

DC/SPT/06

VI SEMINÁRIO NACIONAL DE
PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GRUPO II

PRODUÇÃO TÉRMICA

(G P T)

CUSTOS DE CONSTRUÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO
DE USINAS NUCLEARES - FATORES DETERMINANTES

RONALD ARAÚJO DA SILVA
FURNAS-CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.

Balneário Camboriú - SC - Brasil

1 9 8 1

1. INTRODUÇÃO

Na execução de um empreendimento como a construção de uma central nuclear as concessionárias de serviço de eletricidade podem seguir diferentes filosofias administrativas que podem variar desde a contratação independente de cada etapa do empreendimento até o recebimento da usina pelo processo "turn key". É comum para concessionárias dos Estados Unidos da América a contratação independente de cada etapa da construção. Em alguns casos, como o Tennessee Valley Authority, por exemplo, mesmo os trabalhos de engenharia dos sistemas são executados pela própria concessionária. Por outro lado, na Alemanha a maioria das concessionárias optam pela construção pelo processo "turn key", entendido como tal a passagem para a concessionária da usina totalmente montada e em condições de ser assumida pela equipe de operação da empresa. Cabe à concessionária, independentemente do processo utilizado para a administração da construção, devido às suas responsabilidades como operadora e com seus compromissos com o consumidor, se assegurar que esta usina estará em condições de gerar energia de uma forma segura, confiável e aos menores custos possíveis. Neste trabalho será tratado principalmente o aspecto dos custos de construção, operação e manutenção das usinas nucleares, procurando-se identificar as áreas em que a atuação da empresa responsável pelo empreendimento pode contribuir de forma positiva para a redução dos custos finais de geração. Apenas com o objetivo de quantificar as ordens de grandeza dos investimentos em uma usina nuclear serão utilizados neste trabalho as estimativas de custos elaborados por FURNAS para a construção e operação da Unidade 1 da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (Angra 1).

2. CUSTOS DE CONSTRUÇÃO

O orçamento de FURNAS para os custos de construção de Angra 1, a preços de dezembro de 1979, é de cerca de 1.25 bilhões de dólares, ou seja cerca de 2,000.00 por quilowatt instalado. Orçamento de usinas nucleares devem ser encarados com bastante cautela uma vez que em sua elaboração devem ser levadas em conta variáveis tão diversas como prazo de construção, taxa de inflação nos países envolvidos no fornecimento, taxas de conversão entre diferentes moedas, financiamentos, requisitos de licenciamento, índices que espelham o desenvolvimento tecnológico dos países fornecedores, etc. É lógico que variáveis como as mencionadas possuem dinâmica própria e muitas delas estão totalmente fora do controle das concessionárias ou da firma responsável pelo empreendimento, o que vem tornar bastante difícil as estimativas dos custos finais da obra. O orçamento que será discutido neste trabalho representa a avaliação instantânea dos valores atribuídos aos principais itens de custo, valores estes estabelecidos a partir de correlações prefixadas, parte das quais a partir das condições vigentes no mercado e outras baseadas na experiência prévia de FURNAS com este tipo de obra.

2.

É importante chamar-se atenção para o fato de que mesmo considerando-se uma situação estática como a utilizada para a elaboração do orçamento a ser apresentado, estes valores contêm de forma inerente um conjunto de hipóteses que por si só trazem um considerável grau de incertezas aos mesmos.

O quadro 2-1 apresenta os custos estimados por FURNAS em dezembro de 1979. Na análise das estimativas apresentadas neste Quadro, serão identificadas inicialmente as hipóteses básicas utilizadas e posteriormente serão discutidos os efeitos das principais correlações temporais sobre estes custos.

2.1. Custos Diretos

2.1.1. Terrenos

Os custos para aquisição dos terrenos necessários ao empreendimento na estimativa apresentada já são obviamente conhecidos. Contudo, na construção de usinas nucleares devem ser levados em consideração requisitos dos órgãos de licenciamento que exigem que haja em torno das usinas nucleares uma área de exclusão e uma área de baixa população. Estas áreas são estabelecidas a partir de cálculos que permitam assegurar que mesmo no caso do maior acidente previsível as pessoas que se encontram nas mesmas estariam sujeitas à dose de radiação dentro de limites pré-fixados, antes de serem removidas. No caso de Angra 1, por exemplo, a área de exclusão é um círculo de oitocentos metros de raio em torno da usina e a área de baixa população é um círculo de 4.500 metros de raio. A CNEN poderia, durante o período de execução da obra, modificar os requisitos de segurança tornando-os mais conservativos com impacto nas estimativas iniciais dos custos do terreno. Outra consideração que deve ser levada em conta pela concessionária é o requisito de áreas para o canteiro de obras e vilas residenciais para o pessoal de construção e operação. Esta equipe, no caso da construção de Angra, deverá ultrapassar 10.000 pessoas no período de maior intensidade dos serviços. É importante observar também que a equipe de operação, devido ao longo período de familiarização e treinamento requerido, deverá ser deslocada para o canteiro de obras nos primeiros estágios do serviço.

2.1.2. Obras Cíveis

Para o estabelecimento das estimativas dos

custos de mão-de-obra, dos materiais e equipamentos, procura-se verificar os montantes destes fatores utilizados em obras semelhantes em outros países. Sobre este banco de dados básicos aplicam-se coeficientes de correção relativos às diferenças de índices de produtividade da mão-de-obra no país onde foram coletadas as informações e no Brasil. O mesmo procedimento é utilizado com relação aos custos unitários aplicáveis aos diversos componentes. Características típicas do local onde será realizado o trabalho, tais como infra-estrutura necessária (canteiro, estradas, acampamento, etc.) e trabalho de fundação requeridos devem ser criteriosamente estabelecidos de forma a serem incluídos nas estimativas de custos. No caso de Angra 1 as obras civis representam cerca de 25% (vinte e cinco por cento) dos custos diretos da construção e cerca de 18% (dezoito por cento) dos custos totais do empreendimento. O impacto das obras civis nos custos globais do serviço é, no entanto, bem maior do que este percentual parece demonstrar. A conclusão da obra dentro dos prazos é o maior fator de otimização dos custos do empreendimento. Este assunto será discutido posteriormente com maiores detalhes; por ora, seria conveniente ressaltar alguns aspectos importantes que influenciam diretamente este item de custo.

2.1.2.1. Disponibilidade de Recursos

Os serviços enquadrados neste item são em sua maioria de origem nacional e assim sendo, a maior parte dos custos envolvidos não são cobertos por financiamento externo. Cabe às empresas responsáveis pelo empreendimento e aos órgãos do governo diretamente envolvidos assegurar que o fluxo de recursos necessários será colocado à disposição do empreendimento em prazos compatíveis com o andamento dos serviços. Atrasos na liberação de recursos ou cortes não previstos podem representar atrasos consideráveis na obra com grandes onus para os custos finais da mesma. A título de ilustração

pode-se dizer que cada ano de atraso na obra onera os custos finais do empreendimento em cerca de 9% (nove por cento), somente devido às despesas financeiras adicionais. Esta afirmativa será qualificada posteriormente.

2.1.2.2. Disponibilidade de Infra-Estrutura Basica.

Aqui também o problema está muito mais associado à disponibilidade desta infra-estrutura para permitir o andamento do projetos nos prazos previstos do que aos custos do estabelecimento desta infra-estrutura. A facilidade de acesso à obra, canteiro estruturado para recebimento dos materiais e equipamentos, alojamentos e outras facilidades disponíveis deverão contribuir positivamente para os índices de produtividade do serviço e para sua conclusão dentro dos prazos estabelecidos. É recomendável então que só se contrate o fornecimento após a definição das obras de infra-estrutura. Este assunto será discutido posteriormente com maiores detalhes.

2.1.2.3. Projetos Definidos com Antecedência e Atendendo os Requisitos dos Órgãos de Licenciamento.

Os projetos das fundações e das obras civis devem ser definidos com antecedência adequada para permitir sua análise aprofundada pela CNEN e pela concessionária. A perfeita coordenação dos projetos das obras civis com o projeto da usina é trabalho complexo tendo em vista a imensa quantidade de equipamentos e sistemas a serem instalados. É praticamente inevitável que no decorrer da construção os sistemas sejam modificados ou novos equipamentos instalados; contudo, a minimização destes trabalhos pela análise prévia e detalhada dos projetos pode representar economias

substanciais para a empresa, seja diretamente por evitar que obras tenham que ser refeitas, seja indiretamente pela otimização dos prazos de construção. A análise e aceitação prévia pela CNEN dos projetos é outro fator determinante na otimização de custos. FURNAS passou recentemente por experiência que comprova bem esta afirmação. A não aprovação pela CNEN do projeto das fundações da Usina de Angra 2 teve um grande impacto nas estimativas iniciais dos custos do projeto onerando-o de um modo considerável, principalmente devido aos atrasos provocados na obra. O mesmo se pode dizer com relação à Unidade 3 devido principalmente à indefinição relativa à sua localização.

2.1.3. Equipamentos

A elaboração de estimativas para os custos dos equipamentos da usina numa determinada data é aparentemente simples uma vez que as condições do fornecimento são definidas em contrato. Contudo, a partir da data da assinatura do contrato as condições do fornecimento estão em contínuas mudanças, seja por fatores de ordem econômico-financeira, tais como índices de reajustamento, taxa de conversão das moedas, prazos de entrega, etc., seja devido a fatores de ordem técnica, como critérios de licenciamento, desenvolvimento tecnológico, etc. Nesta parte do trabalho serão apresentados apenas os principais fatores de ordem técnica que podem influenciar os custos; os de ordem financeira serão discutidos posteriormente.

2.1.3.1. Mudanças nos Critérios de Licenciamento.

Do ponto de vista técnico, esta é sem dúvida a maior fonte de incertezas associadas aos custos das centrais nucleares. Basicamente, uma central nuclear é projetada de forma que, mesmo na hipótese do maior acidente previsível, as consequências deste

6.

acidente, para o público em geral, sejam mínimas. Apesar deste conceito básico ter sido estabelecido já nos primórdios da indústria nuclear, as hipóteses de ocorrência deste maior acidente previsível, bem como o tipo de equipamentos e dispositivos que devem entrar em operação para minimizar as consequências deste acidente, têm sido constantemente modificadas pelas autoridades licenciadoras. A exigência de aumento dos níveis de segurança dos projetos tem afetado de forma substancial os custos e prazos de construção das centrais nucleares. O acidente de Three Mile Island veio acentuar ainda mais estas condições pela introdução de requisitos adicionais de segurança. Alguns dos equipamentos que iriam originalmente ser usados em Angra 1 e Angra 2 e 3 foram modificados devido às exigências das autoridades licenciadoras. É possível então que a CNEN durante a fase de construção imponha novas normas que venham resultar em modificações nos equipamentos e sistemas da usina e consequentemente alterações nos custos e nos prazos de construção.

2.1.3.2. Desenvolvimento Tecnológico

Além das modificações resultantes de novas imposições das autoridades licenciadoras as usinas nucleares têm sofrido continuamente mudanças decorrentes dos avanços tecnológicos. Grandes somas têm sido aplicadas anualmente pelos fabricantes e órgãos de pesquisa governamentais na investigação e desenvolvimento da tecnologia nuclear. Como resultado deste trabalho novos equipamentos e sistemas têm sido desenvolvidos. É usual que no decorrer da construção da usina, e muitas vezes mesmo quando ela já está concluída, a concessionária receba propostas de fabricantes no sentido de atualizar seus equipamentos e

sistemas. No caso da Usina de Angra 1 e Angra 2 e 3, por exemplo, a Westinghouse e a KWU apresentaram propostas de modificação de equipamentos e sistemas a serem instalados na Usina. É lógico que estas propostas em geral representam custos e prazos adicionais para a construção. Cabe então à concessionária realizar uma análise de "custo-benefício" da modificação proposta e decidir por sua adoção ou não.

2.1.3.3. Transferência de Tecnologia

As incertezas já mencionadas somam-se aquelas relativas ao processo de transferência de tecnologia no qual o país está envolvido. O aspecto pioneiro associado às primeiras usinas nucleares adquiridas vai se refletir em todas as fases do projeto, desde as obras civis até os trabalhos finais de montagem e comissionamento da usina afetando diretamente os prazos de construção. Muitos dos equipamentos utilizados por exemplo, serão fabricados pela primeira vez no país e o correto funcionamento destes equipamentos pode ser essencial para a complementação da usina nos prazos previstos.

2.1.4. Montagem

Os custos de montagem são estimados também a partir da comparação com obras semelhantes em outros países, aplicando-se fatores de correção para os índices de produtividade e de custos unitários. Também aqui, tendo em vista serem grande parte dos custos locais, há necessidade de se assegurar com antecedência a disponibilidade de recursos para pagamento dos serviços de uma maneira compatível com o ritmo requerido para o trabalho. A análise aprofundada dos projetos de montagem dos sistemas principalmente com relação à sua coerência com a disposição geral da usina pode evitar custosos e demorados trabalhos de remontagem. Por outro lado, este estudo dos projetos

8.

deve objetivar, como um dos seus pontos principais, a funcionalidade da usina para as equipes de operação. Projetos inadequados podem trazer problemas com os quais os operadores terão que conviver por toda a vida útil da usina. Por outro lado, as equipes de engenharia e operação da concessionária necessitam ter conhecimento detalhado da usina que terão de manter e operar. A participação da concessionária na análise e aprovação dos projetos, portanto, é fundamental, independentemente do sistema administrativo adotado para sua construção.

2.2. Custos Indiretos

2.2.1. Engenharia e Treinamento

Os gastos com estes itens estão estimados em cerca de 11% (onze por cento) dos custos globais do projeto. Nele inclui-se o projeto das fundações, das obras civis, dos sistemas e de montagem; estão incluídos também os gastos com treinamento do pessoal de engenharia e de operação, bem como aqueles referentes à preparação de procedimentos de testes e operação. Este item não inclui, de uma maneira geral, os custos de engenharia associados a cada um dos equipamentos. No caso das Usinas de Angra 2 e Angra 3 alguns dos sistemas da usina serão inteiramente projetados pela KWU, outros pela NUCLEN ou subcontratadas e alguns dos projetos serão realizados conjuntamente pela NUCLEN e KWU. Parte dos custos serão pagos em moeda nacional e parte será coberto por financiamento externo. A avaliação inicial dos gastos de FURNAS com engenharia, foi superada; contribuíram para o aumento das estimativas iniciais fatores econômico-financeiros, e fatores de ordem técnica. Do ponto de vista técnico as variações resultaram principalmente de mudanças em equipamentos e sistemas impostos pelas autoridades licenciadoras, criando a necessidade de trabalhos adicionais de engenharia para adaptar a usina às novas características. No caso de Angra 2 e Angra 3 deverão intervir também problemas resultantes da fabricação de um número considerável de componentes no país. Para esclarecimento deste ponto seria conveniente ressaltar que a KWU e a NUCLEN pretendiam utilizar inicialmente a Usina de Biblis como

referência, pois grande parte dos projetos realizados para aquela usina poderiam ser repetidos em Angra o que diminuiria consideravelmente a carga de trabalho. Novos requisitos de segurança impostos pelas autoridades licenciadoras, bem como a modificação do projeto resultante de mudanças das especificações de alguns equipamentos, realizadas para permitir a utilização de componentes produzidos no Brasil, tende a aumentar os trabalhos de engenharia em relação ao que havia sido inicialmente estimado.

2.2.2. Administração Geral

Os custos administrativos de projeto são estimados a partir da análise da estrutura da empresa como um todo e da identificação da parcela desta estrutura que está direta e indiretamente alocada ao projeto. Este procedimento tem sido seguido pelas concessionárias de energia elétrica na administração de todos os seus grandes projetos.

O fornecimento das usinas às concessionárias por um processo "turn-key" cria para o setor elétrico uma situação inusitada, uma vez que a maior parte das atividades técnicas e administrativas que permitirão a aceitação final da usina pela concessionária, e sua integração ao sistema de geração, deverão ser mantidas. Isto significando que as equipes de engenharia e de operação, bem como as que fornecem apoio contratual, administrativo e econômico-financeiro deverão permanecer praticamente inalteradas e por conseguinte, cabendo à concessionária continuar considerando em seus orçamentos uma parcela de administração geral.

2.3. Despesas Financeiras

As estimativas de FURNAS para as despesas financeiras com o projeto de Angra 1 em dezembro de 1979 era de cerca de 27% dos seus custos globais, ou cerca de 38% do total dos custos diretos e indiretos, constituindo-se este item num dos principais componentes do custo final do empreendimento. Por outro lado, as despesas financeiras são altamente dependentes do prazo de execução do empreendimento e das taxas de financiamentos. Atuam para agravar o problema as flutuações relativas entre as diferentes moedas em que são pagos os empréstimos e

10.

os aumentos dos custos diretos e indiretos. Nesta parte do trabalho serão discutidos os efeitos da dilatação do prazo de construção e das taxas aplicáveis aos financiamentos.

2.3.1. Aumento dos Prazos de Construção.

Atrasos na construção têm sido uma das principais causas de aumento de custos das usinas nucleares. O maior reflexo destes atrasos é nas despesas financeiras. Estudos de sensibilidade realizados indicam que cada ano de atraso na conclusão do empreendimento cria um ônus adicional de cerca de 9% (nove por cento) no custo global do mesmo, somente devido às despesas financeiras. Seria conveniente esclarecer um pouco melhor este problema. Numa obra em que o programa de desembolso e de saques está otimizado em relação ao cronograma de conclusão da mesma, as despesas financeiras se situam entre 20% e 25% dos custos globais do empreendimento e correspondem a cerca de 25% a 30% da soma dos custos diretos e indiretos. À medida em que a obra vai se atrasando cria-se uma defasagem entre os esquemas de desembolso e saque e a data efetiva de operação da usina com aumento da parcela de juros durante a construção. Uma maneira de minimizar este efeito é a contratação da obra em prazos realísticos. A experiência mundial tem mostrado que o prazo médio de construção de uma usina nuclear é de cerca de 10 anos. No Brasil deve ser levado em conta ainda o aspecto pioneiro das primeiras centrais a serem construídas e conseqüentemente falta de tradição e experiência das empresas com este tipo de obra, bem como as dificuldades na elaboração dos projetos de engenharia devido à participação de equipamentos de origem nacional no empreendimento e as inerentes ao processo de transferência de tecnologia. Estes efeitos podem ser parcial ou totalmente contrabalançados pela seleção prévia do local de construção da usina e a antecipação das obras de infra-estrutura. A utilização de estimativas realísticas para os prazos de construção com a otimização do programa de saques e desembolso deverá manter os custos financeiros dentro de limites razoáveis otimizando os custos finais do empreendimento.

2.3.2. Taxa de Juros do Mercado

As taxas de juros de parte dos empréstimos tomados por FURNAS para cobrir o financiamento do projeto são variáveis e estabelecidas periodicamente pelas condições do mercado financeiro, as parcelas de juros durante a construção pagas ou capitalizadas são de acordo com as condições vigentes no mercado em que foram capitalizadas ou pagas. As estimativas para pagamento ou capitalização futuras são preparadas utilizando-se condições vigentes na data de referência das estimativas. As taxas de financiamento têm sofrido grandes oscilações devido a condições desfavoráveis no mercado financeiro internacional.

2.4. Outros Custos

Dois fatores adicionais devem ser levados em conta quando da preparação de estimativas de custo, são eles: flutuações nas taxas de câmbio e reajustamento nos preços de contrato.

2.4.1. Flutuações na Taxa de Câmbio

A maior parte dos custos em moeda estrangeira para Angra 2 e Angra 3 por exemplo, será paga em Marcos alemães. Esta moeda sofreu no período de dezembro de 1975 a dezembro de 1979 uma valorização de cerca de 44% em relação ao dólar, onerando de forma considerável os custos do empreendimento.

2.4.2. Reajustamento nos preços de Contrato

Os contratos em geral incluem cláusulas que permitem os fornecedores repassarem os aumentos de custos devido à inflação às concessionárias. As estimativas de custo são aumentadas então de uma maneira diretamente proporcional à relação entre os valores dos índices de referência na data da estimativa e os valores destes índices na data da assinatura do contrato.

No caso das Usinas de Angra 2 e Angra 3 por exemplo, têm-se experimentado uma conjuntura bastante desfavorável pois em cima de uma valorização relativa da moeda com relação ao dólar deve ser aplicado o multiplicador referente à inflação na Alemanha que nos últimos 4 anos tem se situado na média de 3.7% a.a.

12.

3. CUSTO DO CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR

A carga inicial de combustível da usina de Angra 1 foi adquirida por cerca de 25.8 milhões de dólares. A preços de dezembro de 1979 esta carga custaria cerca de 58.7 milhões de dólares. Cerca de 24.6 milhões de dólares deverão ser gastos anualmente para aquisições de combustível de recarga desta usina.

De uma maneira geral, as etapas do ciclo do combustível nuclear para reatores do tipo PWR podem ser divididas em pré-reator, reator e pós-reator. Pré reator são as etapas que antecedem ao uso do combustível no reator, como: compra de U_3O_8 , conversão, enriquecimento, fabricação e transporte de combustível novo; reator é a etapa em que o combustível é utilizado; e pós-reator são as etapas seguintes ao uso do combustível como: esfriamento, transporte de combustível irradiado, reprocessamento, estocagem e disposição.

Neste estudo, as etapas consideradas no cálculo do ciclo foram: compra de U_3O_8 , conversão, enriquecimento, fabricação, transporte de combustível novo e seguros. A estimativa dos custos diretos das diversas etapas do ciclo do combustível para Angra 1, em dezembro de 1979 está apresentada nas Tabelas 3-1 (Carga Inicial) e 3-2 (Recarga).

Os custos indiretos associados ao ciclo do combustível nuclear são da ordem de 25% dos custos diretos e são calculados tendo por base os custos diretos das etapas do ciclo, época em relação ao início ou fim de queima em que cada etapa é efetuada, taxa de juros e a forma de deplecionamento do combustível (fator de capacidade e paradas para recarga e/ou manutenção).

3.1. Planejamento da Operação

O planejamento da operação do sistema elétrico tem como principal objetivo gerar energia com o menor custo possível e confiabilidade dentro dos padrões requeridos. Em um parque gerador constituído de hidroelétricas e térmicas convencionais há relativa flexibilidade para a operação das térmicas em termos de suprimento de combustível. Na medida em que as centrais nucleares são implantadas, essa flexibilidade deixa de existir uma vez que o combustível nuclear passa por vários processos industriais e serviços associados (ver capítulo anterior), obrigando que estes sejam negociados com muita antecedência, implicando num planejamento a médio prazo.

Dessa forma, o fator de capacidade de operação da usina é a variável de maior influência no planejamento da recarga e na programação dos desembolsos relativos às etapas do ciclo, já que em função desse fator temos o período de queima do

ciclo e conseqüentemente o período em que devem se realizar as etapas do ciclo do combustível da recarga.

Considerando estudos preliminares feitos para Angra 1 com a usina funcionando com fator de capacidade de 100% temos as seguintes durações dos ciclos, em dias efetivos de operação à potência total (EFPD - Effective Full Power Days), já descontados os testes pré-operacionais:

19 ciclo: 330
29 ciclo: 261
39 ciclo: 277
49 ciclo em diante: 292

Durante a operação do reator será realizado um acompanhamento contínuo da queima do combustível, de modo a reavaliar a data de realização das etapas do ciclo. Caso ocorra uma grande variação do comportamento da operação da usina em relação ao fator de capacidade previsto ou alguma indisponibilidade (planejada ou não), haverá necessidade de se reprogramarem as atividades relativas às recargas, de forma a não ocorrer grande imobilização de recursos financeiros fora da época oportuna.

O cronograma de realização das etapas do ciclo será programado de forma a garantir o suprimento de combustível quando necessário, o que será conseguido supondo um fator de capacidade de 100% para a operação futura da usina. Se por algum motivo, num determinado período, a unidade for operada com fator de capacidade mais baixo, será recalculado quanto poderá ser gerado no período restante, supondo a operação à potência total, com reprogramação do cronograma das etapas do ciclo. Dessa forma, o planejamento das recargas será feito de modo a se ajustar, dentro do possível, ao fator de capacidade efetivo da usina.

Para exemplificar as dificuldades inerentes a este planejamento seria conveniente introduzir-se o conceito de "gerência do nível do reservatório nuclear" paralelo ao conceito de "gerência do nível de um reservatório hidráulico".

O conceito de "reservatório nuclear" é facilmente compreendido quando se pensa que no núcleo de um reator como o de Angra 2 estará estocado no início do 19 ciclo cerca de 61.000.000 MWh- térmicos, este bloco de energia, equivalente à energia térmica de 34,6 milhões de barris de petróleo, ou 7,2 milhões de toneladas de carvão, deverá ser liberado de forma gradual em função das necessidades do sistema de geração e de maneira compatível com as limitações impostas pelo equipamento da usina e por seu

14.

combustível.

Maiores detalhes dos problemas inerentes à administração do combustível podem ser encontrados na Referência 1.

4. CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Estima-se os custos anuais de operação e manutenção de uma usina nuclear do tipo de Angra 1 em cerca de 19 milhões de Dólares. Uma usina térmica convencional de igual porte teria custos correspondentes a praticamente um terço destes. Esta diferença por si só espelha o grau de complexidade das usinas nucleares.

As operações de manutenção e recarga são complexas requerendo a utilização de grande contingente de mão-de-obra especializada, além da equipe normal de operação. Além disto, os operadores devem ser formados com grande antecedência tendo em vista o demorado processo de treinamento a que devem ser submetidos. No caso de Angra 1 estas equipes foram formadas nos primeiros estágios da construção e acompanharam todo o processo de montagem e trabalharam ativamente no comissionamento da usina; além disto, fizeram estágios em simulador e em usinas em operação. Esta equipe elaborou também os manuais de operação e grande parte dos procedimentos de testes. Cabe finalmente ressaltar que é prática adotada pelas concessionárias a contabilização dos custos de formação da equipe de operadores e de seu treinamento nos custos de investimento da usina.

5. CUSTOS DE GERAÇÃO

Baseados nas estimativas apresentadas neste trabalho foram geradas informações relativas aos custos aproximados da usina de Angra 1. Estes valores calculados em função do fator de carga estão mostrados na ILUSTRAÇÃO 5-1. A tabela 5.1 informa as bases de cálculo utilizadas na elaboração da ilustração mencionada.

6. CONCLUSÕES

Os cálculos da seção 5 deste trabalho mostram claramente que a energia gerada por fonte nuclear é uma energia de elevados custos. No caso da usina de Angra 1 entre 78% e 86% (setenta e oito e oitenta e seis por cento) dos custos de geração são devido aos investimentos iniciais com construção e montagem da usina. Ficou patente também neste trabalho que o prazo de construção é um dos fatores de maior influência nos custos. Os efeitos dos prazos no aumento dos custos serão tanto maiores quanto maiores forem os afastamentos verificados com relação aos cronogramas originais, pois significam antecipação inadequada de despesas. É importante então, que se utilizem cronogramas realistas que reflitam as condições

do projeto principalmente seu caráter pioneiro e desta forma se otimize adequadamente os esquemas de pagamento aos fornecedores e a utilização dos equipamentos e mão-de-obra necessária.

Alguns fatores podem contribuir de forma positiva para o andamento do projeto dentro dos cronogramas, dentre eles podem ser destacados:

6.1. Seleção Prévia do Local da Usina

Tendo em vista o Acordo Nuclear, praticamente todas as características relevantes para a seleção de um local para instalação de uma usina nuclear tipo Angra 2, estão definidas. Isto irá permitir às empresas envolvidas na construção uma disponibilidade de tempo bem maior para seleção do local da usina. A escolha de um local que leve a otimização de todos os parâmetros envolvidos, desde os aspectos nucleares propriamente ditos até a disponibilidade de infra-estrutura básica é um trabalho delicado que demanda estudos criteriosos. Uma vez selecionados os locais, a complementação dos trabalhos de infra-estrutura antes mesmo da contratação do fornecimento, é um fator que pode contribuir de forma positiva para a produtividade da obra. Neste caso, é importante notar ainda que o impacto da seleção prévia do local é bem maior no prazo de construção do que nos custos do trabalho de implantação da infra-estrutura adequada.

6.2. Verificação do Projeto

Um dos principais problemas encontrados na construção e montagem de usinas nucleares diz respeito aos erros no projeto dos sistemas. A detecção destes erros ainda na fase do projeto, pode evitar demorados trabalhos de reparos e modificação durante a fase de construção e montagem. Qualquer modificação do projeto deve ser analisada em profundidade de forma a pesar seus reflexos em todos os sistemas afetados. Este tipo de atividade deverá também representar uma produtividade crescente para os serviços.

6.3. Treinamento de Pessoal

Um aspecto bastante importante na redução de custos é o treinamento adequado do pessoal das empresas envolvidas na construção que ficará responsável pela fiscalização da construção e montagem da usina. Existem usualmente programas de treinamento para grupos de engenharia e operação, sendo pouco o treinamento disponível nas áreas de construção e montagem. É importante então, que as empresas obtenham estágios para seus engenheiros acompanharem

16.

a construção e montagem de usinas do mesmo tipo. Esta atitude contribuirá para o aumento da produtividade destes engenheiros e da obra em geral.

6.4. Contratos

Além das medidas mencionadas algumas proteções adicionais podem ser introduzidas no Contrato das usinas no sentido de otimizar os custos para as concessionárias.

6.4.1. Marcos para Pagamento

A concessionária deveria procurar introduzir no Contrato o maior número possível de datas e marcos de progresso da obra que seriam condicionantes para pagamento. A não complementação de uma determinada fase dentro dos prazos previstos deveria permitir sustar todos os pagamentos inclusive os referentes aos equipamentos; este tipo tão abrangente de cláusula só é possível num projeto do tipo "turn-key".

6.4.2. Responsabilidade por Erro de Projeto

Toda ou qualquer modificação que resulte de erros de projeto em qualquer fase devem ser pagas pelas empresas responsáveis pela construção, incluindo custos de engenharia, mão-de-obra e equipamentos utilizados na correção destes defeitos.

6.4.3. Contratação de Modificações na Base de Custo

Normalmente os fornecedores se comprometem a licenciar as usinas nos níveis requeridos pelas autoridades licenciadoras na data de assinatura do Contrato, bem como fornecer a usina de acordo com as últimas técnicas disponíveis nesta data. Como foi discutido é bem possível que durante a construção haja novas exigências das autoridades licenciadoras ou que novas técnicas sejam introduzidas. Seria conveniente então, que o Contrato previsse pelo menos que as modificações determinadas pelas autoridades licenciadoras sejam cobradas pelo custo efetivo.

6.5. Disponibilidade de Recursos

Outro ponto enfatizado neste trabalho diz respeito à necessidade da empresa responsável pela construção

ter assegurado que os recursos necessários ao empreendimento estarão disponíveis nas épocas requeridas. Atrasos na liberação destes recursos podem representar atraso no andamento dos serviços com grande ônus para os custos finais da obra.

6.6. Considerações Finais

Este trabalho focalizou diversos aspectos determinantes no estabelecimento dos custos finais de construção e operação de centrais nucleares. A partir da identificação destes pontos de maior relevância na composição dos custos foram apresentados critérios gerais e sugestões específicas que podem levar a otimização dos mesmos.

Cabe ressaltar ainda que a introdução da tecnologia nuclear cria para as concessionárias de serviço de eletricidade uma situação especial bastante distinta da que estavam habituadas no equacionamento dos problemas relativos aos seus grandes projetos de investimento. Foi mostrado que cada ano de atraso num empreendimento deste vulto pode representar centenas de milhões de Dólares em custo adicional para a concessionária com reflexos inevitáveis na economia do país. É fácil compreender então a importância da harmonização dos objetivos das empresas envolvidas no projeto nuclear de forma que seu desenvolvimento se faça sem solução de continuidade e em consonância com os objetivos maiores do país.

Janeiro de 1981

(1) "GERENCIA DO COMBUSTÍVEL PARA AS USINAS NUCLEARES",
Ronald Araújo da Silva, novembro de 1979.

TABELA 3-1

NUCLEO INICIAL DE ANGRA 1
(Preços de Dezembro de 1979).

- 1) CONCENTRADO DE URÂNIO
Quantidade: 274.136,03 Kg U₃O₈
Custo Unitário: 93.25 US\$/Kg U₃O₈
Custo: US\$ 25,560,387.30

- 2) CONVERSÃO
Quantidade: 232.450,837 Kg U como UF₆
Custo Unitário: 5.50 US\$/Kg U
Custo: US\$ 1,278,479.60

- 3) ENRIQUECIMENTO
Quantidade: 171.089,187 UTS
Custo Unitário: US\$ 101.31/Kg UTS
Total: US\$ 17,393,045.53

- 4) FABRICAÇÃO
Quantidade: 49.435,325 Kg U
Custo Unitário: US\$ 266.86/Kg U
Total: US\$ 13,192,470.95

- 5) TRANSPORTE/SEGUROS
Quantidade: 49.435.325 Kg U
Custo Unitário: US\$ 27.86/Kg U
Total: US\$ 1,377,284.87

- 6) CUSTO TOTAL
US\$ 58,741,668.25

TABELA 3-2

1ª RECARGA DE ANGRA 1

(Preços de Dezembro de 1979)

1) CONCENTRADO DE URÂNIO

Quantidade: 119.306,83 Kg U_3O_8
Custo Unitário: US\$ 93.25/Kg U_3O_8
Total: US\$ 11,125,361.90

2) CONVERSÃO

Quantidade: 101.178,08 KgU como UF_6
Custo Unitário: US\$ 5.50/Kg U
Total: US\$ 556,468.44

3) ENRIQUECIMENTO

Quantidade: 82.436,47 UTS
Custo Unitário: 101.31 US\$/Kg UTS
Total: US\$ 8,351,638.60

4) FABRICAÇÃO

Quantidade: 16.429,2 Kg U
Custo Unitário: US\$ 266.86/Kg U
Total: US\$ 4,384,296.31

5) TRANSPORTE/SEGUROS

Quantidade: 16.429,2 Kg U
Custo Unitário: US\$ 10.00/Kg U
Total: US\$ 164,292.00

6) CUSTO TOTAL

US\$ 24,582,057.25

TABELA 5-1

CUSTOS ESTIMADOS DE GERAÇÃO

1) CUSTOS FIXOS

Remuneração do Investimento (1) (10% a.a.)	US\$ 200.00/KW-ano
Cota de Reversão e Garantia (2) (3.5% a.a.)	US\$ 70.00/KW-ano
Cota de Depreciação (3) (3.33% a.a.)	US\$ 66.60/KW-ano
Combustível Parcela Fixa (4)	US\$ 4.95/KW-ano
	<hr/>
	US\$ 341.55/KW-ano

2) CUSTOS DE OPERAÇÃO

Combustível:	7.664 mills/KWh
Operação e Manutenção:	3.500 mills/KWh

- (1) Foi utilizada a taxa de 10% a.a. aplicável sobre o investimento remunerável (esta taxa pode variar entre 10% e 12%), ver Decreto-Lei 1506.
- (2) Valor máximo permitido de até 5%, Lei 1383; foi utilizado 3.5% a.a.
- (3) Foi considerada uma vida útil de 30 anos para a usina e ainda que os valores salvados sejam iguais ao custo do descomissionamento.
- (4) O custo fixo do combustível foi remunerado na base de 10%.

QUADRO 2-1

ANGRA 1 - PREVISÃO DO CUSTO UNITÁRIO MÉDIO

(PREÇOS DE DEZEMBRO DE 1979)

VALOR ORÇADO: - US\$ 2,000/KW
(Aproximado)

Composição Percentual Aproximada dos Custos

- Terrenos e Obras Civas -	18.4%
- Equipamentos e Montagem -	36.8%
- Engenharia -	11.2%
- Administração Geral -	6.3%
- Despesas Financeiras -	27.3%

OBSERVAÇÕES:

1. Não inclui a primeira carga de combustível
2. Período de construção (anos) : 8.5

ANGRA - 1

CUSTOS ESTIMADOS DE GERAÇÃO

(Valores Aproximados)

