

ASSUNTO/MOTIVO

PÁGINA

1 / 45

Atualização do padrão técnico e de segurança do Projeto de Angra 3

LOCAL/DATA

 Rio de Janeiro,
02/05/2017

REDATOR

Jorge Mendes

U.O./TEL.

SE.T / 7612

REFERÊNCIA

ANGRA 3

CÓDIGO ARQUIVO

SE.T/170001

SUMÁRIO

Nº DE PÁGINAS

ANEXOS

(NOS RELATÓRIOS DE REUNIÃO INDICAR, INICIALMENTE, NO SUMÁRIO: LOCAL, DATA, COORDENADOR, PARTICIPANTES E DURAÇÃO)

45

 Para ser providenciado
Para conhecimento
prazos

Este documento apresenta o processo utilizado pela Eletronuclear para fazer com que o projeto da usina Angra 3 mantenha-se atualizado, com a segurança e o desempenho adequados aos padrões atuais.

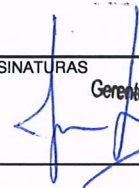
A usina de Angra 3 pertence ao padrão PWR 1.300 MW da Siemens, que se caracteriza por um elevado padrão de segurança e desempenho operacional, em função de suas características de projeto, dentre elas, o elevado grau de automação e o nível de redundância e diversidade adotados no projeto dos sistemas de segurança, e dos elevados requisitos de qualidade aplicados ao projeto e à fabricação dos equipamentos.

O projeto de Angra 3 incorpora as lições aprendidas com os acidentes já verificados em usinas nucleares de potência, a experiência internacional das últimas décadas, as alterações na base normativa nacional e internacional, além da evolução da base tecnológica de componentes e sistemas, especialmente, com a adoção da Instrumentação e Controle digital e de uma moderna Sala de Controle.

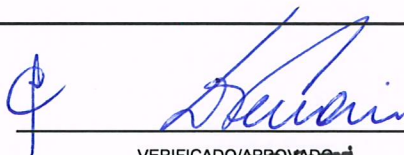
As melhorias introduzidas em Angra 3, para possíveis acidentes além da base de projeto, são similares às soluções implantadas recentemente nas usinas existentes e em projetos atuais de concepção similar a Angra 3. Estas características do projeto mostram que Angra 3 será uma usina moderna e com um padrão de segurança compatível com as usinas atualmente em construção.

Este relatório foi preparado pelas diversas áreas da Superintendência de Engenharia de Projeto – SE.T.

ASSINATURAS


Jorge Mendes
Gerente de Sistemas e Instrumentação do Reator - GSR.T

AUTOR


Lucio D. B. Ferrari
Superintendente de Engenharia de Projeto - SE.T

VERIFICADO/APROVADO

REV.

DATA

PÁG.

 VERIFICADO/
APROVADO

DISTRIBUIÇÃO (QUANDO FOR ENCAMINHADO SOMENTE O SUMÁRIO PARA CONHECIMENTO DO GERENTE DE ENGENHARIA DE PROJETO - SE.T)

P, DT, DG, DA, SG.T

GCE.T, GIC.T, GEC.T, GTP.T, GCV.T, GSR.T

SUMÁRIO EXECUTIVO

Os pontos principais do processo utilizado pela Eletronuclear para fazer com que o projeto da usina Angra 3 mantenha a segurança e o desempenho adequados aos padrões atuais, são os seguintes:

Introdução

O tipo de reator adotado em Angra 3, como nas demais unidades da CNAEA, o PWR – Reator a Água Pressurizada, permanece como o modelo internacionalmente predominante (277 de 438 reatores), tanto entre as unidades em operação como nas novas unidades em construção (50 de 60 reatores).

No processo evolutivo da tecnologia dos sistemas de segurança, 42 das 50 usinas em construção utilizando reatores PWR dispõe de sistemas de segurança de concepção similar aos de Angra 3 e apenas 8 tem sua segurança baseada extensivamente em sistemas passivos.

A usina de Angra 3 pertence ao padrão PWR 1.300 MW da Siemens, que se caracterizam por um elevado padrão de segurança e desempenho operacional, em função de suas características de projeto, dentre elas, o elevado grau de automação e o nível de redundância e diversidade adotados no projeto dos sistemas de segurança, e dos elevados requisitos de qualidade aplicados ao projeto e à fabricação dos equipamentos.

O projeto de Angra 3 utiliza Angra 2 como usina de referência, incorporando todas as modificações nela introduzidas com o objetivo de melhoria de segurança e desempenho. Um empreendimento testado e comprovado com altos índices de segurança e performance.

O projeto de Angra 3 incorpora as lições aprendidas com os acidentes já verificados em usinas nucleares de potência, a experiência internacional das últimas décadas, as alterações na base normativa nacional e internacional, além da evolução da base normativa e tecnológica de componentes e sistemas como se resume nos itens abaixo.

Atualização da Base Normativa

O projeto de Angra 3 foi atualizado com base nas normas alemãs válidas em 2003 quando foi solicitada a licença de construção ao órgão licenciador CNEN. No caso de componentes do circuito primário, já fornecidos com base em normas anteriores, avaliou-se que as versões mais recentes das normas não traziam alterações relevantes, permitindo validar a adequação dos mesmos para suas respectivas funções. O alto grau de requisitos técnicos das normas alemãs utilizadas em Angra 2 e 3, garante um padrão de segurança de alto nível. A base normativa e os critérios de projeto foram submetidos à CNEN, que os avaliou e concedeu a licença de construção para Angra 3 em 2010.

Atualização da Proteção contra Eventos Externos

No projeto de Angra 3, todos os carregamentos atuantes sobre as estruturas foram revisados e atualizados, em especial, no que diz respeito àqueles gerados pelos eventos externos. Foi realizado um estudo sobre a ocorrência de ventos extremos, com um levantamento dos registros de tornados no Brasil e adotou-se um tornado de categoria 3 na escala Fujita, correspondente aos maiores eventos já registrados no país. Foram realizadas análises detalhadas de ameaça sísmica em bases probabilísticas, por um grupo de consultores formado por geólogos, sismólogos e engenheiros estruturais renomados do Brasil e do exterior, utilizando-se a metodologia mais avançada. Estes resultados já estão sendo utilizados na Análise Probabilística de Segurança (APS) das usinas. Os primeiros resultados indicam que o risco sísmico das usinas está em níveis compatíveis com os índices de segurança internacionais. Além disso, a APS permitirá investigar os pontos mais críticos nos quais será possível atuar para aumentar ainda mais as margens de segurança já existentes.

Atualização de Sistemas e Equipamentos

Angra 3 terá equipamentos de Instrumentação e Controle digital no mesmo padrão dos projetos mais recentes de usinas nucleares, que deve contribuir para um melhor desempenho e segurança da planta. A sala de controle de Angra 3 é projetada com tecnologia digital e reflete o estado da arte em projetos de sala de controle. As atuações de componentes e monitoração de processos e alarmes são realizadas através de telas digitais em computadores. Em caso de perda da interface homem-máquina digital, estará ainda disponível um painel de segurança convencional para a operação da usina.

O aumento da capacidade de geração de Angra 3 (de 1350 para 1405 MWe) e a adequação às novas exigências das normas, inclui um novo disjuntor do gerador elétrico, equipamento fundamental para a conexão e desconexão com segurança da Usina ao sistema elétrico interligado nacional, considerando os 1405 MWe previstos.

O conjunto turbo-gerador foi fabricado em meados da década de 1980 pelas empresas SIEMENS AG/KWU tanto para Angra 2 como para Angra 3. Para atender ao aumento de potência de Angra 3, estão sendo promovidas mudanças indicadas pelo fabricante, incluindo a instalação de um Sistema Digital de Controle e Proteção da Turbina.

Atualização devido a experiência internacional

Com base nas lições aprendidas com as experiências resultantes dos acidentes relevantes acontecidos em outras usinas nucleares, o impacto em Angra 2 e 3 foi o seguinte:

- O projeto das usinas alemãs, referência para Angra 2 e 3, foi verificado conforme a experiência e recomendações resultantes do acidente de Three Mile Island - TMI 2 (1979, EUA) e as modificações recomendadas pelo órgão licenciador US-NRC (United States - Nuclear Regulatory Commission) já haviam sido implementadas em Angra 2. Em 2010, para a licença de construção de Angra 3, foi emitido um documento para o órgão licenciador

CNEN, registrando a verificação formal da aplicação de todas as recomendações da US-NRC devidas ao acidente de TMI-2.

- Devido à experiência com o acidente de Chernobyl (1986, Ucrânia), as recomendações pertinentes foram consideradas em Angra 2 e 3, apesar da tecnologia de Chernobyl ser diferente da tecnologia de Angra 2 e 3.
- Devido ao acidente de Fukushima Daiichi (2011, Japão), os princípios básicos de projeto, que levaram ao acidente, foram reavaliados para Angra 2 e 3 pela equipe técnica da Eletronuclear. Este trabalho é registrado em relatórios periódicos enviados e acompanhados pela CNEN. Os relatórios apresentam os resultados dos estudos e as modificações efetuadas nas usinas devidas ao acidente de Fukushima.
- Eventos significantes ocorridos em usinas nucleares são analisados para Angra 2 e 3 através das informações obtidas por meio de convênios existentes entre a Eletronuclear e diversos órgãos como WANO (World Association of Nuclear Operators), IAEA(International Atomic Energy Agency), EPRI (Electric Power Research Institute) que nos permitem demonstrar a adequação da segurança de Angra 2 e 3.

Atualização para acidentes severos

Em relação ao projeto robusto para fazer frente a eventos além da base de projeto incluindo acidentes severos com fusão do núcleo, foram introduzidas, ou já estão planejadas modificações em Angra 2, sendo introduzidas modificações no projeto de Angra 3. Por exemplo, foram projetados recombinaidores passivos de Hidrogênio, dimensionados para a concentração máxima admissível de Hidrogênio no interior do edifício da Contenção do reator, de tal maneira que explosões possam ser evitadas. Adicionalmente será instalado um sistema de alívio filtrado da contenção que impede que a pressão interne supere a base de projeto. Todas as provisões para eventos além da base de projeto introduzidas em Angra 3, são similares às provisões incluídas em projetos atuais de usinas nucleares em construção.

Conclusões

O desempenho operacional de Angra 2 é compatível com a tecnologia atual e com os melhores desempenhos das usinas em operação. Angra 3 terá um desempenho similar e, em alguns casos superior, devido às melhorias da instrumentação e controle digital e de novos equipamentos.

As melhorias introduzidas em Angra 3, para possíveis acidentes além da base de projeto, são similares às soluções implantadas recentemente nas usinas existentes e em projetos atuais de concepção similar a Angra 3. Estas características do projeto mostram que Angra 3 será uma usina moderna e com um padrão de segurança compatível com as usinas atualmente em construção.

DESCRIÇÃO TÉCNICA

ÍNDICE

1	Introdução	7
2	Evolução do Padrão Técnico das Usinas Nucleares.....	8
2.1	EXPERIÊNCIA EM RELAÇÃO ÀS USINAS NUCLEARES EM OPERAÇÃO	8
2.2	EXPERIÊNCIA EM RELAÇÃO AOS ACIDENTES EM USINAS NUCLEARES.....	10
2.3	GERAÇÃO DE USINAS NUCLEARES DE POTÊNCIA.....	12
3	Processo de Licenciamento Nuclear e Base Normativa	15
3.1	BASE NORMATIVA E CRITÉRIOS DE PROJETO PARA AS ESTRUTURAS CIVIS DE CONCRETO ARMADO	16
3.2	BASE NORMATIVA DE COMPONENTES MECÂNICOS	18
3.2.1	Especificações de Materiais	18
3.2.2	Avaliação dos novos requisitos das normas	19
3.2.3	Componentes do Circuito Primário.....	19
3.3	NORMAS ELÉTRICAS, DE TELECOMUNICAÇÕES, DE ALARMES E PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS, DESCARGAS ATMOSFÉRICAS E PROTEÇÃO FÍSICA	20
4	Proteção Contra Eventos Externos	21
5	Bases do Projeto de Segurança e Salvaguardas de Engenharia	24
5.1	AUMENTO DA SEGURANÇA BASE DE PROJETO.....	24
5.1.1	Aumento da Segurança Base de Projeto nos Sistemas	25
5.1.2	Comparação dos Sistemas de Segurança base de projeto com Projetos Atuais 26	
5.2	AUMENTO DA SEGURANÇA ALÉM DA BASE DE PROJETO.....	29
5.2.1	Comparação dos Sistemas Além da Base de Projeto em Relação a Angra 2.....	29
5.2.2	Comparação com Projetos Atuais	30
6	Sistemas Digitais de Instrumentação e Controle	33
6.1	PRINCIPAIS BENEFÍCIOS DA I&C DIGITAL.....	34
6.2	SALA DE CONTROLE DE ANGRA 3	34
7	Sistemas e Equipamentos Elétricos.....	36
7.1	SISTEMA ELÉTRICO AUXILIAR	36
7.2	SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO, ALARMES E PROTEÇÃO FÍSICA.....	38
7.3	SISTEMAS DE SUPRIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DE EMERGÊNCIA	38
8	Conjunto Turbo-Gerador e Equipamentos do Processo de Geração	40
8.1	CONJUNTO TURBO-GERADOR	40

8.2	GERADOR ELÉTRICO PRINCIPAL	40
8.3	TURBINA	41
8.4	TROCADORES DE CALOR DO SECUNDÁRIO	42
9	Sumário e Conclusões	43
9.1	SUMÁRIO	43
9.2	CONCLUSÕES.....	44

1 **INTRODUÇÃO**

Angra 3 faz parte do primeiro conjunto de duas unidades das oito previstas no Acordo Nuclear Brasil-Alemanha, assinado em 1975, e seu cronograma original previa sua entrada em operação em 1983, 18 meses após sua unidade gêmea Angra 2, ambas tendo como referência de projeto a usina de Grafenrheinfeld na Alemanha, que entrou em operação em 1981.

O longo tempo decorrido desde a entrada em operação da usina alemã de referência já suscitou no caso de Angra 2 questionamentos sobre a atualização do projeto e sobre o seu padrão de segurança, considerando a evolução tecnológica verificada nos 20 anos que transcorreram até a data de entrada sua em operação comercial em janeiro de 2001.

Na oportunidade, FURNAS e NUCLEN, proprietária e projetista, esclareceram que o projeto de Angra 2, em função dos atrasos verificados, pôde incorporar uma ampla gama de melhorias introduzidas nas usinas alemãs que sucederam a usina de Grafenrheinfeld, nivelando seu projeto ao das usinas do Konvoi, última geração das usinas alemãs e que constituem, até hoje, benchmarking de desempenho e padrão de segurança.

Desta forma, claro está que no contexto da retomada de Angra 3, com previsão atual de entrada em operação em 2022, os mesmos questionamentos sejam agora colocados quanto à atualização do projeto e de seu padrão de segurança, dado o novo lapso transcorrido e a evolução tecnológica e de requisitos de segurança verificada durante este período.

O padrão técnico e de segurança do projeto de Angra 3 será discutido nos próximos itens deste relatório sob os seguintes aspectos:

- evolução do padrão técnico das usinas nucleares em nível internacional;
- processo de licenciamento nuclear e base normativa;
- proteção contra eventos externos;
- bases do projeto de segurança e salvaguardas de engenharia;
- sistemas digitais de instrumentação e controle;
- sistemas e equipamentos elétricos;
- grupo turbo-gerador e equipamentos do processo de geração.

2 EVOLUÇÃO DO PADRÃO TÉCNICO DAS USINAS NUCLEARES

2.1 EXPERIÊNCIA EM RELAÇÃO ÀS USINAS NUCLEARES EM OPERAÇÃO

As usinas Angra 2 e 3 são do tipo PWR (“Pressurized Water Reactor”) que é o tipo mais utilizado no mundo conforme tabelas abaixo (usinas em operação e usinas em construção). Estão sendo construídas 60 usinas nucleares (ver Tabela 2) entre elas 50 do tipo PWR.

Estas 50 usinas nucleares do tipo PWR em construção têm os sistemas de geração de energia elétrica similares aos sistemas das usinas Angra 2 e 3. Em relação aos sistemas de segurança, 42 usinas PWR em construção têm os sistemas de segurança similares aos sistemas das usinas Angra 2 e 3. Apenas 8 usinas PWR em construção (AP1000 da Westinghouse) têm os sistemas de segurança extensivamente passivos, isto é, não necessitam de suprimento elétrico para a atuação. As demais 42 usinas PWR em construção, incluindo Angra 3, necessitam de geradores Diesel de emergência para garantir a atuação dos sistemas de segurança.

Portanto a tecnologia das usinas Angra 2 e 3 é similar à maioria das usinas em construção. Adicionalmente, a usina Angra 2 tem acompanhado a experiência operacional da maioria das usinas nucleares em operação através da implementação de diversas melhorias provenientes destas usinas. A usina Angra 3, além de ter a usina Angra 2 como referência, também tem considerado melhorias provenientes da experiência atual de construção de usinas nucleares.

Tabela 1 - Usinas nucleares em operação comercial

Tipo de Reator	Países principais	Quantidade	GWe	Combustível	Refrigerante	Moderador
Pressurised water reactor (PWR)	EUA, França, Japão, Rússia, China	277	257	UO ₂ enriquecido	água	água
Boiling water reactor (BWR)	EUA, Japão, Sweden	80	75	UO ₂ enriquecido	água	água
Pressurised heavy water reactor (PHWR)	Canadá, Índia	49	25	UO ₂ natural	água pesada	água pesada
Gas-cooled reactor (AGR & Magnox)	Reino Unido	15	8	U natural (metal), UO ₂ enriquecido	CO ₂	grafite
Light water graphite reactor (RBMK & EGP)	Rússia	11 + 4	10.2	UO ₂ enriquecido	água	grafite
Fast neutron reactor (FBR)	Rússia	2	0.6	PuO ₂ e UO ₂	sódio líquido	nenhum
TOTAL		438	376			

GWe = potência elétrica bruta

Fonte: Nuclear Engineering International Handbook 2011

Tabela 2 - Usinas nucleares em Construção

País	Nome do Reator	Tipo do Reator	Total MWe
Argentina (1)	Carem25	PWR	25
Belarus (2)	Belarusian 1 e 2	PWR	2 x 1109
Brasil (1)	Angra-3	PWR	1245
China (20)	Fangchenggang 3	PWR	1000
	Fuqing 4, 5, 6	PWR	3 x 1000
	Haiyang 1 e 2	PWR (AP1000)	2 x 1000
	Hongyanhe 5 e 6	PWR	2 x 1000
	Sanmen 1 e 2	PWR (AP1000)	2 x 1000
	Shidaowan 1	HTGR	200
	Taishan 1 e 2	PWR	2 x 1660
	Tianwan 3 e 4	PWR	2 x 990
	Tianwan 5 e 6	PWR	2 x 1000
	Yangjiang 4, 5 e 6	PWR	3 x 1000
China, Taiwan (2)	Lungmen 1 e 2	ABWR	2 x 1300
Finlândia (1)	Olkiluoto 3	PWR	1600
França (1)	Flamanville 3	PWR	1630
Índia (5)	Kakrapar 3 e 4	PHWR	2 x 630
	PFBR	FBR	470
	Rajasthan 7 e 8	PHWR	2 x 630
Japão (2)	Ohma	ABWR	1325
	Shimane 3	ABWR	1325
Paquistão (3)	Chasnupp 4	PWR	315
	Kanupp 2 e 3	PWR	2 x 1014
Rússia (7)	Akademik Lomonosov 1 e 2	PWR	2 x 32
	Baltiisk 1	PWR	1109
	Leningrad 2-1 e 2-2	PWR	2 x 1085
	Novovoronezh 2-2	PWR	1114
	Rostov 4	PWR	1011
Slovak Republic (2)	Mochovce 3 e 4	PWR	2 x 440
Coréia do Sul (3)	Shin-Hanul 1 e 2	PWR	2 x 1340
	Shin-Kori 4	PWR	1340
Ucrânia (2)	Khmelnitski 3 e 4	PWR	2 x 950
Emirados Árabes Unidos (4)	Barakah 1, 2, 3 e 4	PWR	4 x 1345
EUA (4)	Summer 2 e 3	PWR (AP1000)	2 x 1117
	Vogtle 3 e 4	PWR(AP1000)	2 x 1117
Total (60)			59917

Sources: International Atomic Energy Agency PRIS database; project sponsors

Updated: 11/16

ABWR - Advanced Boiling Light-Water-Cooled and Moderated Reactor

FBR - Fast Breeder Reactor

HTGR - High Temperature Gas Reactor

LWGR - Light-Water-Cooled, Graphite-Moderated Reactor

PHWR - Pressurized Heavy-Water-Moderated and Cooled Reactor

PWR - Pressurized Light-Water-Moderated and Cooled Reactor

2.2 EXPERIÊNCIA EM RELAÇÃO AOS ACIDENTES EM USINAS NUCLEARES

Além de acompanhar a experiência operacional de usinas similares incluindo os eventos ocorridos, as usinas Angra 2 e 3 seguiram todas as recomendações dos órgãos licenciadores devido aos acidentes significativos ocorridos.

Estes acidentes, não postulados ou combinação simultânea de acidentes postulados, são chamados de acidentes além da base de projeto.

Análises desses acidentes ocorridos e outros acidentes hipotéticos mostraram que pequenas melhorias podem evitar efeitos catastróficos (análise “cliffing edge”).

Atualmente os órgãos licenciadores exigem que as usinas façam estas análises e apresentem as melhorias que possam reduzir os efeitos de acidentes de baixa probabilidade não prescritos nas bases normativas.

No caso de usinas nucleares em operação, os órgãos licenciadores exigem que seja feita uma análise do seu projeto e que sejam propostas modificações para minimizar os impactos de acidentes similares. As modificações propostas dependem da viabilidade técnica da implantação. Estas modificações não são regulamentadas nem padronizadas para diferentes usinas.

Principais acidentes considerados no projeto de Angra 2 e 3:

Three Mile Island (TMI 2), 1979, EUA (reator tipo PWR)

O projeto das usinas alemãs, referência para Angra 2 e 3, foi verificado conforme a experiência e recomendações resultantes do acidente de TMI 2.

Em 2010, para a licença de construção de Angra 3, foi emitido um documento para o órgão licenciador CNEN, registrando a verificação formal da aplicação de todas as recomendações do órgão licenciador US-NRC (United States - Nuclear Regulatory Commission).

Chernobyl, 1986, Ucrânia (reator tipo RBMK)

O reator de Chernobyl é de um tipo diferente de Angra 2 e 3, portanto várias recomendações técnicas não se aplicam à Angra 2 e 3. Adicionalmente, as consequências graves de liberação de radiação se devem à inexistência de prédio de contenção nos reatores RBMK. Entretanto recomendações em relação a conceitos de projeto (ex. defesa em profundidade, múltiplas barreiras) e a aspectos operacionais (cultura de segurança) foram consideradas em Angra 2 e 3.

Sobre o tema, o “International Nuclear Safety Advisory Group” (INSAG) da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) emitiu vários documentos. O primeiro documento foi o INSAG-1 “Summary report on the post-accident review meeting on the Chernobyl accident” (1986) que analisou o acidente. Posteriormente foram emitidos vários documentos com recomendações devidas ao acidente de Chernobyl como, por exemplo:

- INSAG-3: Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants (1988)
- INSAG-4: Safety Culture (1991)
- INSAG-10: Defence in Depth in Nuclear Safety (1996)

As recomendações destes documentos foram consideradas para Angra 2 e 3.

Fukushima Daiichi, 2011, Japão (reator tipo BWR)

Em 2011 ocorreu o acidente nas usinas de Fukushima, que provocou uma nova onda internacional de reavaliações da segurança das usinas nucleares. O reator de Fukushima Daiichi é de um tipo diferente de Angra 2 e 3, entretanto princípios básicos de projeto, que levaram ao acidente, foram verificados para Angra 2 e 3. Para analisar o acidente nuclear de Fukushima e planejar ações mitigatórias em conjunto com a reavaliação da segurança das unidades da CNAAA foi formado um grupo de trabalho na Eletronuclear, em 20/09/2011. Este trabalho é acompanhado através de relatórios periódicos emitidos pela Eletronuclear e enviados para a CNEN.

O trabalho inclui uma análise das margens de projeto para verificar melhorias que poderiam evitar efeitos catastróficos no caso de acidentes além da base de projeto e de baixa probabilidade (análise “cliffing edge”).

De forma resumida, o Plano de Resposta à Fukushima da Eletronuclear inclui estudos e projetos, abordando os seguintes temas:

- Eventos de ameaças externas: terremotos, deslizamentos de encostas, movimentos do mar, inundações, tornados e furacões;
- Eventos de ameaças internas: incêndios e inundações por rupturas de tubulações, tanques, etc.
- Iniciativas relativas a Angra 1, Angra 2 e da Central CNAAA (capacidade de resfriamento e medidas mitigadoras):
 - Resfriamento direto do Reator e via Secundário;
 - Resfriamento da Piscina do Combustível;
 - Alternativas de Suprimento de Energia Elétrica de Emergência;
 - Análises de Segurança e Procedimentos para Acidentes Severos;
 - Integridade da Contenção;
 - Instrumentação Pós-Acidente;
 - Fontes de Suprimento de Água Doce para Resfriamento dos Reactores e Piscinas;
 - Acessibilidade às Áreas de Trabalho;
 - Implantação dos Recursos de Equipamentos Móveis para Emergências;
 - Suporte ao Plano de Emergência.

A avaliação dos impactos do acidente e as melhorias a serem introduzidas nas usinas em operação e em Angra 3, em construção, movimentou todas as operadoras de usinas, órgãos regulatórios, empresas de engenharia, centros de pesquisa, e várias instituições do mundo inteiro. No Brasil, foram contratados especialistas em ameaça sísmica, em eventos meteorológicos, movimentos marítimos, em deslizamentos de encostas, para que se reavaliasse o risco de um acidente similar ou de outra natureza ocorrer no sítio de Angra. Anos depois do acidente, foi possível conhecer mais detalhadamente os riscos específicos e as medidas mitigatórias que deveriam ser implementadas em cada unidade.

No caso do projeto de Angra 3, optou-se por implementar as modificações necessárias nos sistemas críticos, à medida em que os estudos fossem sendo concluídos, sem parar o empreendimento para aguardar todas as consequências das reavaliações decorrentes de Fukushima. Esta foi também a opção da maioria dos empreendimentos nucleares em construção no mundo inteiro.

2.3 GERAÇÃO DE USINAS NUCLEARES DE POTÊNCIA

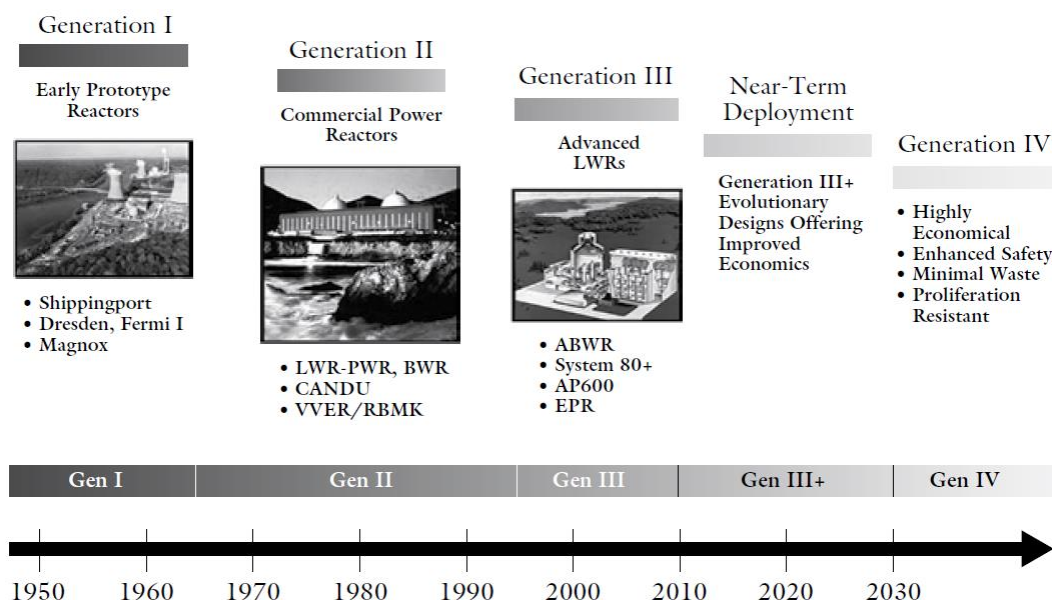
A classificação do projeto de usinas nucleares de potência em gerações é mais uma associação à cronologia dos projetos do que uma classificação técnica. Obviamente, a tecnologia é mais avançada com o tempo. Descrevendo simplificada, as gerações são as seguintes:

- **Geração I:** os primeiros protótipos de usinas nucleares de potência nas décadas de 1950 e 1960.
- **Geração II:** usinas nucleares comerciais seguindo padrões econômicos e confiáveis nas décadas de 1970 a 1990. Basicamente são as usinas conhecidas como PWR (ex. SIEMENS-KWU, Westinghouse, Framatome, VVER da Rússia), BWR (ex. GE) e CANDU (Canadá).
- **Geração III:** usinas nucleares da Geração II com melhoramentos do projeto para o estado da arte nas décadas de 1990 e 2000. Essencialmente reatores PWR e BWR chamados de avançados (APWR, ABWR). Exemplos de projetos Geração III:
 - EPR (PWR, AREVA) Atualmente, usinas em construção na Finlândia, França e China.
 - ABWR (BWR, Hitachi) Atualmente, usinas em operação no Japão desde 1996.
 - AP600 (PWR, Westinghouse) Projeto desenvolvido, mas não há previsão de construção.
 - APR-1400 (PWR, Coreia do Sul). Projeto evolutivo das usinas PWR da Combustion Engineering. Uma usina em operação na Coreia do Sul desde Janeiro de 2016.
 - VVER (PWR, Rússia). Diversos modelos em construção (VVER-1200/491, VVER-1200/513, VVER-1200/392M). Os reatores VVER são baseados em um sistema primário padrão, entretanto, existem vários modelos desde a Geração II com características técnicas diferentes.

- **Geração III+:** usinas nucleares a partir de 2010 que são o desenvolvimento evolutivo de usinas anteriores. Por exemplo, os seguintes projetos são classificados pelos seus projetistas como Geração III+:
 - AP1000 (PWR, Westinghouse) Projeto baseado no AP600 com maior potência.
 - EPR (PWR, AREVA) Atualmente classificado como Geração III+ apesar da literatura anterior apresentar como Geração III.
 - VVER-1200/392M (PWR, Rússia) Atualmente classificado como Geração III+ apesar da literatura anterior apresentar como Geração III.
- **Geração IV:** usinas nucleares com novas tecnologias de segurança e rejeitos com previsão de construção a partir de 2030.

Como se pode ver abaixo na Figura e na Tabela do documento “Nuclear Reactors: Generation to Generation” (Stephen M. Goldberg and Robert Rosner, American Academy of Arts & Sciences, 2011), a classificação por gerações está claramente relacionada com a época do projeto que então é feito com o estado da arte atual.

Não se pode atribuir características técnicas às Gerações de usinas nucleares. Por exemplo, o uso extensivo de sistemas de segurança passivos, só foi implantado efetivamente no projeto AP1000 da Westinghouse que ainda não entrou em operação. Os demais projetos Geração III e III+ incluem evoluções das mesmas características técnicas dos seus antecessores, incluindo alguns sistemas de segurança passivos, utilizando tecnologias atuais. Em geral a evolução inclui o aumento da potência gerada.



Reprinted from U.S. Department of Energy, Office of Nuclear Energy, “Generation IV Nuclear Energy Systems: Program Overview” (Department of Energy, n.d.), <http://nuclear.energy.gov/genIV/neGenIV1.html>.

Figura 1 – Evolução das Usinas Nucleares

Cód O&M 042/04

Tabela 3 – Construção de Usinas Nucleares no Mundo

Reactor designs	China	France	Japan	Republic of Korea	Russia	Other Countries	Total GW
Gen II							
CPR-1000 (Gen II)	18						19.4
CNP series (Gen II)	3						2.0
OPR-1000 (Gen II)				4			4.0
VVER series (Gen II)					7	4	12.3
Gen III							
APR-1400 (Gen III)*				2			2.7
ABWR (Gen III)			2			2	5.4
APWR (Gen III)			2				3.1
Gen III +							
AP-1000 (Gen III+)†	4						4.8
EPR (Gen III+)	2	1				1	6.6
Sub-total	27	1	4	6	7	7	
Total							60.3

* The United Arab Emirates has ordered four APR-1400 reactors.

† The table does not include four U.S. AP-1000 reactor projects. Construction is underway in the United States at the Vogtle sites, and preparation is underway at the Virgil C Summer sites.

Modified from: S&P Credit Research, *Global Nuclear Power Development Offers Lessons for New U.S. Construction* (New York: Standard & Poor's, 2010).

O projeto da usina nuclear de Angra 3 tem as seguintes características:

- A usina de referência é a usina Angra 2 que foi baseada nas usinas PWR da SIEMENS-KWU que têm os sistemas de segurança com um grau de redundância superior aos demais projetos de usinas nucleares.
- Foram incluídas no projeto de Angra 3 todas as modificações efetuadas em Angra 2 para o aumento de desempenho. É exigência do órgão licenciador CNEN que toda a experiência operacional de Angra 2 seja analisada para Angra 3. Devido a esta exigência o projeto de Angra 3 inclui modificações além do que está implantado em Angra 2.
- Aumento da potência elétrica de 1350 MWe em Angra 2 para 1405 MWe em Angra 3.
- Sistemas de Instrumentação e Controle (I&C) digital do mesmo tipo utilizado nos projetos atuais de usinas nucleares. Estes sistemas permitem uma monitoração e automação do processo muito superior e mais confiável.

Estas características mostram que o projeto de Angra 3 passou pelo mesmo processo dos projetos Geração III e III+. Por não ser um projeto comercial padrão oferecido no mercado, o projeto de Angra 3 não aparece na literatura atribuído a uma Geração de usinas nucleares.

3 PROCESSO DE LICENCIAMENTO NUCLEAR E BASE NORMATIVA

Devido ao grande intervalo entre o projeto de Angra 2 e o projeto de Angra 3, várias normas da base de projeto foram modificadas.

Essencialmente a base normativa de Angra 2 e 3 é constituída de:

- Normas da CNEN (normas básicas para licenciamento no Brasil).
- Normas da base normativa da Alemanha para usinas nucleares (normas KTA, “Kerntechnischer Ausschuss”), utilizadas amplamente para Angra 2 e 3.
- Normas da base normativa dos Estados Unidos da América para usinas nucleares (guias reguladores da US-NRC, “Nuclear Regulatory Commission”), utilizadas para casos específicos de Angra 2 e 3 (por exemplo para os seguintes pontos: monitoração meteorológica, queda de avião, tornado, explosão de TNT).

Para o licenciamento de Angra 3, esta base normativa foi considerada no status existente na época do pedido da licença de construção (2003) ao órgão licenciador CNEN. Para Angra 3, a base normativa completa de Angra 2 foi verificada e atualizada, desvios foram justificados e o resultado foi indicado no “Relatório Preliminar de Análise de Segurança” (RPAS), que foi submetido ao órgão licenciador CNEN para a obtenção da licença de construção. A licença de construção foi concedida pela CNEN no início de 2010, estabelecendo uma série de condicionantes a serem cumpridas pela Eletronuclear para as liberações subseqüentes do projeto.

O projeto de Angra 2 teve início na década de 70, considerando as normas e “standards” vigentes à época e aplicáveis à sua usina de referência “Grafenrheinfeld conforme aprovada”. Ao longo do período de construção, dados os atrasos verificados no desenvolvimento da obra, o projeto foi sendo atualizado, incorporando a evolução dos requisitos aplicados às usinas do padrão KWU 1300MW posteriores a Grafenrheinfeld e a própria experiência operacional destas usinas.

Como resultado deste processo, Angra 2, ao final do período de construção e comissionamento, incorporava aperfeiçoamentos introduzidos nas novas usinas construídas após Grafenrheinfeld, resultando em uma configuração técnica comparável às últimas usinas construídas na Alemanha, a chamada série Konvoi.

Neste processo de atualização da sua configuração técnica, novas revisões de normas e normas não consideradas inicialmente foram incorporadas ao projeto, de tal forma que a base normativa final de Angra 2 contempla normas em edições que variam desde 1977, aquelas de critérios gerais e aquelas adotadas para as atividades iniciais do empreendimento, até edições do final da década de 90, dependendo da atividade e da fase do projeto em que a referida norma se aplica.

Esta base normativa final de Angra 2, na condição “conforme construída”, constitui a referência inicial para o projeto de Angra 3, e, como tal, foi considerada na preparação

do PSAR, submetido à CNEN no âmbito do processo de obtenção da Licença de Construção.

Já no processo de licenciamento de Angra 3, a ELETRONUCLEAR encomendou à AREVA, sucessora da Siemens AG nos contratos de fornecimento de bens e serviços importados para Angra 2 e 3, uma análise geral sobre a evolução verificada nas normas aplicáveis a Angra 2 no período de 2000 a 2007. Esta análise concluiu não ter havido ações de “backfitting” nas usinas alemãs do mesmo padrão de Angra 2 em operação resultantes de novos requisitos.

Cumprе ressaltar que, após a entrada em operação comercial em dezembro de 2000, o projeto de Angra 2 continuou evoluindo, incorporando modificações de projeto resultantes da experiência adquirida no processo de comissionamento da unidade e da consideração da experiência operacional das usinas alemãs do mesmo padrão de Angra 2.

Conforme estabelecido nos procedimentos de trabalho, a preparação dos documentos de projeto de Angra 3 considera as modificações de projeto introduzidas em Angra 2 após sua entrada em operação comercial bem como outras modificações decididas na fase de planejamento do empreendimento, considerando, inclusive, modificações que não puderam ser implementadas em Angra 2.

No processo de licenciamento de Angra 3, a ELETRONUCLEAR acessou o documento preparado em 2008 pelo governo alemão para a Convenção Internacional de Segurança Nuclear (“Convention on Nuclear Safety – Report by the Government of the Federal Republic of Germany for the Fourth Review Meeting in April 2008”), em que as autoridades alemãs asseguram o elevado padrão de segurança das usinas nucleares em operação na Alemanha de acordo com padrões internacionais, não obstante a decisão de desligamento progressivo das usinas alemãs, e a manutenção dos “Safety Standards” (KTA) no estado da arte da ciência e tecnologia, seja por revisão ou por revalidação, a intervalos não superiores a 5 anos.

O documento, em seu Apêndice 5, lista os documentos de critério emitidos pelo BMI/BMU, os documentos de diretrizes do RSK e as normas KTA válidos na Alemanha, indicando, no caso das normas KTA, a edição original, as edições posteriores e a edição válida.

Estes documentos constituem o núcleo da base normativa alemã considerados no processo de análise da evolução dos requisitos estabelecidos nas normas aplicadas no projeto da usina de referência Angra 2 e de avaliação de sua aplicação ao projeto de Angra 3.

A seguir são apresentadas as modificações relevantes devidas à atualização da base normativa.

3.1 BASE NORMATIVA E CRITÉRIOS DE PROJETO PARA AS ESTRUTURAS CIVIS DE CONCRETO ARMADO

O projeto civil de Angra 3 baseia-se em normas brasileiras pertinentes e atuais, com suporte de normas estrangeiras para os casos omissos ou não previstos pelas normas nacionais.

A norma brasileira NBR 6118 (de 2003) – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento, para estruturas de concreto, estabelece os requisitos e critérios de segurança para projeto de estruturas de prédios convencionais e usuais, em todo território nacional, não incluindo requisitos exigíveis para evitar estados limites gerados por ações como sismos, impactos, explosões e fogo. Não se trata, assim, de um procedimento específico para projetos de centrais nucleares, nos quais critérios de segurança específicos precisam ser considerados na análise de carregamentos excepcionais e, ainda, onde a qualidade da obra é assegurada por um rígido controle dimensional e tecnológico dos materiais.

Desta forma, optou-se por utilizar em Angra 3 a norma alemã DIN 25449 de 2008 (“Bauteile aus Stahl und Spannbeton in Kerntechnischen Anlagen – Sicherheitskonzept, Einwirkungen, Bemessung und Konstruktion”), norma específica para centrais nucleares, que define os critérios de segurança referentes às condições de carregamentos excepcionais. Assim, para os casos de acidentes postulados e terremoto, foram determinados os carregamentos básicos, seus fatores de ponderação e combinações, bem como os fatores de minoração das resistências dos materiais.

Também foi adotada a norma alemã DIN 1055 de 2001 (“Einwirkungen auf Tragwerke Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln”), norma para construções usuais, que define os critérios de segurança referentes à condição normal de operação, no sentido de se manter uma coerência com os critérios estabelecidos pela DIN 25449.

A decisão de se adotar a NBR 6118 de 2003 para dimensionamento, foi tomada com base no fato desta norma brasileira estar em sintonia com as normas alemãs DIN 25449 e DIN 1055, no que se refere às regras de dimensionamento, ou seja, todas são procedimentos vigentes, atuais e fundamentados no conceito de coeficientes de ponderação parciais conforme prescreve o estado da arte.

Em suma, no projeto civil de Angra 3, os critérios de segurança (resumidos na definição dos carregamentos básicos, suas combinações e coeficientes de ponderação, bem como nos coeficientes de minoração da resistência dos materiais) são os estabelecidos nas normas DIN 1055 e DIN 25449. Já a NBR 6118 foi considerada, em sua totalidade, no tocante às regras de dimensionamento e detalhamento das armaduras.

O projeto civil de Angra 3 tomou por base o projeto de Angra 2, sendo adequado para atender às condições específicas de construção direta sobre rocha e a revisão da classificação sísmica dos prédios (Edifício de Controle, Diesel de Emergência, etc).

Além da adoção de base normativa atualizada no projeto das estruturas de concreto armado, todos os carregamentos atuantes sobre as estruturas foram revisados e atualizados, em especial, no que diz respeito àqueles gerados pelos eventos externos, conforme descrito no item 5 que se segue.

Além disso, o processo de licenciamento do projeto civil foi diferente do de Angra 2, ficando cada etapa de construção de cada um dos edifícios de segurança sujeita à verificação do projeto executivo (cálculo de esforços, dimensionamento estrutural das formas e armações), sendo as liberações realizadas nível por nível das edificações.

Nos últimos anos, o projeto civil das estruturas de segurança passou a ser verificado através de empresa especializada independente, que passou a emitir laudos técnicos,

com base em procedimento estabelecido pela órgão licenciador, relativos a todos os detalhes do projeto executivo. Esta verificação independente tem contribuído para dar uma garantia adicional à qualidade do projeto civil de Angra 3.

3.2 BASE NORMATIVA DE COMPONENTES MECÂNICOS

De maneira geral e para verificar o atendimento da base normativa alemã de Abril de 2003 pelo projeto dos componentes mecânicos e especificações de materiais de Angra 3, os seguintes passos foram adotados:

- Elaboração de comparativos para as especificações de componentes mecânicos indicando as normas referenciadas na especificação, a versão utilizada para Angra 2 e as novas versões existentes das referidas normas.
- Verificação nas seções do PSAR, onde os componentes são descritos, a aplicação de outras normas, e fazer o mesmo comparativo;
- Avaliação de novas normas KTA aplicáveis;
- Para cada componente, identificação do possível impacto no projeto devido a novos requisitos das normas envolvidas, bem como propostas de solução; Esta análise se restringiu a componentes relacionados à segurança, cujos requisitos de categoria são de 1 a 3.
- Para válvulas, considerando-se a grande quantidade de itens ainda a serem adquiridos e a evolução mercadológica, revisão das especificações correspondentes e introdução das versões atuais das normas aplicáveis;
- Para componentes mecânicos, para os quais existem especificações individuais, ex: revestimento de piscinas, máquina de recarga, racks para armazenamento de elementos combustíveis, pontes rolantes e dispositivos de movimentação de carga, etc, cujos processos de contratação para Angra 3 não tinham sido iniciados, as respectivas especificações foram revisadas objetivando adotar-se base normativa atualizada.
- Para componentes / equipamentos já fornecidos, como por exemplo os componentes do circuito primário (que foram projetados e fabricados no final da década de 70, tanto para Angra 2 quanto para Angra 3, e seguiram a base normativa da época, utilizada na usina de referência Grafenrheinfeld) ou outros para os quais a adoção de novas normas impliquem em modificações substanciais no projeto da planta, p.ex: contenção, tanques/ vasos e trocadores de calor, justificativas técnicas foram apresentadas à CNEN para manutenção da base normativa conforme Angra 2 “As Built”.

3.2.1 Especificações de Materiais

No que diz respeito aos materiais regidos pelas especificações MS-D1, D2, D3 e MS-S1, S2, S3 e como o desenvolvimento da indústria levou a alteração significativa dos

materiais que podem ser produzidos, as especificações e requisitos de materiais aplicáveis à Angra 3 foram atualizados. Para materiais de itens e componentes relacionados à segurança da planta, optou-se nesta atualização por especificar os requisitos mais restritivos entre o que foi aplicável para Angra 2 e o que estabelece as versões atualizadas das Normas Europeias (Euro-Norm).

Portanto a versão de todos os códigos e normas aplicáveis para os materiais utilizados em Angra 3 é a última versão válida dos documentos aplicáveis a Angra 2.

3.2.2 Avaliação dos novos requisitos das normas

Os novos requisitos identificados como aplicáveis ao projeto de Angra 3 foram avaliados quanto ao seu atendimento pelo projeto existente, à sua viabilidade de implementação e relevância para a segurança, submetendo à CNEN um posicionamento técnico quanto à incorporação dos mesmos no projeto.

A avaliação da relevância da incorporação do requisito considerou o ganho de segurança para a instalação, podendo recorrer, para tal, a abordagens determinísticas ou probabilísticas, considerando na avaliação o padrão de segurança e experiência operacional das usinas alemãs do padrão PWR 1300MW similares a Angra 3 em operação na Alemanha.

No que se refere à viabilidade de incorporação dos requisitos ao projeto, foram considerados aspectos como a situação da estrutura, sistema ou componente no que se refere ao status de seu fornecimento para o empreendimento, a magnitude das modificações decorrentes da sua incorporação e os decorrentes impactos de prazos e custos para o empreendimento.

A avaliação da incorporação dos novos requisitos foi devidamente documentada, de forma a permitir sua verificação pela CNEN no processo de licenciamento.

A não incorporação de requisitos foi tecnicamente justificada pela ELETRONUCLEAR, considerando, inclusive, medidas compensatórias no sentido da segurança da instalação.

3.2.3 Componentes do Circuito Primário

No início da década de 80 começaram a ser emitidas as normas KTA da série 3201 para componentes do circuito primário e da série 3211 para os sistemas conectados ao circuito primário. Estas normas consolidaram a experiência alemã no projeto e fabricação de componentes do circuito primário, e fixaram nestes documentos várias informações dispersas em diversos documentos, como por exemplo, o material especificado na KTA 3201 – Anexo 1, para os componentes do circuito primário, é o mesmo 20MnMoNi55 utilizado em Angra 2 e Angra 3.

De forma similar, os itens de projeto, fabricação e inspeção seguiram também a mesma prática alemã e formaram a base das normas KTA 3201 e 3211. Desta forma estas normas foram adotadas para os componentes mecânicos do sistema primário (

KTA 3201) e para os sistemas fora do sistema primário classificados com requisitos de segurança nuclear.

No caso dos componentes do circuito primário, verificou-se que as normas novas estabelecem, praticamente, o mesmo nível de tensões das normas antigas e, portanto, estes equipamentos, já projetados, fabricados e inspecionados conforme as normas de Angra 2, não precisaram ser reanalisados conforme as normas atuais. Esta questão foi analisada e aprovada pelo órgão regulador (CNEN), que aceitou que as especificações dos equipamentos que já haviam sido fornecidos atendiam perfeitamente à qualificação requerida.

3.3 NORMAS ELÉTRICAS, DE TELECOMUNICAÇÕES, DE ALARMES E PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS, DESCARGAS ATMOSFÉRICAS E PROTEÇÃO FÍSICA

A norma de segurança KTA 3701 estabelece os conceitos básicos dos arranjos e redundâncias de distribuição elétrica para o sistema elétrico auxiliar das Usinas nucleares alemãs, similares Angra 2 e 3; para Angra 3 esta norma foi utilizada na sua versão atualmente válida, edição Junho 1999 (revalidada em 11/2004). As demais normas de segurança KTAs com referências ao projeto e dimensionamento de sistemas de emergência, telecomunicações, etc., aplicáveis, foram utilizadas em suas revisões atuais válidas e/ou limitadas à Abril de 2003 para sistemas e componentes já fornecidos, conforme documentação de licenciamento de Angra 3.

Além disso, para sistemas, componentes e equipamentos elétricos, de telecomunicações, de proteção contra incêndio, e de proteção física, foram utilizadas as normas industriais básicas atualmente válidas, tais como DIN, VDE, IEC, IEEE, ABNT, etc., cuja evolução acompanha o estado da arte da indústria mundial, contemplando os novos equipamentos adquiridos: painéis de distribuição, grupos geradores Diesel de emergência, sistemas elétricos de proteção, sistemas de telecomunicações e instalações prediais, etc. Estas normas são requisitos básicos das especificações técnicas dos documentos de aquisição quer seja de escopo nacional ou importado.

Consequentemente, todos os novos equipamentos adquiridos, seja no mercado nacional ou de suprimento importado, foram fabricados ao estado da arte contemplando todos os requisitos normativos atualmente válidos.

Para componentes elétricos já entregues, fabricados pelas normas vigentes ao tempo de sua fabricação, por exemplo, gerador elétrico principal, foi previsto um upgrade normativo e de potência, incluindo seus sistemas auxiliares (água de e hidrogênio de refrigeração, etc.), conforme procedimentos recomendados pelo fabricante;

4 PROTEÇÃO CONTRA EVENTOS EXTERNOS

Além da atualização da base normativa de projeto das estruturas de concreto armado, em relação à de Angra 2, todos os carregamentos atuantes sobre as estruturas foram revisados e atualizados, em especial, no que diz respeito àqueles gerados pelos eventos externos (eventos naturais e antrópicos).

A velocidade do vento adotada no projeto de Angra 3, para as condições normais de operação, foi revisada, considerando os registros de estações meteorológicas no sítio da CNAEA e extrapolando para obter valores para um período de retorno de 100 anos. Passou-se a adotar a norma brasileira (NBR 6123, de 1988) como procedimento de cálculo das forças devidas ao vento em edificações.

Além disso, foi realizado um estudo sobre a ocorrência de ventos extremos, com um levantamento dos registros de tornados no Brasil. Com base nos dados deste tipo de eventos na região, foi realizada uma análise probabilística, seguindo procedimentos recomendados pela norma americana para Usinas Nucleares (USNRC RG 1.76, 2007), obtendo-se velocidades máximas em torno de 209 km/h, com uma probabilidade de ocorrência de 10-7/ano. No projeto de Angra 3, adotou-se uma velocidade ainda maior, de 242 km/h, correspondente à velocidade de um tornado de categoria 3 na escala Fujita, correspondente aos maiores eventos já registrados no país. Todos os efeitos de um tornado dessa magnitude (pressões positivas e negativas, bem como os mísseis gerados) foram considerados no projeto das estruturas de segurança de Angra 3.

A norma americana e os guias atuais da Agencia Internacional de Energia Atômica (AIEA) foram utilizados na definição e avaliação dos efeitos de uma explosão postulada de uma carga de 23 toneladas de TNT num caminhão trafegando na BR 101 sobre as estruturas de segurança de Angra 3.

No caso do terremoto de projeto, definido por processos determinísticos pela empresa americana "Weston Geophysical Research" para o sítio das usinas de Angra dos Reis, foi realizada uma análise probabilística da ameaça sísmica pela PUC-Rio em 1998-2000, validando o nível de aceleração originalmente adotado como 0,1 g na rocha sã, na direção horizontal.

No projeto de Angra 3 foi adotada uma nova hipótese conservadora para o caso de ocorrência de um terremoto, em que todos as estruturas civis projetadas para terremoto passaram a ser também projetadas para uma onda de pressão (Burst Pressure Wave - BPW) decorrente da ruptura de um grande tanque de água de alimentação, pressurizado, que existe no prédio da turbina, não qualificado para resistir ao terremoto de projeto. Mesmo já existindo um prédio em Angra 2 que desempenha a função de segurança para garantir o desligamento seguro da Usina em caso de terremoto e BPW, combinados os efeitos, todos os prédios de qualificação sísmica em Angra 3, como o UBP (Edifício do Gerador Diesel de Emergência) e UBA (Edifício de Controle da Usina), passaram a ser projetados também para os efeitos combinados com o BPW, criando margens adicionais de segurança no projeto. Mantiveram-se em Angra 3 todas as redundâncias e sistemas de segurança já existentes em Angra 2, sem que a referida reclassificação das estruturas civis fosse utilizada para tirar partido da maior autonomia dos sistemas de segurança disponíveis no UBP e UBA.

Após a ocorrência do tsunami que afetou as Usinas Nucleares em Fukushima, no Japão, em 2011, a Eletronuclear reagiu imediatamente buscando, através de um amplo Plano de Resposta a Fukushima, verificar as bases de projeto de suas Usinas no sítio da CNAAA através de novos estudos e reavaliações das proteções contra eventos externos: terremoto, inundações, deslizamento das encostas, efeitos de eventos meteorológicos extremos (tornados e furacões), ondas máximas, etc.

Os estudos realizados indicaram que o projeto das Usinas tem margens suficientes para garantir a segurança em relação a eventos naturais que possam vir a superar as bases de projeto.

O sistema de drenagem pluvial dos pátios das Unidades 1 e 2 da CNAAA foram projetados no passado e verificados para chuvas com tempo de concentração e de duração de 10 minutos e tempo de recorrência de 1.000 anos, não sendo constatado qualquer alagamento.

No âmbito do Plano de Resposta a Fukushima, estudos de ocorrência de eventos extremos na CNAAA, que pudessem proporcionar chuvas cujos parâmetros pudessem ultrapassar as bases de projeto utilizadas nas instalações, foram desenvolvidos, através de modelagem matemática, e considerando diversos cenários de ocorrência. Os resultados e análises obtidos permitem concluir que as bases de projeto utilizadas para o dimensionamento das estruturas do sistema de drenagem pluvial da CNAAA fornecem margens de segurança suficientes contra a ocorrência de eventos extremos que possam provocar o alagamento do sítio.

Especificamente para a posição de Angra 3, os resultados obtidos são ainda melhores, pois além de estar 1 metro acima dos pátios de Angra 1 e 2, a simulação com uma chuva com tempo de concentração e de duração de 15 minutos, e tempo de recorrência de 10.000 anos, mostra que não ocorrem lâminas d'água significativas, podendo-se concluir que o escoamento do sistema de drenagem pluvial do pátio possui capacidade de ser conduzido pela rede projetada, mesmo em casos de eventos extremos.

Para a questão do controle de deslizamentos das encostas, foram realizados estudos, também no âmbito do Plano de Resposta a Fukushima, que englobaram a reavaliação das obras de estabilização e do sistema de monitoração existentes, a avaliação da situação extrema de ruptura das encostas e a atualização do mapeamento geológico-geotécnico no entorno da CNAAA. Esses estudos levaram à conclusão de que a CNAAA está segura em relação a acidentes naturais decorrentes de escorregamento de encostas.

No caso dos terremotos, de maneira geral, o projeto das estruturas e componentes possui margens de segurança para resistir a solicitações de 2 a 3 vezes superiores às de projeto.

Estudos recentes e mais detalhados da ameaça sísmica em bases probabilísticas, de acordo com as normas americanas atuais, nos forneceram espectros de resposta que já estão sendo utilizados na Análise Probabilística de Segurança (APS) das Usinas. Os primeiros resultados indicam que o risco sísmico das Usinas está em níveis compatíveis com os índices de segurança internacionais. Além disso, a APS permitirá investigar os pontos mais críticos nos quais será possível atuar para aumentar ainda mais as margens de segurança já existentes.

Além disso, os eventos meteorológicos extremos (tornados e furacões) foram reavaliados. O efeito de eventos meteorológicos extremos no oceano foi levado em conta na verificação das ondas máximas que possam vir a atingir o sítio das Usinas. Mesmo com a proteção natural gerada pela Baía de Ilha Grande, e já tendo um molhe de proteção da tomada d'água das Usinas, projetado para resistir a ondas de cerca de 4 metros de altura, análises estão andamento para verificar o efeito de ondas ainda maiores.

5 BASES DO PROJETO DE SEGURANÇA E SALVAGUARDAS DE ENGENHARIA

5.1 AUMENTO DA SEGURANÇA BASE DE PROJETO

Os acidentes base de projeto são claramente definidos por norma. Diversos sistemas de segurança são projetados para controlar os acidentes postulados, mitigando a liberação de radiação para o meio ambiente.

A seguir são apresentados:

- Sistemas de segurança que foram modificados em relação à usina de referência Angra 2.
- Comparação dos sistemas de segurança de Angra 3 com outros projetos atuais.

Em relação aos projetos atuais de usinas do tipo PWR, é necessário distinguir dois tipos de projetos de sistemas de segurança:

- 1) Sistemas de segurança extensivamente passivos (apenas no projeto AP1000 da Westinghouse em construção):
 - Atuação automática inicial de componentes por suprimento elétrico de baterias (ex. alinhamento de válvula)
 - Atuação passiva (ex gravidade) do sistema para a mitigação do acidente (ex. não são necessárias bombas elétricas) durante 72 horas.
- 2) Sistemas de segurança ativos com algumas características passivas (Angra 3 e demais reatores PWR em construção além dos reatores PWR em funcionamento):
 - Atuação automática inicial de componentes por suprimento elétrico de baterias (ex. alinhamento de válvula).
 - Necessidade de geradores Diesel de emergência para a atuação de componentes relevantes (ex. bombas) durante 72 horas.

As análises e comparações de Angra 3 apresentadas abaixo se referem a comparações com projetos de usinas do tipo PWR similares.

5.1.1 Aumento da Segurança Base de Projeto nos Sistemas

No caso dos sistemas de segurança para os acidentes base de projeto, conforme requerido por norma, apenas os sistemas relacionados com a redução de Hidrogênio na contenção têm uma configuração diferente em Angra 3 se comparado com Angra 2:

JMT – Sistema de Redução de Hidrogênio

Em Angra 2 existe um sistema que extrai a ar da contenção e faz a recombinação do Hidrogênio em recombinadores ativos fora da contenção. Este sistema é capaz de reduzir quantidade de Hidrogênio para os acidentes base de projeto.

Recentemente, foi instalado em Angra 2, um sistema passivo de recombinação catalítica de Hidrogênio com capacidade de reduzir quantidade de Hidrogênio para os acidentes além da base de projeto. O sistema é composto de 60 recombinadores de Hidrogênio (apenas 4 recombinadores são suficientes para os acidentes base de projeto. Com este novo sistema, o sistema anterior não é necessário.

Em Angra 3 será instalado o mesmo sistema passivo de recombinação catalítica de Hidrogênio de Angra 2, com capacidade de reduzir quantidade de Hidrogênio para os acidentes além da base de projeto base de projeto.

JMV – Sistema de Mistura de Hidrogênio

Em Angra 2 existe um sistema de ventiladores para homogeneizar a concentração de Hidrogênio no ar da contenção que então seria extraído da contenção para recombinação (sistema JMT antigo de Angra 2).

Com a instalação do sistema passivo de recombinação catalítica de Hidrogênio (JMT) com 60 recombinadores, o Sistema de Mistura de Hidrogênio (JMV) não é necessário e, portanto, não será instalado em Angra 3.

JMU – Sistema de Monitoração de Hidrogênio

Em Angra 2 existe um sistema de monitoração de Hidrogênio através do qual são extraídas amostras da contenção para avaliação da concentração de Hidrogênio em laboratório. Esta monitoração é necessária para se atuar o antigo Sistema de Redução de Hidrogênio (JMT) em Angra 2.

No caso do sistema passivo de recombinação catalítica de Hidrogênio, não haveria necessidade de monitorar a concentração de Hidrogênio porque não existe necessidade de atuação do operador. Entretanto a monitoração de Hidrogênio na contenção é requerida por norma.

Em Angra 3 será instalado um sistema que monitora a concentração de Hidrogênio, Monóxido de Carbono (CO) e vapor. Este sistema cobre os acidentes além da base de projeto e é importante para acidentes além da base de projeto.

5.1.2 Comparação dos Sistemas de Segurança base de projeto com Projetos Atuais

5.1.2.1 Comparação com o EPR (PWR AREVA)

Os sistemas de segurança, para os acidentes base de projeto, no EPR são similares aos de Angra 3 com pequenas diferenças nos parâmetros compatíveis com as diferenças do projeto (potência, temperaturas, etc.). Entretanto nos seguintes casos há diferença relevante:

Acumuladores

Os acumuladores são tanques pressurizados que descarregam água no reator no caso de vazamento do refrigerante do reator (LOCA – Loss of Coolant Accident). É um sistema passivo (independe de energia elétrica) muito importante para evitar danos no núcleo do reator.

- O EPR tem 4 acumuladores com 35 m3 de água cada.
- Angra 3 tem 8 acumuladores com 34 m3 de água cada.

O dimensionamento deste sistema passivo em Angra 3 é substancialmente melhor que no EPR.

Sistema Extra de Boração

O Sistema Extra de Boração é utilizado nos seguintes casos:

- Injetar boro no reator no caso de evento externo (ex. terremoto).
- Injetar boro no reator no caso de falha do desligamento normal por barras de controle (ATWS – Anticipated Transient Without Scram).

Angra 3 tem 4 sistemas de 50% de maneira a funcionar adequadamente se houver manutenção em um sistema e uma falha na atuação de outro sistema.

O EPR tem 2 sistemas de 100% de maneira a funcionar adequadamente uma falha na atuação de outro sistema. Como estes sistemas tem bombas que necessitam manutenção periódica, o órgão licenciador da Finlândia requereu a instalação de uma bomba extra que pode ser substituir uma bomba em manutenção.

O Sistema Extra de Boração de Angra 2 é mais adequado do ponto de vista de redundâncias e de separação física.

Geradores Diesel de Emergência

Angra 3 e o EPR tem 4 geradores Diesel de emergência principais para alimentar automaticamente os sistemas de segurança no caso de perda da alimentação elétrica externa.

Adicionalmente, Angra 3 tem mais 4 geradores Diesel de emergência de menor capacidade com duas funções automáticas:

- Alimentação de água de emergência dos geradores de vapor (bombas acopladas ao eixo do motor Diesel).
- Alimentação elétrica para um conjunto de sistemas de segurança (para eventos externos, sabotagem, etc.), no caso de falha de um gerador Diesel de emergência principal.

O EPR tem mais 2 geradores Diesel de emergência de menor capacidade nos quais se pode conectar, manualmente, cargas dos sistemas de segurança.

A solução de Angra 3 tem as seguintes vantagens em relação à solução do EPR:

- Geradores Diesel de emergência adicionais em maior quantidade (maior disponibilidade).
- Geradores Diesel de emergência adicionais com atuação automática (resposta mais rápida do que no caso de conexão manual).
- Diversidade nos sistemas de alimentação de água dos geradores de vapor (bombas normais com motores elétricos e bombas de emergência com motores Diesel).

Sistema de Proteção do Reator - Sensores

O Sistema de Proteção do Reator detecta os acidentes na usina e toma as seguintes ações:

- Desligamento rápido do reator
- Acionamento dos sistemas de segurança base de projeto conforme as variáveis de processo.

Para detectar e controlar os acidentes, o Sistema de Proteção do Reator necessita de sensores das variáveis de processo que, de acordo com as normas, têm que ser redundantes. A redundância inclui critérios de diversidade mais rígidos na norma alemã KTA 3501 (utilizadas em Angra 2 e 3) do que no projeto EPR:

- EPR tem, se possível, diversidade funcional (variáveis de processo diferentes para detectar o mesmo evento) resultando em no máximo 8 sensores redundantes (4 de cada variável).
- Angra 2 e 3 tem, se possível, diversidade funcional. Nos casos onde diversidade funcional não é possível, diversidade de equipamento deve ser implantada resultando em até 12 sensores redundantes (3 tipos de equipamento, cada tipo com 4 sensores).

Sistema de Proteção do Reator - Automação

Conforme norma alemã KTA 3501, o Sistema de Proteção do Reator tem que atuar automaticamente todas as ações necessárias para a segurança por 30 minutos desde a ocorrência do acidente, para não exigir ações do operador sem o devido entendimento do acidente.

- Angra 2 e 3 tem implantadas no Sistema de Proteção do Reator, todas as ações necessárias para a segurança nos 30 minutos desde a ocorrência do acidente. O sistema de “backup” (sistema diverso com outro equipamento) também segue este critério de 30 minutos.
- O critério de 30 minutos não é aplicado plenamente no EPR. Pelas normas seguidas pelo EPR, o critério de 30 minutos é uma recomendação. O sistema de “backup” (sistema diverso com outro equipamento) tem um grau de automação ainda menor.

Sistema de Limitação do Reator

O Sistema de Limitação do Reator é uma barreira antes do Sistema de Proteção do Reator (conceito de defesa em profundidade).

- Em Angra 2 e 3, os sensores e os equipamentos de automação são 4 vezes redundantes para suportar uma manutenção e uma falha simples no caso de necessidade de atuação.
- No EPR, os sensores são 4 vezes redundantes mas os equipamentos de automação não são.

5.1.2.2 Comparação com Outros Projetos Atuais

De uma maneira geral os projetos de Angra 2 e 3 seguem um projeto padrão alemão que tem um grau de redundância superior aos demais projetos existentes (usinas atualmente em operação). Essencialmente os sistemas de segurança tem 4 redundâncias, cada uma com 50% de capacidade de maneira a suportar indisponibilidade de duas redundâncias devido a combinação de manutenção em uma redundância e falha na atuação de outra redundância.

O projeto do EPR foi feito baseado nos projetos existentes na França (padrão dos EUA, sistemas 2 x 100%) e na Alemanha (sistemas 4 x 50%). O projeto EPR apresenta um grau de redundância superior aos projetos no EUA, mas como descrito acima, o EPR apresenta em alguns casos um grau de redundância inferior ao projeto alemão (Angra 2 e 3).

Os demais projetos atuais (Coréia, China, etc.) apresentam um grau de redundância dos sistemas de segurança inferior ao projeto alemão (Angra 2 e 3).

O projeto alemão (Angra 2 e 3) também apresenta um grau de automação superior aos projetos atuais conforme apresentado acima. Conforme apresentado acima os sistemas de automação de Angra 2 tem as seguintes características não existentes nos projetos atuais:

- Consideração plena de diversidade na detecção dos acidentes. Os demais projetos só consideram diversidade funcional, na falta desta não há diversidade de equipamento.
- Consideração plena do critério de automação nos 30 minutos após o acidente. Nos demais projetos o critério de 30 minutos é uma recomendação.
- Sistema de Limitação do Reator com 4 redundâncias. No projeto EPR o Sistema de Limitação do Reator não tem 4 redundâncias. Nos demais projetos não existe esta barreira no conceito de defesa em profundidade.

Uma comparação com o projeto de usina AP1000 da Westinghouse, com uso extensivo de sistemas de segurança passivos, tem que ser feita através de uma análise probabilística de risco, pois não há uma similaridade de sistemas mecânicos e de automação que permita uma comparação direta.

5.2 AUMENTO DA SEGURANÇA ALÉM DA BASE DE PROJETO

Os acidentes além da base de projeto não são claramente definidos, eles são acidentes não postulados em norma ou combinação simultânea de acidentes postulados em normas.

Por não haver uma clara definição da sequência do acidente, são consideradas as consequências (fusão do núcleo, falha do vaso do reator, ruptura da contenção, etc.) para o projeto de possíveis sistemas para mitigar estas consequências.

Por exemplo, considera-se que todo o Hidrogênio, possível de ser gerado por fusão do núcleo, será liberado sem se discutir detalhadamente a sequência de eventos que pode levar a esta condição. Para mitigar esta solução, são instalados recombinadores de Hidrogênio em grande quantidade.

Como as consequências são extremas e com várias possibilidades, em alguns casos, as soluções encontradas também são diversas havendo discussões sobre a extensão das consequências e sobre a eficácia das soluções. Em outros casos há um consenso geral da solução empregada.

Com o objetivo final de evitar liberações de radioatividades para o meio ambiente, melhorias são introduzidas na usina para mitigar as consequências de acidentes além da base de projeto.

5.2.1 Comparação dos Sistemas Além da Base de Projeto em Relação a Angra 2

Todos os sistemas para mitigação de acidentes além da base de projeto, estão sendo considerados para Angra 2 e 3.

Para Angra 3, os sistemas estão sendo incluídos no projeto de maneira apropriada porque a usina ainda está em construção.

Para Angra 2, os sistemas estão sendo analisados considerando que a usina já está em funcionamento. Portanto adaptações são necessárias e o cronograma de implantação depende do cronograma de paradas da usina. Por exemplo, o Sistema de Recombinação de Hidrogênio para os acidentes além da base de projeto já foi instalado em Angra 2. Outros sistemas dependem do projeto das adaptações e do cronograma de instalação.

5.2.2 Comparação com Projetos Atuais

Para os casos onde há um consenso geral sobre sistemas para acidentes além da base de projeto, Angra 3 tem no projeto as soluções empregadas pelas outras usinas, como por exemplo:

- Recombinadores passivos de hidrogênio.
- Sistemas de monitoração de hidrogênio
- Alívio e alimentação de água do Sistema Primário (Circuito de refrigeração do Reator).
- Alívio e alimentação de água do Sistema Secundário (Ciclo Água-Vapor).
- Geradores Diesel móveis.
- Sistemas de amostragem química do Sistema Primário.

O caso de falha (ruptura) do vaso de pressão do reator, com liberação do núcleo fundido do reator, tem apresentado soluções diferentes e controvérsias conforme descrito a seguir.

Adicionalmente, as usinas Angra 2 e 3 dispõem de reservatório de água localizado no morro vizinho, em altitude superior às usinas, que pode suprir água no caso de acidentes além da base de projeto de maneira passiva (sem a necessidade de bombas).

5.2.2.1 Sistemas de Remoção de Calor Contenção (com “Core Catcher”)

Diversos operadores de usinas nucleares na Europa emitiram um documento chamado “European Utility Requirements for LWR Nuclear Power Plants” (sigla EUR) que estabelece que as usinas nucleares devam ter um sistema capaz de remover o calor no caso mais extremo de dano no núcleo sem liberações para o meio ambiente.

Os seguintes projetos seguem estes requerimentos para

- EPR – AREVA/EDF
- ATMEA – AREVA/MHI (Mitsubishi Heavy Industries)

- VVER (ou WWER) – OKB Gidopress (Rússia) com adaptações conforme requerimentos de cada país

Baseado nestes requerimentos é instalado um “Sistema de Remoção de Calor da Contenção” com as seguintes características:

- Coletor abaixo do vaso de pressão do reator (“core catcher”) para reter o núcleo fundido que vaza após ruptura do vaso do reator.
- Sistema de remoção de calor do núcleo fundido no “core catcher”.
- Sistema de spray da contenção para reduzir a pressão interna na contenção evitando a sua ruptura e consequente liberação de radioatividade para a contenção.

Incertezas em relação a esta solução:

- Considerando que não é possível prever/simular claramente este processo extremo de acidente, pode ser que sejam atingidas pressões acima da pressão de projeto da contenção causando a sua ruptura e, portanto, a liberação descontrolada de radioatividade para a contenção.
- O sistema é ativo, isto é, necessita de energia elétrica para o seu funcionamento.

Devido a estas incertezas. O órgão licenciador finlandês exigiu a instalação adicional do “Sistema de Alívio Filtrado da Contenção” descrito abaixo no EPR em construção na Finlândia (Olkiluoto 3).

5.2.2.2 Sistemas de Inundação da Cavidade do Vaso do Reator

Os seguintes projetos introduziram um sistema de inundação da cavidade do vaso do reator com água para remover calor do vaso do reator evitando a sua ruptura:

- AP 1000 (Westinghouse, EUA)
- APR 1400 (Kepco, Coreia do Sul) (projeto baseado em projetos de PWRs nos EUA)

Incertezas em relação a esta solução:

- Outros projetistas (AREVA) e entidades da área nuclear afirmam que esta solução não é eficiente para reatores com esta potência. Esta solução talvez fosse eficiente em reatores de baixa potência.
- O sistema de inundação é passivo (não necessita de energia elétrica). Entretanto como a reserva de água é limitada, energia elétrica pode ser necessária posteriormente conforme o processo do acidente (não é possível prever/simular claramente este processo extremo de acidente).

Portanto, pode ser que haja ruptura do vaso do reator e, conseqüentemente, sejam atingidas pressões acima da pressão de projeto da contenção causando a sua ruptura e a liberação descontrolada de radioatividade para o meio ambiente.

5.2.2.3 Sistemas de Alívio Filtrado da Contenção

Em função das indefinições de acidentes extremos além da base de projeto, a solução definitiva para evitar liberações descontroladas de radioatividade para o meio ambiente, é o “Sistema de Alívio Filtrado da Contenção”.

Este sistema é acionado quando a pressão na contenção chega perto da pressão limite de projeto. Através da injeção de água na contenção (reator ou piscina de combustíveis), o vapor d’água gerado é liberado através de filtro evitando a ruptura da contenção e liberando calor da contenção.

A liberação é controlada e bem reduzida devido ao filtro que tem as seguintes especificações:

- Aerosol – Retenção > 99,99%
- Iodo – Retenção > 99,5 %

Até 2009, a AREVA forneceu o “Sistema de Alívio Filtrado da Contenção” para 14 usinas na Alemanha, 3 usinas na Finlândia, 1 usina na Suíça, 1 usina na Holanda, 4 usinas na Bulgária, 2 usinas no Canadá e 22 usinas na China.

Na disponibilidade de energia elétrica, o “Sistema de Alívio Filtrado da Contenção” pode ser atuado da Sala de Controle. Na falta de energia elétrica o “Sistema de Alívio Filtrado da Contenção” pode ser atuado manualmente.

Em Angra 3 existem caixas d’água situadas no morro ao lado da usina para injeção de água na contenção (reator ou piscina de combustíveis). Devido à altura dessas caixas d’água não é necessária energia elétrica para a injeção de água na contenção.

Em Angra 3 será instalado o “Sistema de Alívio Filtrado da Contenção” que, com as caixas d’água, garante que não haverá ruptura da contenção, portanto, não haverá liberação descontrolada de radioatividade para o meio ambiente, mesmo com a indisponibilidade de energia elétrica. A liberação será controlada e apenas uma fração mínima será liberada.

6 SISTEMAS DIGITAIS DE INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE

Os equipamentos de Instrumentação e Controle (I&C) de Angra 3 correspondem ao estado da arte e estão sendo utilizados nos outros projetos atuais de usinas nucleares. Em Angra 3, a I&C digital deve contribuir para um melhor desempenho. Diversas usinas em operação no mundo têm trocado o equipamento de I&C por equipamento digital para melhorar o desempenho.

O sistema de Instrumentação e Controle digital de Angra 3 representa uma das principais diferenças para a usina de Angra 2.

Em uma tendência mundial, onde, cada vez mais, a tecnologia analógica para sistemas de controle tem se tornado obsoleta e a reposição de peças tem se tornado cada vez mais difícil, a atualização destes sistemas para os modernos sistemas de controle digital tem se tornado cada vez mais necessária.

Desta forma, o que se vê atualmente no mercado mundial para usinas em operação é a modernização e substituição do sistema analógico antigo por sistemas digitais modernos, e a construção de novas usinas com os novos sistemas.

Como exemplo, Angra 2 mudou recentemente um dos sistemas de I&C (Sistema de Controle do Reator) para equipamento digital igual ao que está sendo projetado para Angra 3.

A usina de Angra 3 utiliza como sistema de controle operacional o sistema SPPA-T2000, da fabricante Siemens, e para os sistemas de segurança, o sistema Teleperm-XS, da fabricante AREVA. O sistema homem-máquina a ser utilizado é o OM-690, também da Siemens.

Estes sistemas são utilizados largamente em todo o mundo, nos mais diversos tipos de reatores, como por exemplo:

- Tianwan 1 e 2, em operação desde 2004 e 2007;
- Tianwan 3 e 4, em construção – usinas VVER;
- Mochoyce 1 e 2, em operação desde 2001;
- Mochoyce 3 e 4, em construção – usinas VVER
- Ling Ao 3 e 4, em operação desde 2010 e 2011
- Usinas tipo EPR, em construção na Finlândia (Olkiluoto 3), China (Taishan 1 e 2) e França (Flamaville 3).

Além das usinas descritas acima, outras plantas utilizam, em sistemas de processo, os equipamentos SPPA-T2000, OM-690 ou Teleperm-XS.

6.1 PRINCIPAIS BENEFÍCIOS DA I&C DIGITAL

Os principais benefícios da Instrumentação e Controle (I&C) digital são:

- Os componentes de I&C Digital são apropriados para uso em condições ambientais severos.
- Tem-se comprovado que os sistemas digitais de I&C são mais confiáveis que os predecessores baseados na tecnologia analógica
- Os sistemas de I&C digital são mais compactos que os analógicos e realizam as mesmas funções
- A I&C digital possui a monitoração contínua de falha de seus componentes
- Os sistemas de I&C digital possuem funções de auto-teste, o que reduz significativamente a necessidade de testes periódicos. Estas funções minimizam as intervenções da manutenção e reduzem os erros humanos, que resultariam na diminuição da disponibilidade da planta.
- A I&C digital se beneficia das poderosas ferramentas de software onde é possível facilmente modificar, testar, simular e implementar funções.

6.2 SALA DE CONTROLE DE ANGRA 3

A sala de controle de Angra 3 é projetada com tecnologia digital e reflete o estado da arte em projetos de sala de controle, sendo comparável às salas de controles digitais projetadas para as novas usinas em construção ou em operação.

As atuações de componentes e monitoração de processos e alarmes são realizadas através de telas digitais em computadores. Em caso de perda da interface homem-máquina digital, está disponível um painel de segurança convencional para a operação da usina. Caso não seja possível recuperar a interface digital no período de 4 horas, a usina será desligada pelo painel de segurança convencional.

Dentre as vantagens da sala de controle digital, temos o aumento da eficiência operacional e da segurança, que são devido a:

- Maior disponibilidade de informação dos parâmetros da usina
- Possibilidade de visualização de histórico das variáveis e gráficos de tendências
- Diagramas lógicos em tempo real
- Manual de Operação Eletrônico que permite um acesso rápido e atuação simultânea de diversos sistemas
- Da sala de controle o operador tem acesso imediato a todas as informações dos sistemas de I&C (não é necessário ir até os equipamentos específicos)

O Laboratório Nacional de Idaho emitiu o relatório, "Benefits of Advanced Control Room Technologies", maio de 2015, listando outros benefícios, como descrito abaixo:

Tabela 4 - Benefícios das tecnologias avançadas de sala de controle

Tecnologia	Benefício
Telas de Controle de Visão Geral	<ul style="list-style-type: none">• Carga de trabalho reduzida (física e cognitiva)• Melhora na consciência da situação da planta• Melhora na detecção de condições não normais• Melhora na coordenação de operadores de sala de controle
Sistema Avançado de Alarmes	<ul style="list-style-type: none">• Redução na carga de trabalho• Melhora no diagnóstico• Aumento da eficiência
Procedimentos baseados em Computador	<ul style="list-style-type: none">• Melhora da performance• Redução de erros• Melhora na eficiência

Todos os benefícios acima poderão ser percebidos com o moderno simulador de escopo total, que será idêntico à sala de controle de Angra 3.

7 SISTEMAS E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

7.1 SISTEMA ELÉTRICO AUXILIAR

Os sistemas e equipamentos elétricos, de telecomunicações, de proteção contra incêndio, de proteção contra descargas atmosféricas e de proteção física, de Angra 3 são na sua maioria novos e atuais e, ressalvando as suas qualificações de aplicações nucleares específicas (controle de qualidade, qualificação ambiental, qualificação sísmica, etc.), são bastante similares aos utilizados na indústria em geral. Dos equipamentos já existentes, fabricados com normas válidas ao seu tempo, tais como o gerador elétrico principal, barramentos blindados e disjuntor do gerador, sofrerão um “uprate” de potência, entre outras atualizações, incluindo também de seus sistemas periféricos, conforme recomendação de seus fabricantes, para utilização em Angra 3.

Os sistemas e equipamentos elétricos obedecem à base normativa que rege a sua fabricação e utilização. Os equipamentos novos de Angra 3, quer adquiridos no mercado nacional e ou sendo objeto de escopo importado, atendem às normas vigentes as quais fazem parte da documentação de aquisição destes bens.

A evolução normativa e tecnológica visa atender à segurança operacional, à eficiência energética dos equipamentos, à ergonomia e economicidade para a utilização adequada, à reciclagem dos insumos e redução dos índices poluentes (ex.: Diesel combustível), etc. Neste sentido, os novos painéis elétricos, inversores, retificadores, baterias, grupos geradores Diesel de emergência, motores elétricos, atuadores motorizados de Angra 3 contemplam estes requisitos funcionais e de segurança especificados.

Excepcionalmente, no caso de painéis elétricos a evolução dos critérios de segurança implicou em equipamentos com separação física das entradas de cabos, isolamento e confinamento das partes vivas (eletrificadas), extinção de eventuais arcos provenientes de curtos circuitos com a condução dos gases para fora dos ambientes operacionais, tornando-os maiores do que as suas congêneres de Angra 2 e outras usinas existentes, acarretando com isso a necessidade de se otimizar os espaços e salas já disponíveis no projeto da Usina, rearranjar o sistema de bandejamento e layout geral correspondente.

Os novos painéis de média tensão (13,2 e 4 kV) além da segurança operacional estão equipados com disjuntores com câmaras de extinção de arco a vácuo, constituído assim disjuntores mais leves e de fácil manutenção em relação aos modelos anteriores de câmara de extinção de arco em pequeno volume de óleo isolante.

A evolução dos materiais e construção de motores elétricos propiciou, como por exemplo, a utilização de motores de consumo menores para uso dos sistemas de ventilação de Angra 3 em relação aos seus similares de Angra 2. O uso de inversores de frequência para ventiladores com controle de velocidade também proporcionou a eliminação de correias mecânicas utilizadas em Angra 2.

Equipamentos e ou componentes elétricos tais como cubículos de proteção, retificadores e inversores elétricos, de escopo importado, já fornecidos e entregues em

meados dos anos 1980, como tem subcomponentes passíveis de envelhecimento e degradação, tais como capacitores, etc., foram disponibilizados ao longo do tempo para utilização como reposição em Angra 2, estando sendo adquiridos novos e ao estado da arte para Angra 3.

Na esteira da evolução tecnológica, com o aumento da capacidade de geração de Angra 3 (1350 x 1405 MWe) e a adequação as novas exigências das normas IEC e KTA, houve necessidade de substituir o disjuntor do gerador, equipamento fundamental para conexão e desconexão da Usina ao sistema elétrico interligado nacional. O novo disjuntor do gerador de Angra 3, ao estado da arte, terá capacidade de interromper, através de câmaras de extinção de arco com gás inerte SF₆, tanto as correntes nominais de operação como também as correntes de curto circuito considerando os 1405 MWe previstos.

Para se adequar ao novo patamar de potência de 1405 MWe além dos aprimoramentos do TG Set, barramentos blindados e disjuntor do gerador, também os transformadores elevadores da unidade, conjunto de transformadores monofásicos, formando um banco trifásico também tiveram suas potências nominais elevadas em relação aos seus similares de Angra 2.

Um dos pontos de inovação, em consonância com as demais usinas alemãs ainda em operação foi a introdução para Angra 3 da transferência de alimentação da rede de 525kV e/ou transformadores auxiliares da unidade para a rede externa de 138kV sem a necessidade desligamento do reator. Para tal, a potência do transformador externo, foi contratualmente garantida ser operacional por 2 horas em 90 MVA contra os 78MVA de Angra 2.

Com isso, pretende-se manter a usina em condições de reagir aos transientes no sistema elétrico interligado nacional com disponibilidade de retorno em pouco tempo, após os devidos tramites de reconhecimento das falhas, em conjunto com FURNAS, ONS, ANEEL, etc. As conexões elétricas de 525 kV e 138kV de Angra 3 com a Subestação de Angra serão projetadas atendendo aos requisitos atualmente válidos, conforme legislação da ANEEL/ONS.

As Usinas Nucleares primam pelo seu aspecto de segurança e neste sentido, o dimensionamento dos sistemas e equipamentos elétricos, incluindo os cabos, conexões, proteções elétricas, seguem também princípios rígidos estabelecidos pelos requisitos normativos das Usinas Alemãs. Os alimentadores elétricos das cargas de segurança nucleares são dimensionados considerando condições de acidentes postulados, mantendo-se os níveis de tensões necessárias para a continuidade do funcionamento dos equipamentos nos períodos de tempo considerados.

As proteções elétricas baseiam-se em equipamentos de segurança intrínseca, tais como fusíveis, disjuntores qualificados e, para os itens relacionados à segurança nuclear, evita-se o uso de equipamentos com lógicas programáveis, os quais estão sujeitos às falhas de software, de forma a garantir o funcionamento quando requeridos.

7.2 SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO, ALARMES E PROTEÇÃO FÍSICA

Também estes sistemas de comunicações, alarmes e proteção física se atualizaram tecnologicamente ao longo do tempo.

O sistema telefônico saiu da tecnologia de centrais telefônicas para o atual VoIP (Voice over IP – Internet Protocol), basicamente semelhante à rede de computadores, sendo administrado por um servidor de rede; sistemas de intercomunicação serão mais digitalizados do que seus antecessores e sistemas de CFTV circuito fechado de televisão serão totalmente digitalizados em contrapartida aos seus antecessores que eram analógicos.

Os sistemas de proteção física e detecção e atuação da proteção contra incêndio serão cada vez mais inteligentes e atualizados em tecnologia digital. O sistema de detecção de incêndio passará de tecnologia de linhas de detecção (distribuição em estrela) para a tecnologia de laços de detecção (laços fechados – conexão às centrais pelas duas pontas). Não serão mais utilizados detectores iônicos, com elementos radioativos. Os detectores serão de tecnologia multissensorial, ou seja, compostos de detectores térmicos e de fumaça dentro da mesma cápsula. O sistema será também descentralizado, com centrais instaladas em prédios separados e com capacidade de funcionamento independente, porém harmônico com as outras centrais.

7.3 SISTEMAS DE SUPRIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DE EMERGÊNCIA

Os sistemas de suprimento de energia elétrica de emergência são constituídos dos grupos geradores Diesel de emergência 1 e 2. Estas fontes de geração própria estão montadas em prédios sismicamente resistentes e com comprovação de outros eventos externos tais como onda de explosão e tornados. Neste sentido, o sistema de emergência 1 de Angra 3 já nasceu originalmente interligado ao sistema de emergência 2 e com as mesmas qualificações sísmicas o que constitui um upgrade em relação ao projeto de Angra 2, garantindo assim um grau de confiabilidade e disponibilidade muito maior.

Seus grupos geradores Diesel, adquiridos novos ao estado da arte, estão em sintonia com todos os avanços tecnológicos atualmente vigentes. Tanto que para estes equipamentos será necessária a utilização do óleo Diesel combustível VERANA da Petrobrás devido aos baixos índices de contaminantes exigidos (e.g.: enxofre). Isto significa menor quantidade de poluentes nos gases de escape, embora a utilização destes equipamentos esteja limitada quase que exclusivamente aos testes mensais de 2 horas por redundância o que significa índices de poluição ínfimos para a queima de combustíveis fosseis.

A entrada em operação dos Sistemas de Suprimento de Energia Elétrica de Emergência, com a partida dos Grupos Geradores Diesel, somente será requerida após haver esgotado todas as possibilidades de manutenção do suprimento externo via redes de 500 kV e/ou 138 kV, bem como também do ilhamento da própria Usina, quando esta se desconecta do sistema externo e passa a gerar apenas para a manutenção do consumo próprio (operação isolada), similarmente à sua Usina de Referência Angra 2.

Isto permite à usina manter-se em operação face a eventuais transientes no sistema elétrico interligado nacional – SIN, permitindo que as usinas nucleares (Angra 1, 2 e 3) possam fazer parte das usinas que contribuem para a recuperação rápida do SIN, principalmente na área do Rio de Janeiro, nos casos extremos de blackout generalizado.

8 CONJUNTO TURBO-GERADOR E EQUIPAMENTOS DO PROCESSO DE GERAÇÃO

8.1 CONJUNTO TURBO-GERADOR

Os hardwares do conjunto turbo-gerador foram fabricados em meados da década de 1980 pelas empresas SIEMENS AG/KWU tanto para Angra 2 como para Angra 3, com uma potência originalmente prevista de 1312MWe. Angra 2 uma vez comissionada apresentou excelentes rendimentos tendo então, sua potência bruta sido redefinida para 1350 MWe, considerando uma correção sobre o resultado de 1356MWe de testes realizados, para uma temperatura água do mar de 27oC, potência esta que a usina opera até hoje.

Ainda na fase de início de operação comercial de Angra 2 foi feito um teste de operação para 106% da potência nominal, que culminou com um resultado, sem modificações nos sistemas de usina, em 1430 MWe. Para ir avante e/ou mesmo permanecer nestes patamares operacionais faz-se necessário modificações nos hardware e sistemas existentes.

No escopo do desenvolvimento do projeto de Angra 3 e, com o andamento de sua construção e montagem, foi realizado um seminário na Sede da Eletronuclear com a participação da Siemens AG e AREVA para discutir as melhorias necessárias no turbo-gerador o que resultou numa série de recomendações de melhorias. Estas melhorias foram apresentadas e estão em fase de análise e apreciação por parte da Eletronuclear.

8.2 GERADOR ELÉTRICO PRINCIPAL

O do gerador elétrico é um equipamento refrigerado a água e hidrogênio fabricado na década de 1980. Devido aos avanços normativos de segurança contemplando novos requisitos, a Eletronuclear promoveu e acatou rever certos parâmetros conforme sugestão do fabricante original Siemens AG, juntamente com AREVA, para atender às atualizações.

Neste caso, a Eletronuclear optou por um “uprate” do estator quer seja para atender o quesito da potência nominal de Angra 3 de 1405 MWe, bem como, o de atender os requisitos normativos atualizados de segurança, já supracitados.

De uma maneira geral o conjunto turbo-gerador de Angra 3, deverá ter um “retrofit”/recondicionamento”, em relação ao seu similar em operação na usina de referência, Angra 2, aumentando a disponibilidade e confiabilidade do sistema como um todo. As melhorias introduzidas elevam a segurança operacional e minimiza riscos inerentes as atmosferas de H2, explosivas, conforme citado a seguir:

- Aumento da capacidade de geração de energia;

- Modernização seguindo as diretrizes normativas para proteção de equipamentos e sistemas bem como para proteção da segurança e saúde dos trabalhadores expostos a riscos derivados de atmosferas explosivas;
- Melhorias nos periféricos do estator (H2, água de refrigeração, juntas e anéis de vedação, sistema de purga, etc)
- Novos conjuntos subsistemas auxiliares para o gerador: conexões padronizadas das tubulações (skids) de sistemas de gases, óleo de selagem, gases de purga, etc.;
- Novos medidores de fluxo, com mais precisão para controle das vazões do sistema de água de refrigeração, etc.;
- Nova eletrônica de controle, upgrade de I&C, com sistemas digitais;
- Melhor arranjo na configuração das tubulações de acesso ao gerador, etc.;

Além do acima exposto, como parte do “uprate” do estator foram feitos testes elétricos e medições dos níveis de isolamento deste, atualmente armazenado, para verificação de sua integridade antes da montagem do mesmo. Pelos resultados de testes de campo pôde-se constatar que o isolamento e o estator como um todo está em excelente estado de conservação, tal como saído de fábrica. Após os testes o estator foi reconduzido aos processos de preservação recomendados para este tipo de equipamento, ou seja, encapsulado em ambiente pressurizado com nitrogênio e material dissecante.

Convém ainda ressaltar que devido à necessidade de manter sempre um rotor reserva para ambas as Usinas de Angra 2 e 3, a Eletronuclear também optou por adquirir um rotor novo para Angra 3, o qual já está fabricado, testado e armazenado, tendo sido entregue em Setembro de 2016, pronto para uso.

8.3 TURBINA

O equipamento de controle da Turbina é um sistema digital padrão utilizado não só em usinas nucleares, mas em qualquer usina térmica. Este sistema é largamente utilizado atualmente em todo o mundo.

Além de pequenas modificações e upgrades, visando a facilidade na montagem e substituição de itens obsoletos, a principal alteração está relacionada às modificações no Sistema de Controle e Proteção da Turbina e Sistema de Controle e Proteção de Desvio de Vapor para os condensadores. Estas modificações visam a melhoria de operação e precisão do controle e proteção do sistema.

A proposta de modificação na I&C incorpora o novo bloco com o conceito “2 de 3” para o sistema de proteção da turbina e proteção de desvio de vapor, ou seja, atuação com a confirmação de pelo menos 2 medidas obtidas de uma variável de 3 medidas possíveis. Desta forma a confiabilidade da I&C é bem maior, resultando num aumento de disponibilidade.

Foram introduzidas várias modificações na Instrumentação e Controle da Turbina de Angra 3 se comparada à Angra 2 como, por exemplo, maior quantidade de sensores e sensores mais modernos.

A implementação das modificações propostas para o sistema de fluidos de controle da turbina possui as seguintes vantagens e benefícios:

- Redução e simplificação de componentes integrados para regulação.
- Substituição dos dispositivos mecânico-hidráulicos por dispositivos eletro-hidráulicos (estado da arte) que exigem menor previsão de manutenção.
- Redução da quantidade e variedade de peças sobressalentes e, conseqüentemente, menores custos de manutenção.
- Acessibilidade imediata e futura à equipamentos sobressalentes face à obsolescência dos controladores até então utilizados.
- Atendimento aos atuais padrões de normas e regulamentos.
- Aumento da disponibilidade do conjunto Turbo-Gerador.

Estas modificações no Sistema de Instrumentação e Controle já foram realizadas em conjunto Turbo-Gerador similar a Angra 3 em diversas usinas como:

- Grafenheinfeld Alemanha 2010
- Trillo Espanha 2015
- Comanche Peak USA 2004/2005
- Borssele Holanda 2006
- Gösgen Suíça 2001

8.4 TROCADORES DE CALOR DO SECUNDÁRIO

A potência elétrica bruta da usina considerada é de 1405 MWe, para 3900 MWth de potência no reator. Este valor poderá subir para cerca de 1455 MWe, para potência máxima do reator de 3965 MWth. Este segundo aumento poderá ser feito após o comissionamento da planta, com modificações que incluem troca das bombas de água de alimentação.

Por este motivo, os trocadores de calor do secundário estão sendo projetados para o valor máximo de potência, para que não haja, no futuro, limitações impostas à planta por área de troca dos trocadores de calor no sistema água-vapor menor que o requerido para aquela operação.

9 SUMÁRIO E CONCLUSÕES

9.1 SUMÁRIO

Os pontos principais descritos neste documento são sumarizados a seguir:

Usina de referência, experiência internacional

O contrato de construção de Angra 2 e 3 tem como referência o projeto standard alemão de usinas baseadas em Reatores a Água Pressurizada (PWR) em operação naquele país. Com a experiência alemã na operação daqueles reatores, bem como com as lições aprendidas com os acidentes de Three Miles Island (EUA, 1979) e Tchernobyl (Ucrânia, 1986), o projeto de referência foi gradativamente aperfeiçoado, passando a incorporar as modificações implementadas nas usinas Grafenrheinfeld (1981), Philipsburg 2 (1985) e nas 3 usinas do tipo Konvoi (1989). Posteriormente a experiência com o acidente de Fukushima Daiichi (Japão, 2011) foi considerada para as usinas Angra 2 e 3.

O projeto de Angra 3 utiliza Angra 2 como usina de referência com todas as melhorias nela incorporadas. Um empreendimento testado e comprovado com altos índices de segurança e performance. O reator PWR utilizado nas usinas Angra 2 e 3, é o tipo de reator mais empregado nas usinas em operação e em construção no mundo, o que implica uma experiência operacional significativa.

Esta evolução do projeto baseado na experiência internacional segue o mesmo processo aplicado nas usinas atualmente comercializadas da Geração III e III+.

Desempenho operacional

Considerando a aplicação da experiência operacional e a utilização de equipamentos atuais de relevância para o desempenho (Instrumentação e Controle digital, equipamentos elétricos, conjunto turbo-gerador, etc.), a usina Angra 3 terá um desempenho similar ou superior ao desempenho da usina Angra 2, compatível com o desempenho das usinas recentemente instaladas.

Processo de licenciamento, normas atuais

As ações executadas pela Eletronuclear ao longo dos anos de operação de Angra 2, incorporando as recomendações das agências reguladoras internacionais e da participação efetiva do órgão licenciador CNEN e de seus técnicos, levaram Angra 2 a um patamar comparável às usinas que apresentam os melhores índices de segurança.

Para Angra 3, a base normativa completa e atualizada foi verificada, e o resultado foi indicado no “Relatório Preliminar de Análise de Segurança” (RPAS), que foi submetido ao órgão licenciador CNEN para a obtenção da licença de construção.

Além da atualização da base normativa de projeto das estruturas de concreto armado, todos os carregamentos atuantes sobre as estruturas foram revisados e atualizados, em especial, no que diz respeito àqueles gerados pelos eventos externos.

Projeto de segurança

No projeto de Angra 3 foi adotada uma nova hipótese conservadora para o caso de ocorrência de um terremoto, em que todos as estruturas civis projetadas para terremoto passaram a ser também projetados para uma onda de pressão (Burst Pressure Wave - BPW) decorrente da ruptura do grande tanque de água de alimentação, pressurizado, que existe no prédio da turbina que não é qualificado para resistir ao terremoto de projeto. Mesmo já existindo um prédio específico para garantir o desligamento seguro da usina em caso de terremoto e BPW, todos os prédios de qualificação sísmica em Angra 3, passaram a ser projetados também para os efeitos combinados com o BPW, criando margens adicionais de segurança no projeto.

Alguns sistemas de segurança de Angra 2 estão sendo implantados em Angra 3 com tecnologia mais atual. De uma maneira geral os sistemas de segurança apresentam características compatíveis com o estado da tecnologia empregado nas usinas comercializadas atualmente.

Os sistemas de Instrumentação e Controle de segurança de Angra 3 apresentam um grau de redundância e diversidade superior aos demais projetos atuais.

9.2 CONCLUSÕES

A análise neste documento mostra que:

- O desempenho operacional de Angra 2 é compatível com a tecnologia atual e compatível com os melhores desempenhos das usinas em operação. Angra 3 terá um desempenho similar e, em alguns casos superior, devido às melhorias e novos equipamentos (I&C digital). Não foram identificadas melhorias nos projetos atuais que indiquem desempenho operacional inferior em Angra 3. Algumas características de Angra 3 indicam uma disponibilidade operacional maior do que outros projetos atuais.
- Devido ao alto grau de requerimentos das normas alemãs utilizadas em Angra 2 e nas usinas alemãs, o padrão de segurança de Angra 2 é considerado de alto nível. O projeto relacionado com a segurança da Angra 3, baseado em Angra 2 conforme requerimentos de norma atuais, apresenta soluções que em vários casos são superiores às soluções de projetos atuais de usinas PWR,

não incluindo o projeto AP1000 da Westinghouse. Uma comparação com o projeto AP1000 da Westinghouse, com uso extensivo de sistemas de segurança passivos, tem que ser feita através de uma análise probabilística de risco pois não há uma similaridade de sistemas que permita uma comparação direta.

- As adequações dos equipamentos fornecidos, a compra de novos equipamentos no estado da arte e o uso de novas tecnologias, como a automação digital, indicam um desempenho da usina Angra 3 melhor do que Angra 2 e compatível com os projetos atuais.
- As melhorias introduzidas em Angra 3, para possíveis acidentes além da base de projeto, são similares às soluções atuais implantadas recentemente nas usinas existentes e em projetos atuais, não incluindo o projeto AP1000 da Westinghouse conforme explicado acima. Em um único caso onde existem diversas soluções atuais, a solução prevista para Angra 3 é a mais abrangente e a mais utilizada.

Portanto, o projeto de Angra 3 é plenamente adequado aos requerimentos operacionais e de segurança atuais.