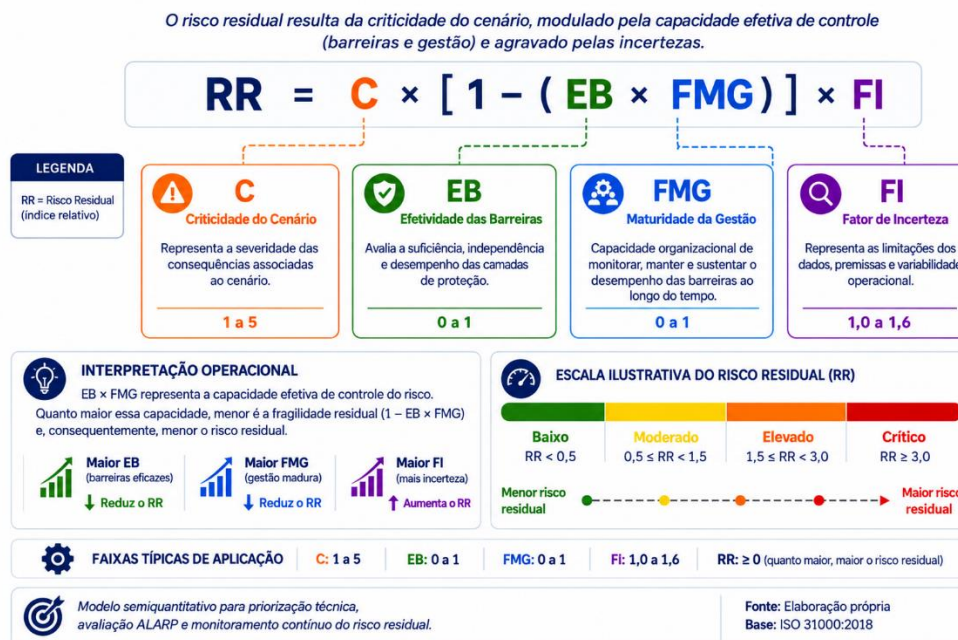


Figura 1. Modelo Conceitual Semiquantitativo do Risco Residual da APR II

A criticidade representa o risco inerente do cenário; a efetividade representa suficiência e desempenho das barreiras; os fatores de incerteza e maturidade incorporam, respectivamente, limitações dos dados e a capacidade de gestão para sustentar o desempenho ao longo do tempo. A equação é um modelo semiquantitativo de apoio à consolidação, não uma medida probabilística absoluta. As escalas, pesos, regras de aplicação e critérios de interpretação usados nos cálculos devem ser registrados na documentação técnica dos estudos, que permite reproduzir os resultados. A decisão ALARP considera esses resultados junto às evidências de barreiras e à viabilidade de medidas adicionais; não decorre apenas da equação.

3 Aplicações e Resultados

3.1 IMPACI – Módulo de Análise de Poços pré-FEL

O módulo IMPACI da APR II busca estruturar a identificação e avaliação de riscos de poços antes da consolidação da engenharia básica, quando ainda há flexibilidade de projeto. O escopo considera segurança, meio ambiente, construção, operação e abandono do poço, controle

operacional, integridade dos sistemas de produção ou injeção e incertezas com seu potencial de impacto em custo, cronograma e viabilidade técnica.

O procedimento adota e combina sessões técnicas, planilhas e relatórios padronizados. Foram realizadas mais de 15 análises onshore e offshore, em sessões de quatro horas distribuídas por dois a seis encontros. Nos casos registrados, cerca de 20% dos cenários inicialmente avaliados foram reclassificados, e o tempo de consolidação interdisciplinar foi estimado como aproximadamente 25% menor após a uniformização dos critérios. Esses valores descrevem as aplicações documentadas.

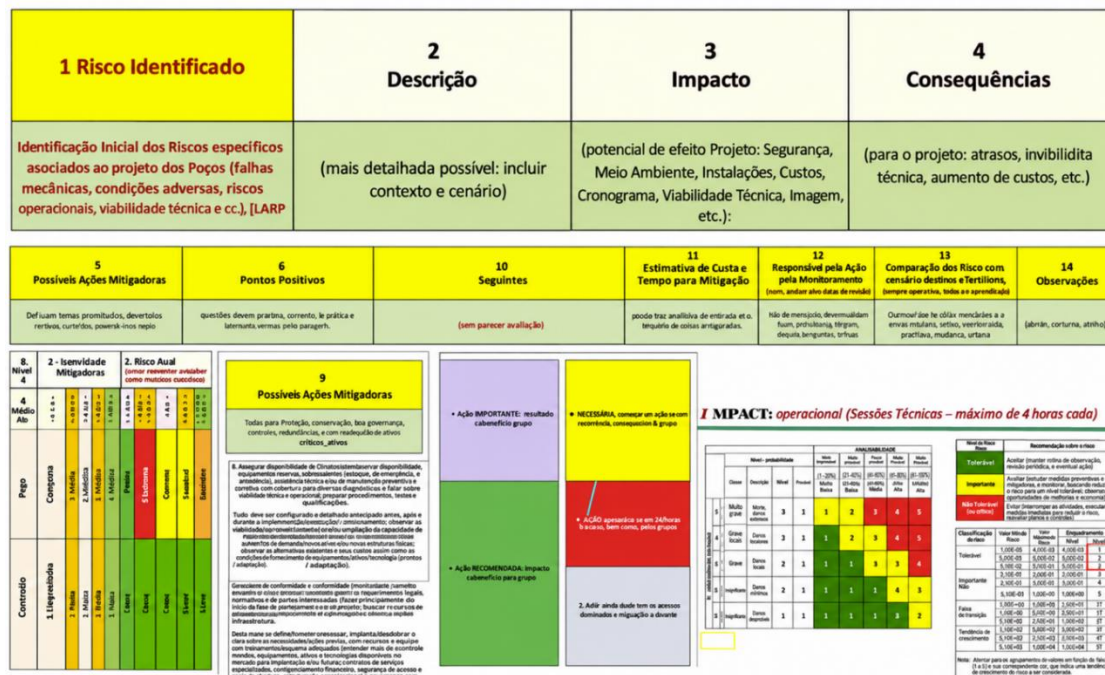


Figura 2. Exemplo I de Aplicação da APR II - IMPACI

3.2 Revisão Quinquenal de Riscos (RQR) e IGRpoços

O módulo de revisão quinquenal da APR II é utilizado para revalidar perigos e premissas, reavaliar cenários, registrar recomendações e consolidar a condição dos poços. A revisão de riscos em intervalos de cinco anos é prevista no SGIP para poços em operação, conforme os critérios aplicáveis (ANP, 2016). O exemplo abrangeu 33 poços produtores, injetores e em abandono temporário. As consequências foram avaliadas para pessoas, instalações, meio ambiente e imagem; a dimensão de negócios não foi incluída por decisão do cliente.

A revisão considerou dezenas de hipóteses acidentais, incluindo falhas simples e combinadas das barreiras primárias e secundárias, além de eventos não associados a elementos críticos de segurança. O fluxo de trabalho compreendeu revalidação das bases, análise de cenários com

matriz de tolerabilidade, registro de recomendações e consolidação por meio do IGRpoços. Os resultados foram apresentados por indicadores e termômetros de risco para apoiar comparações entre grupos e ciclos de revisão.

Indicador IGRpoços	Dimensão Acompanhada no Estudo
Integridade Estrutural	condição física do Poço e de seus Elementos
Controle e Segurança	sistemas, funções e elementos de Controle e Segurança
Risco Operacional	Riscos Associados à operação normal e a situações excepcionais
Risco Ambiental	potenciais Efeitos Ambientais Associados aos cenários avaliados
Procedimentos e Conformidade Regulatória	Procedimentos aplicáveis e atendimento aos Requisitos
Resposta a Emergências	prontidão e capacidade de Resposta consideradas

Tabela 3. Componentes do IGRpoços - Revisão Quinquenal



Figura 3. Exemplo II - RQR e IGRpoços – Revisão Quinquenal

Para os 33 poços, o resultado agregado reportado foi $284/540 = 0,526$, arredondado para 0,53, acima do limite mínimo de 0,50 adotado no estudo. A interpretação foi de gerenciamento adequado, mantendo-se os riscos residuais na região ALARP.

A revisão identificou pendências em 15% das barreiras avaliadas. As pontuações, ponderações e registros de cálculo por indicador constam da documentação técnica do estudo.

3.3 Integridade de Duto Flexível sob SCC-CO₂

No terceiro caso, usamos o módulo genérico da APR II para reorganizar e atualizar estudos existentes, incluindo HAZOP e LOPA, sobre dutos flexíveis offshore sujeitos a corrosão sob tensão induzida por CO₂ (SCC-CO₂). O trabalho incluiu consolidação de relatórios, elaboração da planilha de análise e avaliação integrada dos mecanismos de degradação. Os indicadores de monitoramento foram vinculados a variáveis operacionais: taxa de corrosão interna, pressão, temperatura, eficiência dos inibidores, número de falhas e tempo médio entre falhas (MTBF), com dados de confiabilidade referenciados ao OREDA (2015).

O estudo levou à reclassificação e atualização de cerca de 18% dos dados existentes analisados, incluindo cenários críticos previamente subavaliados. A formalização da relação entre barreiras e indicadores foi associada em revisões técnicas cruzadas. As medidas e justificativas são rastreáveis nos registros técnicos do estudo.

3.4 Síntese Comparativa

Aplicação	Base	Resultado
IMPACI pré-FEL	>15 análises; Cenários de Risco de Poços	~20% dos cenários reclassificados; ~25% menos tempo de consolidação interdisciplinar (<i>estimativa</i>)
RQR-IGRpoços	33 Poços; seis Indicadores	IGRpoços = $284/540 = 0,526 \approx 0,53$; dependência em 15% das barreiras; ~20% menos esforço de reconciliação
SCC-CO ₂	integridade de duto flexível offshore	dados reclassificados; menos ambiguidades em revisões técnicas cruzadas

Tabela 4. Síntese do Resultado nos três Exemplos do Uso da APR II

4 Discussão

Os casos mostram como a APR II pode ajudar a conectar estudos fragmentados e tornar explícita a relação entre cenários, barreiras, decisão e monitoramento. No IMPACI, a análise antecipada dá visibilidade a riscos enquanto há margem para ajustar o projeto. Na RQR, a revisão estruturada organiza evidências de integridade e indicadores de poços. No caso SCC-CO₂, o encadeamento entre mecanismos de degradação, barreiras e dados operacionais apoia a reavaliação de cenários críticos.

A contribuição central é organizacional e metodológica: a APR II não substitui HAZOP, LOPA, FMECA, BowTie ou APR/HAZID; organiza seus resultados em uma trilha auditável. A qualidade da decisão depende da consistência dos estudos de origem, da qualidade dos dados e da aplicação coerente dos critérios. A literatura sobre incerteza e barreiras reforça a importância de tratar esses elementos explicitamente (Aven, 2016; Aven; Zio, 2011; Sklet, 2006).

5 Limitações e Oportunidades de Aprimoramento

A consolidação depende da qualidade dos estudos preexistentes: lacunas em HAZOP, LOPA ou FMECA podem exigir retrabalho. O monitoramento também depende de indicadores e históricos confiáveis, por vezes incompletos. A implantação requer adaptação das equipes aos critérios comuns e à rastreabilidade entre disciplinas. Por fim, a APR II é uma avaliação semiquantitativa; casos de alta criticidade ou incerteza podem exigir análises probabilísticas complementares.

As bases e definições variam entre casos e são definidas de forma comparativa. Em estudos futuros, pretendemos testar a sensibilidade dos fatores, a consistência entre avaliadores e a possibilidade de padronizar os critérios.

6 Conclusão

A APR II oferece uma arquitetura para integrar riscos, incertezas, perigos, cenários, barreiras, decisão e monitoramento sem substituir os métodos analíticos existentes. Nos três casos apresentados, sua aplicação permitiu reclassificar cenários, explicitar dependências de barreiras e organizar indicadores e evidências de decisão.

Os resultados apoiam a utilidade prática da abordagem, mas devem ser lidos como evidências específicas das aplicações documentadas. A replicação exige preservar as entradas do estudo, explicitar critérios e escalas, manter a trilha de cálculo e reavaliar a decisão quando mudam as condições operacionais ou o desempenho das barreiras.

*ROG.e - Conectando Energias #2026*¹

IA utilizada para revisão editorial e reorganização textual; dados e cálculos técnicos provêm dos estudos e documentos de suporte

7 Agradecimentos

Os autores agradecem às equipes técnicas e às organizações que participaram dos estudos e em especial a OPERADORA que permitiu, orientou e aprovou os procedimentos, contribuindo para a aplicação e o aprimoramento da APR II. Optamos pela não identificação das instituições e ativos por causa do acordo de confidencialidade que temos em todos os nossos serviços prestados.

8 Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução ANP nº 46, de 1º de novembro de 2016: Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Integridade de Poços (SGIP). 2016.
- AVEN, T. Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, v. 253, n. 1, p. 1-13, 2016. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.12.023.
- AVEN, T.; ZIO, E. Some considerations on the treatment of uncertainties in risk assessment for practical decision making. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 96, n. 1, p. 64-74, 2011. DOI: 10.1016/j.ress.2010.06.001.
- CCPS – CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. *Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment*. Wiley, 2015.
- HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. *Reducing Risks, Protecting People: HSE's Decision-Making Process*. 2001.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 31000: Risk Management – Guidelines*. 2018.
- OREDA. *Offshore Reliability Data Handbook*. 6. ed. 2015.
- SKLET, S. Safety barriers: definition, classification and performance. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 19, n. 5, p. 494-506, 2006. DOI: 10.1016/j.jlp.2005.12.004.