

CHERNOBYL: IODO, XENÔNIO E O ENVENENAMENTO DO NÚCLEO QUE DEIXOU O REATOR 4 DIFÍCIL DE CONTROLAR

Entenda como iodo-135 e xenônio-135 afetaram o Reator 4 de Chernobyl, por que o envenenamento do núcleo reduziu a reatividade e como isso levou à retirada de hastes, baixa ORM e perda de margem de controle.

SUMÁRIO

1. O QUE É ENVENENAMENTO DO NÚCLEO?	3
2. DE ONDE VÊM O IODO-135 E O XENÔNIO-135?	4
3. POR QUE O XENÔNIO-135 É TÃO IMPORTANTE?	4
4. O EQUILÍBRIO EM POTÊNCIA ESTÁVEL	4
5. POR QUE O XENÔNIO CRIA UMA RESPOSTA ATRASADA?	5
6. O QUE ACONTECE QUANDO A POTÊNCIA CAI?	6
7. COMO O TRANSIENTE DE XENÔNIO EVOLUIU NO REATOR 4?	6
7.1. POR QUE A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL ERA IMPORTANTE?	7
8. POR QUE ISSO FOI CRÍTICO NO REATOR 4?	7
9. XENÔNIO NÃO EXPLODIU O REATOR, MAS EMPURROU A OPERAÇÃO PARA O LIMITE	8
10. RELAÇÃO ENTRE XENÔNIO E ORM	8
11. RELAÇÃO ENTRE XENÔNIO E HASTES DE CONTROLE COM GRAFITE	9
12. RELAÇÃO ENTRE XENÔNIO E COEFICIENTE DE VAZIO POSITIVO	9
13. O QUE A INSTRUMENTAÇÃO MOSTRAVA SOBRE O ESTADO DO NÚCLEO?	10
13.1. POR QUE SINCRONISMO E SEQUÊNCIA DE EVENTOS SÃO IMPORTANTES?	10
14. POR QUE NÃO ESPERAR O XENÔNIO DIMINUIR?	11
15. O TESTE DA TURBINA ENCONTROU UM NÚCLEO JÁ VULNERÁVEL	11
16. LIÇÃO DE ENGENHARIA: RECUPERAR DESEMPENHO NÃO PODE CONSUMIR MARGEM DE SEGURANÇA	12
17. CONCLUSÃO: O XENÔNIO FOI UM ELO SILENCIOSO DA CORRENTE CAUSAL	12
17.1. SOLUÇÕES	14
17.2. SERVIÇOS DE ENGENHARIA	14
17.3. JORNADA SOBRE CHERNOBYL	14

O envenenamento por xenônio foi um dos fatores que tornaram o Reator 4 difícil de recuperar e controlar antes do teste de 26 de abril de 1986. Após a redução prolongada de potência e a queda não planejada de aproximadamente 500 MWt para 30 MWt, o fluxo de nêutrons diminuiu, enquanto o iodo-135 já acumulado continuou produzindo xenônio-135.

O termo “envenenamento” pode parecer estranho, mas é técnico. Em um reator nuclear, alguns produtos de fissão absorvem nêutrons com grande eficiência. Quando isso acontece, eles reduzem a reatividade do núcleo e dificultam a manutenção ou a recuperação da potência.

No caso do Reator 4 de Chernobyl, dois elementos são essenciais para entender esse processo: **iodo-135** e **xenônio-135**. O iodo-135 era produzido como produto de fissão e decaía para xenônio-135. O xenônio-135, por sua vez, absorvia nêutrons e atuava como um forte veneno neutrônico.

O xenônio não causou sozinho o acidente. Ele não foi o gatilho final da explosão. Mas foi um elo importante da corrente: tornou o Reator 4 difícil de controlar, contribuiu para a retirada excessiva de hastes de controle, reduziu a [ORM – margem operacional de reatividade](#) e deixou o núcleo vulnerável aos demais fatores do acidente.

1. O QUE É ENVENENAMENTO DO NÚCLEO?

Em um reator nuclear, a reação em cadeia depende dos nêutrons. Quando nêutrons atingem núcleos de urânio-235, podem provocar novas fissões, liberando calor e novos nêutrons. Esse processo sustenta a potência do reator.

Mas nem todos os nêutrons disponíveis acabam provocando fissões. Alguns são absorvidos por materiais estruturais, pela água, pelas hastes de controle ou por produtos de fissão presentes no combustível.

Quando um produto de fissão absorve muitos nêutrons, ele reduz a quantidade de nêutrons disponíveis para manter a reação em cadeia. Por isso, é chamado de **veneno neutrônico**.

Variáveis lentas também precisam ser tratadas como parte do estado operacional.

Concentrações, tendências, atrasos e mudanças graduais podem alterar a margem de um processo sem produzir uma falha instantânea. Sistemas SCADA ajudam a consolidar históricos, tendências, alarmes e contexto operacional para que o estado real não seja avaliado apenas por uma leitura momentânea.

Conhecer a solução de Sistemas SCADA

O xenônio-135 é um dos venenos neutrônicos mais importantes na operação de reatores. Ele não aparece como uma falha mecânica visível. Atua dentro do balanço de nêutrons, reduzindo a reatividade e alterando a resposta do núcleo.

2. DE ONDE VÊM O IODO-135 E O XENÔNIO-135?

Durante a fissão nuclear do urânio, o núcleo do átomo se divide em fragmentos menores. Esses fragmentos são chamados de produtos de fissão. Entre eles, aparece o **iodo-135**.

O iodo-135 é importante porque decai para **xenônio-135**. A sequência simplificada é:

Essa cadeia é essencial para entender por que a história do Reator 4 não começa apenas no momento do teste. O estado do núcleo já vinha sendo alterado pelas condições de potência anteriores, pela produção de iodo e pela formação posterior de xenônio.

3. POR QUE O XENÔNIO-135 É TÃO IMPORTANTE?

O xenônio-135 é importante porque absorve nêutrons com grande eficiência. Em termos operacionais, ele compete com o urânio-235 pelos nêutrons disponíveis.

Quando um nêutron é absorvido pelo urânio-235, pode ocorrer fissão, produção de calor e liberação de novos nêutrons. Quando um nêutron é absorvido pelo xenônio-135, ele deixa de contribuir para a reação em cadeia.

Por isso, o xenônio funciona como um freio neutrônico dentro do núcleo. Ele não é um botão de desligamento, nem uma barreira mecânica. Mas reduz a reatividade e pode tornar o reator difícil de operar em certas condições.

Quando há muito xenônio, o operador precisa compensar essa perda de reatividade. Em muitos casos, isso pode envolver retirada de hastes de controle ou aguardar a redução natural do envenenamento. Em Chernobyl, essa compensação se tornou parte do problema.

4. O EQUILÍBRIO EM POTÊNCIA ESTÁVEL

Em operação estável, o xenônio existe, mas tende a ser administrável.

Enquanto o reator opera em potência constante, a fissão continua produzindo iodo-135. Esse iodo decai para xenônio-135. Ao mesmo tempo, o xenônio-135 é consumido pela absorção de nêutrons.

Forma-se um equilíbrio dinâmico:

O problema aparece quando a potência muda de forma significativa, especialmente quando cai e depois se tenta recuperar potência rapidamente.

5. POR QUE O XENÔNIO CRIA UMA RESPOSTA ATRASADA?

O efeito do xenônio não acompanha instantaneamente a potência indicada no painel. O núcleo carrega um inventário de produtos de fissão formado nas horas anteriores. Quando a potência muda, a produção de novos produtos, o decaimento do iodo-135 e o consumo do xenônio-135 passam a evoluir em ritmos diferentes.

Por isso, uma redução de potência não produz imediatamente o maior envenenamento. Durante algum tempo, o iodo já existente continua formando xenônio, enquanto o menor fluxo de nêutrons reduz o consumo desse xenônio. A concentração pode continuar crescendo depois da mudança inicial de potência.

Esse comportamento transforma o tempo em uma variável de processo. Duas operações na mesma potência podem representar estados diferentes se forem precedidas por históricos distintos de geração, redução, parada ou recuperação. A leitura instantânea de megawatts não descreve sozinha a condição neutrônica do núcleo.

No Reator 4, a redução iniciada em 25 de abril foi interrompida por solicitação do sistema elétrico, permaneceu durante horas em condição intermediária e só foi retomada às 23h10. O INSAG-7 registra que as análises posteriores precisaram considerar explicitamente a cinética iodo–xenônio para reconstruir a evolução da potência, da ORM e do campo axial.

Esse histórico é detalhado no artigo [De 500 para 30 MWt: por que a potência do Reator 4 caiu](#).

Supervisão de processos críticos precisa correlacionar estado atual, histórico e tendência.

Sistemas Digitais de Supervisão e Controle podem integrar variáveis de processo, estados, eventos, alarmes e registros históricos para apoiar decisões que dependem da evolução temporal do ativo.

Conhecer a solução de Sistemas Digitais de Supervisão e Controle

6. O QUE ACONTECE QUANDO A POTÊNCIA CAI?

Quando a potência do reator cai, o fluxo de nêutrons também cai. Com menos nêutrons circulando no núcleo, o xenônio-135 passa a ser consumido mais lentamente.

Mas o iodo-135 que já havia sido produzido antes da queda de potência continua decaindo para xenônio-135. Ou seja: o reator passa a consumir menos xenônio, enquanto ainda continua produzindo xenônio a partir do iodo acumulado.

A sequência é:

Esse é o envenenamento por xenônio. Ele cria uma espécie de resistência interna à recuperação de potência.

Do ponto de vista operacional, isso pode ser perigoso porque a tentativa de superar o veneno pode consumir margens de segurança.

7. COMO O TRANSIENTE DE XENÔNIO EVOLUIU NO REATOR 4?

A evolução não começou apenas na madrugada de 26 de abril. Segundo a cronologia consolidada no INSAG-7, a redução de potência teve início às 01h06 de 25 de abril. Às 07h10, a ORM já havia caído para 13,2 hastes equivalentes. Às 14h, o teste foi adiado por solicitação do controlador da rede elétrica, e a unidade permaneceu durante horas em potência intermediária.

Às 23h10, a redução foi retomada. Às 00h28, durante a transferência entre faixas de controle automático, a potência térmica caiu de aproximadamente 500 MWt para 30 MWt. Depois de uma pausa, iniciou-se a recuperação, e por volta de 01h03 a potência foi estabilizada próxima de 200 MWt.

Durante esse intervalo, a concentração de xenônio e a distribuição do fluxo neutrônico continuaram mudando. As simulações posteriores reproduzidas no INSAG-7 mostram que o campo axial passou por forte deformação durante o transiente. Antes do acidente, a distribuição apresentava dois máximos, com comportamento pouco uniforme entre as regiões superior, central e inferior do núcleo.

7.1. POR QUE A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL ERA IMPORTANTE?

O núcleo do RBMK era muito grande. Sua altura aproximada era de 7 metros e o diâmetro, de 11,8 metros. Em condições perturbadas, regiões distantes podiam responder de forma parcialmente desacoplada. Isso significa que uma potência total aparentemente estabilizada não garantia uma distribuição interna homogênea.

O xenônio podia reduzir mais intensamente a reatividade em determinadas regiões, enquanto outras permaneciam relativamente mais ativas. A compensação por hastes também não produzia um efeito espacial uniforme. O resultado era um sistema cujo estado real não podia ser representado adequadamente apenas por um único valor global de potência.

Essa distinção é central: o problema não era somente “quanto” de potência o reator produzia, mas **onde** essa potência estava concentrada, quais regiões estavam envenenadas e quanto controle efetivo ainda existia em cada parte do núcleo.

Ativos complexos precisam ser analisados como sistemas distribuídos, não apenas por indicadores agregados.

Owner's Engineering oferece revisão independente de premissas, interfaces, margens, riscos e critérios de decisão ao longo do ciclo de vida, reduzindo a dependência de leituras simplificadas ou análises restritas a uma única disciplina.

Conhecer o serviço de Owner's Engineering

8. POR QUE ISSO FOI CRÍTICO NO REATOR 4?

Na preparação do teste de Chernobyl, a potência do Reator 4 foi reduzida. A operação em potência reduzida se prolongou por causa de uma solicitação do sistema elétrico. Depois, durante a transferência do controle local para os controladores automáticos principais, ocorreu uma queda não planejada de potência para cerca de **30 MWt**.

Esse momento foi decisivo. Com a potência muito baixa, o xenônio passou a ter papel mais forte na perda de reatividade. Para recuperar a potência, os operadores retiraram muitas hastes de controle.

Esse processo foi analisado em detalhe no artigo [Chernobyl: por que a potência do Reator 4 caiu de 500 MWt para 30 MWt?](#). O foco aqui é a consequência física: o xenônio tornou o núcleo difícil de controlar e empurrou a operação para uma configuração de baixa margem.

O reator voltou a operar em torno de 200 MWt antes do teste. Mas voltar a produzir potência não significava voltar a uma condição segura. A recuperação ocorreu com muitas hastes retiradas e com a ORM abaixo do limite seguro.

9. XENÔNIO NÃO EXPLODIU O REATOR, MAS EMPURROU A OPERAÇÃO PARA O LIMITE

É importante fazer uma distinção técnica: o xenônio-135 reduz a reatividade. Portanto, isoladamente, ele não é um acelerador da reação nuclear. Ele não foi o mecanismo que elevou diretamente a potência final do Reator 4.

O problema foi a resposta operacional necessária para compensar seu efeito. Para vencer o veneno neutrônico e recuperar potência, muitas hastes foram retiradas. Essa retirada reduziu a margem operacional de reatividade.

Assim, o xenônio não deve ser visto como a causa única do acidente, mas como um elo intermediário:

Condições degradadas precisam ter limites, critérios de interrupção e evidências verificáveis.

Quando a recuperação de desempenho consome margens previstas no projeto, o processo deve exigir nova avaliação e aceite técnico. A gestão estruturada de requisitos e evidências reduz decisões baseadas apenas na pressão para manter cronograma ou produção.

Conhecer a solução de Gestão de Requisitos, Evidências e Critérios de Aceite

10. RELAÇÃO ENTRE XENÔNIO E ORM

A relação entre xenônio e ORM é uma das chaves para entender a sequência do Reator 4.

A ORM, ou margem operacional de reatividade, indicava a capacidade efetiva restante do sistema de controle para compensar reatividade. Quando muitas hastes são retiradas para recuperar potência, essa margem diminui.

No Reator 4, a tentativa de compensar o xenônio consumiu a ORM. O INSAG-7 registra que, antes da sequência final, reconstruções posteriores estimaram a ORM em valores muito abaixo do limite seguro: 1,9 hastes equivalentes em um cálculo e 6 a 8 em outro. Em qualquer interpretação, a margem estava abaixo do limite de segurança.

Esse ponto foi aprofundado em [Chernobyl: o que era ORM e por que a margem de reatividade condenou o Reator 4?](#).

A síntese é simples: o xenônio reduziu a reatividade; a retirada de hastes compensou essa perda; a compensação consumiu a margem de segurança.

11. RELAÇÃO ENTRE XENÔNIO E HASTES DE CONTROLE COM GRAFITE

O xenônio também se conecta ao problema das hastes de controle com grafite.

As hastes de controle antigas do RBMK tinham deslocadores de grafite. Esses deslocadores existiam para conservar nêutrons em operação normal, substituindo água absorvedora por grafite moderador em determinadas regiões do canal.

Com muitas hastes retiradas, a inserção emergencial começava a partir de uma posição desfavorável. Os deslocadores de grafite podiam deslocar água em regiões inferiores do núcleo antes que a seção absorvedora dominasse o efeito, gerando aumento local de reatividade.

O xenônio ajudou a criar a condição que exigiu a retirada de muitas hastes. A retirada de hastes tornou o defeito do projeto mais perigoso no momento da inserção emergencial.

Esse tema foi tratado em [Chernobyl: por que as hastes de controle do RBMK tinham grafite?](#).

12. RELAÇÃO ENTRE XENÔNIO E COEFICIENTE DE VAZIO POSITIVO

O xenônio também se conecta ao coeficiente de vazio positivo.

Depois que as hastes foram retiradas para compensar o xenônio, o reator ficou com baixa ORM. Com pouca margem de controle, o núcleo se tornou muito mais sensível ao aumento de vapor nos canais.

No RBMK, em determinadas condições, mais vapor podia significar mais reatividade. A água líquida absorvia parte dos nêutrons; o vapor absorvia menos; o grafite continuava moderando. Assim, o aumento da fração de vapor podia elevar a potência.

Esse mecanismo foi explicado em [Chernobyl: o que é o coeficiente de vazio positivo e por que tornou o Reator 4 tão perigoso?](#).

A cadeia causal fica clara: xenônio levou à retirada de hastes; retirada de hastes reduziu a ORM; baixa ORM aumentou a vulnerabilidade ao coeficiente de vazio positivo.

13. O QUE A INSTRUMENTAÇÃO MOSTRAVA SOBRE O ESTADO DO NÚCLEO?

O RBMK possuía milhares de pontos de dados, detectores internos e externos, sistemas de registro e programas de cálculo. Isso não significava, porém, que todos os parâmetros críticos estivessem disponíveis de forma contínua, integrada e imediatamente compreensível.

O INSAG-7 registra que o sistema centralizado SKALA calculava parâmetros principais em ciclos de vários minutos. O cálculo da ORM não era uma indicação direta e instantânea no console: dependia de aquisição e processamento de dados. Em outras descrições do relatório, esse ciclo podia exigir aproximadamente 10 a 15 minutos.

O programa de registro diagnóstico coletava centenas de sinais, mas não registrava diretamente todos os parâmetros necessários para reconstruir o estado do reator. Entre as 211 hastes do sistema de controle e proteção, somente posições selecionadas apareciam nos registros rápidos. Reinicializações do sistema também produziram lacunas durante a hora anterior ao acidente.

Havia ainda outro problema: o sistema não apresentava uma visão completa da distribuição espacial de potência em baixa potência. Detectores externos não conseguiam representar adequadamente o comportamento axial e regional do grande núcleo. Assim, o operador podia enxergar a potência global sem perceber com a mesma clareza a deformação interna causada pelo transiente de xenônio.

13.1. POR QUE SINCRONISMO E SEQUÊNCIA DE EVENTOS SÃO IMPORTANTES?

Parte dos parâmetros elétricos do teste foi registrada por um sistema adicional de oscilografia. Esses registros não estavam plenamente sincronizados com os parâmetros do reator. Depois do acidente, a falta de uma base temporal comum dificultou a comparação entre eventos elétricos, estados de controle e variáveis do processo.

Em instalações críticas atuais, [projetos de telecomunicações](#), redes industriais, sincronismo de tempo, historiadores e registros de sequência de eventos precisam ser concebidos como parte da capacidade de diagnóstico. A quantidade de dados só gera valor quando origem, qualidade, horário e contexto são confiáveis.

14. POR QUE NÃO ESPERAR O XENÔNIO DIMINUIR?

Em uma condição de forte envenenamento por xenônio, uma alternativa operacional segura pode ser aguardar o decaimento e o chamado depoisoning do núcleo. O próprio INSAG-7 menciona curvas de depoisonamento no contexto dos procedimentos relacionados à margem de reatividade.

Na prática, isso significa esperar até que a condição neutrônica do núcleo volte a permitir uma recuperação de potência com margem adequada. Essa espera pode atrasar operação, testes e programação de geração, mas preserva a segurança.

No Reator 4, o teste havia sido adiado durante o dia por solicitação do controlador da rede elétrica, e a unidade já estava em uma sequência operacional prolongada. O teste foi retomado em uma condição desfavorável, com potência reduzida, xenônio, hastes retiradas e baixa ORM.

Esse é um ponto de governança técnica: quando uma condição física compromete a margem de segurança, a decisão correta pode ser interromper, esperar, recalcular e replanejar. Continuar para cumprir programação pode transformar uma condição difícil em uma condição perigosa.

15. O TESTE DA TURBINA ENCONTROU UM NÚCLEO JÁ VULNERÁVEL

Quando o teste da turbina começou, o Reator 4 não estava apenas em baixa potência. Estava em uma condição de baixa margem, com distribuição de potência anormal e com um núcleo que havia sido levado a uma configuração difícil de controlar.

O teste buscava verificar se a inércia do turbogerador em desaceleração poderia alimentar bombas essenciais por alguns segundos até a entrada dos geradores diesel. Mas, como o INSAG-7 destaca, é incorreto tratar esse ensaio como puramente elétrico. Ele envolvia alimentação de equipamentos principais, proteções, intertravamentos, circulação de água e condições térmico-hidráulicas do reator.

O teste atuou sobre um sistema já vulnerável. O xenônio havia ajudado a consumir a margem de controle; a ORM estava baixa; o coeficiente de vazio positivo tornava o aumento de vapor perigoso; e as hastes de controle tinham um projeto que podia introduzir reatividade positiva nos primeiros instantes da inserção.

Esse conjunto mostra por que o acidente não deve ser explicado por uma causa isolada. Chernobyl foi uma cadeia de fatores técnicos, operacionais e organizacionais que se alinharam.

16. LIÇÃO DE ENGENHARIA: RECUPERAR DESEMPENHO NÃO PODE CONSUMIR MARGEM DE SEGURANÇA

A história do xenônio no Reator 4 traz uma lição forte para sistemas críticos: recuperar desempenho não pode significar consumir a margem de segurança que protege o sistema.

Em Chernobyl, a tentativa de recuperar potência diante do envenenamento por xenônio exigiu retirada de hastes. Essa retirada permitiu elevar a potência, mas reduziu a ORM. O sistema voltou a funcionar, mas com pouca capacidade efetiva de resposta a perturbações.

Essa lógica vale para muitas áreas da engenharia. Um sistema elétrico pode operar sobrecarregado. Um sistema hidráulico pode atender vazão com pouca margem. Um sistema de automação pode manter produção com alarmes inibidos. Uma rede crítica pode operar no limite de latência ou redundância. Em todos esses casos, a aparência de funcionamento pode esconder perda de robustez.

Por isso, práticas como [Owner's Engineering](#), [comissionamento](#), [auditoria técnica](#), [due diligence técnica](#) e [FEL](#) são essenciais em ativos complexos. Elas ajudam a identificar margens críticas, testar cenários degradados, validar intertravamentos, documentar limites e proteger o proprietário contra decisões técnicas frágeis.

17. CONCLUSÃO: O XENÔNIO FOI UM ELO SILENCIOSO DA CORRENTE CAUSAL

O envenenamento por xenônio não foi a causa única do acidente de Chernobyl. Mas foi um elo silencioso e decisivo da corrente causal.

O iodo-135 produzido pela fissão decaía para xenônio-135. O xenônio absorvia nêutrons e reduzia a reatividade. Quando a potência caiu, o xenônio passou a pesar mais no comportamento do núcleo. Para recuperar potência, muitas hastes foram retiradas. Com isso, a ORM caiu abaixo do limite seguro.

O reator voltou a produzir potência, mas não voltou a uma condição robusta. Estava vulnerável ao coeficiente de vazio positivo, às hastes com deslocadores de grafite, ao teste da turbina e à resposta insuficiente das proteções.

Essa é a importância do xenônio na história de Chernobyl: ele não acelerou diretamente a reação final, mas ajudou a empurrar o Reator 4 para uma configuração na qual o controle efetivo já havia sido perdido.

No próximo artigo da série, vamos conectar os elos ao teste da turbina: por que um teste aparentemente elétrico tinha implicações nucleares, hidráulicas, operacionais e de governança técnica.

Ensaio em sistemas críticos precisam comprovar comportamento, margens e capacidade de recuperação.

A A3A estrutura planos, roteiros, critérios, registros e matrizes de pendências para validar sistemas integrados antes do aceite e da entrada em operação.

Conhecer o serviço de Comissionamento e Aceite Técnico

[1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1*. Safety Series No. 75-INSAG-7. Vienna: IAEA, 1992.

[2] SHTEYNBERG, N. A. et al. Report by a Commission to the USSR State Committee for the Supervision of Safety in Industry and Nuclear Power. In: IAEA. *INSAG-7, Annex I*. Vienna, 1992.

[3] ABAGYAN, A. A. et al. Causes and Circumstances of the Accident at Unit 4 and Measures to Improve the Safety of Plants with RBMK Reactors. In: IAEA. *INSAG-7, Annex II*. Vienna, 1992.

[4] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *Report on the Accident at the Chernobyl Nuclear Power Station*. NUREG-1250. Washington, DC: USNRC, 1987.

[5] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *Implications of the Accident at Chernobyl for Safety Regulation of Commercial Nuclear Power Plants in the United States*. NUREG-1251. Washington, DC: USNRC, 1987.

[6] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP. *Safety Culture*. Safety Series No. 75-INSAG-4. Vienna: IAEA, 1991.

[7] WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. *RBMK Reactors*. London: WNA.

[8] MUELLNER, Nikolaus. *Three Decades after Chernobyl: Technical or Human Causes?* Technical analysis of the accident and the RBMK design.

[9] CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT. Historical and technical documentation on Unit 4 and the accident sequence.

[10] A3A ENGENHARIA. *Sequence of Events: Chernobyl Unit 4*. Technical source collection used to compare the operating log, recorded events and later reconstructions.

O que é envenenamento por xenônio? É a redução da reatividade do núcleo causada pelo acúmulo de xenônio-135, um produto de fissão que absorve nêutrons com grande eficiência. **O xenônio causou a explosão de Chernobyl?** Não. O xenônio reduziu a reatividade e dificultou a recuperação da potência, contribuindo para uma configuração de baixa margem que interagiu com outros fatores do acidente. **Qual é a relação entre xenônio e ORM?** A compensação do efeito do xenônio exigiu retirada de hastes, reduzindo a margem operacional de reatividade disponível. **Por que a redução de potência aumenta o xenônio?** Porque o fluxo de nêutrons cai e consome menos xenônio, enquanto o iodo-135 já acumulado continua decaindo e produzindo xenônio-135.

17.1. SOLUÇÕES

17.2. SERVIÇOS DE ENGENHARIA

17.3. JORNADA SOBRE CHERNOBYL

Sobre a A3A Engenharia de Sistemas

Com 30 anos de história, a A3A Engenharia de Sistemas se consolidou como referência em serviços de Engenharia, oferecendo soluções integradas de Telecomunicações, Segurança Eletrônica, Segurança Digital e Instalações Elétricas.

A empresa atua em todas as etapas do ciclo de Engenharia, desde a elaboração de projetos e consultoria técnica até a implantação, manutenção e retrofit de sistemas, sempre em conformidade com as normas técnicas e melhores práticas do setor.