

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**



**ENSINANDO ENERGIA NUCLEAR: UM MÓDULO BASEADO NO  
ENFOQUE CTS**

**Albertina Poffo  
Prof. Dr. Arden Zylbersztajn  
Orientador**

Monografia apresentada no Curso de Especialização  
Em Ensino de Física na UFSC, como requisito  
parcial para obtenção do título de  
Especialista em Ensino de Física

**Florianópolis (SC)**

**Abril - 2001**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

*“Ensinando energia nuclear. Um módulo baseado no enfoque CTS”*

Monografia submetida ao Colegiado do  
Curso de Especialização em Ensino de  
Física do Centro de Ciências Físicas e  
Matemáticas em cumprimento parcial para a  
obtenção do título de Especialista em  
Ensino de Física.

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 26/04/2001

Dr. Arden Zylbersztajn - Orientador

Dr. Nelson Canzian da Silva - Examinador

Prof. Dr. Maurício Pietrocola  
Coordenador CCEE/CFM/UFSC

Albertina Poffo

*Florianópolis, Santa Catarina, abril de 2001.*



03752013

## **AGRADECIMENTOS**

Aos amigos que conviveram toda trajetória do Curso, pela troca de informações, idéias e conhecimentos; em especial aos professores pela dedicação e esforço.

À coordenação do Curso de Especialização no Ensino de Física, professor Mauricio Pietrocola que conviveu conosco esta longa caminhada.

Ao orientador deste trabalho, Professor Arden Zylbersztajn, pelo apoio, incentivo e conhecimento profissional transmitidos.

Aos alunos, que contribuíram para a realização desta pesquisa.

A família pela ajuda e compreensão.

A Deus pela força e persistência de chegar ao fim de mais uma caminhada.

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma pesquisa a respeito da aplicação de um módulo de ensino que teve como objetivo investigar as possibilidades didáticas do enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) em uma turma de Ensino Médio em uma escola estadual de Santa Catarina. O módulo tinha como característica o envolvimento pessoal dos alunos em atividades motivadoras, fugindo das aulas expositivas tradicionais.

A idéia que fundamenta o enfoque CTS é a de que conceitos científicos e suas aplicações tecnológicas, bem como suas relações com o social, podem ser melhor explorados conjuntamente, contribuindo para uma melhor formação do aluno enquanto cidadão.

A energia nuclear foi o tema escolhido para integrar os conceitos científicos tecnológicos e sociais ligados à produção de energia elétrica.

O trabalho desenvolveu-se no Colégio Estadual Professor Henrique da Silva Fontes, na cidade de Rio do Sul. A execução se deu durante o segundo semestre do ano letivo de 2000.

Como resultado pode-se destacar o aumento da participação dos alunos nas atividades desenvolvidas, a boa aceitação da proposta por parte dos alunos e a atenção despertada pelo tema escolhido.

A experiência educacional descrita neste trabalho também aproximou o conhecimento da física nuclear aos alunos do ensino médio.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. O REFERENCIAL TEÓRICO	
2.1. O Ensino das Ciências Naturais .....	6
2.2. Ciências, Tecnologia e Sociedade e Educação Científica .....	8
2.3. CTS e Estratégias de Ensino .....	10
3. A PESQUISA	
3.1. Objetivos da Pesquisa.....	13
3.2. A Aplicação do Módulo de Ensino	
3.2.1. Problematização Inicial.....	15
3.2.2. Organização do Conhecimento .....	22
3.2.3. Júri Simulado.....	23
3.2.4. Avaliação.....	24
4. AVALIAÇÃO DA EXPERIÊNCIA .....	31
5. CONCLUSÕES .....	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37
Anexo 1 – Questionário Energia Nuclear .....	39
Anexo 2 – Avaliação dos conteúdos .....	41
Anexo 3 – Avaliação do Módulo de Ensino.....	44
Anexo 4 – Avaliação da Metodologia .....	47

Anexo 5 – Redações dos alunos.....	50
Anexo 6 – Texto: Energia Nuclear no Brasil.....	57
Anexo 7 – Texto: Reatores Nucleares.....	72

## 1. INTRODUÇÃO

A educação vive uma perspectiva de mudança, sofrendo pressões das mutações que estão ocorrendo no mundo cotidiano. As mudanças atingem o ensino de ciências, novas propostas no sentido de que os alunos compreendam a realidade e assim, possam participar de forma consciente das decisões que envolvem a sociedade na qual estão inseridos.

Os grupos interessados no aperfeiçoamento da educação, em diferentes partes do mundo, estão dispostos a investir alto na elaboração de currículos, atacando as deficiências no processo ensino-aprendizagem tanto na apresentação de novos programas, projetos, livros e material didático, assim como na atualização de professores através de cursos, sendo um bom exemplo desta iniciativa o Programa de Formação Continuada para Professores no Ensino Médio [Pró-Ciências].

Não divergem os especialistas quanto ao importante papel das disciplinas científicas na educação, mas os resultados estão longe das aspirações compartilhadas por todos que influenciam as decisões curriculares.

As propostas ventiladas pelos órgãos governamentais responsáveis pela organização da educação são, no sentir desta educadora, na sua grande maioria inócuas, pois o que é almejado no planejamento curricular dificilmente é levado a efeito, haja vista a heterogeneidade na execução do processo ensino aprendizagem pela docência geral.

Nesse sentido, ressalte-se o pensamento infra:

“Outra interpretação sugere que os objetivos são aceitos, mas os professores estão despreparados para transmitir o currículo de uma forma congruente com as propostas.”.  
**(KRASILCHIK, Myriam. O Professor e o Currículo da Ciências. p. 3)**

A nova proposta curricular do Estado de Santa Catarina para o Ensino Médio tem como objetivo o envolvimento de cada área do conhecimento de forma combinada, bem como o desenvolvimento de conhecimentos práticos e contextualizados, fazendo com que respondam às necessidades da vida contemporânea, tornando o conhecimento mais amplo e aplicado, mas ao mesmo tempo correspondendo a uma cultura geral.

Destarte, a visão do mundo, no que se relaciona às inovações trazidas na área das ciências naturais, corresponde à crescente valorização do conhecimento e da capacidade de inovar. Este fenômeno demanda cidadãos capazes de aprender continuamente e, assim, torna-se essencial uma formação geral e não apenas um treinamento específico.

Nesse passo, o aprendizado deve contribuir não só para o conhecimento técnico, mas sim para uma cultura ampla, desenvolvendo meios que facilitem a interpretação de fatos naturais e sociais. Assim, deve-se proporcionar a construção da compreensão dinâmica de nossa vivência material, um convívio harmônico com o mundo da informação, um entendimento histórico da vida social e produtiva, em fim, um aprendizado com caráter prático e crítico.

Na nova proposta, espera-se que a física contribua na formação de uma cultura científica efetiva, ou seja, que permita ao indivíduo interpretar fatos, fenômenos e processos naturais. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humana.

Todavia, é necessário que essa cultura em física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional. Dessa forma, objetivos se transformam em linhas orientadoras para a organização do ensino de Física no Ensino Médio, fazendo-se indispensável traduzi-los em termos de competência e habilidades, superando a prática tradicional.



O ensino de Física tem-se realizado freqüentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciada do mundo vivido pelos alunos e professores e tornando-se por isso, vazio de significado. Geralmente prioriza-se a teoria e a abstração, enfatizando a utilização de fórmulas, em situações não reais ou desvinculando o significado físico para o do matemático. Ressalte-se a insistência no ensino baseado na solução de exercícios repetidos, tendo em mira uma aprendizagem pela repetição, e não pela construção do conhecimento através de competências adquiridas.

Dessa forma, apresentava-se o conhecimento como um produto acabado, um conteúdo sem essência, uma verdade apresentada extrinsecamente, mas desvinculada de fundo. Privilegiava-se o exterior mas, entretanto, deixava-se para trás a construção dos alicerces do conhecimento.

Portanto, urge a mudança, como um meio necessário dentro da física contemporânea para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e a formação de cidadãos conscientes e preparados.

Os alunos encontram grandes dificuldades com respeito ao ensino de física, principalmente no relacionar os conteúdos apreendidos em sala de aula, com a realidade do dia a dia. Por outro lado, bons profissionais tornam-se desmotivados diante do que vêem e acabam por desenvolver um trabalho inferior em vista daquele que efetivamente seriam capazes de fazer. Outros desistem alegando decepção pelo baixo nível em que se encontra o ensino, somado aos baixos vencimentos a que estão submetidos.

Buscando melhorar essa situação, tentamos desenvolver métodos de estudo que despertem o interesse e a motivação do aluno pela física, encontrando, mesmo com os poucos recursos de que dispomos, uma forma conciliatória entre a prática do ensino de física e a prática do dia a dia.

A experiência de muitos anos no ofício da docência junto ao Ensino Médio fez-me constatar uma triste realidade, donde ressalta a baixa porcentagem de estudantes do Ensino Médio que conseguem concluir o curso. Uns por acharem o ensino forte demais e evadirem-se dos bancos escolares,

outros, por não estarem preparados o suficiente para acompanhar o desenvolvimento dos conteúdos programáticos e assim, formarem ao final do ano letivo o filão de discentes reprovados. Essa celeuma transcende as fronteiras escolares, vindo a repercutir no mundo social, obliterando, por exemplo, o ingresso destes indivíduos em setores profissionais que utilizam-se de vestibulares para balizar as qualidades dos ingressantes.

As escolas têm uma deficiência de meios auxiliares e material de apoio ao ensino. Os professores conscientes do processo ensino-aprendizagem precisam usar sua criatividade na busca de soluções que, sendo simples e de baixo custo resultam em um melhor aproveitamento para o estudante.

O interesse que deve despertar no aluno pela física é um dos pontos fundamentais na obtenção da aprendizagem, e o professor deve procurar a forma mais viável para que isso ocorra, de tal modo que a aprendizagem seja algo realmente interessante e justificável para uso na sua vida diária.

Destarte, as aulas de Física devem proporcionar a apreensão dos conceitos, leis, relações da física e sua utilização, bem como a sua aproximação com os fenômenos ligados a situações vividas pelos alunos, sejam de origem natural, sejam de origem tecnológicas.

Analisando os planos de curso de Física da 3<sup>a</sup> série do Ensino Médio nota-se uma defasagem entre a física ensinada matematicamente, isto é, desenvolvida apenas através de aulas teóricas e exercícios de raciocínio matemático e a física ensinada através de sistema diversificado, ou seja, desenvolvida através de experiências de reprodução e construção do conhecimento, onde os alunos vivenciam os fenômenos físicos e procuram relaciona-los no meio em que vivem. Portanto, não se trata de elaborar novas listas de tópicos de conteúdos, mas sobretudo de dar ao ensino de física novas dimensões. Isso significa promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem. Apresentar uma física que explique a queda dos corpos, o movimento da lua ou das estrelas no céu, o arco-íris, raio laser, as imagens da televisão e as formas de comunicação. Uma física que explique os gastos da “conta de luz” ou o consumo diário de combustível assim com as

questões referentes ao uso das diferentes fontes de energia em escala social, incluindo a energia nuclear, com seus riscos e benefícios.

Para atender essas novas propostas de ensino dentro da Física, este projeto tem como objetivo a aplicação do enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), fulcrada na proposição de que o ensino das ciências deve proporcionar conhecimento necessário à compreensão dos fenômenos da natureza, bem como considerar as relações entre ciência, tecnologia e sociedade.

Para atingir a finalidade da investigação foi desenvolvido um módulo de ensino centrado no tema da energia nuclear. O módulo foi aplicado em caráter experimental, em uma classe de 3ª série do Ensino Médio, no período noturno, composta por 32 alunos, com idades entre 16 e 19 anos, junto a uma escola da rede pública de ensino.

As atividades envolvendo os alunos foram previstas para cinco semanas no 2º semestre do ano 2000, ocupando, em média, 4 aulas semanais.

A opção por um tema relacionado à energia nuclear, prendeu-se ao fato do sentimento desafiador que o tema em epígrafe desperta, quer no espírito docente, quer no espírito discente.

Registre-se, outrossim, a grande abrangência dos aspectos que incidem sobre o tema dentro da física, tais como os ligados à responsabilidade social, saúde pública, risco social e pessoal, além dos científicos e tecnológicos.

## 2. O REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. O Ensino das Ciências Naturais

O ensino de ciências tem sido praticado de acordo com diferentes propostas educacionais, que se sucedem ao longo das décadas como elaborações teóricas e que, de diversas maneiras, se expressam nas salas de aula.

Muitas práticas, ainda hoje, são baseadas na mera transmissão de informações, tendo como recurso exclusivo o livro didático e sua transcrição no quadro; outras já incorporam avanços, produzidos nas últimas décadas sobre o processo de ensino aprendizagem em geral e sobre o ensino das ciências em particular.

“Quando foi promulgada a Lei de diretrizes e Bases da Educação de 1961, o cenário escolar era dominado pelo ensino tradicional. Aos professores cabia a transmissão de conhecimentos acumulados pela humanidade, por meio de aulas expositivas, e aos alunos a reprodução das informações. O conhecimento científico era considerado um saber neutro, isento, e a verdade científica era inquestionável.”( **Brasil. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais: ciências naturais/ Secretaria de Educação Fundamental. .1ª ed. Brasília: MEC/SEF, 1997. p. 19.**)

“O movimento denominado Escola Nova, deslocou o eixo da questão pedagógica dos aspectos puramente lógicos para aspectos psicológicos, valorizando-se a participação ativa do estudante no processo de aprendizagem. Objetivos informativos deram lugar a objetivos também formativos. As atividades práticas passaram a representar importante elemento para a compreensão ativa de conceitos, mesmo que sua implantação prática tenha sido difícil em escala nacional. O objetivo fundamental do ensino de Ciências Naturais passou a ser dar condições para o aluno vivenciar o que se denominava método científico, ou seja, a partir de observações, levantar hipóteses, testá-las, refutá-las e abandoná-

las quando fosse o caso, trabalhando de forma a redescobrir conhecimentos.” (Ib. Idem. p. 19-20)

Apesar de não ter atingido a maioria das escolas, mas ter criado a idéia no professorado de que somente com laboratório é possível alguma modificação no ensino de ciências, muito material didático foi produzido para contribuir na melhoria do ensino de ciências.

Durante a década de 80, pesquisas feitas sobre o ensino de ciências revelaram o que muitos professores já tinham percebido: a experiência, sem uma atividade investigativa mais ampla, não garante a aprendizagem dos conhecimentos científicos.

Com o incentivo à industrialização acelerada, ignorando-se os custos sociais e ambientais, surgiram problemas sociais e ambientais, associados às novas formas de produção, que passaram a ser realidade reconhecida em todos os países, inclusive no Brasil. Os problemas relativos ao meio ambiente e à saúde começaram a ter presença nos currículos de Ciências Naturais, mesmo que abordados em diferentes níveis de profundidade.

No ensino das ciências naturais, ganhou corpo o enfoque conhecido desde os anos 80 como “Ciência, Tecnologia e Sociedade” (CTS).

No âmbito da pedagogia geral, as discussões sobre as relações entre educação e sociedade se associaram a tendências progressistas, que no Brasil se organizaram em correntes importantes que influenciaram o ensino das ciências naturais, em paralelo à CTS, enfatizando conteúdos socialmente relevantes e processos de discussão coletiva de temas e problemas de significado e importância reais.

Especialmente a partir dos anos 80, o ensino das ciências naturais se aproxima das ciências humanas e sociais, reforçando a percepção da ciência como construção humana, e não como “verdade natural”, e nova importância é atribuída à história e à filosofia da ciência no processo educacional.

As diferentes propostas reconhecem hoje que os mais variados valores humanos não são alheios ao aprendizado científico e a ciência deve ser

apreendida em suas relações com a tecnologia e com as demais questões sociais e ambientais.

Mudar tal estado de coisas, portanto, não é algo que se possa fazer unicamente a partir de novas teorias, exige uma nova compreensão do sentido da educação, bem como do processo no qual se aprende.

## **2.2. Ciência, Tecnologia e Sociedade e Educação Científica**

O desenvolvimento e a especialização das culturas humanas, ao longo dos tempos, ocorre em conjunto com o desenvolvimento tecnológico. No presente, assiste-se à convivência da utilização de técnicas antigas e artesanais com aplicação tecnológica que se desenvolveram em íntima relação com as ciências modernas e contemporâneas. Em paralelo, há a persistência de problemas sociais graves, como a desnutrição e a mortalidade infantil, num momento em que o desenvolvimento se faz marcante na produção e estocagem de alimentos, na indústria farmacêutica e na medicina.

O domínio da informática é um dos aspectos de um novo e amplo complexo de relações da atualidade social e produtiva, na qual conhecimento e informação são pelo menos tão preciosos quanto materiais e energia.

A presença de tal assunto neste trabalho decorre também da necessidade de formar alunos capacitados para compreender e utilizar diferentes recursos tecnológicos e assim discutir as implicações éticas e ambientais da produção e utilização da tecnologia.

De tal arte, para um Ensino Médio voltado para a universalidade básica do conhecimento, precisa-se desenvolver o saber científico e tecnológico como condição de cidadania e não como prerrogativa de especialistas. O aprendizado não deve centrar-se na interação individual de alunos com materiais instrucionais, nem se resumir à exposição de conteúdos, mas se realizar pela participação ativa de cada um e do coletivo educacional numa prática de elaboração cultural que conduz cada disciplina no tratamento interdisciplinar de diversos temas.

Com esta perspectiva educacional abrangente, o papel mais importante a ser cumprido pela educação é o de habilitar o aluno a compreender a realidade em todos os segmentos, para com isto o habilitar a participar de forma crítica e consciente dos debates e decisões presente na sociedade na qual encontra-se inserido.

A educação tradicional está sendo alvo de muitas críticas por parte de amplos setores preocupados com o ensino das ciências, que defendem uma educação científica fundamentada na ação e na interação social:

“O conhecimento científico deve ser acomodado ao lado dos outros conhecimentos, e ser encarado como inseparável das conexões social e institucional, e deve ser valorizado não tanto em função de referências à sua validade universal, mas por sua utilidade em resolver um problema mais à mão”. (Jenkins 1994, p. 609 apud Souza Cruz, Sonia Maria e Zylbersztajn, Arden 2000. **O enfoque ciência, tecnologia e sociedade e a aprendizagem centrada em eventos. p.1)**

Esta forma de pensar na ciência e seu ensino implica na necessidade de envolver alunos e professores numa mudança e com isso aumentar a capacidade de resolver problemas, pois a ciência e a tecnologia estão cada vez mais presentes na vida cotidiana.

“O aluno deve desenvolver a capacidade de raciocínio e compreender e usar a ciência como elemento de interpretação e intervenção no mundo” (**Proposta Curricular de Santa Catarina p. 26)**

A proposta que busca atender estes objetivos se tornou conhecido com o enfoque CTS (Ciência Tecnologia e Sociedade). É uma concepção que aponta para um ensino que ultrapasse a meta de uma aprendizagem de conceitos e teorias relacionadas com conteúdos canônicos em direção a um ensino que tenha validade cultural, para além da validade científica .

A aprendizagem envolvendo CTS tem como objetivo ensinar cada cidadão comum o essencial para ser capaz de aproveitar e contribuir com uma educação científica e tecnológica, procurando incorporar ciências naturais assim como o campo social e tecnológico, envolvendo comportamento cognitivo, ético e comunicativo.

Nas nações que fazem parte do assim chamado primeiro mundo, a preocupação com o enfoque não é recente, acentuando-se na década de 80. O interesse pelo enfoque na área de ensino de ciências, a nível internacional, motivou o *International Journal of Science Education* a publicar uma edição especial tendo CTS como foco, em 1988. A este respeito pode-se chamar atenção ainda para a existência da IOSTE (*International Organization for Science and Technology Education*), que desde a sua criação, em 1979, realizou nove simpósios internacionais, sendo o último na África do Sul em 1999.

O enfoque CTS propagou-se, levando alguns autores, como por exemplo Yager(1996), a considerá-lo como um novo movimento de reforma curricular, pelo menos no contexto da educação norte-americana. Nesse passo, a CTS não é apenas uma maneira de ordenar e selecionar conteúdos no currículo, mas é uma reforma educativa que implica numa mudança de grande alcance, na qual o domínio dos conteúdos deixa de ser o objetivo central, para tornar-se parte do tema central.

Autores como Krasilchik (!985) já tinham defendido a necessidade de considerar as implicações sociais da ciência e da tecnologia no ensino. No Brasil, só recentemente, autores têm tornado freqüentes as referências ao enfoque CTS como algo a ser contemplado dentro de um quadro de renovação do ensino das ciências. (Santos e Schnetzler 1997; Amaral 1998; Domingues et al. 1998).

### **2.3. CTS e Estratégias de Ensino**

O enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade oferece vários aspectos como estratégias de ensino. Mas há uma concordância sobre a sua importância no que tange às mudanças relativas aos objetivos da educação científica, e na



alteração de metodologias que favoreçam abordagens interdisciplinares e interativas.

“Nos cursos de CTS, várias estratégias de ensino tem sido utilizadas. Elas vão além das práticas atuais de palestras, demonstrações sessões de questionamento, solução de problemas e experimentos no laboratório . O ensino de CTS inclui jogos de simulação e desempenho de papéis, fóruns e debates, projetos individuais e de grupos, redação de cartas para autoridades, pesquisa no campo de trabalho, palestrantes convidados e ação comunitária. Geralmente, a mudança nas estratégias muda o papel do professor para o de administrador de classe (gerenciando o tempo, os recursos humanos e o ambiente emocional da classe), além do papel do responsável pela sala de aula”. (Hofstein et al. 1988, citado por Santos e Schnetzler. 1997. p. 83 apud Souza Cruz, Sonia Maria, Zylbersztajn, Arden 2000. O acidente radioativo de Goiânia: uma experiência no ensino de CTS utilizando a aprendizagem centrada em eventos. p.1)

Um aspecto importante é que os temas utilizados para a elaboração de módulos para o ensino sejam ricos em oportunidades curriculares, isto é, aqueles a partir dos quais um maior número de assuntos possam ser trabalhados.

A importância está na escolha dos temas em torno dos quais serão baseados os materiais de ensino. Eles devem ser importantes e atrativos, assuntos motivadores e ricos em “interesse humano”, capazes de estimular a discussão e o debate. O ponto fundamental é que tanto os aspectos científicos, como as implicações sociais de um produto tecnológico podem ser melhor explorados para captar a atenção dos alunos. O tema encontra-se no centro da experiência de aprendizagem dele derivando os demais elementos. O conhecimento dos alunos é organizado de forma a servir para o entendimento de novas experiências.

Os defensores do enfoque CTS destacam também a relevância de se fugir da prática normal no ensino das disciplinas científicas, e se basear principalmente em atividade e não nas aulas expositivas e tradicionais. O objetivo é integrar os conceitos científicos com temas tecnológicos e sociais, através de um formato que permite aos alunos tomarem decisões a respeito de que informações eles necessitam e como eles podem utilizá-los. Neste contexto o papel dos professores é basicamente orientar e supervisionar.

**Observação:** A redação deste capítulo foi baseada principalmente na investigação bibliográfica dos textos:

**O Enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade e a Aprendizagem Centrada em Eventos.** (*Sonia Maria S. C. de Souza Cruz e Arden Zylbersztajn*)

**Encruzilhada de Mudança do Limiar do século XXI Co-construção do Saber Científico e da Cidadania Via Ensino CTS de Ciências.** (*Maria Eduarda do Nascimento Vaz Moniz do Santos*)

**Parâmetros Curriculares Nacionais (MEC)**

### 3. A PESQUISA

Esta pesquisa foi desenvolvida na área da educação, e visa buscar subsídios que proporcionem melhorias no processo ensino-aprendizagem no sentido de tornar o estudo dos conteúdos da física mais prazeroso e eficaz, levando o aluno a interessar-se cada vez mais pela aplicação desta ciência, de modo que auxilie na interpretação dos fatos, fenômenos, na solução dos problemas do dia a dia, e no entendimento da sociedade em que vive.

#### 3.1. Objetivos da Pesquisa

Toda a escola tem por objetivo a qualidade no ensino. Por isso, não pode deixar de inovar seus processos de ensino-aprendizagem, sempre que necessário.

Esta pesquisa tem por finalidade validar novas metodologias para o ensino de Física no Ensino Médio desenvolvidas a partir de CTS com o intuito de:

- Contribuir para a melhoria do ensino de Física.
- Despertar para integração do ensino de Física com situações cotidianas.
- Motivar a aprendizagem estimulando os alunos através de temas da vida real.
- Verificar se o tema escolhido despertou interesse, provocou debate, e captou a atenção do aluno.
- Verificar a integração dos conceitos científicos com os tecnológicos e sociais.

- Analisar a capacidade de decisão em relação a situações sociais que envolvem aspectos físicos ou tecnológicos relevantes.

- Validar a aplicação do enfoque CTS

### **3.2. A Aplicação do Módulo de Ensino**

O tema centralizador escolhido foi a energia nuclear, particularmente a construção de usinas nucleares no Brasil. A opção por um tema relacionado com a tecnologia nuclear prendeu-se ao evidente poder emotivo do assunto, bem como por conter um vasto conhecimento científico e tecnológico, envolvendo aspectos sociais e econômicos.

Para atender aos objetivos da investigação foi desenvolvido um módulo de ensino denominado Energia Nuclear. O módulo foi aplicado, em uma classe da 3ª série do ensino médio noturno, composta por 29 alunos com idade entre 16 e 19 anos de uma escola da rede pública de ensino. As atividades envolvendo os alunos transcorreram no 3º bimestre do ano letivo de 2000, durante este período foram ocupadas quatro semanas com 4 aulas semanais.

Tradicionalmente as propostas curriculares para o Ensino Médio têm como base a organização seqüencial de conteúdos e atividades. Estes são organizados e aplicados em patamares de ações envolvendo a graduação de complexidade que leva em consideração o interesse, as necessidades e o desenvolvimento intelectual do aluno. Considerando isto, avaliamos que, teoricamente, os alunos da 3ª série do ensino médio seriam os melhor preparados para a aplicação do módulo de ensino.

O módulo de ensino teve as seguintes etapas: Problematização Inicial, Organização do Conhecimento, Júri Simulado e Avaliação. Estas etapas foram inspiradas nos momentos pedagógicos propostos por Delizoicov e Angotti (1992).

### 3.2.1. Problematização Inicial

A problematização inicial foi desenvolvida em duas aulas, cujo objetivo, além de estimular a motivação dos alunos, foi verificar o nível de entendimento dos mesmos sobre e ter um instrumento de avaliação da evolução das suas idéias em relação ao assunto.

Na primeira aula a atividade desenvolvida foi uma redação sobre energia nuclear (Anexo 5).

Os alunos ficaram surpresos quando se falou em redação, perguntaram se a professora estava bem. Um aluno questionou: - professora é aula de Física e não de Português! Outro aluno, quando foi pedido para pegar uma folha, perguntou se podia consultar o livro, pensando ser um trabalho em grupo sobre conteúdos estudados, como por exemplo, os geradores. Mesmo assim, os acontecimentos transcorreram normalmente.

Na redação apenas um aluno deixou claro ter um conhecimento mais aprofundado sobre o assunto energia nuclear:

*“Energia nuclear é um meio perigoso de se produzir energia, pois há um grande risco de vazamento, e também a poluição do meio ambiente pelo lixo radioativo.*

*O Brasil possui duas usinas nucleares: Angra I e Angra II que ficam situadas no Rio de Janeiro, onde tiveram um alto custo e que até hoje é de pouca utilidade.*

*Este meio de produção de energia pode ser bem utilizada nos países com falta de água e de espaço, pois ocupa um pequeno território e pouca água para produção de energia.*

*É a energia produzida através da fissão de urânio, com o calor formado é esquentada a água na qual o vapor faz movimentar as turbinas.*

*Existem três tipos de radiação alfa, beta e gama, dependendo do tipo de radiação só uma grande quantidade de ferro e concreto para proteger uma pessoa da radiação.”*

Os demais alunos destacaram alguns itens, outros deixaram confuso e alguns demonstraram não ter quase nenhum embasamento sobre o assunto. Alguns itens mencionados nas redações:

- Energia perigosa (bombas): 19 alunos mencionaram

Exemplos:

*"Esta energia é muito usada para fabricação de bombas nucleares. O mundo está correndo um certo risco, se cair em mãos erradas, a raça humana deixará de existir."*

*"Nuclear palavra que coloca medo em muita gente. Algo impossível de conter, algo fatal. Muitos países possuem medo da Rússia e sua região por eles possuírem bombas nucleares."*

*"Logo que é pronunciado o nome Energia Nuclear, lembra-se das bombas atômicas que aterrorizaram Hiroshima."*

- Angra I e II : 7 alunos citaram .

Exemplos:

*"Sei que há uma Usina Nuclear no estado do Rio de Janeiro."*

*"No Brasil existe uma usina nuclear que é a Angra I localizada no estado do Rio de Janeiro e agora foi inaugurada a Angra II."*

*"No Brasil que conheço existe duas usinas Angra I e angra II que já estão a algum tempo paradas."*

- Lixo Atômico : 7 alunos

*"O único problema de uma usina nuclear além do risco de vazamento de radioatividade é onde armazenar o lixo tóxico. Os galpões, já estão lotados de lixo tóxico, vai chegar um tempo que não terá a onde armazenar."*

- Uma mistura química: 6 alunos

*"Acho que é a energia produzida por substâncias químicas. Se essas substâncias químicas escapam contaminam grandes porções de áreas ao redor."*

*“O pouco que sei é que essa energia nuclear é gerada a partir de misturas com substâncias químicas, que são um tanto perigosa para nós.”*

*“A energia nuclear é feita ou fabricada através da mistura de produtos químicos”*

- Fissão nuclear : 3 alunos

*“A energia nuclear acredita-se que começou pela divisão de um átomo.”*

*“No mundo essa coisa, a tal energia nuclear surgiu na Europa quando começou se conseguir a desintegração de átomos onde se pode ver que o átomo é composto por uma eletrosfera que é onde circulam os elétrons os prótons e nêutrons.*

- Radiações , alfa, beta e gama : 2 alunos

*“Ela pode ser separada em três etapas: beta, alfa e gama.”*

- Acidentes : 7 alunos

*“No caso da energia nuclear ela é bem vinda pois nós podemos usá-la para nosso conforto, mas ela tem que ser muito cuidada na usina, pois se vazar radiação de algum reator o resultado é catastrófico, como por exemplo a usina de Chernobyl na Rússia.”*

Verifica-se pelos dados coletados que a maioria tem conhecimento de que a energia nuclear é perigosa, muito ligado ao fato das catástrofes das bombas atômicas.

Na segunda aula os alunos foram organizados em grupos de 5 alunos, totalizando 6 grupos. Cada grupo recebeu um questionário envolvendo o assunto energia nuclear (anexo 1).

Os alunos ficaram surpresos em receber um questionário com perguntas sobre um assunto que não havia sido explicado. Algumas perguntas surgiram como: - professora a senhora não vai dizer para nós o que é energia nuclear? O que fissão? - Vai valer nota? - Alguns foram procurar o assunto no livro texto. Um aluno pediu para ir ao banheiro, mas entretanto foi na biblioteca pesquisar no dicionário.

Durante o trabalho em grupo alguns alunos se dispersou com outros assuntos, por encontrarem dificuldade em responder as perguntas do questionário.

Dados coletados do questionário respondido pelos alunos:

1- Quais as principais dúvidas sobre energia nuclear?

Os grupos colocaram as seguintes respostas:

Grupo 1: Qual a principal fonte dessa energia? Quais os danos que podem ocorrer para a humanidade?

Grupo 2: Quais as conseqüências de uma explosão? Qual será o destino dos resíduos atômicos ou nucleares?

Grupo 3: Como podemos usá-la? Como podemos fazer com que a radiação seja inofensiva?

Grupo 4: A sua origem, seus poderes .

Grupo 5: Quais suas conseqüências? Como funciona?

Grupo 6 : Suas utilidades; as precauções que devem ser tomadas.

2 – Qual é o princípio básico de funcionamento de uma usina nuclear?

As respostas colocadas pelos alunos foram:

Grupo 1: É necessário um reator nuclear.

Grupo 2: Dinheiro suficiente, lugar adequado, pessoas qualificadas.

Grupo 3: Bombardeio do núcleo de urânio para liberação de energia nuclear.

Grupo 4: Produzir energia nuclear.



Grupo 5: Através de várias fissões no núcleo do reator se libera grande quantidade de energia.

Grupo 6: Não respondeu.

3 – Para que serve um reator nuclear?

Os grupos têm as seguintes noções sobre a utilidade do reator;

Grupo 1: Local onde é feita a fissão nuclear, isto é, a própria energia.

Grupo 2: Para gerar energia.

Grupo 3: Para armazenar a matéria radioativa e para a fissão do núcleo.

Grupo 4: Para gerar energia.

Grupo 5: É onde acontece as fissões, ocorrendo bilhões de fissões no núcleo e isso libera grande quantidade de energia.

Grupo 6: Para fornecer energia.

4 – O Brasil possui usinas nucleares?

Grupo 1: Respondeu que sim, citando Angra I e Angra II

Grupo 2: Responde sim, citando Angra I, Angra II e Angra III.

Grupo 3: Sim, mas não nomearam quais eram as usinas.

Grupo 4: Respondeu que não sabia.

Grupo 5: Não responderam.

Grupo 6: Não responderam

5 – O que é fissão nuclear?

Grupo 1: É dividir o núcleo do átomo no meio, provocando assim, uma bomba atômica e poluentes radioativos.

Grupo 2:

Energia que vicia o uso.

Grupo 3: É o bombardeio do núcleo do material.

Grupo 4: Responderam que não sabiam.

Grupo 5: É quando um átomo pesado se divide em duas partes iguais, batem em outros átomos fazem fissões em grande escala.

Grupo 6: Não responderam

6 – Qual a principal diferença entre um reator nuclear e uma bomba atômica?

Grupo 1: É que a bomba atômica é feita com o resto do lixo atômico que sobra do reator nuclear e o reator é onde é feita a separação do núcleo do átomo.

Grupo 2: O reator nuclear foi criado para gerar algo ao nosso benefício, já bomba atômica foi criada para gerar destruição.

Grupo 3: A bomba é constituída para armazenar pouca carga e para uso militar. O reator serve para armazenar grandes cargas.

Grupo 4: O reator gera, produz a energia para ser utilizada, em um funcionamento. A bomba atômica ela tem uma energia que é usada para destruição. Em massa.

Grupo 5 : A bomba atômica tem uma grande vazão de radioatividade ao romper-se afetando de forma grave a população, não só a população, mas como o globo em geral. Já o reator nuclear possui radioatividade grande mas não a ponto de afetar o globo terrestre.

Grupo 6 : A bomba atômica possui elementos químicos que podem prejudicar o homem, causando destruição.

7- O que significa dizer que um certo elemento ou material é radioativo?

Grupo 1: Porque possui elementos químicos que provocam doenças e males para a população em geral.

Grupo 2: É quando provoca mudanças nos genes de um indivíduo.

Grupo 3: Que possui uma onda de calor acima do normal

Grupo 4: Um material que adquiria um certo tipo de energia à radiação.

Grupo 5: Não responderam

Grupo 6: Não responderam.

8 – O que é lixo atômico?

Grupo 1: É a sobra das usinas nucleares, o que resta na separação do núcleo do átomo.

Grupo 2: Restos ou resíduos de substâncias químicas.

Grupo 3: São os restos de matéria tóxica que sobra da matéria radioativa.

Grupo 4: Restos de matéria usadas em usinas nucleares e contaminadas com radioatividade.

Grupo 5: São resíduos nucleares que não se decompõem.

Grupo 6: Lixo que é prejudicial à natureza, sendo que a maioria não possui lugar adequado para ser despejado. Ex: pilha, baterias de celular etc.

9 - O que são radiações alfa, beta e gama?

Grupo 1: São tipos de radiação: alfa fraca, beta média e gama forte.

Grupo 2: Alfa radiações de primeiro grau, beta radiações de segundo grau e gama radiações de terceiro grau.

Grupo 3: São os três estágios da radiação em proporção de destruição.

Grupo 4: São três tipos de radiação com escala de potencial diferente.

Grupo 5: Gama é um raio semelhante ao Rx, Beta são partículas de átomos.

Grupo 6: Não responderam.

10 – Quais os principais problemas associados ao uso da energia nuclear?

Grupo 1: Provoca câncer em geral, principalmente de pele, eliminação da camada de ozônio, mutação.

Grupo 2: Resíduos de substâncias químicas sem lugar adequado para ser depositado provocando danos ao meio ambiente.

Grupo 3: Lixo atômico, a radiação, doenças, mutação hereditária.

Grupo 4: Perigo com a radiação, que pode ocasionar a morte.

Grupo 5 : Não responderam.

Grupo 6 : Não responderam.

### 3.2.2. Organização do Conhecimento

O conhecimento de física necessário para a compreensão do tema central e da problematização inicial foram sistematizados e estudados neste momento, que teve como objetivo o aprofundamento de definições, relações e leis apresentadas no texto de estudos.

Na terceira aula os alunos reuniram-se nos mesmos grupos da aula anterior.

Foi sorteado um tema sobre energia nuclear para cada grupo:

Temas sorteados:

- Energia nuclear;
- Energia nuclear no Brasil;
- Energia nuclear, como fonte de energia elétrica;
- Reatores;
- Radiação
- Lixo atômico

Para auxiliar as atividades os grupos receberam os seguintes textos:

- 1 - Energia Nuclear no Brasil. (*Arden Zylbersztajn*)
- 2 - Reatores nucleares. (*Sônia Maria da Silva*)
- 3 – Chernobyl. (*Sônia Salem*)

O primeiro texto tem por objetivo apresentar um relato da energia nuclear no Brasil, bem como a situação das usinas Angra I, II e III . Também destaca os riscos e acidentes nestes tipos de reatores, o problema dos rejeitos radioativos, planos de emergência para caso de acidentes, o acordo nuclear com a Alemanha e a energia nuclear frente a outras formas de energia (anexo 6).

O segundo texto trata sobre reatores nucleares e visa aprofundar os conceitos científicos necessários, e ao mesmo tempo, dar uma visão do processo

de obtenção da energia elétrica através da fissão do urânio nos reatores (anexo 7).

O terceiro texto, Chernobyl, tem o objetivo de divulgar as causas e os efeitos do acidente, bem como apresentar a tecnologia e a ciência envolvida na geração de energia em reatores nucleares.

Foram quatro aulas em que os alunos estudaram os textos e prepararam os temas para serem apresentados. Além dos textos recebidos, os alunos trouxeram outros materiais da internet e de revistas. Foi um espaço para estudo em grupo de como apresentar e o que apresentar. Cada grupo elaborou um texto do seu tema para entregar aos demais colegas da sala.

As atividades transcorreram normalmente.

7<sup>a</sup>, 8<sup>a</sup> e 9<sup>a</sup> aula: Apresentação dos trabalhos em grupos.

A apresentação dos trabalhos e dos materiais utilizados foram: os textos, revistas, episcópio para apresentação de figuras, fita de vídeo do Telecurso 2<sup>o</sup> grau com o assunto energia nuclear. Fita de vídeo com a gravação do Globo Repórter sobre as bombas nucleares lançadas em Hiroshima e Nakasaki.

### **3.2.3. Júri Simulado**

Na 10<sup>a</sup> e 11<sup>a</sup> aula : Organização do júri simulado:

Os alunos foram organizados em três grupos A, B e C. Esta divisão foi espontânea, permanecendo no grupo A 8 alunos, no grupo B 8 alunos e no grupo C 13 alunos. Os grupos separaram-se em salas individuais. O grupo A organizou seus argumentos a favor da energia nuclear, o grupo B organizou seus argumentos contra energia nuclear, o grupo C preparou suas perguntas e organizou o tempo de debate e como seria o julgamento final, tudo transcorreu bem. Os alunos trabalharam animados.

12<sup>a</sup> 13<sup>a</sup> Apresentação do júri simulado:

Os primeiros 20 minutos dois alunos do grupo destacaram os pontos positivos da energia nuclear:

Vantagem econômica;

Progresso e tecnologia: celular, microondas, RX e radioterapia.

Segurança na questão do lixo nuclear

Segurança do reator. Um aluno desenhou no quadro um reator com seus processos de segurança.

Importância da energia nuclear, porque com a falta de água as usinas hidrelétricas perdem sua capacidade de produzir energia elétrica

Os alunos do grupo B, contra a energia nuclear, também apresentaram por 20 minutos seus posicionamentos. Seus enfoques foram:

Riscos das pessoas que moram nas redondezas da usina, por causa de acidentes.

Radiação: provoca câncer, queda de cabelos, cataratas e problemas genéticos.

Não tem lugar definitivo para o lixo atômico;

Construção de Angra I e Angra II de alto custo e utilizando tecnologia da Alemanha .

Bomba atômica;

Usina hidrelétrica mais econômica e utilização de tecnologia Nacional.

Após a apresentação de cada grupo, os grupos A e B por 15 minutos fizeram a replica reforçando sempre os mesmos itens.

O grupo C controlava os debates. Houve um debate um tanto tumultuado porque alguns não aceitavam os argumentos dos outros. Houve divergência com elementos do próprio grupo.

Dois alunos levaram a discussão para o lado pessoal.

Encerrando o debate o grupo C fez várias perguntas aos grupos A e B alternando, uma ao grupo A e outra ao grupo B e assim sucessivamente por 15 minutos. Após este tempo o grupo C fez a votação, vencendo o grupo A por 7 votos a 6.

### 3.2.4. Avaliação

A avaliação procedeu-se, através de métodos diferenciados, avaliando, tanto o conteúdo, o módulo de ensino em si e a metodologia aplicada.

#### **a) avaliação dos conteúdos.**

Na 14<sup>a</sup> e 15<sup>a</sup> aula foi feita avaliação dos conteúdos envolvidos no módulo de Ensino. A avaliação (anexo 2) foi individual e bem sucedida, os alunos responderam as questões tranquilamente. Das questões envolvidas houve um acerto em média de 80%, sendo um resultado considerado muito bom.

Alguns itens mencionados na avaliação:

A primeira questão que se referia fissão nuclear, 25 alunos colocaram que é a quebra de núcleos formando núcleos menores, 3 alunos colocaram que era a reunião de núcleos formando núcleos maiores 1 aluno colocou que era a liquefação dos núcleos.

Sobre a função de reatores respostas colocadas pelos alunos:

- É o local onde o material, o dióxido de urânio é fissionado, para que haja a ruptura dos núcleos e ocorra a liberação de energia.

- Explodir o núcleo do urânio com isso gerando vapor para movimentar turbinas gerando energia.

-A função de um reator nuclear é a produção de energia elétrica.

Em relação aos tipos de radiações todos colocaram alfa, beta e gama.

Com referência aos acidentes nucleares e suas conseqüências podemos destacar também algumas colocações dos alunos como:

Destruição de casas, plantas, mortes de animais e pessoas. As conseqüências provocam câncer, tumores, afeta células dos tecidos humanos.

Na questão de usinas todos nomearam Angra I e Angra II e alguns citaram Angra III que ainda não está em funcionamento localizadas no Rio de Janeiro.

### **b) avaliação do módulo de ensino.**

Na 16ª aula foi feita com os alunos a Avaliação do Módulo de Ensino.

Em questionário (anexo 3) aplicado ao final do módulo de ensino os alunos fizeram uma avaliação do trabalho levantando pontos positivos e negativos. As críticas e sugestões foram: aprofundar mais o assunto, os textos deveriam ser mais abrangentes, deveria ser mais freqüente este tipo de trabalho em que abrange assuntos interessantes, foi um tema ótimo, o tema foi polêmico, a participação dos alunos não foi de 100% .

Levantamento dos dados coletados do questionário :

1) Você já tinha algum conhecimento sobre energia nuclear?

Dos 29 alunos, 19 alunos responderam que sim e 10 alunos responderam que não.

2) O tema energia nuclear despertou interesse?

24 alunos responderam que sim e 5 alunos responderam que mais ou menos

3) Você acha que este tipo de assunto deveria ser tratado na escola?

Todos alunos responderam que sim;

4) De um modo geral o tema energia nuclear, para o aluno do 3ª série é?

Para 10 alunos responderam que era muito útil, 17 que é útil e 2 alunos que era de pouca utilidade.

5) Analisando os itens de energia nuclear o que mais chamou a atenção?

O que mais chamou a atenção dos alunos foi radiação e o que menos chamou atenção foi fissão nuclear. Os demais itens como: reatores, lixo



atômico, produção de energia elétrica, energia nuclear no Brasil, permanecem numa equivalência de preferência.

6) Você já leu outros temas relacionados a conhecimento que não são tratados em sala de aula?

11 responderam que sim, 18 não. Alguns alunos que responderam sim citaram como temas: Invenções novas, motores de automóveis, genética, clonagem, sondas no espaço.

7) Você já havia participado de estudos ou discussões com seus colegas sobre alguma forma de produção de energia?

13 responderam que sim e 16 que não.

8) Quanto aos textos distribuídos para leitura :

a) O texto estava escrito numa linguagem acessível?

12 responderam que sim e 17 mais ou menos.

b) A leitura dos textos permitiu a compreensão dos assuntos abordados?

14 responderam que sim e 15 mais ou menos.

c) O texto contribuiu para que o aluno atualizasse seus conhecimentos?

25 responderam que sim e 4 mais ou menos.

9) Você costuma ler revistas, livros,... que abordam temas relacionados com a tecnologia ou com o conhecimento científico em geral?

12 responderam que sim e 17 que não.

10) O conteúdo energia nuclear foi desenvolvido com profundidade adequada?

14 responderam que sim e 15 mais ou menos.

**c) avaliação da metodologia aplicada.**

Na 17ª aula foi realizada Avaliação da Metodologia Aplicada:

Um questionário (anexo 4) sobre a metodologia aplicada no módulo de ensino foi respondido pelos alunos no final dos trabalhos, onde os alunos levantaram pontos positivos e negativos da metodologia aplicada.

No questionário temos:

1 – Você gostou da maneira como foram desenvolvidas as aulas de Física?

Dos 29 alunos 27 responderam que sim e 2 mais ou menos.

2 – A aplicação em sala de aula dessa nova metodologia para você: Todos responderam que despertou mais interesse.

3 – No andamento das aulas foram realizadas várias atividades. O que mais lhe prendeu a atenção?

26 alunos responderam o júri simulado como a atividade que mais lhe prendeu a atenção, 1 aluno respondeu a leitura do texto e 2 alunos apresentação dos trabalhos.

4 – No início das atividades foi pedido para fazer uma redação sobre energia nuclear.

Dos alunos 17 alunos consideraram a atividade surpresa e 11 alunos consideraram a atividade normal.

5 – Quanto ao questionário que responderam em grupo foi?

4 alunos consideraram que o questionário era fácil, 23 mais ou menos, 1 difícil e um aluno não respondeu..

6 – A leitura do texto foi?

7 alunos consideraram clara, 19 normal e 3 alunos consideraram confusa.

7 – Na apresentação dos trabalhos em grupo a participação foi?

9 alunos responderam que a participação foi total, 19 alunos consideraram parcial e um aluno respondeu que foi forçada.

8 – Quanto ao debate no júri simulado você considera que cada grupo cumpriu com seu papel?

11 alunos responderam que sim, 15 mais ou menos e 3 que não.

9 – Dos trabalhos apresentados na sua opinião qual apresentação foi melhor?

Na opinião dos alunos os que melhor apresentaram foram os grupos de alunos que tinham o tema sobre Reatores e Radiação.

10 – Assinale com um x, no quadro abaixo, a opção que melhor representa as atividades desenvolvidas:

Das atividades desenvolvidas o que melhor foi considerada pelos alunos foi o júri simulado.

11 – As atividades desenvolvidas propiciam ao aluno o conhecimento de uma maneira diferente?

Todos alunos consideram que as atividades desenvolvidas propiciam o conhecimento de uma maneira diferente.

12 – A avaliação dos conteúdos foi?

10 alunos acharam fácil, 19 alunos consideraram a avaliação média.

13 – Para você atividades deste tipo devem ser realizadas novamente?

27 alunos consideram que atividades deste tipo devam ser realizadas novamente e para 2 alunos é indiferente.

14 – Dificuldades encontradas no desenvolvimento das atividades.

14 alunos consideraram a falta de tempo, 9 falta de conhecimento básico, 10 falta de cooperação do grupo, 1 falta de material e 2 alunos nenhuma dificuldade.

Quanto a críticas e sugestões colocadas pelos alunos : as aulas desta forma mais discutidas proporcionam ao aluno maior interesse, aulas dessa maneira deveriam acontecer mais vezes, falta de respeito de alguns grupos, deveria ser estudado um pouco mais o assunto com uma explicação da professora, debates sobre assuntos polêmicos como energia nuclear ou a revolução genética deveriam ser mais freqüentes. Muita desordem, as regras devem ser cumpridas. Este tipo de aula é muito interessante nos tira da rotina, mais temas atuais devem ser abordados. Não houve 100% de integração da classe.

#### 4. AVALIAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Na primeira aula os alunos apresentaram resistência a atividades desenvolvidas e ficaram surpresos com as mudanças, pois estavam acostumados a receber o conhecimento pronto e acabado. Com o passar das aulas os alunos começaram a demonstrar um interesse progressivo.

A experiência realizada constituiu-se por etapas: *Problematização Inicial, Organização do Conhecimento, Aplicação do Júri Simulado e Avaliação.*

*Problematização Inicial:* Esta atividade envolveu uma redação e um questionário em que os alunos ficaram surpresos, pois não estavam acostumados com este tipo de atividade nas aulas de física.

*Organização do Conhecimento:* No primeiro momento os estudos em grupo foram considerados normais. Na apresentação dos trabalhos alguns grupos se destacaram dos demais por utilizarem materiais de apoio como TV, vídeo e cartazes. No texto produzido por eles alguns fizeram apenas cópias dos textos outros já resumiram e completaram com outros textos.

O júri simulado foi a atividade que mais prendeu a atenção dos alunos. Na organização foi tudo bem.

Na aplicação do júri os debates foram tumultuados, alguns levaram a discussão para o lado pessoal, não aceitando as colocações de seus colegas.

Na avaliação do módulo de ensino, da metodologia e dos conteúdos, cada aluno deixou registrado suas impressões, comentários e críticas ao trabalho como um todo. A partir da análise dos questionários pode-se avaliar tanto o aprendizado de cada aluno como o módulo de ensino em seu aspecto global.

Apesar da curta duração do trabalho e das novidades conceituais, metodológicas e pedagógicas, além das dificuldades intrínsecas dos textos utilizados como base das aulas, os questionários dos alunos permitiram o levantamento de uma série de comentários e sugestões interessantes.

Destacamos os seguintes:

a) Vários alunos tiveram dificuldade na leitura dos textos. Isto se justifica pela falta do hábito de leitura. Faz-se necessário elaborar textos com uma linguagem adequada a esta realidade, não só para a introdução da física nuclear mas para todos tópicos da física moderna.

b) A necessidade de indicar, aos alunos, referências bibliográficas comentadas para um estudo posterior e de equipar as bibliotecas para que os alunos possam não se limitar aos conteúdos dos livros didáticos tratados em aula.

c) Que a utilização de diferentes interpretações pode proporcionar diferentes compreensões, permitindo a cada aluno desenvolver sua própria interpretação sobre a utilização da energia nuclear, em especial e, da física, como um todo. De fato no final da avaliação dos conteúdos encontramos respostas dos alunos de diferentes compreensões, para a utilização da energia nuclear. Isto poderia incentivar o debate entre diferentes concepções.

d) A possibilidade de atingir através de atividades diversificadas aqueles alunos que não se interessam pela física. Percebemos um grande envolvimento de alunos que antes demonstravam pouco interesse pelo estudo da física. A diversidade nos trabalhos parece indicar uma maior aproximação do conhecimento físico das atividades de interesse dos alunos.

Com os resultados aferidos através da observação em sala de aula, dos trabalhos apresentados, dos textos elaborados, da apresentação do júri simulado, dos questionários respondidos e da avaliação dos conteúdos feitas pelos alunos, avaliamos que a proposta teve boa receptividade e se demonstrou efetiva para que aspectos como visualização do processo de construção do conhecimento científico, entendimento de conceitos específicos, envolvimento dos alunos de forma diferenciada de sua atuação normal em sala de aula, vinculando aspectos científicos, tecnológicos e sociais.

O módulo mostrou ser um instrumento efetivo para motivar a aquisição de conhecimento e de informação sobre um dado tema científico. No questionário feito com os alunos, essa efetividade se torna real, confirmando

que o debate dos fenômenos presentes no evento, ajuda na compreensão do assunto.

Na concepção dos alunos, a apresentação dos fenômenos relacionados ao tema mostrou uma física presente no cotidiano e não só a física dos livros didáticos.

Do ponto de vista dos aspectos conceituais, o nível dos trabalhos e as respostas às diferentes atividades durante a aplicação do módulo de ensino indica alterações significativas. Como podemos destacar:

Na pergunta sobre o que é fissão nuclear? Na Problematização Inicial, 2 grupos não responderam, 3 grupos responderam como: é dividir um núcleo de átomo provocando assim, uma bomba atômica e demais poluentes radioativos. Apenas um grupo deixou mais claro como: É quando o átomo pesado se divide em parte iguais, batem em outros átomos fazem fissão em grande escala. Verificamos que após as atividades desenvolvidas na avaliação dos conteúdos a maioria dos alunos colocou como correto que a fissão é a quebra de núcleos formando núcleos menores

Outro item que merece ser mencionado é as usinas nucleares no Brasil, no início das atividades alguns alunos não sabiam da existência, já após os trabalhos todos mencionaram as usinas e sua localização.

Para melhor explicitar o resultado da experiência apresentamos alguns depoimentos de alunos do Colégio Henrique da Silva Fontes que participaram das atividades. Estes depoimentos foram colocados no questionário no item de críticas e sugestões.

*"São trabalhos realizados de forma diferente que buscam o interesse de todos"*

*"Aulas realizadas com pesquisa despertam mais interesse e melhora o aprendizado, mais aulas deveriam seguir este esquema".*

*"Este trabalho foi interessante pois muitos não tinham noção do que era a energia nuclear."*

*"Muita desordem no Júri simulado"*

*"Falta de respeito de alguns alunos"*

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho procurou-se apresentar e validar uma proposta para *inovar o processo ensino aprendizagem de Física no Ensino Médio desenvolvida a partir do enfoque CTS.*

Da experiência que tivemos, podemos registrar algumas conclusões:

Primeiramente, é certo que a proposta teve *significativa importância para o aperfeiçoamento do ensino de Física, pois contribuiu na formação de uma cultura mais científica.*

Deste modo, permitiu-se aos alunos uma *real interação entre o conhecimento físico sobre a Energia Nuclear, todavia, não os distanciando dos fatores científicos, tecnológicos e sociais que circunscrevem e giram em torno do objeto do estudo proposto.*

A *atividade desenvolvida despertou curiosidade e cativou os alunos. A curiosidade adveio porquanto o tema Energia Nuclear esteve sempre associado ao senso subjetivo dos alunos, associada à notícias de acidentes nucleares ou fabricação de bombas, fazendo com que o trabalho abrisse a estes a oportunidade de aprimorar e expandir seu conhecimento sobre a exploração e utilidade da energia nuclear dentro da vida contemporânea.*

O *encanto dos alunos pelo tema surge a partir do momento em que a energia nuclear passa de mero instrumento destrutivo e sem função definida na vida dos alunos, e torna-se, através do conhecimento coligido, um instrumento para o desenvolvimento de tecnologias aplicadas à vivência cotidiana destes.*

A *partir da motivação as atividades se desenvolveram com maior integração, tanto quanto em relação aos alunos e quanto a estes e o próprio professor.*

*Por certo dificuldades ocorreram durante o desenvolvimento do trabalho de ensino-aprendizagem aplicado, na maioria das vezes circunscritas à integração dos conceitos científicos, tecnológicos e sociais que surgiram, junto ao universo cognitivo dos discentes. Estas dificuldades serviram, no caminhar*



do trabalho, como um alerta, para que em uma nova aplicação deste módulo de ensino seja disponibilizado um maior espaço de tempo para aprofundar-se ditos conceitos.

Para tanto, o aprofundamento dos conceitos cotejados durante o desenvolvimento do módulo de ensino dever-se-iam fazer junto com a organização do conhecimento, porquanto é nesta fase que efetivamente os alunos estudam e desenvolvem o tema proposto..

*Dessa forma, efetivamente reduzir-se-á os eventuais resquícios de dúvidas e indagações referentes ao tema em comento.*

No que pertine ao júri simulado foi mencionado na avaliação do módulo a ocorrência de desordem e até, falta de respeito. Ditos comentários advém de uma falsa impressão declarada por esmagadora minoria de alunos, posto que a agitação tão-somente existiu frente à falta de costume dos próprios alunos em argumentar e refutar os argumentos levantados por cada grupo de alunos participantes do júri simulado.

Considerando desta maneira, não vejo com preocupação tal fato, os alunos envolvidos faziam parte de uma turma passiva, nas aulas de física, sendo a acostumados a ficarem sentados, trabalhando em suas atividades.

Com efeito, o júri simulado requereu debates: um grupo a favor a Energia Nuclear e outro contra, todos os dois grupos queriam vencer, logo teriam que impressionar e envolver-se em embates calorosos a fim de ver seus argumentos vencedores.

Dessarte, não considero como desordem o embate ocorrido entre alunos, tanto que todas as etapas foram cumpridas dentro do tempo previsto. Devido a atividade ser diferente o resultado teria que ser diferente, sendo a discussão e agitação acontecida reconhecidamente um fator positivo do desenvolvimento do módulo.

A experiência educacional descrita neste trabalho buscou principalmente aproximar o conhecimento da física nuclear aos alunos do Ensino Médio. A produção dos trabalhos, as atividades desenvolvidas, apesar das dificuldades, foi uma forma de resgatar o interesse do estudo da física para um grupo de alunos, fugindo da prática normal no ensino das disciplinas

científicas, e se basear principalmente em atividades que não sejam aulas expositivas e tradicionais. O objetivo foi alcançado que era de integrar os conceitos científicos e tecnológicos e sociais, através de uma maneira diferente que permite aos alunos tomarem decisões a respeito das informações, sendo o professor apenas um orientador..

De todo o exposto, verifica-se que para cada nova aplicação de um módulo, faz-se imprescindível a aplicação da interdisciplinariedade efetiva, de modo a realmente interagir as várias disciplinas coexistentes junto ao Ensino Médio.

A ampliação desse estudo a outros temas, com outros grupos de alunos pode mostrar a significativa contribuição do CTS para a constituição do moderno ensino de Física para o ensino Médio.

Todo o esforço no sentido de melhorar o nível de ensino será reconhecido como uma contribuição para preservar a motivação tanto do aluno quanto do professor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências Naturais. Brasília: MEC, SEF, 1998.
- DELIZOICOV, Demétrio. ANGOTI, José André Peres. Física. Série Formação Geral. São Paulo: Cortez, 1992.
- GALILEU, Revista. Uma radiografia de Angra 2. Globo, julho, 2000.
- M. ELISA MARCONDES HELENE. A Radioatividade e o Lixo Nuclear. São Paulo: Scipione, 1996.
- PROPOSTA CURRICULAR DO ESTADO DE SANTA CATARINA
- SALÉM, SÔNIA. Chernobyl. Greenpeace, São Paulo, 1996.
- SANTOS, Maria Eduarda do Nascimento Vaz Moniz dos. Encruzilhadas de mudança no Lixear do Século XXI Co-construção do Saber Científico e da Cidadania via Ensino CTS de Ciências. II encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, ABRAPEC, Valinhos, SP, 1999.
- SILVA, SÔNIA MARIA . Reatores Nucleares. Parte do projeto Aprendizagem Centrada em Eventos -Uma experiência no ensino CTS. Departamento de Física, UFSC, 1993.
- SOUZA CRUZ, S. M. S. C. ; ZYLBERSZTAJN, A. O enfoque Ciências, Tecnologia e Sociedade e a Aprendizagem Centrada em Eventos. Projeto Pró-Ciências, Departamento de Física, UFSC, 2000.
- SOUZA CRUZ, S.M.S.C.. ; ZYLBERSZTAJN, A . O Acidente Radioativo de Goiânia: Uma Experiência no Ensino de CTS Utilizando a Aprendizagem Centrada em Eventos. VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, Florianópolis, 2000.

ZYLBERSZTAJN, ARDEN. A Energia Nuclear no Brasil Parte do Projeto Aprendizagem Centrada em Eventos – Uma experiência do ensino de CTS. Departamento de Física. UFSC, 1993.

## ANEXO 1

Rio do Sul, .....de .....de.....  
Colégio Estadual Prof. Henrique da Silva Fontes  
Professora: Albertina Poffo  
Disciplina: Física  
Nome:.....série:.....

### QUESTIONÁRIO

- 1)Quais as principais dúvidas ou curiosidades sobre energia nuclear?
  
- 2)Qual é o princípio básico de funcionamento de uma usina nuclear?
  
- 3)Para que serve um Reator nuclear?
  
- 4)O Brasil possui reatores nucleares?
  
- 5)O que é fissão nuclear?
  
- 6)Qual a principal diferença entre um reator nuclear e uma bomba atômica?
  
- 7)O que significa dizer que um certo elemento ou material é radioativo?
  
- 8)O que é lixo atômico?
  
- 9)O que são radiações alfa, beta e gama?
  
- 10)Quais os principais problemas associados ao uso da energia nuclear?

ANEXO 2

Rio do Sul, ..... de .....de .....  
Colégio Estadual Prof. Henrique da Silva Fontes  
Professora: Albertina Poffo  
Disciplina: Física  
Nome:.....série:.....

### AVALIAÇÃO

1)A expressão “fissão nuclear” é equivalente a:

- a)liquefação dos núcleos                      b) quebra de núcleos formando núcleos menores  
c) fusão nuclear                                      d) reunião de núcleos formando núcleos maiores.

2)A energia proveniente de uma queda-d’água e utilizada para acender uma lâmpada sofreu, basicamente, a seguinte transformação.

- a) mecânica – elétrica – calorífica.      b) elétrica – calorífica – mecânica  
c) calorífica – elétrica – mecânica      d)calorífica – mecânica elétrica.  
e) elétrica – mecânica – calorífica.

3)“A energia nuclear, uma grande promessa para o futuro devido a sua eficiência, torna-se cada vez mais inviável por causa dos possíveis riscos com reatores, como o acidente que ocorreu em Chernobyl , Ucrânia, em 1986, quando um dos quatro reatores explodiu, matando 31 pessoas imediatamente, hospitalizando outras 500 e causando a evacuação de uma área de 30 Km de raio em torno da usina. Fora o risco de acidentes, outro problema é a disposição do lixo radioativo, produzido nos reatores”. (Marcelo Gleiser, A dança do Universo, Companhia das Letras, 1997.)

Com base nesse texto, assinale certo ou errado nas seguintes afirmações:

I - O texto se refere à energia nuclear obtida pela fissão do urânio.

II - O texto tanto pode ser aplicado à fissão quanto a fusão, ambos produzem lixo radioativo.

III - O homem ainda não domina a técnica de funcionamento dos reatores nucleares.

4)O que é fissão nuclear?

5)Qual a função de um reator nuclear?

6)Qual a principal diferença entre um reator nuclear e uma bomba atômica?

7)Quais os três tipos de radiações emergentes do interior dos átomos?

8) Observando na figura de cada usina.

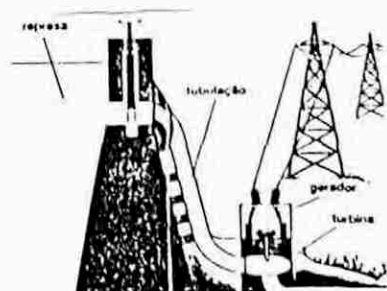
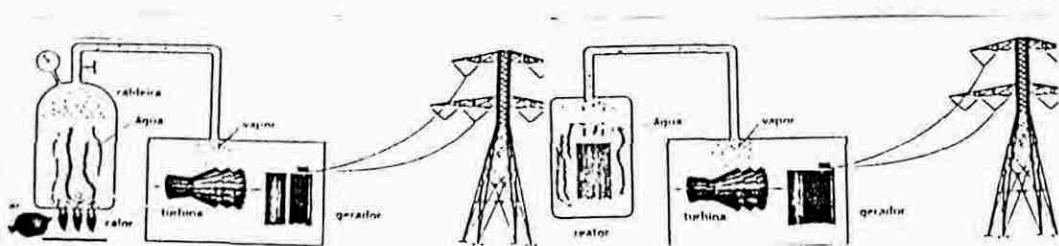
a)Escreva em ordem as transformações de energia que ocorrem em cada usina.

Energia elétrica, Energia mecânica , Energia potencial gravitacional , energia térmica, Energia nuclear.



b)Quais a semelhanças e diferenças mais importantes em cada uma?

c)Quais as principais vantagens e desvantagens de cada uma delas?



9)O que é e como é produzido o lixo atômico? Por que é um problema?

10)Quais as conseqüências de acidentes nucleares?

11) Quais os principais efeitos das radiações sobre os seres humanos?

12)Como uma pessoa pode ficar contaminada? Qual a diferença entre contaminação e irradiação?

13) Quais as principais conseqüências das bombas lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki?

14) Quantas usinas nucleares possuem o Brasil? Onde se localizam e em que situações se encontram?

15) Quais os aspectos positivos e negativos da energia nuclear a seu ver?

16)Quais os principais “prós e “contras” ao uso da energia nuclear no Brasil?

## ANEXO 3

Rio do Sul, ..... de ..... de.....  
Colégio Estadual Professor Henrique da Silva fontes  
Professora: Albertina Poffo  
Disciplina: Física

### AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE ENSINO

Este questionário tem por objetivo coletar dados e a opinião dos alunos sobre o módulo de Ensino : Energia Nuclear.

1)Você já tinha algum conhecimento sobre energia nuclear?

sim  não

2)O tema energia nuclear despertou interesse?

sim  não  mais ou menos

3)Você acha que este tipo de assunto deveria ser tratado nas escolas?

sim  não  sem opinião

4)De um modo geral o tema energia Nuclear, para o aluno do 3<sup>o</sup> ano do Ensino Médio:

- é muito útil
- é útil
- é de pouca utilidade
- não é útil
- sem opinião

5)Analisando os itens de energia Nuclear coloque 1 no que mais lhe chamou atenção, 2 no segundo e assim por diante.

- Fissão Nuclear
- Reatores
- Lixo Atômico
- Radiação
- Produção de Energia
- energia nuclear no Brasil

6)Você já leu outros temas relacionados a conhecimento científico que não são tratados em sala de aula?

sim  não

Qual(is) .....

7)Você já havia participado de estudos ou discussão com seus colegas sobre alguma forma de produção de energia?

sim

não

8) Quanto aos textos distribuídos para a leitura;

a) O texto estava escrito em uma linguagem acessível?

sim

não

mais ou menos

b) A leitura dos textos permitiu a compreensão dos assuntos abordados?

sim

não

mais ou menos

c) O texto contribuiu ao aluno uma atualização de seus conhecimentos?

sim

não

mais ou menos

9) Você costuma ler revistas, livros, que abordam temas relacionados com a tecnologia ou com o conhecimento científico em geral?

sim

não

Quais?.....

10) O conteúdo Energia Nuclear foi desenvolvido com profundidade adequada?

sim

não

mais ou menos

Críticas e /ou sugestões .....

.....

.....

## ANEXO 4

Rio do Sul, .....de .....de .....  
Colégio Estadual Professor Henrique da Silva fontes  
Professora: Albertina Poffo  
Disciplina: Física

### AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA APLICADA

Este questionário tem por objetivo coletar dados sobre a opinião dos alunos referente a metodologia utilizada nas aulas de Física, na aplicação do módulo de ensino Energia Nuclear

1) Você gostou da maneira como foram desenvolvidas as aulas de Física?

sim             não             mais ou menos

2) A aplicação em sala de aula dessas novas metodologias para você:

indiferente  
 despertou mais interesse  
 não despertou atenção

3) No andamento das aulas foram realizadas várias atividades diferentes. O que mais lhe prendeu a atenção.

Redação inicial  
 Questionário inicial  
 Leitura do texto  
 Apresentação dos trabalhos  
 Júri simulado

4) No início foi pedido para fazer uma redação sobre Energia Nuclear. Você considerou esta atividade:

surpresa             normal             irregular

Por quê?.....

5) Quanto ao questionário que responderam em grupo foi?

fácil             mais ou menos             difícil

6) A leitura do texto foi:

clara             normal             confusa

7) Na apresentação dos trabalhos em grupo a participação foi:

total             parcial             forçada

8) Quanto ao debate no júri simulado você considera que cada grupo cumpriu com seu papel?

sim       mais ou menos       não

9) Dos trabalhos apresentados na sua opinião qual apresentação foi melhor?

- energia Nuclear
- Reatores
- Energia Nuclear no Brasil
- Energia como fonte de Energia Elétrica
- Radiação
- Lixo Atômica

10) Assinale com um x, no quadro abaixo, a opção que melhor representa as atividades desenvolvidas:

	Muito Bom	Bom	Regular	Ruim
Os textos apresentados				
Estudos em grupo				
Apresentação dos trabalhos				
Júri simulado				

11) As atividades desenvolvidas propiciam ao aluno o conhecimento de uma maneira diferente?

sim       não       sem opinião

12) A avaliação dos conteúdos foi?

fácil       média       difícil

13) Para você atividades deste tipo devem ser realizadas novamente?

sim       não       indiferente

14) Dificuldades encontradas no desenvolvimento das atividades.

- falta de tempo
- falta de conhecimento básico
- falta de material
- falta de cooperação do grupo
- nenhuma dificuldade
- outras . Quais?.....

Críticas e / ou sugestões:.....

.....

## ANEXO 5



### Redação: Energia nuclear

Energia nuclear uma palavra muito usada nos dias de hoje, pois muitas coisas são feitas com energia nuclear. For exemplo, um exemplo claro que nos foi mencionado nos últimos tempos foi o caso de sub-marimino Russo que era movido a energia nuclear, essa energia também é usada na fabricação de bombas nucleares que tem o poder de destruir o mundo em pouco tempo, isso tudo é dado através da fusão de átomos.

Também é usado na geração de energia elétrica através das usinas nucleares aqui no Brasil já é usado esse tipo de energia as usinas de água, essa está sendo já a forma de energia de bem procurada e será usada com bastante frequência no futuro.

Aluna: Lúcia Damasco de Amorim 3º5

## Energia Nuclear.

Para uma pessoa leiga como eu sobre Energia Nuclear se torna difícil, apesar de ser um assunto em certo ponto até bem esclarecido.

A Energia Nuclear é uma arma muito poderosa, tanto quanto uma bomba pois todas as duas podem ser destruidoras.

É quase que inevitável não notar os danos que ela pode causar, pois tanto com o fogo, armas e energia, não se brinca.

Como pode ser possível uma coisa que trouxe tantos benefícios para a humanidade ser capaz de acabar com a mesma?

Isso realmente não pode ser uma idéia descartada, pois nas mãos de loucos o que um dia gerou benefícios, pode agora trazer o seu fim.

Ela pode ser separada em três etapas Beta, Alfa e Gama.

Capazes de destruir em segundos uma pessoa, outros capazes apenas de deixar seqüelas. Mas tanto uma quanto a outra para talvez se tornar: "O Fim do Mundo"

Raquel Rodrigues 3ºV

## Redação

## Energia nuclear

Não sei ao certo, se quem vem a ser energia nuclear, já ouvi a respeito, mas não sei o que é.

Energia nuclear, sua matéria-prima (não sei qual o composto) é algo que provoca muito estrago após vários processos de fabricação.

Sai que os resíduos das usinas nucleares devem ser depositados em ~~um~~ recipientes onde não haja nenhum vazamento, quando ocorre os acidentes, cidades inteiras são destruídas.

As pessoas passam mal e morrem em poucos horas e este efeito não fica presente somente na geração afetada, mas em algumas gerações seguintes.

Sai que há uma usina nuclear no Estado do Rio de Janeiro.

## REDACÃO

## ENERGIA NUCLEAR.

ENERGIA NUCLEAR É A ENERGIA DE MAIOR POTÊNCIA DE TODAS E COM OS MAIORES RISCOS, COM ISSO TODOS OS TÉCNICOS QUE TRABALHAM COM ESTE TIPO DE ENERGIA TRABALHAM COM UM TIPO DE NOVA ESPECIALIZAÇÃO, PORQUE ELA POSSUEM RADIAÇÃO ALTAMENTE PERIGOSA.

COM A ENERGIA TRABALHADO É MUITO PERIGOSO PODER SER TRANSFORMADOS EM BOMBAS NUCLEARES COM O RISCO DE ESTERMINIO DA POPULAÇÃO.

ESSA ENERGIA NUCLEAR DEVE SER MANTIDA NUM LOCAL COM MUITA SEGURANÇA PORIS AO CONTATO COM O AMBIENTE É TOTALMENTE DESTRUTIVO, E EM CONTATO COM O AR Atingindo a CAMADA DE OZÔNIO PODEMOS DESTRUIR ESTA CAMADA, OCORRENDO COM O CONTATO MAIS DIRETO DOS RAIOS VIOLETAS, E AS CHUVAS ÁCIDAS.

Graziani

Rio de Sul, 04/09/2000.

Nome: Rodrigo D. Dolan 395

Redação

## Energia Nuclear.

A energia nuclear é uma energia muito difícil de mexer, exige muita tecnologia e cuidado por causa do risco de algum acidente acontecer que irá causar radioatividade matando qualquer forma de vida existente por uma certa área próxima do acidente.

Já aconteceu vários acidentes no mundo como exemplo numa cidade Russa Chernobyl matando várias pessoas e deixando vários com doenças como o câncer.

No Brasil existe uma usina nuclear que é a Angra 1 localizada no estado do Rio de Janeiro e agora foi inaugurada a Angra 2.

Dá que o único problema da usina nuclear além do risco de vazamento de radioatividade é a onde armazenar o lixo tóxico. Os galpões já estão lotados de lixo tóxico vai chegar um tempo que não terá onde armazenar fica essa pergunta sem ser respondida para o povo.

Rio do Sul, 4-9-2000

NOME: EDERSON FEUSER

FÍSICO

REDAÇÃO: ENERGIA NUCLEAR

Como todos sabemos os seres humanos vão se aprimorando e construindo novas ideias uma delas foi a energia, existem varias fontes de energia e entre elas uma das mais importantes já encontradas a energia nuclear que pode ser de grande utilidade para a sociedade mais o homem muitas vezes tenta com poder e por meio dessa energia chegar até desenvolver armas nucleares capazes de destruir seu próprio mundo como já aconteceu em algumas cidades do Japão que foram destruidas em pouco tempo, e alguns acidentes em usinas nucleares que por falta de cuidado contou indagação e muitas pessoas se contaminaram, mas devemos ser responsáveis e utilizar esta fonte de energia para fins de utilidade e não de destruição.

## ANEXO 6



## A ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL

### 1. OS PRIMEIROS REATORES DE PESQUISA

Os primeiros reatores nucleares no Brasil destinavam-se à pesquisa e à produção de radioisótopos em pequena escala para aplicações médicas e industriais. O primeiro deles foi inaugurado em 1958, no Instituto de Energia Atômica de São Paulo (IEA), hoje Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). O segundo foi o reator TRIGA, adquirido dos Estados Unidos, e instalado no Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR) de Belo Horizonte. O último dos pequenos reatores de pesquisa, e o menor dos três, o Argonauta, foi construído na década de 60, no Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), no Rio de Janeiro, com muitos componentes fabricados no Brasil, mas com projeto norte-americano. Os três reatores foram instalados junto a universidades (USP, UFMG e UFRJ respectivamente) mas, progressivamente, ocorreu um distanciamento entre o aparato institucional nuclear do governo e a universidade brasileira, que transformou-se em conflito após o acordo nuclear com a Alemanha e a conseqüente criação da Nuclebrás em 1975.

Na época da implantação dos três pequenas reatores no Brasil, havia entre os cientistas, e particularmente entre os físicos, uma enorme esperança de que a tecnologia nuclear fosse o caminho de uma fonte barata e inesgotável de energia para fins pacíficos. Esse entusiasmo ingênuo superou a má consciência dos físicos pelo seu papel nos trabalhos que redundaram nas aplicações bélicas da energia nuclear: a bomba atômica e, depois, os submarinos nucleares.

Durante a década de 50 ampliaram-se os movimentos anti-armas nucleares, do qual participaram muitos cientistas de renome. Mais tarde, principalmente após o acidente de Three Miles Island nos EUA, em 1979, as críticas passaram a atingir também o uso da energia nuclear para a geração de energia elétrica. Este uso havia se ampliado muito em vários países, gerando a preocupação dos movimentos ecológicos com os riscos da radioatividade produzida nos reatores nucleares. Preocupação que aumentou com o acidente de Chernobyl na URSS, em 1986.

O Brasil não escapou ao que se passava no mundo desenvolvido. Na década de 50 os físicos brasileiros defendiam o desenvolvimento da tecnologia nuclear com vistas à geração de energia elétrica. A posição então defendida era fundamentalmente nacionalista, para dar à nação a capacidade de dominar a tecnologia nuclear nascente sem ficar dependente dos países ricos, em particular dos EUA, que chegaram a ter o monopólio das armas nucleares, ganho pela transferência do conhecimento científico europeu durante a 2ª Grande Guerra Mundial.

Os EUA tentaram manter este monopólio restringido a disseminação da tecnologia nuclear. Com o inevitável avanço da URSS e da Inglaterra, depois seguidas da França e da China, os EUA desistiram do monopólio e passaram ao controle da energia nuclear, iniciado sob o rótulo do programa "Átomos Para a Paz". Foi dentro deste programa que veio o primeiro reator para o Brasil, o do IEA, em São Paulo.



A posição nacionalista era caracterizada pela proposta de se adotar a linha dos reatores a urânio natural, por permitir maior autonomia. Esta linha foi adotada por países como a Argentina, Índia e Canadá, e mesmo a França a utilizou antes de dominar a difícil tecnologia do enriquecimento de urânio. A outra linha, a de urânio enriquecido, exigia uma tecnologia inacessível ao Brasil - a do enriquecimento para aumentar a produção do isótopo U-235, que é de apenas 0,7% no urânio natural, que tem 99,3% de U-238. Todavia, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) não chegou a formular um projeto coerente e autônomo. A iniciativa mais consistente foi o estudo de reatores a tório, que se seguiram aos de urânio natural, no Instituto de Pesquisas Radioativas de Belo Horizonte.

## 2. ANGRA I

Em 1969, o governo militar optou pela compra do primeiro reator de potência para gerar eletricidade no Brasil. O escolhido foi um reator a urânio enriquecido, de 627 MW de potência, encomendado da empresa americana Westinghouse. Este foi o reator Angra I (pertencente à Furnas Centrais Elétricas S.A., do sistema Eletrobrás), cuja construção teve início em 1972, e entrou em operação em 1984. A motivação para a compra deste primeiro reator foi inspirada pela preocupação com a dianteira tomada pela Argentina, que já estava construindo o seu primeiro reator de potência, a urânio natural, adquirido junto à Siemens alemã.

A opção pela compra de um pacote tecnológico pronto e acabado, sem nenhuma transferência de tecnologia, foi um golpe na busca de uma tecnologia nuclear independente, e teve como uma das conseqüências o fim das pesquisas que se faziam em Belo Horizonte na linha urânio natural-tório. O Brasil tornou-se assim dependente de um único fornecedor de combustível nuclear naquela ocasião, os EUA que, após 1973, com a crise do petróleo, vieram a suspender a garantia de fornecimento de urânio enriquecido para futuras usinas.

O Brasil não aderiu ao Tratado de Não-Proliferação das Armas Nucleares, em 1968, com o argumento que reservava-se o direito de dirigir com mais autonomia sua política nuclear. Contraditoriamente, optava ao mesmo tempo pela linha de urânio enriquecido, que o tornava dependente dos Estados Unidos.

Quando, por volta de 1968, se delineava claramente a compra de um reator a urânio enriquecido, vários cientistas e técnicos manifestaram-se contrários. O debate foi silenciado com o Ato Institucional Nº5 do governo militar, que cassou e afastou das universidades e do país importantes cientistas a partir de 1969.

Naquela época, a crescente demanda de eletricidade para a região centro-sul fazia prever uma crise energética para o ano de 1980. A energia nuclear podia então ser apresentada como uma solução compatível com o modelo econômico e com a almejada grandeza de potência emergente já que, especialmente entre os militares, permanecia um tipo de nacionalismo sem bases populares. A atuação desses setores foi essencial para a articulação de um acordo nuclear com a Alemanha em 1975, que será discutido na Seção 3 deste texto.

A usina de Angra I apresentou problemas, tanto na sua fase de construção, como de operação. Seu cronograma inicial previa a entrada em funcionamento até 31 de

março de 1977, mas somente em 1982 ocorreu o primeiro teste com a fissão controlada do seu combustível. O custo, orçado em U\$ 304 milhões, atingiu U\$ 1,5 bilhões. Quando entrou em operação, foram tantos os problemas que chegou a ser apelidada de "vaga-lume": acende e apaga.

O problema mais grave foi consequência de um erro de projeto da Westinghouse, no gerador de vapor. A água, aquecida a 300 graus centígrados, dentro do vaso do reator, não se torna vapor, pois a pressão é muito elevada (150 atmosferas). Esta água aquecida percorre o circuito primário, atingindo o gerador de vapor, onde flui por um grande número de tubos delgados em forma de U invertido. O gerador de vapor é ligado ao circuito secundário, por onde circula outra água, que é aquecida em contato com os tubos em U, tornando-se vapor. Esse vapor vai acionar a turbina acoplada a um gerador elétrico.

É fundamental que a água do circuito primário seja isolada do circuito secundário, pois a primeira se torna radioativa no núcleo do reator e é perigosa se for espalhada no ambiente. Em três reatores da Westinghouse (nos EUA, Suécia e Espanha) idênticos ao de Angra I, foi constatado que a água do circuito, ao entrar no gerador de vapor, atingia frontalmente os tubos em U, fazendo-os vibrar. Assim, alguns deles partiam-se após certo tempo, contaminando com água radioativa o vapor que vai à turbina e ao condensador resfriado pela água do mar. A Westinghouse foi obrigada a fazer algumas modificações na forma de entrada da água no gerador de vapor, o que atrasou por mais de um ano o funcionamento normal do reator que foi, inicialmente, autorizado pela CNEN a operar a apenas a 30% de sua capacidade máxima. Os prejuízos financeiros devidos a este atraso foram arcados por Furnas, visto que o contrato de compra do reator não estipulava, neste caso, sanções para o fabricante.

Um outro problema técnico refere-se à corrosão dos tubos do gerador de vapor nos reatores PWR (Pressurized Water Reactor), como o de Angra I. Ele deve ser monitorado de modo a verificar falhas nas tubulações, devido à trepidação ou à má qualidade do incoel, um tipo especial de aço. Os tubos com falhas devem ser isolados até que o número de falhas torne-se tão grande que obrigue a substituir o gerador de vapor.

O defeito no gerador de vapor foi reparado e o seu funcionamento tem sido satisfatório.

O problema atual é a má qualidade do incoel, que, devido à corrosão, leva à inutilização progressiva dos tubos em U. Isto tornará necessária a substituição do gerador de vapor em um tempo inferior à vida útil de vinte cinco a trinta anos prevista para o reator. A substituição, talvez após dez anos de operação, obrigará à abertura do prédio de contenção. Este provável prejuízo levou Furnas a uma ação contra a Westinghouse nos Estados Unidos, mas o caso encontra-se ainda sem solução judicial.

### **Riscos De Acidentes Neste Tipo De Reator**

Os riscos da energia nuclear têm suas particularidades. Normalmente, a presença de radiação nuclear não é perceptível aos nossos sentidos. Seus efeitos incluem o aumento da incidência de câncer e defeitos genéticos, que podem se manifestar muito tempo depois. O risco de acidente em um reator jamais é nulo, embora possa ser reduzido a níveis aceitáveis por medidas técnicas, atendendo convenções

internacionais ou critérios decididos pela sociedade. Em geral, pode-se considerar como pequena a probabilidade de ocorrência de acidente em um reator, mas as conseqüências potenciais são elevadas. O risco é o resultado do produto de uma baixa probabilidade (ou freqüência do evento) pela conseqüência, expressa pelo número de vítimas fatais em potencial.

O otimismo dos meios técnicos, a respeito da segurança das usinas nucleares, foi abalado com a acidente no reator americano de Three Mile Island, em 1979, no qual por pouco não ocorreu a perda de refrigerante do núcleo do reator. O sistema de refrigeração de emergência funcionou a contento, mas erros de operação no estado de emergência quase levaram a uma catástrofe. Em decorrência, a interface operador-sistema veio a sofrer grandes transformações, no sentido de sua maior informatização. Estas inovações foram incluídas no reator de Angra I, que foi adaptado aos novos padrões por Furnas, com a ajuda da COPPE (Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da universidade Federal do Rio de Janeiro).

O problema da segurança dos reatores nucleares foi recolocado em discussão, com maior ênfase, após o acidente de Chernobyl, na antiga União Soviética em 1986. Embora tenha havido exagero nas primeiras notícias que diziam haver milhares de mortos, é presumível que os efeitos retardados, como o câncer, venham a ser muito grandes na região vizinha ao acidente.

O reator soviético acidentado é diferente do reator de Angra I, que usa água como moderador; o de Chernobyl usava grafite, que se incendiou causando o derretimento das barras de combustível, com liberação de material radioativo. A dispersão deste material foi facilitada pela ausência do prédio de contenção; o reator de Angra tem contenção, o que é uma inegável vantagem, em termos de segurança, sobre o de Chernobyl. Apesar disto não se pode descartar a possibilidade de um acidente em Angra.

Um acidente grave que pode ocorrer em Angra é o da perda de refrigerante com fusão do combustível, que poderia causar uma explosão térmica (não nuclear) com rompimento do vaso de pressão. Para evitar tais acidentes, dois sistemas de segurança são usados: um apaga o reator pela inserção de barras de cádmio e água borada, e outro prevê refrigeração de emergência do núcleo do reator. No entanto, como se sabe, nenhum sistema é 100% seguro, e falhas sempre podem ocorrer. Segundo alguns especialistas, neste caso, não haveria uma liberação súbita de material para o meio ambiente, pois mesmo arrebentando o vaso do reator ou o circuito primário, o prédio de contenção resistiria.

Outros especialistas, contudo, são da opinião que o rompimento do prédio de contenção, pela explosão (ou mesmo por um impacto externo, como a queda de um grande avião sobre o prédio) não deve ser desconsiderado, pois apesar da probabilidade de que aconteça o rompimento do prédio de contenção ser pequena, as conseqüências seriam muito grandes, como em Chernobyl.

### **Planos De Emergência Para O Caso De Acidentes**

Os planos de emergência da usina de Angra I assumem que, mesmo no caso de acidente mais grave, o prédio de contenção não ficaria seriamente comprometido. Segundo esta hipótese haveria um escape progressivo de radiação, com a liberação de apenas 0,1% do volume de material radioativo por dia.

Estes planos vem sofrendo críticas por parte daqueles que defendem a idéia de que a hipótese mais pessimista deve ser considerada. Segundo eles, ao excluir "a priori" a pior hipótese, prazos excessivamente dilatados foram estabelecidos para evacuar ou abrigar a população.

De acordo com estes mesmos críticos os exercícios realizados nas proximidades da central nuclear pelo exército (a quem cabe a responsabilidade pela evacuação e controle em caso de acidente nuclear) evidenciaram muitas falhas nos procedimentos adotados: o tempo necessário para o deslocamento da tropa para o local (aproximadamente dez horas) foi considerado muito alto; os 180 ônibus destinados ao transporte têm dimensões que dificultam a sua circulação pela maioria das ruas da cidade de Angra dos Reis; não existem procedimentos definidos para os veículos particulares e para a população de veraneio; faltam parâmetros e condutas que regulem a participação da comunidade; não estão definidas as vias de atualização do plano.

O acidente de Chernobyl, ainda de acordo com estes críticos, demonstrou ser indispensável a participação das forças armadas nestes casos, mas por si só elas não podem ter o controle da situação. É necessário utilizar os recursos humanos e materiais, bem como os canais de circulação de informações e de tomada de decisões que encontram-se espalhados por diversas instituições. Por esta razão, deve-se redefinir as participações dos poderes municipal e estadual, das universidades, de Furnas, e principalmente da CNEN. No entanto, a informação ao público sobre os riscos da usina e a educação sobre proteção radiológica em caso de acidente nuclear tem sido mínima, prevalecendo a propaganda dos benefícios do uso da energia nuclear, feita pela CNEN e por Furnas.

### **O Problema Dos Rejeitos Radioativos**

Além dos riscos oriundos da possibilidade de acidentes nos reatores, existe o impacto ambiental do ciclo do combustível, em especial no que diz respeito ao armazenamento do lixo radioativo, que é o conjunto dos produtos que se formam a partir da desintegração do combustível de um reator nuclear. Devido à sua extrema periculosidade este material deve ser isolado do meio ambiente, um problema que ainda não foi devidamente equacionado mesmo a nível internacional, e que causa preocupações do ponto de vista ecológico. Jogar o lixo atômico no mar ou enterrá-lo em recipientes blindados, como geralmente se faz, não elimina risco de contaminação, pois mesmo a blindagem mais resistente sofre desgastes e pode liberar material radioativo, contaminando o ambiente.

No Brasil não se sabe ainda o destino final que será dado a este lixo, que ficará provisoriamente sob a forma de barras de combustível usadas, armazenado em piscinas ao lado dos reatores, à espera da decisão de se fazer ou não o reprocessamento, para só depois ter um destino definitivo.

### **As Ordens Judiciais De Paralisação Do Reator De Angra I**

As incertezas causadas pelos problemas na operação de Angra I, bem como as críticas ao planejamento de emergência levaram a justiça local a determinar a suspensão das operações da usina em duas oportunidades.

Pouco antes de ocorrer o acidente de Chernobyl foi criada, na Assembléia do Estado do Rio de Janeiro, uma comissão com assessoria da Sociedade Brasileira de Física (SBF) e da COPPE/UFRJ que promoveu diversas reuniões com a CNEN, o Ministério do Interior, Furnas e a prefeitura de Angra dos Reis, que pela primeira vez foi colocada em contato com os encarregados da evacuação da cidade. Nestas reuniões foram constatadas deficiências quanto à notificação ao público, procedimentos em caso de acidente máximo, infra-estrutura para atendimento médico, transporte e telecomunicações.

Em junho de 1986, logo após o acidente de Chernobyl, o juiz da comarca de Angra dos Reis, determinou o desligamento do reator, acolhendo uma petição em ação civil pública movida pelo curador do Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro, motivado pelas deficiências acima apontadas. No despacho do juiz foi transcrito trecho do relatório elaborado pelo físico Luiz Pinguelli Rosa sobre o plano de evacuação da população de Angra em caso de acidente com o reator:

*"O plano existente é julgado precário, mal divulgado, e os prazos estabelecidos para a retirada da população são muito longos, dando até quinze dias para evacuar um raio de 15 km. Esta situação não corresponde ao caso mais grave possível..."*

Em novembro de 1988 uma nova ação foi movida pelo deputado estadual Carlos Minc e pelo ecologista Fernando Gabeira. Os físicos Anselmo Paschoa e Luiz Pinguelli Rosa foram convocados pela juíza Maria Tereza Lobo, da 7ª Vara Federal do Rio de Janeiro, para visitarem as instalações de Angra I, com o objetivo de fazer uma avaliação de suas condições de funcionamento.

Foi constatada na visita, entre outras coisas, a debilidade do plano de emergência para a região em casos de acidentes

O planejamento de emergência com função de mitigar as conseqüências de um acidente nuclear, através de medidas que diminuam a exposição das pessoas à radioatividade, foi bastante criticado na inspeção judicial. Solicitado a dar esclarecimentos sobre o plano de evacuação da população, o exército não atendeu de forma julgada adequada. Em função desta situação, por ordem da juíza, em 1989, foi determinada novamente a suspensão do funcionamento de Angra I, até que os problemas referentes à evacuação da população fossem devidamente resolvidos.

Em ambos os casos, em 1986 e 1989, as instâncias superiores da Justiça, em Brasília, determinaram que se religasse o reator. No último caso, pouco tempo depois, a juíza Maria Tereza Lobo foi removida da 7ª Vara Federal.

### **Problemas Técnicos Atuais Para A Operação De Angra I**

Os problemas técnicos e operacionais do reator de Angra I foram levantados pela Comissão de Físicos que inspecionou a usina em novembro de 1988, convocados pela justiça. Os pontos inspecionados tiveram por base um levantamento realizado em 1986, pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), por solicitação de Furnas.

Nem todas as medidas recomendadas pela AIEA foram implementadas. Por exemplo, um simulador com a réplica da sala de operações, destinado ao treinamento de pessoal técnico e à avaliação dos procedimentos de operação não

foi instalado, porque Furnas considerou o seu custo muito elevado. Segundo a empresa muitas usinas, em diversos países, também não possuem simulador. Os acidentes de Three Mile Island e Chernobyl mostraram que falhas humanas são um aspecto crítico da operação de usinas nucleares o que, em tese, aconselha o máximo rigor na preparação de pessoal. O reator de Angra II, em construção, possui um simulador, mas ele não se presta ao treinamento de operadores de Angra I, que são preparados e reciclados fora do país. Outra sugestão da missão da AIEA - a de realizar-se treinamento de operação mais amplo, incluindo situações de acidente - foi acatada de modo parcial, já que Furnas não considerou factível treinar pessoal em situações estressantes.

### 3.O ACORDO NUCLEAR COM A ALEMANHA

As decisões que levaram à construção de Angra I geraram protestos da comunidade científica e, no final do governo Médici, travaram-se acirradas discussões em torno da política nuclear. No início do governo Geisel, em 1974, esperava-se mudanças no setor nuclear, capazes de fazer vigorar nesta área os padrões vigentes nos outros campos do desenvolvimento nacional, em que a importação pura e simples é sempre indesejável e deve ser substituída paulatinamente por produção no próprio país.

A crise energética de 1973, que resultou em brutal aumento nos preços dos combustíveis derivados do petróleo, e revelou a dependência dos países importadores com relação aos produtores (embargo da OPEP), criou um clima favorável a novas iniciativas na área nuclear.

No final de 1974 uma mudança de orientação parecia estar em curso, com a criação da NUCLEBRÁS, uma estatal que deveria desempenhar para a energia nuclear o mesmo papel que a PETROBRÁS desempenhou para o petróleo. Segundo Paulo Nogueira Batista, seu presidente na época:

*"A orientação do governo visa dotar o país de importante número de centrais nucleares, mas não pretendemos fazê-lo pela simples importação de equipamento estrangeiro. Pelo contrário, tencionamos construir nossos reatores no Brasil e aqui produzir também o combustível de que se utilizarão. Pretendemos ainda fazer a engenharia de centrais nucleares elétricas e das indústrias nucleares, assumindo plena responsabilidade pela sua operação e funcionamento."*

O instrumento para a execução prática desta política foi um acordo de cooperação com a Alemanha Ocidental, firmado em junho de 1975. Por este acordo a NUCLEBRÁS, se associou a empresas alemãs lideradas pelo KWU, do grupo Siemens, para fabricar componentes de reatores e enriquecer e reprocessar combustível nuclear no Brasil. O acordo previa a construção de oito grandes reatores de 1300 MW até 1990, com custos estimados entre 10 e 15 bilhões de dólares, dos quais cerca de um bilhão seria destinado a pagar serviços de engenharia e licenças no exterior. .

O governo brasileiro justificou o acordo argumentando que através dele se poderia:

- assegurar uma fonte alternativa de energia, tendo em vista o progressivo esgotamento do potencial hidrelétrico da região Centro-Sul do país, com relação à previsão de aumento de consumo;
- conseguir um suprimento garantido de geração de energia nuclear mediante um programa integrado, tanto no ciclo do combustível quanto na fabricação dos materiais, equipamentos e instalações nucleares;
- ter acesso à tecnologia nuclear, visando consolidar uma futura autonomia energética.

Para o lado alemão as principais vantagens seriam:

- assegurar uma nova fonte de suprimento de urânio como reforço para o suprimento das suas usinas nucleares;
- efetivar um contrato de exportação de equipamentos e serviços ligados à tecnologia nuclear de valor sem precedentes e garantir à indústria alemã uma posição internacional privilegiada como fornecedora e/ou licenciadora desta tecnologia;
- ratear os custos das pesquisas visando o desenvolvimento de um novo processo para enriquecimento de urânio (o jato centrífugo) e criação de um mercado cativo de usinas nucleares para este combustível quando atingisse a fase de produção industrial,

O acordo gerou resistências internacionais por parte dos Estados Unidos, que procuraram demover o governo alemão da iniciativa. O argumento formal dos americanos era que o domínio do ciclo do combustível poderia levar o Brasil à produção de armas nucleares. Por outro lado, é certo que muito da resistência americana teve a ver com os interesses comerciais de sua indústria nuclear, prejudicados com a perda do mercado brasileiro para os alemães. O governo brasileiro contrargumentou afirmando que o domínio do ciclo do combustível era necessário para a sua independência na geração de energia com finalidades pacíficas, e que a Alemanha foi o único país que havia concordado em colaborar nesta área.

### **As Críticas Internas**

As primeiras críticas ao acordo com a Alemanha foram formuladas pela Sociedade Brasileira de Física (SBF) na reunião anual da SBPC, realizada um mês após a assinatura do acordo em Belo Horizonte. A SBF questionava a necessidade de um programa de tal magnitude em face do potencial hidrelétrico do país e chamava a atenção para os cuidados que a energia nuclear exigia no sentido de proteger a população contra os riscos da radiatividade.

A crítica da comunidade científica deu grande ênfase à forma de associação com os alemães para a compra de tecnologia, que não considerava a capacitação interna existente. Segundo o físico José Goldemberg:

*"Se consultados - e nenhum cientista não vinculado a órgãos não oficiais o foi - os cientistas teriam preferido outra abordagem do problema, por eles defendida e explicada inúmeras vezes, sem obter apoio governamental.*

*A linha proposta defendia basicamente a adoção de urânio natural como combustível dos reatores brasileiros, pelo menos inicialmente, como fizeram a França, Inglaterra, Canadá e Índia. Esta é a única forma de se livrar não só da*

*necessidade de enriquecer o urânio como também das complicações tecnológicas, políticas e diplomáticas que esta opção envolve."*

De acordo com Goldemberg, com urânio natural, o Brasil entraria com mais independência na era nuclear, e com uma tecnologia à qual poderia ter acesso pouco a pouco, sem a necessidade de um acordo tão abrangente com a Alemanha. Um protótipo de reator de potência poderia ser planejado por equipes brasileiras e o "know-how" não disponível no país poderia ser adquirido no exterior; a execução ficaria dividida entre as indústrias nacionais, com assessoria dos laboratórios de pesquisa das universidades.

A primeira comissão criada pela SBF, já em 1975, para analisar o acordo, concentrou-se nos aspectos da transferência de tecnologia e formação de recursos humanos, ambos julgados mal planejados e mal dimensionados. O governo reagiu às críticas criando programas de formação de técnicos, porém manteve intocado o sistema de transferência de tecnologia que, segundo a avaliação da comissão da SBF, era submisso aos interesses comerciais da KWU.

Um ponto apontado como altamente vulnerável, era a decisão de usar o processo de enriquecimento de urânio por jatos centrífugos que apresenta os maiores problemas de custo, não tendo até hoje a sua viabilidade industrial comprovada.

O reprocessamento do urânio restante e do plutônio foi duramente condenado, pela suspeita de que este último pudesse ser desviado para a fabricação de uma bomba atômica. Durante o governo Carter os EUA levantaram esta hipótese e a tecnologia não chegou a ser transferida. Restou, portanto, a tecnologia dos reatores em si e a participação da indústria nacional na fabricação dos componentes dos reatores. Apesar de insuficiente, houve alguma transferência de tecnologia, embora dentro de um esquema em que a empresa alemã exerce maior controle do que lhe daria direito a sua participação acionária minoritária, justamente porque ela é detentora da tecnologia. Segundo um relatório de uma comissão da SBPC, publicado em 1986,

*"...ao longo destes últimos anos acumularam-se indícios fortes de que os contratos decorrentes do Acordo não favoreciam o domínio brasileiro da tecnologia almejada e nem a participação adequada da indústria nacional."*

Assim, por exemplo, os contratos firmados com a KWU para o fornecimento dos reatores para as duas primeiras usinas do acordo (Angra II e III) previam pouca participação da indústria nacional: apenas 30% do valor dos equipamentos, sendo que quase um terço deste montante referia-se a insumos importados. A justificativa apresentada pelo governo, na época, foi de que a indústria nacional não se encontrava aparelhada para participar, em ampla escala, da construção dos primeiros reatores, mas que nos seguintes a sua participação seria aumentada.

A questão nuclear, contudo não pode ser reduzida à da transferência e domínio da tecnologia. É preciso, antes de mais nada indagar para que se quer esta forma de energia, e a que custo. Com a evolução do debate nuclear no Brasil, durante e após a "abertura" política do final dos anos 70, este aspecto foi crescendo em importância. Passou-se a questionar a validade das estimativas governamentais quanto à necessidade de energia e ao potencial hidrelétrico do país; os acidentes



de Three Mile Island e Chernobyl colocaram em questão a segurança dos reatores e do lixo radioativo; do ponto de vista econômico, o endividamento externo decorrente da construção de Angra II e III tornou-se, também, alvo de críticas.

### **A Situação De Angra II E Angra III**

Este conjunto de críticas, aliado à crise econômica, que se instalou no país a partir dos anos 80, levaram a uma revisão do programa nuclear, no sentido de redimensioná-lo às possibilidades do país. Assim, no final de 1982, o governo Figueiredo tomou a decisão de reduzir de oito para duas as usinas a serem construídas até 1990. Tratam-se das usinas de Angra II e Angra III, que estavam contratadas desde o início do acordo. Todavia, mesmo estas não estão concluídas.

Angra II, cuja construção começou em 1976, com conclusão prevista para 1982, apresentou problemas técnicos relacionados com o solo da região escolhida para a localização dos três reatores (Angra I, II e III) que constituem a Central Nuclear de Angra dos Reis. A região da bacia de Itaorna possui a rocha, na qual as estacas das fundações dos reatores devem ser cravadas, situada a muitos metros de profundidade. Com exceção do local onde foi construída Angra I, em que a rocha acha-se próxima da superfície, no restante da área há uma profunda camada de terra entremeada de grandes blocos de pedra. Para se chegar à rocha foi preciso construir estacas de até quarenta metros de profundidade, sobre as quais fica a base do reator. Estas estacas são caríssimas, com sua instalação dificultada pelos blocos de pedra sob a superfície, que precisam ser perfurados para permitir a passagem das estacas através deles.

As fundações do prédio de um reator devem seguir normas de segurança muito severas, que incluem a resistência a abalos sísmicos. Apesar do Brasil, não se encontrar em uma área geológica de grande atividade sísmica, esta não pode ser descartada totalmente. No entanto, o cálculo das fundações de Angra II, feito pela empresa alemã KWU, não seguiu as normas exigidas pela CNEN para resistência a tremores de terra. Devido a isto a CNEN pediu que o número de estacas fosse aumentado, o que foi recusado pela KWU. Após meses de atraso, devido ao litígio, a KWU refez projeto, reforçando as fundações e aumentando o número de estacas.

Entretanto, a KWU cobrou o novo projeto, além de ter causado enorme prejuízo pelo atraso da obra, enquanto se recusava a seguir a norma estabelecida pela instituição brasileira encarregada da segurança das instalações nucleares. Neste conflito, a NUCLEBRÁS, empresa estatal brasileira, ficou ao lado da sua sócia alemã, e o Ministério das Minas e Energia teve dificuldades em fazer valer numa empresa a ele subordinada - a NUCLEBRÁS - a regra baixada pela CNEN, também subordinada a este ministério.

Além da questão das fundações, Angra II sofreu atrasos devido ao mau gerenciamento financeiro, com a situação agravando-se a ponto das obras serem paralisadas, em 1986, por falta de recursos. A obra, naquela altura, encontrava-se com 70% dos serviços de construção civil executados e praticamente todos equipamentos adquiridos e guardados em depósitos. .

As estimativas conservadoras dos gastos já realizados se elevam a 5 bilhões de dólares (as mais exageradas estimam o dobro), sendo ainda necessários mais de 1 bilhão de dólares para a sua conclusão. Trata-se, de qualquer modo, de uma das

usinas nucleares mais caras do mundo. Em janeiro de 1992, o governo anunciou que as obras seria reiniciadas graças a um financiamento alemão de 800 milhões de dólares, prevendo de três a cinco anos para a sua entrada em operação. Esta previsão não se concretizou e, até momento (1998) qualquer estimativa de prazos deve ser encarada com cautela.

Angra III, por sua vez, teve sua, localização modificada para mais longe dos outros dois reatores, devido aos problemas com o solo. Apenas as obras de terraplanagem foram realizadas até agora, e 80% dos equipamentos foram encomendados. Investimentos de 350 milhões de dólares já foram feitos , e 1 bilhão de dólares encontram-se comprometidos. A sua construção encontra-se paralisada.

#### **4. A CONTINUIDADE DO PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO**

Em 1986 uma comissão nomeada pelo presidente José Sarney, com o objetivo de reavaliar o programa nuclear, apresentou um relatório contemplando alguns dos aspectos reivindicados há anos pelas sociedades científicas. A comissão integrada por técnicos do governo e cientistas de diferentes áreas de atividades propôs mudar a estrutura das subsidiárias da Nuclebrás, associada à KWU alemã, transferindo um maior controle à ELETROBRÁS. A comissão sugeriu ainda que a fiscalização e controle das instalações nucleares fosse feita por um organismo desvinculado do Ministério das Minas e Energia, o que lhe daria um maior grau de independência.

Foi proposto ainda um acordo Brasil-Argentina, com inspeção mútua para evitar a produção da bomba atômica. Este dado mostra a existência, na época, de uma preocupação com a possibilidade de uma corrida discreta para a bomba, mesmo que os governos de ambos os países tenham negado esta intenção repetidas vezes. Na última década a situação evoluiu positivamente, e várias declarações conjuntas dos governos brasileiro e argentino reafirmaram compromissos de colaboração e inspeção mútua na área nuclear, bem como de não produção de explosivos nucleares.

Com relação ao acordo com a Alemanha, a comissão de avaliação recomendou a conclusão de Angra II e de Angra III, e a instalação de um quarto reator, cuja construção deveria ter início em 1989. As justificativas para esta recomendação basearam-se na necessidade de produção de energia e na conveniência de aquisição de tecnologia que poderia ser útil no futuro. Com relação a Angra II e III, o parecer da comissão foi de que a não conclusão das mesmas, significaria a perda dos vultuosos recursos já investidos.

Por outro lado, as sociedades científicas, mesmo reconhecendo avanços no relatório produzido pela comissão de avaliação, não aceitaram as recomendações relativas à continuidade da construção de usinas. Em outubro de 1989, uma posição conjunta da Sociedade Brasileira Para o Progresso da Ciência, da Sociedade Brasileira de Planejamento Energético e da Sociedade Brasileira de Física, destacava os seguintes aspectos com relação ao acordo Brasil-Alemanha:

- 1) O acordo entre o governo da República Federativa do Brasil e o governo da República Federativa da Alemanha sobre a Cooperação no Campo dos Usos Pacíficos da Energia Nuclear estabeleceu uma intenção dos dois governos de fomentar a cooperação entre instituições de pesquisa científica e tecnológica e

empresas dos dois países, o que em si mesmo poderia ser um fato positivo para a aproximação dos dois povos e para intercâmbio de conhecimentos neste campo.

- 2) Entretanto, este acordo firmado em 1975, abrangendo as diversas fases do ciclo do combustível nuclear e a produção de reatores e seus componentes, teve como implicação direta - por via de protocolos industriais e da associação entre a empresa estatal brasileira, NUCLEBRÁS, e empresas alemãs, com formação de diversas subsidiárias - um programa de transferência de tecnologia mal sucedido e de construção de centrais nucleares, planejadas em número excessivo e muito mais caras do que as hidrelétricas de igual potência, país.
- 3) Não deve a sociedade brasileira, que não foi chamada pelo governo militar a opinar de forma democrática na ocasião do acordo, continuar a arcar com o ônus de um programa comercial de exportação de grupos privados alemães que já custou cerca de 7 bilhões de dólares ao país sem produzir sequer 1 KW de energia elétrica após quinze anos, estando os dois primeiros reatores do acordo com construção atrasada (Angra II) ou apenas iniciada (Angra III); a política da NUCLEBRÁS foi desmembrada evidenciando o equívoco cometido.
- 4) Estudos da ELETROBRÁS evidenciam que o programa nuclear, decorrente do acordo, baseou-se em premissas equivocadas que subestimaram o potencial hidrelétrico brasileiro, agora reavaliado em 213 milhões de KW suficiente para atender pelo menos até o ano de 2010 a demanda de potência elétrica instalada, hoje cerca de 43 milhões de KW, mesmo considerando uma substancial redução do potencial utilizável por razões ambientais. Além disto há outras fontes para geração elétrica, como o gás natural, o carvão, resíduos e a biomassa.
- 5) Não se coloca, portanto, uma premente urgência da energia nuclear para geração elétrica, como fora programado por ocasião do acordo, havendo tempo para se realizar nos próximos cinco anos estudos mais cuidadosos sobre a necessidade de energia nuclear para quando o potencial hidrelétrico estiver plenamente utilizado, sem se comprometer com um programa prematuro de grande escala e alto custo. Ao invés disto a entrada da energia nuclear, caso se opte por ela, deve ser progressiva e planejada com devida antecedência.
- 6) Estas considerações não significam que deve ser abandonada, a priori, a energia nuclear, cujo uso deve ser condicionado a medidas técnicas de segurança severas e à aceitabilidade social por critérios democráticos, inclusive ouvido o congresso. Neste contexto seria recompensável a continuidade da obra de Angra II - condicionada à revisão do sistema nacional de proteção radiológica, inclusive para a definição do destino dos rejeitos radioativos, e de um plano de emergência externo mais eficaz para o caso de acidente nuclear. Angra III deveria ser sustada para reestudo de sua viabilidade técnica e econômica, em face dos erros cometidos em Angra II que elevaram o custo do KW a valores proibitivos.
- 7) Tampouco significa que devam ser interrompidas as relações de cooperação científica e tecnológica no campo dos usos pacíficos da energia nuclear com a Alemanha, naquilo que for julgado necessário ao Brasil e de interesse comum aos dois países; em particular sendo continuada a construção de Angra II, será necessária a cooperação técnica alemã.

8) Nestas condições o acordo deve ser denunciado no que concerne aos aspectos que não mais convém aos interesses do país, chamando-se o governo alemão para negociar a continuidade da colaboração entre os dois países em novos termos, o que deve levar às modificações necessárias naquilo que vige atualmente.

9) Dentro do prazo limitado pela data até a qual os dois governos podem manifestar-se quanto ao acordo, o governo brasileiro deve dirigir-se ao governo alemão nos termos acima.

10) Concomitantemente a essa manifestação junto ao governo alemão, o governo brasileiro deve abrir uma discussão interna, envolvendo os setores interessados da sociedade e o Congresso, para definir em linhas gerais os termos a serem levados à negociação diplomática.

## **5. A ENERGIA NUCLEAR FRENTE A OUTRAS FORMAS DE ENERGIA**

Apesar das críticas que tem sofrido a nível internacional, devido aos temores que acidentes como Three Miles Island (1979), Chernobyl (1986) e outros menores e menos divulgados, a energia nuclear é utilizada em larga escala em países onde as opções energéticas são limitadas. A França e a Bélgica, por exemplo, geram respectivamente 65% e 60% de sua energia elétrica por meio de centrais nucleares.

O Brasil possui um potencial hidrelétrico que poderá dar conta das necessidades do país até o ano 2010. Os defensores desta opção argumentam que trata-se de uma alternativa de custo mais baixo, e que se baseia em tecnologia conhecida e amplamente dominada pela indústria nacional. Além disto as centrais hidrelétricas apresentam menores riscos operacionais e de contaminação ambiental.

Por sua vez, os defensores da utilização da energia nuclear no Brasil, apontam que o país não pode abrir mão de adquirir experiência com esta tecnologia, que poderá ser de utilidade no futuro e recomendam a construção de pelo menos quatro usinas até o final do século (Angra II, Angra III e Angra IV). O fato de apresentarem um custo maior por KW gerado do que as hidrelétricas, seria compensado pela experiência que seria adquirida, e pela formação de recursos humanos na área.

Quanto à questão de acidentes e impactos ambientais, os defensores da energia nuclear argumentam que nenhuma opção energética apresenta riscos nulos. A geração termoelétrica a petróleo ou carvão, por exemplo, polui continuamente a atmosfera e aumenta o efeito estufa, pela emissão de gás carbônico. No caso do carvão, em particular, a sua extração é perniciosa à saúde dos mineiros, um problema bem conhecido no estado de Santa Catarina.

Argumentam ainda que mesmo as hidrelétricas não são 100% seguras, pois as barragens apresentam o risco, ainda que remotíssimo de se romperem, causando mortes imediatas.

Mas o problema maior das hidrelétricas encontra-se relacionado com o impacto ambiental e o social causado pela construção das mesmas, com o alagamento de grandes áreas, trazendo conseqüências para o clima, os ecossistemas e as populações das zonas afetadas. No Brasil, a maior parte do potencial hidrelétrico ainda não aproveitado se concentra na Amazônia, e o impacto ambiental das

grandes barragens nesta região é um problema preocupante, envolvendo inclusive a preservação de terras indígenas.

Devido a questões como estas a energia nuclear tem sido reconsiderada em vários países desenvolvidos, como os EUA, onde esteve restrita devido aos riscos. Após o acidente de Three Miles Island nenhum novo reator foi encomendado naquele país. Todavia, como não contribui para o efeito estufa, uma preocupação nos anos recentes entre os americanos, a geração nuclear tem sido reabilitada como opção energética, e reatores mais seguros têm sido cogitados para reduzir o risco de acidentes.

Estes reatores, denominados "reatores intrinsecamente seguros", passaram a ser estudados principalmente após acidente de Chernobyl. Neles, um acidente envolvendo a perda do refrigerante jamais implicaria a emissão de material radioativo para o meio ambiente. Os reatores térmicos comuns, do tipo PWR, são seguros quanto a uma explosão nuclear, mas não quanto a uma explosão térmica capaz arremessar material radioativo para o meio ambiente. Os "reatores intrinsecamente seguros" apresentam-se, no momento, como uma possibilidade tecnológica, cuja comprovação ainda não foi efetivada.

## **BIBLIOGRAFIA**

1 . Para a elaboração deste texto foram utilizados principalmente:

.O Relatório da Comissão da SBPC denominado "A SITUAÇÃO ATUAL DO PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO", publicado na revista CIÊNCIA E CULTURA 38 (10) Outubro de 1986.

.O livro "A POLÍTICA NUCLEAR NO BRASIL" de autoria de Luiz Pinguelli Rosa, Fernando de Souza Barros e Suzana Ribeiro Barreiros, publicado pela Editora Greenpace em 1991.

A leitura deste livro é recomendada para aqueles que desejarem uma visão mais abrangente sobre o assunto.

2. Um outro livro que oferece uma visão crítica sobre o programa nuclear é "A QUESTÃO NUCLEAR BRASILEIRA: UM JOGO DE MANDOS E DESMANDOS", de Odete Maria de Oliveira, publicado pela Editora da UFSC em 1989.

3. As críticas de José Goldemberg foram extraídas de seu livro "Energia Nuclear: Vale a Pena?", publicado pela Editora Scipione em 1988.

## ANEXO 7



## REATORES NUCLEARES

A energia nuclear, que nas usinas é transformada em energia elétrica, tem origem na reação de fissão do núcleo atômico. A fissão é o processo onde um núcleo se fragmenta em dois ou mais pedaços, devido a instabilidades geradas pela ação de um agente externo ou de forma espontânea. Para se entender este fenômeno de forma qualitativa devemos lembrar que o núcleo, constituído por neutrons e prótons, é palco de uma “competição acirrada” entre duas forças: a força atrativa nuclear que busca manter os constituintes do núcleo, neutrons e protons, unidos, e a força de repulsão elétrica que tenta separar os prótons.

Na natureza, observa-se que os núcleos estáveis de elementos leves (de número atômico mais baixo) possuem em geral o mesmo número de prótons e neutrons. No entanto, quando vamos mudando de posição na Tabela Periódica, alcançando elementos pesados (de número atômico mais elevado), observa-se que os núcleos estáveis possuem um número maior de neutrons do que de prótons. Isto se deve ao fato que a estabilidade de um núcleo depende da competição de duas forças: de um lado a força nuclear atrativa, de outro a força elétrica repulsiva entre os prótons. A estabilidade de um núcleo depende do número de constituintes (prótons + neutrons). As forças atrativas nucleares ganham em intensidade quanto maior for o número de prótons e neutrons. Porém, colocar muitos prótons, isto é, cargas de mesmo sinal, numa região muito pequena do espaço é extremamente difícil pois as forças repulsivas elétricas tendem a afastá-los.

Esta é a razão de porque nos núcleos leves estáveis o número de prótons e neutrons é o mesmo enquanto que para os núcleos pesados, o número prótons é menor do que os neutrons. A estabilidade (isto é, a capacidade de permanecer em equilíbrio) dos núcleos pesados é uma questão delicada, pois nestes temos sempre um número grande de prótons. Os núcleos e isótopos desta região da Tabela Periódica podem ter uma tendência a se fissionar.

Estes núcleos, denominados físeis, são como comunidades num alto estado de tensão. A chegada de um estranho é capaz de iniciar um processo conflituoso tão grande e generalizado que pode levar a uma desagregação. Se, por exemplo, um neutron é capturado, sua presença pode destruir o equilíbrio interno do núcleo, pois quebra a estrutura estável tão delicadamente construída pelo acordo entre o número de prótons e número de neutrons. Ao se quebrar o frágil acordo, o núcleo passa a efetuar vibrações e se deforma em busca de uma nova estabilidade. No entanto, a amplitude destas vibrações pode ir aumentando até que as ligações internas se rompam. O núcleo então se fragmenta em dois núcleos residuais menores e mais alguns neutrons. (Figura 1). Este é um processo onde a energia liberada é cedida aos fragmentos que se afastam com altas velocidades. Esta energia pode ser aproveitada num reator nuclear.

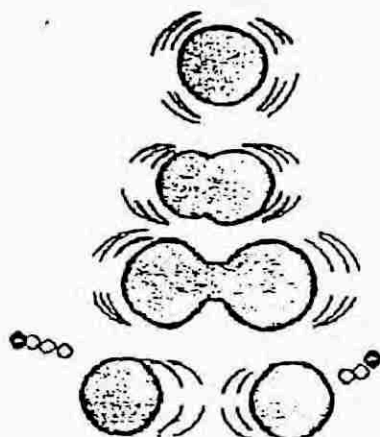


Figura 1

Para entender o mecanismo de um reator vamos supor, momentaneamente, que colocássemos dentro de um reservatório, com água ou gás, alguns núcleos físséis. Quando ocorrer uma fissão, os resíduos (neutrons e outros núcleos menores) se afastam em grande velocidade colidindo com as partículas da água ou gás como num imenso jogo de bilhar. Através de colisões sucessivas a energia é passada para as partículas do reservatório aumentando a temperatura deste. Os neutrons residuais são importantes porque, se colidirem com outros núcleos físséis, poderão gerar novas fissões realimentando o processo.

Nos reatores nucleares o material físsil é acondicionado de forma mais sofisticada e o líquido do reservatório pode também ter suas peculiaridades, porém o mecanismo básico é o descrito acima. O calor gerado pelas reações nucleares pode, como numa caldeira, aquecer água gerando vapor. Este vapor pode girar turbinas que, acopladas a geradores elétricos, transformam finalmente a energia nuclear em energia elétrica.

Esta descrição simples mostra o princípio de funcionamento de reatores, porém, a aplicação desse princípio demanda uma série de outros conhecimentos técnicos e científicos. Tocaremos em alguns deles a seguir.

A fissão é um processo probabilístico, provocado pela incidência de neutrons sobre núcleos. É um fenômeno probabilístico porque o núcleo que absorveu o neutron pode buscar uma situação de estabilidade através de outros processos que não a fissão. Portanto não basta incidir neutrons sobre núcleos para que se garanta uma reação de fissão. A probabilidade de ocorrência dependerá da energia dos neutrons e do tipo de núcleo físsil. Tudo isso deve ser levado em conta quando da construção e manutenção de um reator. Em reatores nucleares o núcleo físsil comumente utilizado é o Urânio e, devido a sua importância como combustível nuclear, vamos estudá-lo um pouco mais. Sabemos que um mesmo elemento químico pode aparecer na natureza na forma de vários isótopos, sendo que uma amostra de um elemento químico pode ser composta por diferentes quantidades dos seus diferentes isótopos. Por exemplo, uma amostra de Urânio natural, conterá 99.28% de Urânio-238 e 0.72% de Urânio-235. Os dois isótopos possuem uma estruturação de camadas diferenciada devido ao número diferente de neutrons. Isto também os faz reagir de forma diversa aos neutrons incidentes. Além das características de cada isótopo a outra propriedade relevante nestas reações é a energia dos neutrons incidentes. Por esta razão vamos classificar os neutrons segundo suas energias.

Num reator nuclear os neutrons de menor energia possuem velocidades correspondentes às do movimento térmico das moléculas do meio. Esta energia não ultrapassa 0,03 – 0,04 eV (elétron Volt) e corresponde a energia cinética média das moléculas de um gás à temperatura ambiente (por volta de 20 graus Celsius ou 293 graus Kelvin). Os neutrons com esta energia cinética possuem velocidades da ordem de 2200 m/s e são denominados neutrons térmicos.

Nos reatores temos ainda os neutrons rápidos que podem ser classificados em faixas de energia segundo suas ações sobre os isótopos de Urânio:

a) os neutrons com energia superior a 1 MeV (Milhão de elétron Volts), são capazes de causar a fissão tanto de um isótopo de Urânio-235 quanto de um de Urânio-238;

b) os que possuem energia entre 1 eV e 7 eV podem causar a fissão do Urânio-238 mas são preferencialmente capturados, formando o isótopo Urânio-239,  ${}_{92}^{239}\text{U}$ . Este isótopo, (com meia-vida de 23 minutos) é altamente instável e decai emitindo uma partícula  $\beta$  transformando-se num núcleo de Neptunio  ${}_{93}^{239}\text{Np}$ . Este por sua vez se desintegra (com uma meia-vida de dois a três dias) emitindo uma partícula  $\beta$  e se transforma num núcleo de Plutônio  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ . Este isótopo do Plutônio se fissiona com a mesma facilidade que os núcleos de Urânio-235 e pode ser utilizado como combustível nuclear. Pela sua capacidade de formar um novo elemento físsil o Urânio-238 é denominado fértil.

Do ponto de vista da utilização da energia nuclear, os neutrons térmicos são os mais úteis, pois quando incidem sobre o Urânio-235 provocam a fragmentação do mesmo em dois núcleos residuais e geram ainda dois ou três neutrons. Estes dois ou três neutrons na maioria das vezes possuem energia inferior a 1 MeV e por esta razão não são capazes de fissionar o Urânio-238. Porém, podem após perder energia, através de colisões com outras partículas do meio, se tornarem neutrons térmicos e assim provocar fissões de outros dois ou três núcleos de  ${}^{235}\text{U}$  que vão gerar mais dois ou



três neutrons que vão causar a fissão de mais dois ou três núcleos de  $^{235}\text{U}$  que vão .....gerar uma reação em cadeia. (Figura 2)

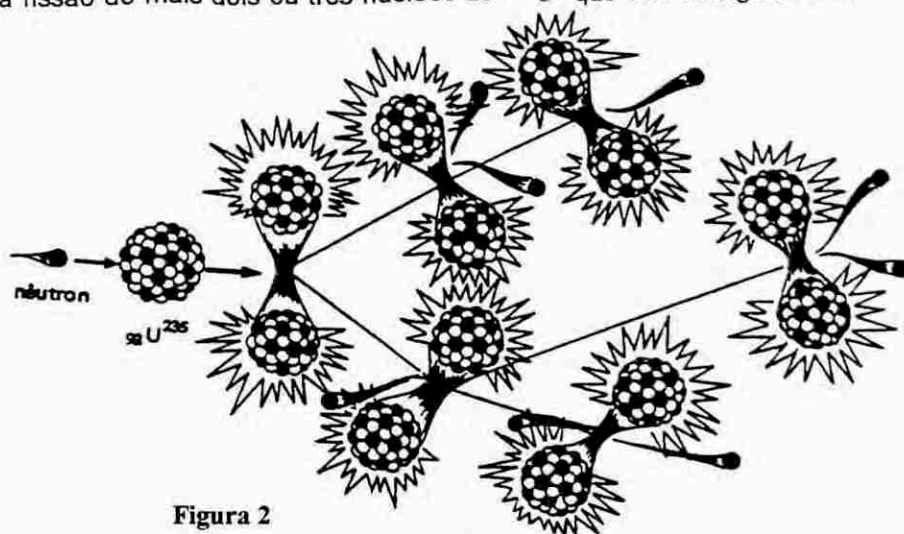


Figura 2

Para que haja uma produção contínua de energia é necessário que o número de neutrons gerados na fissão, e capazes de gerar mais fissões, seja mantido. A taxa de produção de neutrons deve superar a taxa de perda. As perdas podem ocorrer por captura de neutrons pelo  $^{238}\text{U}$ , com energia inferior a 1 MeV, (incapazes de gerar fissões) ou pelo escape da região onde o combustível nuclear se localiza. Obviamente uma forma de evitar perdas é se ter uma quantidade razoável de  $^{235}\text{U}$ . Daí se depreende que o Urânio natural com um baixo percentual de  $^{235}\text{U}$  e alto percentual de  $^{238}\text{U}$  não é o combustível ideal. Neste caso, os neutrons gerados por fissão terão uma alta probabilidade de serem capturados pelo  $^{238}\text{U}$  sem gerar novas fissões.

Nos reatores nucleares mais comuns utiliza-se o Urânio enriquecido com 3% de  $^{235}\text{U}$ . Isto é modifica-se o percentual usualmente encontrado na natureza. Os processos de enriquecimento do Urânio natural constituem por si só um tópico e envolvem tecnologia sofisticada. Devido à possíveis aplicações bélicas os desenvolvimentos e conhecimentos nesta linha estão sempre envoltos em mistérios e segredos. Há inclusive normas internacionais que tentam garantir o monopólio deste conhecimento a alguns países pertencentes ao fechado grupo das potências nucleares.

Nestes reatores a captura dos neutrons pelo  $^{238}\text{U}$  pode ser minimizada colocando-se o combustível num meio cujos elementos tenham duas propriedades; em primeiro lugar devem ter pouca aptidão para capturar neutrons, em segundo lugar, devem ser capazes de absorver a energia dos neutrons de modo que rapidamente saiam da faixa ( de 1 a 7 eV) de energia. Elementos com estas propriedades são denominados moderadores .

Para que um reator esteja em funcionamento é necessário que o número de fissões ,ou seja, a taxa de produção de energia se mantenha. O número de fissões é controlado pelo número de neutrons e por esta razão se definiu uma grandeza denominada fator de multiplicação, que indica quantas vezes aumenta o fluxo de neutrons a cada fissão . Para que um reator esteja em funcionamento normal, o fator de multiplicação deve ser igual a 1(um), caracterizando a manutenção do número de neutrons. Um aumento do fluxo de neutrons pode gerar um aumento de reações de fissão e aumento da temperatura interna do reator com conseqüências graves.

Nos reatores além da presença de moderadores é necessário se ter formas de controle alternativos que em situações críticas possam sustar rapidamente a ocorrência de fissões. Isto é feito através da inserção de barras de Boro ou Cádmio ou Grafite que, ao serem introduzidas absorvem o excesso de neutrons evitando o processo descontrolado.

Estas barras de controle são também a chave para a ignição de um reator, pois para que se inicie o processo de reação em cadeia basta que consigamos aproximar uma quantidade crítica de material físsil. Uma vez unida esta massa de material físsil pode gerar uma reação em cadeia de forma descontrolada, causando uma explosão nuclear. Para que isto não ocorra o combustível é colocado

num arranjo geométrico intercalado pelas barras de controle. As barras são retiradas paulatinamente até que se alcance uma taxa de produção de fissões segura.

O coração do reator onde se encontra o combustível é ainda envolto por uma estrutura (Vaso do reator), revestida com material que reflete os neutrons que escapam da região onde se encontra o combustível. Como exemplo de reator tomemos o reator de Angra dos Reis. Neste reator o combustível nuclear é disposto geometricamente dentro do vaso do reator, através de varetas de uma liga de Zircônio contendo pastilhas de Dióxido de Urânio ( $UO_2$ ) com uma concentração de Urânio 235 enriquecida a 3%. Barras de grafite controladas externamente se introduzem entre as varetas de combustível funcionando como moderador e controlador da reação.

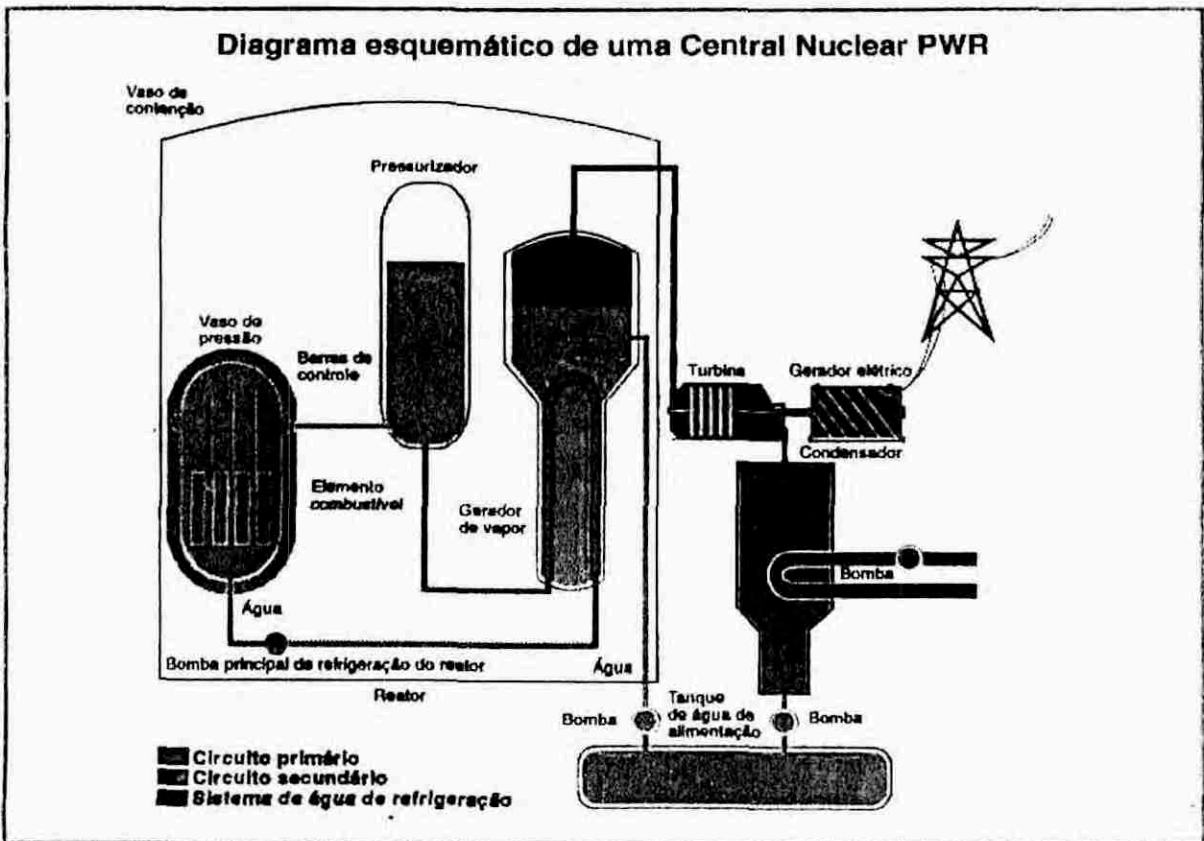
A reação é ainda moderada e controlada pela água desmineralizada com uma certa diluição ácido bórico que circunda o combustível. Esta, também é o elemento refrigerador, que não permite o aumento excessivo da temperatura, evitando que o vaso do reator se funda. Esta água é mantida a alta pressão para que não se transforme em vapor e circula por um circuito primário transportando o calor para um circuito secundário onde a água externa e sem contacto com o material radioativo é vaporizada. Este vapor é então utilizado para girar as turbinas de um gerador elétrico. Após passar pela turbina ele é de novo resfriado e reintroduzido no circuito secundário. Este tipo de reator é denominado PWR (Pressurized Water Reactor), Reator à Água Pressurizada. (Figura 3)

# PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UMA USINA NUCLEAR

A usina nuclear funciona com princípio semelhante ao de uma usina térmica convencional: o calor gerado pela combustão do carvão, do óleo ou do gás vaporiza a água em uma caldeira. O vapor aciona uma turbina, à qual está acoplado um gerador, que produz a energia elétrica. Na usina nuclear, o calor é produzido pela fissão do urânio no reator. O sistema PWR é constituído por três circuitos: primário, secundário e de água de refrigeração.

A água do circuito primário é aquecida pelo calor decorrente da fissão do urânio no reator, chegando à temperatura de cerca de 320° C. Em seguida, a água passa por tubulações até o gerador de vapor, onde vaporiza a água do circuito secundário sem, no entanto, entrar em contato com ela. O vapor resultante vai acionar a turbina, que movimentará o gerador e produzirá eletricidade.

Para que a água do circuito primário não entre em ebulição ao ultrapassar os 100° C, a pressão é mantida elevada - 157 atmosferas - daí o sistema denominar-se "água leve pressurizada".



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA



Eletrobrás  Centrais Elétricas Brasileiras

FURNAS  CENTRAIS ELÉTRICAS SA