

CBPF-CS-002/92

PROBLEMAS DO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO:
MODELOS DE DIFUSÃO TECNOLÓGICA*

by

JOSÉ ISRAEL VARGAS

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF/CNPq
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150
22290 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

*Palestra do Professor José Israel Vargas, no BANCO DE DESENVOLVIMENTO
DE MINAS GERAIS em 07/05/92.

O material desta palestra, afora a modelagem dos dados referentes às figuras 7b, 12, 14, 15, 23 e 24, origina-se de várias publicações de CESARE MARCHETTI, particularmente de sua contribuição recente "A Forecasting Model for Research and Innovation Activities in Selected Areas: A Support for Strategic Choices" - International Institute for Applied Systems Analysis Laxenburg, Austria, apresentado no "International Course on Research and Innovation Management, organized by UNIDO and ICS, Venice, 13 September 1991.

O objetivo primordial da ciência é a construção de modelos do mundo exterior. A pedra de toque dos modelos científicos é sua capacidade de previsão. Como a ciência é parte do mundo exterior, ela também devia ser passível de exame. Mas é surpreendente que a ciência não tenha se interessado pela previsão de sua própria atividade - pela busca de modelos e de leis, de invariantes que permitissem descrever a evolução e ritmo da descoberta científica e, por isso mesmo do progresso tecnológico.

A origem desta falha está em que a atividade científica é entendida - corretamente - como uma atividade eminentemente social, fazendo com que venha sendo examinada exclusivamente por filósofos e cientistas sociais que, como sabemos, são ótimos manipuladores de conceitos verbalizáveis, mas, em geral revelam-se bastante limitados no lidar com formulações quantitativas, expressas por via da linguagem matemática. Mas, como sabemos desde Pitágoras, Kepler e Galileu, o livro da natureza está escrito em números. Para decifrá-lo torna-se indispensável a economia

de linguagem, somente propiciada pela matemática, rainha e serva da ciência..

Nesta palestra, pretendemos mostrar que a criação científica, parte integrante do labor humano, é enquadrável em modelo bastante simples, que vem sendo desenvolvido nos últimos 20 anos, por um grupo de cientistas, sob a liderança de Cesare Marchetti, no Instituto Internacional de Análise Aplicada de Sistemas, de Laxemburgo, Austria.

Segundo este modelo as ações humanas resultam de paradigmas de ação (decisões de ação) surgidas nas profundezas dos sistemas sociais, e que, uma vez selecionados por filtros "societais", difundem-se epidemicamente, i.e., obedecem a uma equação de difusão dita logística, ou epidêmica. As idéias, conceitos, serviços, produtos são criações humanas. Eles nascem por diferenciação do que preexistia, por invenção e inovação. Inventam-se idéias, novos objetos, dispositivos e serviços; formulam-se novos conceitos - por mutação do antigo. A aceitação destas inovações - mutantes - deve fazer-se inicialmente, por iniciativa de pequeno grupo (núcleo) de indivíduos organizados para troca de informações, predominantemente verbalizadas, no nível mais elementar. Segundo pesquisas realizadas na Universidade de Lund, Suécia, cada um destes núcleos inovadores deve ser constituído por não menos que 100 indivíduos, para que a inovação possa eficazmente difundir-se, depois de convenientemente filtrada e eventual

aceitação pela sociedade (mercado, comunidade etc). A competição é o filtro. No caso da tecnologia o mercado impõe que ela seja aceitável, confiável e barata. Para que seja aceitável é necessário que apareça no momento azado. Ela será confiável caso sobreviva, após os testes variados de aptidão a que estará submetida. Ela deve ser manifestamente mais aceitável do que o competidor que a precedia. O preço é, talvez, a característica menos importante do novo sistema, pois nada mais é que mero indicador da aceitabilidade mercadológica da inovação. Vale enfatizar que a inovação - idéia, conceito, dispositivo, serviço ou tecnologia - deve ser mais eficiente do que a idéia, conceito, dispositivo, serviço ou tecnologia que substituiu por competição. No mundo biológico, como na competição tecnológica, basta um diferencial de eficiência de cerca de 1% para que uma espécie biológica domine o nicho ecológico, e, no caso de dada tecnologia, conquiste o mercado em detrimento da tecnologia menos eficaz.

Insistamos: o paradigma de ação é uma decisão inovadora, que, após seleção competitiva, difunde-se logisticamente pelo sistema social (pela cabeça dos indivíduos que o compõem como uma nova moda). Mas vejamos analiticamente e concretamente como se propaga uma epidemia. É claro que:

1 - O número de indivíduos, dN , que se infectam por unidade

de tempo, dt , deve ser proporcional ao número de indivíduos já infectados, N , e também ao número daqueles indivíduos da população que ainda não foram infectados, $(\bar{N}-N)$. \bar{N} , sendo o total da população infectável (figura 1). Isto é:

$$dN = a N (\bar{N}-N) dt. \quad (1)$$

Repetindo o argumento, com outras palavras, é claro que a velocidade com que um bando de meninos colhe jabuticabas de uma jabuticabeira, num instante dado, é proporcional, ao número das jabuticabas já colhidas N , e das que faltam colher $(\bar{N}-N)$, o número total de jabuticabas existente no pé, no início da colheita, sendo \bar{N} . A curva representativa da equação (1) tem a forma de sino. A velocidade de colheita de jabuticabas é máxima quando a metade (50%) das jabuticabas estiverem colhidas, decrescendo depois até a esgotar-se o estoque de frutas. Quando o número de jabuticabas restantes for muito pequeno a velocidade de colheita torna-se cada vez menor - o tempo necessário para a colheita completa, tendendo pois para o infinito.

A fórmula 1 é uma equação diferencial não linear de 1ª. ordem. Devemos resolvê-la, pois que desejamos N e sua evolução temporal, i.e., $N(t)$.

A solução da equação 2 é:

$$N(t) = \frac{\bar{N}}{1 - \exp(-at + b)} \quad (2)$$

Se chamarmos $F = \frac{N}{\bar{N}}$ sendo N o tamanho do nicho normalizado para 1 ou 100, então a equação (2) toma a forma:

$$\frac{F}{1-F} = e^{(at+b)} \quad (2)$$

que é idêntica à anterior, e está representada na figura 2. Ela é a equação, logística ou epidemiológica, cuja representação gráfica tem a forma de S, bem conhecida. Ela, insistimos, diz que as novidades, paradigmas de ação, nascem aleatoriamente e difundem-se, pela sociedade, após seleção competitiva.

Freqüentemente é mais conveniente representar a equação logística utilizando-se a transformada que a retifica (transformada de Fisher-Pry) e que se obtém simplesmente por extração do logaritmo de (2). Vem então:

$$\text{Log} \frac{F}{1-F} = (at+b) \quad (3)$$

onde a é a constante de velocidade de difusão, freqüentemente expressa por ΔT , que mede o tempo necessário para que o processo evolua de 10% a 90% da ocupação do

nicho. (Figura 3).

Como dizem os ingleses, a prova do pudim está em comê-lo. Apliquemos pois a equação logística na descrição da peste que afetou dramaticamente Londres em 1666; O resultado está mostrado na figura 4. Representa-se o número de mortes, retendo como hipótese de base, que o número de mortos seja uma fração constante do número de doentes. A descrição matemática da epidemia é simplesmente espetacular! Ela teria podido prever, a qualquer instante, e com grande precisão a velocidade de propagação e o término da peste! Recorde-se que a difusão da doença (na descrição logística) torna-se extremamente lenta quando se atinge 90% do processo. Frequentemente, a este nível, a precisão do fenômeno descrito diminui (pelo aumento do erro relativo), e antropomorficamente diz-se então que o sistema entra em fibrilação, quando, a peste torna-se endêmica.

Não cabe aqui entrar em maior detalhe sobre a conexão entre este processo epidêmico e a difusão de paradigmas de ação na sociedade. Recordemos apenas que, ao analisar o grande número de dados obtidos por Mensch sobre a evolução temporal das inovações e invenções, ao longo de 200 anos, e que ocorrem em ondas, Marchetti mostrou:

1º que estas ondas também obedeciam à equação logística como mostra a figura 5.

Veja também a tabela 1.

2º que havia uma sincronização, a nível macroscópico entre o crescimento do número de inovações e os momentos de introdução no mercado de novas formas de energias primárias; Figuras 6 e 6a.

3º que a própria energia total penetrava no mercado logisticamente, como demonstram as figuras 7, 7a e 7b, respectivamente para o mundo; para os Estados Unidos e para o Brasil.

4º que as flutuações mais pronunciadas que aparecem na descrição logística deste processo, tinham caráter periódico, repetindo-se a cada 55 anos, que identifiquei como manifestação dos ciclos longos que afetam a atividade econômica, descritos em 1928, pela primeira vez, pelo economista russo Nicolai Kondratiev.

Sendo a energia, por definição, a capacidade de produzir trabalho, claro está que flutuações no consumo de energia refletem, e mais, são de fato uma medida do próprio ritmo acelerado ou recessivo da atividade econômica. A existência dos ciclos é belamente demonstrada pela curva, devida a Stewart, mostrada na figura 8. Ela representa o desvio percentual do consumo, obtido ao subtrair o consumo real dos valores calculados a partir da melhor reta de ajuste logístico para o consumo secular de energia, nos Estados Unidos. Os mínimos representam recessão, os máximos

expansão, "booms" econômicos. Podemos observar tanto os "trinta gloriosos" de que falam os economistas, quanto a recessão dos anos 80. Infelizmente, embora estejamos mal, como todo mundo, ainda nos falta chegar verdadeiramente ao fundo do poço - o que está previsto para 1995... Digo nós, porque o sistema "mundo" é sincronizado. O que é válido para os países industrializados, é válido para nós. O que é válido para o todo, é válido para as partes: a equação que descreve o todo é também boa para as partes. O comportamento dos diversos sistemas sociais é pois fractal, para usar um descriptor matemático, em moda hoje em dia, e que significa que esses fenômenos são descritos por uma mesma expressão matemática, independentemente do nível hierárquico que ocupam. Bom exemplo de comportamento fractal é o do sistema energia, mostrado anteriormente. Um mesmo tipo de equação descreve o crescimento do uso da energia no mundo, nos Estados Unidos e no Brasil.

Voltemos a insistir sobre a sincronização entre inovação - invenção e energia mostrada nas figuras 9 e 9a.

Pode-se notar que:

i) As inovações ocorrem sempre nos períodos de recessão, nos mínimos dos ciclos de Kondratiev. Como diz Guimarães Rosa, "o sapo pula não é por boniteza mas por precisão". Além disso os máximos das ondas de inovação

também distam entre si de 55 anos, repetindo os mesmos ciclos longos anteriormente referidos. As inovações de nossa própria onda atingirão um máximo em 1993, havendo pois ainda mais 10 anos para trabalhar... quando sua intensidade estará esgotada.

ii) A distância temporal entre as invenções e as inovações, em cada onda, reduzem-se, como é bem sabido, com o transcorrer do tempo. As invenções de que precisamos, as da nossa onda, já ocorreram com máxima intensidade em 1968.

Um outro exemplo concreto, entre centenas de outros estudados por Marchetti e colaboradores, para evidenciar a existência dos ciclos longos, está apresentado na figura 10, que descreve a difusão de 3 tecnologias básicas, próprias dos grandes sistemas de transporte: - as ondas de construção respectivamente de canais, de estradas de ferro e de estradas pavimentadas, nos Estados Unidos, ao longo de mais de um século. Aqui a representação é puramente logística, a ordenada representando a percentagem de ocupação do nicho, i.e., do mercado paulatinamente ocupado pelas diversas infra-estruturas de transporte. Apenas por curiosidade e, parenteticamente, mostramos, para não perdermos o fio dessa exposição, a competição entre estas mesmas tecnologias, no mercado russo. O sistema obviamente funciona também para o ex-regime comunista (figura 10)...

Também não resisto mostrar que a substituição de energias primárias segue as mesmas regras tanto para os Estados Unidos como para o Brasil (figuras 11 e 12). Trata-se de outros exemplos interessantes de competição, a longo prazo examinados por Marchetti, e, por mim, utilizando teoria mais geral, devida a Volterra, resumida basicamente em equação diferencial não linear que leva o nome deste pesquisador, de que a equação logística é solução particular. A regra para a competição é a seguinte: qualquer tecnologia que tenha penetrado mais de 2-3% em certo nicho, (mercado) e que apresente vantagem de competitividade (maior eficiência) - por pequena que seja, em relação a outras tecnologias, virá ocupa-lo inexoravelmente, no devido tempo. Por exemplo: aparentemente não há nada que possa interromper o avanço da utilização da energia nuclear, a nível mundial, pois que esta tecnologia já é responsável por 13% do consumo de energia elétrica e por 5% da energia total consumida a nível mundial, tendo gastado tipicamente 50 anos para atingir estes níveis de participação no mercado.

Todos estes fatos indicam que, contrariamente a nossa impressão, os sistemas sociais apresentam funcionamento extremamente inercial, regular e previsível, como se fossem dominados por inflexível lógica interna, obedecida tanto por grandes sistemas, "duros", quanto pelas atividades essencialmente "intelectuais". Contrariando ao que se propala, as coisas, tudo, muda lentamente. São exemplos

interessantes de sistemas "soft":

a. construção de catedrais góticas ao longo de quase 400 anos, mostrada na figura 13;

b. inspirado neste surpreendente exemplo, foi examinada a construção de igrejas em Ouro Preto e Mariana. O resultado é apresentado nas figuras 14 e 15. Por conexão óbvia com o assunto também mostramos a evolução da produção de ouro no período colonial em Minas Gerais. O máximo ritmo de construção de igrejas coincide com a máxima produção de ouro (1750) (figura 16). Com a descoberta do ouro a construção de igrejas tornou-se rapidamente a principal atividade da Minas colonial. No início, construíam-se igrejas para agradecer à Divina Providência o feliz achado, depois, mais tarde, era indispensável achar-se mais ouro para manter ativa a vasta humanidade de pedreiros, pintores, músicos etc. Os Lobos de Mesquita e os Aleijadinhos da vida... Afinal, acabou o ouro ou acabou a fé? Acabou-se o ouro de aluvião disponível à tecnologia então existente. Tendo ficado à margem da revolução industrial, não dispunha Portugal (e o Brasil) das tecnologias paradigmáticas da revolução industrial, como a máquina a vapor, moinhos, química, etc,

indispensáveis à exploração mais elaborada, como hoje se faz, do ouro em filão.

c. A saga da descoberta dos elementos químicos, pela comunidade científica, em frenética demolição de moléculas, para identificar ao longo de 200 anos, os constituintes últimos da matéria, os átomos, é mostrada na figura 17. Para isto organizaram-se associações científicas, editaram-se publicações periódicas, convocaram-se congressos e construiu-se laboratórios e sistemas educativos, envolvendo no início do Século XIX talvez bom milhar de pessoas. Número que cresceu epidemicamente, até o esgotamento do nicho, do número de espécies atômicas distintas quando a moda acabou-se. Com Rutherford, inaugura-se nova mania, - que continua - de quebrar os próprios átomos, seus núcleos em busca das partículas sub nucleares ditas elementares. Mas esta é outra história, a ser examinada oportunamente.

Examinemos finalmente uma série de atividades industriais e científico-técnicas, com vistas a extrair informações úteis à formulação e condução mais seguras das políticas de ciência e tecnologia.

A primeira observação, abundantemente demonstrada em

centenas de sistemas examinados é a de que, como parece óbvio, na competição entre sistemas ganham aqueles que possuam mais alta eficiência termodinâmica, a qual, aliás, também cresce logisticamente, como mostra a figura 18.

A lição a extrair da evidência largamente acumulada, em estudos deste tipo é a de que não há exemplo de penetração no mercado de sistemas menos eficientes do que os já existentes. Isto quer dizer que as chamadas tecnologias apropriadas, pobres ou "soft" não têm futuro... O critério termodinâmico serve também para definir novos materiais. São aqueles que minimizam o crescimento da entropia, $\Delta \frac{Q}{T}$, para trabalharem à temperaturas cada vez mais altas ou, que, à vista da conexão entre entropia e informação, permitam a transmissão de máxima informação, por unidade de tempo. Exemplo: aços especiais e cerâmicas; fibras óticas e dispositivos à base do silício, arseneto de gálio, etc.

A segunda observação é que o exame da literatura científica, ou a de patentes, permite inferir o esgotamento e/ou a duração de determinado campo de pesquisa e, logo determinar o interesse de eventual envolvimento da comunidade técnico-científica em determinado campo de trabalho que à luz do exame seja promissor.

São exemplos, selecionados ao acaso, de campos já

praticamente esgotados ou, em acelerado processo de obsolescência, os seguintes:

1. A figura 19 mostra que o estudo do metabolismo da vitamina D está esgotado, pois que já foi atingido o nível de 90% do nicho que dimensiona este campo de investigações;

2. Pesquisa básica sobre ímãs de terras raras - cobalto (figura 20), passou por máximo em 1975, com ΔT de 10 anos, não havendo pois qualquer interesse de ingressar neste campo. O exame de patentes sobre o mesmo tema, apresentado na figura 20a, mostra, ao contrário que ainda é possível e interessante trabalhar, pelo menos durante mais 10 anos, no desenvolvimento de aplicações desta classe de material.

3. Pesquisa científica e tecnológica sobre o PVC estão reunidas na figura 21. Ocorrem duas ondas: uma com máximo em 1976 e outra em 1986, havendo ainda pois limitada oportunidade para uns poucos anos de atividade, neste campo.

Já a figura 21a indica, ao contrário, que ainda subsiste chance de pesquisa puramente tecnológica sobre o assunto por uns 20 anos, evidenciada como

se vê pela evolução ainda incompleta do número de patentes concedidas no setor.

4. (Figura 22). Indica a intensidade da pesquisa científica sobre o efeito do CO_2 no clima, medida pelo número de trabalhos publicados na literatura especializada. É possível prever-se que o assunto estará esgotado logo depois da ECO'92, a menos da ocorrência de novas descobertas fundamentais - verdadeiras mutações - para disparar nova onda de investigação sobre este tema.

5. (Figura 23). O número de trabalhos publicados sobre Supercondutividade Clássica, aparece em 2 ondas. A última terminou em 1990. - Assunto morto...até novo break-through, se ocorrer.

6. Conclusão idêntica obtém-se da figura 24, indicando que as temperaturas de transição supercondutoras de materiais clássicos, já não poderão ser alcançados pelo emprego continuado das tecnologias tradicionais, pois que 90% do nicho representativo do tema já está ocupado. Pode-se porém notar o surgimento, em fins dos anos 80 a ocorrência de nova onda de inventos, envolvendo o uso de materiais cerâmicos, que provavelmente, revolucionarão toda a tecnologia do

setor eletromecânico. Há entretanto pouco tempo para participar desta onda de pesquisa fundamental, à vista de acelerada ocupação do nicho correspondente. Assim torna-se imperativo o exame da evolução do número de patentes que estão sendo concedidas nesta área para averiguar se ainda vale a pena investir no plano exclusivamente tecnológico, i. e., comercial, neste campo.

Para finalizar tomemos 2 sistemas - um bem sedimentado no passado - a indústria automobilística, e outro contemporâneo, o da indústria de computadores.

A penetração de carros nos mercados Europeu e Americano, está mostrada respectivamente nas figuras 25 e 26. Observa-se a ocorrência de duas ondas, tornando manifesta a ocorrência de um ciclo de Kondratiev.

A figura 27 refere-se à Mercedes Benz - reflexo da penetração da imagem da Mercedes na cabeça dos consumidores - todo mundo quer carro fino, elegante.

Note-se também aqui a fractalidade do sistema automóvel.

Examinemos agora o crescimento e morte das empresas montadoras:

A figura 28 mostra a evolução do número de fabricantes de veículos (1400!), no início do século. A curva pontilhada representa a mortalidade das mesmas, - vê-se que sobraram apenas 12, i.e., da ordem de 1% daquelas que pioneiramente ingressaram no mercado, a vida média das empresas no ápice do desenvolvimento do setor atingindo apenas, cerca de 4 anos.

Voltando nossa atenção para o setor industrial mais moderno examinemos:

A figura 29 representa o número cumulativo de fabricantes de computadores de porte - quase 700 (696) que ingressaram no mercado até 1991. é de esperar que a feroz competição ocasionará, como no caso dos automóveis, a sobrevivência futura de, talvez, apenas 1 dúzia de fabricantes.

A inovação propriamente dita, neste campo, (figura 30) pode ser quantitativamente avaliada pelo número cumulativo de novos modelos lançados no mercado - 3000 - em 1987, devendo alcançar o dobro, 6000, lá pelo ano 2010! Há pois ainda lugar para entrar neste jogo perigoso... Pelo menos no que se refere à variedade de modelos comerciais.

Cabe-me agora concluir, dizendo:

1º que é possível prever a duração e intensidade de pulsos de desenvolvimento científico e tecnológico. Para isto é necessário criteriosa coleta de informação sobre aquelas invenções e inovações que já hajam penetrado no mercado ao nível mínimo de 2 a 5%. É preferível utilizar as invenções e inovações do próximo!

2º não é possível prever o aparecimento de uma invenção precisa no nascedouro, contrariamente à inovação que pode ser inferida da invenção, utilizando-se certos critérios técnicos descritos em seguida;

3º entre 2 processos em competição, ganha aquele de maior eficiência termodinâmica;

4º os processos de difusão de grandes tecnologias são lentos, levando tipicamente 50 anos para participarem irreversivelmente do mercado. Exemplo: energia nuclear. O primeiro reator funcionou em 1941, mas foi somente em 1990 que essa tecnologia pôde alcançar 5% do mercado mundial de energia;

50 devido à grande inércia na introdução dos grandes sistemas tecnológicos é possível determinar a participação relativa futura das mesmas no mercado. Por exemplo do exame da figura 11 torna-se evidente que o gás natural será o combustível dominante nos próximos 50 anos;

Da mesma maneira pode se prever que a produção futura de aço se fará cada vez mais pelo uso de pré-reduzidos em fornos elétricos, como se nota na figura 30.

Ambos os casos, obviamente interessam ao mercado mineiro.

Poder-se-ia continuar citando indefinidamente, exemplos das mais de 3000 aplicações do modelo às mais diversas atividades.

Quando olhamos em torno de nós, com as lentes dessa técnica, tudo que parecia caótico revela-se impecavelmente organizado. Aliás, hoje até o caos é determinista...

Proposta: criação de mecanismos institucionais de análise, providos de um banco de dados realmente poderoso, para proceder exame das inovações reportadas da literatura, cujo tipo e intensidade de penetração, revelem-se

apropriados à estrutura econômica de nosso mercado. Esta iniciativa permitirá ao Estado e ao país o estabelecimento de política ágil de investimento tecnológico, tanto em capital, como em recursos humanos necessários ao nosso desenvolvimento. Somente assim poderíamos fazer face aos grandes desafios que nos reservam o século 21. Pois que, como vimos, perdendo-se uma onda de inovação, deve-se esperar meio século para participar - se o fizermos - da seguinte. As invenções da onda presente, em que vivemos, estão prontas, feitas, tendo ocorrido com máximo de intensidade, em 1968 como já mostramos. Resta-nos assim participar preferentemente do processo de inovação que ainda se estenderá até os anos 2005-2010. Estaremos assim, se formos atentos e decididos, participando da inevitável onda de progresso a iniciar-se após 1995...

é triste recordar que boa centena de sistemas brasileiros investigados pelo uso da técnica que venho de descrever, revelam que estamos atrasados de um Kondratiev (55 anos) em relação ao mundo industrializado particularmente aos Estados Unidos; atraso que se mede, por exemplo, pela comparação do consumo energético dos dois países: 41 MW, em 1940, para o potencial instalado nos Estados Unidos contra 43 MW para o Brasil, em 1985!). é mesmo possível que tenhamos irremediavelmente perdido o bonde há quatro Kondratievs - i.e., a partir de 1780-1790 - quando fracassamos na tentativa de libertarmo-nos do jugo

colonial português, à época em que os Estados Unidos acendiam a sua auto determinação; ao tempo em que a Revolução Francesa fazia ruir o feudalismo na Europa, instaurando-se no continente a revolução industrial, demolidora de impérios caducos, como os ibéricos, que nos dominaram por 300 anos!

Tudo isto dá o que pensar e talvez, como espero sinceramente, induza-nos à ação.

A iniciativa de realização deste seminário constitui, indício animador de que possivelmente, em Minas Gerais esteja nascendo o germe de novo e pujante paradigma de ação.

Deus seja louvado!

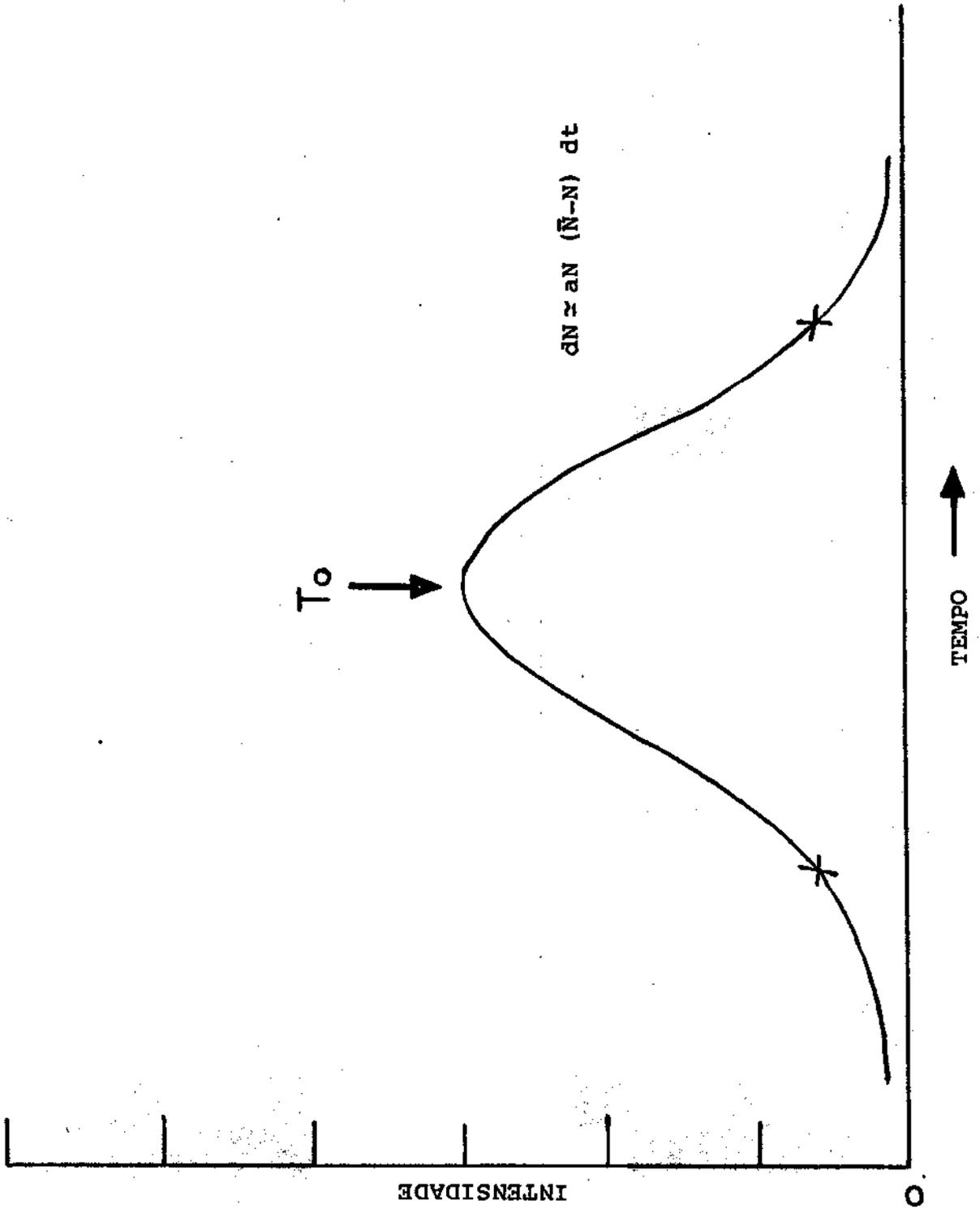


FIGURA 1

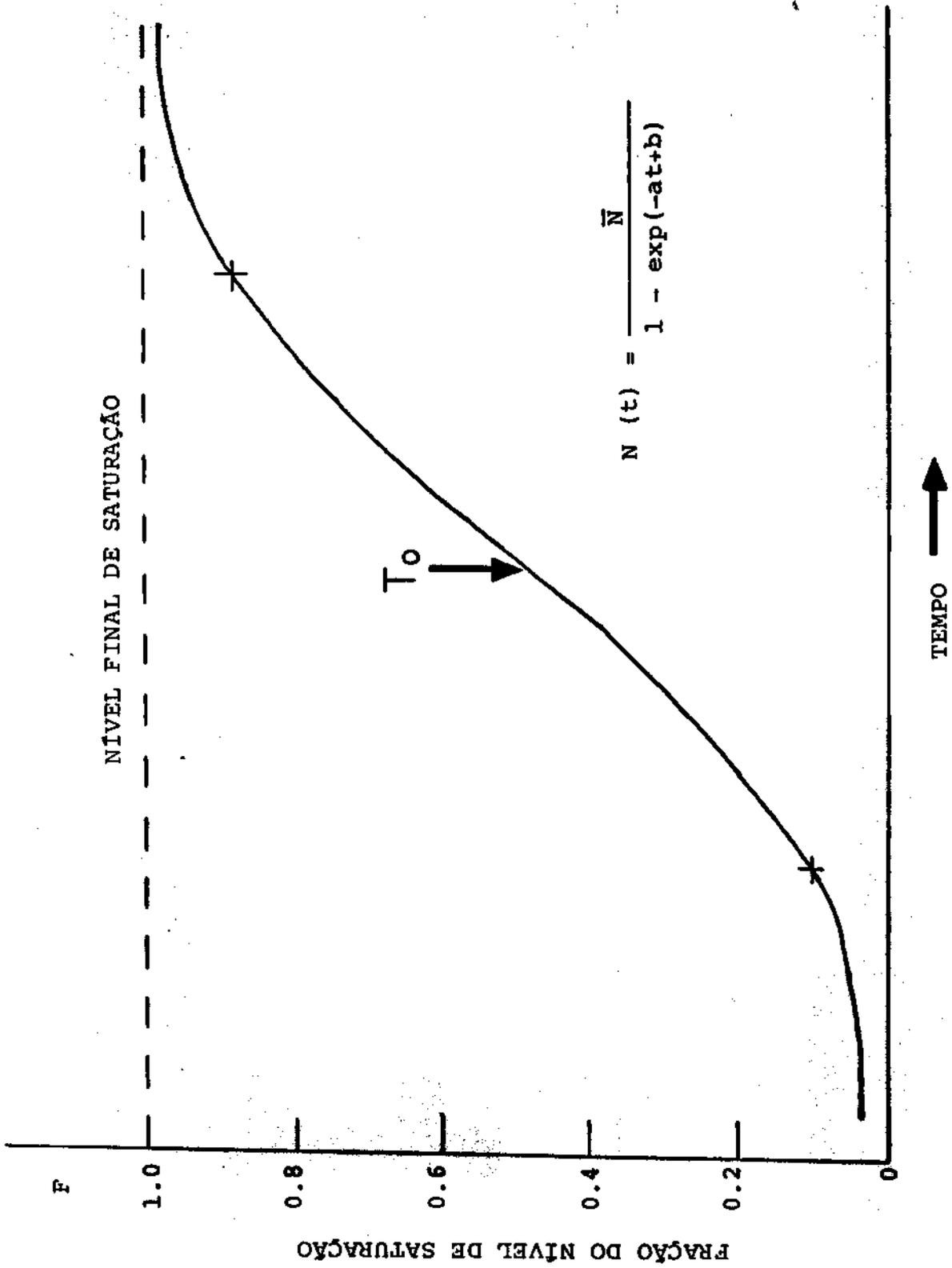


FIGURA 2

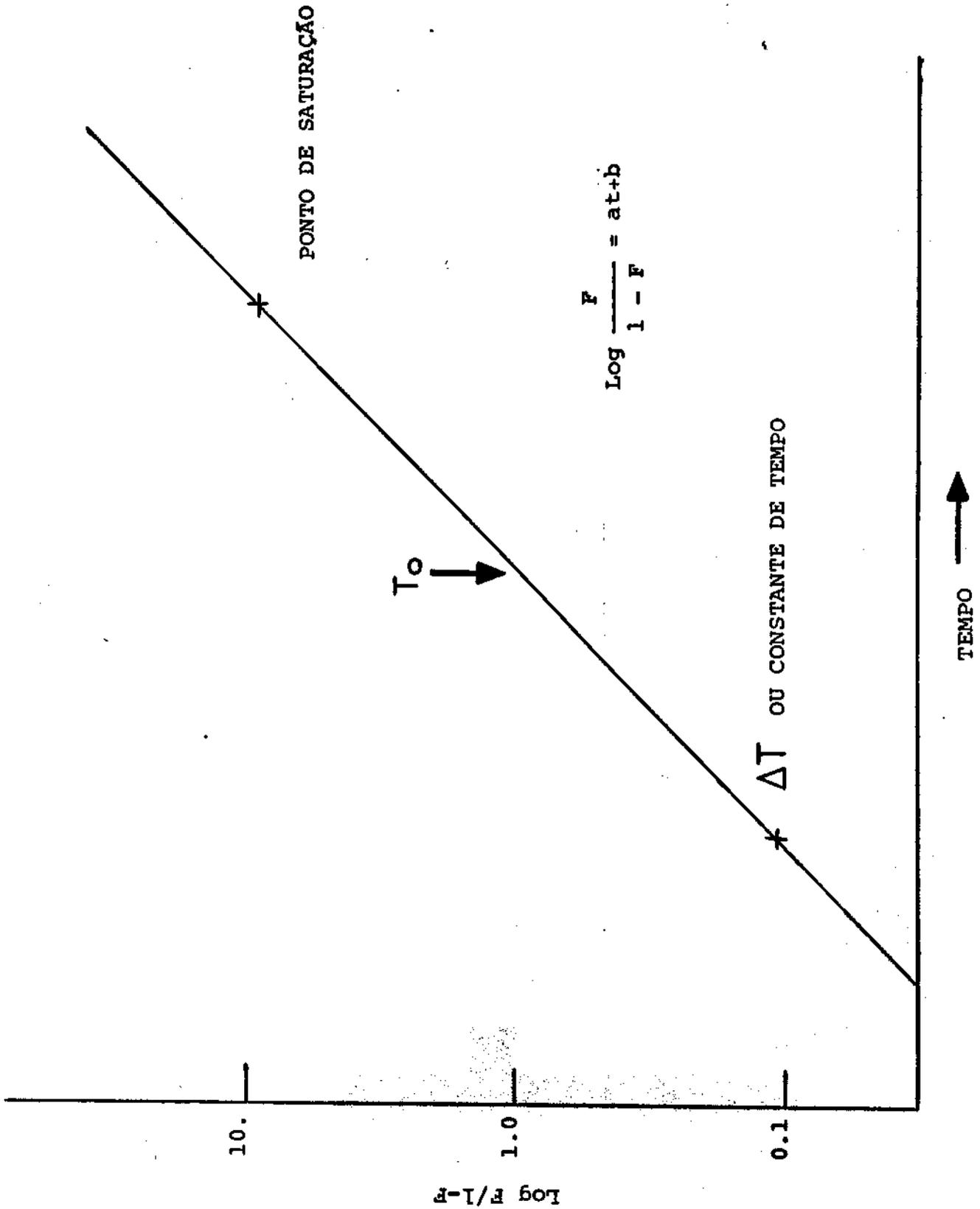


FIGURA 3

A PESTE DE LONDRES (1665)
MORTES ACUMULADAS (Oficiais)

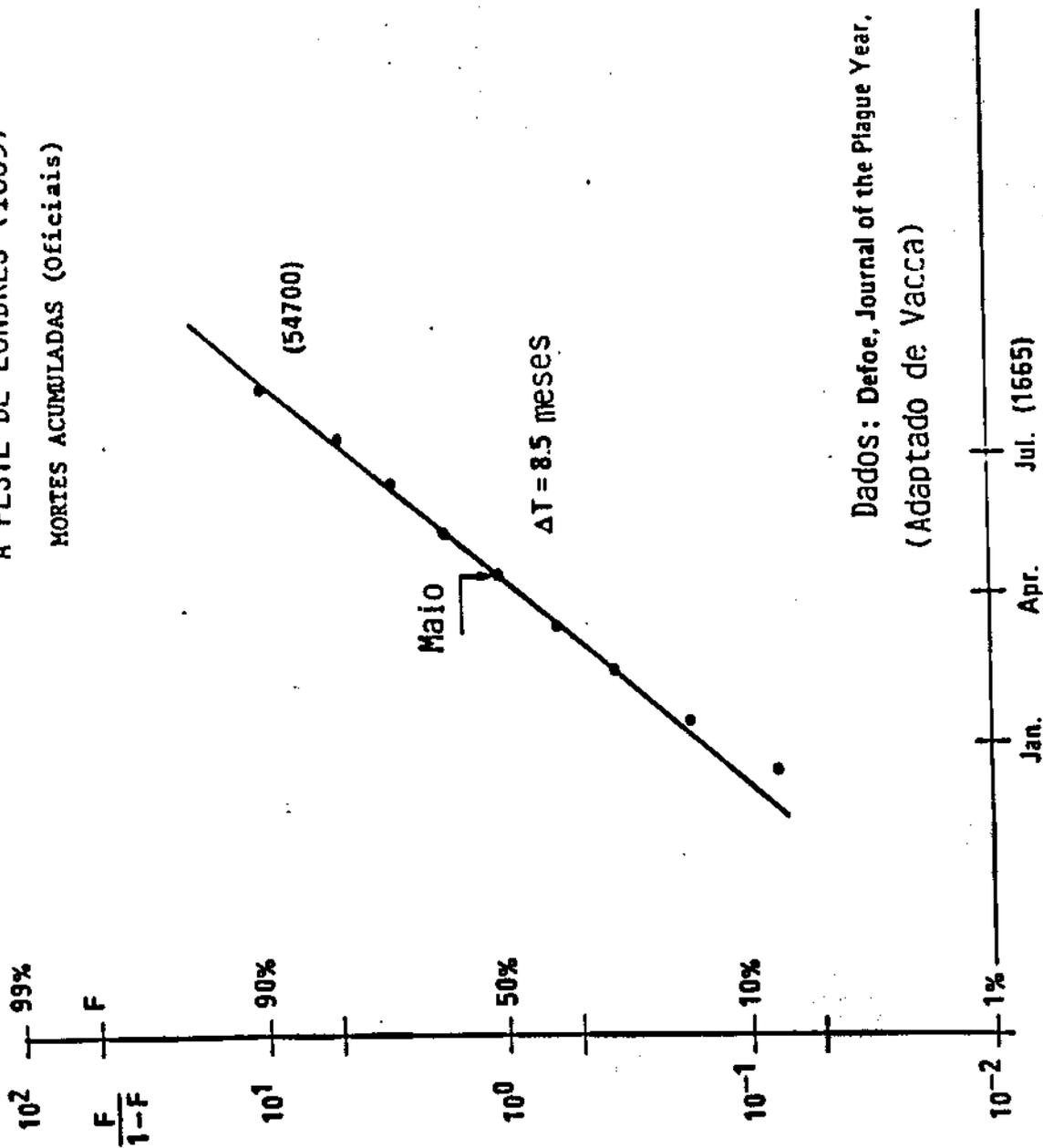
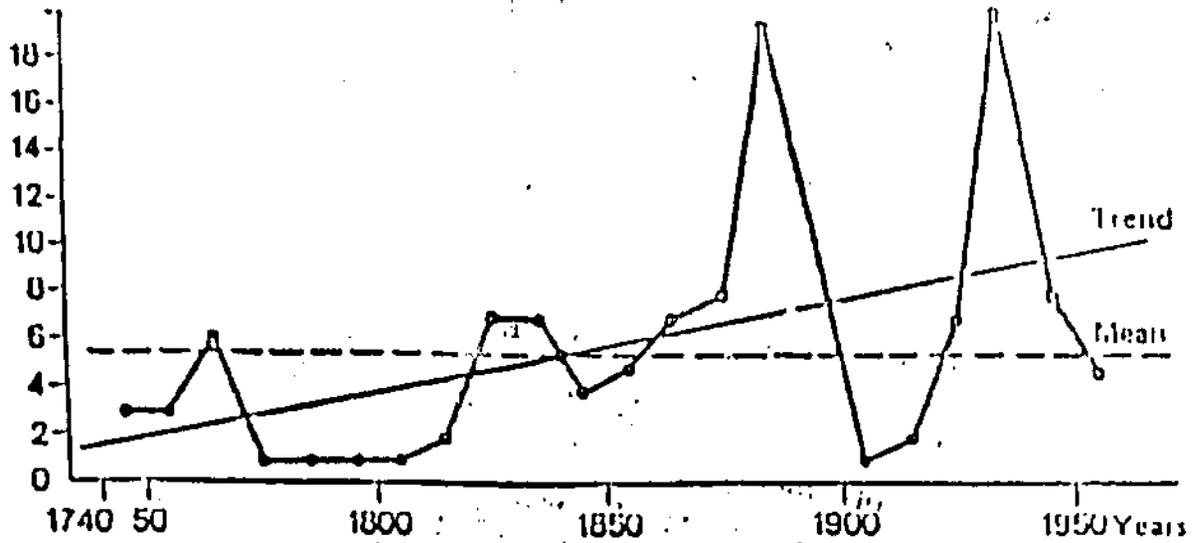


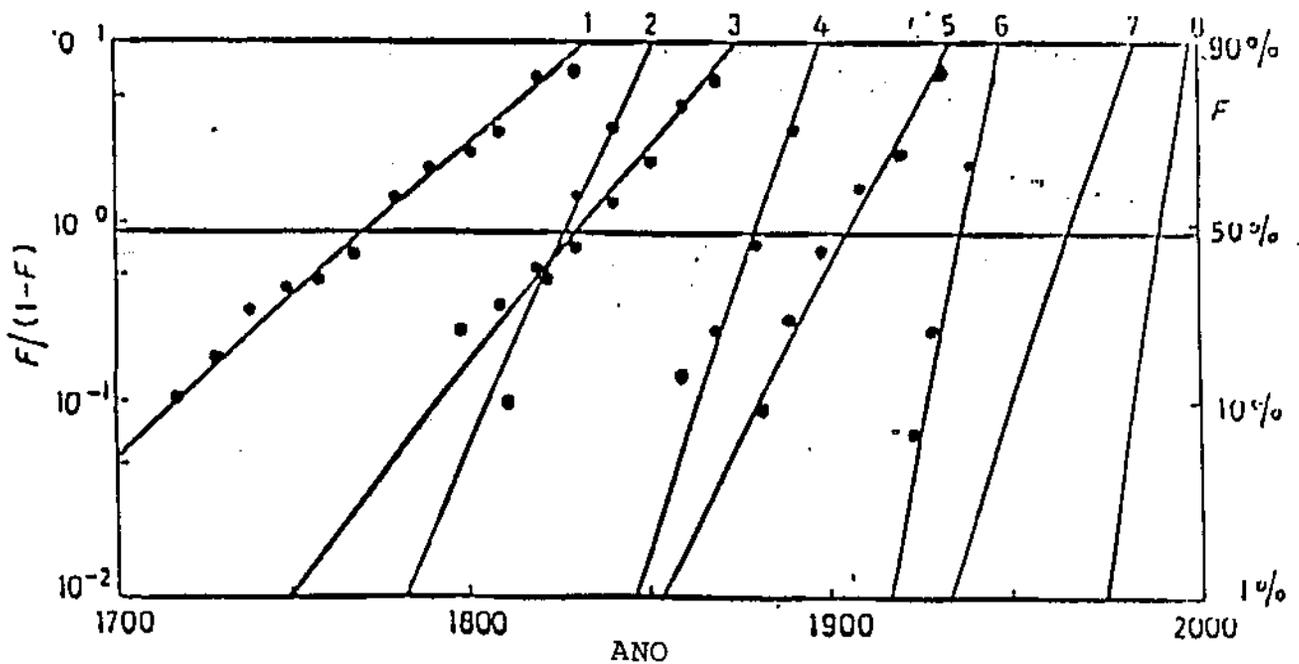
FIGURA 4

ONDAS DE INOVAÇÃO E INVENÇÃO



- Frequência de inovações básicas (1740-1960). Os números citados representam grupos de 10 inovações. As inovações básicas originam indústrias pioneiras.

TRATAMENTO LOGÍSTICO DAS ONDAS DE INOVAÇÃO E INVENÇÃO



- Invenções e inovações básicas aparecem em pulsos, supondo-se que sejam "produtos" que respondem a uma demanda limitada, podem ser consideradas populações Malthusianas. De fato este comportamento é observado quando os dados são cumulativos. As curvas marcadas com números pares representam as inovações, e as ímpares as invenções.

FIGURA 5

FIGURA 6

ONDAS DE INOVAÇÃO = O CONJUNTO SECULAR

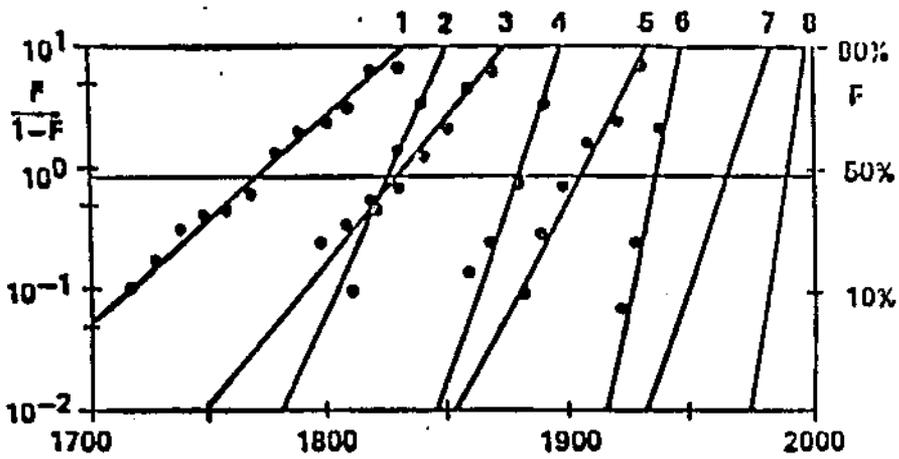
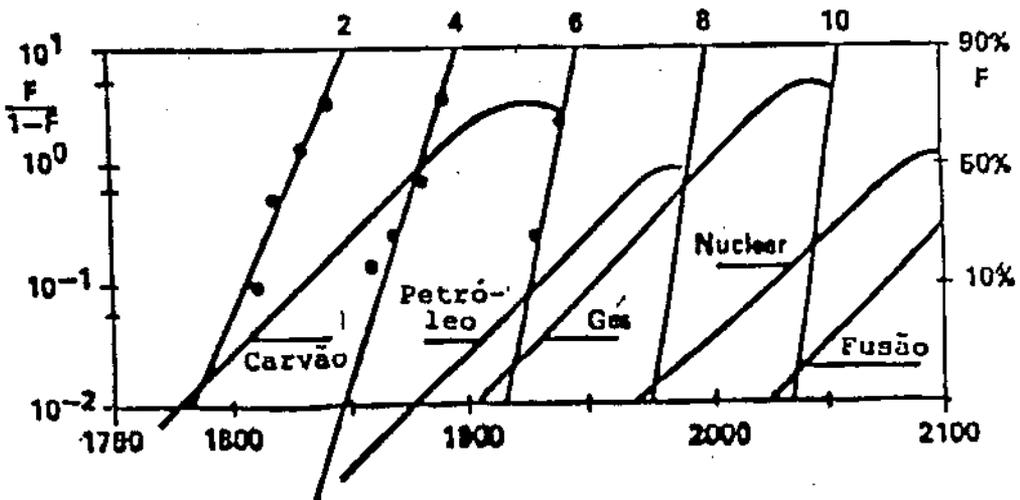


FIGURA 6a

ONDAS DE INOVAÇÃO E O INÍCIO DE NOVAS FONTES DE ENERGIA



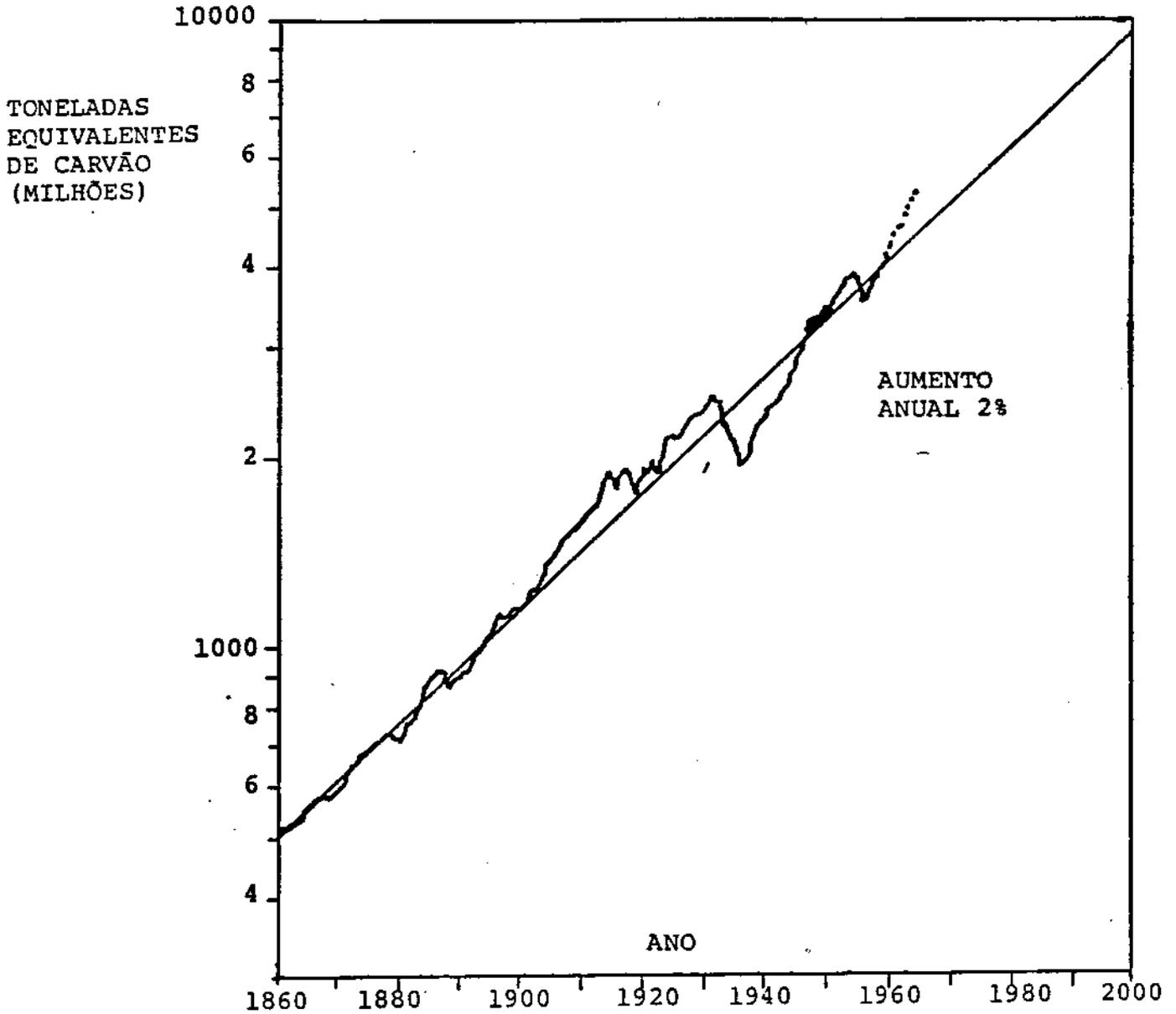


FIGURA 7 . O CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA INCLUINDO MADEIRA E RESÍDUOS AGRÍCOLAS.

-29-

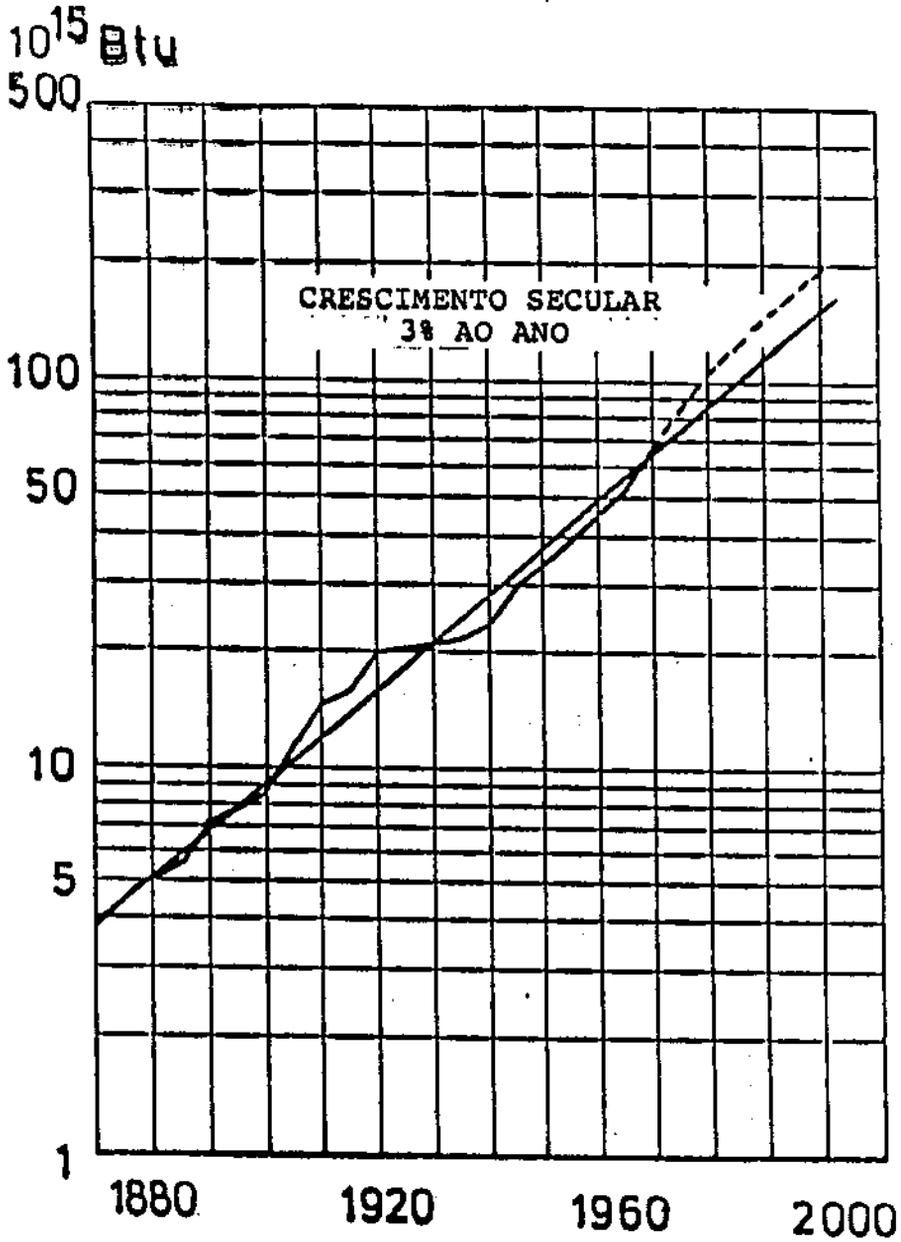


FIGURA 7a . CONSUMO TOTAL DE ENERGIA NOS ESTADOS UNIDOS (1870 - 1970)

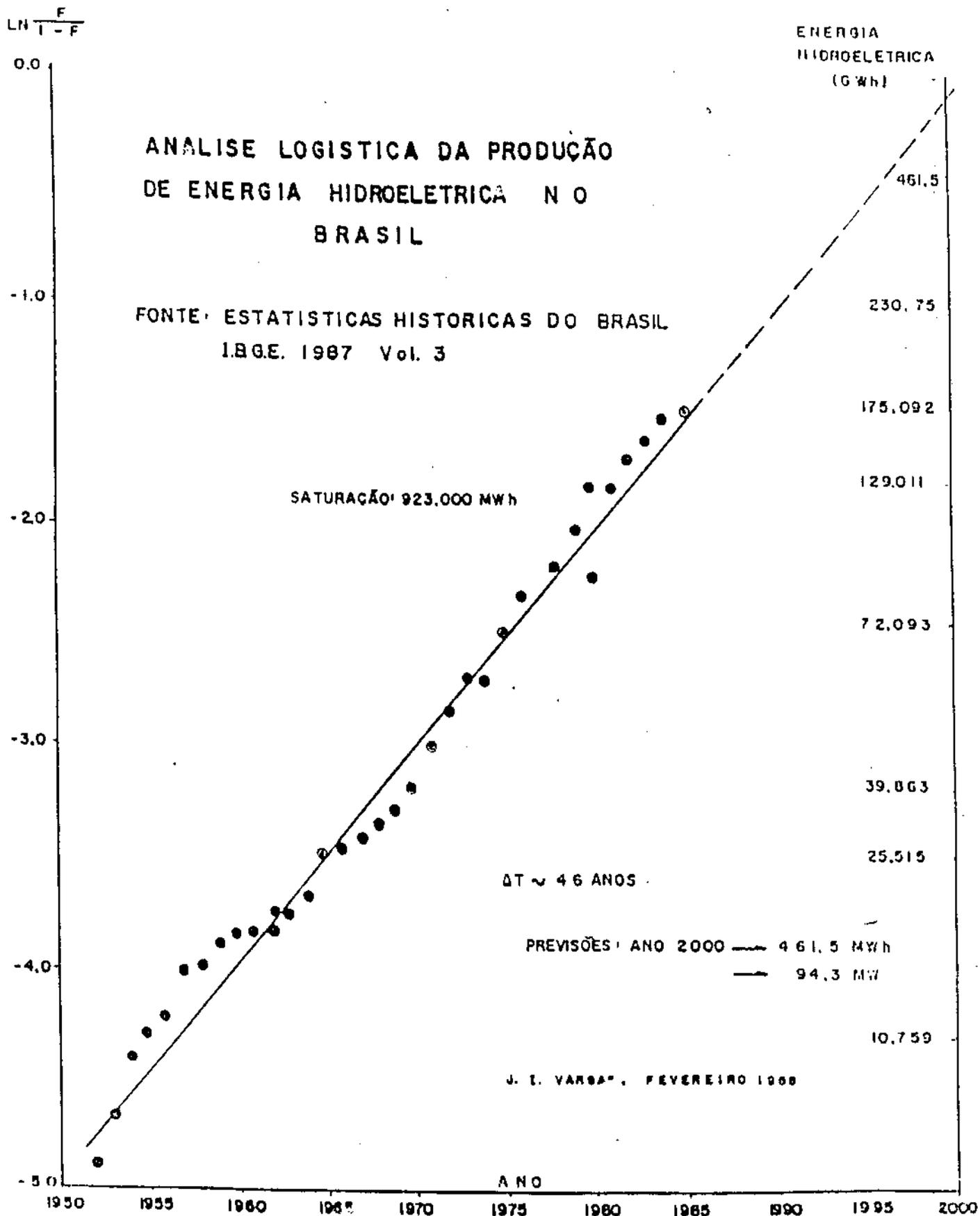


FIGURA 7b

PERCENTAGEM DO USO DE LONGO TERMO DE ENERGIA NOS E. UNIDOS

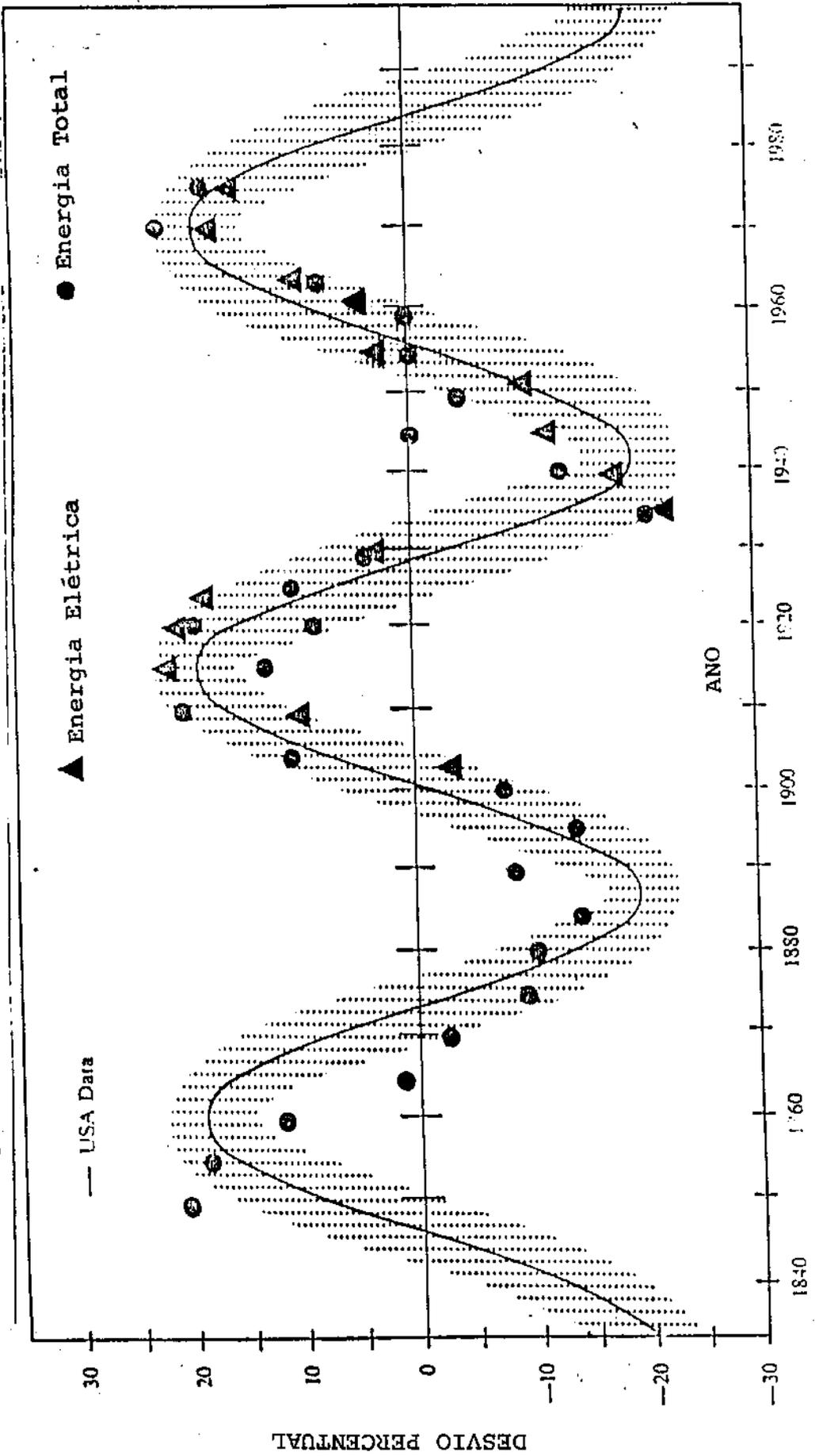


FIGURA 8

CENTROS MAXIMOS DE INVENÇÃO E INOVAÇÕES SOBRE O INDICADOR ENERGETICO

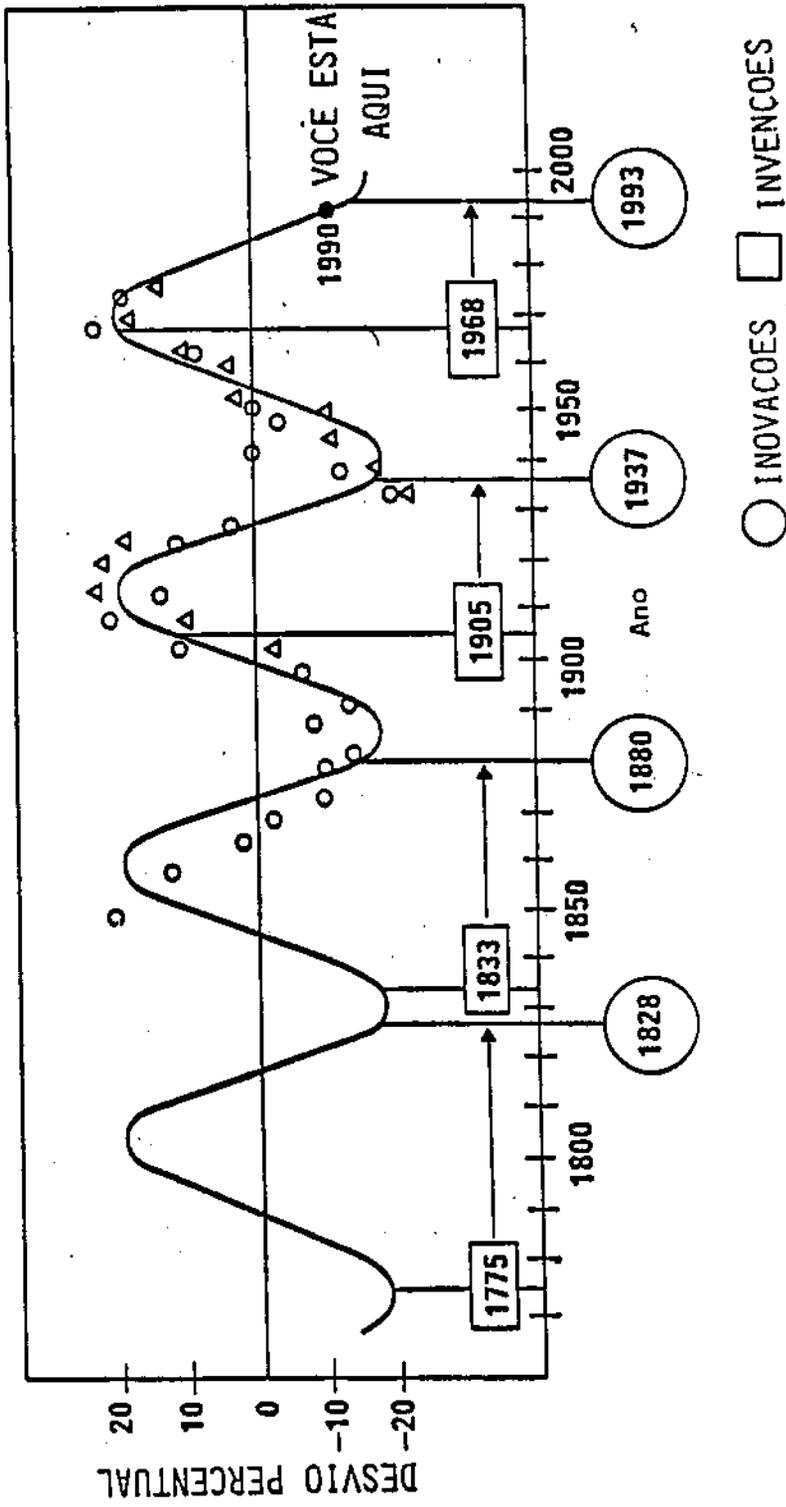


FIGURA 9

-33-

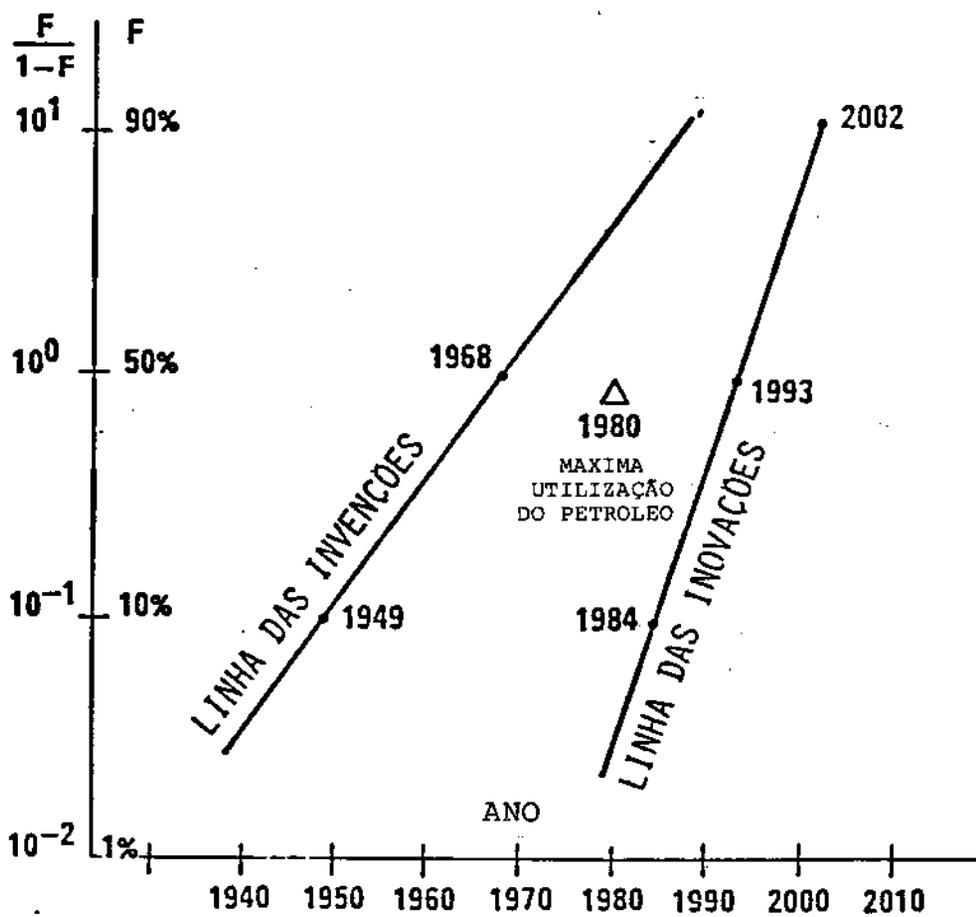


FIGURA 9a

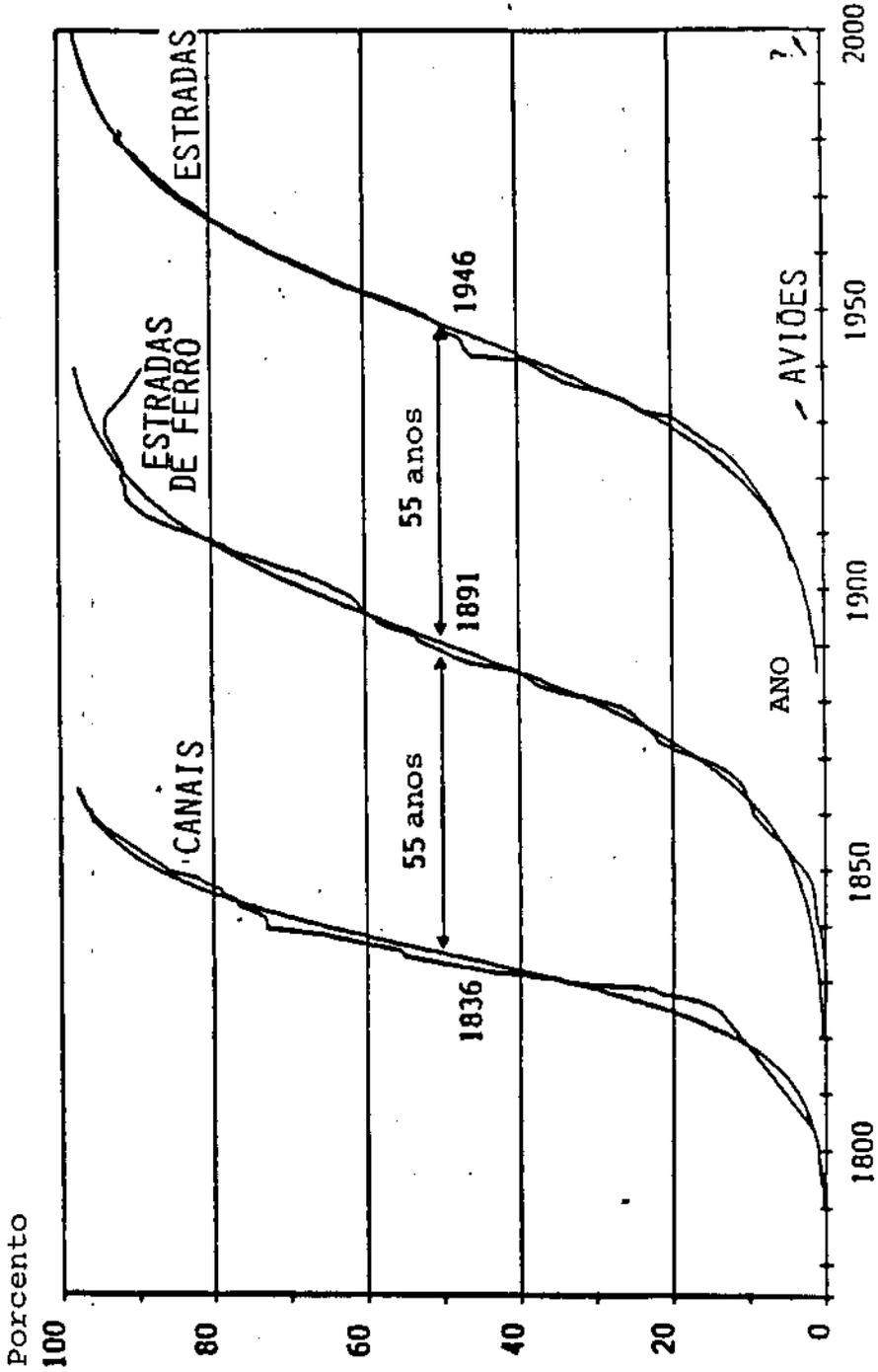
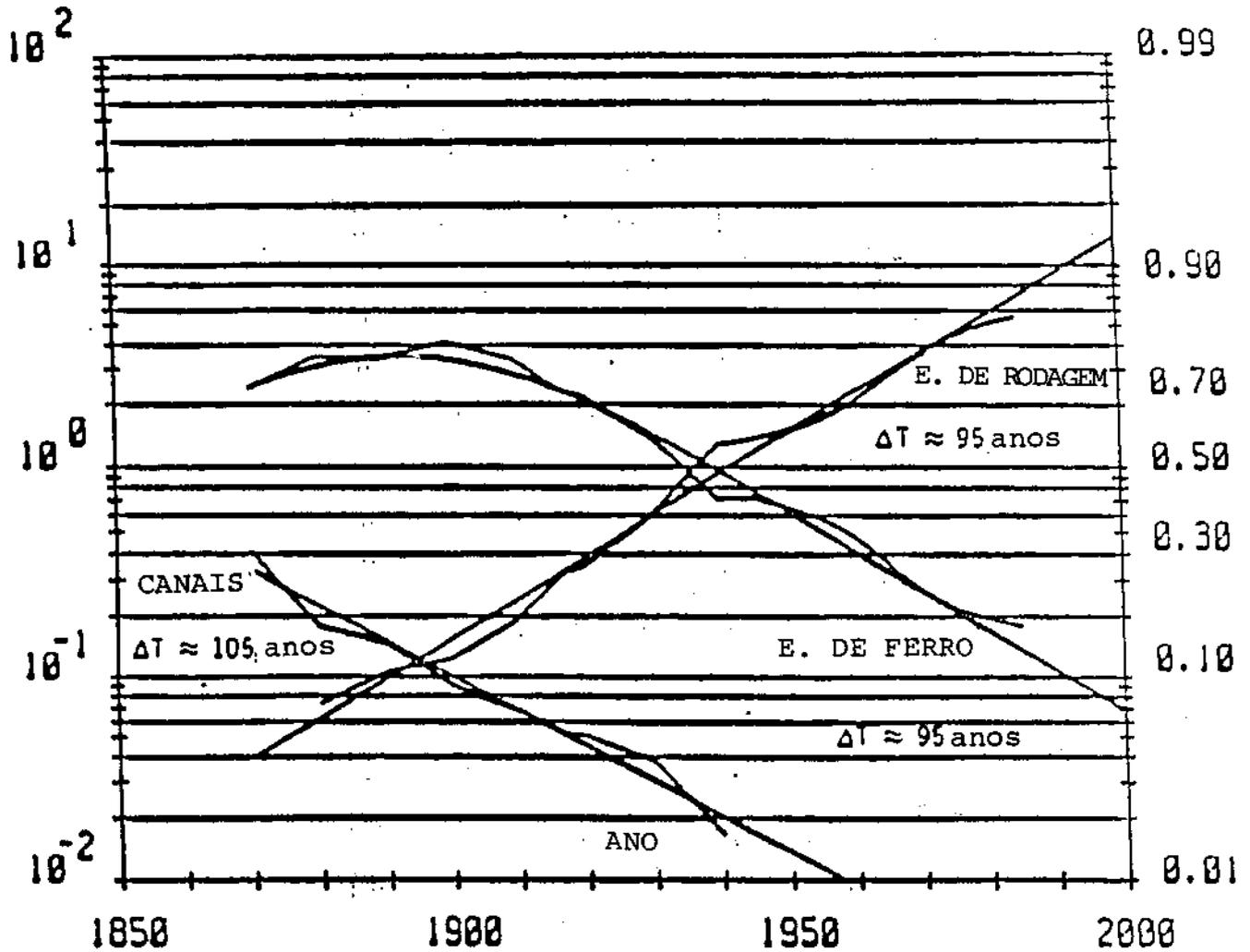


FIGURA 10

UNIÃO SOVIÉTICA:
CRESCIMENTO DA INFRA ESTRUTURA

$F/(1-F)$

FRAÇÃO (F)



A. GRUEBLER, 1937

FIGURA 10a

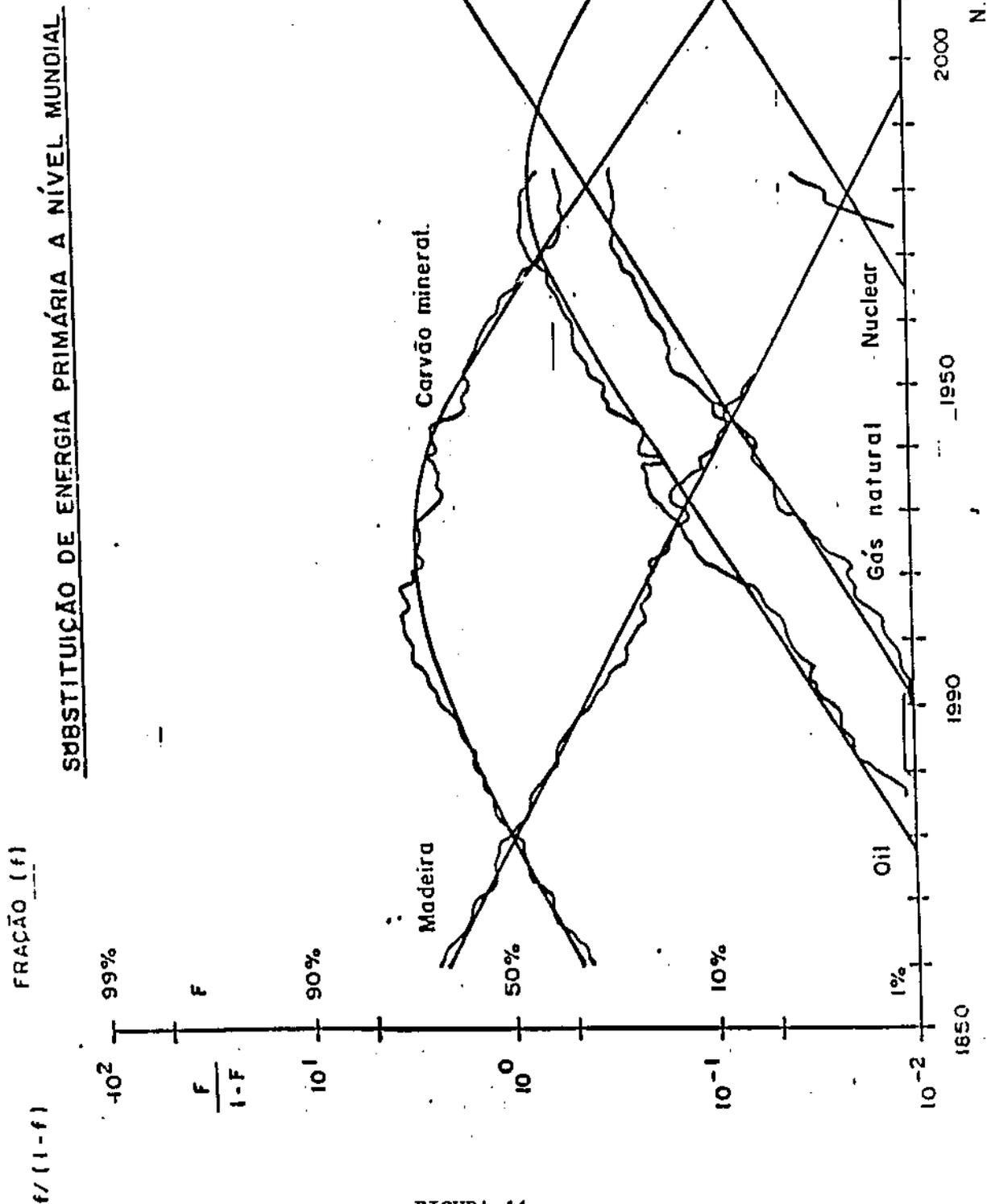
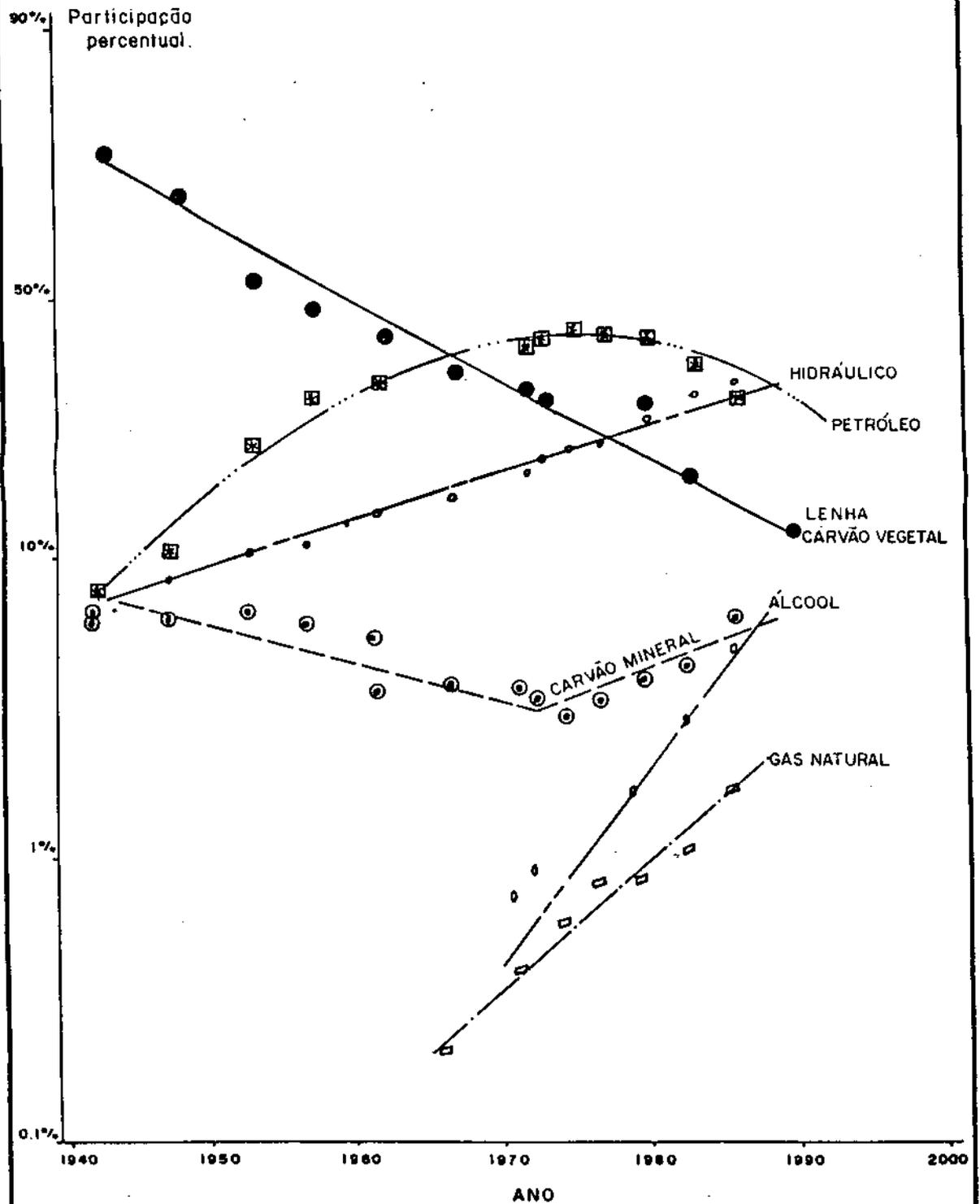


FIGURA 11

Figura 12

SUBSTITUIÇÃO DA ENERGIA PRIMÁRIA NO BRASIL
(Evolução do consumo por fonte)



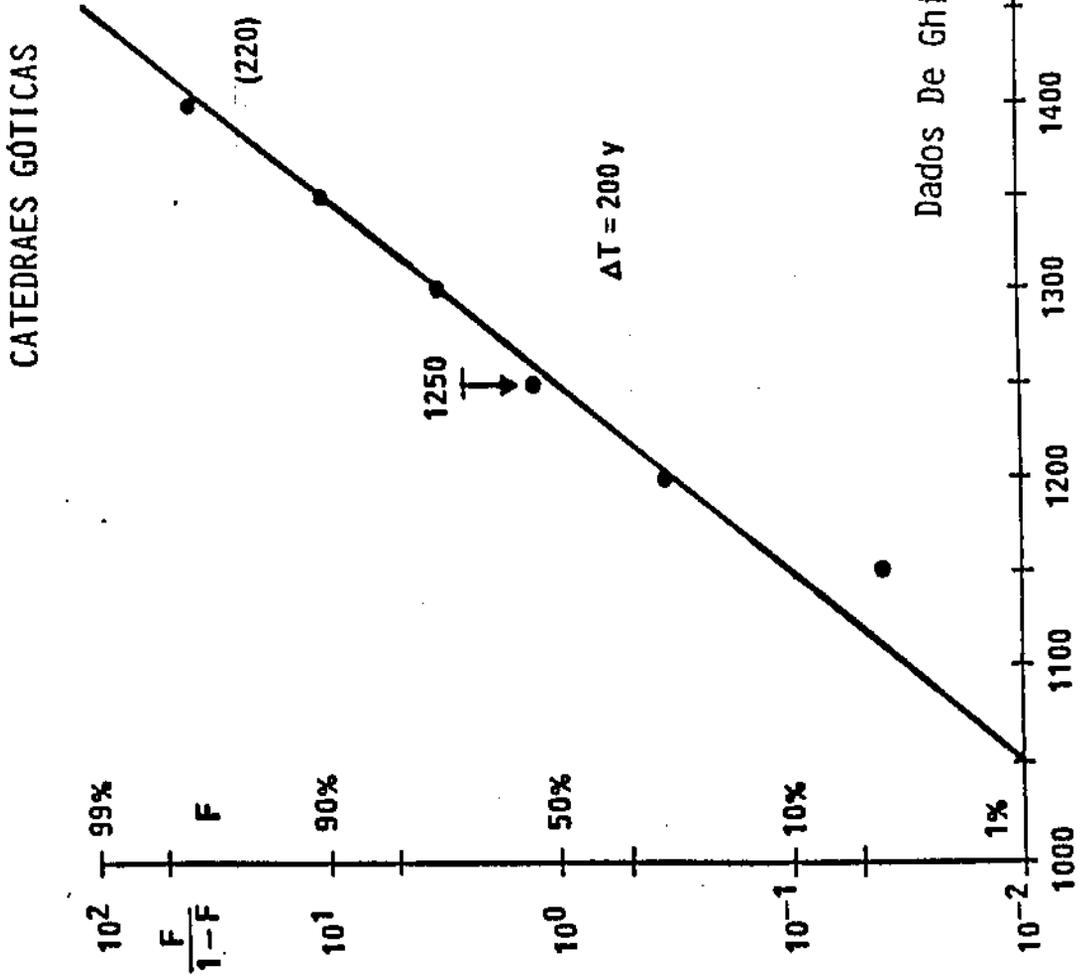


FIGURA 13

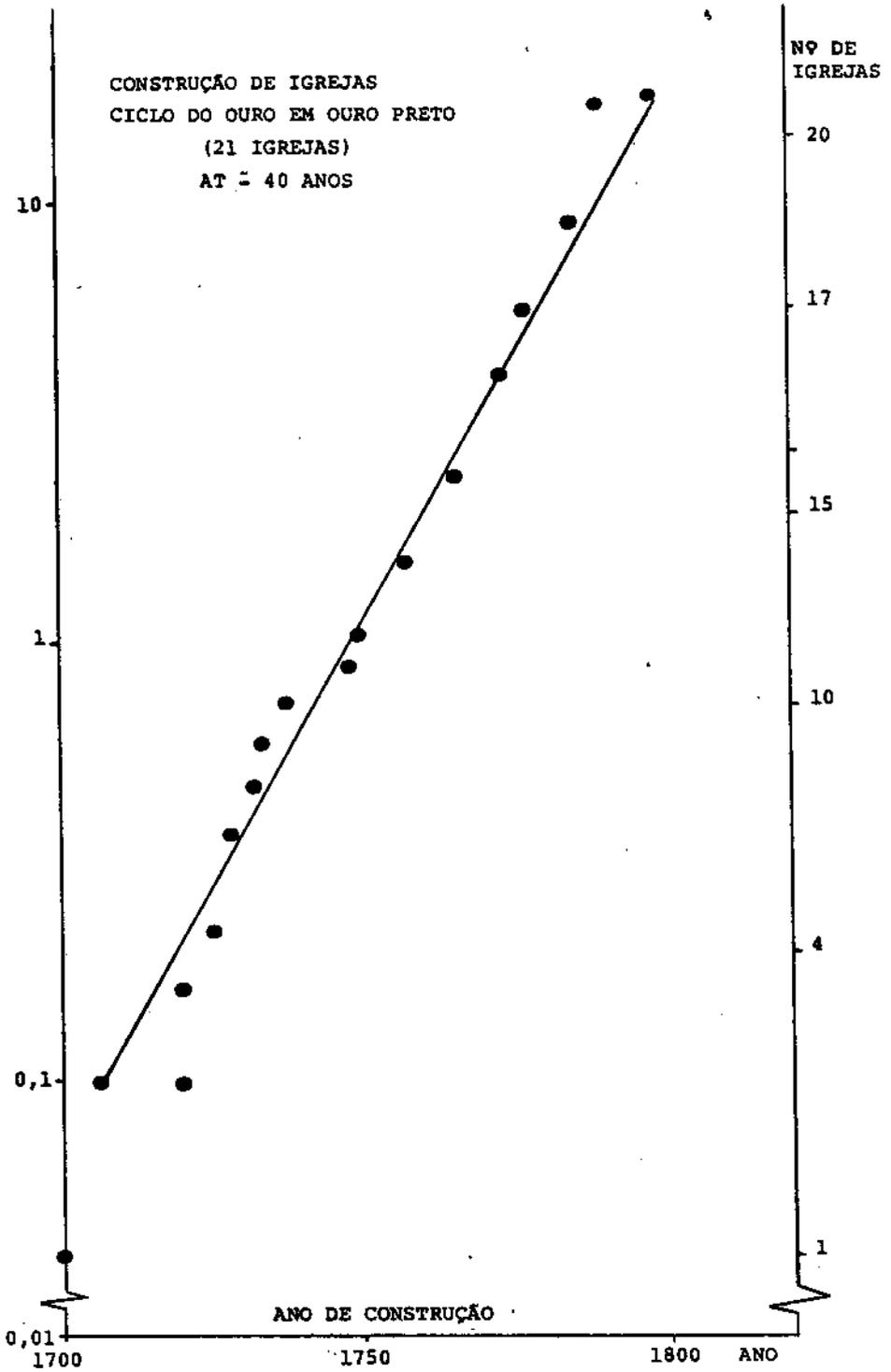


FIGURA 14

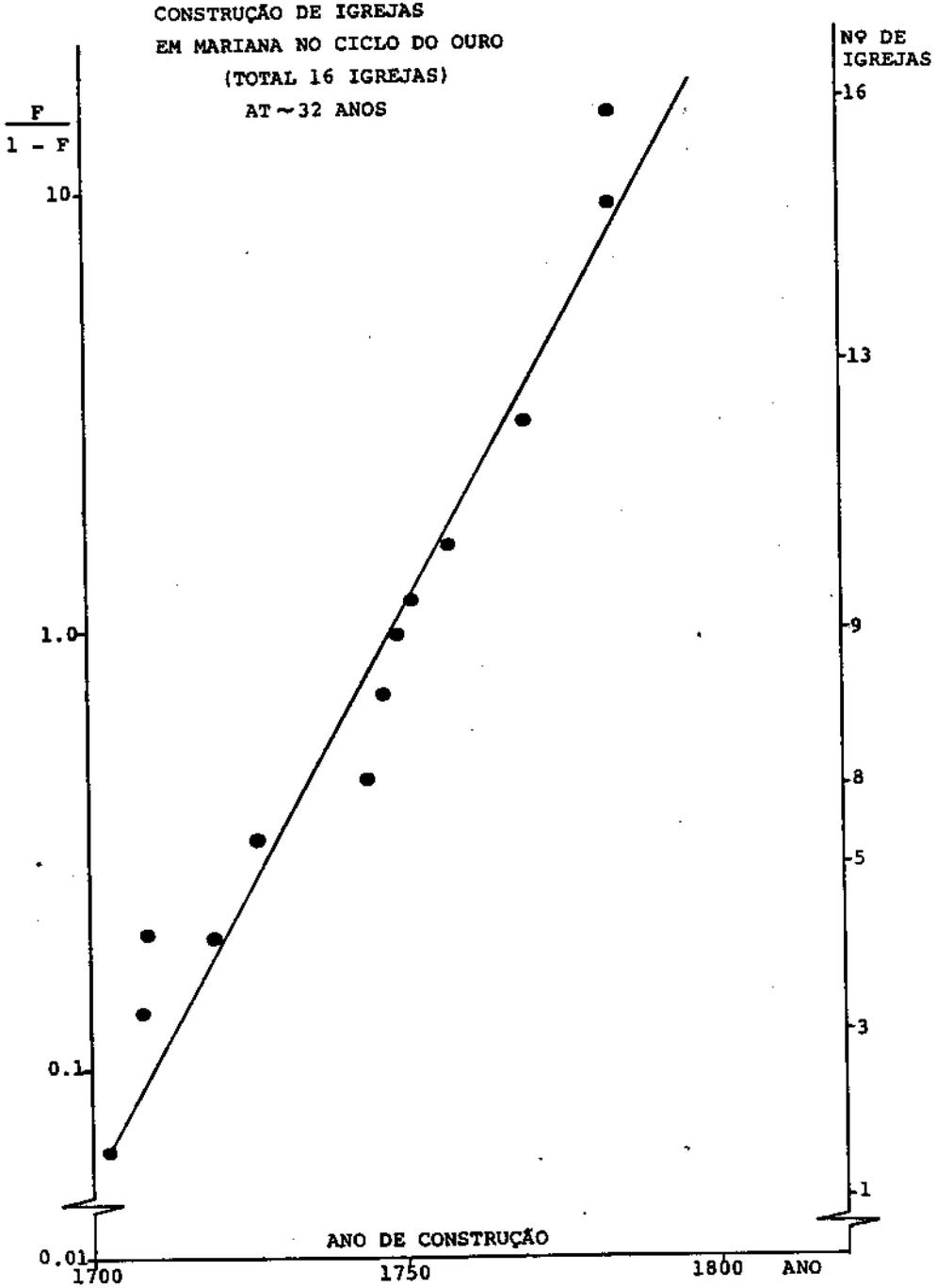


FIGURA 15

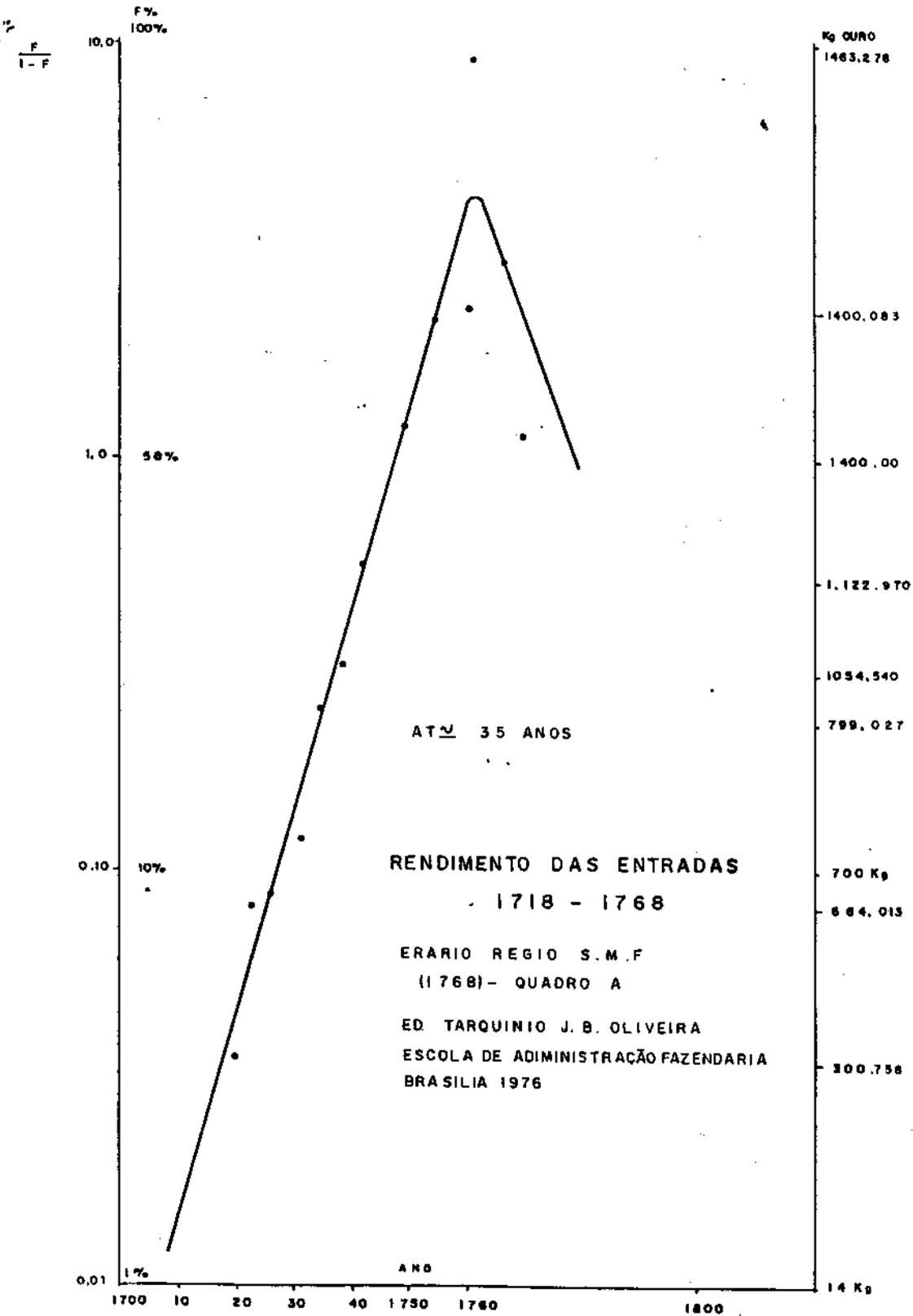
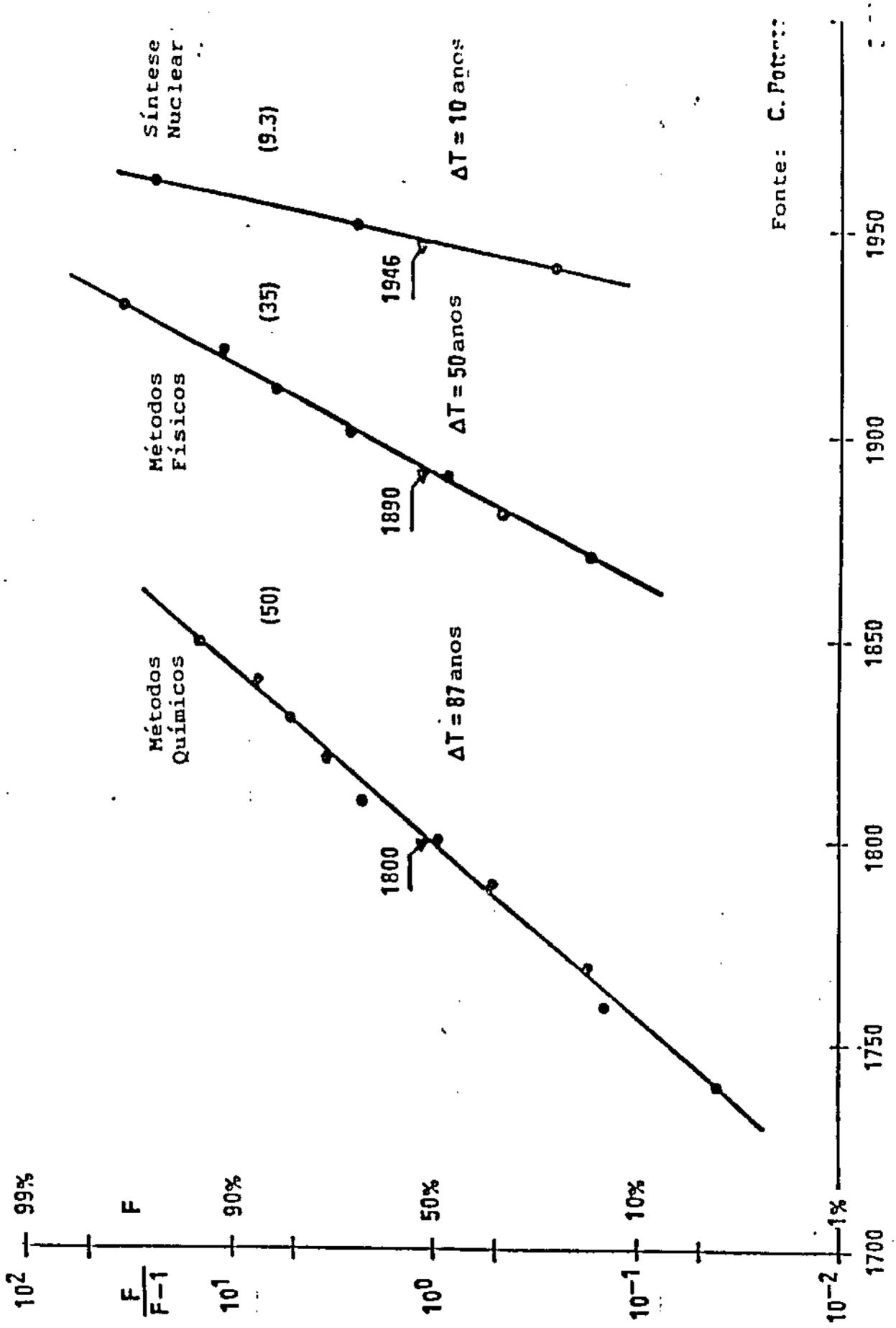


FIGURA 16

DESCOBERTA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS

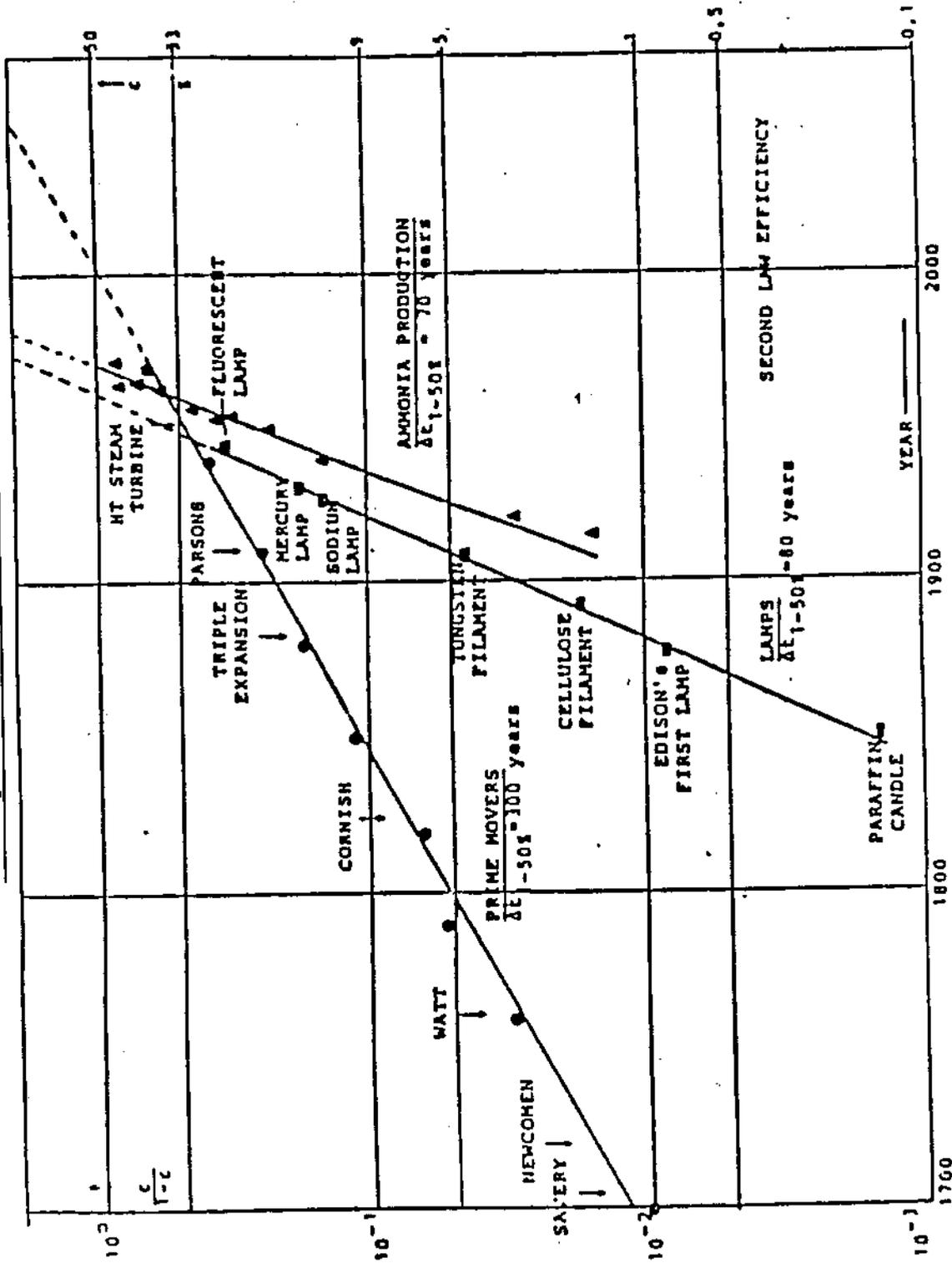


Fonte: C. Poterri

C. Marchetti - IIASA

FIGURA 17

EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA EFICIÊNCIA



EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA EFICIÊNCIA DE 3 TECNOLOGIAS ΔT É O TEMPO PARA A EFICIÊNCIA IR DE 18 A 50%

FIGURA 18

METABOLISMO DA VITAMINA D

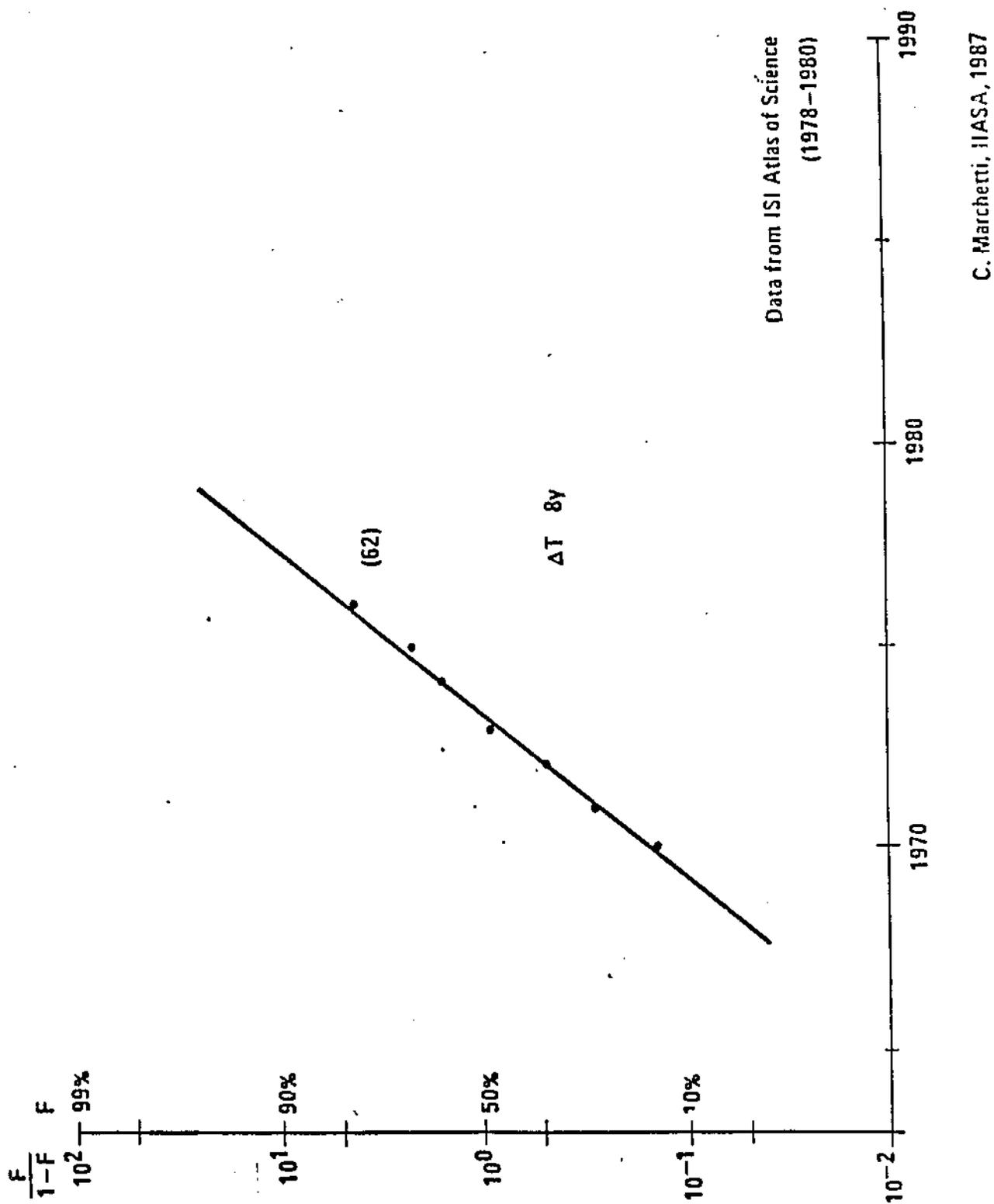
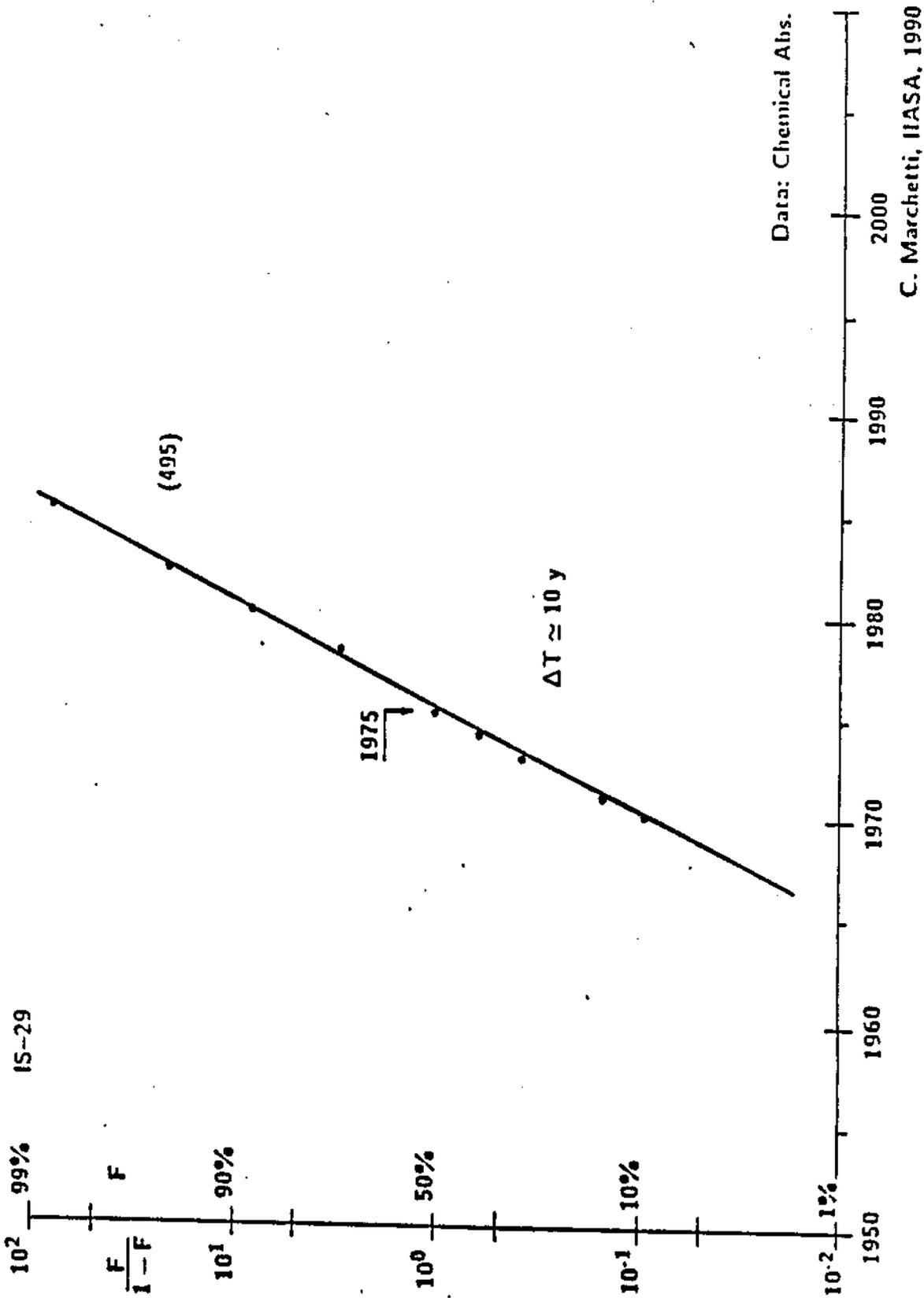


FIGURA 19

IMAS DE TERRAS RARA E COBALTO (NAO PAIENTEADOS)



Data: Chemical Abs.

C. Marchetti, IIASA, 1990

FIGURA 20

IMÁS DE COBALTO - TERRAS RARAS

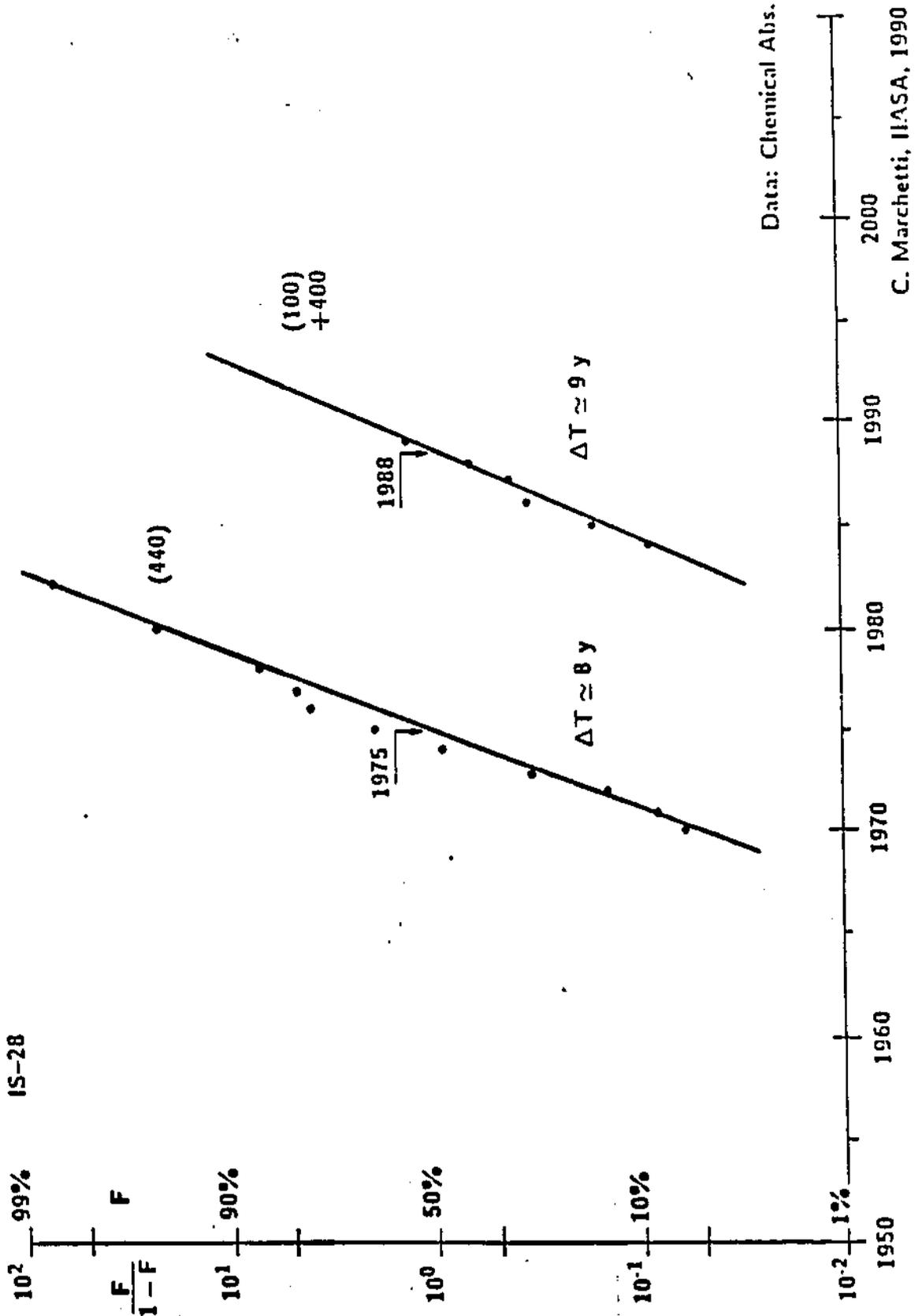
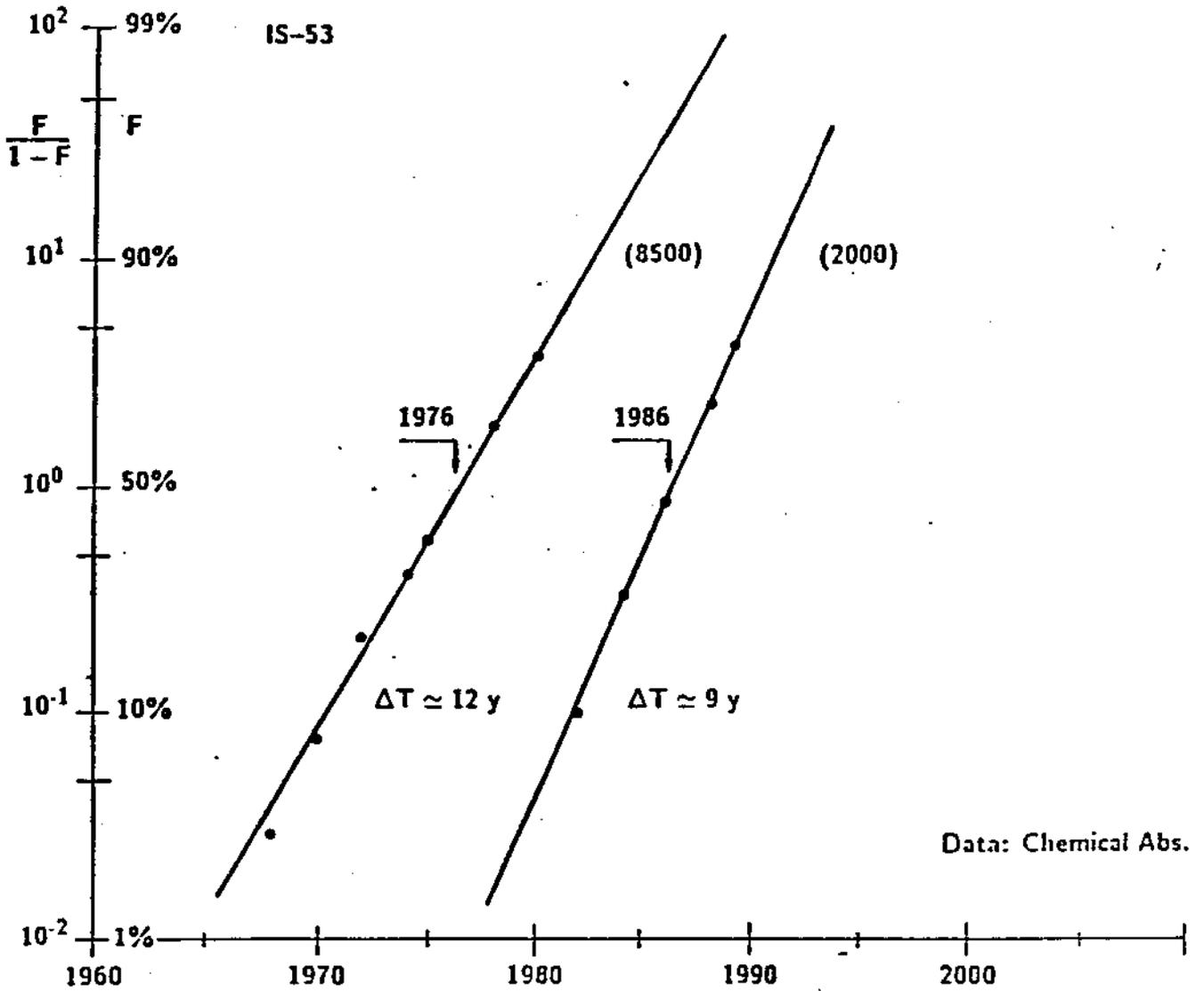


FIGURA 20a

PVC - (SEM PATENTES)



C. Marchetti, IIASA, 1991

FIGURA 21

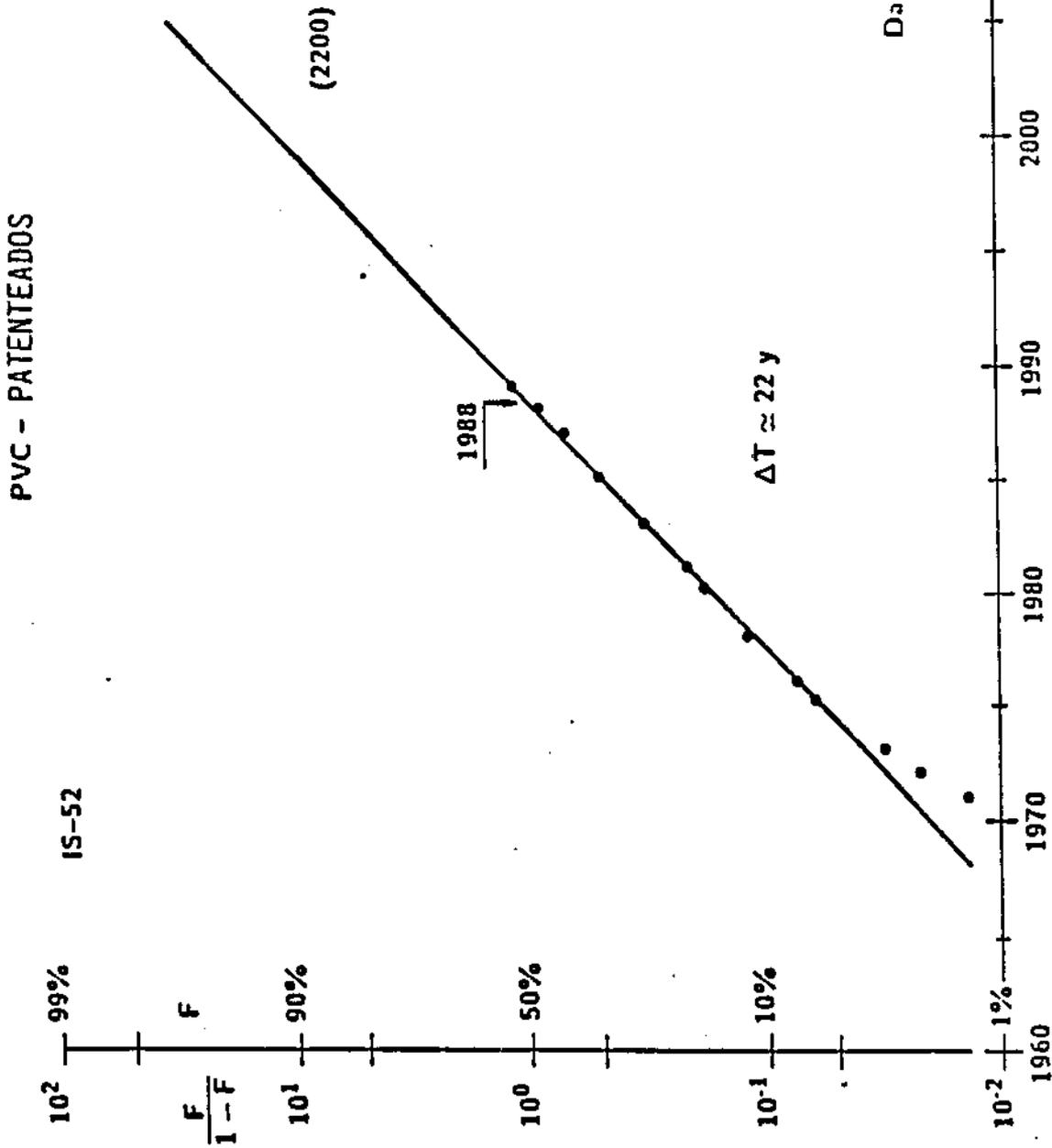


FIGURA 21a

TRABALHOS SOBRE O CO² E O CLIMA (Número)

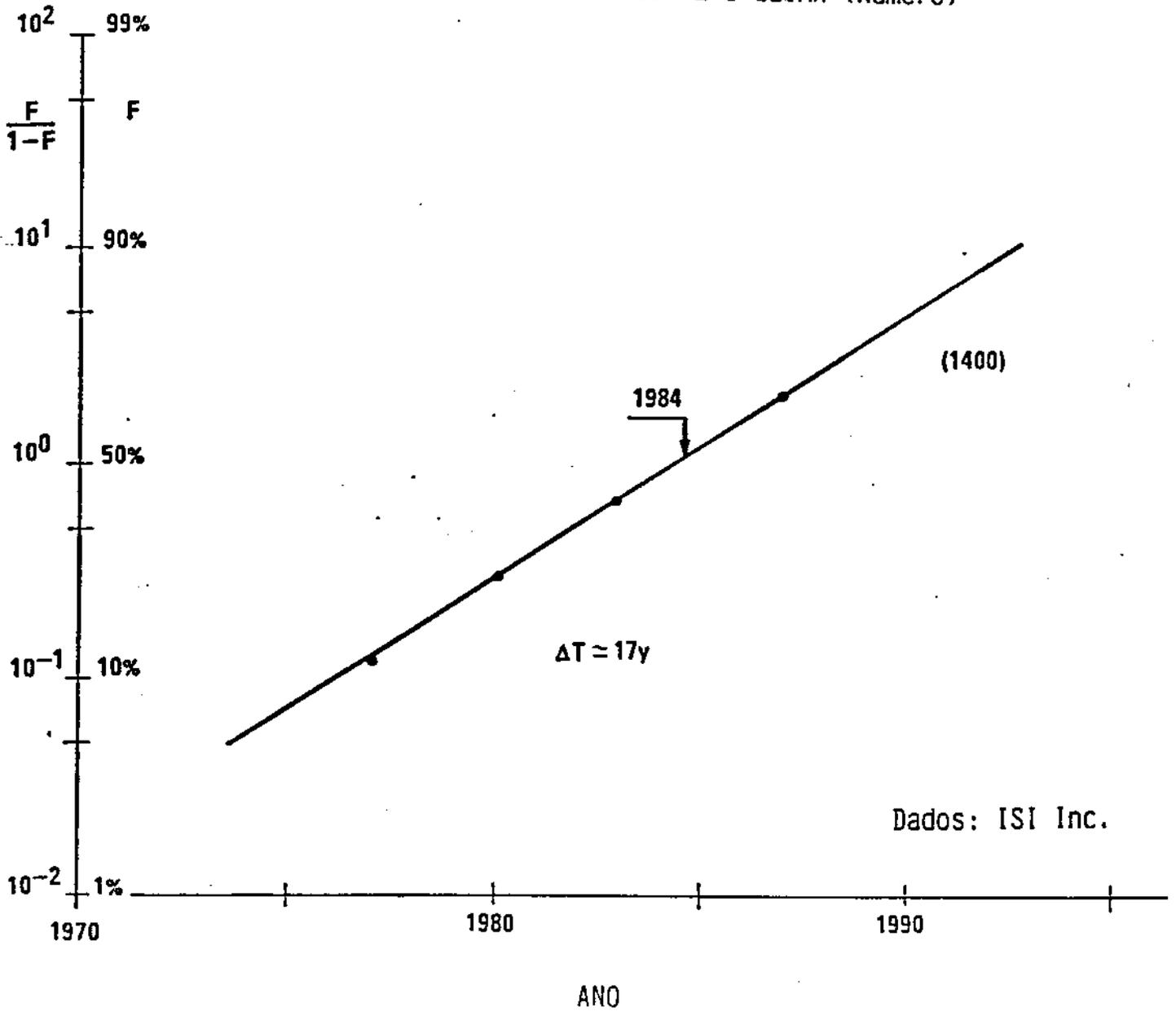


FIGURA 22

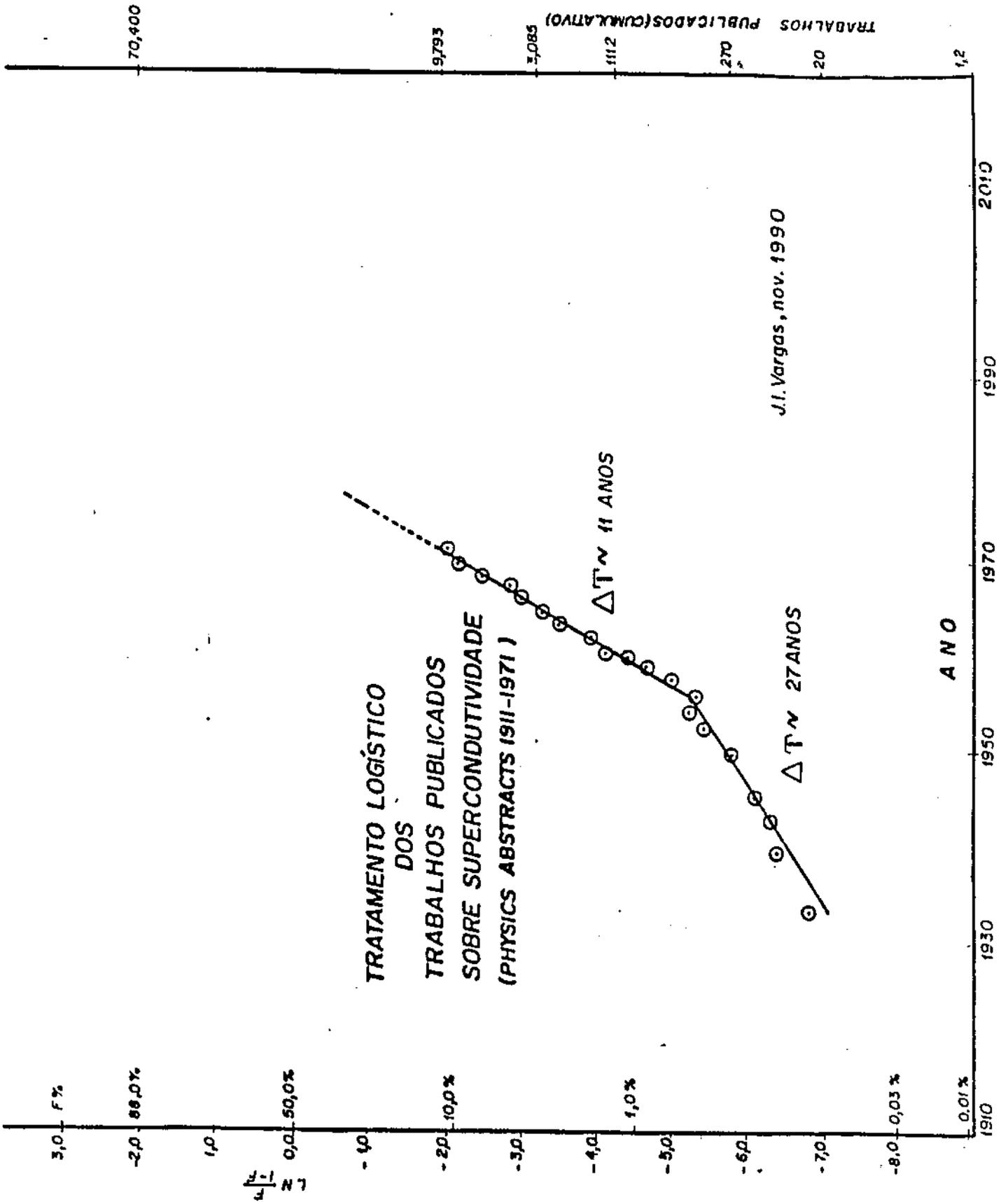


FIGURA 23

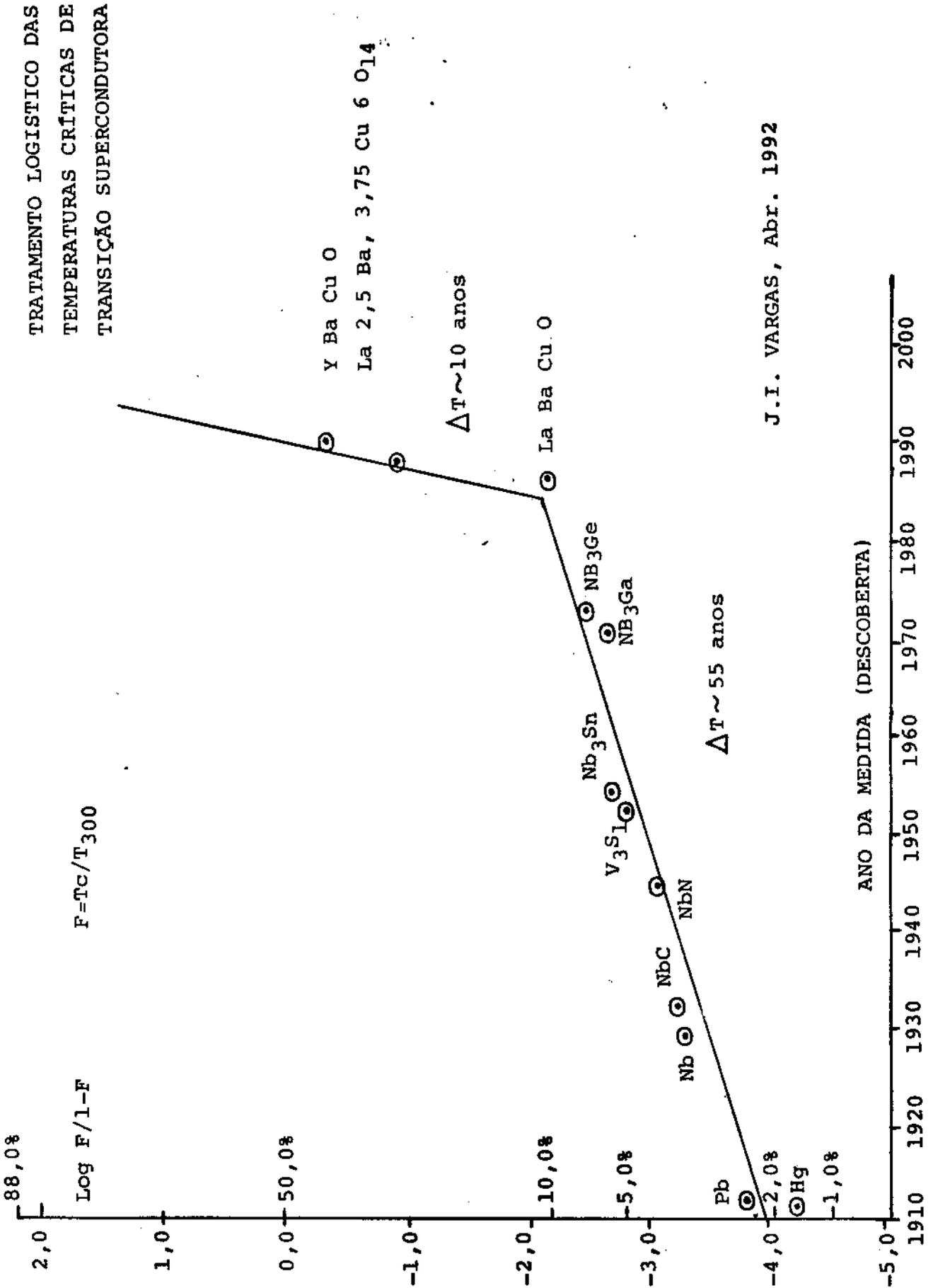


FIGURA 24

CIRCULAÇÃO DE CARROS NA EUROPA (Milhões)

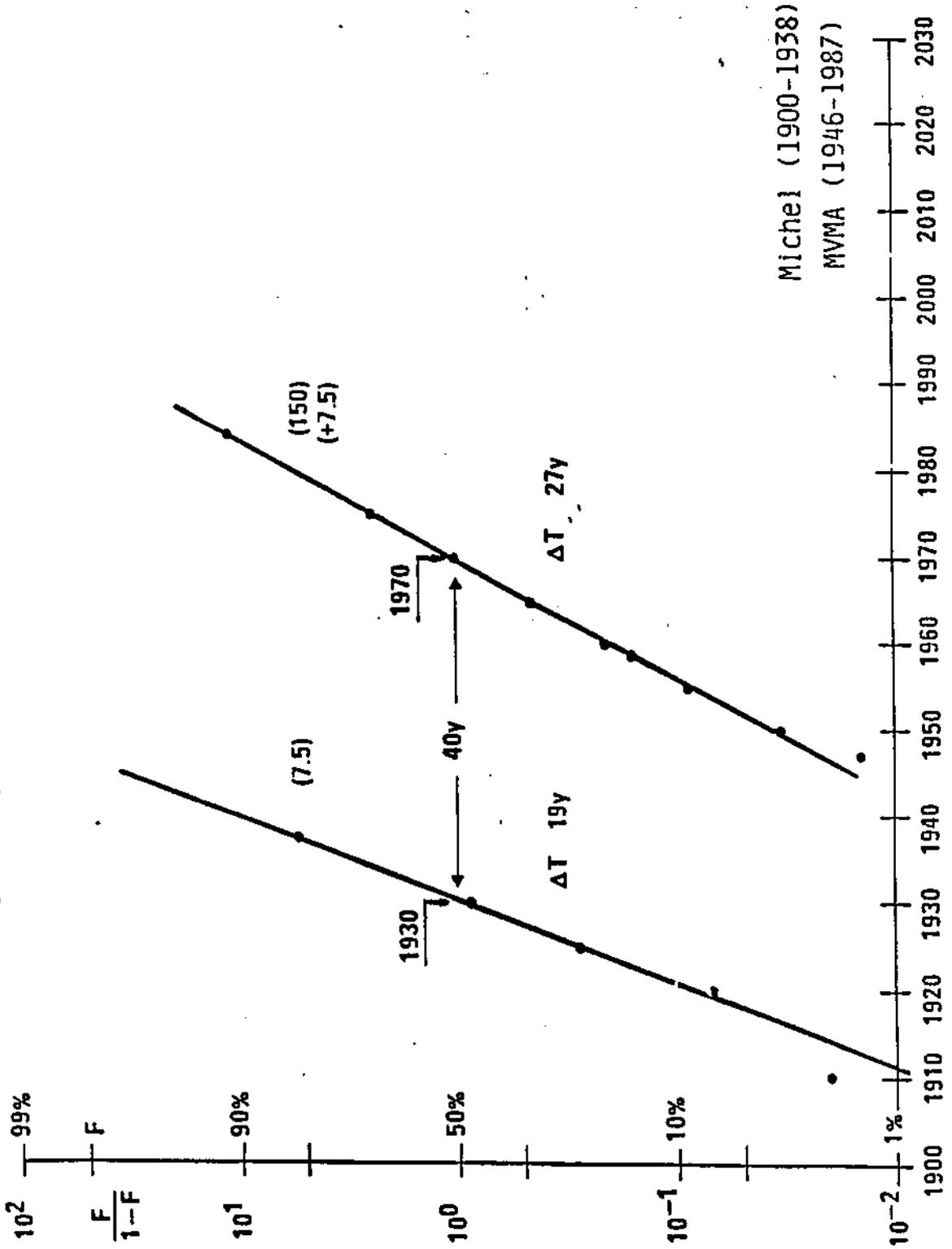


FIGURA 25

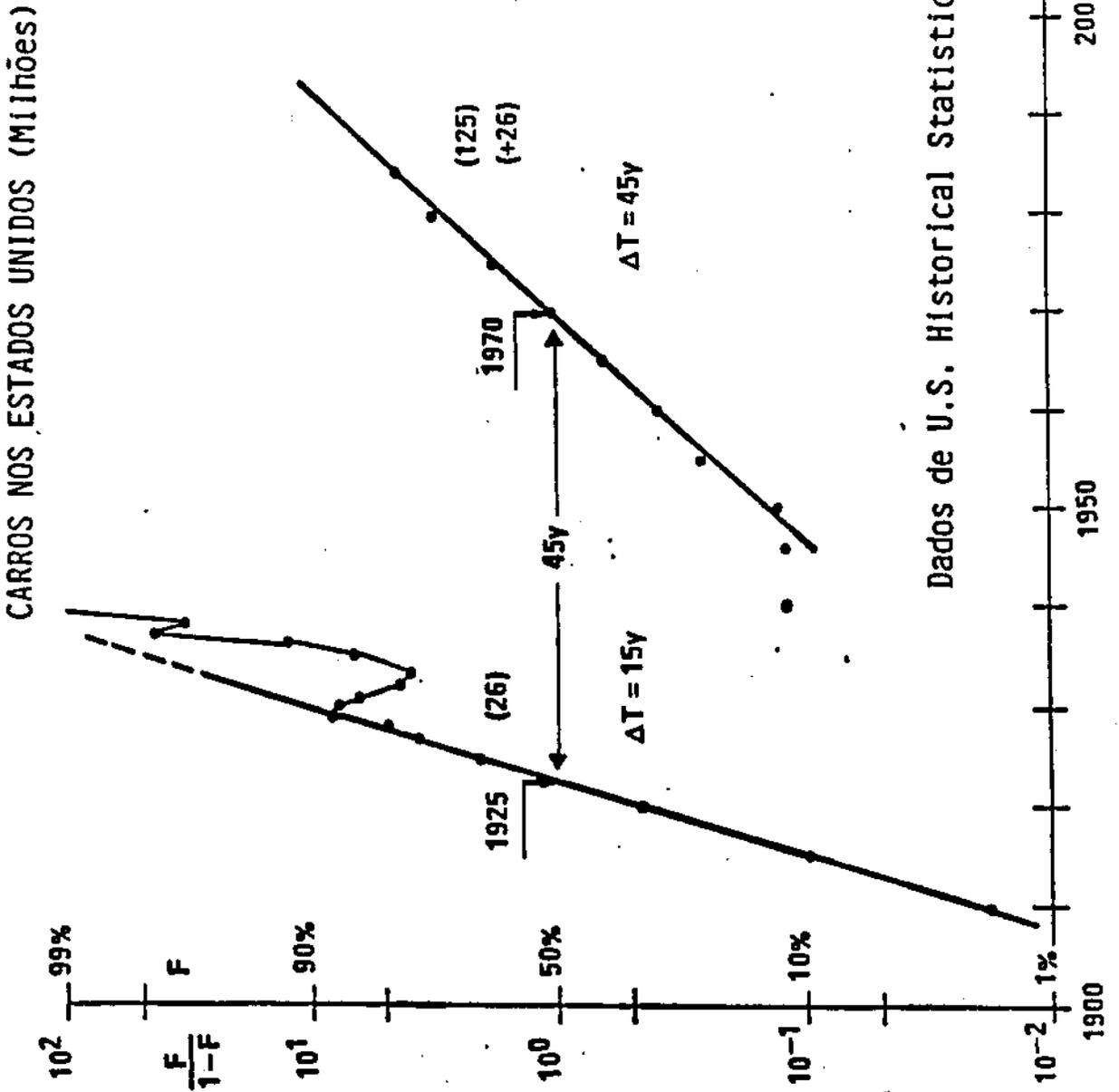


FIGURA 26

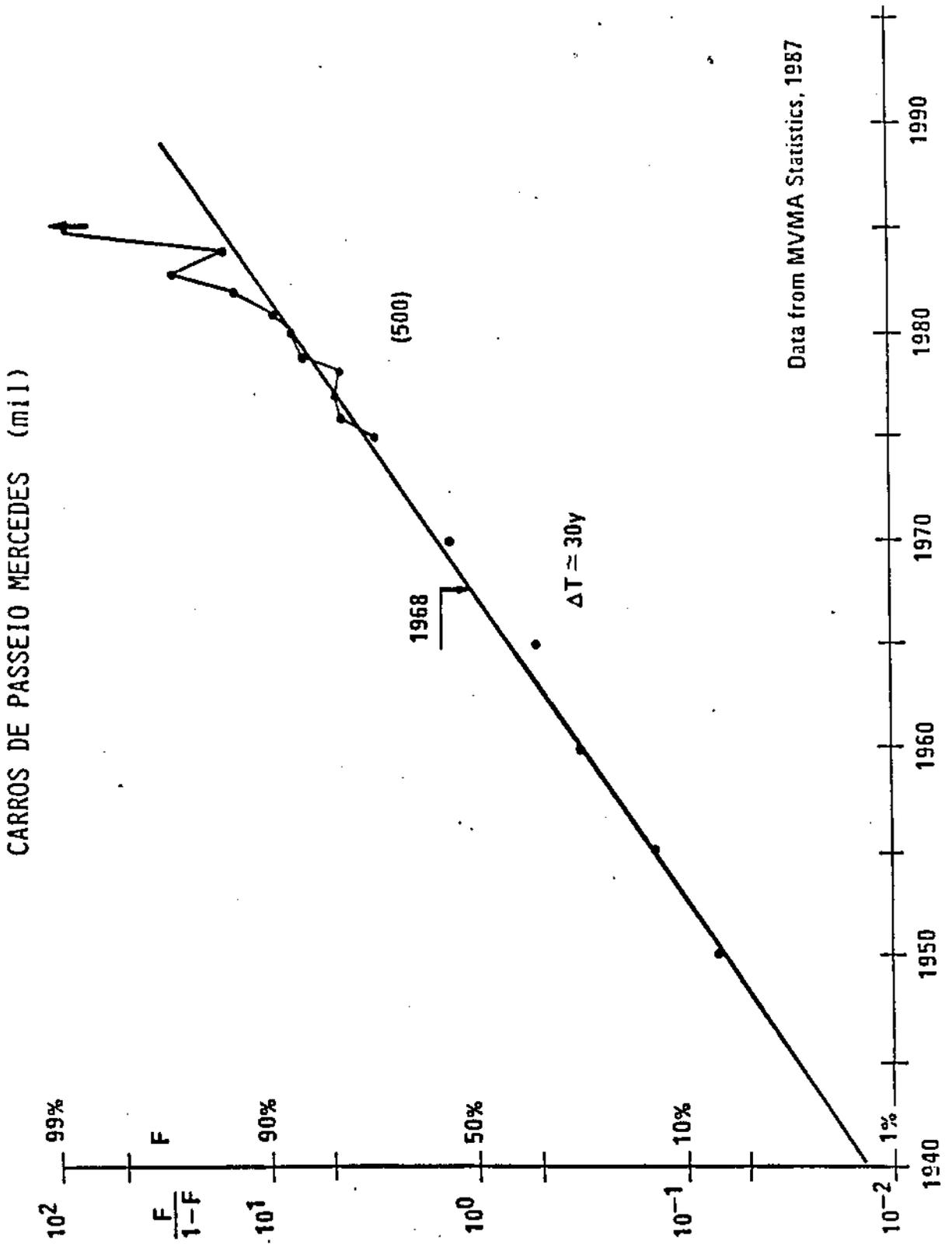
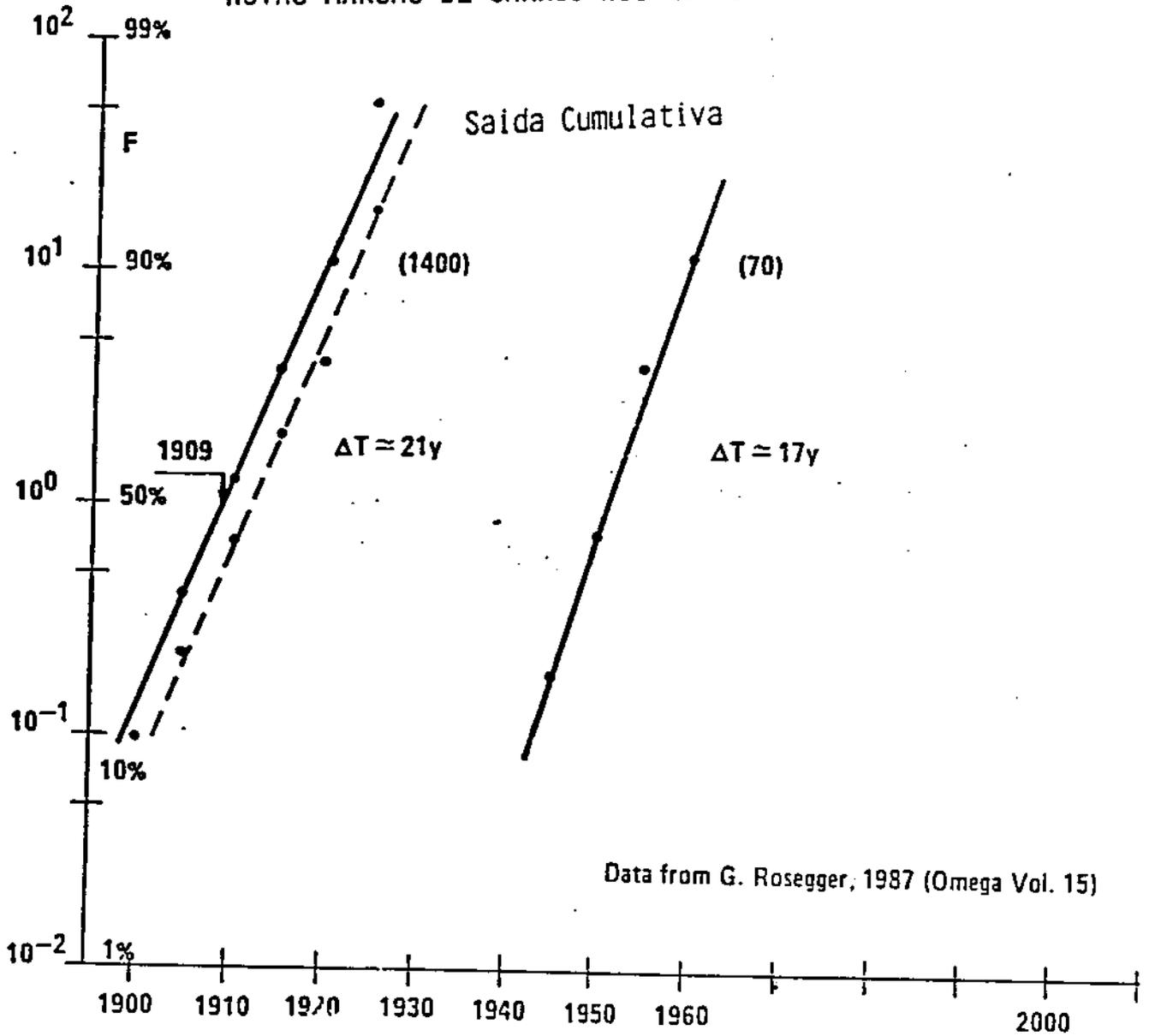


FIGURA 27

NOVAS MARCAS DE CARROS NOS ESTADOS UNIDOS (Cumulativa)



Data from G. Rosegger, 1987 (Omega Vol. 15)

C. Marchetti, IIASA, 1987

FIGURA 28

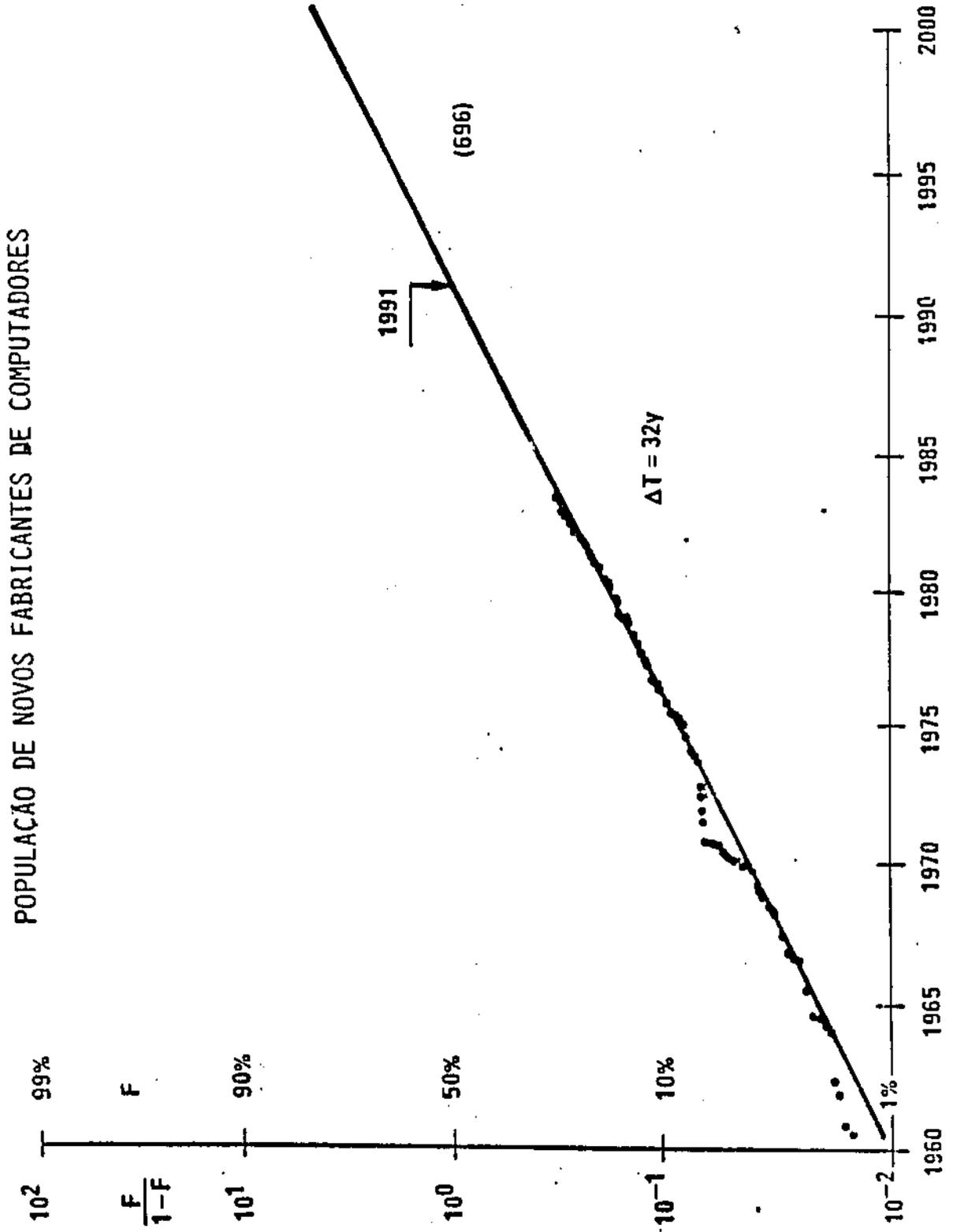


FIGURA 29

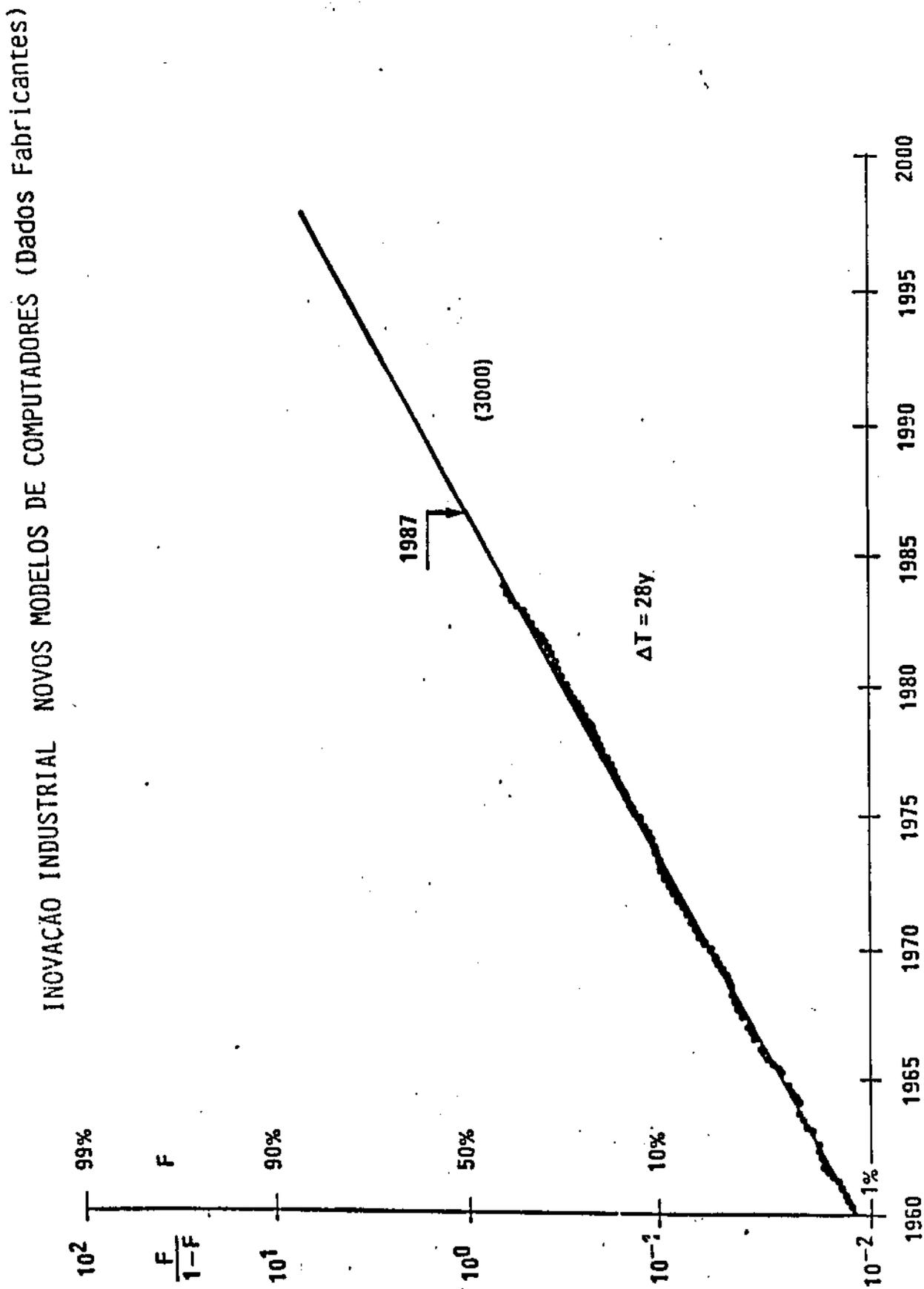
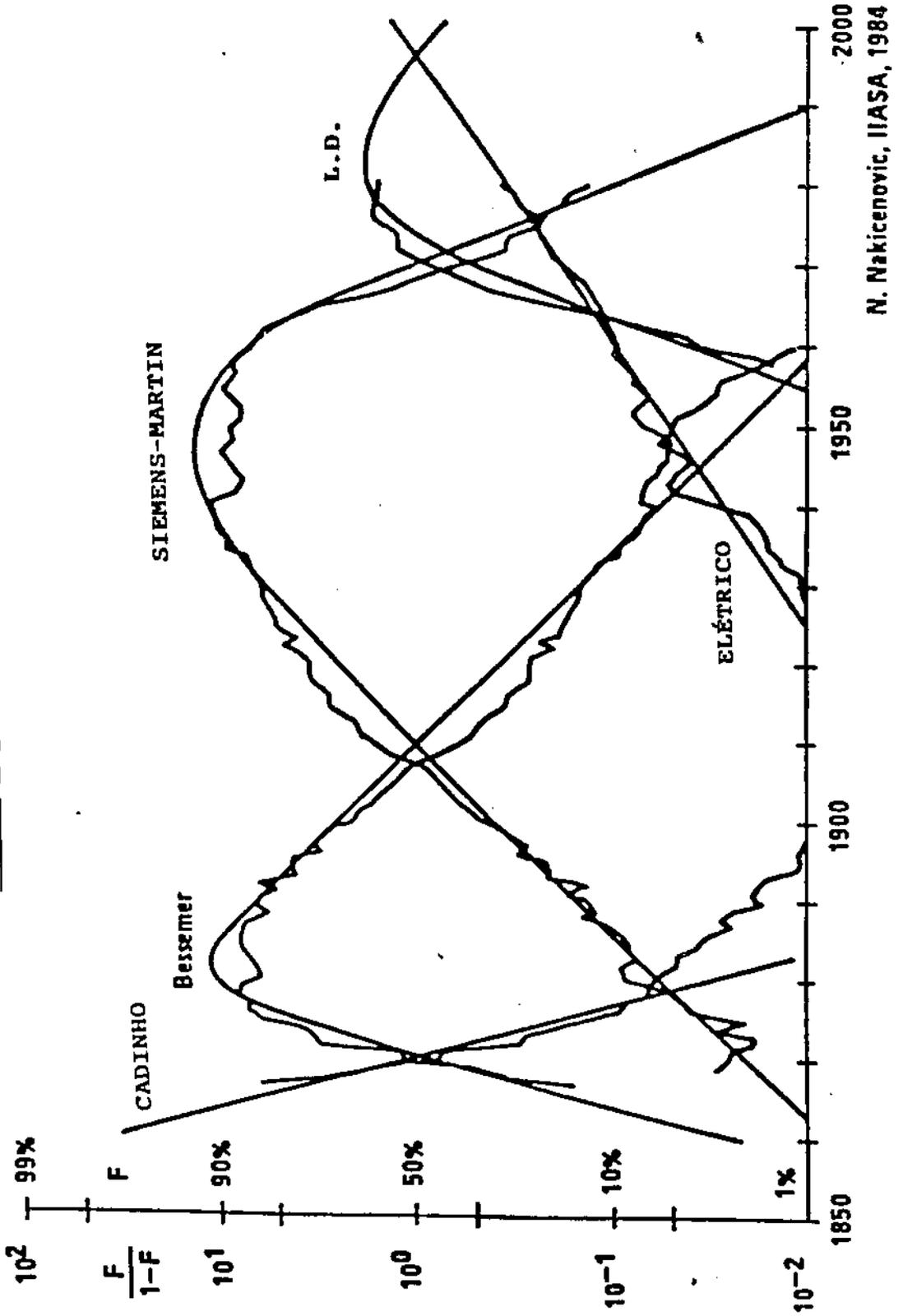


FIGURA 30

E.U.A. - PRODUÇÃO BRUTA DE AÇO



N. Nakicenovic, IIASA, 1984

FIGURA 31

TABELA I
O CICLO DE INVENÇÃO - INOVAÇÃO (1857)

	INOVAÇÃO	INVENÇÃO
Aço (Processo Thomas)	1878	1855
Fosforos de segurança	1866	1805
Anilinas	1860	1771
Margarina	1882	1811
Síntese da indigotina	1897	1880
Carbonato de Sódio	1861	1791
Alumínio	1887	1827
Refrigeração	1895	1873
Rayon	1890	1857
Aquecimento à gás	1875	1780
Solda oxiacetilenica	1892	1862
Dinamite	1867	1844
Fertilizantes químicos	1885	1840
Preservativos	1873	1839
Eletrólise	1887	1789
Antitoxina	1894	1877
Cloroformio	1884	1831
Iodoformio (antiséptico)	1880	1822
Veronal (barbituratos)	1882	1862
Aspirina	1898	1853
Fenazona	1883	1828
Fermento de padeiro	1856	1764
Plastificação em moldes	1852	1750
Produção em massa de $H_2 SO_4$	1875	1819
Alcaloide sintético	1885	1844
Alcaloide sintético (chinolina)	1880	1834
Aços especiais	1856	1771
Medidas eletrodinâmicas	1846	1745
Bateria de chumbo	1859	1780
Dinamo à armadura dupla	1867	1820
Comutador	1869	1833
Motor à armadura cilíndrica	1872	1785
Lampada à arco	1873	1802
Lampada incandescente	1879	1800
Locomotiva elétrica	1879	1841
Aquecimento elétrico	1882	1859
Cabos de construção	1882	1820
Telefone	1881	1854
Turbina à vapor	1884	1842
Turbina à água	1880	1824
Transformador	1885	1831
Solda resistiva	1886	1841
Solda à arco	1898	1849
Forno de indução	1891	1860
Medidores elétricos	1888	1844
Estrada de Ferro elétrica	1895	1879
Telefone interurbano	1910	1893
Isolamento alta voltagem	1910	1897
Motor à gasolina	1886	1860