

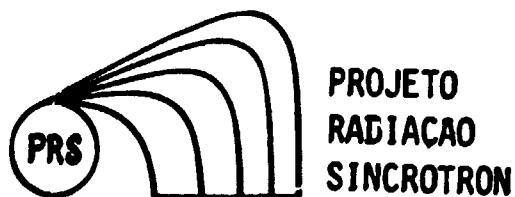
BR 85-1124

BR85-1124

**CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTIFICO E TECNOLOGICO  
CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FISICAS**

**CBPF/PRS - 001/83**

**PROPOSTA PRELIMINAR DO ESTUDO DE VIABILIDADE  
PARA A IMPLANTACAO DE UM LABORATORIO NACIONAL  
DE RADIAÇÃO DE SINCROTRON**



**RIO DE JANEIRO  
CBPF  
1983**

**Publicação Especial do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF)**  
**Série: Projeto de Radiação de Síncrotron (PRS)**

**CBPF/PRS - 001/83 - Proposta preliminar do estudo de viabilidade para a implantação de um Laboratório Nacional de Radiação de Síncrotron**

**CBPF/PRS - 002/83 - Notícia sobre a proposta preliminar do estudo de viabilidade para a implantação de um Laboratório Nacional de Radiação de Síncrotron**

**CBPF/PRS - 003/83 - Encontro das Sociedades Científicas sobre a proposta preliminar do estudo de viabilidade para a implantação de um Laboratório Nacional de Radiação de Síncrotron.**

**Exemplares deste documento poderão ser solicitados ao:**  
**CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS - CBPF**  
**Coordenação de Documentação e Informação Científica**  
**Divisão de Informação Científica**  
**Rua Dr. Xavier Sigaud, 150 - 4º andar**  
**22290 - Rio de Janeiro, RJ**  
**Brasil**  
**Telefone: (021) 541.0337 - Ramais 244 e 245**

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO  
CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS

CBPF/PRS - 001/83

PROPOSTA PRELIMINAR DO ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO  
DE UM LABORATÓRIO NACIONAL DE RADIAÇÃO DE SINCROTRON

Elaborado por

Roberto Lobo  
Diretor do CBPF

Ramiro de Porto Alegre Muniz  
Vice-Diretor do CBPF

Jacques Danon  
Pesquisador Titular do CBPF

Aldo Craievich  
Pesquisador Titular do CBPF

Rio de Janeiro  
CBPF  
1983

**CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS-CBPF**

**Diretor do CBPF**  
Prof. Ramiro de Porto Alegre Muniz

**Coordenador do Projeto de Radiação Síncrotron (PRS)**  
Prof. Roberto Lobo

**Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.**

**Proposta preliminar do estudo de viabilidade para a  
implantação de um Laboratório Nacional de Radiação de  
Síncrotron / elaborado por Roberto Lobo, Ramiro de Por  
to Alegre Muniz, Jacques Danon /e/ Aldo Craievich. -  
Rio de Janeiro : CBPF, 1983. p.  
(CBPF/PRS - 001/83)**

**1. Laboratório Nacional de Radiação de Síncrotron.  
I. Lobo, Roberto. II. Muniz, Ramiro de Porto Alegre.  
III. Danon, Jacques. IV. Craievich, Aldo. V. Série.  
VI. Título**

## S U M A R I O

1	PANORAMA DA FÍSICA BRASILEIRA E O PAPEL DO CBPF.....	1- 3
2	UM LABORATÓRIO DE RADIAÇÃO SINCROTRÔNICA NO CNPq/CBPF...	3- 5
3	IMPACTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO NA FORMAÇÃO DE PESSOAL.	5- 7
4	CRONOGRAMA .....	7
5	ORÇAMENTO 82 .....	8
6	APÊNDICE I .....	8
6.1	<u>Radiação Sincrotrônica e suas Aplicações</u> .....	8
6.1.1	Histórico .....	8- 9
6.1.2	Características.....	9-11
6.1.3	Aplicações .....	11
6.1.3.1	<u>Espectroscopia de raios-X (Cristalografia e EXAFS)</u>	11-12
6.1.3.2	<u>Espectroscopia ultravioleta</u> .....	12
6.1.3.3	<u>Tecnologia</u> .....	12-13
7	APÊNDICE II .....	14-18
8	APÊNDICE III.....	19-29
9	APÊNDICE IV.....	30-31

## 1 PANORAMA DA FÍSICA BRASILEIRA E O PAPEL DO CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS

A física brasileira começou realmente a se desenvolver após 1945. Ela contava, até então, com o grupo de Física da Universidade de São Paulo, onde pesquisadores já trabalhavam em tempo integral, inspirados pelo físico Gleb Wataghin, e com o grupo do Prof. B. Gross, no Instituto Nacional de Tecnologia no Rio de Janeiro, além de outros grupos menores. A partir da segunda metade da década de 40 houve um crescimento bastante significativo no número de pesquisadores, na diversificação das áreas de pesquisa, no volume da produção científica, e na distribuição geográfica dos grupos de pesquisa.

Em 1949 foi criado o CBPF (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas) no Rio de Janeiro. Participaram de suas atividades grandes nomes da Física mundial e a ele se ligou, de uma forma ou de outra, quase toda a geração de físicos formados nas décadas de 50 e 60.

Em 1951 foi criado o CNPq (Conselho Nacional de Pesquisas) que, com ações de apoio e reforço, estimulou de forma decisiva o desenvolvimento da Física no Brasil.

Às áreas de Física de Altas Energias e de Física Nuclear veio se somar, com uma participação cada vez maior, a Física do Estado Sólido, que começou a se expandir no Brasil nos primeiros anos da década de 60, embora já houvesse interesse de pequenos grupos em São Paulo e no Rio de Janeiro. Entre esses grupos cumpre ressaltar o do Prof. Joaquim Costa Ribeiro, na Faculdade Nacional de Filosofia, que alcançou repercussão internacional com a descoberta do efeito termodielétrico.

No início dos anos 60 o grupo de Espectroscopia Mössbauer, com os trabalhos do Prof. J. Danon e com o apoio técnico já existente no CBPF, implantou no Brasil essa técnica de pesquisa com importantes trabalhos nas áreas de Física e Química. Em São Carlos o grupo do Prof. S. Mascarenhas prosseguiu os estudos de dielétricos iniciados por Costa Ribeiro, além de desenvolver estudos sobre cristais iônicos.

Em São Paulo, sob a liderança do Prof. Mario Schemberg, foi criado um grupo de sólidos com ênfase em medidas em baixas temperaturas.

Em Porto Alegre, num exemplo de continuidade e qualidade científica, destacou-se o grupo de correlações angulares perturbadas, sob a liderança dos Profs. P. Andrade e F. Zawislack.

Desde então muitos grupos surgiram entre os quais destacamos as da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), UFPE (Universidade Federal de Pernambuco), UFCe (Universidade Federal do Ceará) e UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas).

Assinalamos como casos de implantação planejada e intencional de grupos de pesquisa, os da UFPe e da UNICAMP.

No início da década de 70, alguns físicos pernambucanos se propuseram a desenvolver a Física na UFPe. Enquanto faziam estudos de pós-graduação no Rio de Janeiro e em São Paulo procuraram contatos com físicos experientes que desejassem participar do esforço de se criar um centro de Física em Pernambuco. Com a decisiva participação do CNPq foi elaborado um plano de capacitação e fixação de físicos em Pernambuco, para onde seguiram alguns físicos experientes liderados pelo Prof. S. Resende. Hoje o grupo de Pernambuco atingiu a maturidade esperada e constitui caso exemplar de planejamento científico bem sucedido.

Uma experiência, em certo sentido semelhante, foi realizada na UNICAMP, onde com o apoio da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e do CNPq, adotou-se uma política agressiva de contratações, atraindo físicos brasileiros até então radicados no exterior.

Foram feitos investimentos substanciais em equipamentos de pesquisas, que fizeram da UNICAMP, apesar de algumas dificuldades no que toca a recursos de manutenção, uma experiência bem sucedida com excelência em várias áreas de pesquisa experimental tais como lasers e suas aplicações.

Em 1980 as áreas de Física de Sólidos, Moléculas e Átomos contava com cerca de 300 pesquisadores com nível de doutor. Mais da metade de todos os 550 pesquisadores em Física no Brasil.

Essa representatividade dos físicos de sólidos no cenário da Física brasileira tem sua explicação na íntima conexão desse campo de pesquisa com as atividades de desenvolvimento tecnológico e no seu caráter fortemente interdisciplinar. A comunidade de físicos do Brasil ao orientar seus esforços nessa direção mostrou, então, uma visão clara do caminho a seguir no desenvolvimento da Ciência e Tecnologia.

É importante observar que, dadas as dificuldades que os grupos experimentais enfrentam ainda no Brasil, metade dos físicos brasileiros são teóricos. Embora esse desequilíbrio seja comum nos países em desenvolvimento, é da maior importância para a Física brasileira que esse perfil seja corrigido, para que se atinja o novo século com uma distribuição mais adequada às necessidades do desenvolvimento científico e tecnológico do País.

A evolução, em qualidade e número, dos grupos experimentais e a abertura de novas linhas de pesquisa seria fortemente estimulada pela criação de laboratórios nacionais com facilidades experimentais de porte. Os investimentos e recursos de operação a serem mobilizados, pela sua dimensão e complexidade, não podem nem devem ser feitos por um único grupo. Esses laboratórios nacionais, além de estimularem grupos específicos no desenvolvimento de seus trabalhos, poderiam manter, com facilidade, pesquisas interdisciplinares, cuja importância não é necessário ressaltar.

A seleção do projeto, como o proposto Laboratório de Radiação Síncrotrônica, deve seguir alguns requisitos que consideramos importantes:

- a) Deve ser potente e versátil de modo a estimular a abertura de novas linhas de pesquisa, a ampliação e reforço das existentes e a associação e interação entre os diferentes interesses científicos e tecnológicos.
- b) O projeto deve ser selecionado na base de uma análise profunda de viabilidade que indique com clareza a competência nacional disponível e mobilizável bem como os recursos técnicos a serem desenvolvidos objetivamente em tempo hábil. Assim, laboratórios de pesquisa e indústrias brasileiras de alta tecnologia devem ser estimulados a participarem do projeto através de um planejamento de apoio técnico e financeiro.
- c) O cronograma do Projeto, que se desdobrará evolutivamente por vários anos, deverá promover a criação de recursos humanos nas áreas de interesse de Ciência e Tecnologia, gerando competência específica.
- d) Uma vez que o Projeto levará alguns anos para atingir maturidade, seu caráter deve ser tal que se mantenha uma crescente competitividade científica na próxima década.
- e) O Laboratório Nacional, sede do projeto, deverá estar ligado ao CNPq, operado e administrado pelo Instituto mais afim. A orientação científica seria feita por um comitê de usuários, constituído por membros da comunidade científica e tecnológica.

## 2 UM LABORATÓRIO DE RADIAÇÃO SINCROTRÔNICA NO CNPq / CBPF

O CBPF há mais de vinte anos vem desenvolvendo as técnicas de aceleração de elétrons por microondas.

O Dr. Argus F.O. Moreira, engenheiro eletrônico, doutorou-se na França, sob a direção de P. Grivet, com tese sobre acelerador linear de elétrons de baixa energia (2MeV) do tipo "Travelling Wave". Nos anos sessenta realizou a construção do primeiro acelerador linear de elétrons em nosso país baseado inteiramente nas oficinas do CBPF e com Klystron importado da França. Equipes do CBPF, em particular o grupo de sólidos liderado pelo Prof. J. Dannon, utilizaram desde logo este acelerador. Cerca de trinta trabalhos de pesquisa e uma dezena de teses de doutoramento e mestrado foram realizadas com pesquisas utilizando o acelerador linear.

O sucesso da primeira experiência na realização do acelerador levou a equipe do Centro, a realizar mais dois aceleradores do



mesmo tipo, um para o Instituto Militar de Engenharia e outro para o Instituto de Física e Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

O Custo dos aceleradores construídos no Centro, envolvendo as técnicas de rádio-frequência e alto vácuo competiu, na época, com o de máquinas semelhantes produzidas no exterior, como foi observado por técnico da Varian Associates, Palo Alto, Cal., quando em visita ao CBPF. A qualidade dessas máquinas, sendo do mesmo nível que as produzidas no exterior, interessou a Universidade de Leicester, na Inglaterra, que propôs construíssemos um desses aparelhos para a equipe de Físico-Química daquela Instituição. Igualmente o Instituto Weizmann, de Israel, interessou-se em obter um dos nossos aceleradores. Por falta de apoio financeiro adequado, entretanto, não foi possível levar a cabo tais projetos.

O "Know-how" obtido durante cerca de dez anos permitiu a equipe do CBPF empreender a construção de um acelerador de maior porte chegando a 28MeV de elétrons, baseado no mesmo princípio de aceleração por rádio-frequência. Neste período, várias teses de mestrado foram realizadas sob a orientação do Dr. Argus Moreira, sobre ótica de elétrons em cavidades de rádio-frequência.

Devemos destacar que o CBPF conta ainda, com a colaboração do engenheiro eletrônico Antonio Maria Meira Chaves que há vários anos dedica-se às técnicas de aceleração de elétrons, e do técnico Ronaldo Marques que possui amplo conhecimento neste domínio.

Consideramos assim que, com uma experiência de mais de vinte anos nas áreas da Engenharia Eletrônica particularmente em rádio-frequência, alto vácuo, ótica de elétrons e assuntos correlatos, o CBPF é, sem dúvida, no momento, a instituição científica mais capacitada para coordenar o projeto de aceleradores de elétrons e/ou pósitrons e de um anel de estocagem para produção de radiação síncrotrônica.

Desde a vinda para o CBPF, em março de 1981, do professor visitante Dr. Aldo Craievich, tivemos nossa atenção despertada por ele e pelo Prof. J. Danon para o desenvolvimento deste importante ramo da Física que é a Radiação Síncrotron. Com efeito, o Dr. Craievich deverá permanecer um ano no "Laboratoire pour l'Utilisation du Rayonnement Electromagnétique" (LURE), em Orsay, a partir de outubro do corrente ano, familiarizando-se com as aplicações espectroscópicas da radiação síncrotrônica.

A radiação síncrotrônica é hoje um tema de vanguarda na Física Experimental, Físico-Química, Química, Metrologia e numerosas aplicações em ramos industriais. Cabe destacar as suas aplicações espectroscópicas tal como foi descrito em artigos especialmente dedicados na revista "Physics Today", de junho de 1981.

Segundo artigo de S.P. Kapitza, no livro "Trends in Physics", 1978, pg. 21, é possível usar como injetor de uma fonte de radiação síncrotrônica, um acelerador linear de elétrons de 30 MeV do

tipo daquele existente no CBPF. O Dr. Argus F. Moreira mostrou-se interessado no assunto.

Animado com esta perspectiva, o Prof. Danon entrou em contato em Paris com o Dr. Yves Farge, a conselho do Dr. Robert Klapisch. O Dr. Farge que havia sido o idealizador do Laboratório LURE e seu Diretor até recentemente sugeriu que deveríamos entrar em contato com o atual Diretor do LURE, Dr. Yves Petroff, o qual confirmou especificamente a possibilidade de utilizar um injetor comportando um Linac de 15 MeV seguido de um pequeno sincrotron de energia 600 MeV, antes do anel de radiação sincrotrônica.

Logo a seguir recebemos do Dr. Yves Petroff confirmação de que o acelerador linear do CBPF seria um excelente pre-injetor para o anel Super-Aco.

Transmitimos por telefone ao Adido Científico da Embaixada da França, o Dr. Guy Chanussot, os entendimentos havidos preliminarmente e manifestamos nosso interesse no sentido de realizar em nosso País um projeto de tal relevância para o desenvolvimento da Física e de vários outros domínios científicos.

O Dr. Chanussot mostrou também, interesse no projeto e dirigiu-se ao Dr. Farge, atual Diretor da DGRST (Direction Générale de la Recherche Scientifique et Technique) no sentido de obter uma manifestação das autoridades francesas sobre o assunto.

No Telex enviado pelo Dr. Farge ao Dr. Chanussot, ele expressa o interesse da DGRST, do CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) e a CEA (Commissariat à l'Energie Atomique) encarregados de construir a máquina Super-Aco em Orsay, em colaborar em projeto semelhante no Brasil. Cópia deste telex foi enviada ao CNPq.

Durante este período tivemos oportunidade de colocar o Dr. Argus Moreira a par da literatura especializada sobre o Projeto Super-Aco, que após estudo dos documentos, confirmou a possibilidade de se realizar o projeto em nosso País, aceitando participar da direção dos trabalhos que eventualmente ocorreriam

### 3 IMPACTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO NA FORMAÇÃO DE PESSOAL

A existência de uma instalação de radiação sincrotrônica a nível nacional, deverá modificar fortemente o modo pelo qual a pesquisa em linha de fronteira em ciência física, e se levada adiante, influenciará decisivamente a qualidade e a quantidade da pesquisa científica em nosso País. As aplicações da radiação sincrotrônica (Apêndice I) são de tal importância e tão variada que sua influência se fará sentir nos mais amplos domínios científicos.

No meio científico nacional somente um número limitado de pes-

soas tem experiência em radiação sincrotrônica, sabendo como utilizá-la e como lidar com os numerosos problemas decorrentes das propriedades únicas desta fonte. Um número maior conhece bem determinadas técnicas ou instrumentação, mas não tem experiência de como acoplar esta experiência a uma fonte de radiação do tipo sincrotrônica. Finalmente um terceiro grupo apresenta problemas científicos e técnicos, possui amostras, mas não dispõe de instrumentação adequada. A existência em âmbito nacional de uma R. S. poderá acomodar os três grupos resultando numa interação de extrema importância entre cientistas de várias disciplinas e laboratórios com experiência variada.

Não menos significativas são as consequências tecnológicas geradas no País por um projeto deste porte. Podemos destacar as seguintes:

- a) Aceleradores lineares, microtons e tecnologia de rádio-frequência;
- b) Eletroímans (corrente contínua e alternada), controle de feixes, mecanismos de injeção são parte de tecnologia fundamental para desenvolvimento de competência em aceleradores de partículas;
- c) Sistemas de vácuo - O uso em grande escala de sistemas de alto vácuo limpo será indispensável. A indústria eletrônica, a metalúrgica e a médica, se beneficiarão significativamente;
- d) Tecnologia de baixas temperaturas - Projetos de eletroímans supercondutores gerarão a competência, com importantes consequências na Ciência e Tecnologia brasileira;
- e) Instrumentação Científica - A fonte de radiação sincrotrônica exige um uso em larga escala de instrumentação controlada por computadores, baseados em microprocessadores e desenvolvimento de "software". Esses sistemas são essenciais para a tecnologia moderna de comunicações.
- f) Ampliação da capacidade de desenvolver materiais com propriedades definidas para aplicações específicas, como por exemplo, superfícies seletivas para coleta de energia solar, semicondutores amorfos e supercondutores.
- g) Replicação litográfica de microcircuitos, de dispositivos óticos, etc.

Certamente um dos aspectos fundamentais de um projeto do porte da instalação de um sistema de radiação sincrotron em nosso País é o seu impacto na formação de pessoal.

É indispensável, desde o início do Projeto, que haja um planejamento adequado na formação de pesquisadores nas áreas de Física, Química, Biologia e em outras áreas junto aos grupos ativos no exterior que utilizam a radiação sincrotron. Já existem em nosso

Pais pesquisadores que se dedicam a numerosas e importantes áreas de aplicações da radiação sincrotron. Naquelas em que já temos competência, como por exemplo em difração de raio-X, é importante orientar os pesquisadores para as aplicações da radiação sincrotron.

Igual impacto deverá ocorrer na formação de engenheiros especializados em ultra-vácuo, campos magnéticos, técnicas de rádio-freqüência, aceleração de partículas e outras, nas etapas de construção, instalação e posterior utilização das facilidades da radiação sincrotron.

É fácil compreender que as consequências da formação planejada de tais especialistas ultrapassarão o quadro do próprio projeto de radiação sincrotron e deverão alterar profundamente a fisionomia dos mais importantes setores da Física e domínios correlatos em nosso País.

#### 4 CRONOGRAMA PARA 1982

- |                        |   |   |
|------------------------|---|---|
| Março                  | - | Montagem da Comissão Interna do CBPF  |
| 24/04 a 06/05          | - | Viagem do Diretor do CBPF aos Estados Unidos e França com visitas a Brookhaven e Lure (Prof. Roberto Lobo)                  |
| Segunda Semana de maio | - | Reunião com a comunidade científica para criação de um grupo de estudo nacional para o Projeto de Avaliação.                |
| Até fim de maio        | - | Visita do Dr. Argus Moreira a França por duas semanas.  |
| Agosto - Setembro      | - | Dois tecnólogos irão estagiar no exterior, por 1 mês, para levantamento detalhado das dificuldades tecnológicas do Projeto. |
| Novembro               | - | Reunião no CBPF com chefes de laboratórios estrangeiros (Brookhaven, Lure, India ?) e com o grupo de estudos.               |
| Dezembro               | - | Entrega do documento de viabilidade ao CNPq   |

5 ORÇAMENTO 82Outros serviços e encargos

Passagens internacionais .....	3.000.000
Passagens nacionais .....	900.000
Diárias para consultores .....	2.100.000
Gastos com publicações e bibliografias .....	500.000
	<u>6.500.000</u>

Despesas variáveis

Diárias .....	1.000.000
---------------	-----------

Remuneração de serviços pessoais

Serviços de secretaria.....	1.500.000
T O T A L .....	<u>9.000.000</u>

## 6 APÊNDICE I

6.1 Radiação Síncrotrônica e suas Aplicações

## 6.1.1 Histórico

A cada avanço na geração e utilização da radiação eletromagnética tem correspondido significativos progressos na Ciência e na Tecnologia. Os impactos resultantes da invenção do telescópio, da descoberta dos raios-X e do desenvolvimento do laser atestam esse fato. No decorrer da década passada, testemunhamos um outro salto de enorme magnitude, a chamada radiação síncrotrônica que evoluiu como um poderoso instrumento de pesquisa em amplas áreas de aplicações científicas e tecnológicas.

A radiação eletromagnética que resulta da aceleração de partículas carregadas é, normalmente, um produto indesejado nos aceleradores de elétrons.

Essa radiação, denominada radiação síncrotrônica, constitui um fator limitativo da energia final de tais aceleradores. As propriedades dessa radiação, entretanto, a tornam fonte ideal e, atualmente, única, de radiação eletromagnética cobrindo um amplo espectro que vai do raios-X ao infravermelho com intensidade difícilmente obtida por outros meios.

As principais características da radiação sincrotrônica já eram conhecidas desde 1912, quando G.A. Schott sistematizou-as no trabalho "Electromagnetic radiation and the mechanical reactions from it". Antes da segunda guerra mundial, D. Kerst e R. Serber calcularam o limite que a radiação impunha à energia máxima dos elétrons num betatron.

Na década de 40 J. Schwinger, Ivanenko e Pomeranchunck estabeleceram de modo independente e definitivo, a teoria da radiação sincrotrônica.

Experimentalmente, a radiação foi observada pela primeira vez por J. Blewett num acelerador do Laboratório da General Electric, em 1946. Em 1947 G. Elder observou a radiação visualmente e, um ano depois, verificou as previsões teóricas em relação ao espectro e polarização da radiação.

Em 1956, D. Tomboulion e P. Hartman demonstraram a grande eficácia do acelerador de 320 MeV de Cornell como fonte de radiação sincrotrônica na região ultra-violeta mas, apesar da importância desse trabalho, não mais tiveram acesso à máquina e não puderam prosseguir em outras pesquisas. Em 1961, R. Madden e K. Codling mediram as características espectrais na região de 10-100ev dos gases nobres, usando o sincrotron do National Bureau of Standards, EUA.

Em 1962, T. Sasaki iniciou no Japão, perto de Tóquio, pesquisas utilizando radiação sincrotrônica no Institute for Nuclear Studies, o que o levou a criar o Grupo de Radiação Sincrotrônica em 1965. Também, no DESY (Deutsches Elektronen Synchrotron) em Hamburg, desde 1963 o grupo de R. Haensen iniciou pesquisas em Física de Sólidos utilizando esse mesmo tipo de radiação. Daí para a frente muitos outros grupos se formaram.

Na década de 70 foram propostos os primeiros Laboratórios de Radiação Sincrotrônica, não mais como subprodutos de aceleradores já existentes, mas especificamente para o uso da radiação sincrotrônica em Ciência e Tecnologia.

É de se prever que em futuro não muito distante, máquinas desse tipo serão produzidas para aplicações industriais.

Ainda que os anéis de armazenagem desses sistemas exijam uma tecnologia avançada, eles não são extraordinariamente complexos nem seus custos são particularmente altos, se os compararmos com a escala de preços de outras máquinas produtoras de tecnologia sofisticada.

### 6.1.2 Características

A eletrodinâmica relativista permite o cálculo de todas as características da radiação eletromagnética produzidas por um elétron em órbita circular, a partir do conhecimento da energia do

eletron e do raio de órbita. As características mais importantes desta radiação são:

a) Emissão focalizada no plano da órbita

Para uma órbita num plano horizontal se tem feixes correspondentes a todas as tangentes, sendo a divergência vertical da ordem de  $10^{-3}$  radianos, ou seja, da ordem da divergência da emissão laser.

b) Radiação branca

O espectro de emissão é contínuo com um máximo para um comprimento de onda  $\lambda_m$  proporcional a  $R/E^3$ , onde  $R$  é o raio da órbita e  $E$  a energia do eletron. As diversas fontes construídas até o presente podem ser classificadas em dois tipos: i) de "altas energias"; e, ii) de "energias intermediárias". As fontes com eletrons de "altas energias" ( $E=2$  GeV) produzem um espectro com  $\lambda_m = 1 \text{ \AA}$  e as de "energias intermediárias" ( $E=500$  MeV), com  $\lambda_m = 20 \text{ \AA}$ . O espectro da fonte (i) vai desde o infravermelho até a radiação e o da (ii) do infravermelho até os raios-X "brancos".

c) Radiação de alta intensidade

Um eletron de 500 MeV numa órbita de  $1m$  irradia aproximadamente 14 KeV por volta e um de 1.8 GeV de  $4m$  aproximadamente 250 KeV. Esta característica da radiação, e a característica (a), permitem a obtenção de feixes colimados de intensidade da ordem de  $10^3$  vezes a intensidade das fontes convencionais, na região dos raios-X e ultravioletas do espectro.

d) Radiação polarizada

A radiação é quase totalmente polarizada no plano da órbita do eletron.

e) Possibilidade de ampliação do espectro

Na equação  $\lambda_m \sim R/E^3$ ,  $R$  corresponde ao raio de curvatura local da órbita. Podem se incluir nos anéis de armazenamento, dispositivos magnéticos chamados "wigglers", que produzam ondulações localizadas da trajetória de eletrons numa região da órbita. Isso produz uma diminuição local do raio  $R$ , sem alterar o espectro produzido no anel. Este dispositivo permite ampliar o espectro para comprimentos de ondas menores nos anéis de armazenamento que utilizam eletrons de "energias intermediárias". Este método é muito mais simples e permite obter um espectro bem amplo, que atingirá a região dos raios-X utilizáveis em algumas técnicas cristalográficas, a partir de anéis de "energia intermediária", que são de custo bem inferior.

### 6.1.3 Aplicações

#### 6.1.3.1 Espectroscopia de raios-X (Cristalografia e EXAFS)

O conjunto de características citadas acima permitem estudos que são impossíveis com outras técnicas. Fenômenos estruturais cinéticos que ocorrem em tempos da ordem de segundos podem ser estudados com radiação de sincrotron, já que podem ser obtidos diagramas de difração em tempos de até  $10^{-3}$  segundos.

Estruturas de soluções sólidas com átomos vizinhos na tabela periódica podem ser agora estudadas utilizando-se o efeito de espalhamento anômalo (isso é possibilitado pelo caráter contínuo do espectro).

A diminuição dos tempos necessários para a obtenção de diagramas de proteínas cristalizadas permitirá o estudo de muitos tipos que não resistem aos tempos envolvidos em experiências utilizando-se fontes convencionais.

Grande ênfase está sendo dada a técnica de EXAFS (Extended X-Ray Absorption Fine Structure), a qual permite o estudo preciso do número de coordenação, natureza e distância de primeiros vizinhos de átomos de impurezas em sólidos cristalinos e amorfos. Pode-se fazer este mesmo estudo na superfície dos materiais. Esta última possibilidade é de enorme importância no estudo de catalizadores.

O estudo de superfícies mediante técnicas de difração e EXAFS é uma das mais promissoras aplicações da radiação de sincrotron. O conhecimento da estrutura das superfícies é fundamental para se entender os fenômenos de corrosão, catalização heteropênea, propriedades eletrônicas de interfaces, absorção química, segregação de elementos em superfícies e interdifusão em ligas. O estudo de superfícies, possíveis até o presente somente com elétrons, elétrons, pode ser realizado com resolução bem superior utilizando-se radiação de sincrotron.

Muitas propriedades físicas e químicas dos sólidos (resistividade elétrica, resistência mecânica, migração de impurezas, etc.) são especialmente sensíveis aos defeitos pontuais. Estes defeitos produzem espalhamento difuso de raio-X extremamente fraco para ser detectado mediante fontes convencionais. Esta área representa um campo praticamente virgem no qual a radiação do sincrotron já está contribuindo significativamente. A associação das técnicas de espalhamento difuso e EXAFS permitirá estabelecer e levantar eventuais ambiguidades nos modelos estruturais que foram propostos para os defeitos pontuais.

Radiação sincrotron é um instrumento ideal para investigação de estruturas biológicas usando difração por cristal e técnicas de dispersão a baixo ângulo. Um grande número de substâncias biológicas importantes não foram investigadas estruturalmente seja porque não podiam ser obtidas pela forma cristalina ou pelo fato



de não se produzirem cristais do tamanho suficiente. A radiação sincrotron com sua brilhância elevada aumenta consideravelmente o número de substâncias acessíveis a investigações estruturais, e experiências de difração podem ser levadas a cabo, usando cristais tão diminutos quanto os de 50 microns de dimensões.

A brilhância elevada da fonte e a colimação elevada do feixe permitirão também, ultrapassar os problemas de baixa resolução encontrados no estudo da organização espacial e flutuações de densidade em macromoléculas biológicas não cristalinas, tais como o músculo e as fibras. As vantagens consequentes a alta intensidade permitirão interessantes experimentos de natureza dinâmica em escala de tempo significantes para a Biologia. Além do mais, a natureza contínua do espectro aumentou dramaticamente a capacidade da técnica de dispersão anômala para determinação de fase e para o estudo de variações de contraste.

#### 6.1.3.2 Espectroscopia ultravioleta

Devido ao caráter contínuo e intenso do espectro na região ultravioleta muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas para o estudo de átomos e moléculas para as quais não existiam fontes de radiação com energias correspondentes à energias de excitação. O estudo da evolução de átomos e moléculas em função do tipo de excitação, dá informações importantes e impossíveis, em muitos casos, de se obter sem este tipo de fonte.

A excitação de um sólido mediante radiação conduz à emissão de fons, elétrons e íons ou átomos. O estudo dos diferentes produtos corresponde à espectroscopia ótica, de fotoemissão e desorção iônica ou atômica fotoestimulada, respectivamente. Para o estudo da estrutura eletrônica dos sólidos e de suas superfícies, a radiação de sincrotron é uma fonte importante. Ela permite determinar diretamente, mediante técnicas de fotoemissão, as funções de dispersão  $E(K)$  para as bandas de valência do volume dos sólidos e também, para as bandas bidimensionais dos estados superficiais. Isto não seria possível se não se contasse com uma fonte intensa e de espectro contínuo.

Os estudos de desorção (emissão) fotoestimulada começaram somente após a disponibilidade de fontes de radiação de sincrotron. Com esta técnica, atualmente, é possível se determinar as distribuições de energia, de massa e angular dos íons emitidos. Obviamente esta técnica constitui uma sonda para a determinação de espécies adsorbidas e para o estudo de composição e reações químicas de superfície.

#### 6.1.3.3 Tecnologia

Industrialmente utilizam-se na atualidade fontes laser e máscaras apropriadas para produzir circuitos miniaturizados em cristais semicondutores (litografia). Os efeitos de difração limitam a aproximadamente 1 o tamanho mínimo dos elementos fabricados por

este método. Em experiências de litografia, nas quais substituem-se o laser por radiação X de sincrotron, obtiveram-se resoluções da ordem de 100 Å. Esta aplicação é de tal importância que ela se constituiu na razão que decidiu a construção de uma fonte deste tipo em Berlim. Este tipo de aplicação poderá ter no futuro um caráter industrial, cogitando-se da possibilidade de se dispor de fontes de radiação de sincrotron para serem utilizadas exclusivamente na fabricação de componentes eletrônicos miniaturizados (circuitos integrados).

Devido aos raios-X ter associadas arestas de absorção bem pronunciadas, variando o comprimento de onda, podem se fazer "transparentes" ou "absorventes" diferentes elementos químicos. Foram já obtidas, usando esse método, radiografias (ou micrografias) com resolução da ordem de 100 Å, em alguns segundos. Este campo será ampliado mediante o uso de técnicas tomográficas, já desenvolvidas para fontes convencionais, que permitem a obtenção de radiografias de regiões bidimensionais para diversas profundidades, conduzindo a uma informação tridimensional. A alta intensidade do feixe associada à possibilidade de variação contínua do comprimento de onda utilizado, são elementos que permitem esperar aplicações de importância em microscopia de raio-X e, também, em radiologia.

Um feixe de elétrons irradiando num campo magnético é um eficiente "Padrão" de luminosidade. Medições precisas de energia, corrente e campo magnético permitirão a calibração de detetores num amplo range de energia. Como importante aplicação das fontes de radiação de sincrotron em Metrologia cogita-se no estabelecimento de um "Padrão" absoluto de luminosidade que poderia ser incluído no atual sistema de medidas.

7 APÊNDICE II

Fontes de radiação síncrotrônica nos diversos países

Table 1

Storage Ring Synchrotron Radiation Sources in the World<sup>a</sup>

Machine, location	E (GeV)	I (mA)	R (m)	$\epsilon_c$ (keV)	Remarks
1	2	3	4	5	6
<b>A. In operation</b>					
VEPP-4 Novosibirsk, USSR	7 4.5	10	16.5 (18.6)	46.1 (10.9)	Initial operation at 4.5 GeV (from 8-kG wiggler part of magnet lattice)
DORIS Hamburg, Germany	2.2 5.0	300 50	12.1	1.95 22.9	
SPEAR Stanford, US	2.25 4.0	300 (10) 100 (35)	12.7	2.20 11.1	(colliding beam current limits)
VEPP-3 Novosibirsk, USSR	2.25	100	5.15 (2.14)	4.2 (11.8)	Operation to 3 GeV is possible (from 35-kG wiggler planned)
DCI Orsay, France	1.8	500	4.0	3.63	
ADONE Frascati, Italy	1.5	60	5.0 (2.8)	1.5 (2.7)	Synchrotron radiation lines in construction (from 18-kG wiggler planned)
VEPP-2M Novosibirsk, USSR	0.67	100	1.22	0.54	
ACO Orsay, France	0.54	100	1.1	0.32	Dedicated

Table 1 (contd.)

Machine, location	E (GeV)	I (mA)	R (m)	$E_c$ (keV)	Remarks
1	2	3	4	5	6
SOR Ring Tokyo, Japan	0.40	250	1.1	0.130	Dedicated
TANTALUSI Wisconsin, US	0.24	200	0.64	0.048	Dedicated
SURF II Washington, DC, US	0.25	25	0.84	0.036	Dedicated
N-100 Makhov, USSR	0.10	25	0.50	0.004	
PETRA Hamburg, Germany	18 15 10	18 80 50	192	57.4 39.0 11.6	Variable Energy; Operational (?)
PEP Stanford, US	18 15 10 12	10 55 35 45	165.5 (23.6)	78 45.2 13.4 (163)	Variable Energy; Operational (?) (from 17-kG wiggler part of PEP lattice)
CESR Cornell, US	8 4	100 50	32.5 32.5	35 4.4	Variable Energy Synchrotron facility planned
<b>B. <u>in construction</u></b>					
PHOTON FACTORY Tsukuba, Japan 1981	2.5	500	8.33 (1.67)	4.16 (20.5)	Dedicated (10 kG) (for a 50 kG wiggler)

Table 1 (contd.)

Machine, location	E (GeV)	I (mA)	R (m)	$\epsilon$ (keV)	Remarks
1	2	3	4	5	6
NSLS I Brookhaven National Lab, US 1981	0.70	500	1.90	0.40	Dedicated
NSLS II Brookhaven National Lab, US 1981	2.5	500	8.17 (1.67)	4.2 (20.5)	Dedicated (for a 50 kG wiggler)
SRS Daresbury, UK 1980	2.0	500	5.55 (1.33)	3.2 (13.3)	Dedicated (from 50 kG wiggler planned) now operational
ALLADIN Wisconsin, US 1980	1.0	500	2.08	1.07	Dedicated
BESSY Berlin, West Germany 1982	0.80	500	1.83	0.62	Dedicated; industrial use planned
<b>C. <u>proposed</u></b>					
PAMPUS Amsterdam, Netherlands	1.5	500	4.17	1.80	Dedicated (2 GeV operation possible)
ERSINE Yerevan, USSR	2.5	500	5.21	6.67	Dedicated
IPP Moscow, USSR	1.35	100	2.5	2.2	Dedicated (2 GeV also considered)

Table 1 (contd.)

Machine, location	E (GeV)	I (mA)	R (m)	$\epsilon_c$ (keV)	Remarks
1	2	3	4	5	6
CSRL Canada Electrotechnical Lab Tokyo, Japan	1.2 0.6	100 100	3.1 2.0	1.33 0.24	Dedicated Dedicated

a Winick and Bienenstock, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. (1978) 28, 43.

**8 APÊNDICE III**

Estimativa do custo total de dois projetos de radiação sincrotrônica: França e Estados Unidos

- a) SUPERACO na França - Custo estimado em cerca de 10 milhões de dólares
- b) BROOKHAVEN nos Estados Unidos, segundo documento da Comissão de Energia Atômica da Índia - Custo estimado em cerca de 17 milhões de dólares.



#### 4. COUT DU PROJET ET MAIN D'OEUVRE\*

##### Hypothèses :

Chacun des groupes participant à l'établissement de ce rapport a travaillé dans l'optique où il aurait à réaliser pour le compte de son propre Laboratoire le ou les sous-ensembles dont il a eu la responsabilité de l'évaluation, en tenant donc compte de moyens existants, soit à l'IN2P3, soit au CEA en l'occurrence. A titre d'exemple, on suppose la mise à disposition de moyens de mesure des éléments magnétiques ou encore d'une station de traitement de surface pour la préparation des éléments de la chambre à vide.

Cependant, comme dans tout projet déjà réalisé pour le compte de l'IN2P3 ou du CEA, un certain nombre d'opérations ont pris en compte un apport de main d'œuvre extérieure (interconnexions de puissance et bas signaux, dessins et câblages de circuits, travaux de plomberie pour le refroidissement, ...).

Enfin, dans un certain nombre de cas, des éléments de rechange ont été prévus dès le départ (bobines d'aimants, inflecteur et alimentations des perturbateurs, ...).

Une évaluation détaillée et par poste des divers sous-ensembles est présentée ci-dessous. Les prix sont donnés T.T.C.

##### 4.1 Génie civil

Suite à une première étude d'implantation, l'estimatif qui suit a été demandé à une société spécialisée. Quelques correctifs ont été ensuite apportés. Les prix s'établissent comme suit :

- Terrassements en déblai, démolitions d'ouvrages en béton armé, démolition de couvertures et charpentes métalliques, protection du hall linac durant les travaux : . . . . .	1 300 kF
- Fondations par pieux forés, semelles, longrines, et plancher, voile de protection . . . . .	2 650 kF
- Blindage anneau et transport, supports des aimants	1 400 kF
- Modifications diverses . . . . .	250 kF
- Charpente métallique, couverture en bacs acier, isolation, étanchéité, bardages, serrurerie, travaux de modifications intérieures, pont roulant 10 t . . . . .	2 610 kF

\* LABORATOIRE POUR L'UTILISATION DU RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE.  
Project Super ACO, Orsay, LURE, 1981. p. 34-41.

- Eclairage, alimentation force, chauffage, peinture . . . . .	1 200 kF
- Bâtiment : . salle sous-station et alimentations 415 m <sup>2</sup> , poutre roulante 1 t, dalles transformateurs . niveau supérieur 415 m <sup>2</sup> comprenant salle de contrôle, annexes ordinateur et auxiliaires, bureaux,	2 760 kF
- Bâtiment refroidissement . . . . .	500 kF
	<hr/>
TOTAL (H.T.)	12 670 kF
TOTAL (T.T.C.)	14 900 kF

TOTAL GENERAL (+ 6 % honoraires architectes) 15 794 kF

#### 4.2 Eléments magnétiques

L'estimation a été faite pour des éléments magnétiques monoblocs, en acier bas carbone, moulé ou forgé et en supposant un découpage en trois postes :

- fourniture des ébauches des culasses et pôles,
- usinage et finition des culasses et pôles,
- fabrication des bobines principales et de correction.

Cette méthode assure de meilleurs prix et permet une ventilation budgétaire dans le temps. L'estimatif s'établit comme suit :

##### a) Anneau

- 8 dipôles . . . . .	4 000 kF
- 32 quadrupôles . . . . .	3 200 kF
- 12 sextupôles . . . . .	900 kF
- Supports . . . . .	1 250 kF
	<hr/>
TOTAL (T.T.C.)	9 350 kF

b) Transport

- 4 dipôles . . . . .	2 000 kF
- 11 quadripôles . . . . .	1 100 kF
- Supports . . . . .	500 kF
	<hr/>
<u>TOTAL (T.T.C.)</u>	<u>3 600 kF</u>

Il faut également inclure une rechange de bobines pour dipôles et quadripôles, estimée à 500 kF, et le prix des correcteurs estimé à 400 kF.

Le total général (T.T.C.) s'établit donc à . . . 13 850 kF

4.3 Alimentations de puissance

On a cherché à standardiser les alimentations de caractéristiques proches et l'on arrive au tableau suivant :

- 1 alimentation 300 V - 1000 A . . . . .	600 kF
- 1 " 160 V - 700 A . . . . .	370 kF
- 4 " 120 V - 700 A . . . . .	1 200 kF
- 2 " 30 V - 700 A . . . . .	300 kF
- 7 " 15 V - 700 A . . . . .	840 kF
- 1 " 20 V - 180 A . . . . .	35 kF
- 1 " 10 V - 180 A . . . . .	25 kF
- Alimentations de correcteurs . . . . .	330 kF
	<hr/>
<u>TOTAL (T.T.C.)</u>	<u>3 700 kF</u>

4.4 Système ultra-vide

La fabrication des cavités RF fait à la fois partie du système ultra-vide et du système RF. On a choisi de faire figurer le prix des cavités dans cette rubrique. La décomposition de l'ensemble fait apparaître l'importance de certains postes, celui des vannes en particulier.

L'estimatif s'établit comme suit.

- Chambre à vide . . . . .	962 kF
- Pompage . . . . .	715 kF
- Vannes . . . . .	820 kF
- Cavité 100 MHz . . . . .	1 053 kF
- Cavité 500 MHz . . . . .	470 kF
- Mesure des pressions . . . . .	375 kF
- Système d'étuvage . . . . .	256 kF
- Essais en laboratoire et divers . . . . .	588 kF
	<hr/>
	<b>TOTAL (T.T.C.) 5 250 kF</b>
	(arrondi)

4.5 Système RF

	<u>100 MHz</u>	<u>500 MHz</u>
- Alimentations de puissance	500 kF	400 kF
- Amplis de puissance	130 kF	350 kF
- Commande, contrôles, asservissements	700 kF	670 kF
- Hydraulique	70 kF	70 kF
- Interconnexions	30 kF	30 kF
- Appareillage de mesure	existant	500 kF
	<hr/>	<hr/>
	<b>TOTAL (T.T.C.) 1 430 kF</b>	<b>2 020 kF</b>
	<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>3 450 kF<sup>*)</sup></b>

---

\*) Ce poste comprend une somme de 0,9 MF de main d'oeuvre extérieure (câblage).

4.6 Eléments pulsés - Synchronisation

a) Inflecteurs : on comptera certains éléments de rechange dans l'estimatif, afin d'assurer une maintenance à intervention rapide.

- Aimant (mécanique + circuit magnétique) . . . . .	125 kF
- Alimentation continue . . . . .	110 kF
- Formeur d'impulsions . . . . .	100 kF
- Electronique . . . . .	100 kF
	<hr/>
TOTAL (T.T.C.)	435 kF <sup>*)</sup>

b) Perturbateurs (2 éléments + 1 élément de rechange)

- Aimants (mécanique et ferrites) . . . . .	250 kF
- Alimentation THF . . . . .	200 kF
- Formeurs d'impulsions . . . . .	440 kF
- Electronique . . . . .	80 kF
	<hr/>
TOTAL (T.T.C.)	970 kF <sup>**)</sup>

c) Générateur d'impulsions, pilotes, hachage du faisceau linac

L'ensemble totalise : . . . . . 240 kF

d) Interconnexions : . . . . . 70 kF

TOTAL GENERAL            1 715 kF

4.7 Transport

Ce chapitre comporte tous les éléments hors aimants, quadrupôles et supports déjà comptés au paragraphe 4.2.

- la modification des pôles des 3 aimants 28° . . .	60 kF
- la chambre à vide, pompage et mesure . . . . .	375 kF
- 1 fente d'analyse, 1 collimateur, 1 écran mobile	130 kF
- caméras d'observation, mesureur de courant et interconnexions . . . . .	135 kF
	<hr/>
TOTAL (T.T.C.)	700 kF

\*) Ce poste comporte 100 kF de main d'oeuvre extérieure de dessin et câblage.

\*\*\*) Ce poste comporte également 100 kF de main d'oeuvre.

#### 4.8 Refroidissement

Il comprend les éléments suivants :

- 1 tour de réfrigération (1500 kW) et son assise	262 kF
- pompes primaires, pompes secondaires, échangeur	192 kF
- groupe de traitement d'eau . . . . .	100 kF
- vannes de régulation, air comprimé . . . . .	110 kF
- armoire de commande et câbles . . . . .	200 kF
- tuyauterie inox, robinetterie, tableaux de distribution, flexibles, supports . . . . .	335 kF
- main d'oeuvre . . . . .	275 kF

TOTAL (T.T.C.) 1 474 kF

#### 4.9 Sous-station électrique et câblage de puissance

Après récapitulation, l'estimatif est le suivant :

- travaux en galerie . . . . .	122 kF
- poste 15 kV . . . . .	1 303 kF
- câbles basse tension . . . . .	1 012 kF
- matériel (y compris protections et signalisation)	618 kF
- main d'oeuvre et divers . . . . .	917 kF

TOTAL (T.T.C.) 3 972 kF

#### 4.10 Pilotage

Ce chapitre couvre la partie informatique seulement et se décompose de la façon suivante :

- calculateur et périphériques . . . . .	600 kF
- électronique CAMAC . . . . .	1 200 kF
- interfaces capteurs . . . . .	1 400 kF
- T.V. + visus . . . . .	500 kF

TOTAL (T.T.C.) 3 700 kF

#### 4.11 Electronique mesure

L'estimatif est le suivant :

- mesure de l'orbite fermée . . . . .	200 kF
- mesure des nombres d'onde . . . . .	150 kF
- tore de mesure du courant moyen . . . . .	50 kF
- observation optique du faisceau . . . . .	150 kF
- analyseurs de spectre . . . . .	200 kF
- mesure de longueur . . . . .	150 kF
- oscilloscopes et divers . . . . .	100 kF

TOTAL (T.T.C.) 1 000 kF

#### 4.12 Salle de contrôle et câblage bas niveau

Ce chapitre n'a pas encore fait l'objet d'une étude approfondie par manque de temps. Aussi c'est une somme globale évaluée sur la base de l'"expérience" qui est avancée, soit 1 MF et 2 MF respectivement.

TOTAL (T.T.C.) 3 000 kF

#### 4.13 Alignement

L'alignement de Super-ACO et de son transport a été évalué à 0,25 MF. Cependant on a prévu à ce chapitre le réaligement du linac et de DCI rendu nécessaire par l'enlèvement de 12 000 m<sup>3</sup> de terre, soit également 0,25 MF.

TOTAL (T.T.C.) 500 kF

#### 4.14 Sécurité radiations

Trois chaînes de mesure  $\gamma$  et neutrons à poste fixe et divers systèmes de pneumatiques de verrouillage, d'arrêts d'urgence, de clignotants, . . . , sont prévus dont l'ensemble se monte à :

TOTAL (T.T.C.) 300 kF

Récapitulatif :

	(MF)
Génie civil	15,8
Eléments magnétiques	13,85
Alimentations	3,7
Vide	5,25
Radiofréquence	3,45
Eléments pulsés - Synchro.	1,72
Transport	0,7
Refroidissement	1,48
Sous-station puissance et câblage	3,97
Pilotage	3,7
Electronique mesure	1,0
Salle de contrôle et signaux	3,0
Alignement	0,5
Sécurité radiations	0,3

TOTAL : 58,42 MF (T.T.C.)

Prix janvier 1981



Table 5 \*

Itemwise Cost Structure of NSLS

Item	NSLS Cost in crores of Rs.
Pre-injector Linac 100 MeV (Reconditioning)	0.114
BESSY Microtron 20 MeV	0.100
Microtron 100 MeV	0.182
Booster Ring Magnets	0.256
Booster Ring Magnets Power Supplies	0.083
VUV Ring Magnets	0.371
VUV Ring Magnets Power Supplies	0.116
X-ray Ring Magnets	1.145
X-ray Ring Magnets Power Supplies	0.288
3-Wiggler Magnets	0.801
2 Undulators	0.605
Vacuum Systems Booster	0.066
Vacuum Systems VUV Ring	0.359
Vacuum Systems X-ray Ring	0.452
Control, Computers, Associated Equipment, Shield, Survey, Power, Beam diagnostics, Security, Communication, Protection, Miscellaneous	2.008
Instrumentation for 12 Beam lines	1.140
Beam Transports - Linac-Booster	0.118
Booster - VUV storage transfer, Dump	0.318
Booster - X-ray Transfer Dump	0.291
R.F. Booster	0.049
R.F. VUV	0.133
R.F. X-rays	0.433

\* BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY. Proposal for a national synchrotron light source. Upton, Brookhaven National Laboratory, 1977

Table 5 (contd.)

Item	RSLC Cost in crores of Rs.
Cost without Building and manpower	9.146
Manpower at American Rates	1.901
Building	5.680
Contingency	0.081
Grand Total in Crores Rs.	<u>17.008</u>

## 9 APÊNDICE IV

Diagrama da instalação de radiação sincrotrônica do  
BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY.

Utilizando um acelerador linear de eletrons e um  
"booster, dois anéis são construídos, um para radiação  
X e outro para a parte do ultravioleta.

