

**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
CENTRO DE INFORMAÇÕES NUCLEARES**

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
CENTRO DE INFORMAÇÕES NUCLEARES

CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR
PANORAMA INTERNACIONAL

VOLUME I

CANADÁ FRANÇA JAPÃO RFA UK

RIO DE JANEIRO
1983

S U M Á R I O

INTRODUÇÃO	3
CANADÁ	
Mineração	11
Processamento do Minério	13
Enriquecimento de Urânio	14
Fabricação do Elemento Combustível	15
Reprocessamento do Combustível Usado	16
Tratamento e Disposição de Rejeitos	17
Desenvolvimento de Reatores	20
Produção de Água Pesada	21
Comércio Nuclear	22
FRANÇA	
Mineração	24
Processamento do Minério	29
Enriquecimento de Urânio	31
Fabricação do Elemento Combustível	33
Reprocessamento do Combustível Usado	36
Tratamento e Disposição de Rejeitos	38
Desenvolvimento de Reatores	42
Produção de Água Pesada	45
Comércio Nuclear	46
JAPÃO	
Mineração	48
Processamento do Minério	53
Enriquecimento de Urânio	54
Fabricação do Elemento Combustível	56
Reprocessamento do Combustível Usado	58
Tratamento e Disposição de Rejeitos	59
Desenvolvimento de Reatores	62
Comércio Nuclear	66
RFA	
Mineração	68
Enriquecimento de Urânio	70
Fabricação do Elemento Combustível	71
Reprocessamento do Combustível Usado	73
Tratamento e Disposição de Rejeitos	74
Desenvolvimento de Reatores	77
Comércio Nuclear	80

REINO UNIDO (UK)	
Mineração	82
Processamento do Minério	83
Enriquecimento de Urânio	84
Fabricação do Elemento Combustível	85
Reprocessamento do Combustível Usado	86
Tratamento e Disposição de Rejeitos	87
Desenvolvimento de Reatores	91
Comércio Nuclear	94
RELAÇÃO DE SIGLAS	95
GLOSSÁRIO	98

* *

1 - INTRODUÇÃO

Esta publicação é a primeira de uma série que tem como objetivo fornecer informações sobre o ciclo do combustível nuclear nos principais países fornecedores e/ou usuários de energia nuclear. Ela se destina a usuários no plano gerencial, permitindo uma visão global do nível e da extensão do ciclo do combustível em cada país focalizado.

No presente volume estão contidas informações sobre os seguintes países: Japão, República Federal da Alemanha, Reino Unido, França e Canadá. Este volume será seguido de outros com informações sobre os demais países da Europa Ocidental, Austrália, Brasil, Argentina, México, Índia e Estados Unidos.

As fontes de informações são as publicações especializadas na área, bem como relatórios das atividades de instituições de pesquisa ou Comissões Nacionais de Energia Nuclear dos diferentes países. O acesso às citadas fontes de informações apresenta, contudo, algumas barreiras como por exemplo a língua ou a não disponibilidade de relatórios atualizados. Desta forma, o presente trabalho não pretende ser completo e exaustivo, contudo ele representa um resumo das informações disponíveis atualmente no País, convenientemente selecionadas e apresentadas.

As edições serão revisadas e atualizadas periodicamente, se a quantidade de modificações ocorridas assim o exigir.

As informações serão apresentadas de maneira gráfica, em forma de árvores, através de um método de análise e síntese de informações desenvolvidas pelo Centro de Informações Nucleares (CIN).

O CIN espera desta maneira prestar mais um serviço a seus usuários que desenvolvem atividades a nível executivo e de planejamento na área nuclear.

2 - CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR

No contexto do presente trabalho, ciclo do combustível nuclear significa não apenas as diversas etapas pelas quais passa o

combustível nuclear, desde a sua prospecção até o seu reprocessamento, mas também outros aspectos relacionados com o ciclo propriamente dito.

Assim, o ciclo do combustível nuclear compreende aqui 9 etapas que são descritas a seguir.

1. Mineração

- prospecção de minério de urânio
- exploração de minas de minério de urânio
- localização geográfica das minas
- países e/ou companhias envolvidos na etapa
- novos aparelhos e técnicas usadas na prospecção ou mineração

2. Processamento do minério

- método de extração
- tratamento do minério
- países e/ou companhias envolvidos na etapa

3. Enriquecimento de urânio

- métodos de enriquecimento usados
- pesquisa de novos métodos e componentes
- operação de usinas
- países e/ou companhias envolvidos na etapa

4. Fabricação de elemento combustível

- tipo de elemento combustível fabricado
- países e/ou companhias envolvidos na etapa

5. Reprocessamento de combustível usado

- tipo de processo utilizado
- operação de usinas
- países e/ou companhias envolvidos

6. Tratamento e disposição de rejeitos

- tipo de processo utilizado
- pesquisa de novos processos
- localização da disposição de rejeitos

- operação de usinas
 - países e/ou companhias envolvidos
7. Desenvolvimento de reatores
- acordos de cooperação técnica
 - construção de protótipo
 - pesquisa de novos tipos de reatores
 - países e/ou companhias envolvidas
8. Produção de água pesada
- construção e operação de usinas
 - países e/ou companhias envolvidos
9. Comércio nuclear
- compra e venda de reatores
 - prestação de serviços
 - transferência de tecnologia

3 - MÉTODO DA ÁRVORE

Foi desenvolvido no CIN um método de análise e síntese de informações. Neste método, parte-se de uma informação geral que deve ser desmembrada nas suas etapas diversas.

O método compreende uma escala ou hierarquia de informações na qual a informação geral a ser analisada tem o nível mais baixa na escala (nível zero) e o seu desmembramento sucessivo gera níveis crescentes nos quais mais detalhada é a informação (vide fig.I). Foram definidas duas espécies de níveis de hierarquia.

1º - um nível que representa os diferentes enfoques adotados e que serão tantos quantos julgados necessários;

2º - um nível que representa sujeito ou componente, ação e condicionantes ou contexto sendo assim, necessariamente, composto de uma tríade.

Estas duas espécies de níveis se alternam sucessivamente, a partir da informação de nível zero, desmembrando a informação a ser analisada nas suas etapas e estágios sucessivos.

O método permite uma representação gráfica bastante conveniente, como se segue.

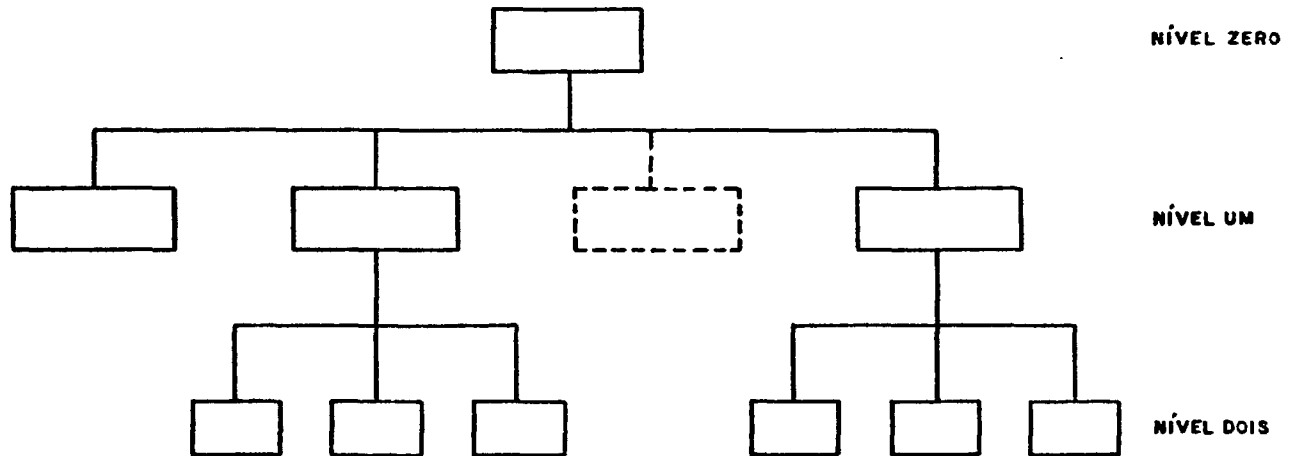
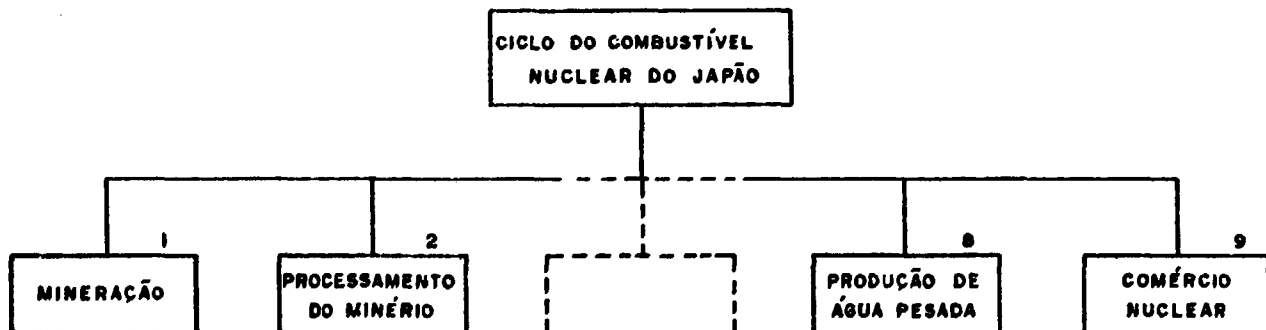


FIG. I

O esquema acima se assemelha a uma árvore invertida, donde se origina o nome do método. Cada retângulo é chamado de nó e o nó de nível zero é chamado de raiz da árvore.

Para o caso presente temos para os níveis zero e um, por exemplo, o seguinte:



Vemos então que o nível um acima representa os diversos enfoques aqui adotados para analisar a raiz "Ciclo do Combustível Nuclear no Japão". Estes mesmos enfoques foram adotados para os demais países.

Cada um dos nós do nível um será subdividido em tríades que representam componentes (C), ações (A) e contexto (F de "framework") de modo que podem ser combinados para formar uma sentença que tem como consequência o nó ao qual estão ligados.

Na tríade, o elemento ou componente liga-se à ação através do uso dos seguintes verbos, em qualquer pessoa ou tempo, conforme o caso;

- fazer
- executar
- analisar
- estudar
- aplicar
- estabelecer

Da mesma forma, a ação liga-se ao contexto ou premissa ("framework"), via de regra, através do uso dos seguintes conectivos:

- no, na
- com
- em
- a fim de
- de acordo com
- através de
- para

Como um exemplo, seja a seguinte tríade

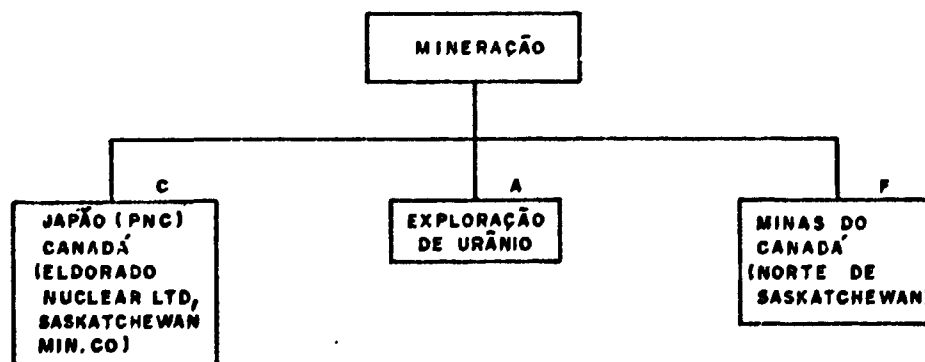


FIG. III

Isto quer dizer que o Japão e o Canadá (através das respectivas companhias) fazem a exploração de urânio em minas canadenses (localizadas ao norte de Saskatchewan) sendo isto um detalhamento da etapa Mineração do Ciclo do Combustível Nuclear no Japão.

De modo geral as árvores não são detalhadas além deste nível mas, em alguns casos o detalhamento desce mais um nível. Por exemplo, na árvore da França tem-se:

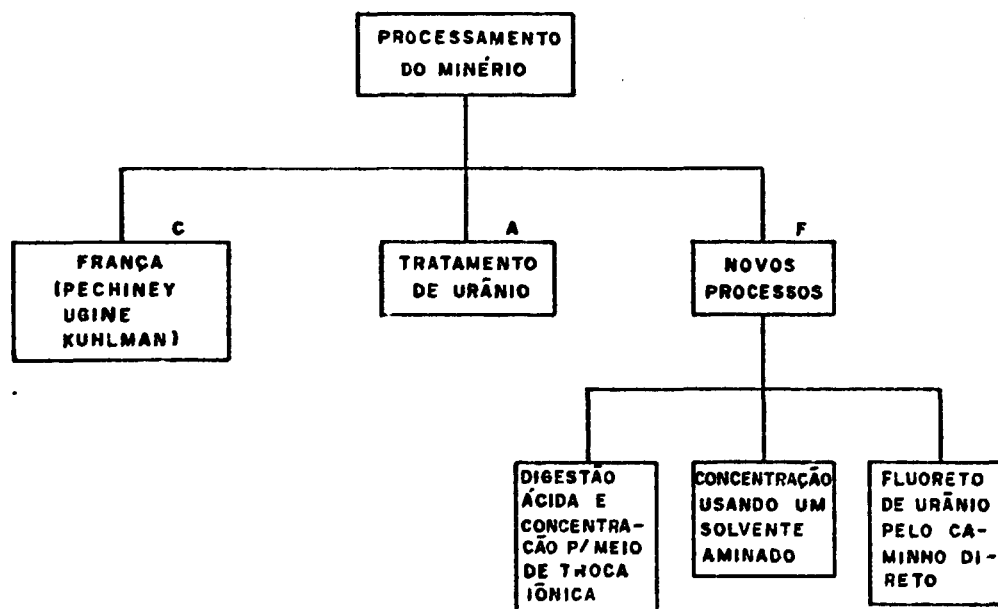


FIG. IV

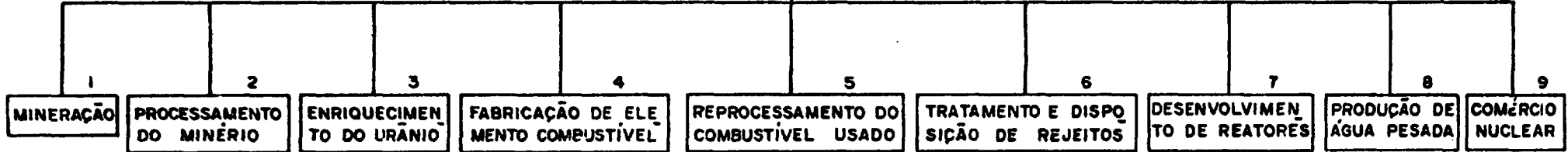
Ou seja, a França, através da Pechiney UGINE Kuhlman faz tratamento de urânio, através de 3 novos processos que são digestão ácida e concentração por meio de troca iônica, concentração usando um solvente aminado e fluoreto de urânio pelo caminho direto.

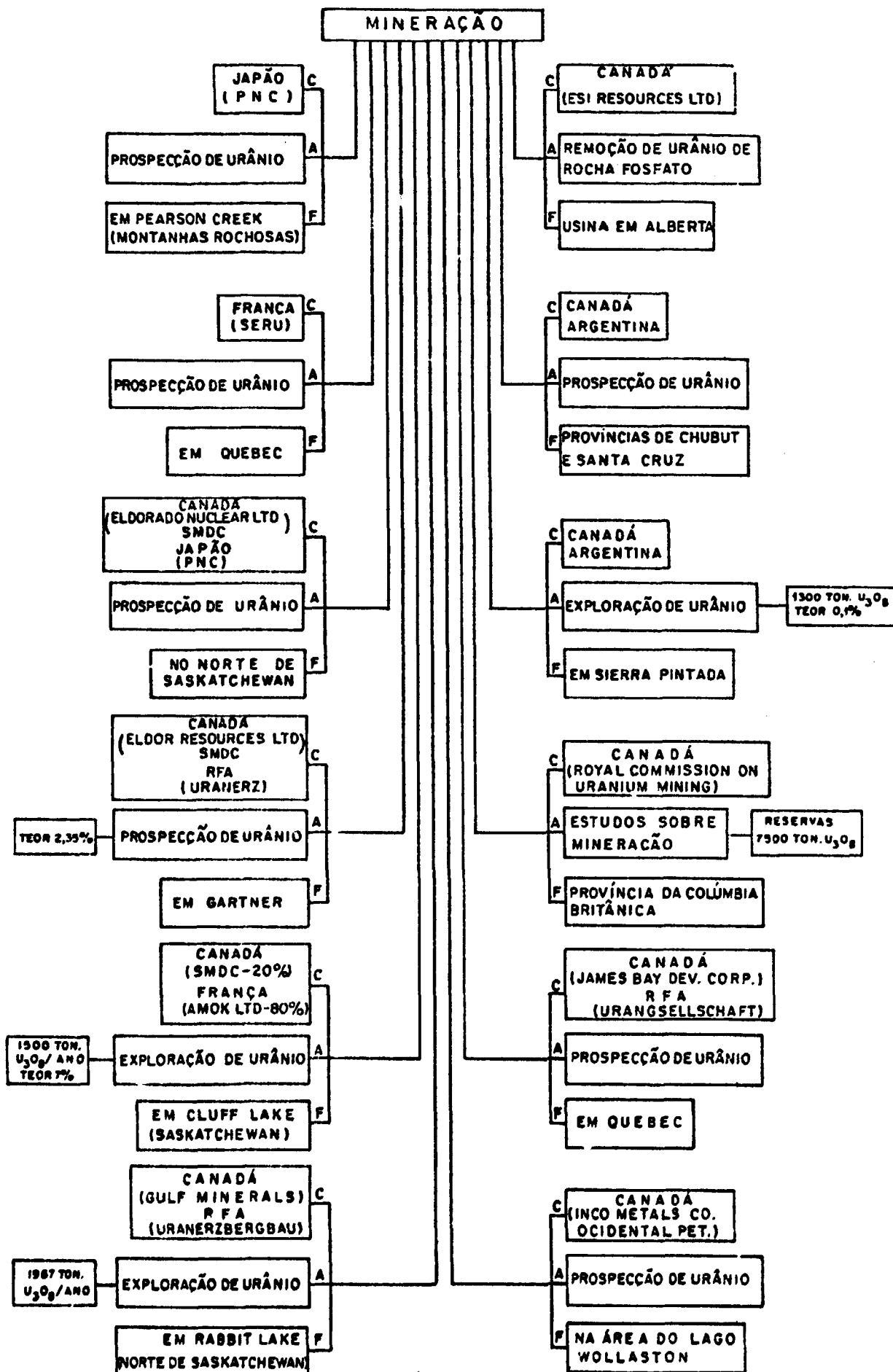
Assim, ao se examinar a árvore de um país podemos inferir quais as etapas do ciclo do combustível que são mais desenvolvidas, quais as lacunas porventura existentes no ciclo do combustível deste país, quais as áreas de colaboração com outros países, quais as áreas onde estão sendo feitas pesquisas, etc.

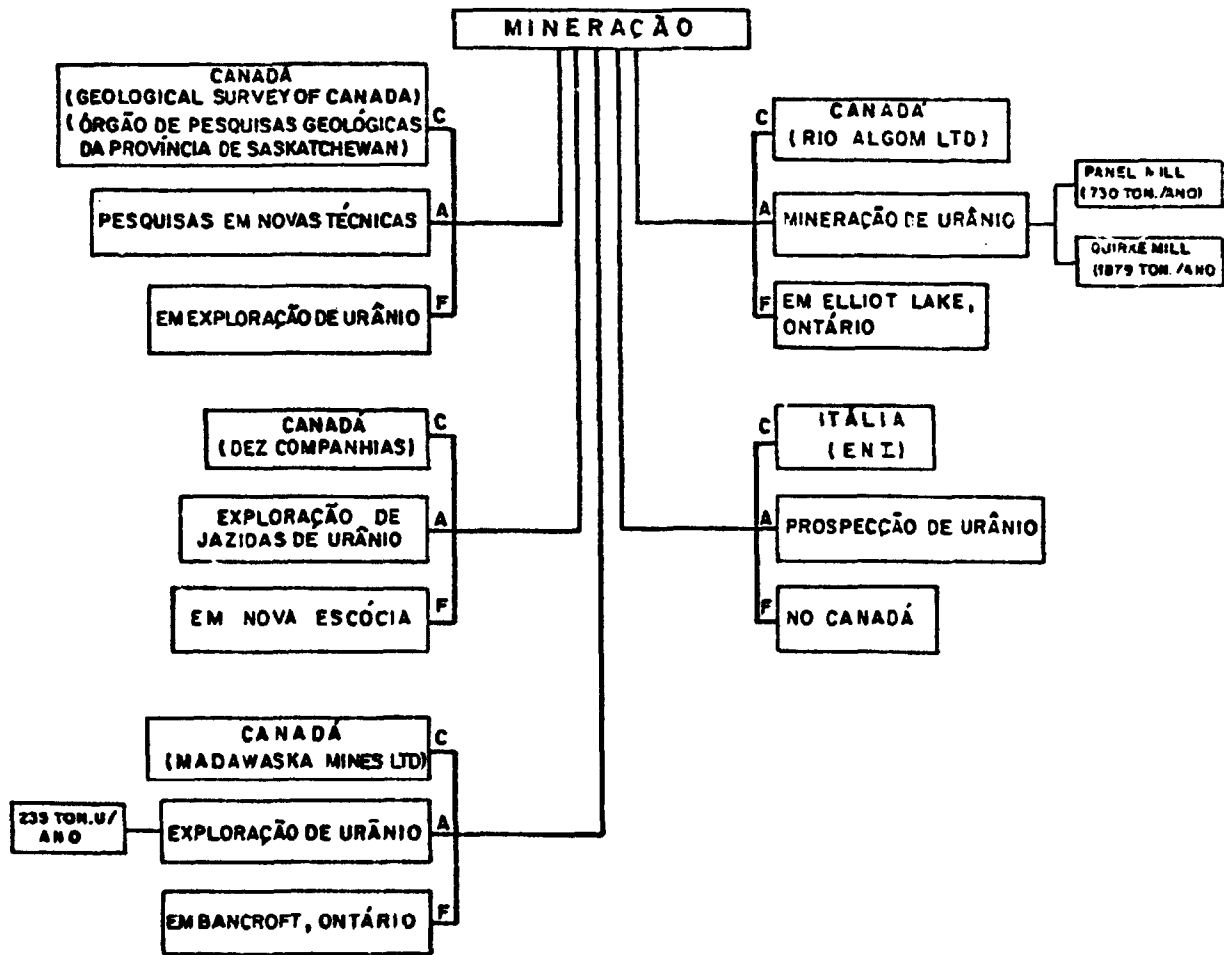
São apresentadas a seguir as árvores do Japão, República Federal da Alemanha, Reino Unido, França e Canadá. Ao final estão explicitadas as abreviações e siglas que nela constam.

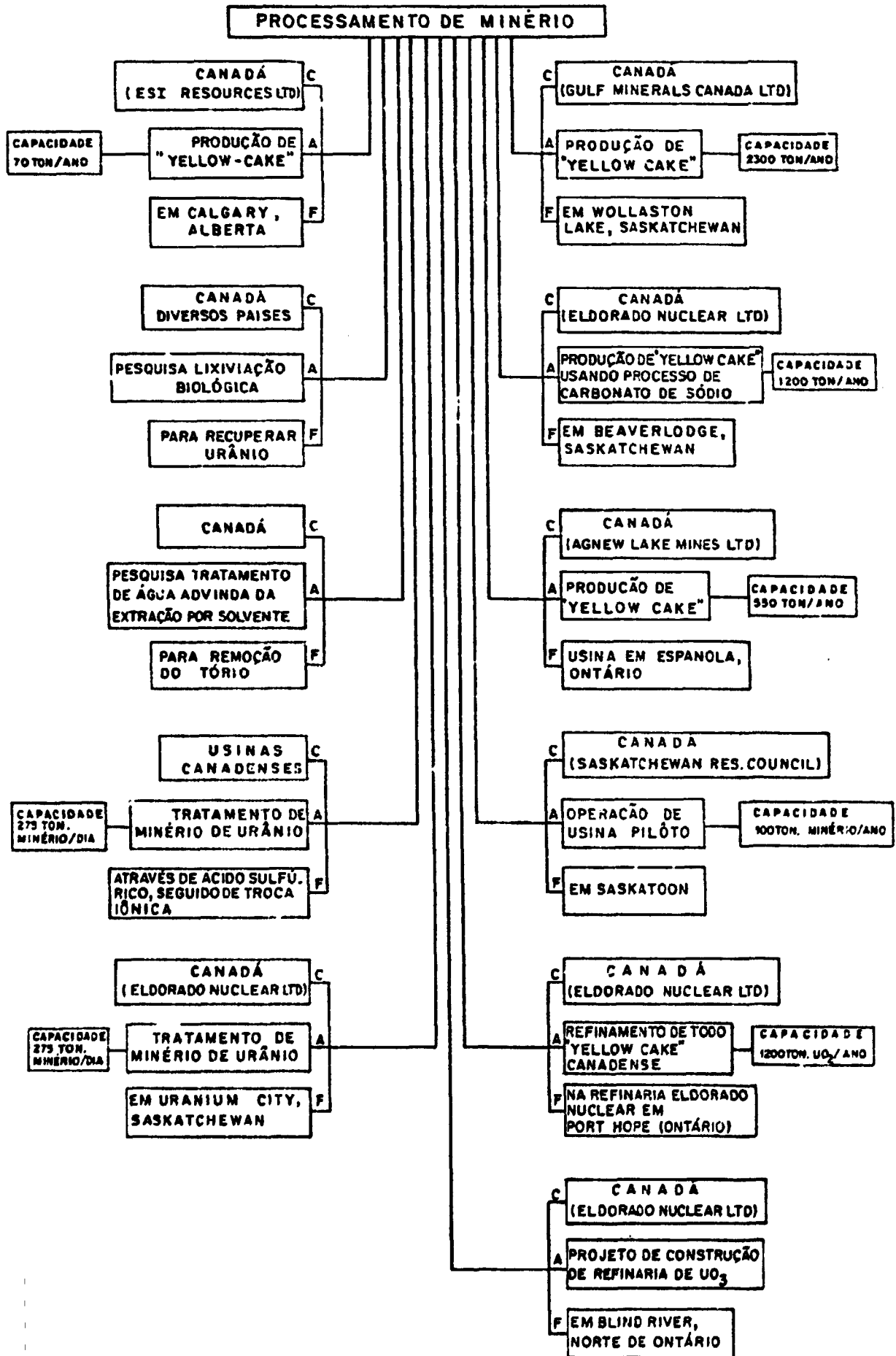
Um glossário com as explicações sobre os novos métodos e processos mencionados nas árvores é também apresentado.

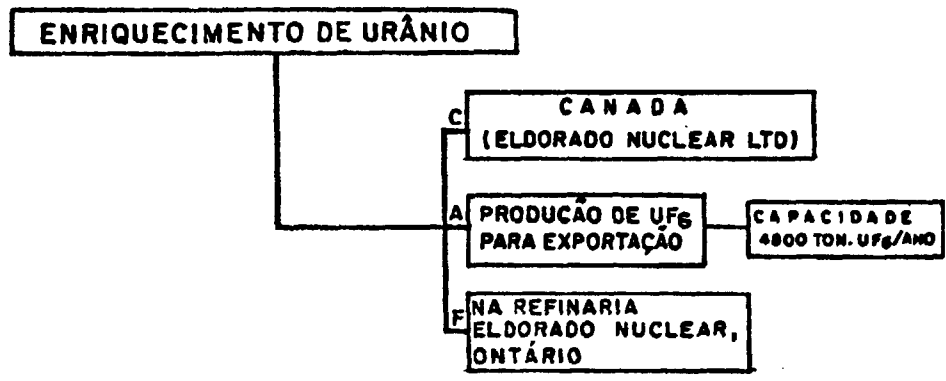
CICLO DO COMBUSTÍVEL
NUCLEAR DO CANADÁ

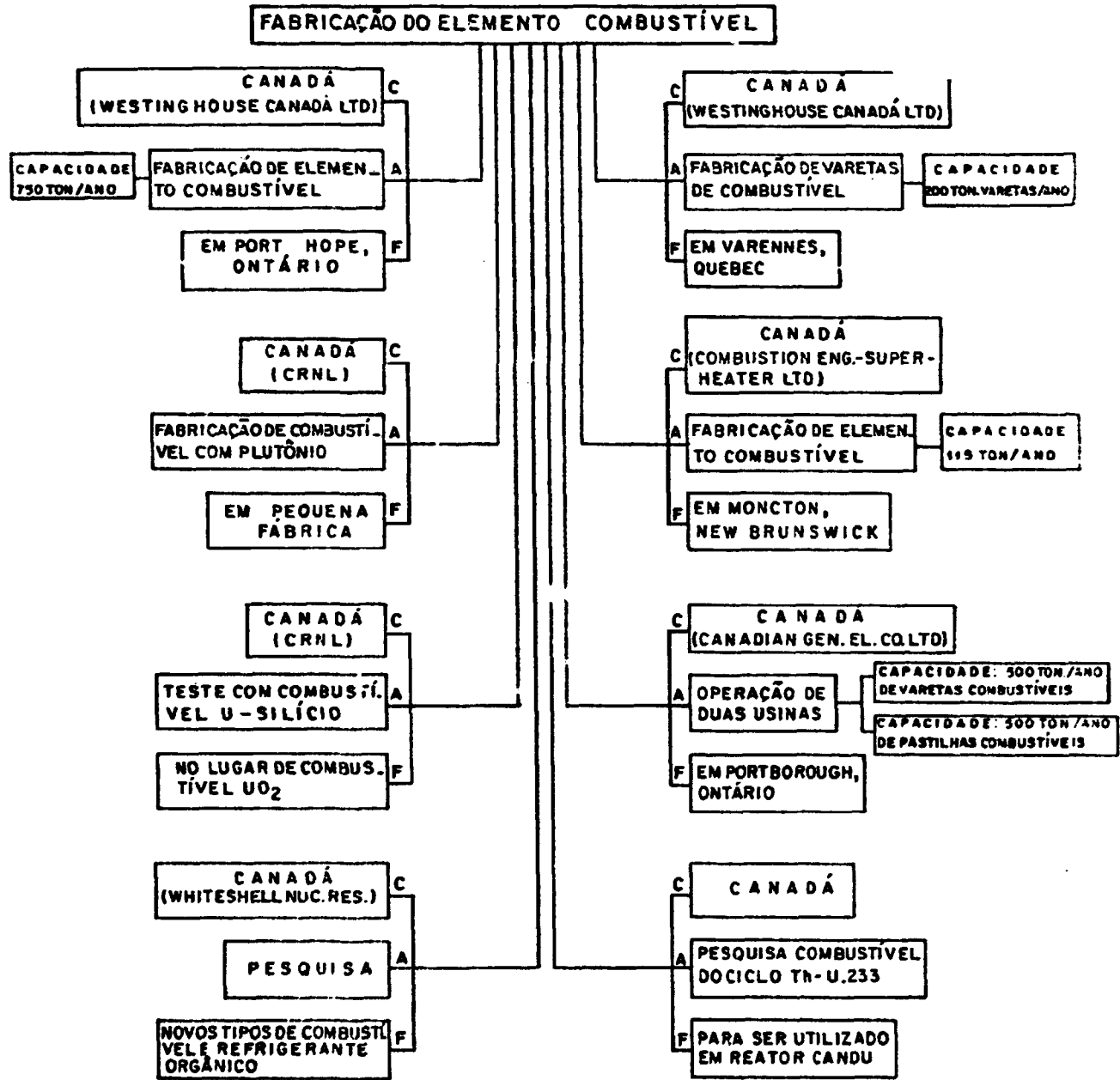


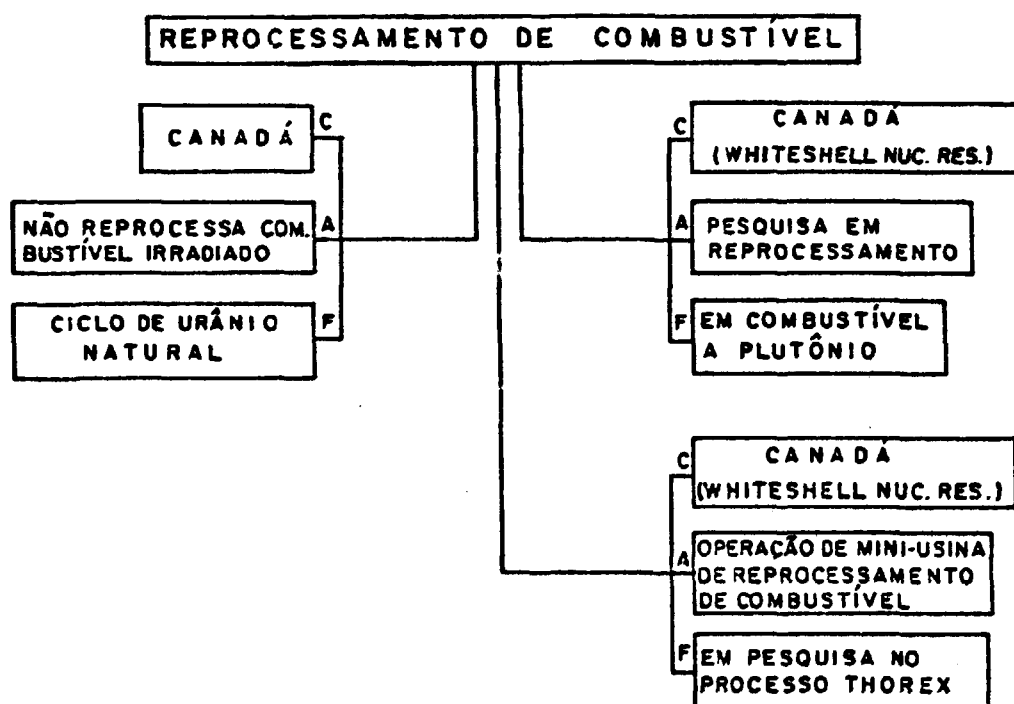


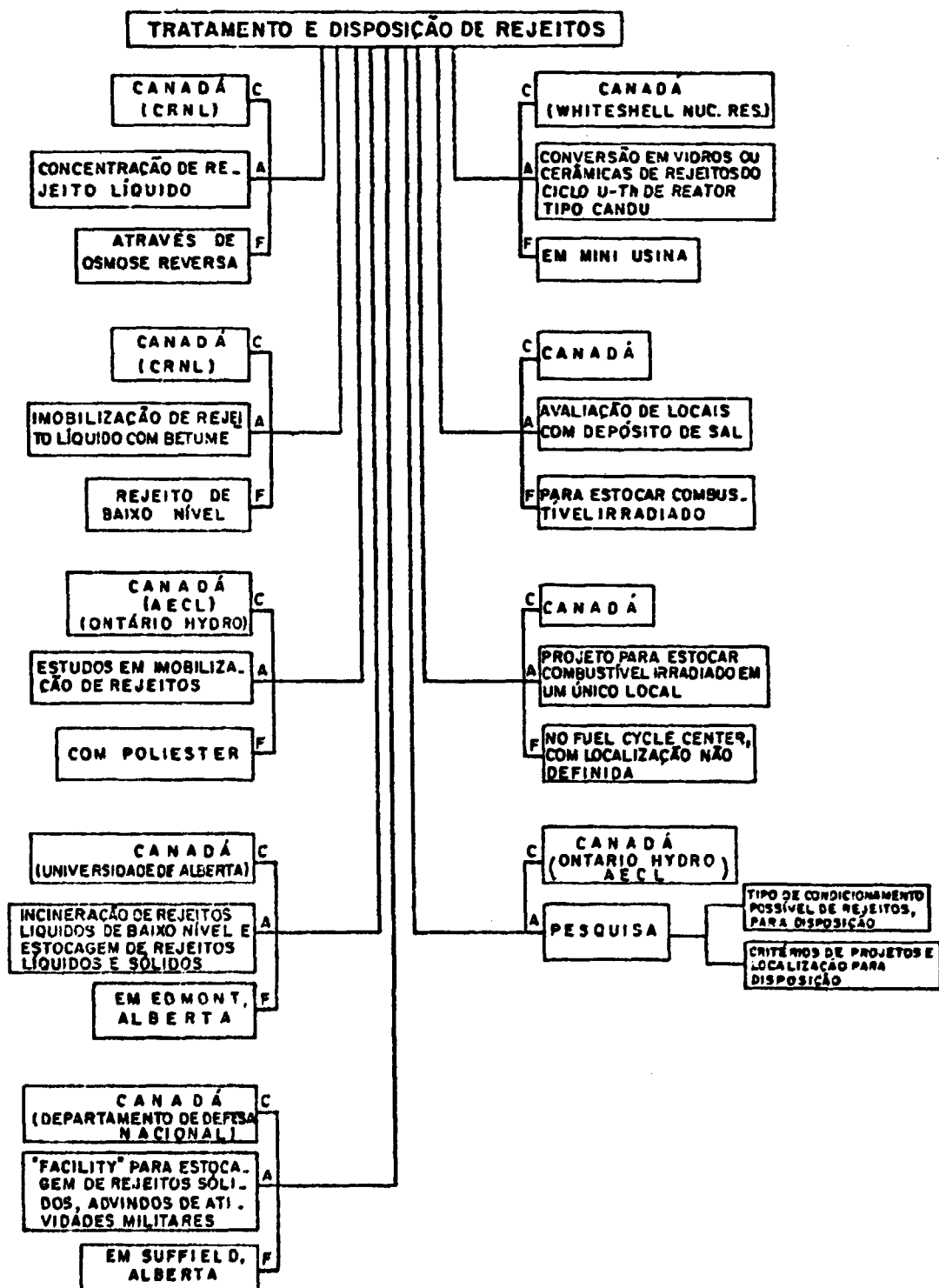


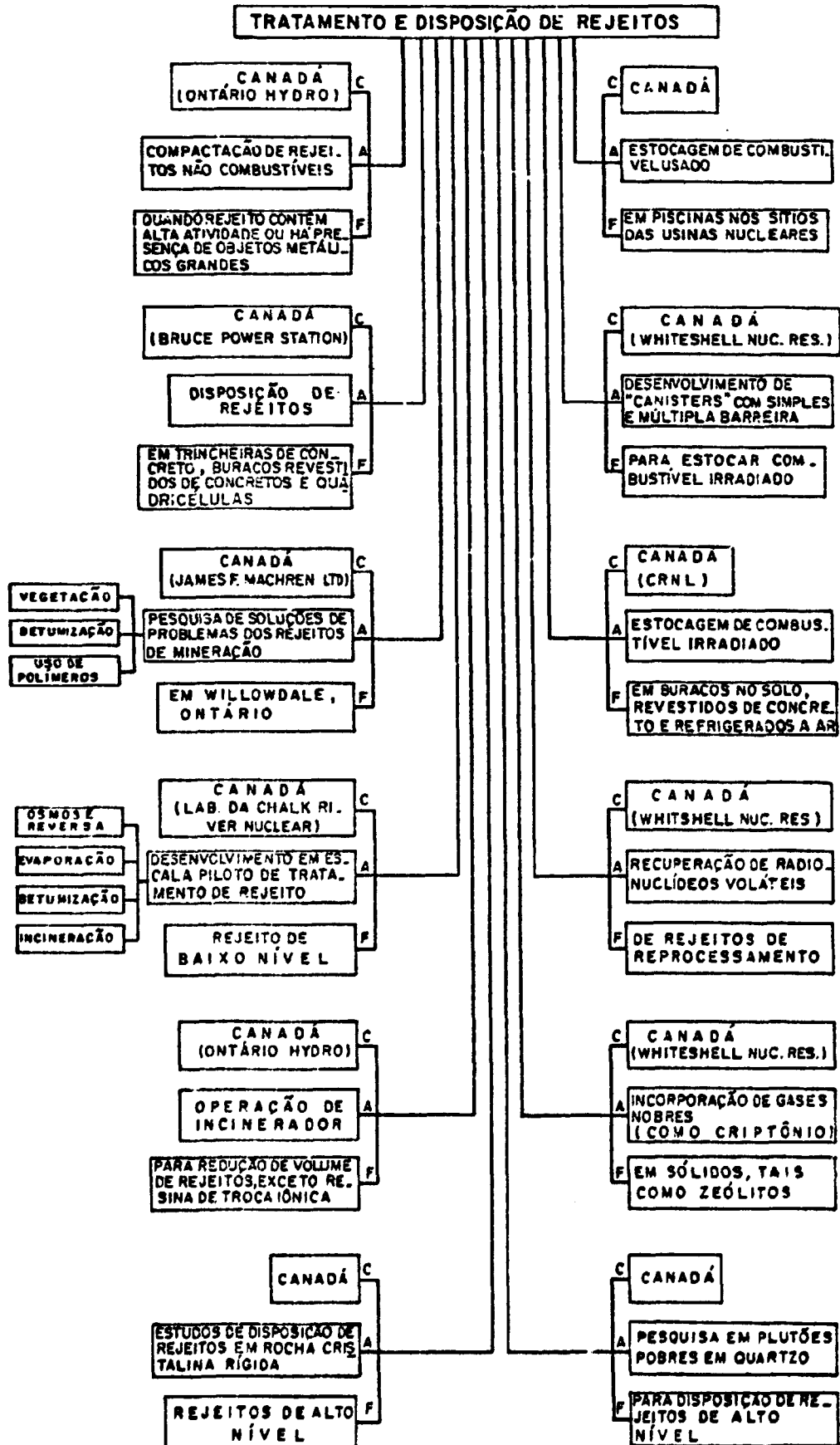


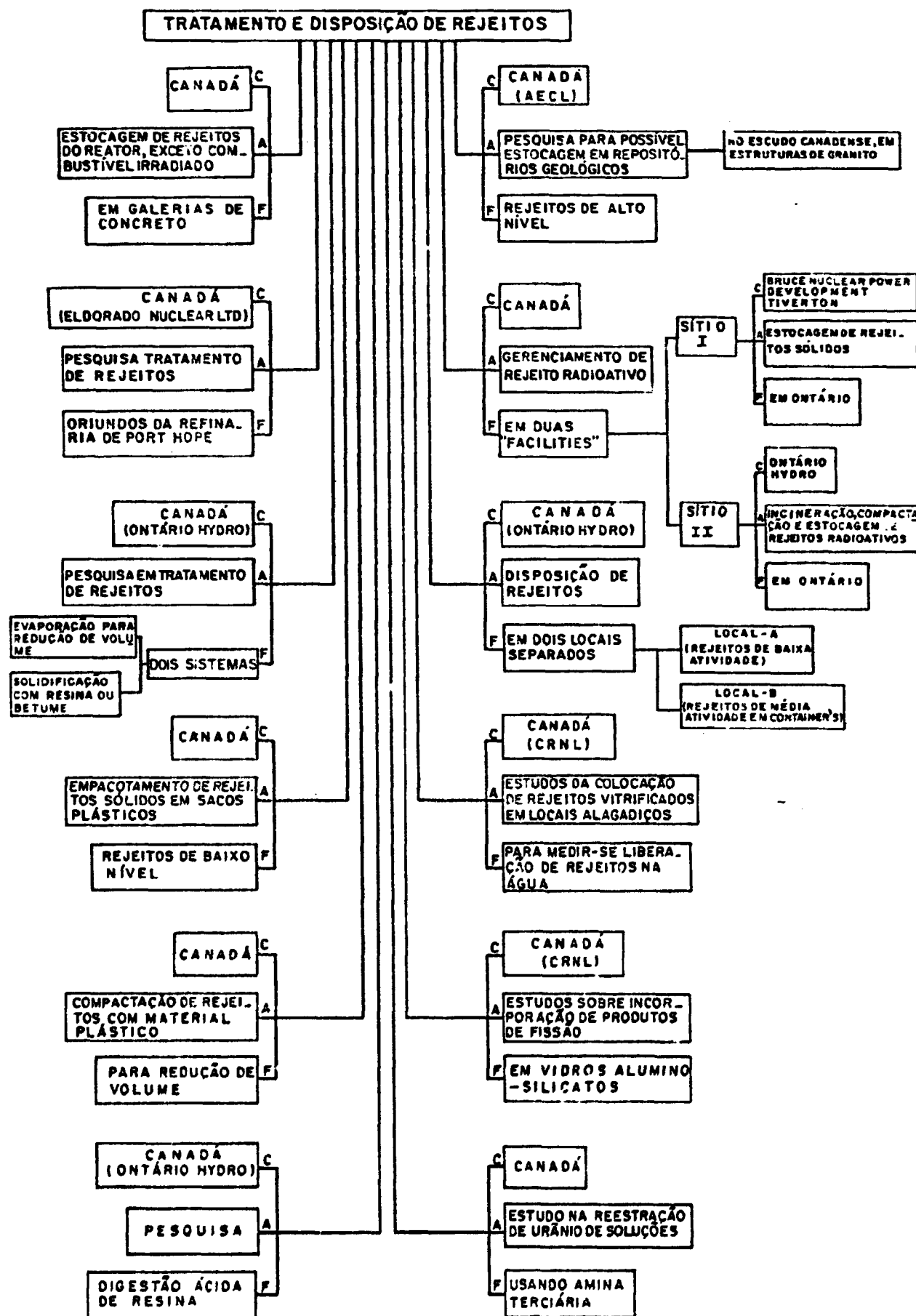


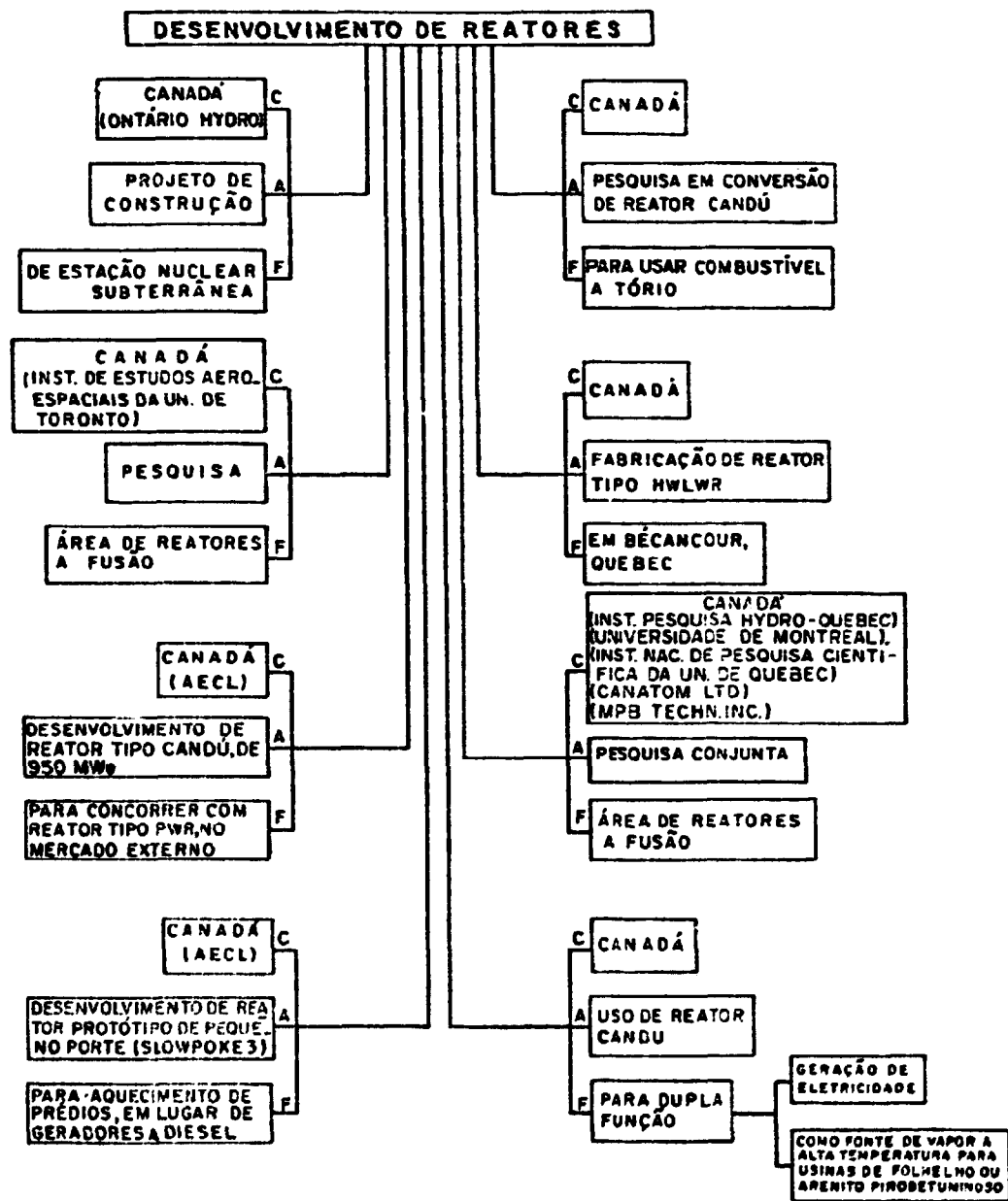


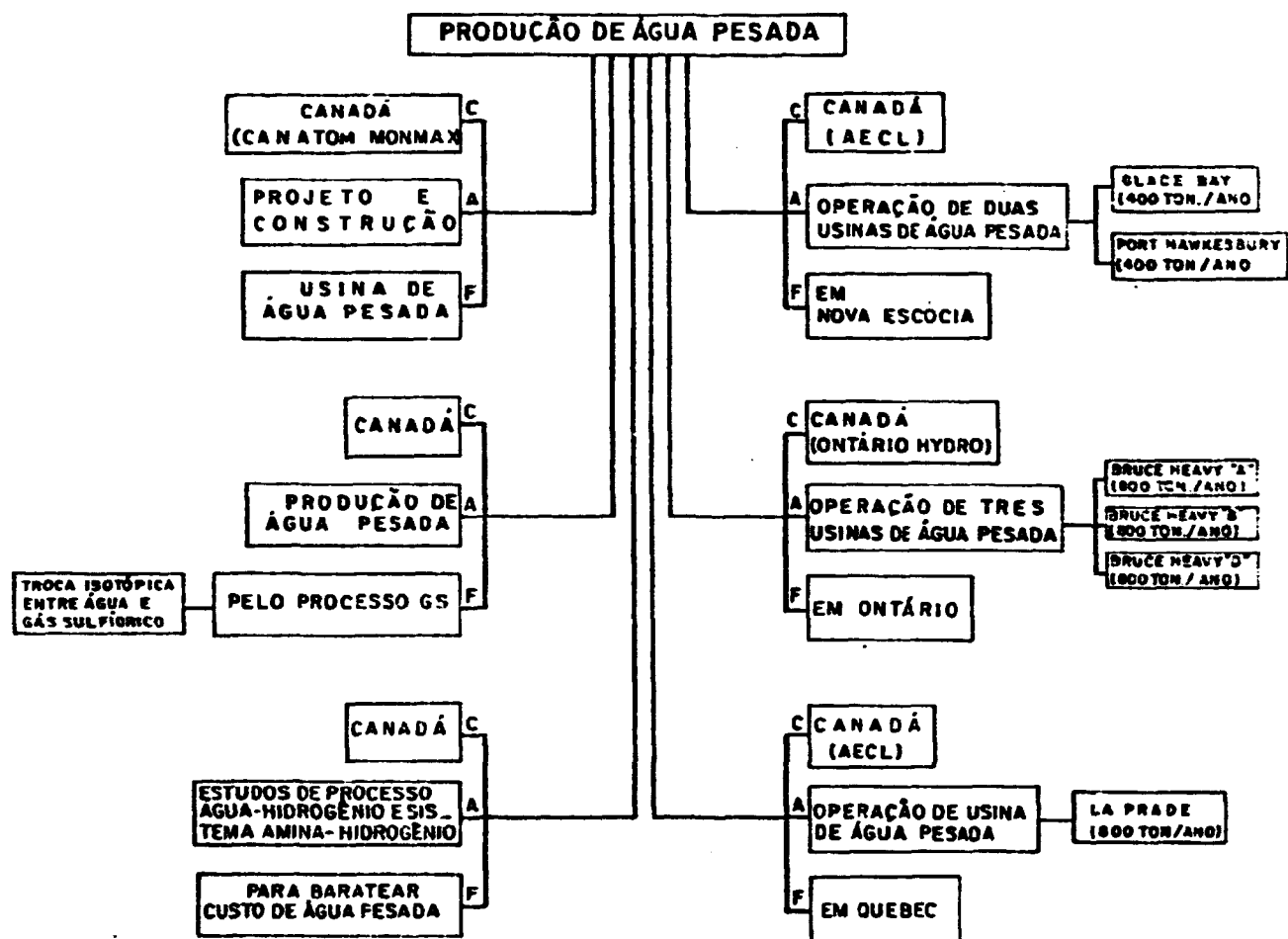


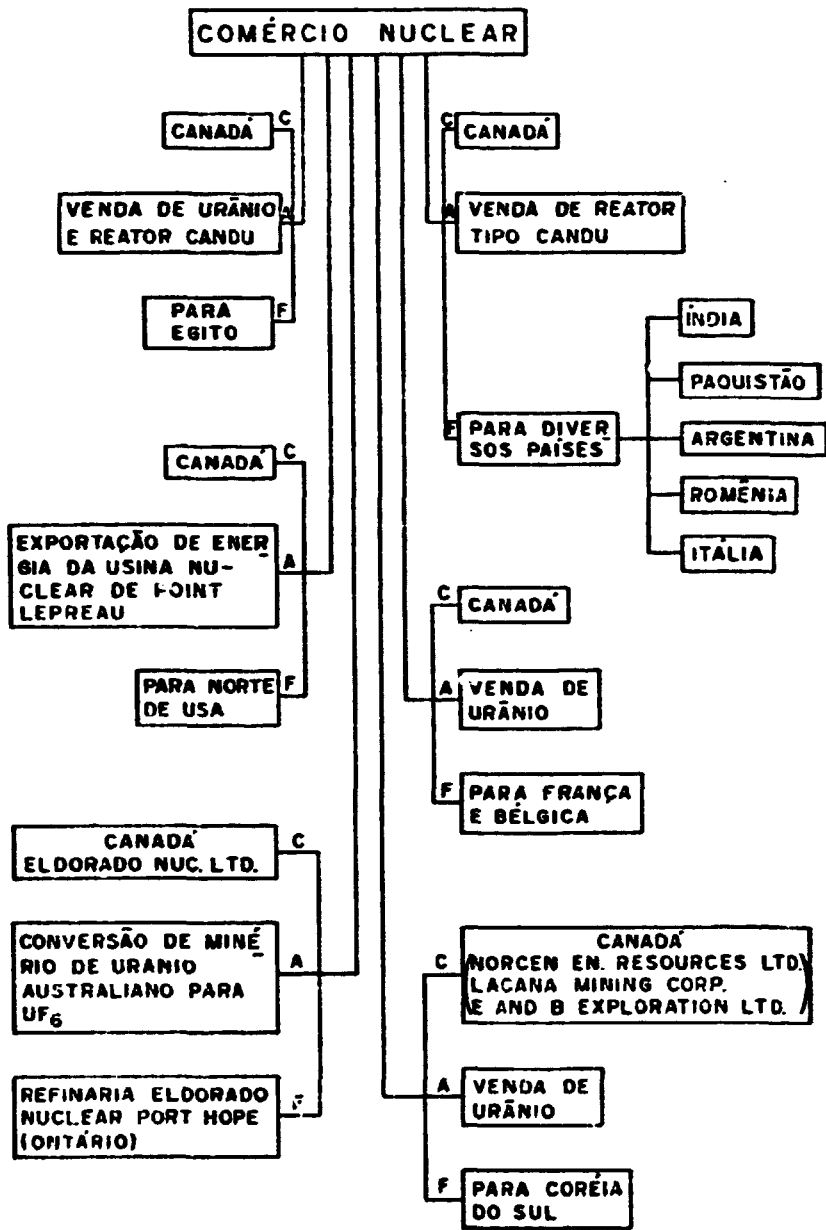




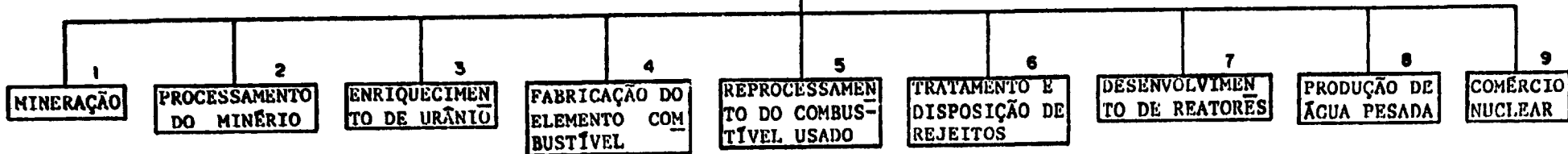


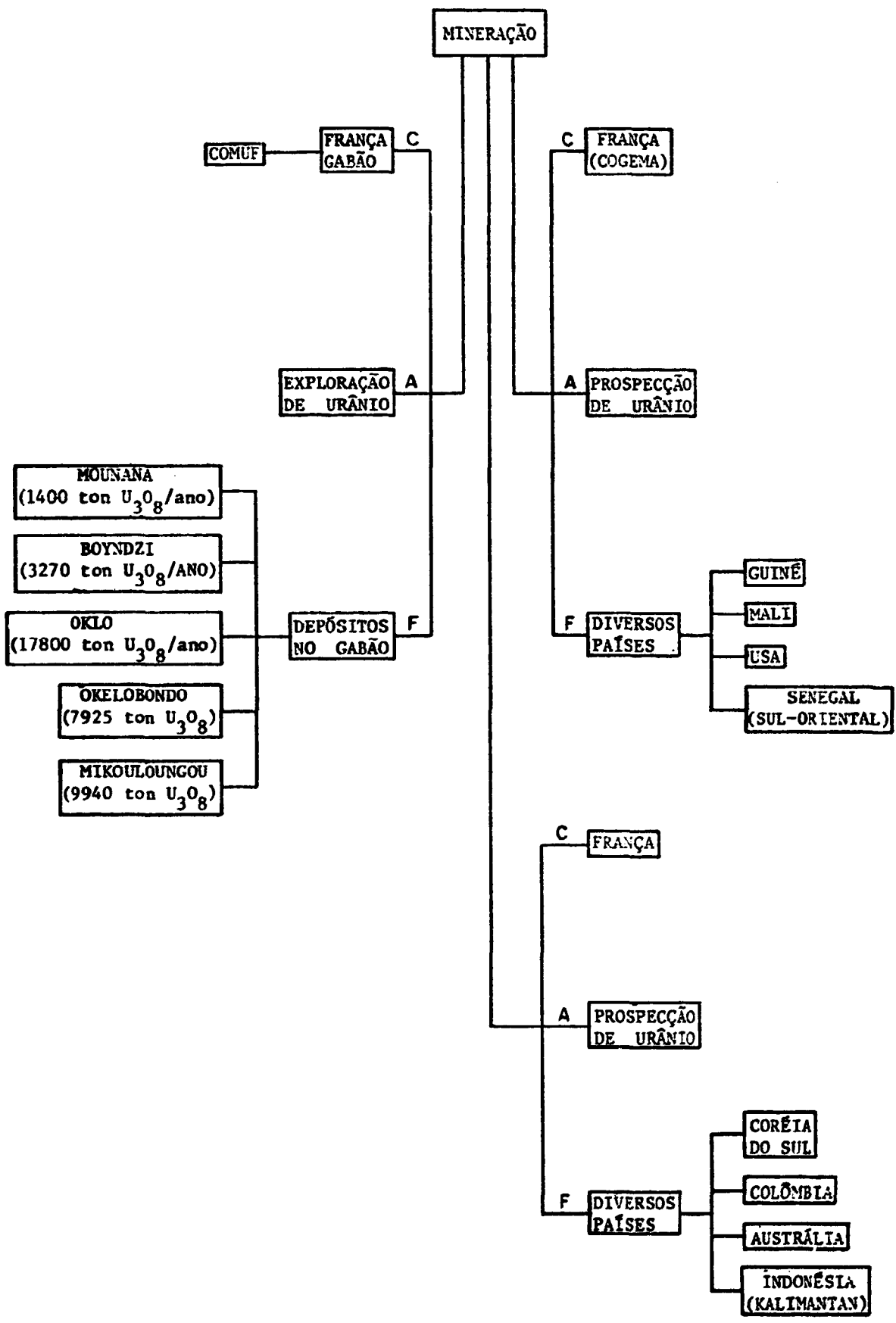


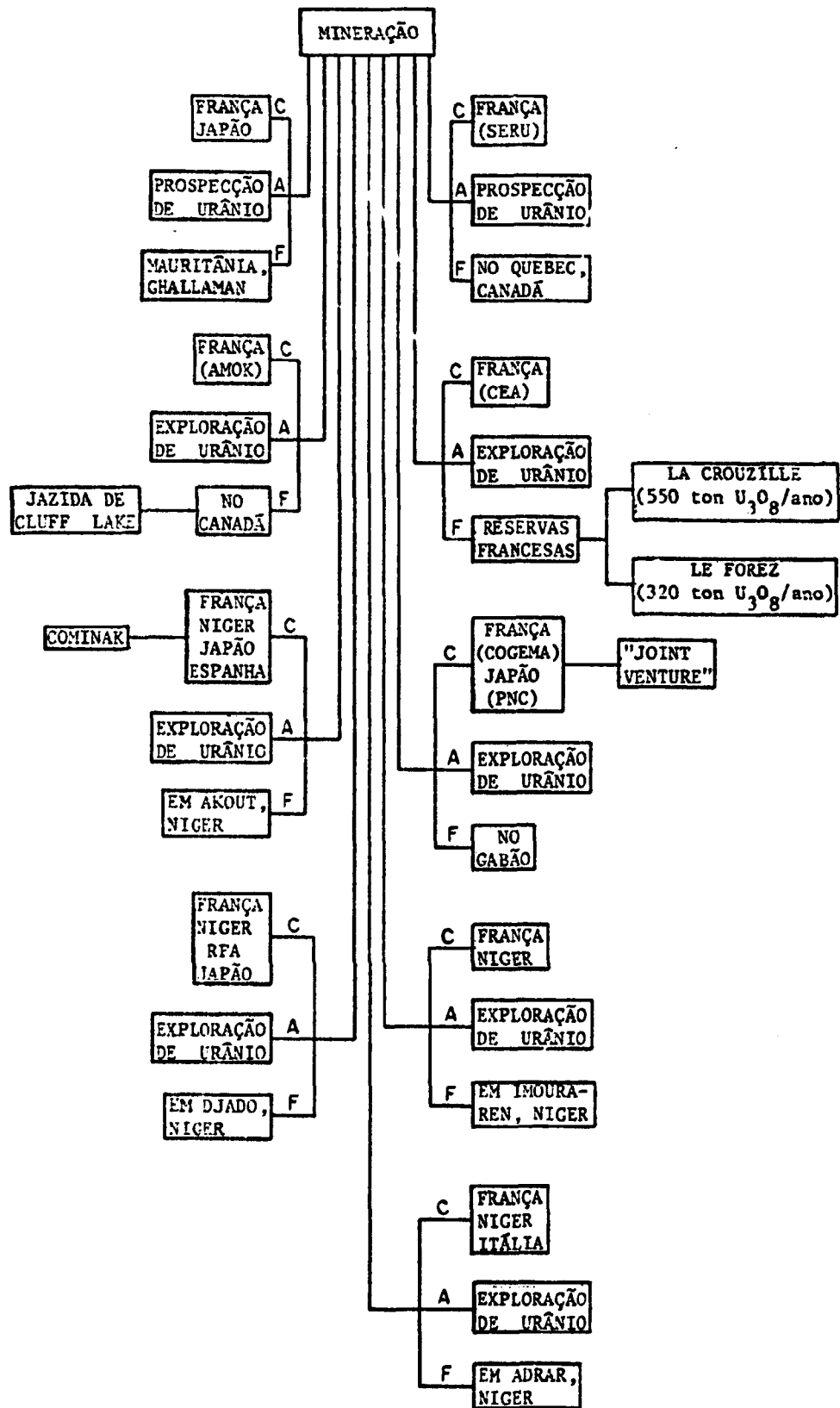


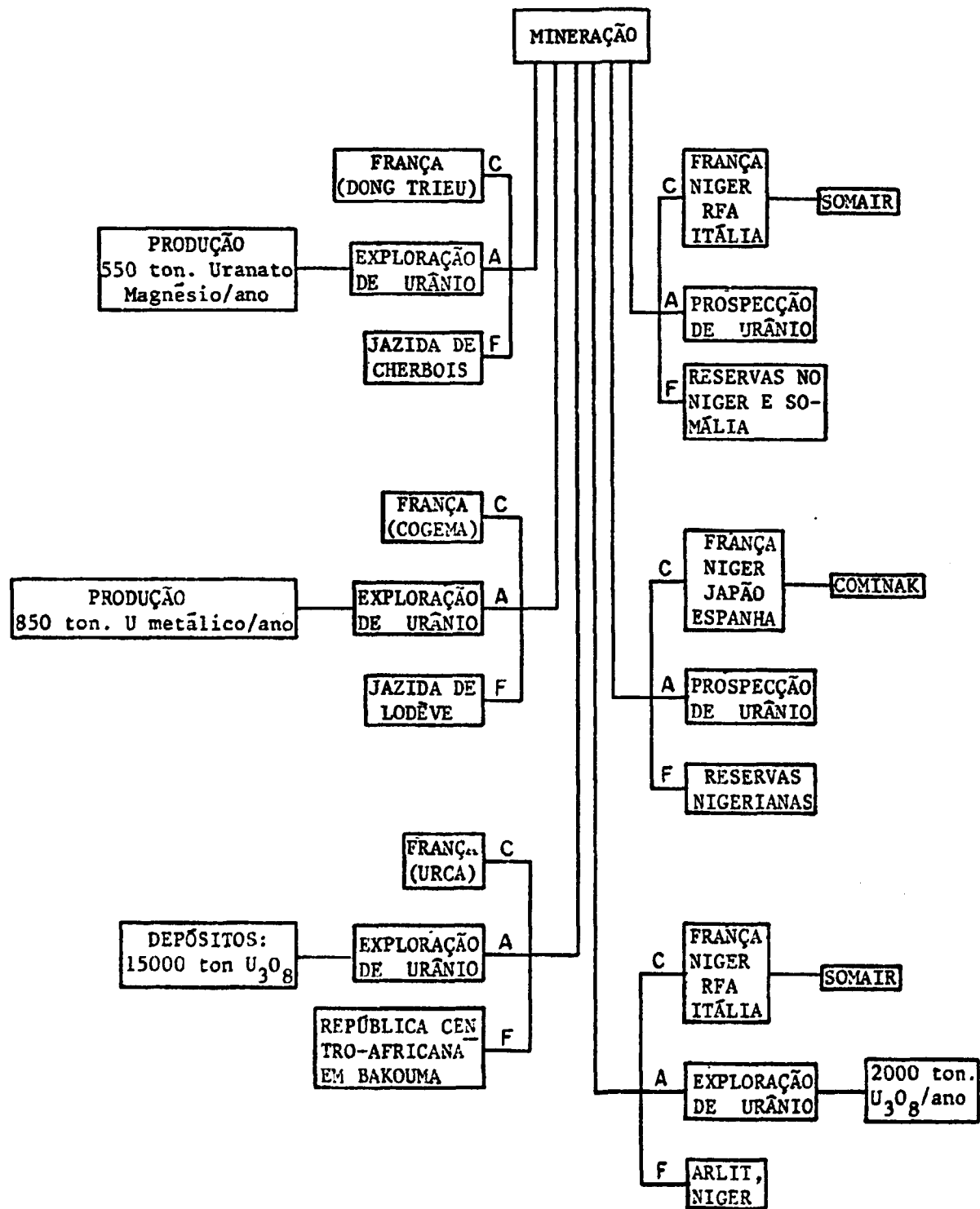


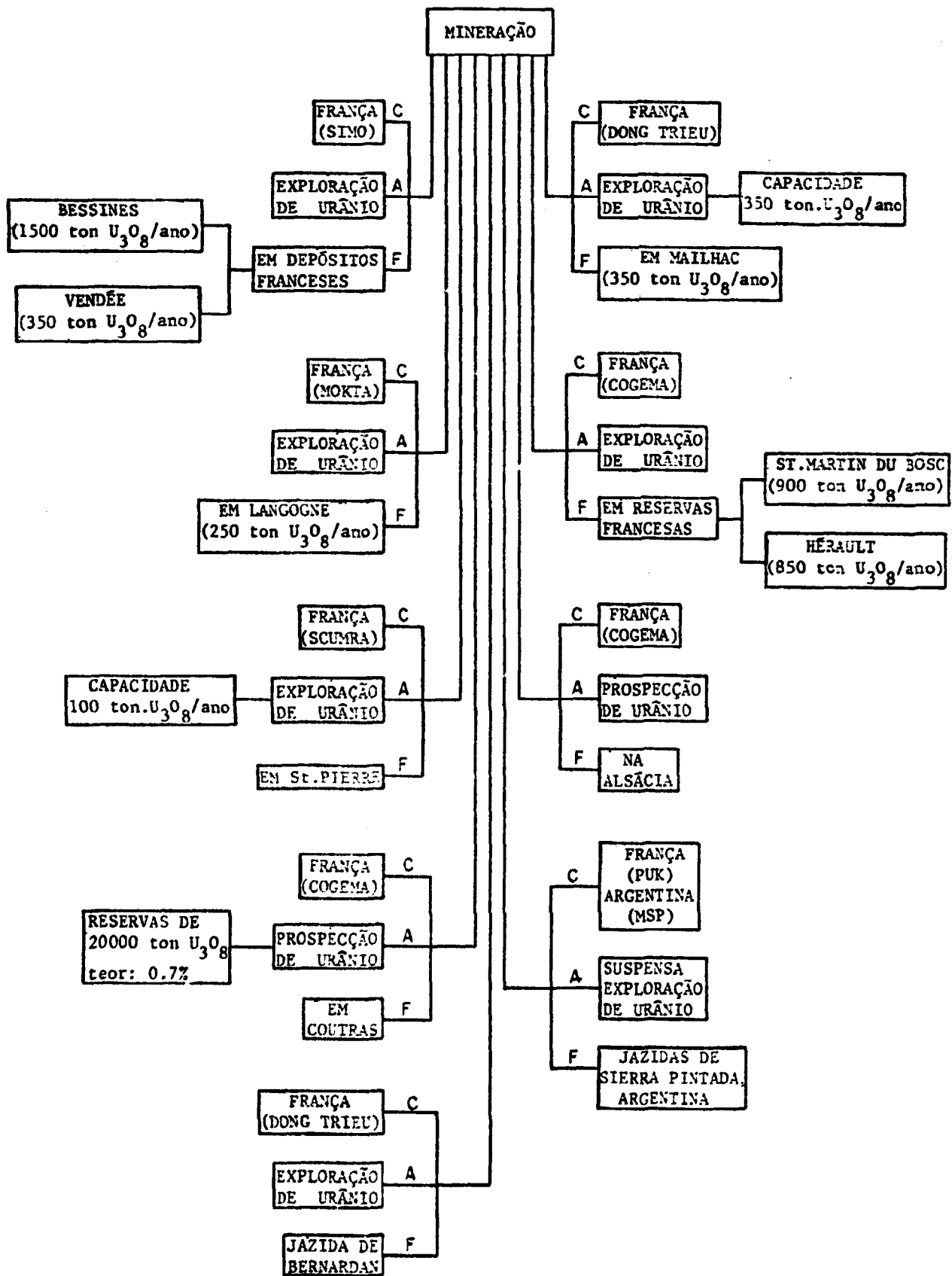
CICLO DO COMBUSTÍVEL
NUCLEAR DA FRANÇA

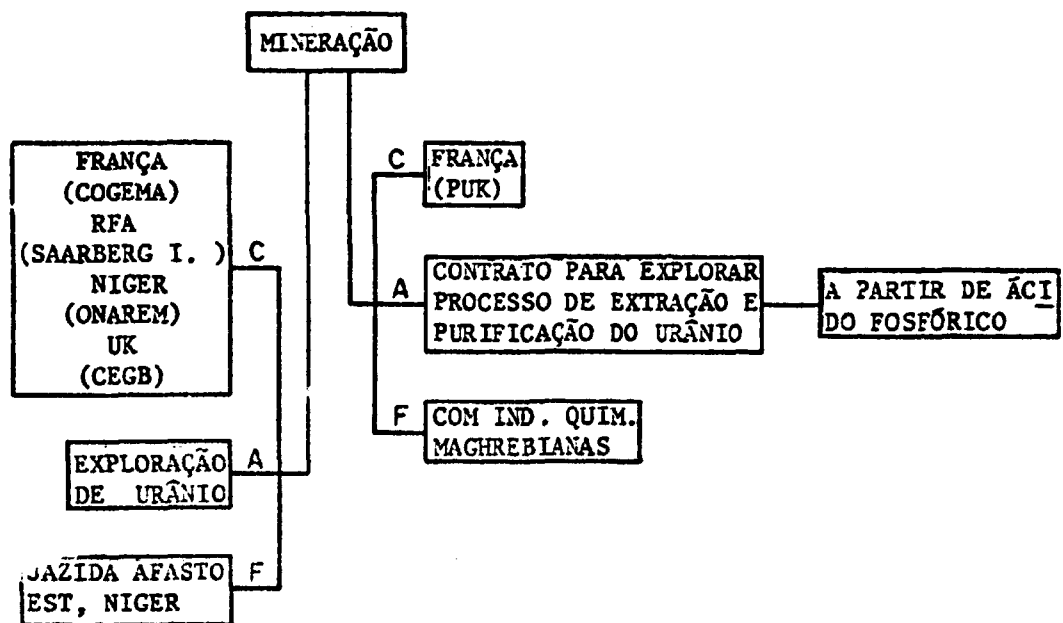


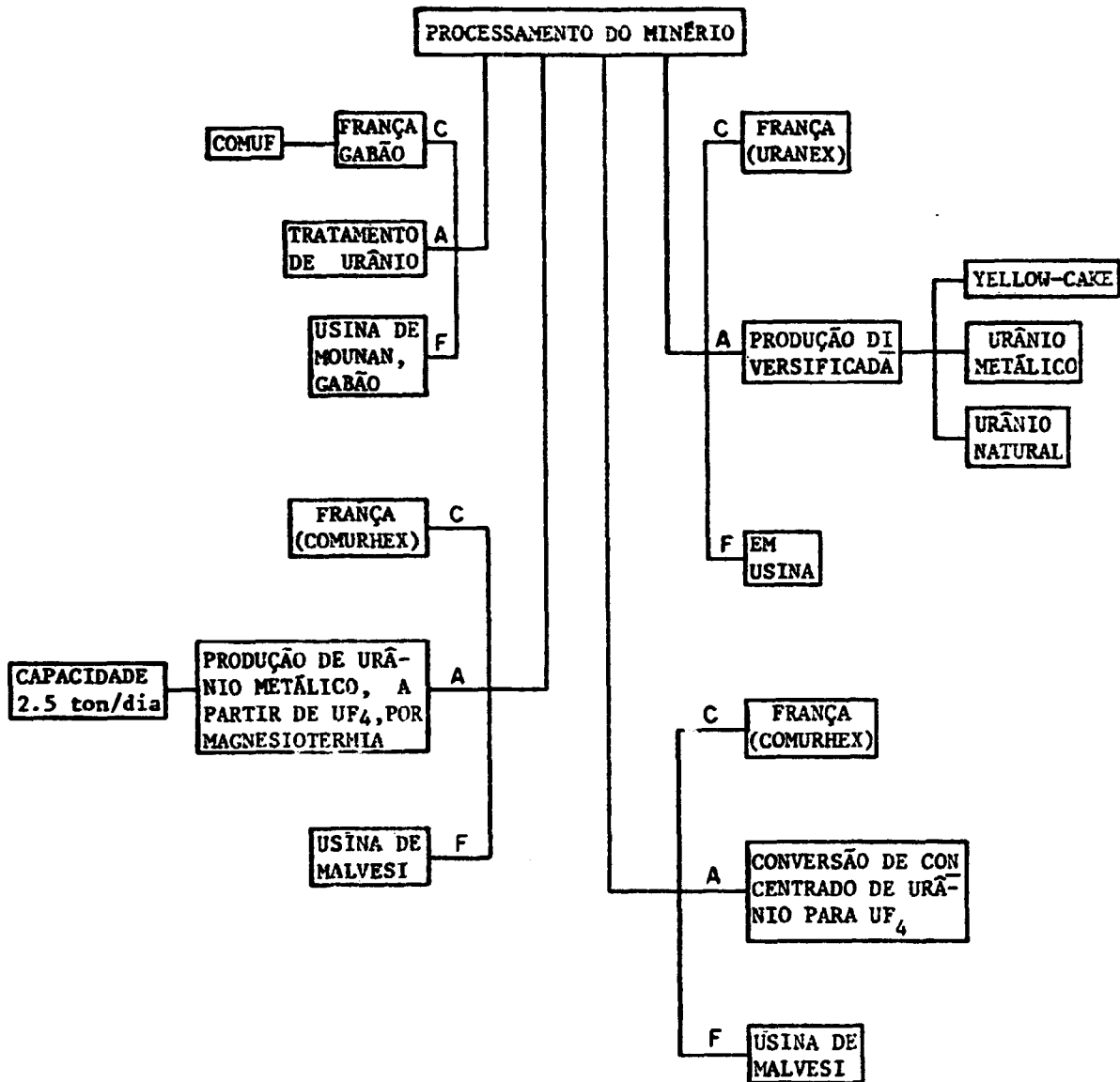


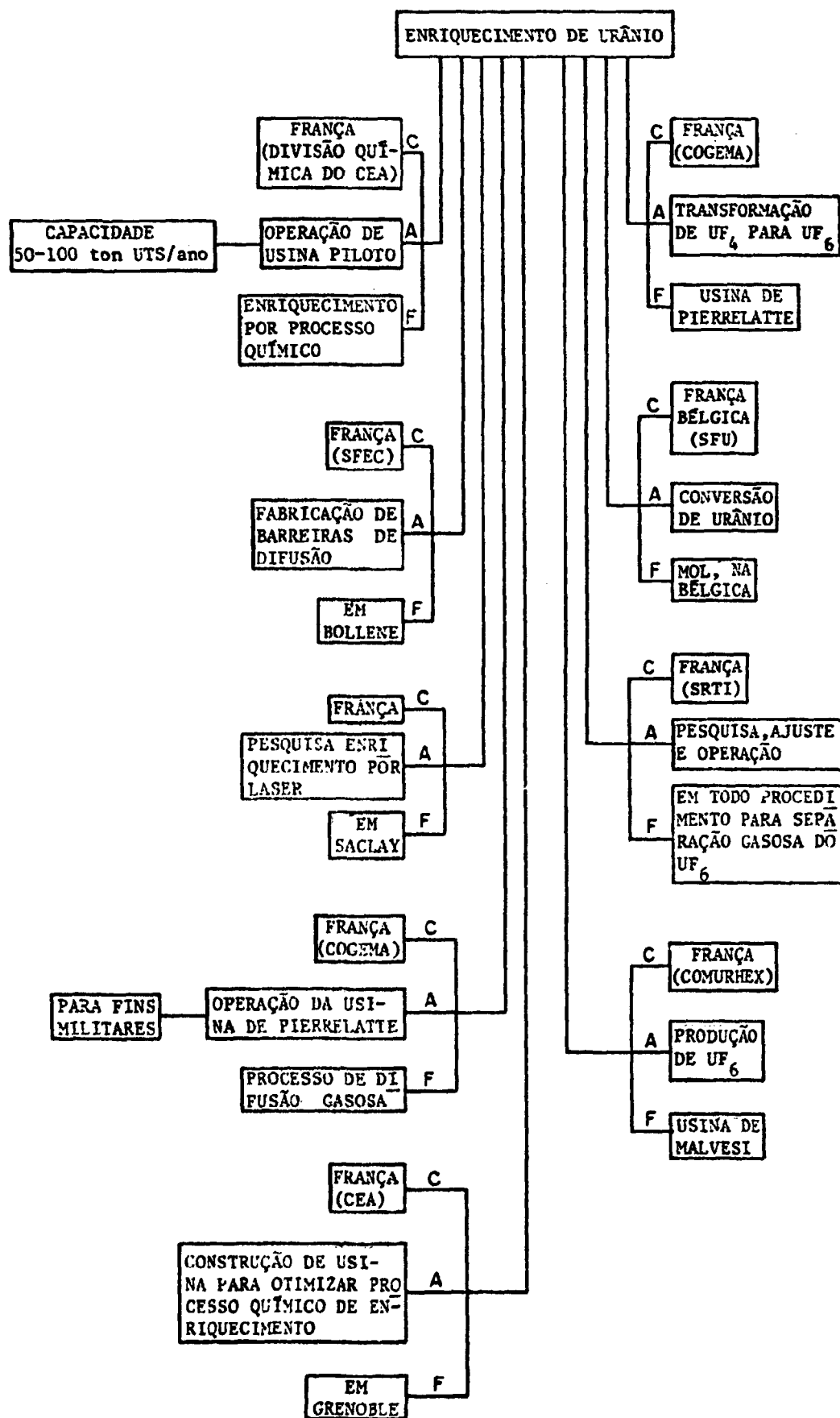


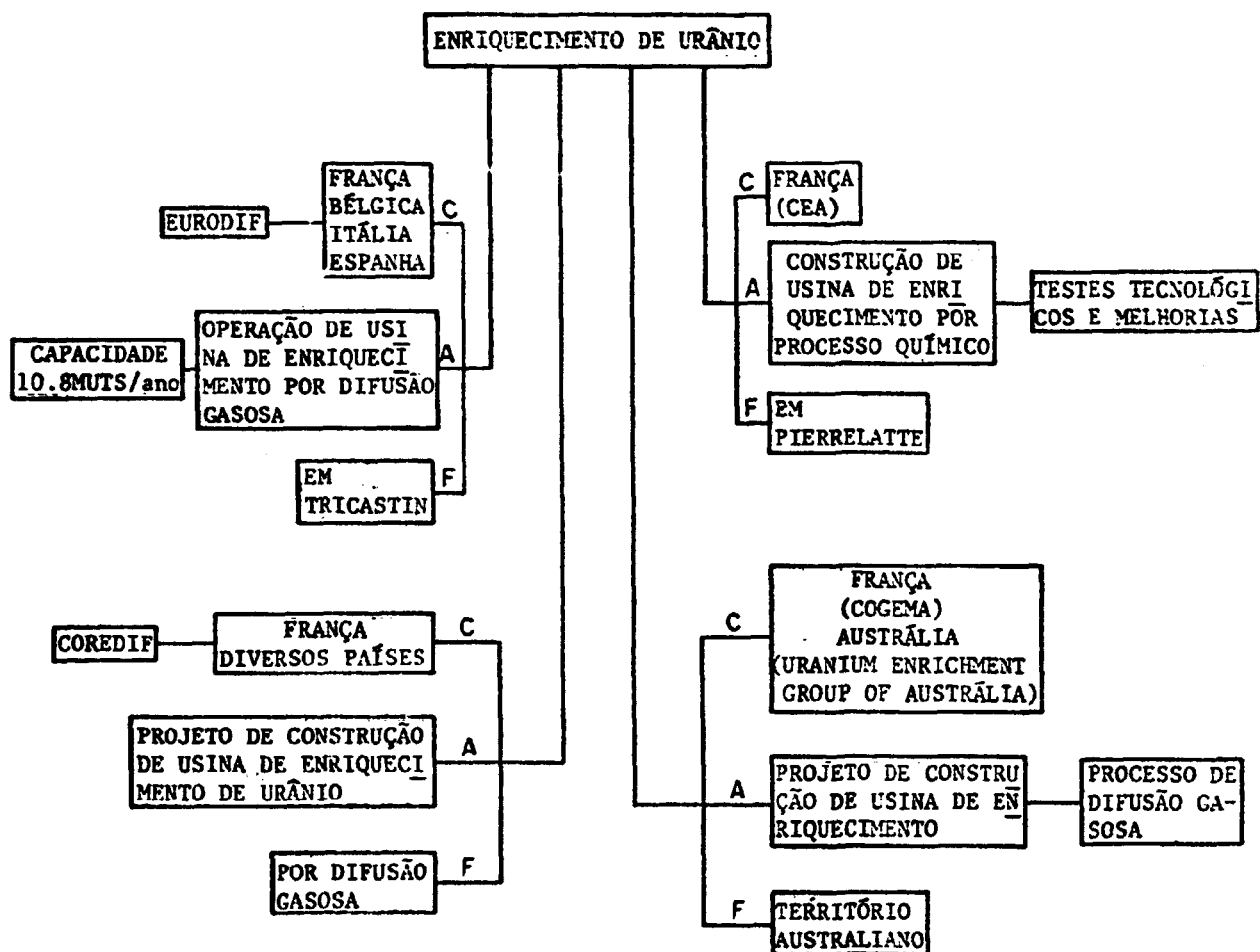


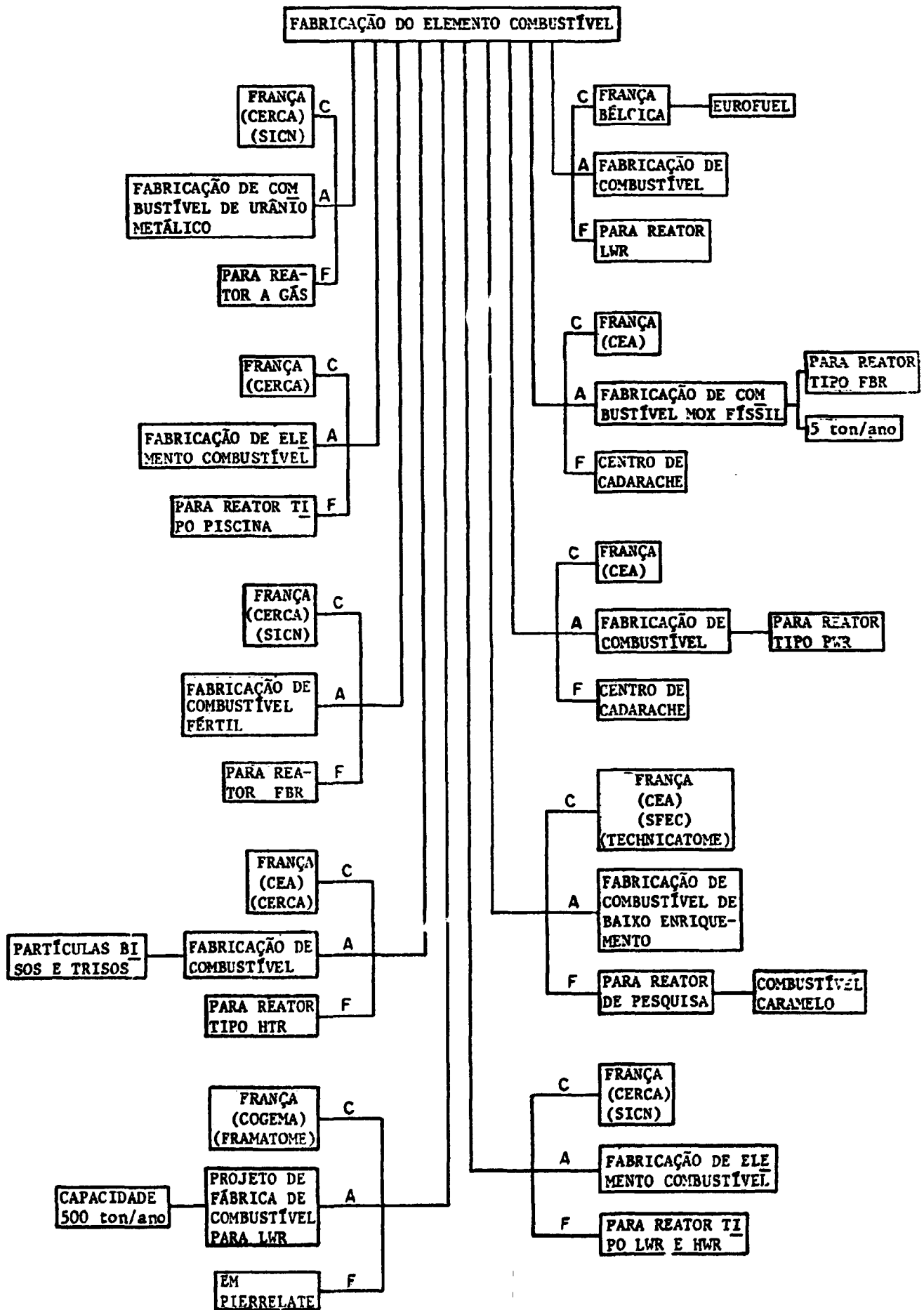


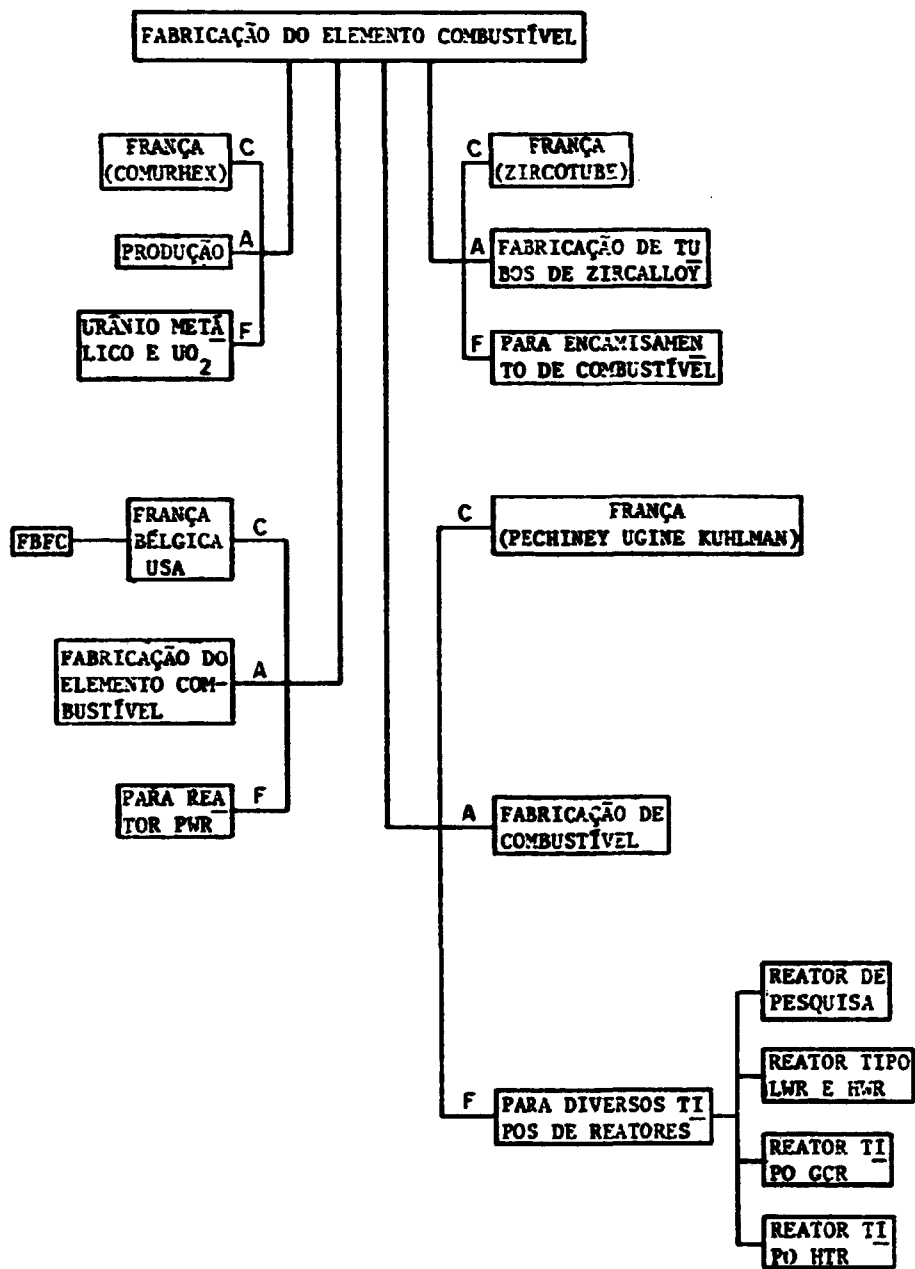


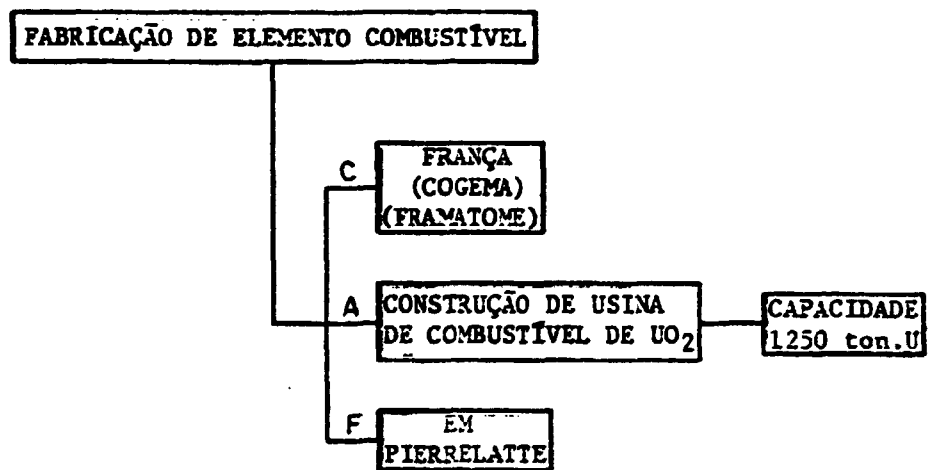


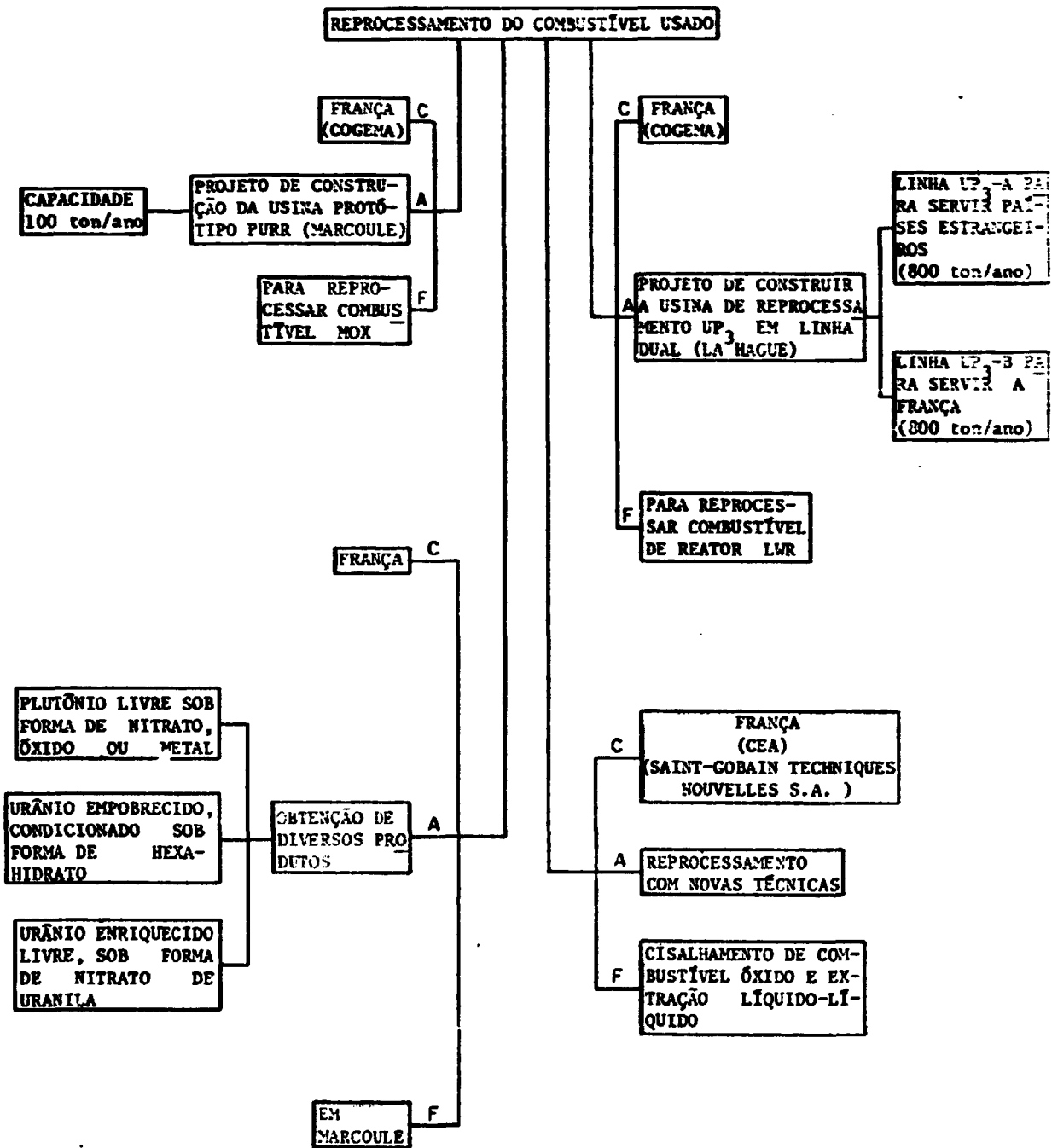


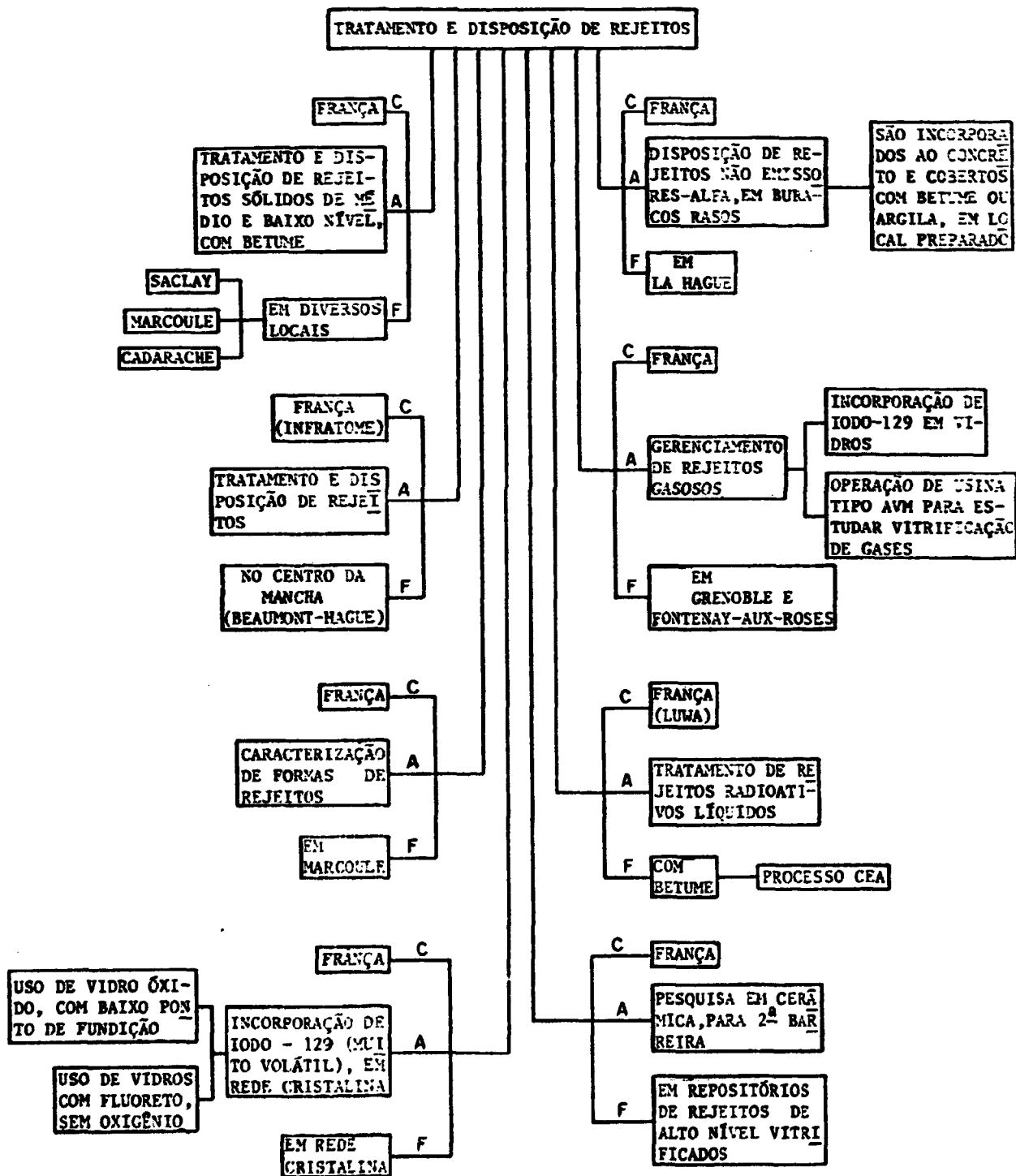


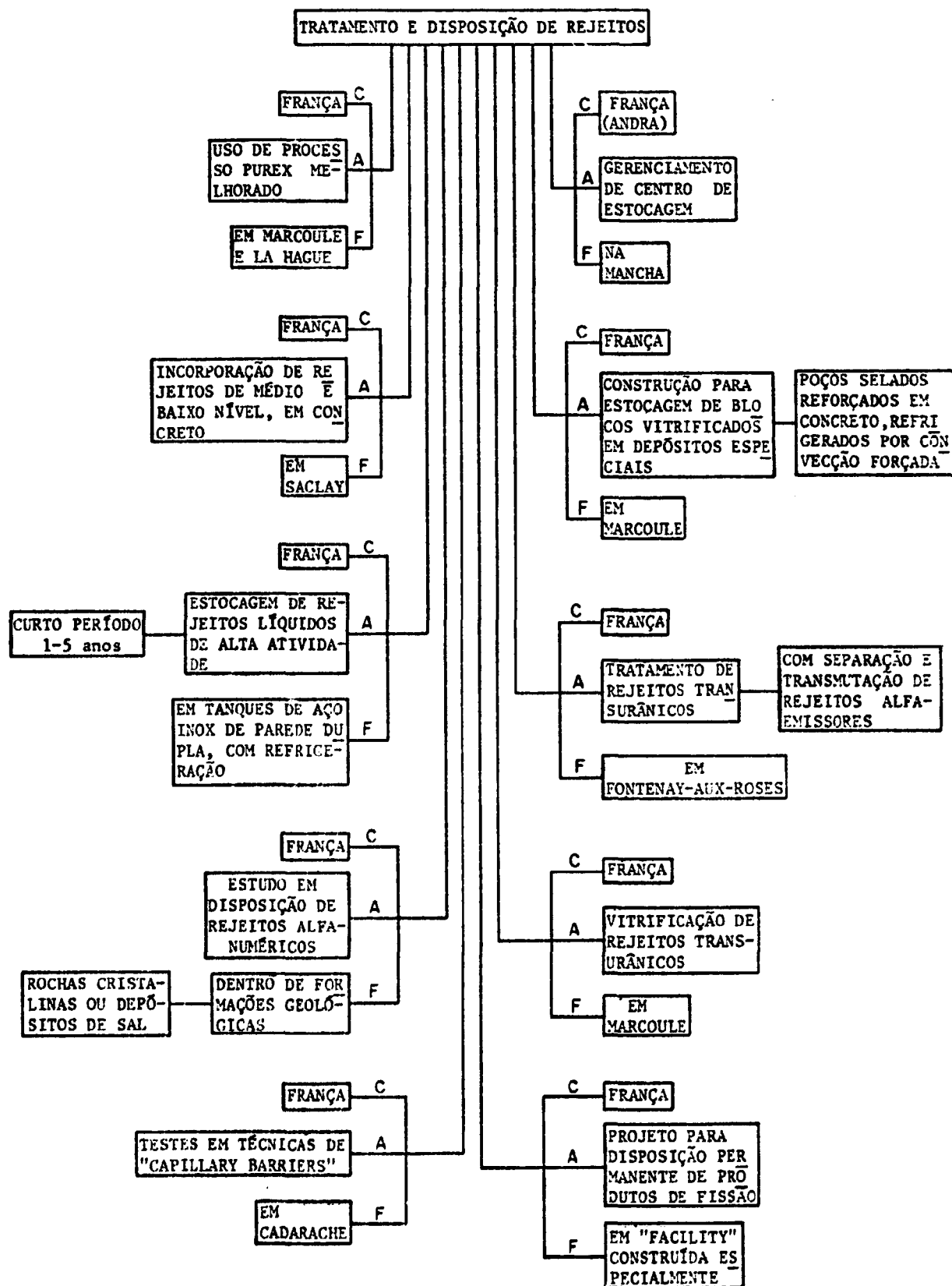


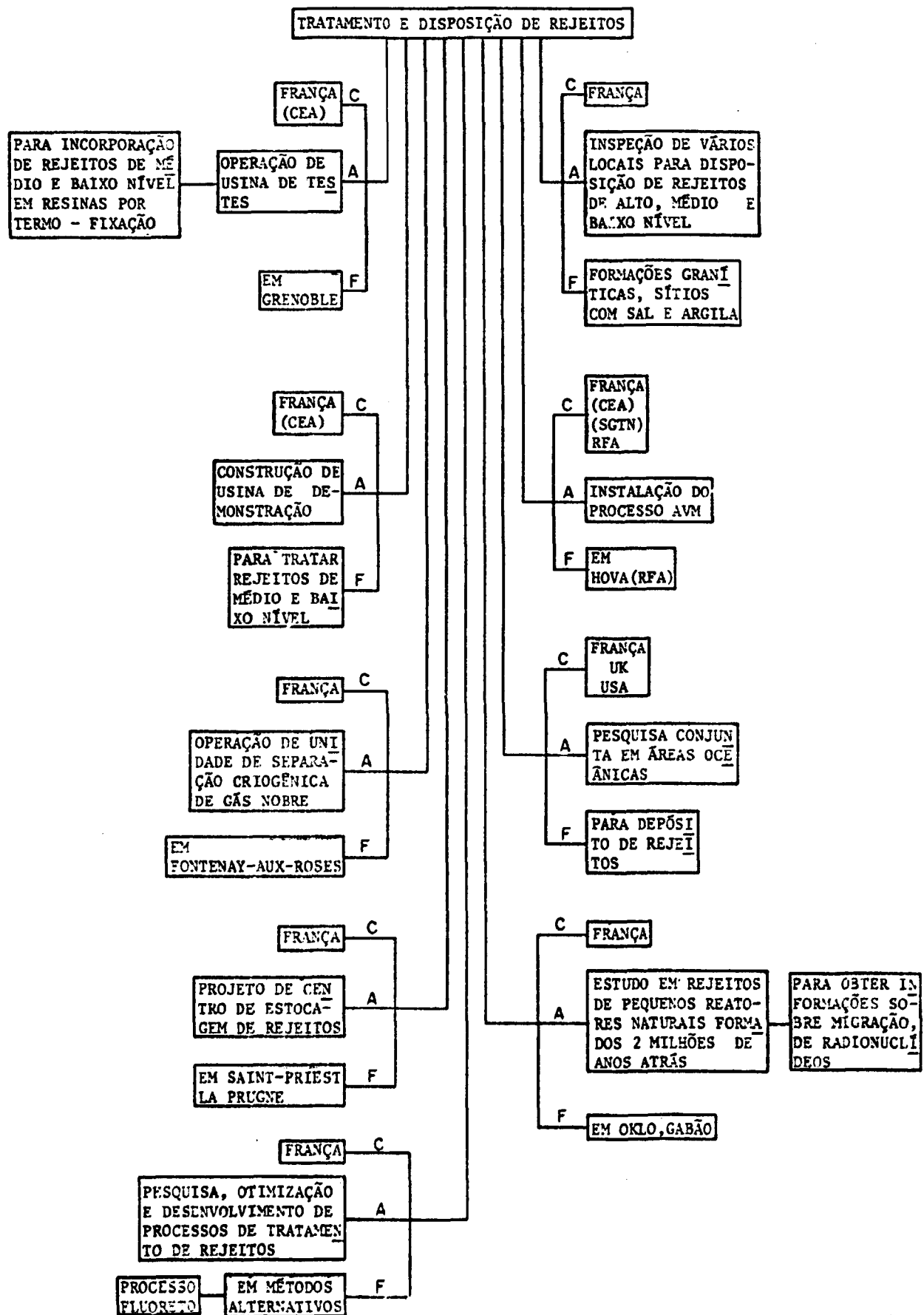


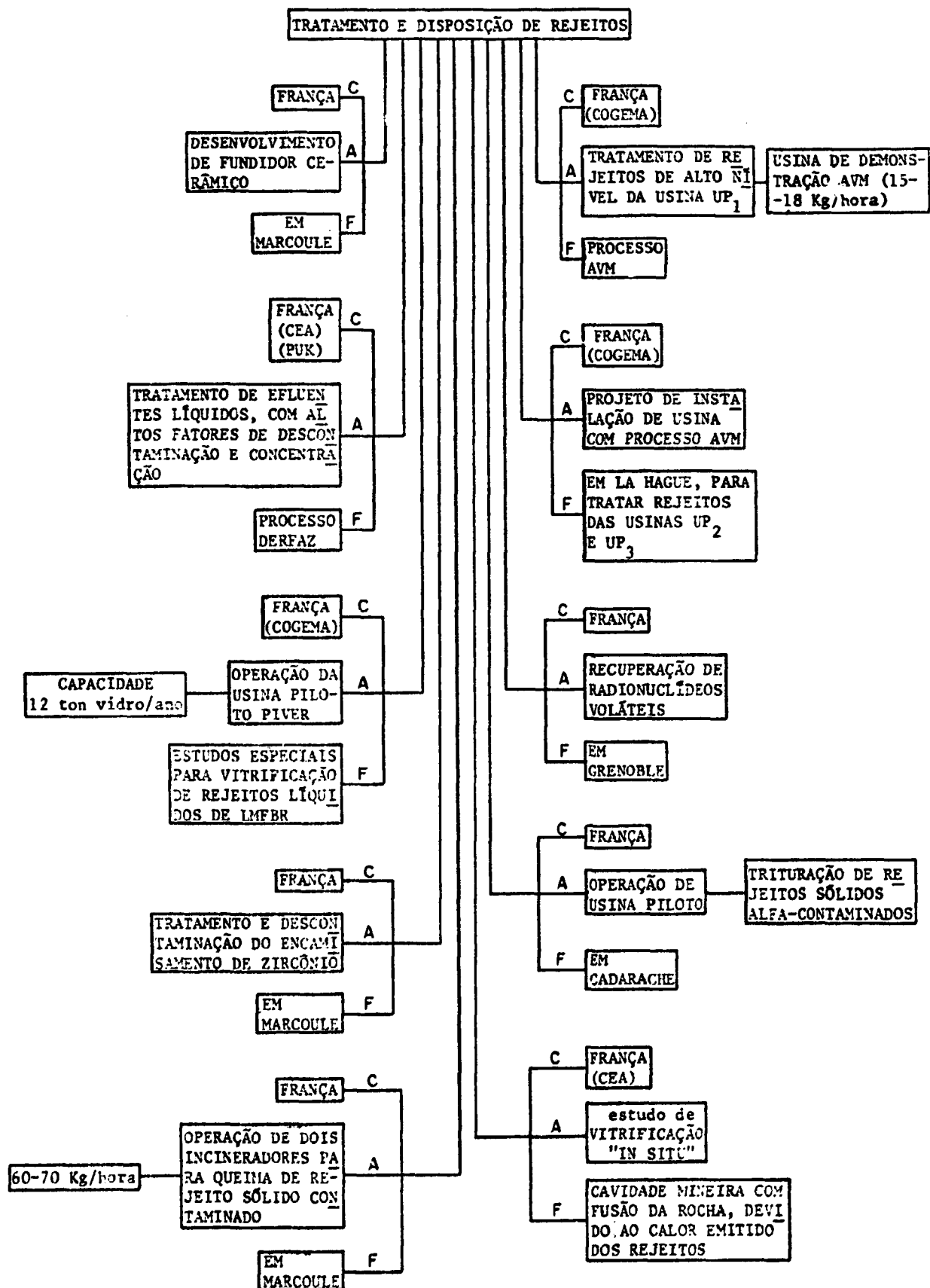


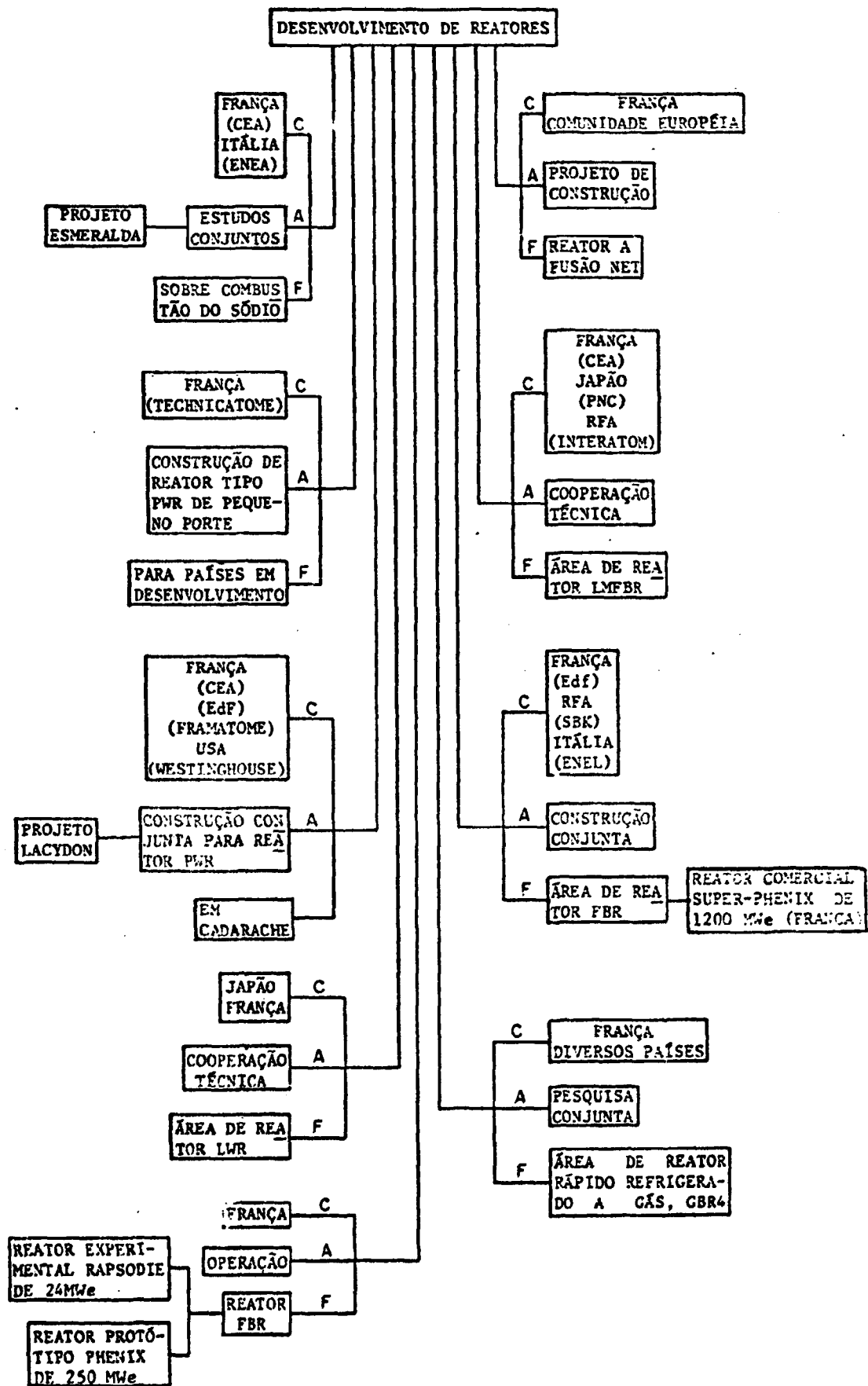


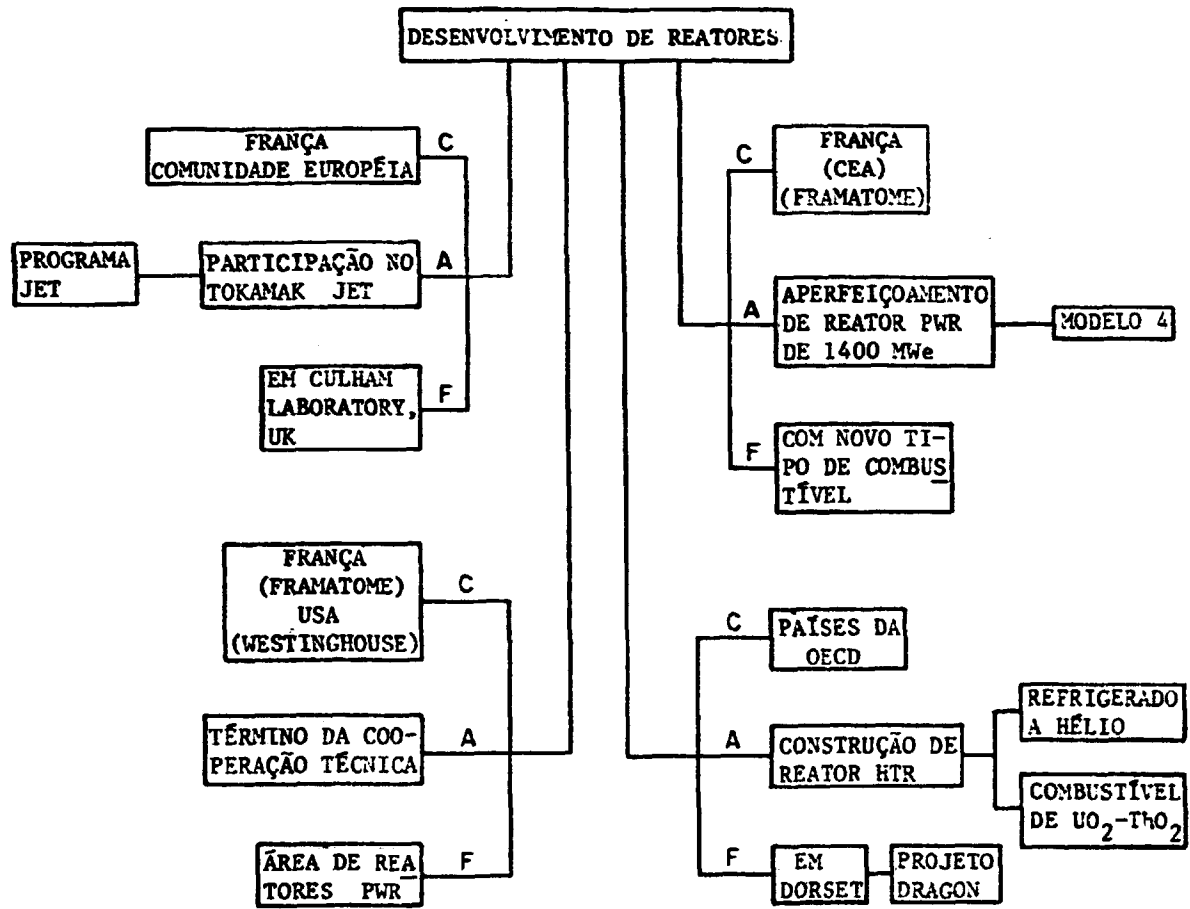


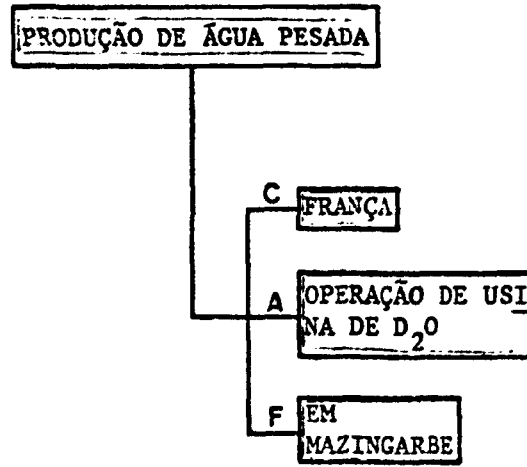


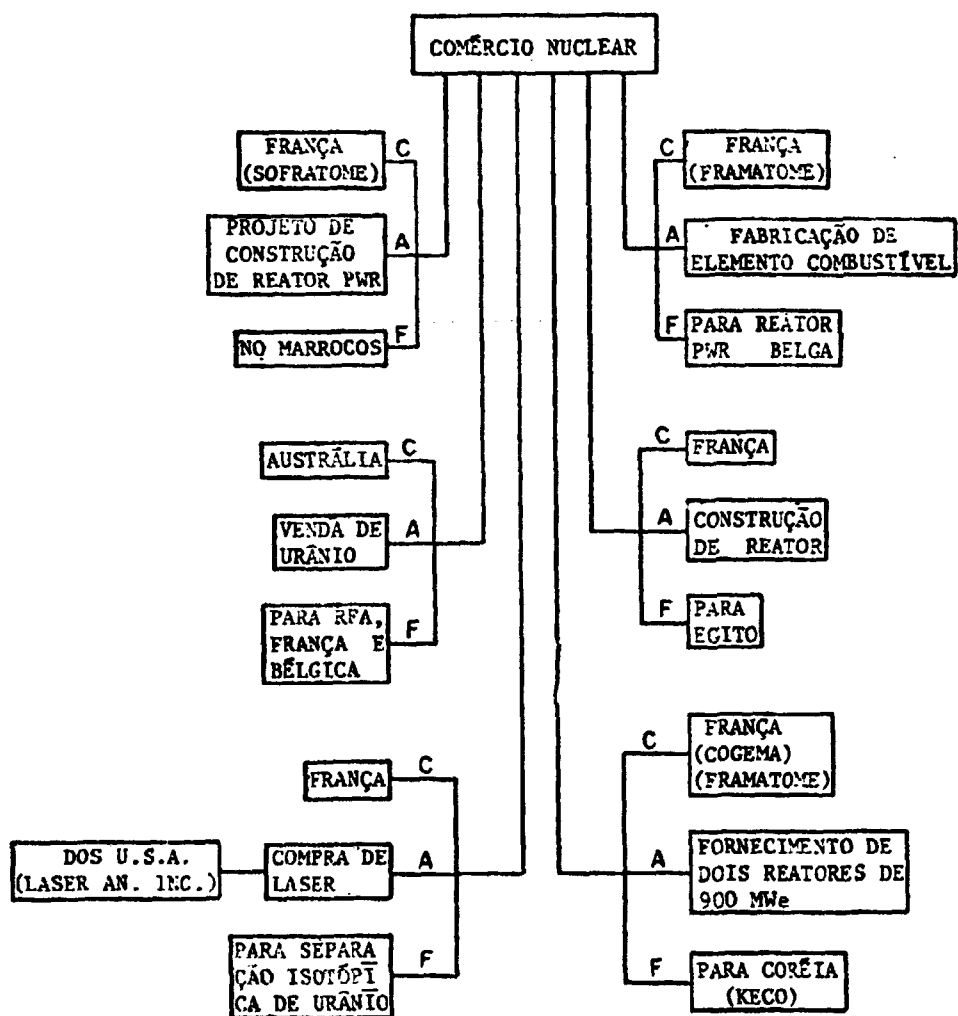




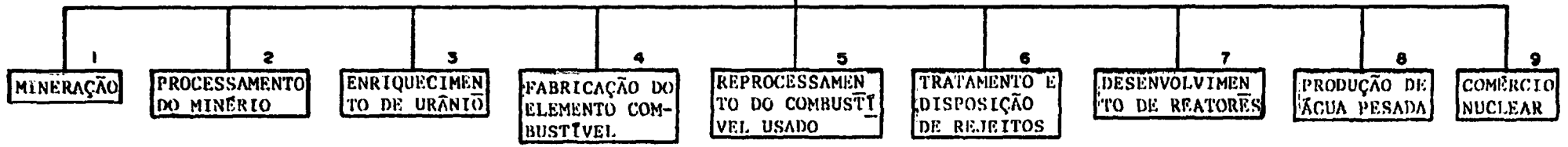


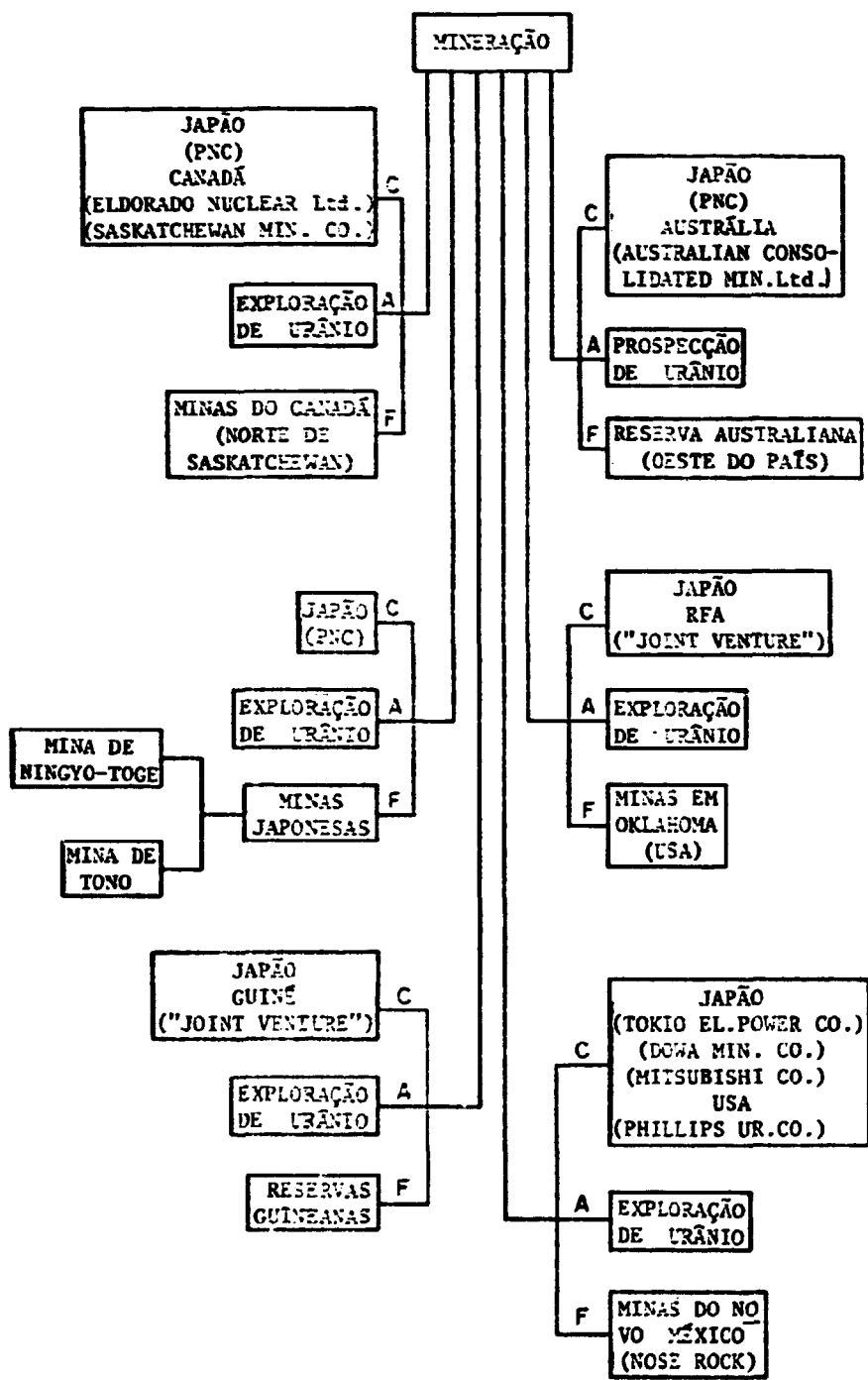


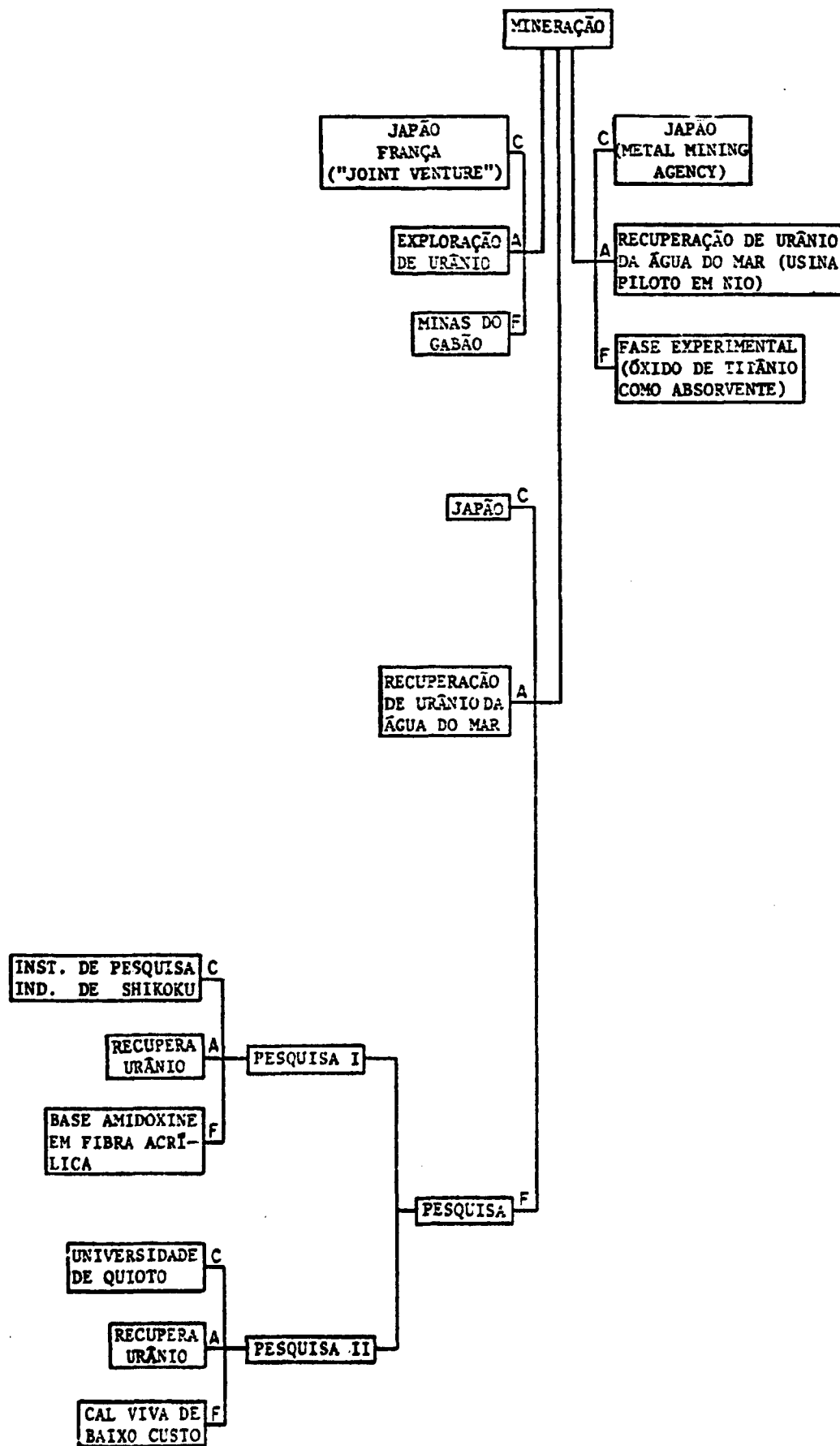


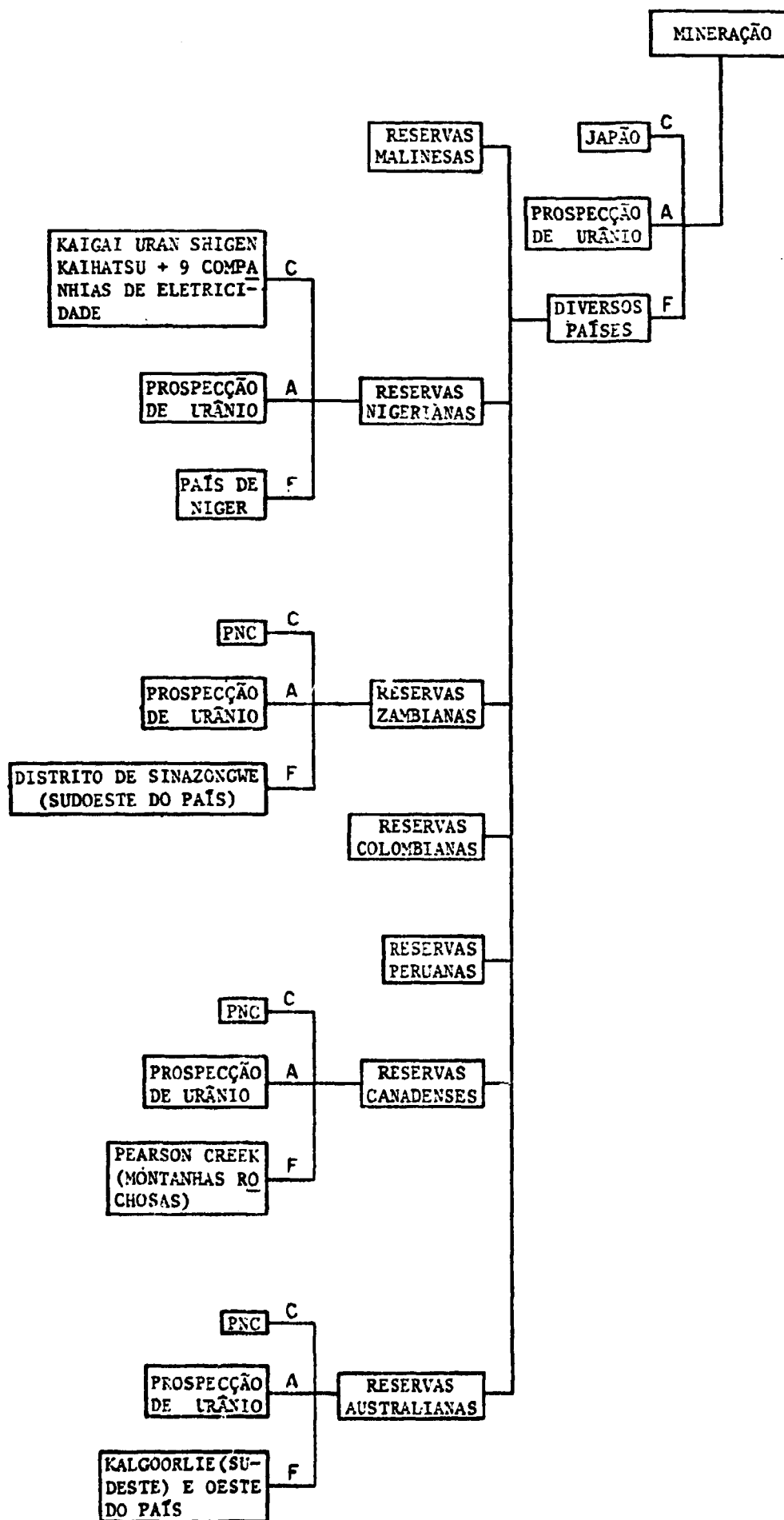


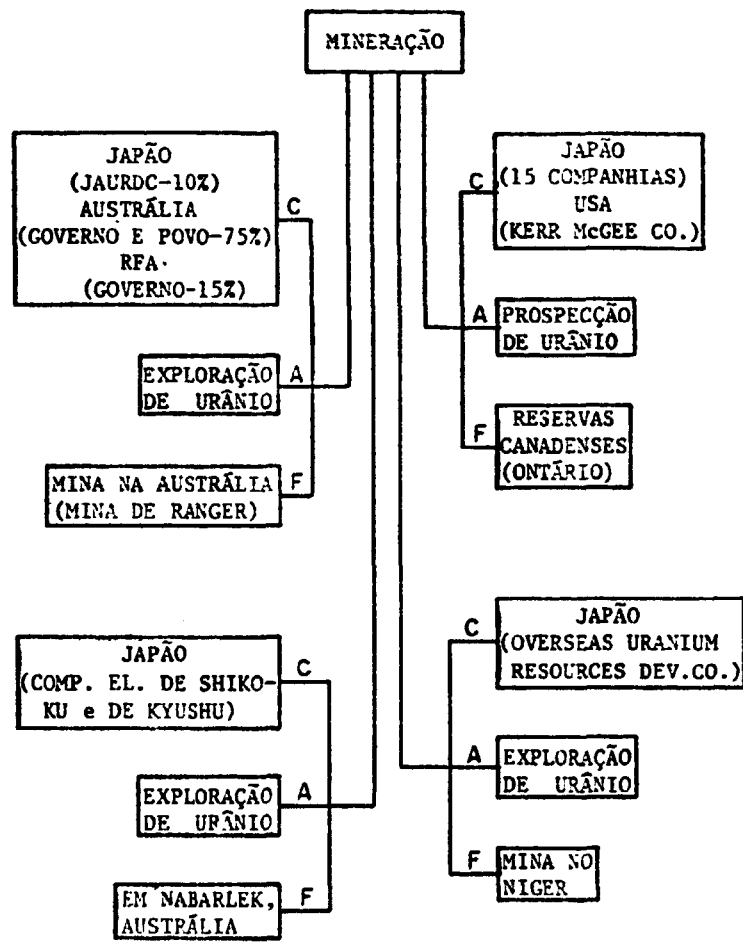
CICLO DO COMBUSTÍVEL
NUCLEAR DO JAPÃO

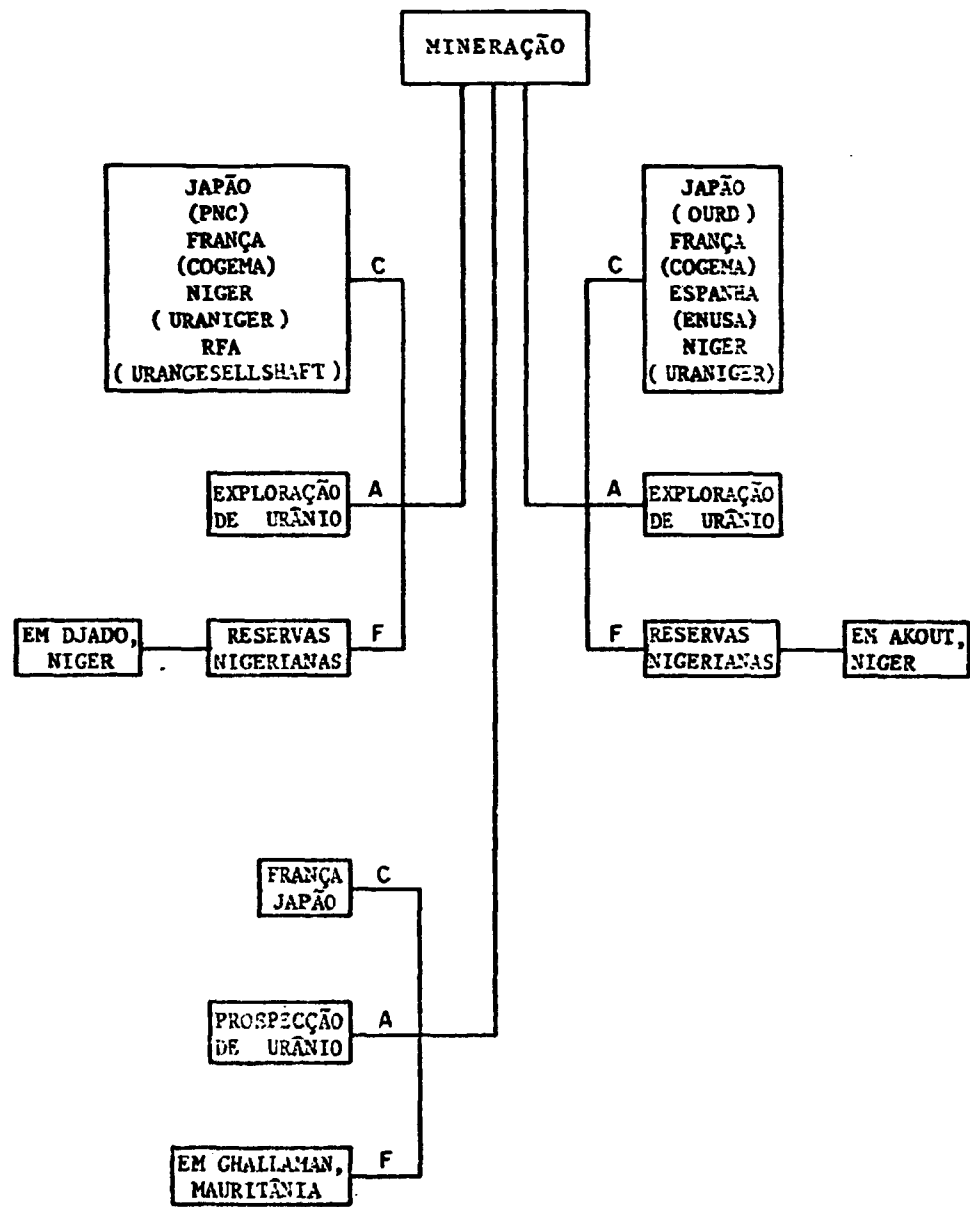


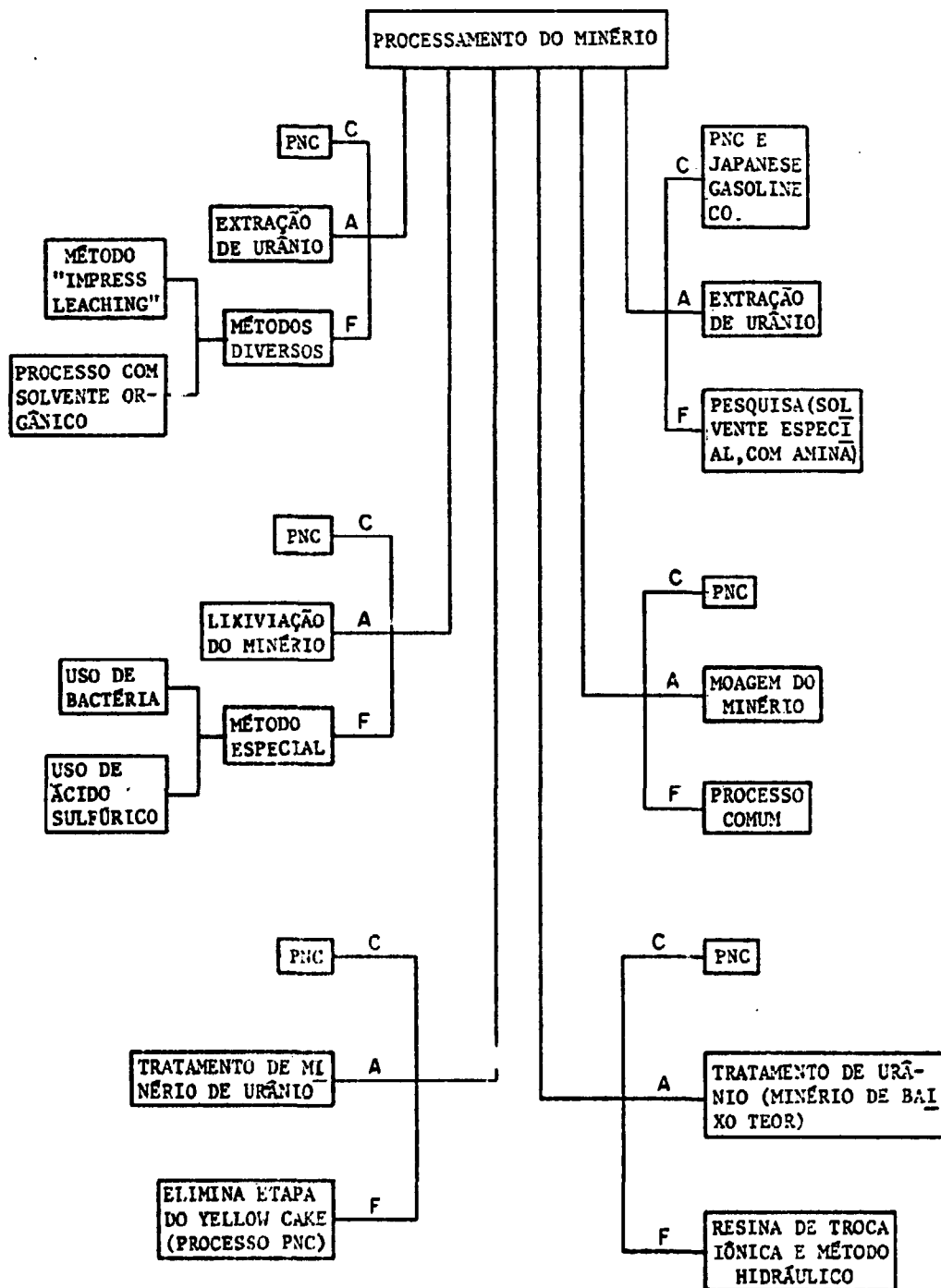


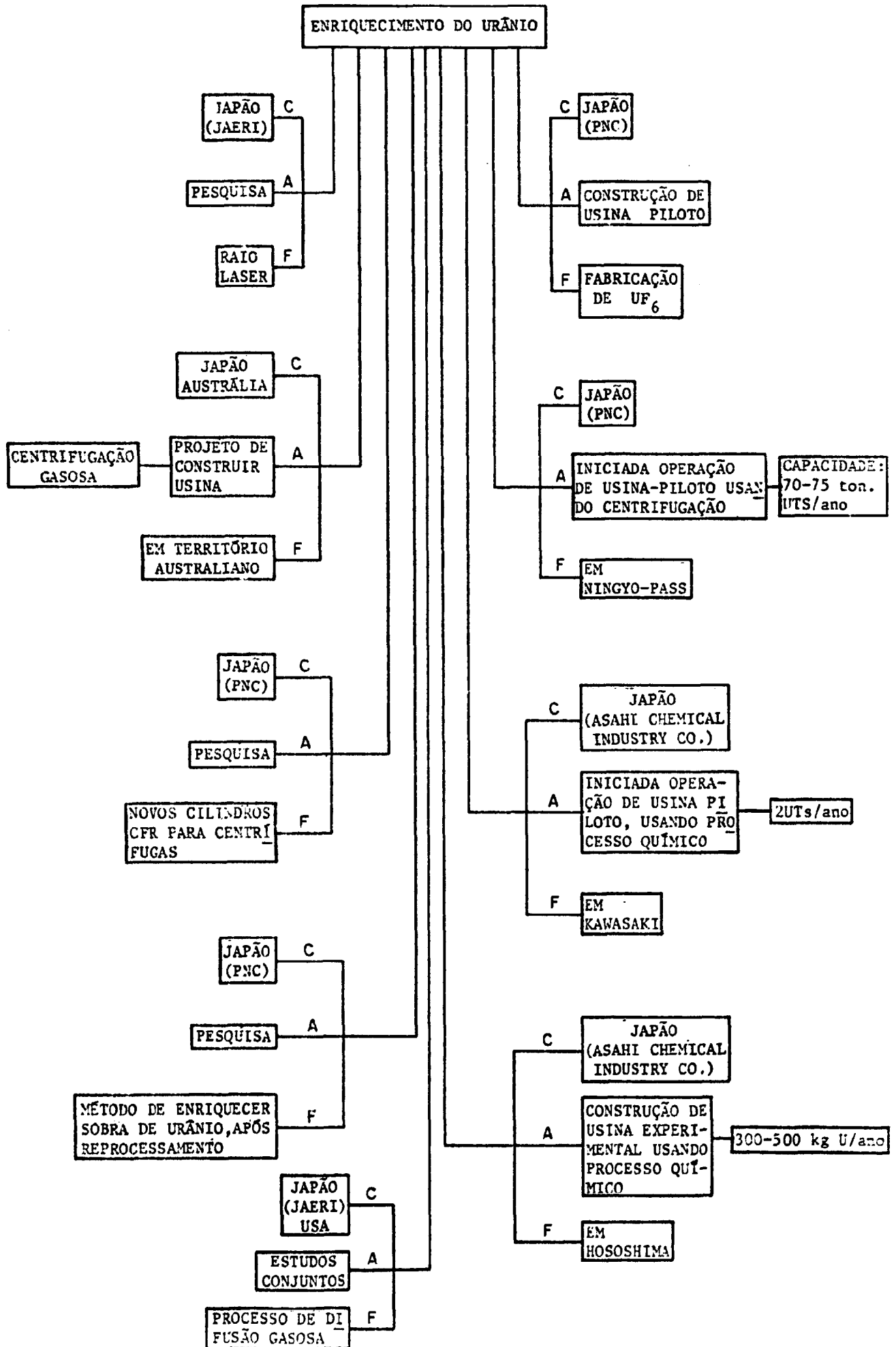


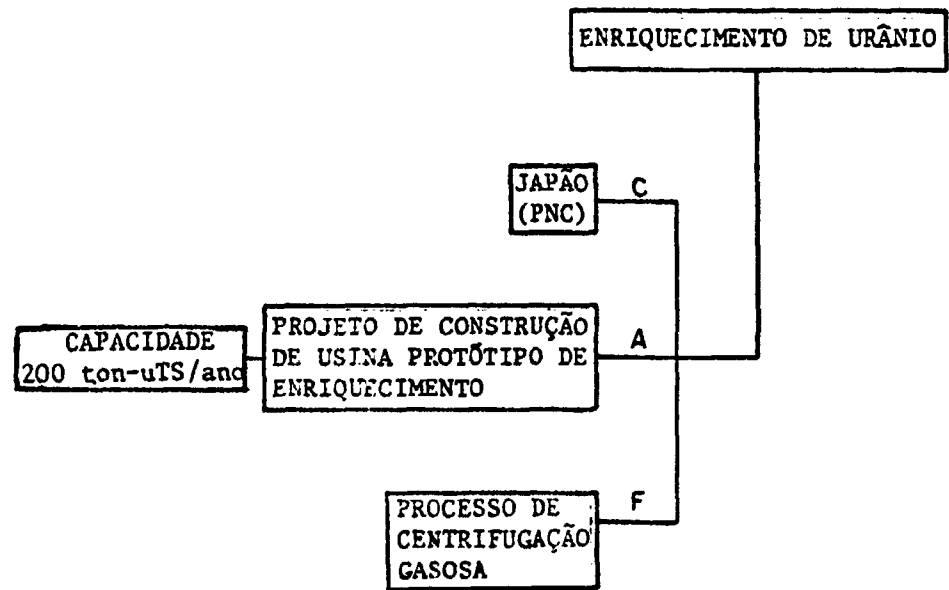


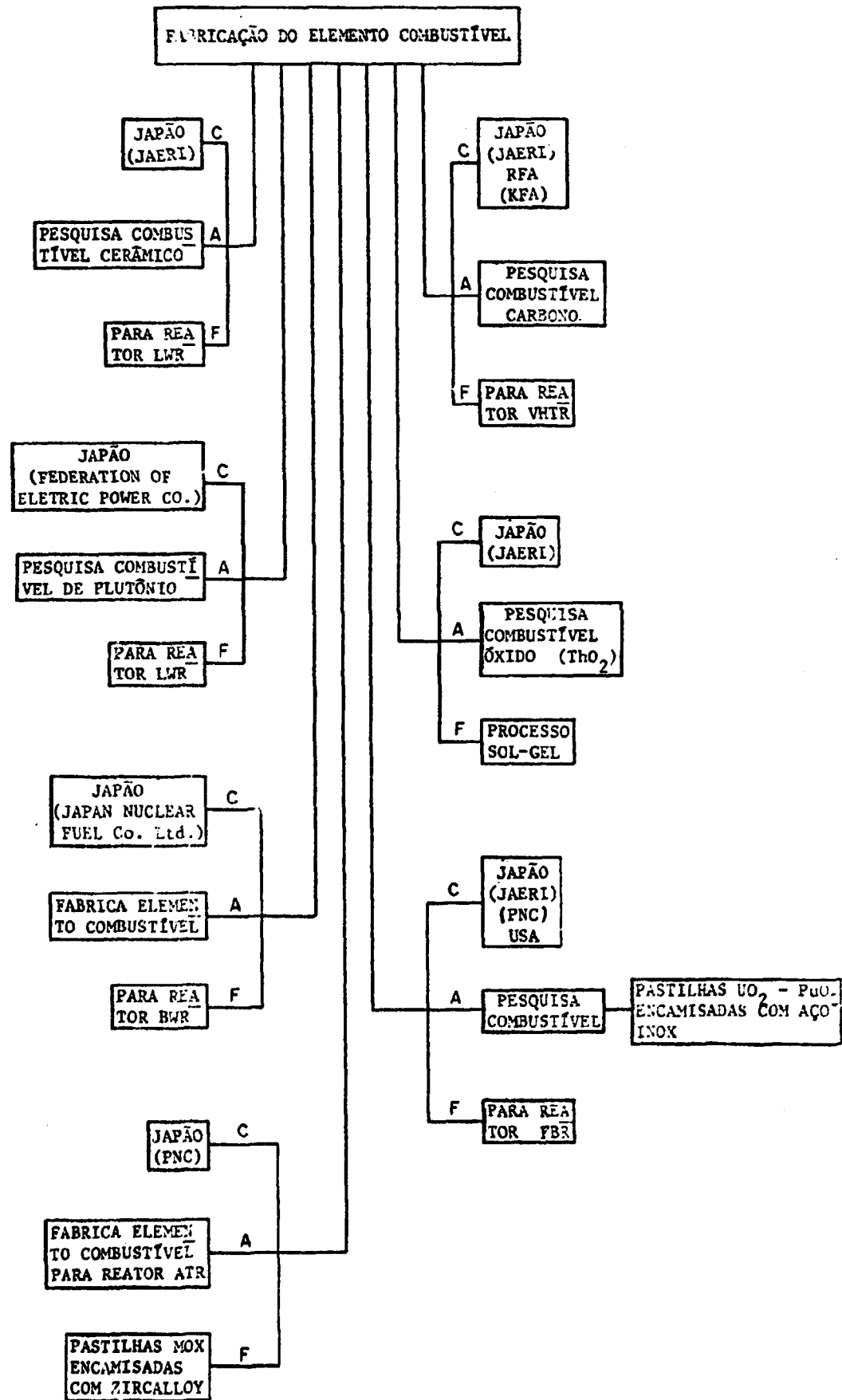


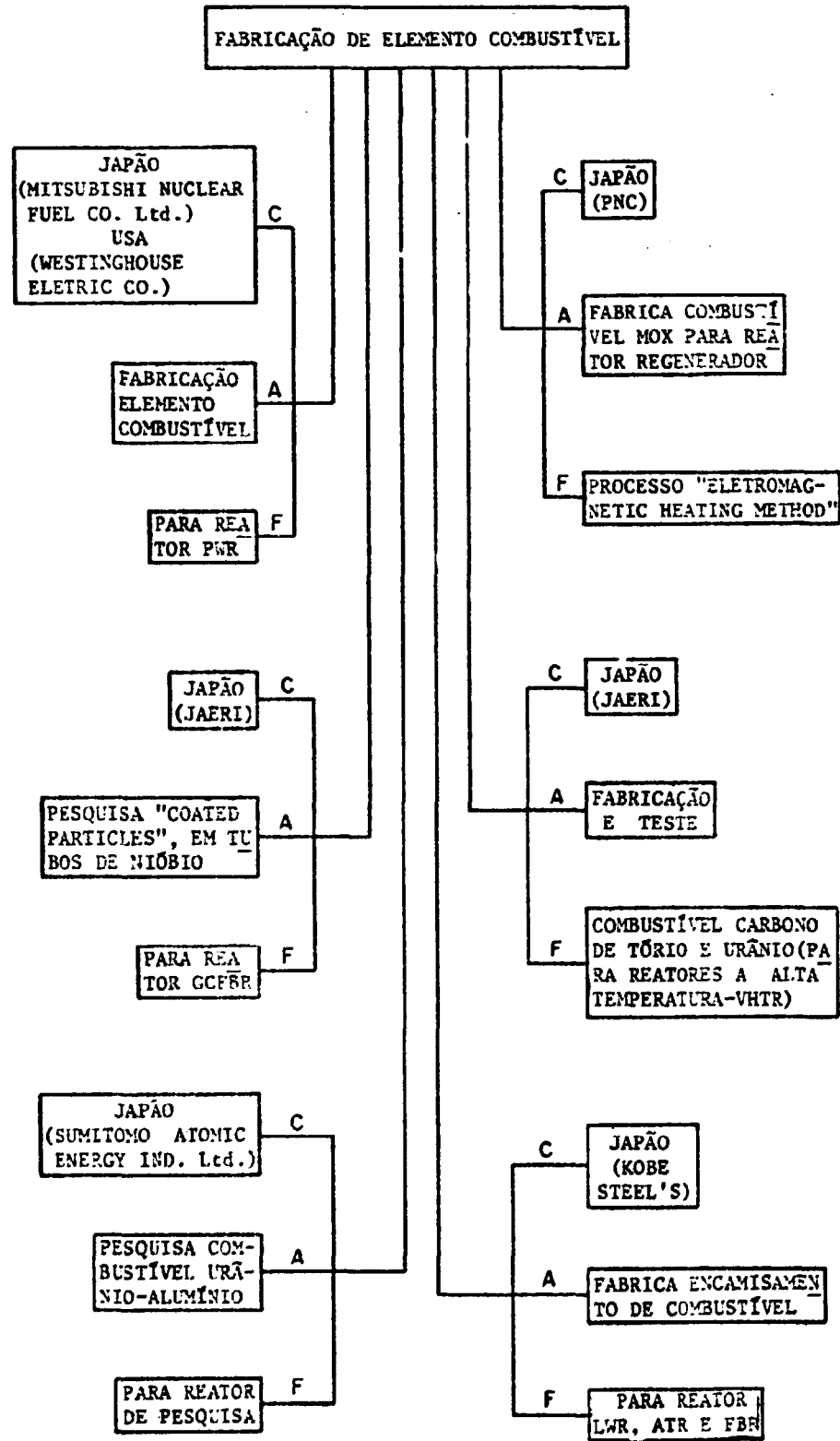


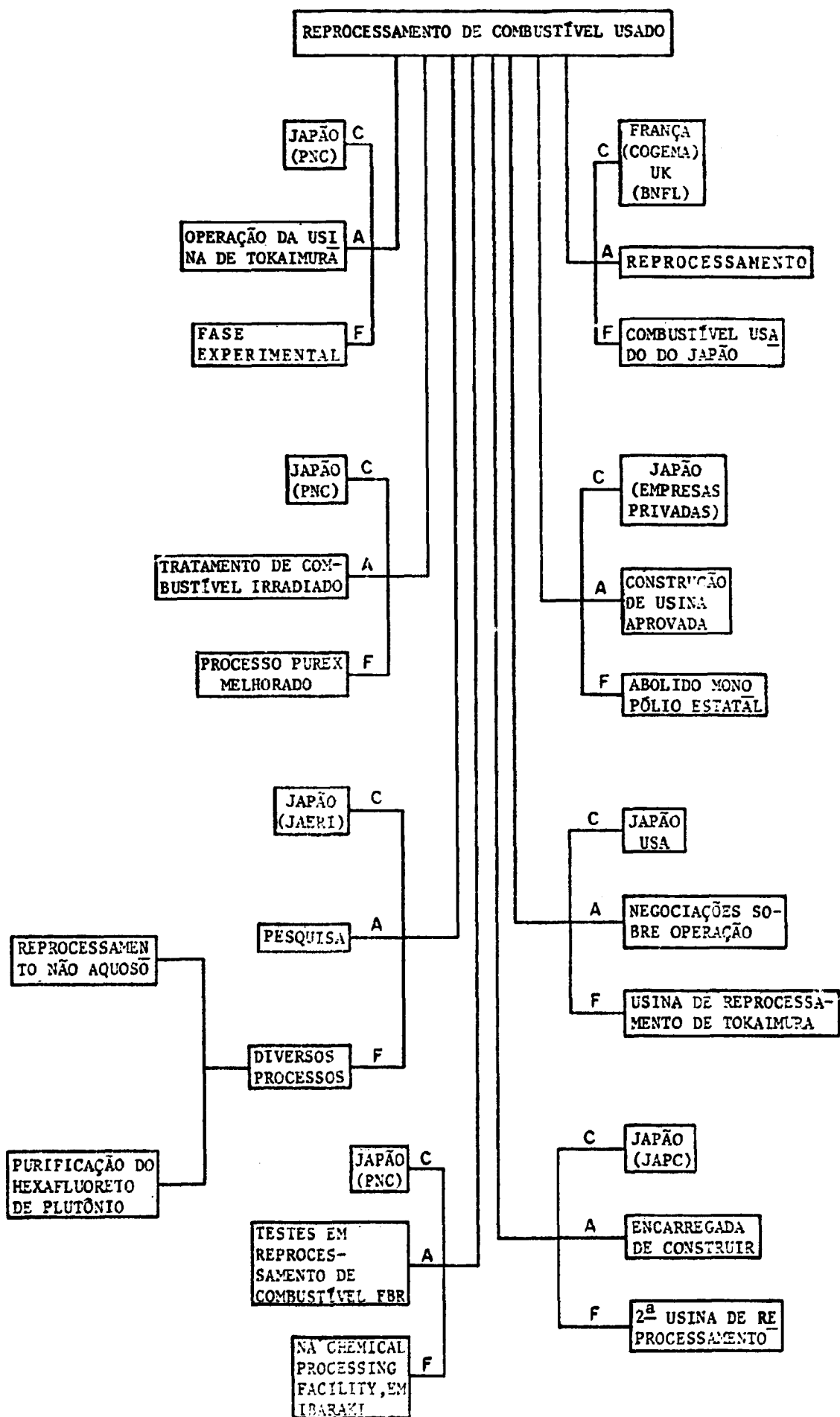


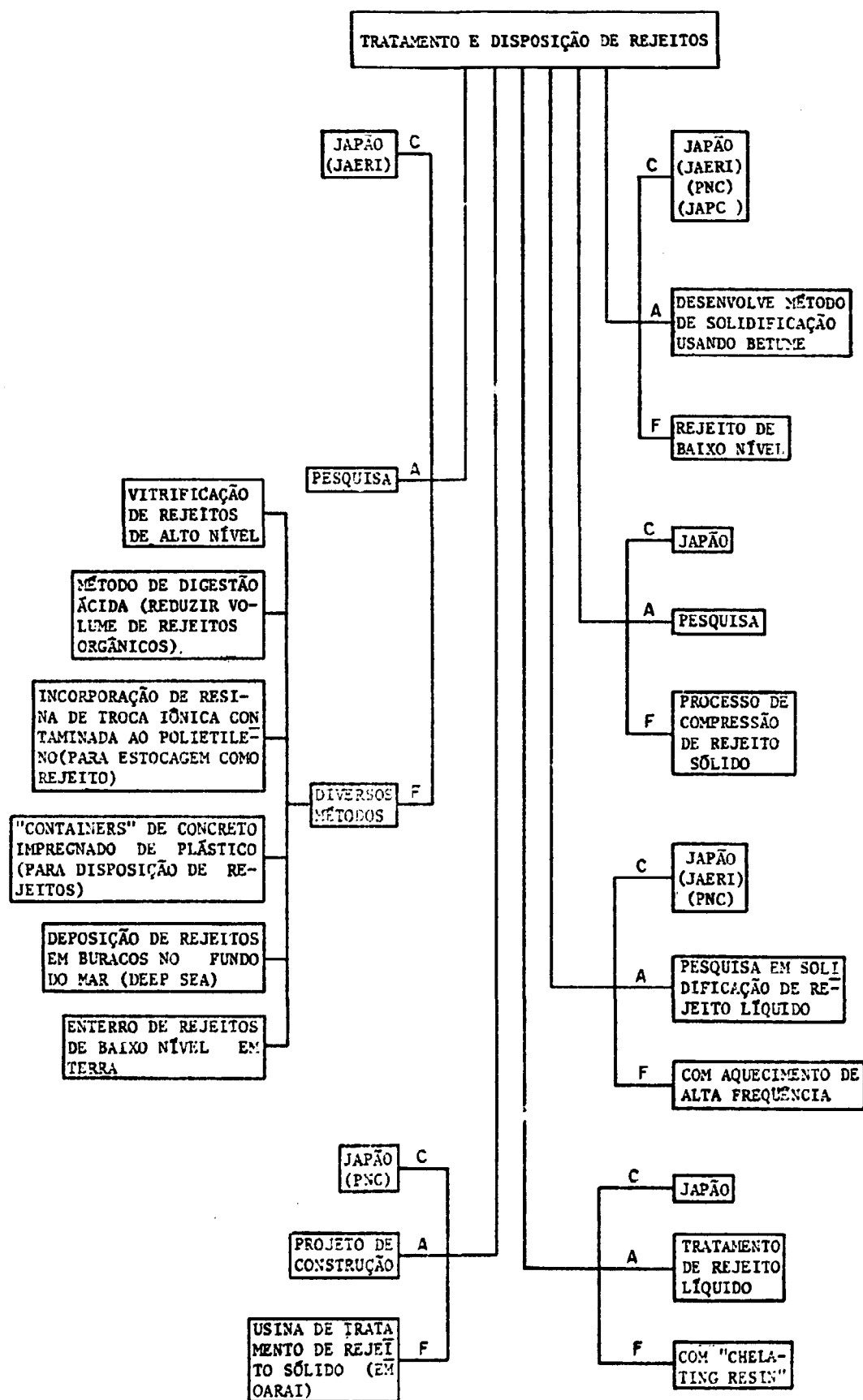


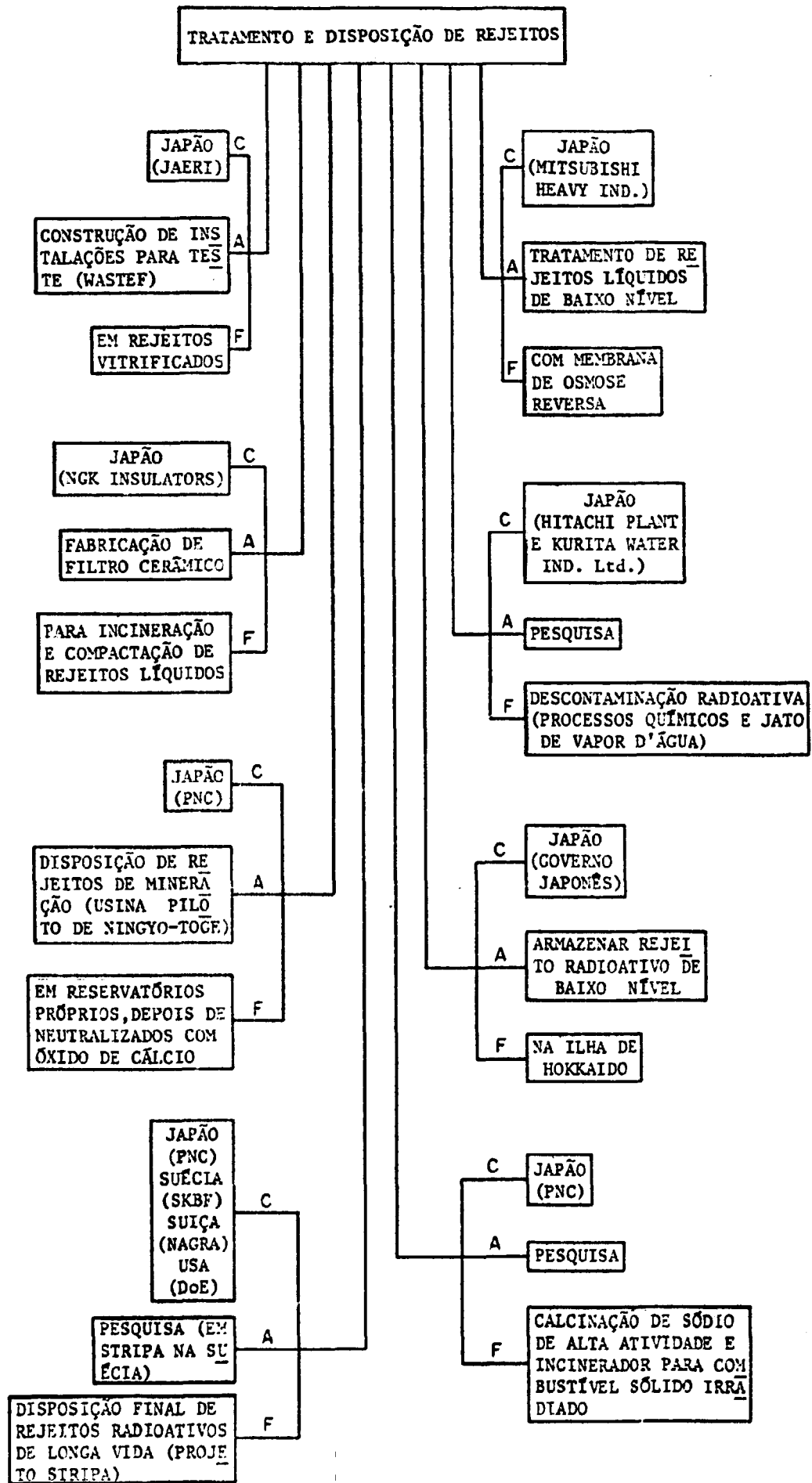


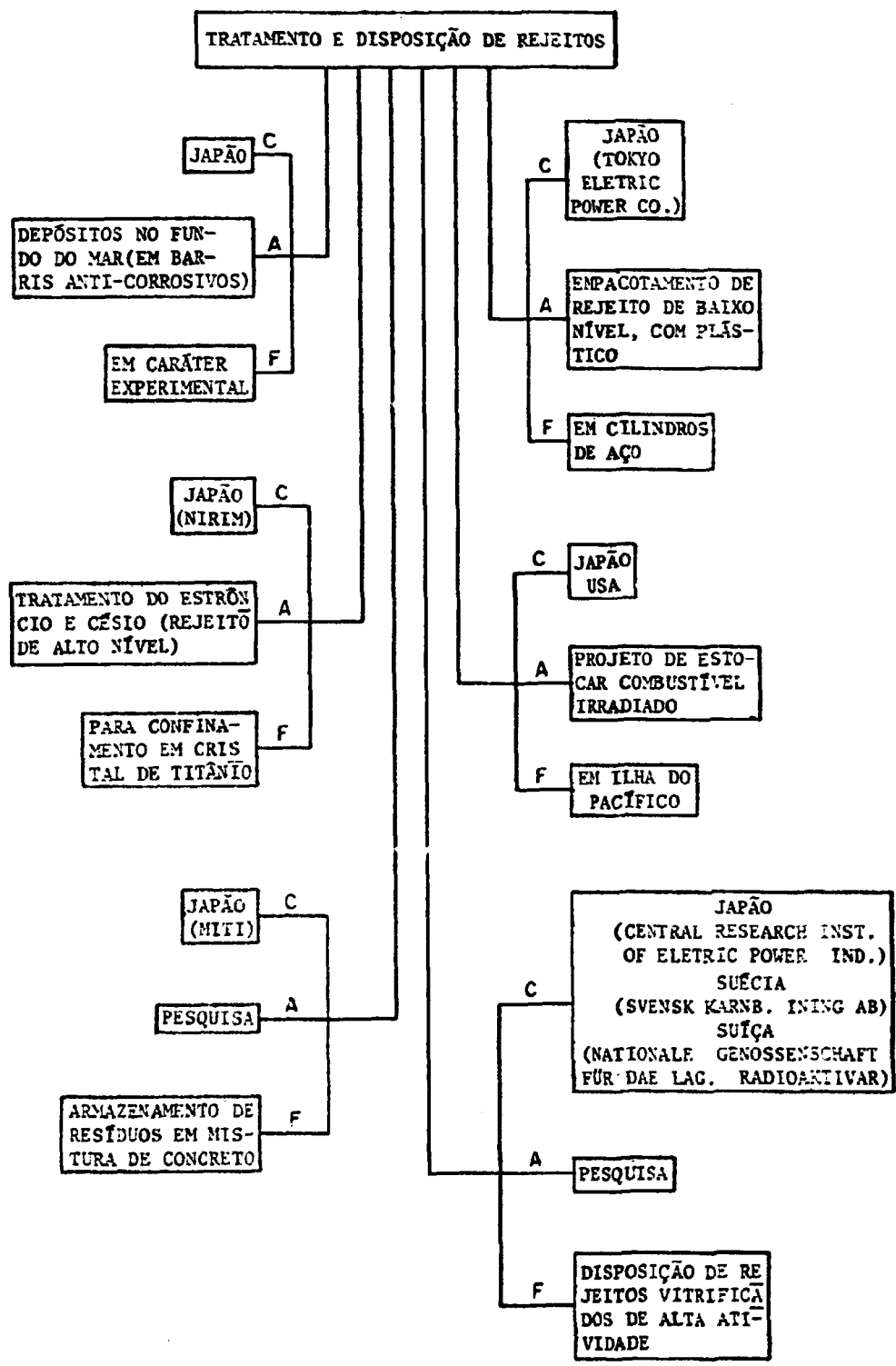


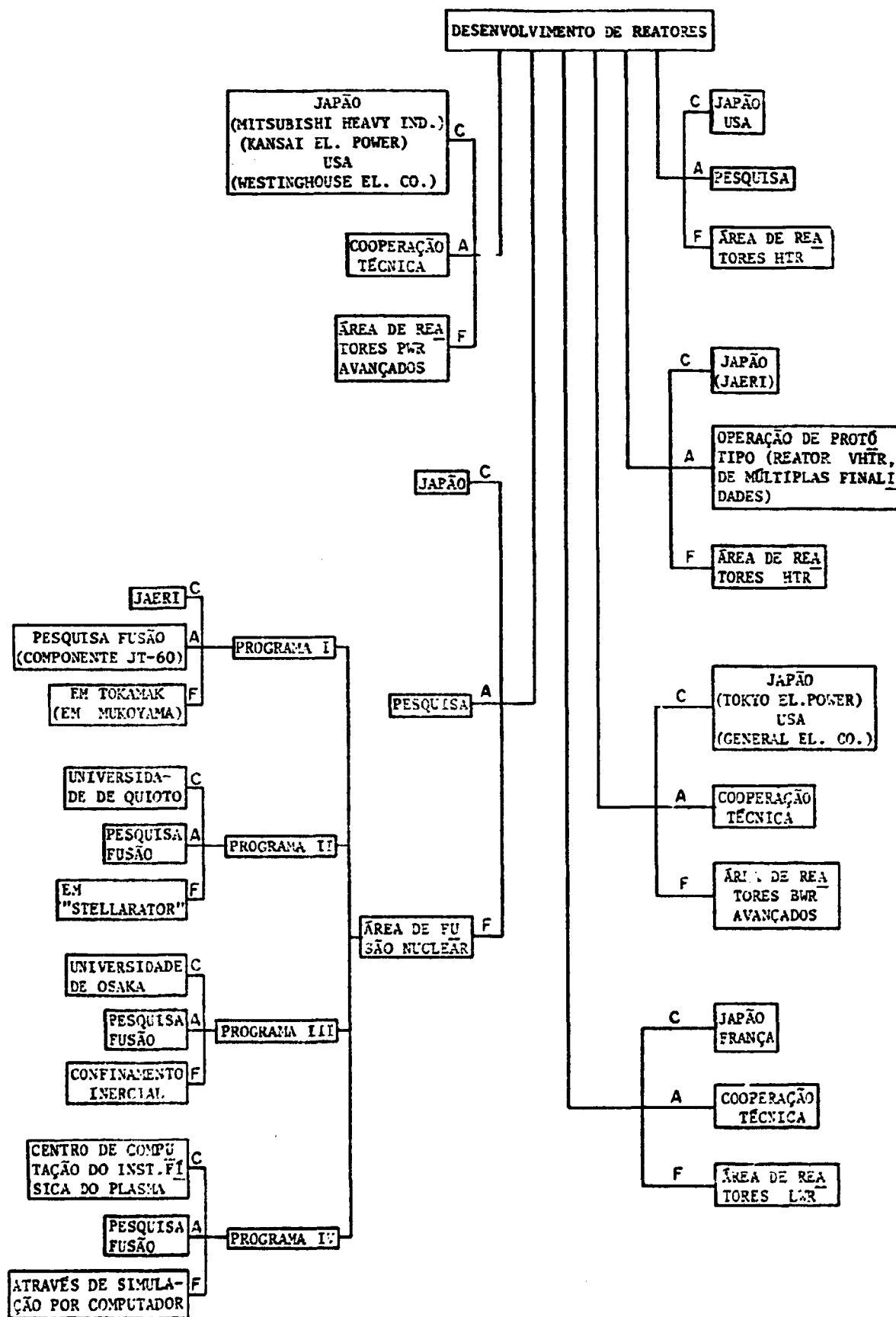


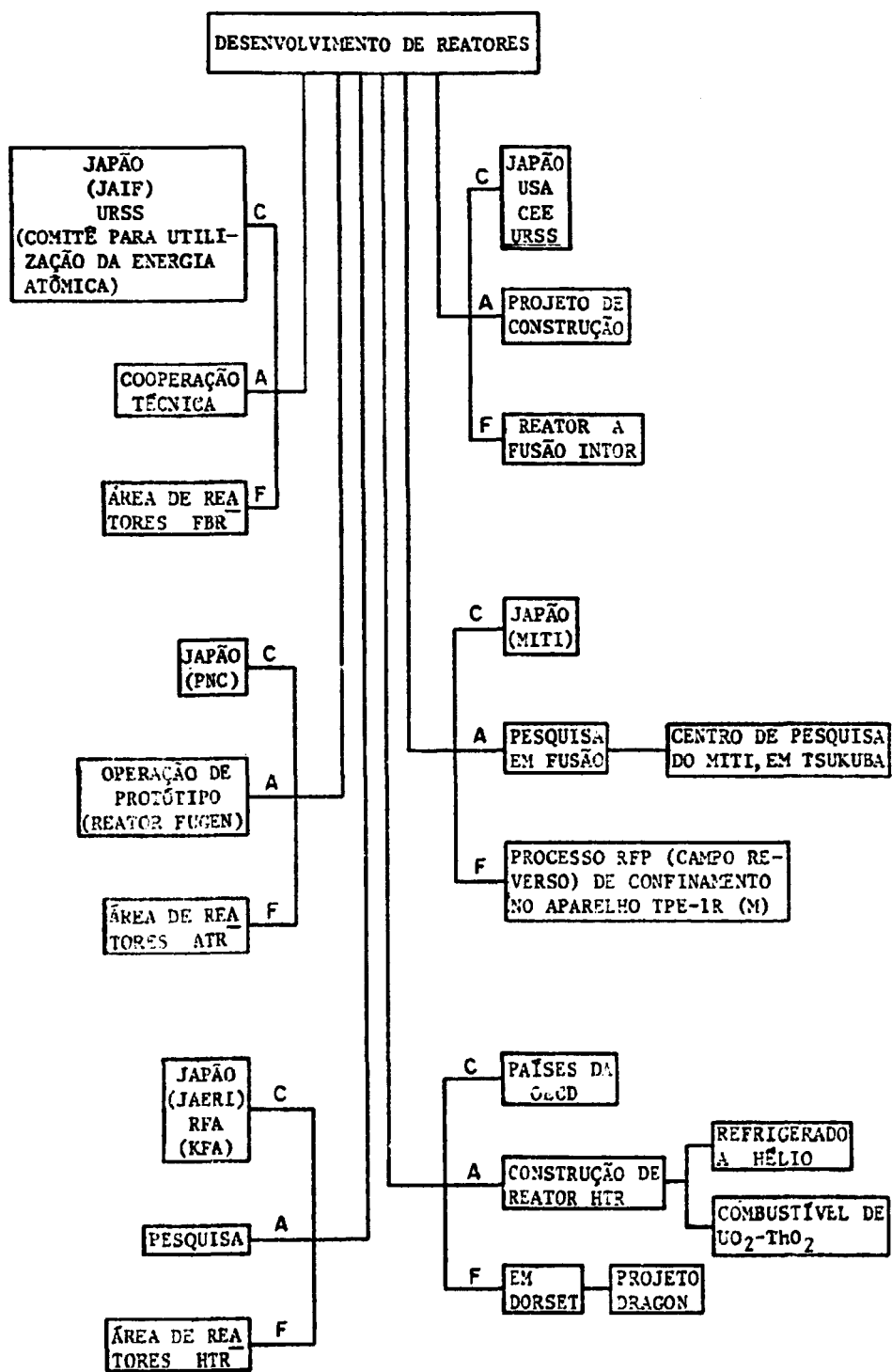


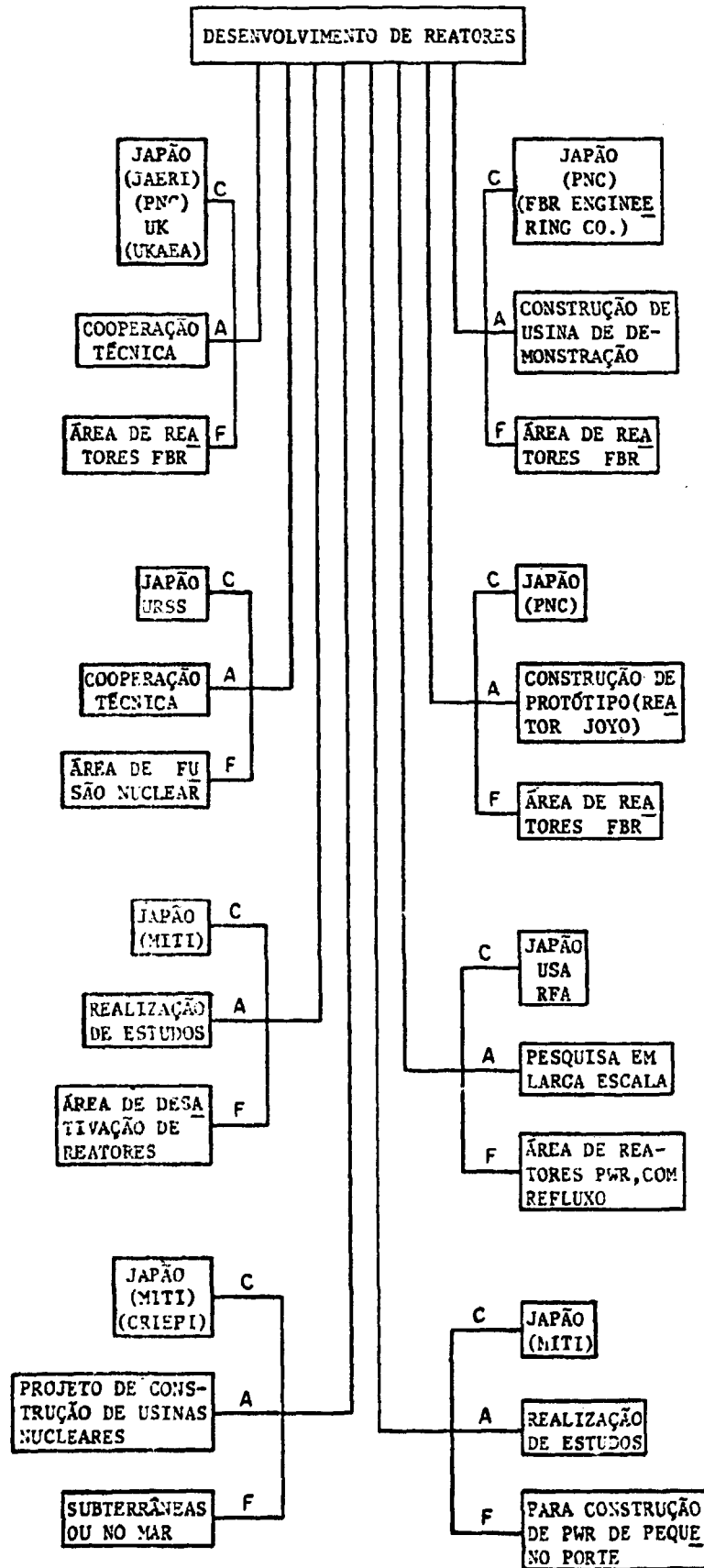


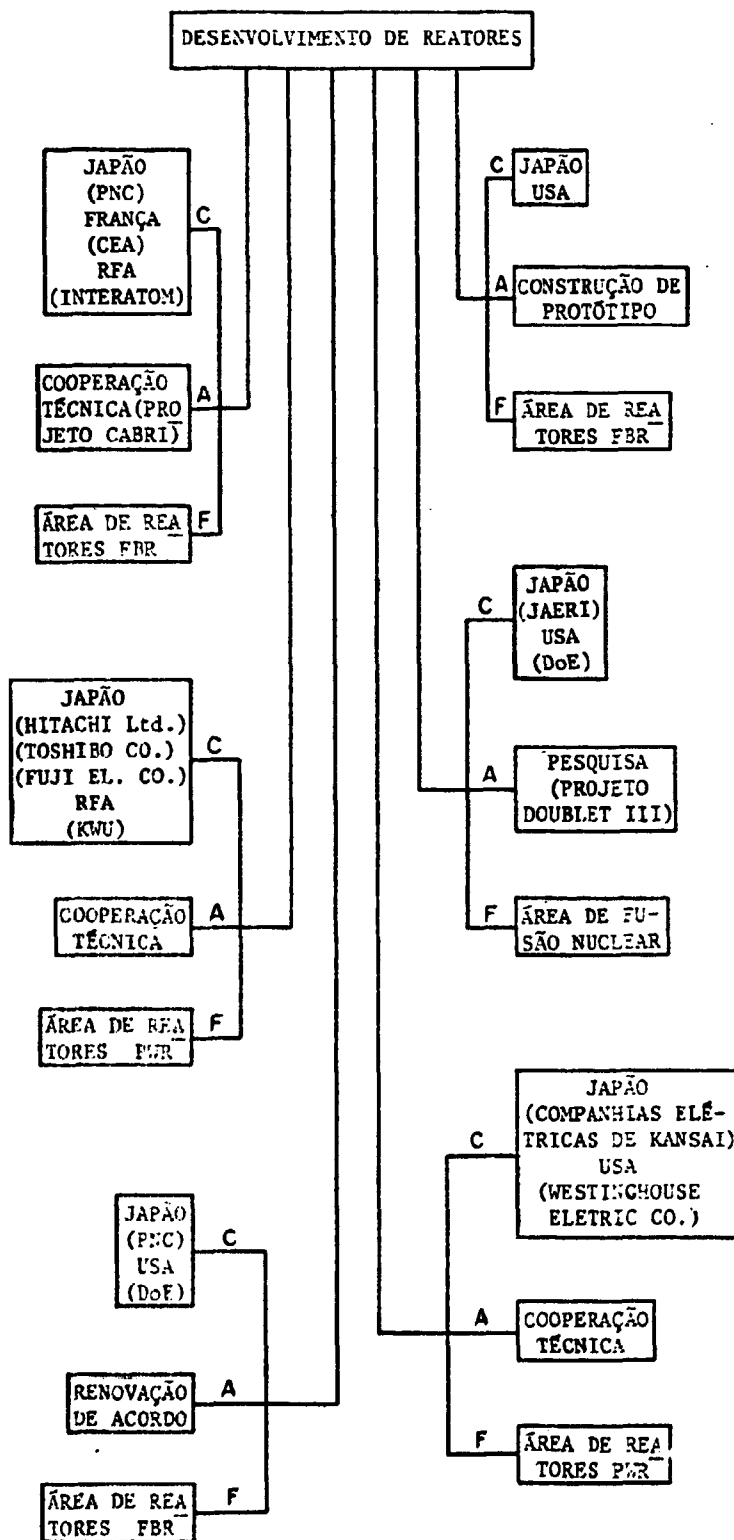


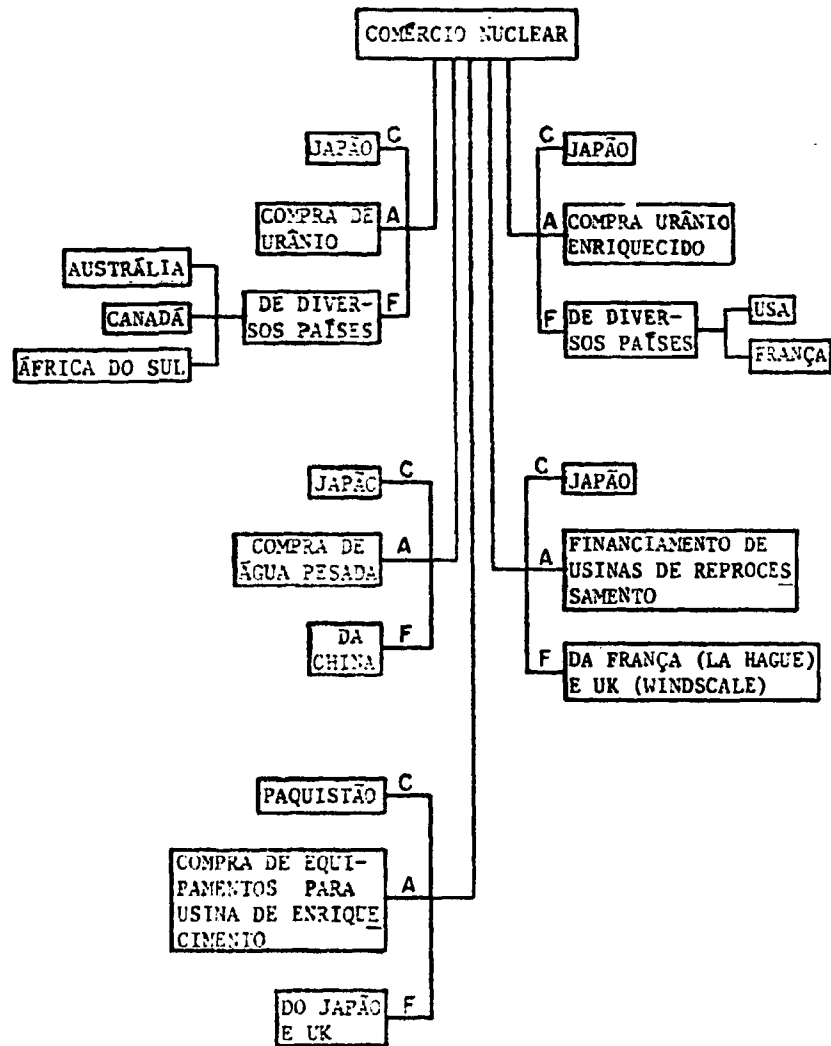




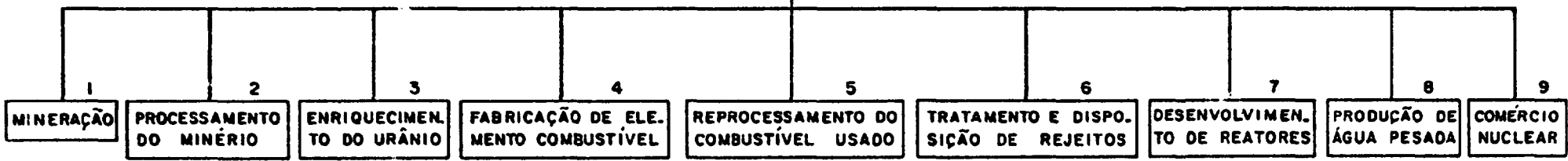


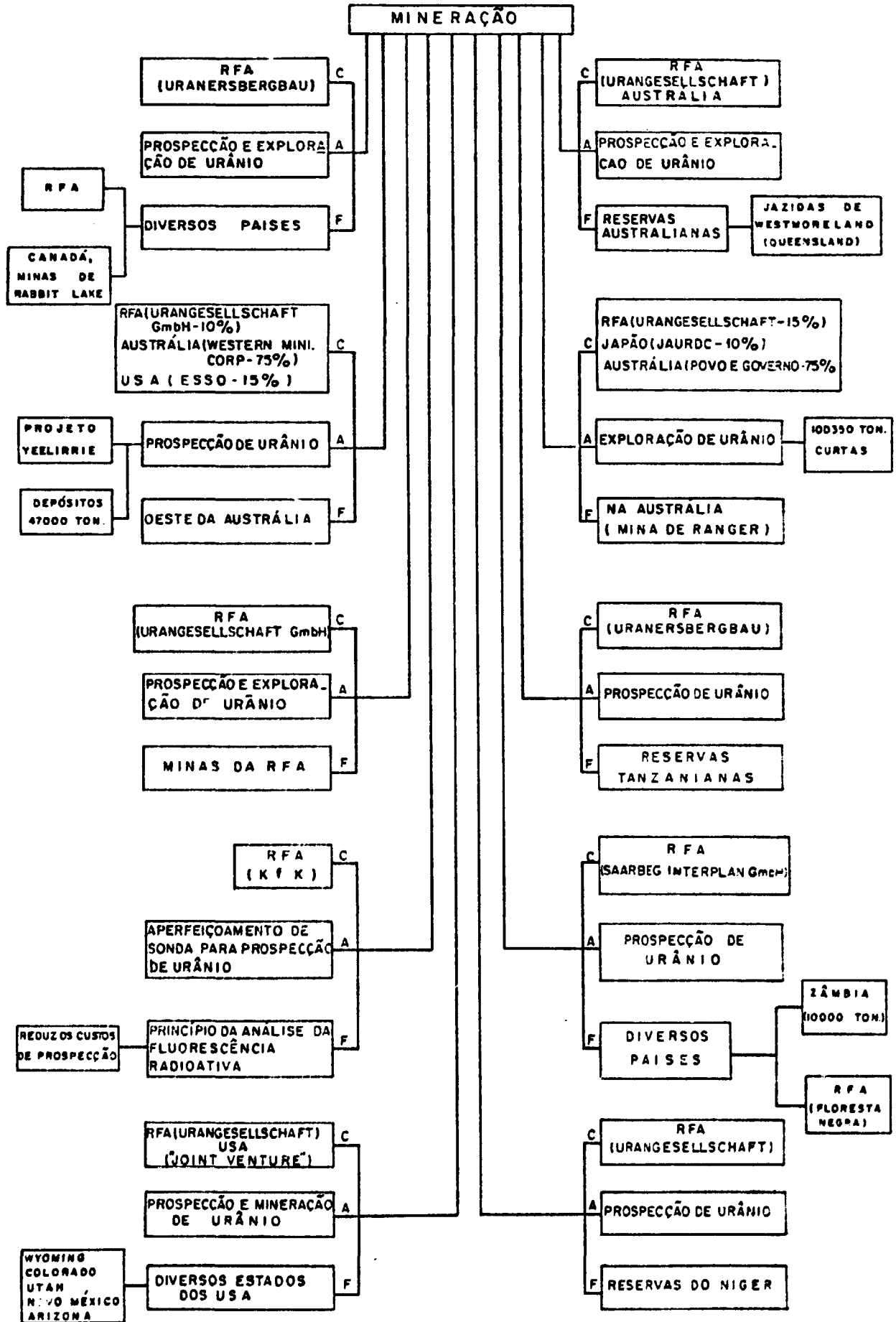


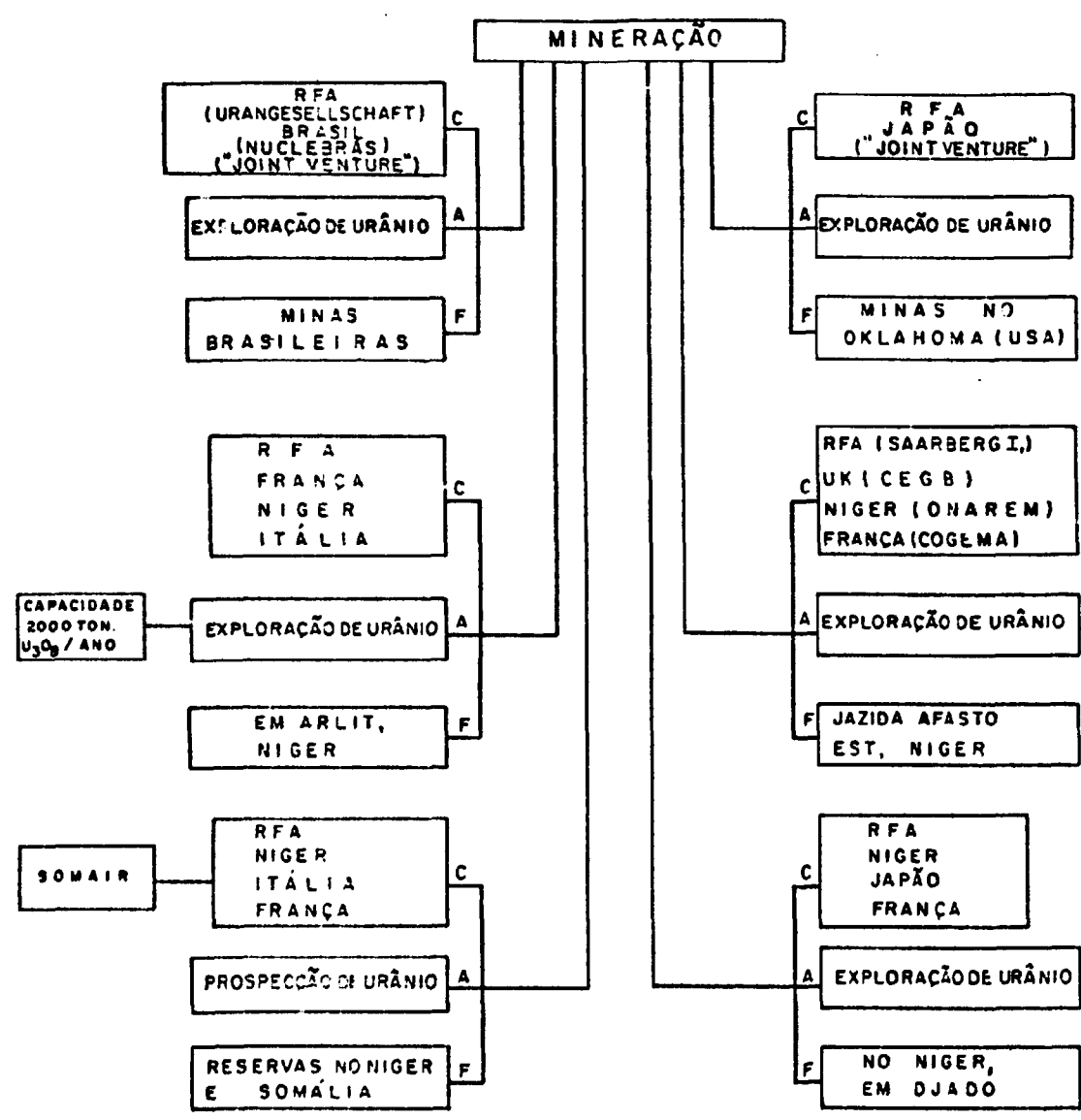


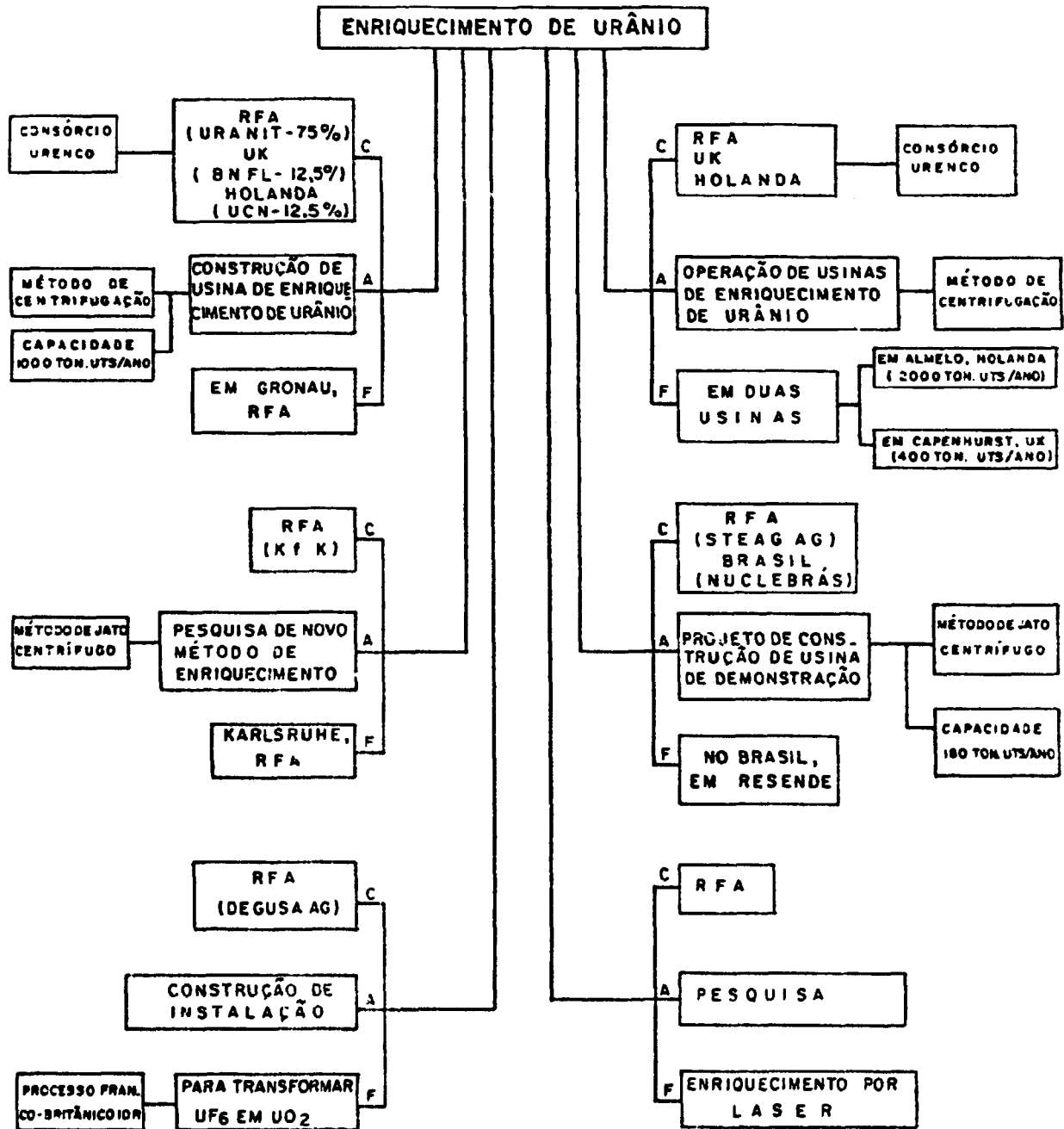


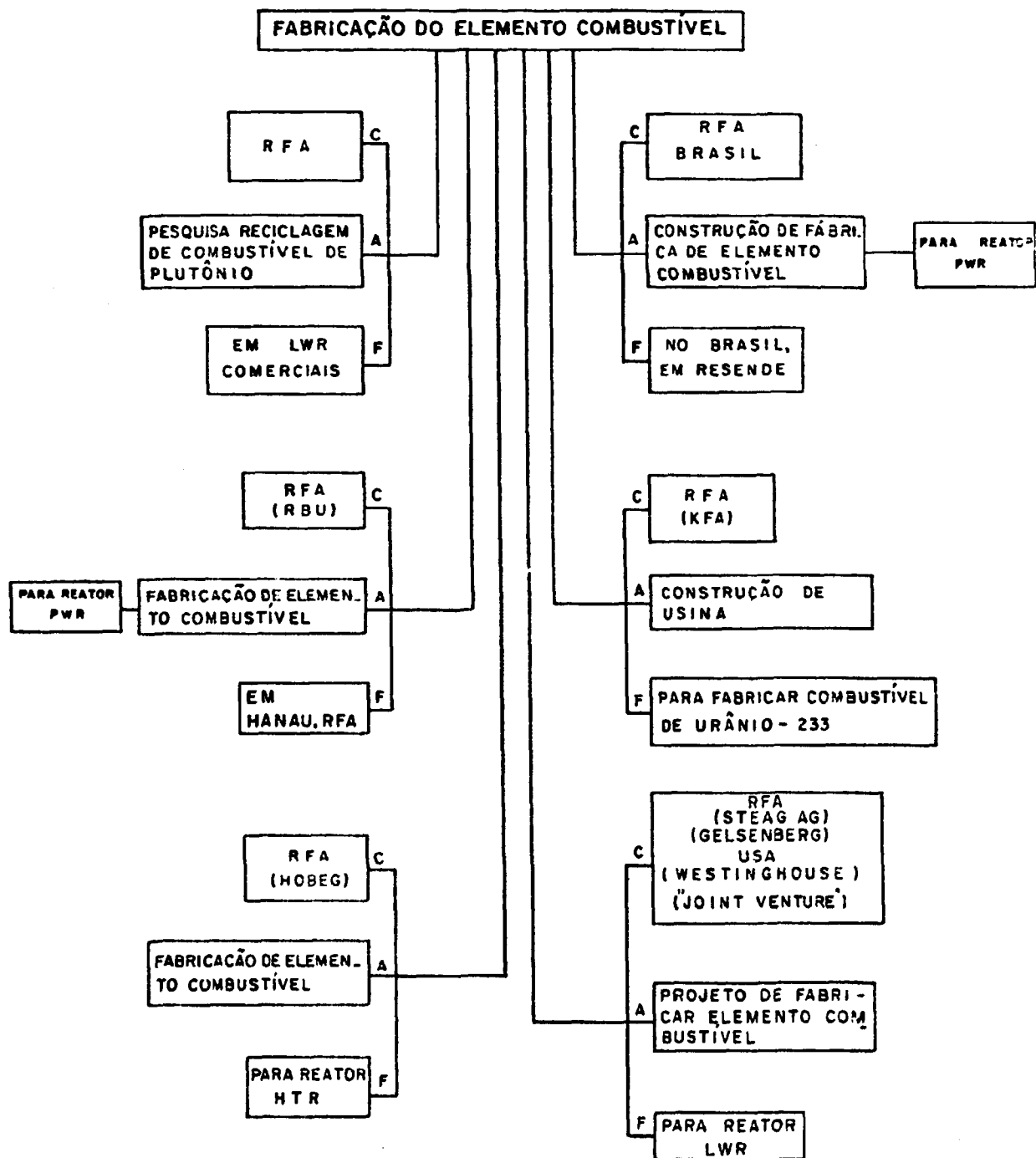
**CICLO DO COMBUSTÍVEL
NUCLEAR DA RFA**

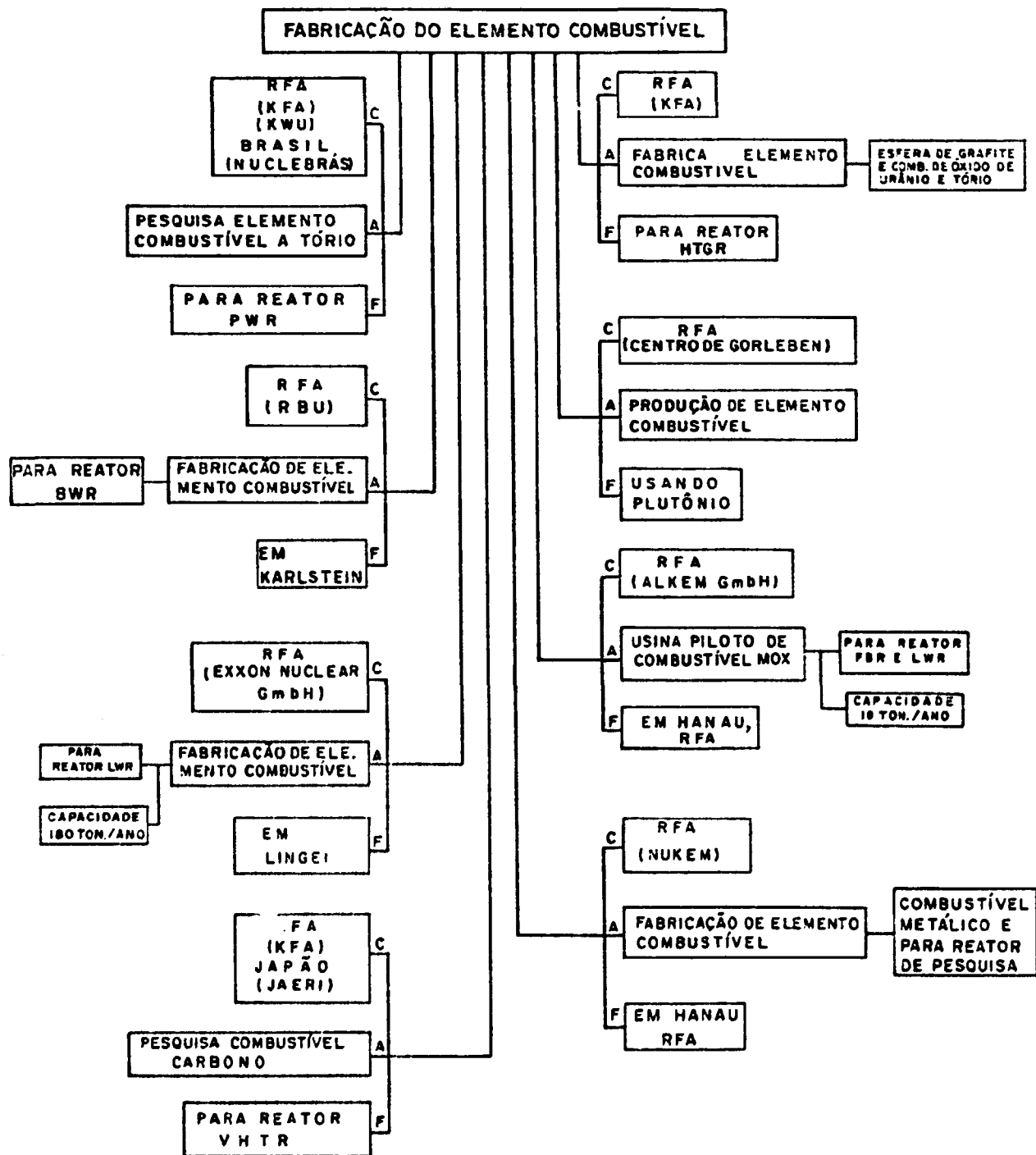


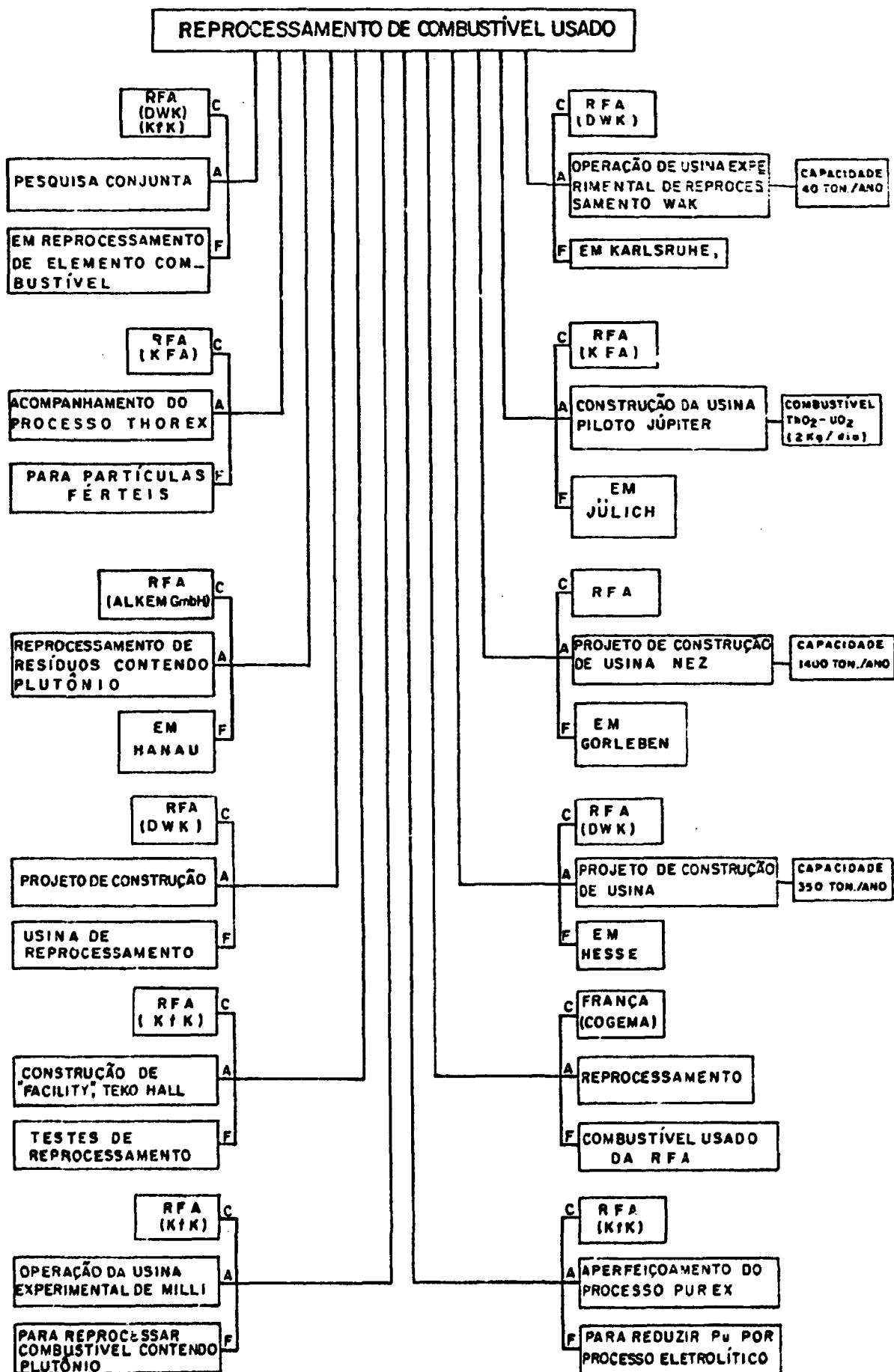


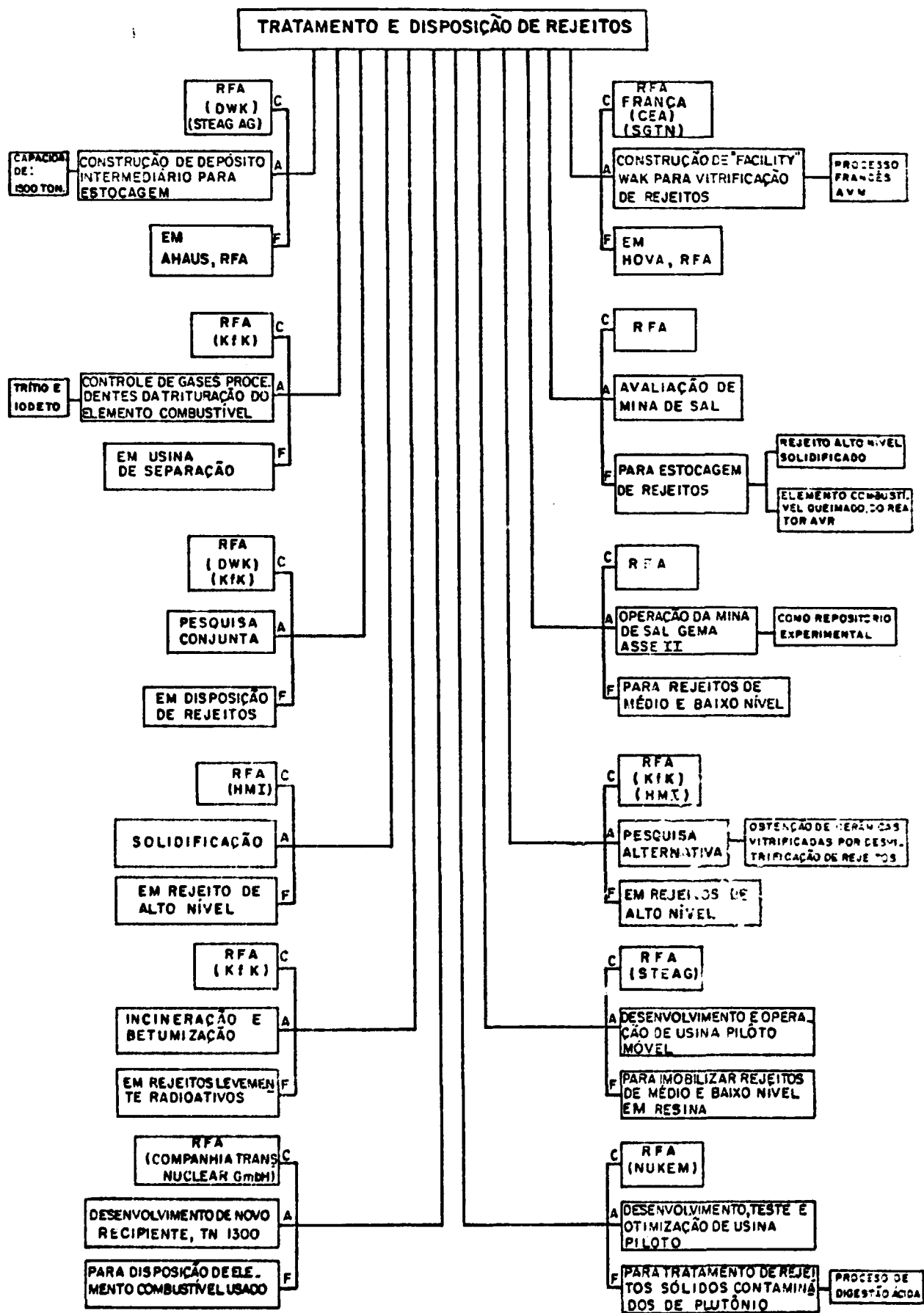


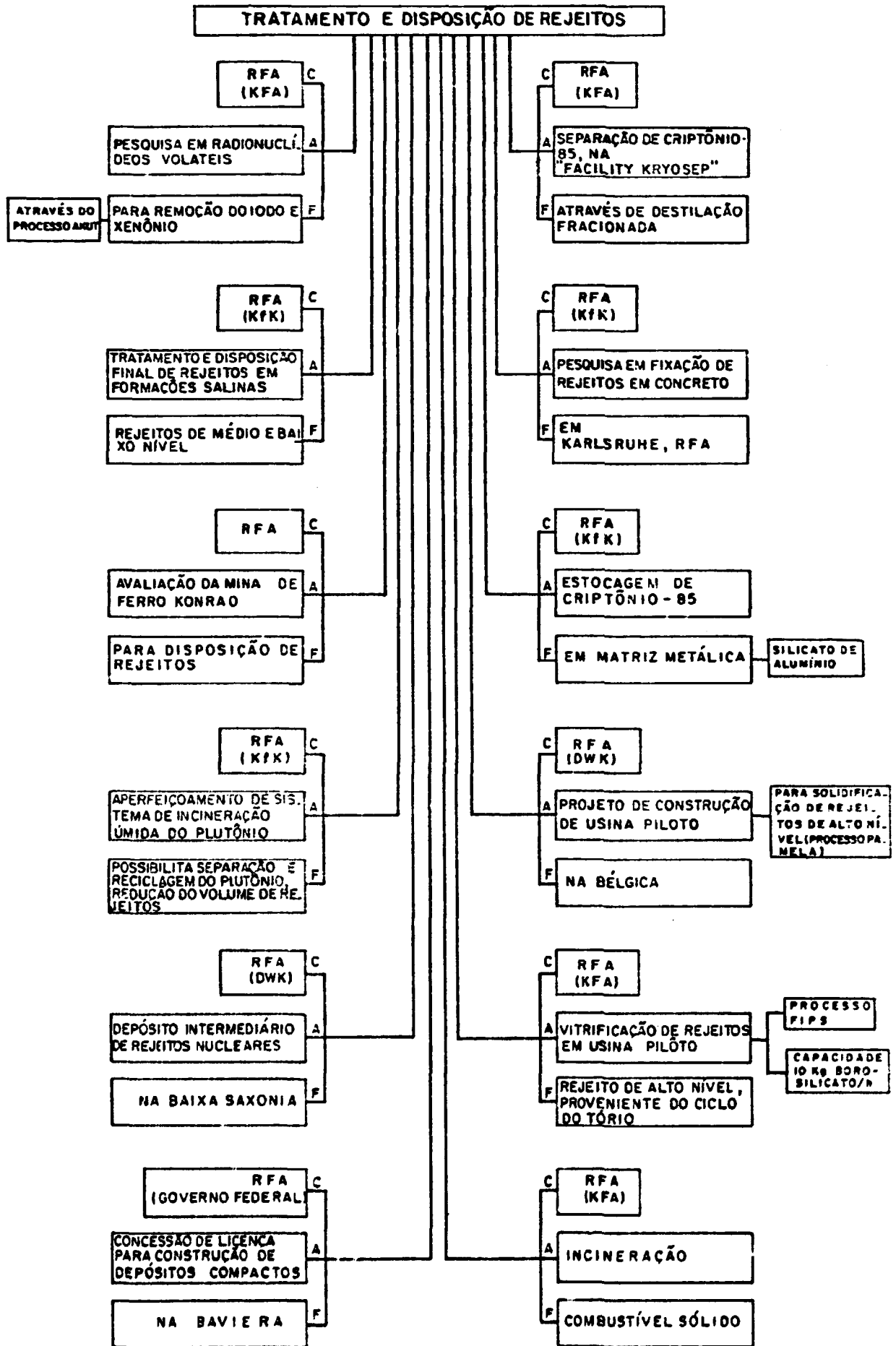


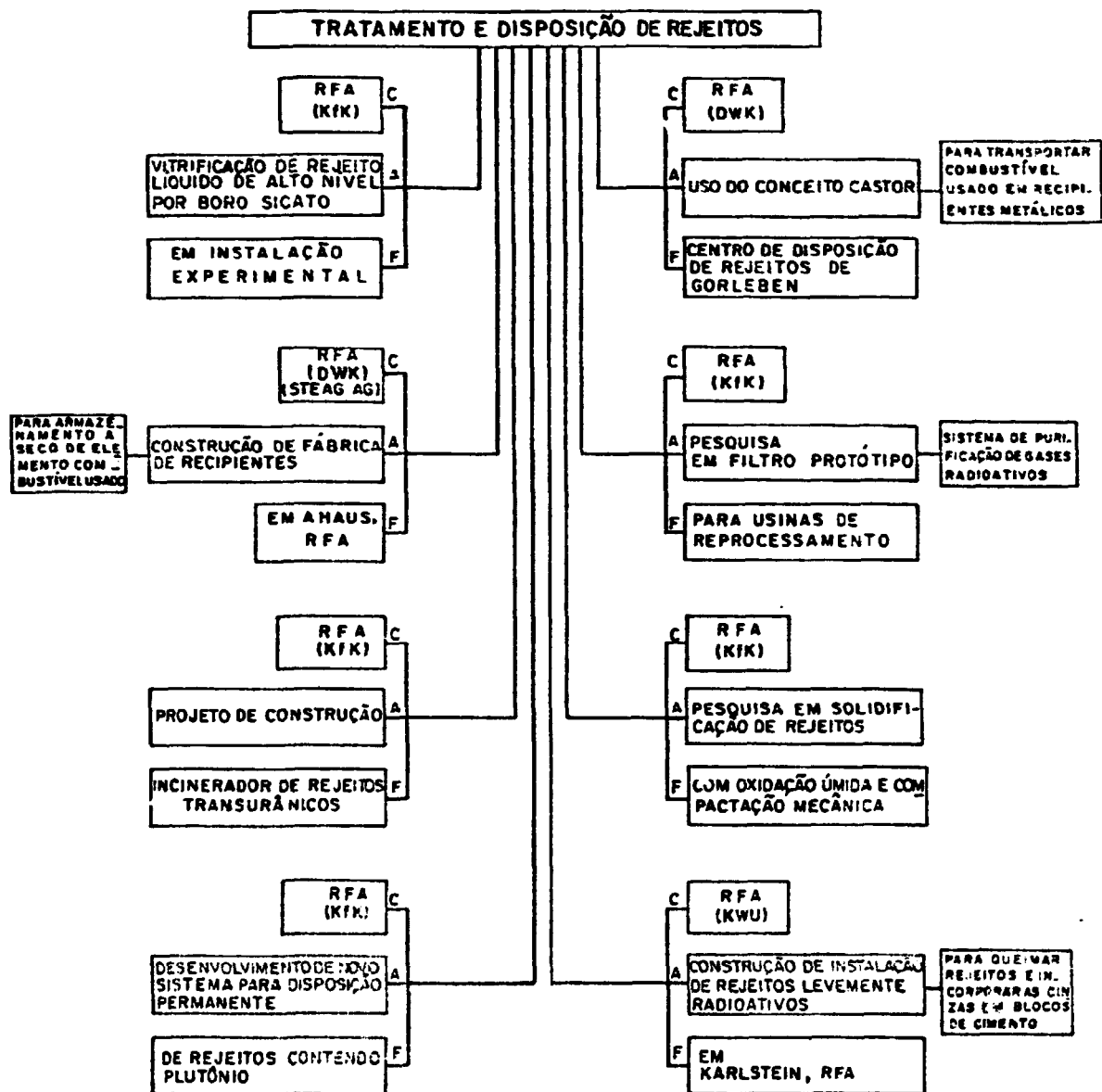


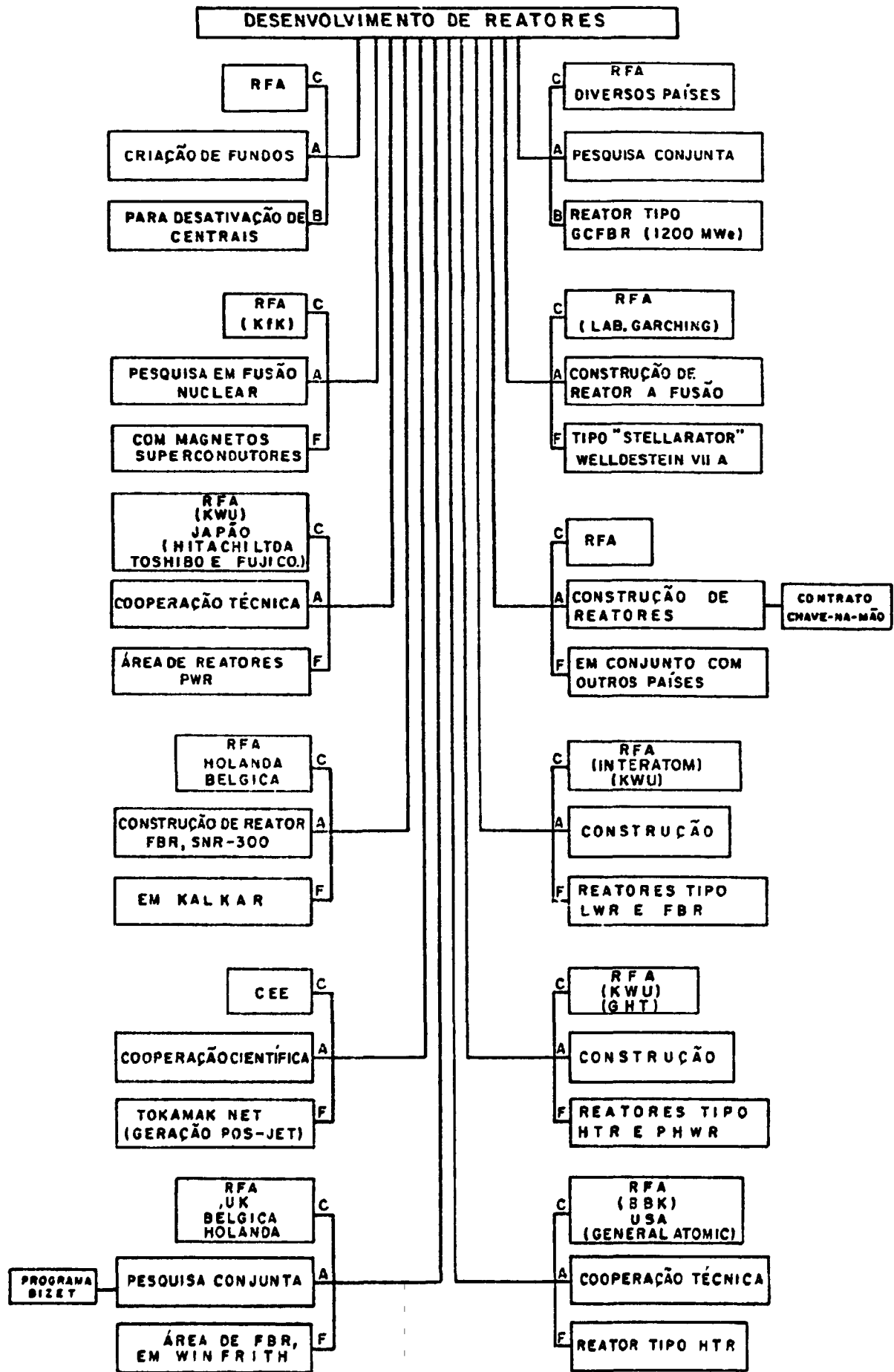


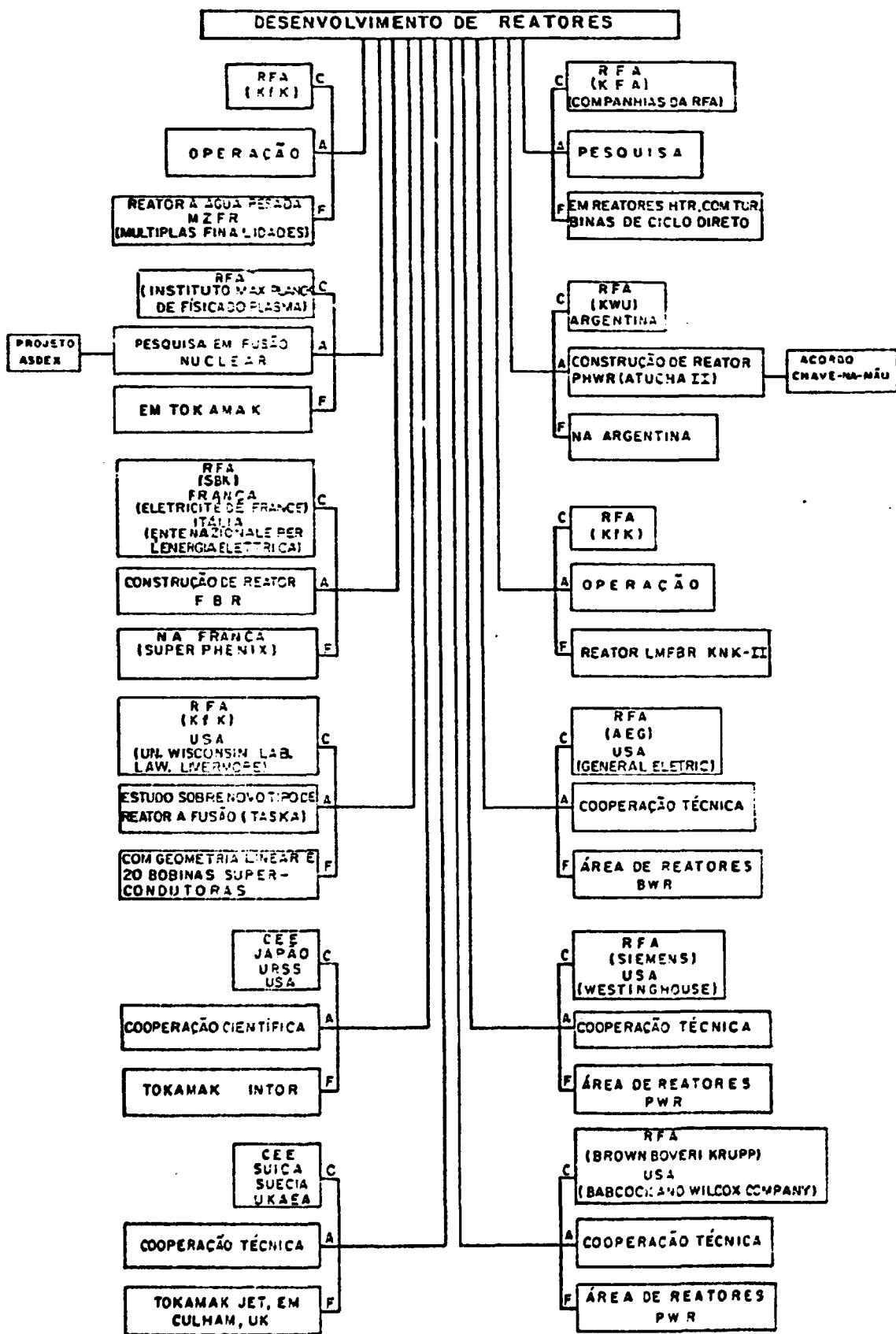


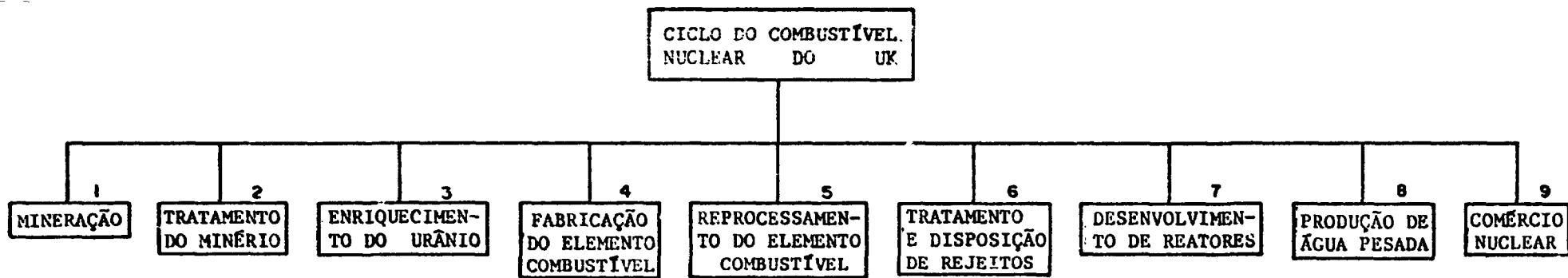


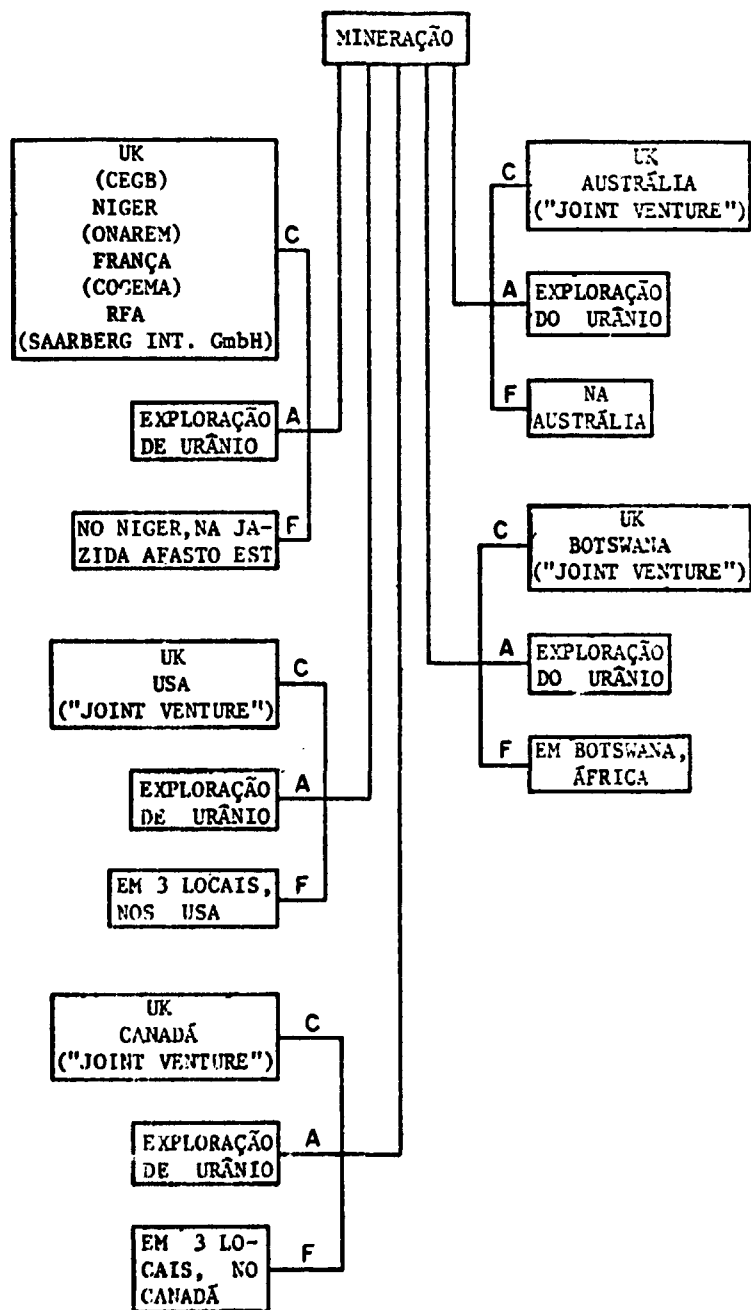


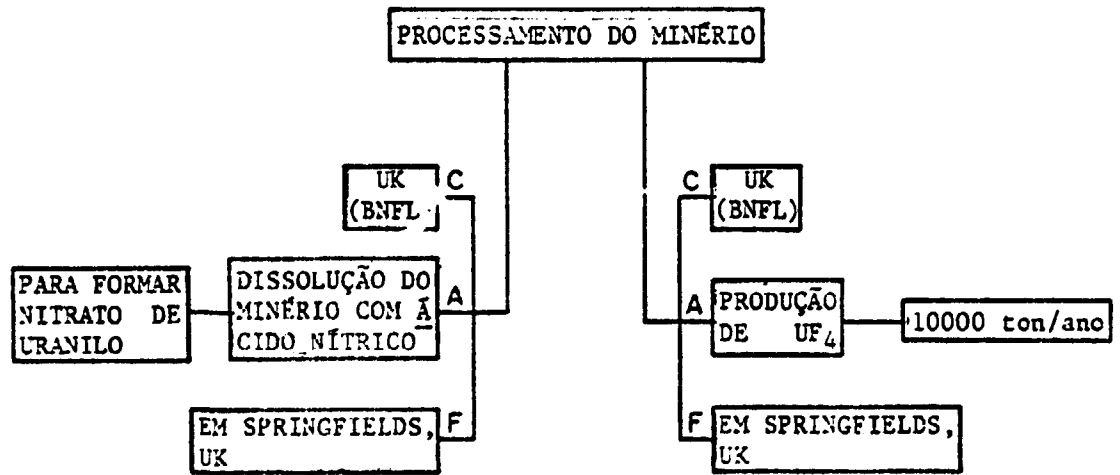


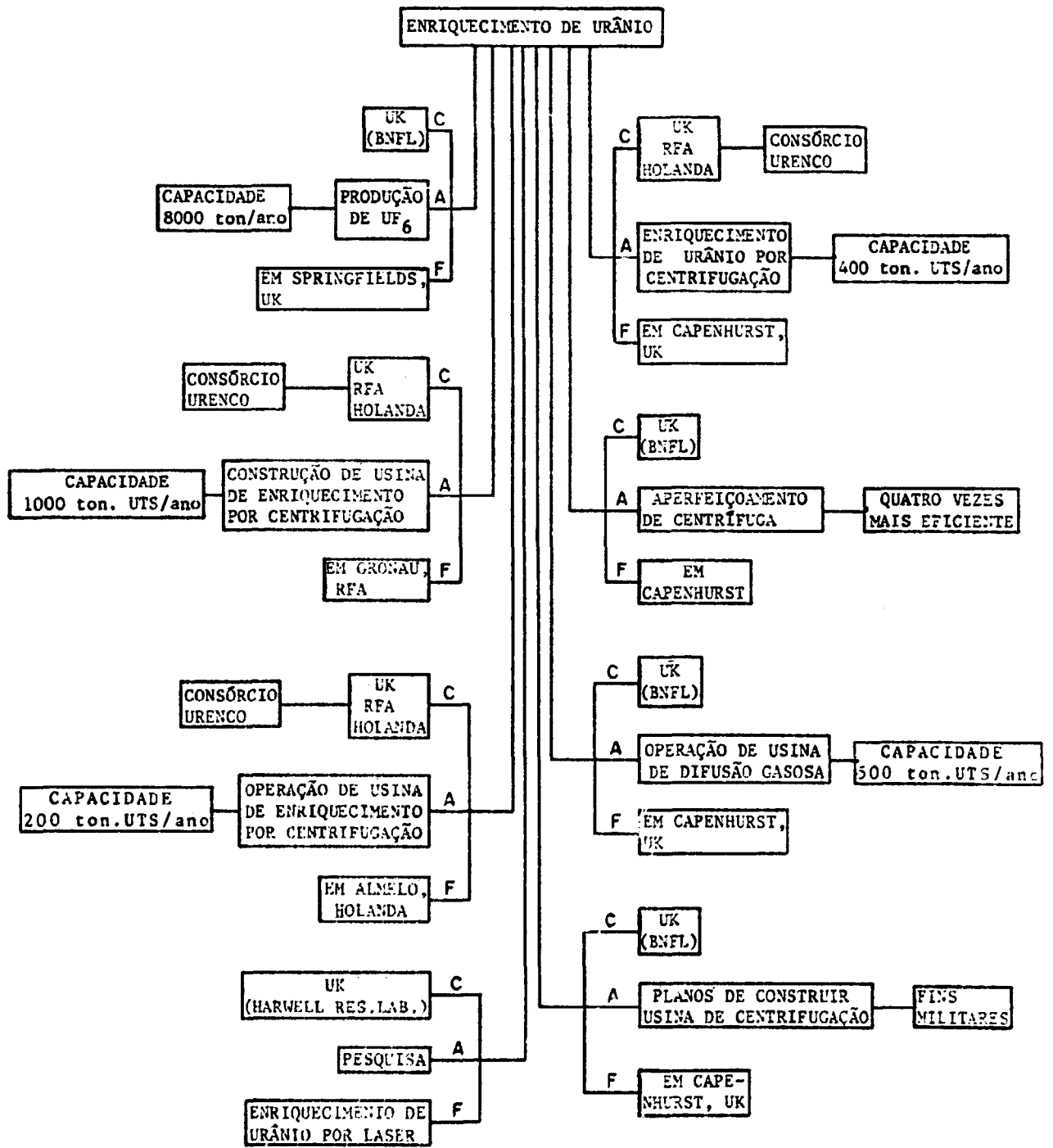


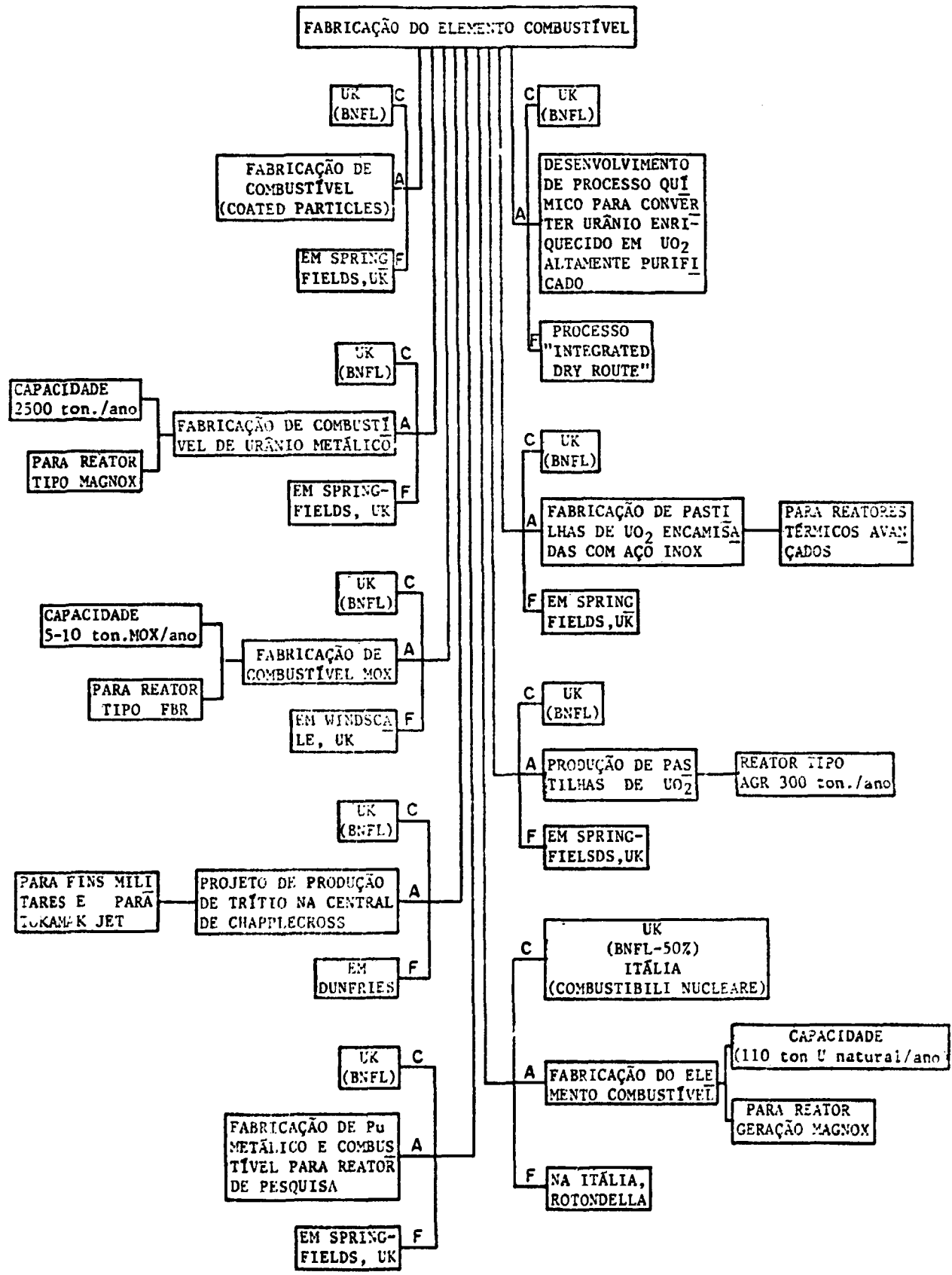


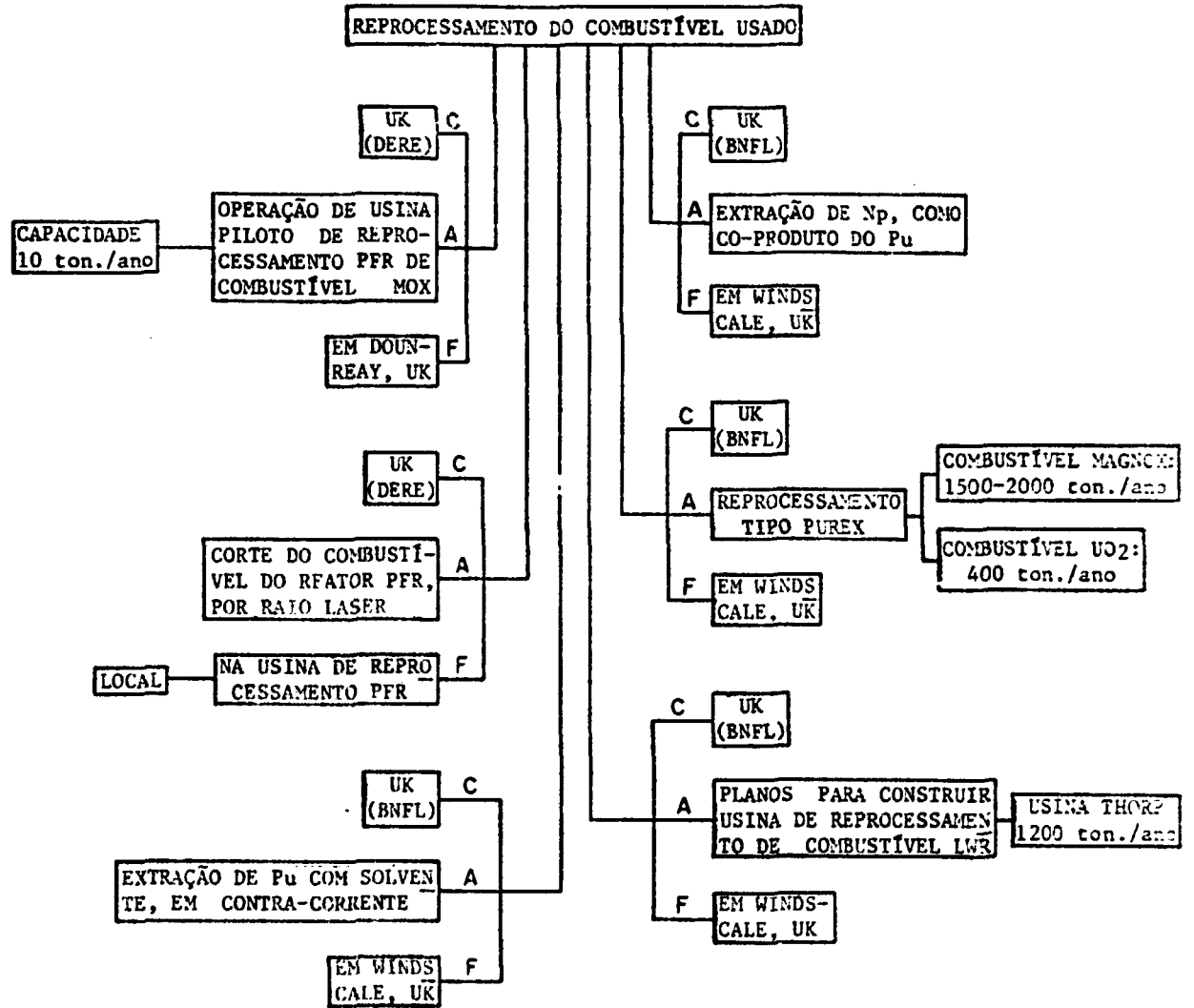


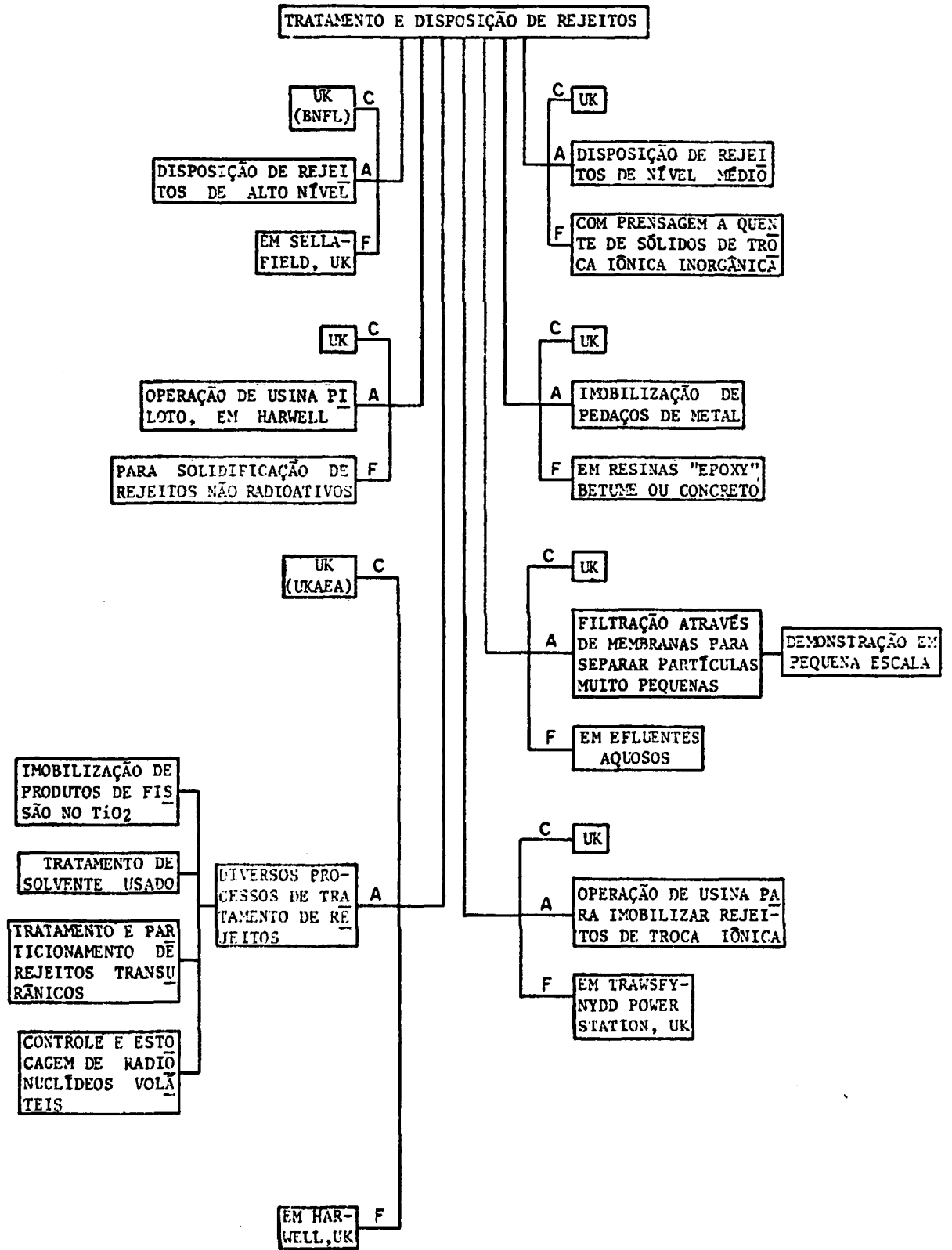


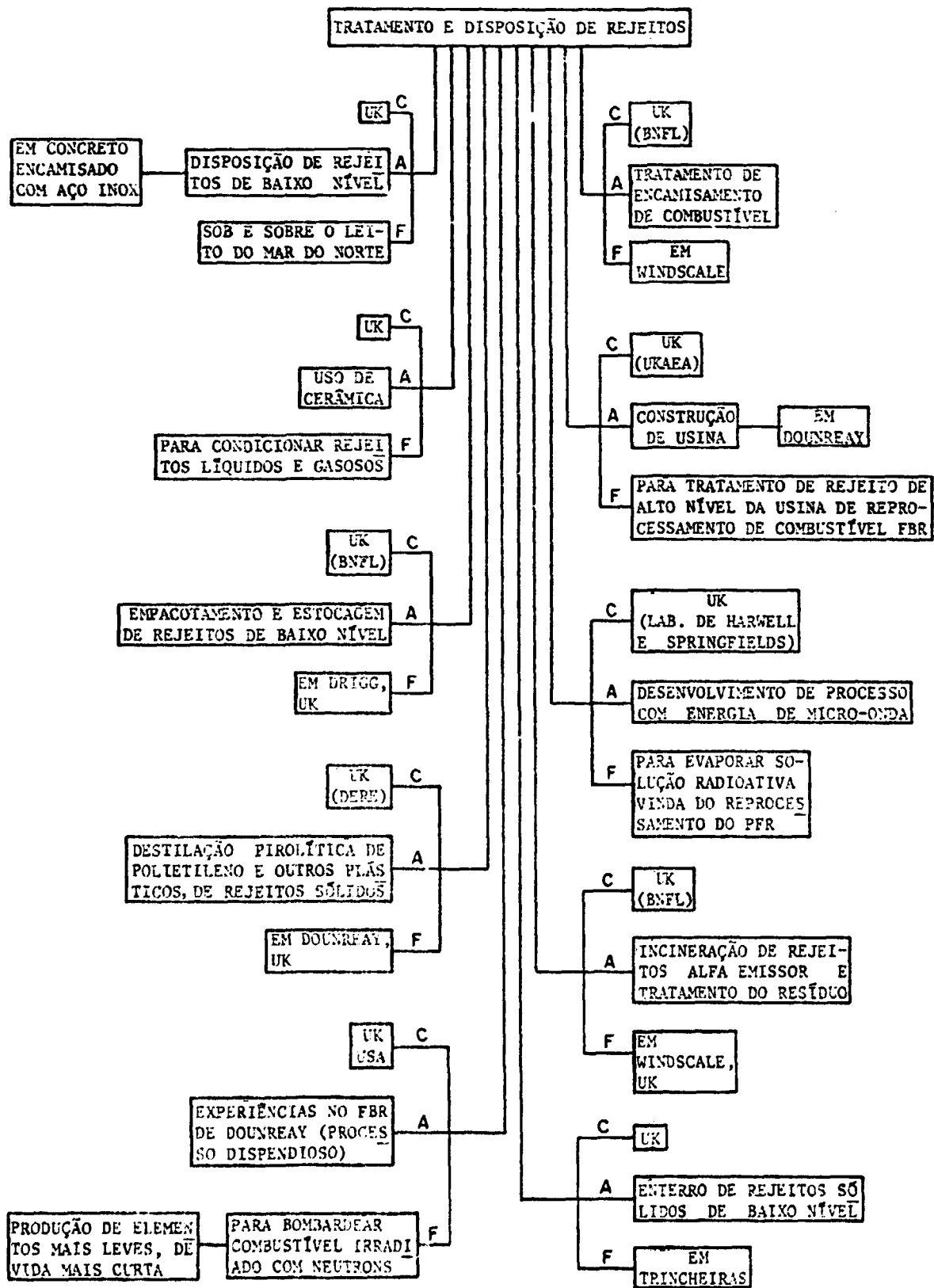


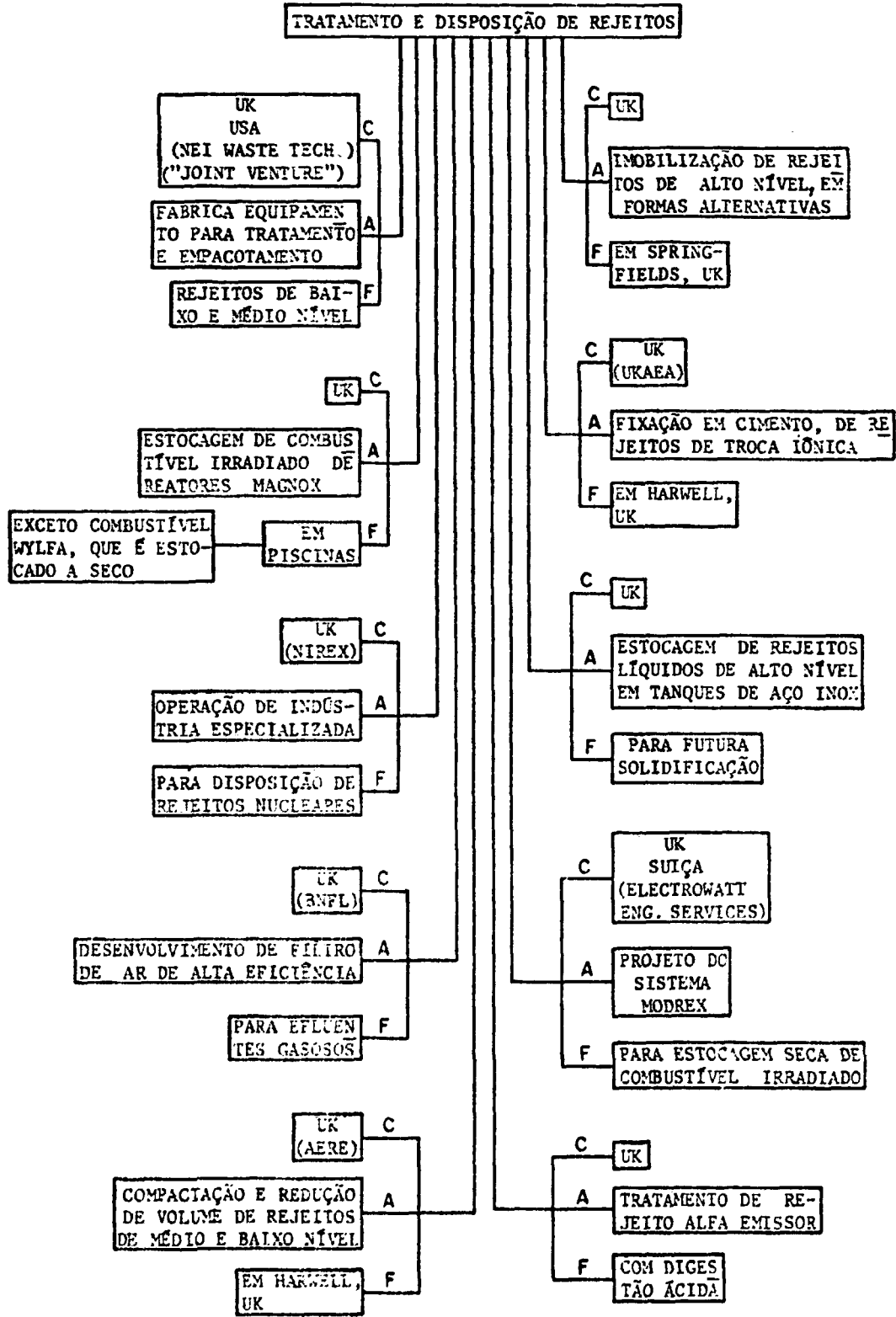


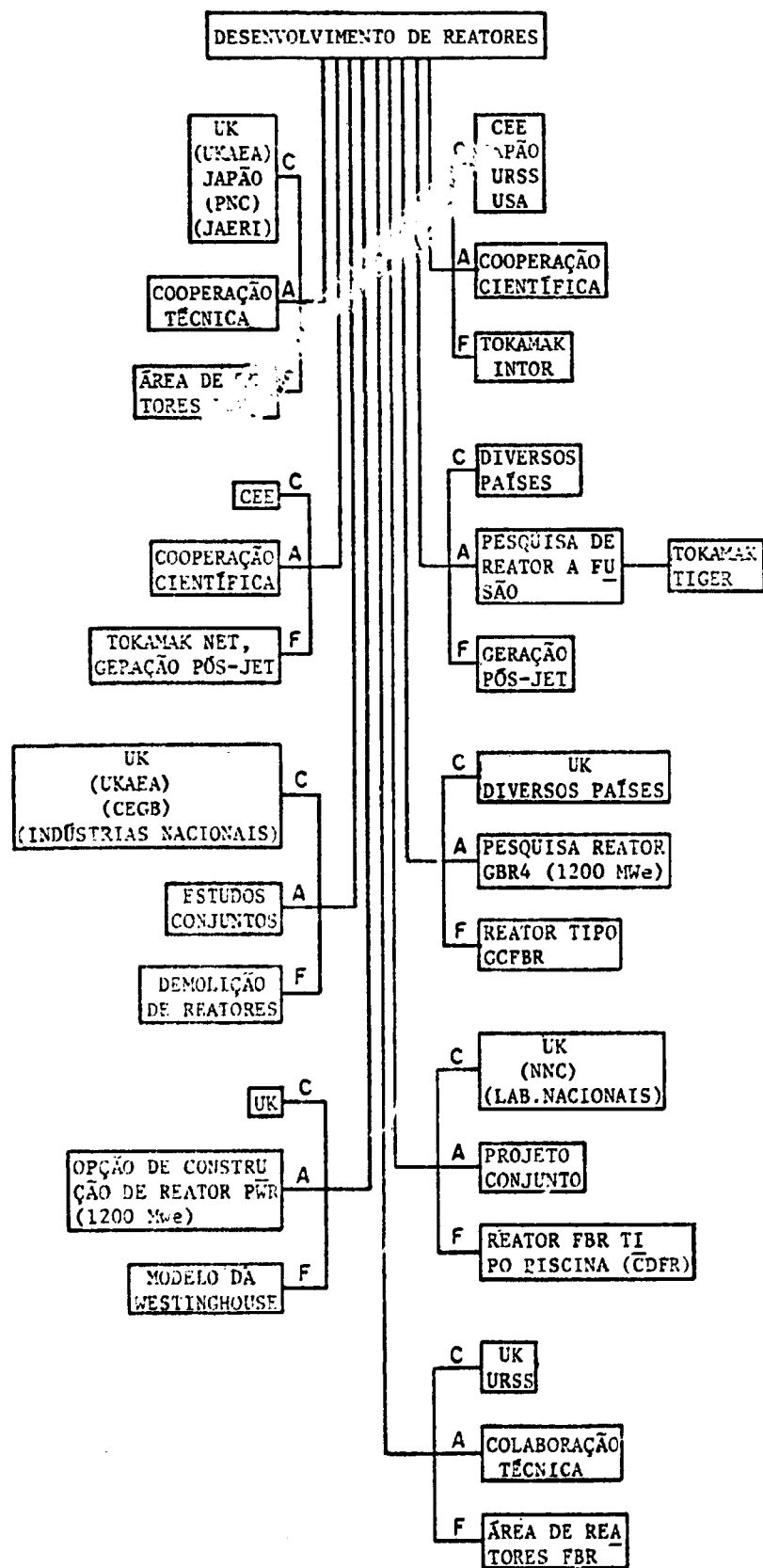


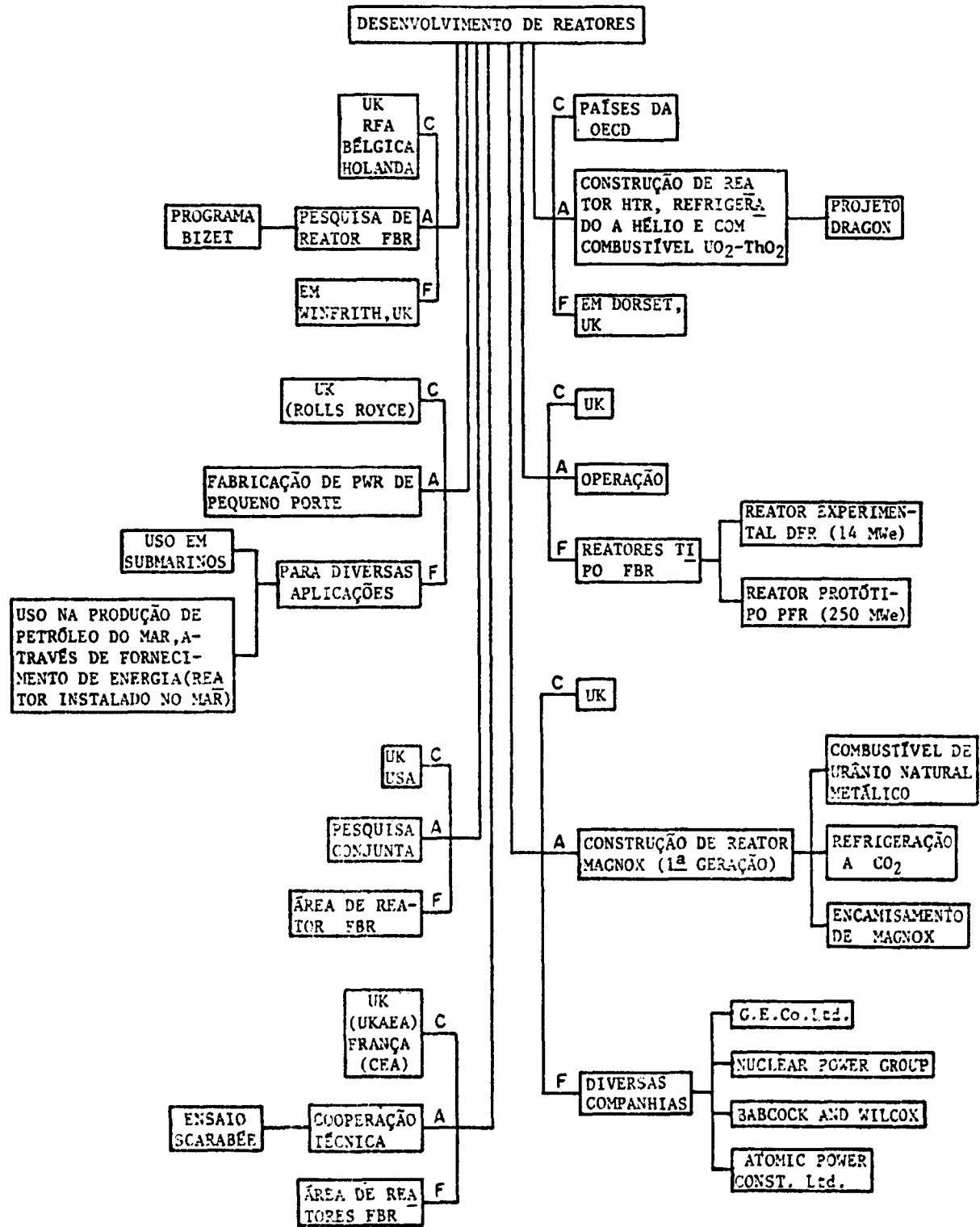


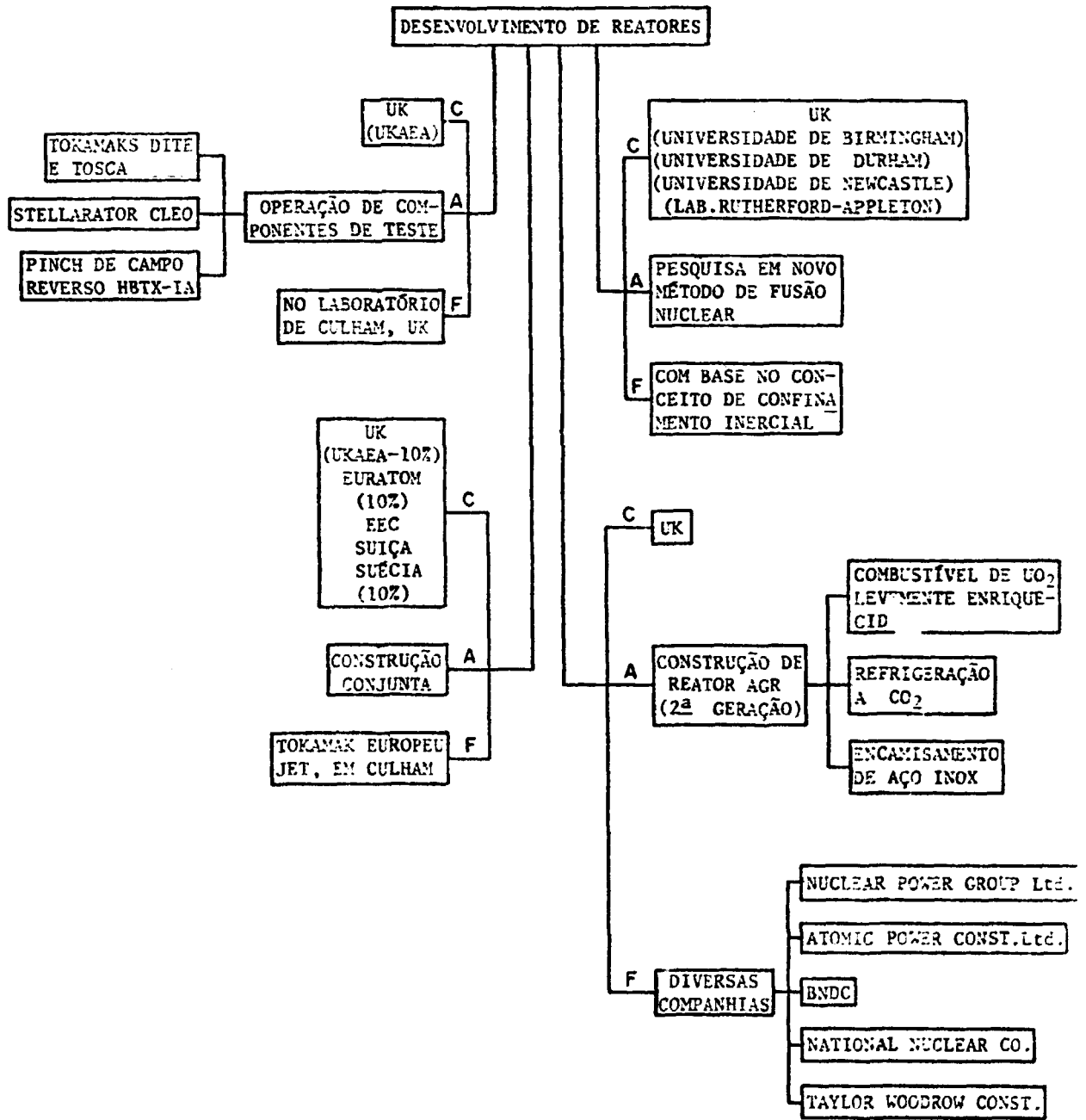


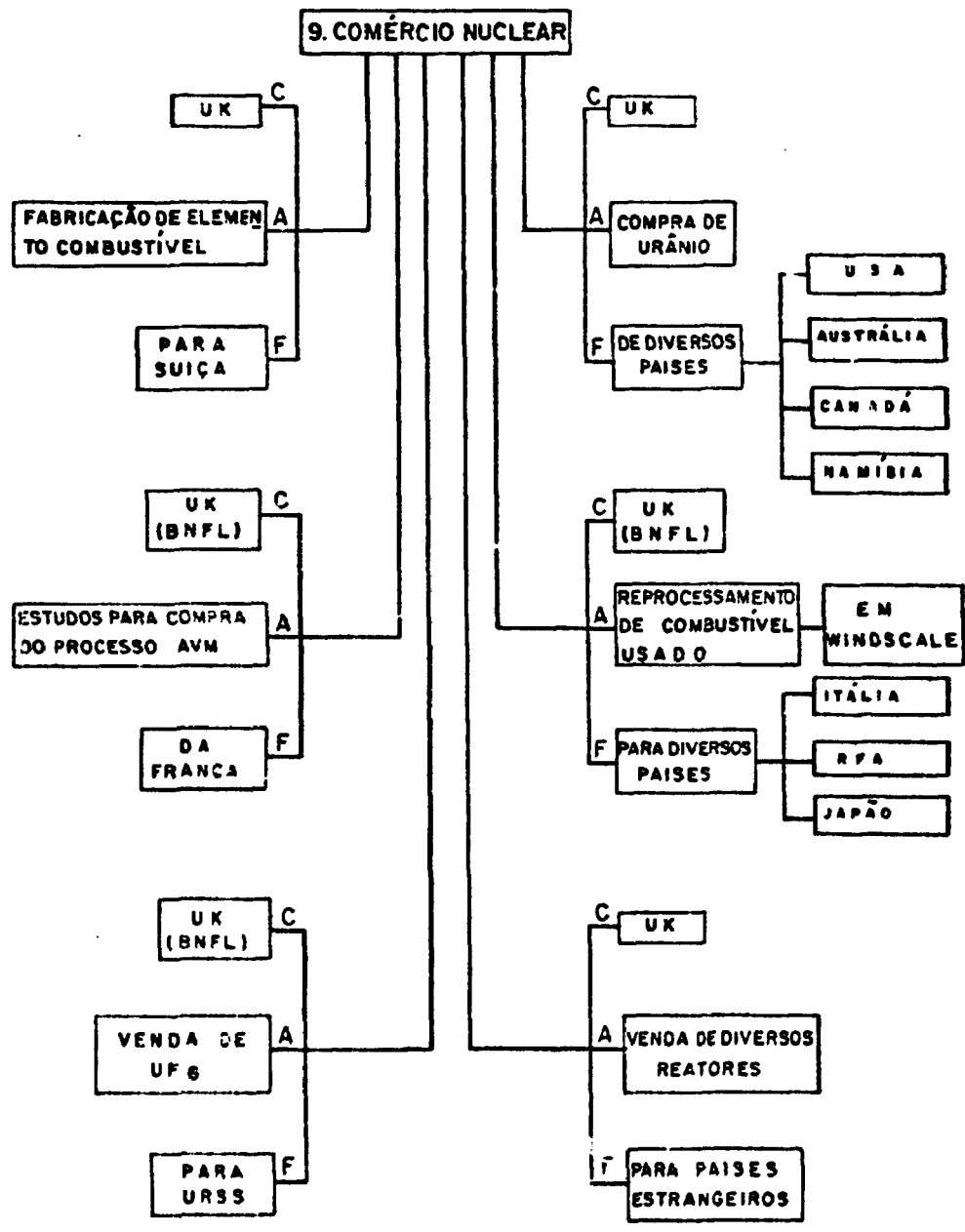












Relação de Siglas Utilizadas

AECL - Atomic Energy of Canada Ltd
 AEG - AEG Telefunken AG
 AERE - Atomic Energy Research Establishment
 AMOK - AMOK Ltd
 ANDRA - Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs
 BBC - Brow Boveri et Cie
 BMFT - Bundesministerium für Forschung und Technologie
 BNDC - British Nuclear Design and Cont. Ltd
 BNFL - British Nuclear Fuels Limited
 CEA - Commissariat à l'Energie Atomique
 CEE - Comunidade Econômica Européia
 CEGB - Central Electricity Generating Board
 CERCA - Cie pour l'Etude et la Realization de Comb. Atomiques
 COGEMA - Compagnie Generale des Matières Nucléaires
 COMINAK - Compagnie Minière d'Akouta
 COMUF - Compagnie des Mines d'Uranium de Franceville
 COMURHEX - Société pour la Conversion de l'Uranium en Metal et en Hexafluorure
 COREDIF - Compagnie de Réalisation d'Usines de Diffusion Gazeuse
 CRIEP - Central Research Institute of Electric Power Ind.
 CNRL - Chalk River National Laboratory
 DERE - Dounreay Experimental Reactor Establishment
 DOE - Department of Energy
 DWK - Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH
 EdF - Électricité de France
 ENEA - Comitato Nazionale per la Ricerca e lo Sviluppo dell'Energia Nucleare e delle Energie Alternative
 ENEL - Ente Nazionale per l'Energia Elettrica
 ENI - Ente Nazionale Idrocarburi
 ENUSA - Empresa Nacional del Uranio S.A.
 ESSO - Standard Oil
 EURATOM - European Atomic Energy Community
 EURODIF - Euro-diffusion
 FBFC - Société Franco - Belge de Fabrication de Combustibles
 FRAMATOME - Sté Franco - Américaine de Constructions Atomiques
 GHT - Gesellschaft für Hochtemperaturreaktor - Technik mbH

HMI - Hahn - Meitner Institut für Kernforschung Berlin
 INFRATOME - INFRATOME
 INTERATOM - Internationale Atomreaktorbau GmbH
 JAERI - Japan Atomic Energy Research Institut
 JAIF - Japan Atomic Industrial Forum
 JAPC - Japan Atomic Power Corporation
 JAURDC - Japan Australia Uranium Resources Development Corporation
 KECO - Korea Electric Power Co.
 KFA - Kernforschungsanlage Jülich GmbH
 KfK - Kernforschungszentrum Karlsruhe
 KWU - Kraftwerk Union AG
 MITI - Ministério da Indústria e Comércio Internacional
 MOKTA - Compagnie Française Mokta
 MSP - Minera Sierra Pintada S.A.
 NAGRA - Nationalen Genossenschaft für de Lagerung Radioaktiver
 Abfälle
 NIREX - Nuclear Industry Radioactive Waste Executive
 NIRIM - National Institute for Researches in Inorganic Materials
 NNC - National Nuclear Corporation
 NRC - U.S. Nuclear Regulatory Commission
 NUCLEBRÁ - Empresas Nucleares Brasileiras
 NUKEM - Nuclear - Chemie und Metallurgie GmbH
 ONAREM - Office National des Ressources Minières
 OURD - Overseas Uranium Resources Development Co. Ltd.
 PNC - Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation
 PUK - Polihney UGINE Kuhlman
 RBU - Reaktor Brennelemente Union
 RWE - Rheinisch - Westfalishes Elektrizitätswerk AG
 SCUMRA - Société Centrale de l'Uranium et des Minerais et Métaux
 Radioactifs
 SERU - Société l'Etudes et de Recherches d'Uranium
 SFEC - Société de Fabrication d'éléments Catalytiques
 SFU - Société de Fluoretacion d'Uranium
 SGTN - Société Générale pour les Techniques Nouvelles
 SICN - Société Industrielle de Combustibles Nucléaires
 SIMO - Société Industrielle des Minerais de l'Ouest
 SIN - Swiss Inst. for Nuclear Research
 SKBF - Svensk Kärnbränsleförbrjning Ab
 SMDC - Saskatchewan Mining Dev. Corporation
 SOFRATOME - Société Française d'Études et de Réalisations Nucléaires

SOMAIR - Société des Mines de l'Air
SRTI - Société de Recherches Techniques et Industrielles
Technicatome - Société Technique pour l'Energie Atomique
UCN - Ultra-Centrifuge Nederland NV
UKAEA - United Kingdom Atomic Energy Authority
URANIT - Uran-Isotopentrennungs - gessellschaft mbH
URCA - Société de l'Uranium Centrafricain
URENCO - Uranium Enrichment Company Ltd.

GLOSSÁRIO

1) Mineração

Método Impress Leaching:

Usado para extrair urânio de rochas, por meio de injeção de um líquido de lixiviação pela parte superior de uma pilha de rocha, com a recuperação da solução lixiviada na parte inferior da pilha para posterior processamento.

Plutões:

Corpo de rocha magmática consolidada em regiões profundas da crosta terrestre (pode haver formações de veios e diques).

Sonda de prospecção:

No seu interior há uma fonte de Cobalto 57 (raios γ) e um detetor de germânio. Os átomos do U reagem com a radiação γ , produzindo uma fluorescência radioativa característica que permite a medição direta da concentração de U (de 0,002 a 7%).

Vegetação:

Os rejeitos de mineração são cobertos com vegetação, reduzindo não só erosão local, como também efeitos do vento e área de superfície exposta, diminuindo ainda a migração devido às chuvas.

2) Processamento do Minério

Processo PNC:

O minério é lixiviado com ácido sulfúrico diluído. O líquido recuperado é enriquecido por um fator de 10 (dez), por meio de troca iônica. Solução de uranila é então extraída e reduzida por eletrólise em células bipolares. Ácido hidróflórico é adicionado à solução para sedimentação de UF_4 . Esse processo é denominado "Via úmida" e elimina etapa do yellow-cake, envolvendo baixas temperaturas (menos de 90°C)

0) Enriquecimento de Urânio

Cilindro CFR:

Cilindro feito com fibra carbono, o qual é utilizado em centrífugas grandes, para enriquecimento de urânio por centrifugação.

Processo IDR:

Uma câmara de reação é alimentada através de um sistema de jatos de vapor de UF_6 e Nitrogênio, estando ligada a um forno tubular giratório. O produto da reação é reduzido a UO_2 entre 700 e 800°C.

1) Fabricação de Elemento Combustível:

Coated Particles:

Combustível em forma de micro-esferas com núcleo de isótopo físsil ou fértil, em forma de óxido ou carbeto, revestido de carbono pirolítico e carbeto de silício.

Combustível Biso

É composto de um núcleo central (ThC_2 ou ThO_2) envolvido por uma camada interna de carbono pirolítico poroso de baixa densidade seguida de uma camada externa de carbono pirolítico de alta densidade.

Combustível Caramelo:

É um novo tipo de elemento combustível desenvolvido pelo CEA e suas subsidiárias (SFEC e Technicatome), sendo usado em reatores de pesquisa. Ele tem a forma de caramelos separados por partições finas de liga de zircônio e seu enriquecimento é da ordem de 20%.

Combustível Mox:

Combustível de óxido misto de plutônio e urânio (UO_2 - PuO_2).

Combustível Triso:

É composto de um núcleo central (UC_2 ou UO_2) envolvido por uma camada interna de carbono pirolítico poroso e outra de carbono pirolítico isotrópico, seguida de uma camada intermediária de carbeto

de silício e finalmente a camada externa de carbono pirolítico isotrópico.

Processo Elettromagnetic Heating Method:

Usa mesmo princípio de forno de micro-ondas para uso doméstico. Solução plutônio-urânio é aquecida rapidamente por micro-onda e convertida em combustível nuclear, sob forma de pó, com 95% de pureza e apropriado para uso como combustível de FBR.

Processo Integrated Dry Route:

Processo de conversão de urânio, realizada em um só estágio, que consiste em converter urânio enriquecido em um óxido de urânio em pó altamente purificado, que é depois comprimido em formato de pastilhas.

Processo sol-gel:

O composto metálico é preparado na forma aquosa(sol) e a seguir convertido em partículas sólidas (gel) de tamanho e formas desejados. Essas partículas gel são então calcinadas a uma temperatura na faixa de 1000-1800°C, para obtenção de partículas densas ou porosas, de óxido metálico ou carbetos.

5) Reprocessamento de Combustível Usado:

Facility Milli:

Miniatura de usina de reprocessamento de combustível, usando mini-misturadores-sedimentadores em uma célula quente.

Facility Teko Hall:

Instalação equipada para testes frios em grande escala de métodos, processos e componentes de reprocessamento.

Incineração úmida do plutônio:

Resíduos radioativos são queimados a temperaturas pouco elevadas e tratados com ácido sulfúrico. O carbono restante é então tratado com ácido nítrico, oxidando-se em dióxido de carbono. Permanecem os resíduos minerais e o plutônio, este último sob a forma de solução que permite fácil processamento. Esta técnica permite a recuperação

de mais de 90% do Pu e a redução do volume dos resíduos a 5% do nível inicial.

1) Tratamento e Disposição de Rejeitos:

Betumização:

Rejeito de baixo nível é imobilizado, usando betume como aglutinante.

Caracterização de formas de rejeitos:

Trabalho realizado para estudar propriedades de rejeitos de alto nível solidificados, tais como taxa de lixivia, condutividade térmica e elétrica, viscosidade e estabilidade à radiação, quando colocados em determinada forma e composição.

Capillary Barrier:

Barreiras em trincheiras próximas à superfície da terra, para evitar migração de radionuclídeos, se houver lixiviação dos rejeitos.

Chelating Resin:

Qualquer uma das resinas trocadoras iônicas com extraordinária alta seletividade para cations específicos.

Conceito Castor:

Tambores para disposição interina a seco de combustível irradiado e seu transporte. Cada recipiente pesa 80 toneladas, feito de aço inox "modular" e tem paredes com espessura de 44cms.

Concreto:

Rejeito é misturado ao cimento, e colocado em tambores de 200 litros.

Desvitrificação de Rejeitos:

Quando rejeitos vitrificados (vidro boro-silicato) são submetidos a temperaturas na faixa de 700-900°C, podem alterar-se, tornando-se cerâmica e comprometendo a retenção de produtos radioativos.

Disposição de Kr-85:

O silicato de alumínio(zeólito) é aquecido a 500°C, provocando o aumento do espaçamento inter-molecular onde se acomodam os átomos do gás Kr.

Dustbin Disposal:

Disposição de rejeitos sólidos de baixo nível como rejeito ordinário, enterrado dentro de recipientes especiais.

Evaporação:

Rejeito líquido é evaporado, tendo filtros de purificação de ar para reter radionuclídeos.

Incineração:

Rejeito é incinerado (rejeito combustível), com equipamento de purificação de gases para limitar liberação de radionuclídeos.

-KfK dispõe rejeitos de baixo e médio nível em formações salinas, fazendo pré-fabricação de grânulos, com rejeitos incorporados, cimentação dos grânulos e seu transporte para caverna de sal.

-KfK tem processo para tratar rejeito contendo Pu, onde rejeito é misturado com caulim, feldspato e quartzo, e depois sinterizado.

Osrose Reversa:

Água é retirada do rejeito, através de membrana semi-permeável.

Plástico:

Rejeito de baixo nível é colocado em saco plástico transparente.

Processo AVM:

Usa um calcinador tipo forno rotativo acoplado com um forno de fundição metálico semi-contínuo para produzir blocos de vidro boro-silicato.

Processo Derfaz:

Descontaminação dos efluentes radioativos pelo ferro ativo e zeólitos, permitindo obter altos fatores de descontaminação e de concentração.

Processo Fingal/Harvest:

O processo reúne todos os passos para vitrificar rejeitos em um só passo, executado no recipiente final.

Normalmente os quatro estágios são:

- . evaporação de água e ácido nítrico
- .. calcinação de nitratos para se obter óxidos
- ... reação de óxidos com aditivos químicos para formar vidro
- fundição de vidro derretido em recipiente final.

No processo Fingal/Harvest coloca-se o rejeito altamente radioativo e uma solução aquosa de produtos formadores de vidro (nitrato de sódio, nitrato de lítio, ácido bórico e sílica), em um recipiente de aço inox em um forno a 1000°C.

Processo Fips:

Vitrificação de rejeitos do ciclo do combustível do Tório, através de secagem em tambores e fundição em recipientes apropriados.

Processo Pamela (VITROMET):

O rejeito é vitrificado em vidro boro-silicato em forma de contas com 5mm de diâmetro, que são dispostas em pacotes fechados. O volume intergranular é preenchido com uma liga de metal pesado (chumbo). Diferencia-se de outros processos porque obtém-se blocos de composto vidro-metálico, ao invés de blocos de vidro monolítico.

Sistema Modrex:

Neste sistema de estocagem seca de combustível irradiado, os elementos combustíveis tipo PWR são carregados em um tambor de aço inox (cada tambor pode conter de 7 a 12 elementos) que é então preenchido de hélio e a seguir selado. O tambor, que possui aletas externas para refrigeração, é colocado dentro de um recipiente refrigerado interna e externamente. Este recipiente, de forma cilíndrica, é revestido de ferro e possui uma superfície interna corrugada e uma blindagem especial entre sua própria parede e o tambor.

Synthetic Rock:

Método não atrativo para vitrificação de rejeitos de alto nível, pois requer altas pressões e temperaturas de 1300°C.

Tambor TN-1300:

Composto por duas caixas metálicas, dispostas uma dentro da outra, podendo armazenar até 12 elementos combustíveis tipo PWR. O intervalo entre as caixas é preenchido por ferro fundido e esferas de grafite e o tambor é fechado hermeticamente, segundo um sistema especial.

) Desenvolvimento de Reatores**Processo de Campo Reverso:**

No RFP a intensidade de campo magnético toroidal é 10 vezes menor que em um tokamak, sendo da mesma ordem de grandeza que o campo poloidal. Além disso, o campo toroidal muda de sentido entre o eixo toroidal e a extremidade do plasma. A configuração é estabilizada por meio das superfícies magnéticas assim geradas e pela presença das paredes condutoras da contenção.

Reatores PWR com refluxo:

Reabastecimento do núcleo de reatores a água pressurizada após perda de refrigerante.

Reator VHTR:

Reator a gás a alta temperatura com múltipla finalidade (produção de eletricidade, produção de vapor industrial, aquecimento urbano, etc.)

) Produção de Água Pesada**Processo GS(Girdler-Sulfide):**

Baseado na troca de deutério entre a água e o sulfeto de hidrogênio (H_2S), com separação isotópica em cascata.