

MODELOS DE SUBSTITUIÇÃO TECNOLÓGICA E SUAS APLI-
CAÇÕES AO SETOR DE FIBRAS TÊXTEIS NO

BRASIL

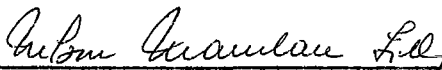
João Bosco Mangueira Sobral

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENA
ÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGE-
NHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JA
NEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊN-
CIAS (M. Sc.)

Aprovada por:



Prof. João Luiz Maurity Saboia
Presidente



Prof. Nelson Maculan Filho



Prof. José Manoel Carvalho de Mello

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
NOVEMBRO DE 1977

À Lena
(in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. João Luiz Maurity Saboia, pela orientação durante o desenrolar deste trabalho, e compreensão nos momentos adversos que enfrentei quando da elaboração do mesmo;

Aos Professores José Manoel Carvalho de Mello e Nelson Maculan Filho pela participação na banca examinadora; particularmente a Nelson Maculan Filho pelo apoio e incentivo com que contribuiu para a realização desta pesquisa;

À CAPES, pelo auxílio financeiro;

À Vanderlice Rangel Fernandes e Maria de Lourdes de Almeida pela dedicação no trabalho datilográfico;

Aos demais professores, colegas, funcionários da COPPE/UFRJ, e a todos que de forma direta ou indireta me auxiliaram na realização deste trabalho.

SINOPSE

Esta pesquisa focaliza e reúne parte da matéria tratada na análise de substituição tecnológica, onde a difusão de inovações tecnológicas e as consequentes substituições de mercado são vistas sob o ponto de vista estatístico, através da técnica de extrapolação da tendência.

Este trabalho inclui capítulos sobre: difusão de inovações tecnológicas intra-indústrias apresentando um modelo determinístico para descrever tal situação, modelos básicos aplicados à substituição tecnológica, e um procedimento para adaptar esses modelos a fatores exógenos que porventura possam exercer influência sobre o processo de substituição. Apresentamos também um histórico e as aplicações dos fios e fibras têxteis usados como exemplos neste trabalho, bem como a utilização dos modelos básicos e do referido procedimento, descrevendo a influência da crise do petróleo sobre o consumo dos fios e fibras sintéticas no Brasil.

Os modelos aqui apresentados podem ser aplicados em qualquer situação de concorrência entre tecnologias, processos ou produtos, em que o mais novo mercado substitua o(s) mais antigo(s) devido a um incremento na utilidade da tecnologia, do processo, ou do produto mais recente.

ABSTRACT

This research focuses and brings together part of the subject related with technological substitution analysis, where the diffusion of technological innovations and consequent market substitutions are viewed under the statistic technique called trend extrapolation. This study includes chapters on intra-industries innovation diffusions, basic models for substitution, a procedure for adapting this models to exogeneous factors, history and applications of textile fibres considered in this work, use of the basic models in the Brazilian textile market, as well as the procedure referred above which explains the influence of the oil crisis on consumption of synthetic fibres in Brazil.

The models presented here can be applied in any situation of competition among technologies, products or processes in which the newest one substitutes the old ones.

INDICE

	Pg.
CAPÍTULO I - Introdução	1
1.1 - Substituição Tecnológica	2
1.2 - O Atraso da Invenção à Inovação	5
1.3 - A Decisão de Introduzir um Novo Produto	7
1.4 - Conceituação do Fenômeno da Substituição	10
1.5 - Histórico da Pesquisa sobre Análise de Substituição	13
1.6 - Delimitação e Objetivo da Pesquisa	15
1.7 - Sumário	17
CAPITULO II - Difusão de Inovações Tecnológicas e o Modelo de Mansfield	19
11.1 - Determinantes da Taxa de Difusão de uma Inovação	20
11.2 - Modelo de Mansfield	23
CAPITULO III - Modelos Básicos para Análise de Substituição	30
111.1 - Modelo de Substituição de Fisher-Pry	32
111.2 - Modelo de Blackman	3
111.3 - Modelo de Substituição de Chow	3
111.4 - Modelo de Floyd	41
CAPITULO IV - Procedimentos para Adaptação de um Modelo à Influência de Fatores Exógenos	52
IV.1 - Procedimento por Ramificação da Curva de Blackman	53

	Pg.
IV.2 - Procedimento pelo Modelo Generalizado de Sharif-Kabir	57
CAPITULO V - Históricos e Aplicações de Fios e Fibras Têxteis	63
V.1 - Históricos das Fibras	65
V.1.1 - Fibras Naturais Moles	65
V.1.2 - Fios e Fibras Artificiais	67
V.1.3 - Fios e Fibras Sintéticas	68
V.2 - Aplicações Têxteis e Industriais dos Fios e Fibras	71
V.2.1 - Fibras Naturais Moles	71
V.2.2 - Fios e Fibras Artificiais	73
V.2.3 - Fios e Fibras Sintéticas	74
CAPITULO VI - Aplicação dos Modelos Básicos de Substituição ao Setor de Fios e Fibras Têxteis no Brasil	77
VI.1 - Histórico da Substituição dos Fios e Fibras Têxteis	78
VI.2 - Dados Utilizados	80
VI.3 - Fios e Fibras Sintéticas Substituindo Artificiais e Naturais Moles	83
VI.4 - Fios e Fibras Poliestéricas Substituindo Poliamídicas e Acrílicas	10
CAPITULO VII - Conclusões e Sugestões	119
APÊNDICE I - O Atraso da Invenção à Inovação	124
APÊNDICE II - Curvas de Crescimento e Estimação dos Parâmetros	132
A.2.1 - Função Logística	132
A.2.2 - Função de Gompertz	138

	pg.
A.2.3 - Métodos para Ajustamento de Funções não Lineares	142
APÊNDICE III - O Efeito do Erro sobre os outros Parâmetros ao se Estimar o Limite Superior de uma Função Logística	144
BIBLIOGRAFIA	153

I
CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

- 1.1 - Substituição Tecnológica
- 1.2 - O atraso da invenção à inovação
- 1.3 - A decisão de introduzir um novo produto
- 1.4 - Conceituação do fenômeno de substituição
- 1.5 - Histórico da pesquisa sobre análise de substituição
- 1.6 - Delimitação e objetivo da pesquisa
- 1.7 - Sumário

1.1 - SUBSTITUIÇÃO TECNOLÓGICA

Para viver, o homem necessita, além de outras coisas, de bens e serviços. Estes bens não caem feitos do céu. É preciso criá-los e produzi-los. A criação, ou seja, a invenção de novos e melhores meios de satisfazer as necessidades humanas, é a essência do processo de inovação tecnológica. Apesar disso, não entraremos neste trabalho em detalhes sobre o processo inventivo. Ressaltamos apenas a defasagem no tempo, existente entre invenção e inovação. Este intervalo de tempo é, basicamente, composto de dois períodos pelos quais passa o produto ou processo inventado: o período de *incubação* e o período de desenvolvimento comercial. Após o período de *incubação*, a firma inventora passa a escolher o momento oportuno para introduzir a invenção, e em caso de introdução, sendo o criador economicamente bem sucedido, a invenção passa a ser considerada uma inovação. Aqui o termo *inovação* refere-se às novidades que o empresário introduz, com sucesso, na vida econômica. Não se deve confundir inovação, no sentido econômico, com invenção científica ou técnica. As invenções só se tornam inovações, quando são economicamente bem sucedidas; (ver Galves¹²). Desta forma se inicia o processo de inovação tecnológica dentro da indústria onde a invenção é adotada, pois outras firmas, por razões técnicas e, sobretudo econômicas, começam a usar a inovação, ocorrendo então a difusão desta dentro do setor industrial ao qual a inovação pertence.

Ocorre que a maior parte dos processos de inovação tecnológica são na realidade, substituições tecnológicas.

Nesta situação, o novo produto ou processo substitui um outro mais antigo com vantagens técnicas e econômicas. Começa então, o fenômeno econômico da substituição tecnológica.

No caso de um novo processo que surge dentro de uma indústria, a substituição se passa, essencialmente, na própria indústria onde o novo processo foi criado. No entanto, existem casos onde a inovação é um novo produto, a substituição se passa na indústria onde o produto nasceu, e também numa outra indústria que recebe como insumo esse novo produto. Deste modo, podemos dizer que uma substituição tecnológica numa indústria pode originar também, substituição em outra, desde que a segunda seja dependente da primeira.

Para exemplificar, podemos citar o caso da indústria de fios e fibras artificiais e sintéticas que fornece insumos para a indústria têxtil e para outras indústrias. Os processos de produção, bem como os seus próprios produtos (nylon, acrílico, poliéster, rayon viscose, rayon acetato, etc) foram inovações que se passaram dentro da indústria de fios e fibras. Contudo, como a indústria têxtil é receptora destes produtos (em forma de fio ou fibra) começou a passar também por um período de substituição tecnológica que como veremos, ainda não findou. Esta substituição é que, posteriormente, focalizaremos nos capítulos finais deste trabalho.

Como exemplos de casos-substituição, podemos mencionar a situação das fibras sintéticas substituindo fibras artificiais e naturais; e no agregado das fibras sintéticas, o poliéster substituindo o nylon e o acrílico. Estes são

os casos de substituição parcial mais importantes no setor de fibras. Um outro caso pode ser citado na indústria eletrônica onde o circuito integrado substitui o transistor e este, a válvula. Realmente estes são casos de substituições tecnológicas. No entanto, esta denominação é um pouco imprópria para certos casos de substituição, como por exemplo, sabão em pó substituindo sabão em barra. Tanto um como outro satisfazem a mesma necessidade do consumidor, mas a maior preferência deste pelo sabão em pó origina uma mudança parcial de mercado, e portanto, o termo "substituição de mercado" parece mais coerente em situações como esta. Na realidade inovações, tecnológicas ou não, acarretam substituições de mercado.

Sem dúvida, substituição tecnológica é um dos mais importantes determinantes da forma e evolução da economia. A substituição de uma tecnologia por outra tem sido um meio de se obter crescimento econômico. Substituição tecnológica tem melhorado condições de trabalho e permitido a redução do tempo de ocupação na produção de bens ou serviços; meios de produção são automatizados, processos educacionais são auxiliados por máquinas, doenças são vencidas e outros inúmeros melhoramentos conseguidos. Enfim, substituição tecnológica tem acrescentado novas dimensões para nosso meio de vida.

Infelizmente, existe também o lado negativo. Desde a Segunda Guerra Mundial, o passo de mudança tecnológica tem sido acelerado e tem gerado novos problemas contendo impactos indesejáveis sobre o homem, o meio-ambiente em que vive, além de depleção de recursos. Os avanços em tecnologia militar

têm tornado possível a destruição da humanidade, como por exemplo, através de energia nuclear. A moderna tecnologia tem resultado na poluição do meio ambiente.

O resultado da atividade empresarial de uma firma numa indústria não é necessariamente um objeto fabricado, pode ser uma tecnologia, um processo de fabricação, a prestação de um serviço etc. Enfim, teremos algo produzido e, então para facilitar a escrita, por abuso de linguagem, usaremos o termo "produto" ao invés de tecnologia, processo, ou um material qualquer, quando nos referirmos a um caso-substituição de uma maneira generalizada.

1.2 - O ATRASO DA INVENÇÃO À INOVAÇÃO

Como foi mencionado na seção anterior, normalmente, existe um atraso entre a invenção e a inovação. Por exemplo, o atraso médio entre as invenções que ocorreram na indústria de refinaria de petróleo (onze importantes processos de refinar petróleo) foi estimado em onze anos, e quase quatorze anos para outras invenções (trinta e cinco importantes produtos e processos em uma variedade de outras indústrias). Essas quarenta e seis invenções e seus respectivos atrasos estimados constam no Apêndice 1, Tabela A.1.1.

O atraso também pode ser considerado pelo tempo médio estimado em anos, que transcorreu desde a descoberta básica e estabelecimento de uma viabilidade tecnológica, até o início do desenvolvimento comercial, e deste época, até a in

trodução do produto como uma simples mercadoria.

O período de desenvolvimento comercial começa com o reconhecimento de potencial mercantil e o compromisso de fundos de desenvolvimento para alcançar um objetivo comercial razoavelmente bem definido, e finaliza quando a invenção é introduzida como um produto acabado. (Ver Apêndice 1, Tabela A.1.2).

Por outro lado, ocorreram estudos no âmbito militar, no campo da eletrônica e na indústria de maquinaria para mineração, do "lead time" (período básico) requerido desde a primeira idéia para um novo produto até às primeiras entregas comerciais. Mas os valores estimados para o "lead time" (Ver Tabela A.1.3) parecem mais próximos àqueles referentes ao período de desenvolvimento comercial de Lynn¹⁸ (Ver Tabela A.1.2) do que ao inteiro atraso entre invenção e inovação.

A transformação de um produto em mercadoria é um estágio chave no processo de inovação, conduzindo à avaliação global do mesmo, tanto quanto à sua funcionalidade, quanto ao lado econômico. Mas, antes a firma inventora deve inclinar-se a estudar os riscos envolvidos em introduzir esse novo produto, ainda não exposto ao consumidor, ou como um bem industrial ou como um bem de consumo.

1.3 - A DECISÃO DE INTRODUIZIR UM NOVO PRODUTO

Que fatores deve uma firma considerar em decidir se deve ou não lançar o novo produto? Em primeiro lugar, deve estimar a taxa de retorno esperada de introduzi-lo. O resultado, obviamente, dependerá do investimento de capital requerido para lançá-lo, as vendas previstas, os custos estimados de produção, e os efeitos desse novo produto sobre os custos e vendas da linha de produtos existentes da firma. Esses fatores dependem em parte de uma política de preços da firma, além das características do novo produto. Em resumo, a firma deverá estimar, da melhor forma possível, os riscos envolvidos em tal situação. Estes riscos devem ser substanciais, pois em geral, de cada dez produtos que emergem de pesquisa e desenvolvimento, cinco falham no teste do produto e/ou no teste de mercado, e dos cinco que passam nestes testes apenas dois tornam-se sucessos comerciais.

Se os retornos esperados da introdução não excedem aqueles que podem ser obtidos por outros investimentos por um valor que seja bastante para justificar os riscos extras, o invento deverá ser rejeitado. Se excedem aquelas obtíveis em outros investimentos, a lucratividade e os riscos envolvidos em introduzir tal invento devem ser testados com a lucratividade e os riscos envolvidos em introduzi-lo, em várias datas futuras.

Existem frequentemente vantagens consideráveis em esperar, visto que melhoramentos podem ser feitos no no

vo produto, tornando-o mais funcional, e mais informações importantes podem ser adquiridas sobre as condições de seu mercado. As firmas frequentemente empregam teste de marketing para obter informação adicional antes de fazer uma escala completa de compromisso. Em teste de marketing, uma amostra de compradores é exposta ao produto sob condições de mercado mais ou menos normais; dos resultados, a firma tenta inferir como uma população grande de compradores comportar-se-á.

Existem desvantagens, do mesmo modo que vantagens, em esperar. Talvez a mais importante sendo que um competidor pode suplantar a firma ou que as condições favorecendo ao novo produto podem tornar-se menos benígnas.

Frequentemente existe uma considerável desvantagem em não estar em primeiro plano; oportunidades de vendas serão perdidas no período em que competidores estejam à frente no mercado, pois parte deste pode ser adquirido por preempção (compra antecipada). Portanto, se os retornos esperados excedem aqueles que podem ser obtidos por outros investimentos por um valor que seja bastante grande para justificar os riscos, e se as desvantagens de esperar pesam mais que as vantagens, a firma deverá introduzir o produto. De outro modo, ela deve esperar, lançar o produto é um negócio arriscado, o resultado da decisão de introduzi-lo dependerá basicamente da escolha do momento oportuno para agir. Para ajudar a tomada de decisão deste tipo, técnicas estatísticas Bayesianas podem ser usadas para decidir se coletar ou não informação adicional antes de agir, e se, nesse caso, a informação adicional é válida. Também técni-

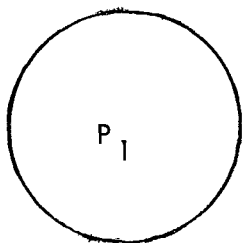
cas de fluxo em rede podem algumas vezes ajudar a planejar e programar as atividades, conduzindo à inovação. Por exemplo, o PERT pode ser citado.

Assumindo que o novo produto é realmente uma inovação, a firma inovadora investiu então várias vezes o custo da pesquisa básica necessárias ao desenvolvimento da invenção no momento em que o novo produto chega ao mercado. Em linhas gerais, a pesquisa e o avançado desenvolvimento conduzindo à invenção básica constituem somente cerca de 5 a 10% do custo total. A engenharia subsequente e o design do produto representam em torno de 10 a 20%, ao passo que a montagem de fábrica (equipando-a com maquinaria etc.) e engenharia de produção representam em torno de 40 a 60% do custo total. Finalmente, os dispêndios para pôr em marcha a produção, constituem perto de 5 a 15% e os dispêndios para lançamento no mercado representam aproximadamente 10 a 25% do custo total do investimento.

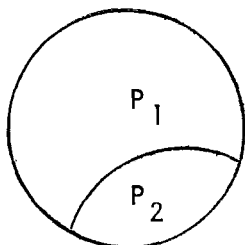
O investimento num novo produto está relacionado à forma na qual um mercado se desenvolverá para o mesmo. A forma do desenvolvimento do mercado dependerá da dinâmica de substituição, isto é, do empenho da firma inovadora. Logo, a dinâmica de substituir influencia na aceitação do novo produto e em consequência disso exerce também influência no estado da economia.

1.4 - CONCEITUAÇÃO DO FENÔMENO DA SUBSTITUIÇÃO

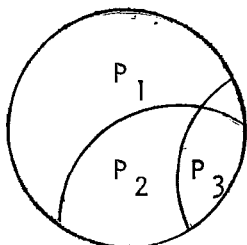
O conjunto de círculos abaixo, mostra diferentes fases do referido processo de substituição.



Em $t = t_1$, um único produto satisfaz uma determinada necessidade do consumidor.



Em $t = t_2$, um segundo produto P_2 está substituindo P_1 (substituição um a um).



Em $t = t_3$, um terceiro produto P_3 está substituindo P_1 e P_2 , e este substitui P_1 que também está sendo substituído por P_3 . P_1 está sendo substituído por P_2 e P_3 .

Cada círculo representa o mercado total, ou seja, 100% de mercado. Com o passar dos anos, o mercado total muda em volume como também em constituintes.

Suponhamos que exista num tempo t_1 um produto P_1 no mercado. Após algum tempo, em t_2 , considere que um segundo produto P_2 surja no mercado podendo satisfazer a mesma necessidade que P_1 com algumas vantagens adicionais. Se o novo produto é economicamente viável, após ele ter ganho uma pequena fração do mercado, provavelmente tornar-se-á mais competitivo à medida que o tempo passa; portanto, uma vez que a substituição tenha iniciado, é bastante provável que o novo produto eventualmente tomará o mercado existente. Porém, antes de P_2 substituir completamente P_1 , suponhamos que num tempo t_3 , um terceiro produto P_3 seja lançado no mercado. Agora, P_1 perderá seu mercado para P_2 e P_3 , já que os dois últimos são mais novos e superiores funcionalmente a P_1 . O produto P_3 , por outro lado ganhará mercado de P_1 e P_2 , porque tem características melhoradas. O produto intermediário P_2 , provavelmente continuará a ganhar mercado de P_1 (a posição de P_1 no mercado está mudando devido a P_3) ao passo que ao mesmo tempo perde seu mercado para o produto mais recente.

Se existem N produtos no mercado num tempo t para satisfazer uma necessidade particular do consumidor, com os produtos aparecendo no mercado em uma ordem definida de P_1 a P_N , correspondendo aos estágios de desenvolvimento tecnológico, então os princípios de substituição podem ser expostos como:

- i - O produto mais antigo no mercado, P_1 , sendo menos funcional, perderá seu mercado para todos os outros produtos, (P_2 a P_N);

- ii - O produto mais novo no mercado, P_N , sendo funcionalmente mais avançado, substituirá durante um período de tempo, todos os outros produtos (P_1 a P_{N-1});

- iii - Qualquer produto intermediário, P_J (onde $2 \leq J \leq N-1$), substituirá os produtos mais antigos no mercado (P_1 a P_{J-1}), enquanto que ao mesmo tempo estará sendo substituído pelos mais novos (P_{J+1} a P_N).

Chamamos este processo *substituição* porque o novo produto substitui totalmente, ou em pelo menos alguma porção do mercado, o(s) produto(s) antigo(s).

Algumas vezes quando o processo se completa, o antigo produto continua a reter alguma porção especializada do mercado total, para o qual está particularmente bem adaptado; o novo produto pode não ser aceito em todas as aplicações. Por exemplo, veremos no capítulo das aplicações dos modelos de substituição, que os fios e fibras sintéticas alcançam parte do mercado total dos fios e fibras têxteis ficando o restante do mercado com fibras artificiais e naturais.

1.5 - HISTÓRICO DA PESQUISA SOBRE ANÁLISE DE SUBSTITUIÇÃO

No desenvolvimento de modelos para o processo de substituição, Mansfield²¹ foi o pioneiro, quando em 1961 montou um modelo que mostra quão rapidamente inovações difundem-se de empresa a empresa em determinadas indústrias. Mansfield obteve sucesso quando testou o modelo comparando-o com substituições tecnológicas que aconteceram em quatro setores industriais distintos, considerando três inovações em cada setor industrial.

Em 1964, Bain⁷ montou um modelo baseado na função de distribuição acumulada lognormal e aplicou-o ao crescimento da propriedade de televisão no Reino Unido após a Segunda Guerra Mundial.

Em 1967, Chow⁸ construiu um modelo logístico e outro descrito por uma curva de Gompertz, sendo este último usado para explicar a taxa de crescimento do uso de computadores eletrônicos digitais nos E.U.A.

Em 1968, Floyd¹¹ com um desenvolvimento bastante teórico e até certo ponto artificial, chegou a uma curva de crescimento em forma de S, não logística, nem de Gompertz, a partir de tentativas para melhorar a capacidade funcional de uma nova tecnologia.

Em 1969, Bass⁶ modelou o crescimento de um novo produto num mercado, baseando-se no comportamento inovati-

vo e imitativo de consumidores, e testou o modelo no setor de bens duráveis.

Em 1970, Ayres-Noble-Overly³⁰ surgem com o primeiro modelo de substituição usando variáveis econômicas e baseado no conceito do preço unitário dos dois produtos concorrentes ajustados pelos fatores de utilidade normalizados.

Fisher-Pry¹⁰ e Blackman³ em 1971 dão sequência a aparição de modelos. O primeiro, com o modelo semi-empírico mais simples até agora aparecido; e o segundo particularizou o modelo de Mansfield para o caso de uma inovação em uma indústria, definindo o Índice de substituição em termos da fração de mercado atingida pelo novo produto, ao contrário do número de firmas que adotaram a nova tecnologia, e aplicou o modelo no mercado de turbinas a jato para aeronaves comerciais e outros mercados.

Em 1972, Lenz-Lanford¹⁷ analisaram o fenômeno da substituição. Nevers²³ estendeu a aplicação do modelo de Bass ao setor de serviço a varejo, ao setor agrícola, ao setor tecnológico industrial e ao setor de consumo de bens duráveis. Nevers, também fez uma comparação do modelo de Bass com o de Mansfield.

Em 1975, Stern³⁰ surge com o modelo mais sofisticado até agora aparecido e de mais difícil aplicação; este modelo é baseado na análise de utilidade dos dois produtos competidores.

Em 1976, Sharif-Kabir²⁷ publicaram um modelo bastante geral, cuja representação gráfica tem formato S, partindo das equações finais de Blackman e Floyd. Stapleton²⁹ lançou um modelo bem simples baseado na função de distribuição acumulada normal, a qual tem formato S. Também no mesmo ano, Ayres-Shapanka² publicaram um trabalho sobre modelos para descrever o curso de substituições tecnológicas explícitas em matrizes insumo-produto. Tais modelos proporcionam previsões a longo prazo da fração de mercado alcançada pelo produto substituído.

Entre 1961 e 1976, várias outras publicações surgiram e trabalhos importantes foram feitos, mas não mencionamos aqui por fugir ao propósito de mostrar as sucessivas aparições dos modelos de substituição.

1.6 - DELIMITAÇÃO E OBJETIVO DA PESQUISA

Análise de substituição tecnológica está intrinsecamente ligada à previsão tecnológica, podemos tomá-la como parte da última. Previsão tecnológica é uma tentativa para antecipar a taxa e direção de mudança tecnológica, bem como antecipar a taxa de difusão e efeito dos novos produtos que são usados em um determinado campo.

As técnicas de previsão tecnológica podem ser exploratórias ou normativas. Previsão tecnológica exploratória inclui uma variedade de técnicas para prever o estado futuro da ciência e tecnologia. Os principais métodos explorató-

rios são, *Delphi* (método de previsão tecnológica intuitivo e quantitativo), *extrapolação da tendência linear ou curva em S* (método formal de prever tendências), *análise de impacto cruzado* (método de previsão intuitivo e quantitativo).

A categoria de previsões exploratórias é a mais simples e mais geral, enquanto previsão normativa é derivação desta, para uso em circunstâncias especiais. Nessa categoria de previsões os eventos passados são estudados, para ver se é possível detectar um ciclo ou um padrão de comportamento. O futuro é então prognosticado a partir da extrapolação do passado.

Delphi é uma técnica, usada para conseguir previsões, que conta com um grupo de especialistas. Apresenta-se a cada perito, que não deve ter contato com os demais, perguntas sobre o futuro; as respostas são, então, processadas para obter um consenso. Numa segunda rodada de entrevistas, submete-se aos mesmos peritos o consenso a que se chegou, bem como, em anexo, as opiniões daqueles que divergiram do mesmo, para a devida consideração. O processo pode ser repetido diversas vezes até chegar-se a um consenso aceitável.

Análise de Impacto Cruzado é um termo genérico para uma família de técnicas que produzem um conjunto de probabilidades matematicamente consistentes para um conjunto de eventos futuros possíveis, dados os impactos das ocorrências de cada evento sobre os outros.

Previsão normativa é um tipo de previsão que é elaborada com a finalidade de determinar quando um evento deverá ocorrer e quais as realizações necessárias, antes que isso possa acontecer. Seguindo caminho normativo pode-se utilizar *descrição de cenários*, técnica intuitiva qualitativa para aclarar uma situação futura hipotética através da descrição de uma sequência cronológica de eventos que guardam uma relação lógica, uns com os outros.

O propósito deste trabalho é expor e aplicar os modelos matemáticos semi-empíricos que tentam descrever o comportamento de substituições decorrentes de inovações, usando-se a técnica exploratória de extrapolação da tendência.

1.7 - SUMÁRIO

O Capítulo II refere-se à difusão de inovações intra-indústrias, apresentando a versão determinística do modelo de Mansfield que descreve uma tal situação.

No Capítulo III são vistos os modelos básicos de substituição.

O Capítulo IV trata dos procedimentos para adaptar modelos às influências exógenas que porventura venham a mudar o curso da substituição.

O Capítulo V apresenta um histórico e aplicações dos fios e fibras naturais, artificiais e sintéticas consi

deradas neste trabalho.

No Capítulo VI temos então as aplicações dos modelos de substituição do capítulo III, e a utilização do procedimento do capítulo IV ao setor de fios e fibras têxteis no Brasil, apresentando os resultados obtidos e comparando-os com os resultados da RHODIA, IPEA e ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FIBRAS ARTIFICIAIS E SINTÉTICAS (ABPFAS).

O Capítulo VII resume as conclusões e menciona algumas sugestões para futuros trabalhos.

Finalmente, os Apêndices contêm dados empíricos sobre o atraso entre invenções e inovações, um resumo da curva logística e de Gompertz, métodos para estimação dos parâmetros destas curvas, e finalmente o efeito do erro na estimação do limite L de saturação de mercado, para a curva logística.

CAPÍTULO II

DIFUSÃO DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

E O MODELO DE MANSFIELD

11.1. Determinantes da taxa de difusão

11.2. Modelo de Mansfield

Uma vez introduzida uma inovação numa indústria, quais os fatores que induzem a adoção desse novo produto por outras firmas? Qual a velocidade desse processo, que elementos atuam no sentido de aumentá-la e quais influenciam na direção oposta? Questões deste tipo fazem parte de um questionário mais amplo com o qual se procura analisar os fatores que alimentam o processo de difusão de inovações em cada indústria.

Conforme experiência de órgãos oficiais de desenvolvimento (Ver [34]), uma das principais dificuldades na execução de uma política de ciência e tecnologia, é a sua articulação, de maneira coerente, com as diretrizes de política industrial. A utilização dos instrumentos existentes de modo conveniente a fim de superar esse problema depende, em parte, do conhecimento a respeito do papel desempenhado pelas inovações no desenvolvimento tecnológico de seus ramos industriais.

Ao procurar examinar o papel desempenhado pelas inovações na evolução tecnológica de seus respectivos ramos industriais, um modelo matemático determinístico é aqui apresentado com o intuito de auxiliar na explicação das diferenças entre inovações, quanto às suas taxas de difusão - que qualitativamente significa a rapidez com que uma tal inovação é aceita dentro do seu setor industrial.

11.1. DETERMINANTES DA TAXA DE DIFUSÃO DE UMA INOVAÇÃO

O que determina a taxa de difusão de uma inovação? Antes de entrar na questão, devemos dizer algumas palavras

sobre os determinantes do nível de equilíbrio (nível de saturação da inovação). Se a inovação é um processo usado para produzir um bem existente ou realizar um serviço, o nível de equilíbrio depende do grau de suas vantagens econômicas sobre outros processos que ele substitui, e da sensibilidade da demanda do produto que ele produz para qualquer declínio no preço ou melhoramento em qualidade induzida pela inovação. Se a inovação é um bem final, o nível de equilíbrio de uso depende de quantos, dentre a massa consumidora, estão inclinados a adquiri-lo ao preço no qual ele pode ser produzido e comercializado lucrativamente.

Quatro principais fatores parecem governar quão rapidamente o nível de utilização aproxima-se do nível de equilíbrio:

- i - o grau da vantagem econômica da inovação sobre métodos ou produtos mais antigos;
- ii - o grau de incerteza associado em usar a inovação quando ela aparece;
- iii - o grau de compromisso requerido para experimentar a inovação;
- iv - a taxa na qual a incerteza inicial concernente ao desempenho da inovação pode ser reduzida.

truiu um modelo matemático para auxiliar na explicação das diferenças na taxa de difusão de inovações introduzidas em indústrias. Este modelo é baseado nas quatro seguintes hipóteses:

Primeiro, quando o número de firmas adotando uma inovação em uma indústria aumenta, é assumido que a probabilidade de sua adoção por uma firma não usuária aumenta.

Segundo, a lucratividade esperada de uma inovação é assumida estar diretamente relacionada à probabilidade de sua adoção.

Terceiro, para inovações igualmente lucrativas, a probabilidade de adoção é assumida ser menor para inovações requerendo investimentos relativamente grandes.

Quarto, a probabilidade de adoção de uma inovação é assumida ser dependente da indústria na qual a inovação é introduzida.

Se estas hipóteses são corretas, e se algu-mas hipóteses subsidiárias valem, pode ser mostrado, como será visto, que o parâmetro que governa a taxa de difusão, estará linearmente relacionado com a lucratividade da inovação e o tamanho do investimento requerido.

11.2. MODELO DE MANSFIELD

O desenvolvimento do modelo de Mansfield²¹ é apresentado a seguir. Primeiramente, são definidas as seguintes variáveis e parâmetros:

- n_{ij} Número de firmas na i -ésima indústria que adotarão a j -ésima inovação.
- $m_{ij}(t)$ Número de firmas que adotaram a j -ésima inovação na i -ésima indústria até o tempo t .
- $\lambda_{ij}(t)$ Proporção de firmas não usando a j -ésima inovação na indústria i até o tempo t e que a introduzirão no intervalo $(t, t+1)$.
- P_{ij} Índice da lucratividade de instalar a inovação j na indústria i .
- S_{ij} Índice de investimento requerido para instalar a inovação j na indústria i .

Estes índices requerem explicações. Pode ser considerado para este fim, o chamado período de desembolso (pay-out period, ver Swalm³²). Então P_{ij} pode ser estimado pela razão do período de desembolso médio entre firmas na indústria i para justificar investimentos (antes da inovação ser adotada), pelo período de desembolso médio entre firmas na indústria i devido ao investimento na inovação. Para investimentos duradouros, o inverso do período de desembolso é uma aproximação ra

zoável para a taxa de retorno (Ver Gordon¹³ e Swalm³²). Portanto, P_{ij} é aproximadamente a taxa de retorno média entre as firmas de indústria i inferida (ex post) da inovação j , dividida pela taxa de retorno média entre as firmas da indústria i requerida (ex ante) para justificar investimentos.

S_{ij} é estimado pelo investimento inicial médio requerido pela inovação j , dividido pelo ativo médio das n_{ij} firmas na indústria i no tempo em que a inovação foi introduzida (ativo total médio no período relevante).

Da definição de $\lambda_{ij}(t)$ temos que

$$\lambda_{ij}(t) = \{m_{ij}(t+1) - m_{ij}(t)\} / \{n_{ij} - m_{ij}(t)\} \quad (11.1)$$

Por outro lado, de acordo com as quatro hipóteses do modelo,

$$\lambda_{ij}(t) = f_i(m_{ij}(t) / n_{ij}, P_{ij}, S_{ij}, \dots) \quad (11.2)$$

Para simplificar a matemática, tratamos esta função (11.2) como se o número de firmas introduzindo uma inovação variasse continuamente, ao invés de tomar somente valores inteiros. Com esta hipótese podemos então, expandir a função $\lambda_{ij}(t)$ em uma série de Taylor. Mansfield assumiu que a terceira potência de todas as variáveis, e a segunda potência da proporção de firmas que já adotaram a inovação - $\{m_{ij}(t) / n_{ij}\}^2$ - podem ser desprezadas. Mansfield testou a hipótese do coeficiente deste termo quadrático ser zero contra ser diferente de zero, usando $\{m_{ij}(t) / n_{ij}\}^2$ como variável independente na regressão

de $\lambda_{ij}(t)$ sobre $\{m_{ij}(t) / n_{ij}\}$, e usou a análise de variância costumeira para determinar se isto resultou em um aumento significativo na variação explicada. Mansfield fez este teste usando quatro indústrias e doze inovações, e em apenas três delas o aumento foi significativo. Portanto, em muitos casos, não existe nenhuma evidência que tal coeficiente seja diferente de zero. Mansfield verificou que todos os coeficientes de correlação entre $\lambda_{ij}(t)$ e $\{m_{ij}(t) / n_{ij}\}$ para as doze inovações utilizadas eram positivos e significantes ao nível de 0,05.

Temos então, que

$$\begin{aligned} \lambda_{ij}(t) = & a_{i1} + a_{i2} \{m_{ij}(t) / n_{ij}\} + a_{i3} p_{ij} + a_{i4} S_{ij} + \\ & + a_{i5} P_{ij} \{m_{ij}(t) / n_{ij}\} + a_{i6} S_{ij} \{m_{ij}(t) / n_{ij}\} + \\ & + a_{i7} P_{ij} S_{ij} + a_{i8} p_{ij}^2 + a_{i9} S_{ij}^2 + \dots \end{aligned} \quad (11.3)$$

onde as parcelas restantes são desprezadas e podem conter outras variáveis além daquelas especificadas anteriormente.

Substituindo (11.1) em (11.3) podemos escrevê-la:

$$\begin{aligned} m_{ij}(t+1) - m_{ij}(t) = & \{n_{ij} - m_{ij}(t)\} \{a_{i1} + a_{i2} \{m_{ij}(t) / n_{ij}\} + \\ & + \dots + a_{i9} S_{ij}^2 + \dots\} \end{aligned} \quad (11.4)$$

Assumindo que o tempo é medido em unidades suficiente pequenas, podemos usar como aproximação a equação diferencial correspondente

$$\frac{d}{dt} m_{ij}(t) = \{n_{ij} - m_{ij}(t)\} \{Q_{ij} + \phi_{ij} \{m_{ij}(t) / n_{ij}\}\} \quad (11.5)$$

onde Q_{ij} = soma das parcelas em (11.4) não contendo $\{m_{ij}(t) / n_{ij}\}$

$$e \quad \phi_{ij} = a_{i2} + a_{i5} P_{ij} + a_{i6} S_{ij} + \dots \quad (11.6)$$

A solução da equação (11.5) é

$$m_{ij}(t) = \frac{n_{ij} \{ \exp\{\lambda_{ij} + (Q_{ij} + \phi_{ij})t\} - \{Q_{ij} / \phi_{ij}\} \}}{1 + \exp\{\lambda_{ij} + (Q_{ij} + \phi_{ij})t\}}, \quad (11.7)$$

(veja, Mansfield²¹)

Impondo à equação (11.7), a condição que $m_{ij}(t)$ deve ser zero no momento em que nenhuma firma tenha introduzido a inovação, deve ocorrer:

$$\lim_{t \rightarrow -\infty} m_{ij}(t) = 0.$$

Todavia, isto implica que Q_{ij} deve ser identicamente nula. Os dados de Mansfield, começando com a data quando $m_{ij}(t)=1$, calculando $\lambda_{ij}(t)$ e $m_{ij}(t)/n_{ij}$ até quando $m_{ij}(t) = n_{ij}$ foram consistentes com isto, porém, mesmo que Q_{ij} tivesse sido não nula, mas pequena (e certamente não poderia ser grande), a equação (11.8) abaixo, deveria ser uma boa aproximação. Note também que se o modelo vale, $\phi_{ij} > 0$. Usando esta condição, segue que

$$m_{ij}(t) = n_{ij} \{1 + \exp [-(\ell_{ij} + \phi_{ij}t)]\}^{-1} \quad (11.8)$$

Assim, o crescimento durante o tempo do número de firmas tendo introduzido uma inovação deve estar de acordo com uma função logística.

Se a equação (11.8) é correta pode-se mostrar que a taxa de difusão é governada por somente um parâmetro, ϕ_{ij} . Parece razoável tomar como uma medida da taxa de difusão o tempo entre a data quando 20% das firmas introduziram uma inovação e a data quando 80% fizeram assim. De acordo com o modelo este tempo é igual a $2.77 \phi_{ij}^{-1}$, e portanto independente de ℓ_{ij} . Se ao invés de 20 e 80, tomarmos p_1 e p_2 , pode-se mostrar que o tempo para $\{m_{ij}(t) / n_{ij}\}$ passar de p_1 a p_2 será de $\phi_{ij}^{-1} \ln \{(1-p_1) p_2 / p_1 (1-p_2)\}$.

Assumindo-se que a soma das parcelas não especificadas na equação (11.3) não está correlacionada com P_{ij} e S_{ij} , e que pode ser tratada como um termo-erro aleatório, temos de (11.6) que

$$\phi_{ij} = b_i + a_{i5} P_{ij} + a_{i6} S_{ij} + Z_{ij} \quad (11.9)$$

onde b_i é igual a a_{i2} somado ao valor esperado da soma de todos os termos ignorados na equação (11.3) e Z_{ij} é um erro aleatório com média zero.

Outros fatores podem também ser importantes, e a inclusão no modelo pode permitir uma melhor explicação das

diferenças entre taxas de difusão.

Se necessário, D_{ij} - o número de anos transcorridos antes do velho equipamento ser substituído - pode ser uma das variáveis excluídas na função (II.2), e assim ϕ_{ij} poderia ser uma função linear de P_{ij} , S_{ij} e D_{ij} . Portanto, existe alguma tendência aparente para a taxa de difusão ser mais baixa em casos onde existe equipamento muito durável a ser substituído.

Outro fator que pode influir sobre $\lambda_{ij}(t)$, é a taxa de crescimento anual de vendas da indústria durante o período. Pode-se esperar $\lambda_{ij}(t)$ ser mais alta se firmas estão se expandindo numa rápida taxa. Se as firmas na indústria estão convencidas de sua superioridade, a inovação será introduzida em novas fábricas construídas para conciliar o crescimento de mercado. Se existe pouca ou nenhuma expansão, sua introdução deve esperar até as firmas decidirem substituir equipamento existente. Assim, se G_{ij} - a taxa de crescimento anual de vendas da indústria durante o período - afeta $\lambda_{ij}(t)$, ϕ_{ij} pode ser função linear de P_{ij} , S_{ij} e G_{ij} . O efeito de G_{ij} pode depender se o velho equipamento deve ser substituído, quanto durável ele é, a diferença entre a lucratividade de substituí-lo e de instalar a inovação em nova unidade de produção, o grau de excesso de capacidade no início do período, a capacidade de produção de uma fábrica relativa ao tamanho do mercado, etc. O efeito deste fator, como D_{ij} , reflete a possível relutância de firmas desfazerem-se do equipamento existente. Portanto, existe alguma tendência aparente para a taxa de difusão

ser mais alta onde produção está se expandindo numa taxa muito rápida.

Finalmente, Mansfield supôs que $\lambda_{ij}(t)$ seria influenciada pela fase do ciclo comercial durante a qual a inovação foi adotada pela primeira vez. Seja, δ_{ij} igual a um se a inovação foi adotada na fase de expansão e zero se foi adotada na fase de retração. Quando no teste do modelo por Mansfield, δ_{ij} foi incluída na equação (11.9) de ϕ_{ij} , o efeito de δ_{ij} foi não significativa.

Em resumo, os coeficientes de D_{ij} , G_{ij} e δ_{ij} foram encontrados não significantes e a inclusão destas variáveis não evidenciou que os seus efeitos sobre a taxa de difusão sejam devido à operação destes fatores e os coeficientes de P_{ij} e S_{ij} permaneceram relativamente inalterados.

Uma limitação deste modelo é que pode ser esperado valer somente para inovações relativamente lucrativas. Certamente, não valerá em casos onde $P_{ij} < 1$ e pode funcionar mau se P_{ij} não é apreciavelmente maior que a unidade. Se P_{ij} não excede 1, a inovação não deverá ser aceita, e se P_{ij} não é muito maior que a unidade, a inovação provavelmente não é muito importante. Enfim, como foi construído, o modelo pode somente ser esperado funcionar se P_{ij} e S_{ij} permanecem dentro de certos limites. O parâmetro P_{ij} deve ser bem maior que a unidade, e/ou S_{ij} deve ser relativamente pequeno, para o funcionamento do modelo.

MODELOS BÁSICOS PARA ANÁLISE DE SUBSTITUIÇÃO

III.1 - Modelo de Substituição de Fisher-Pry

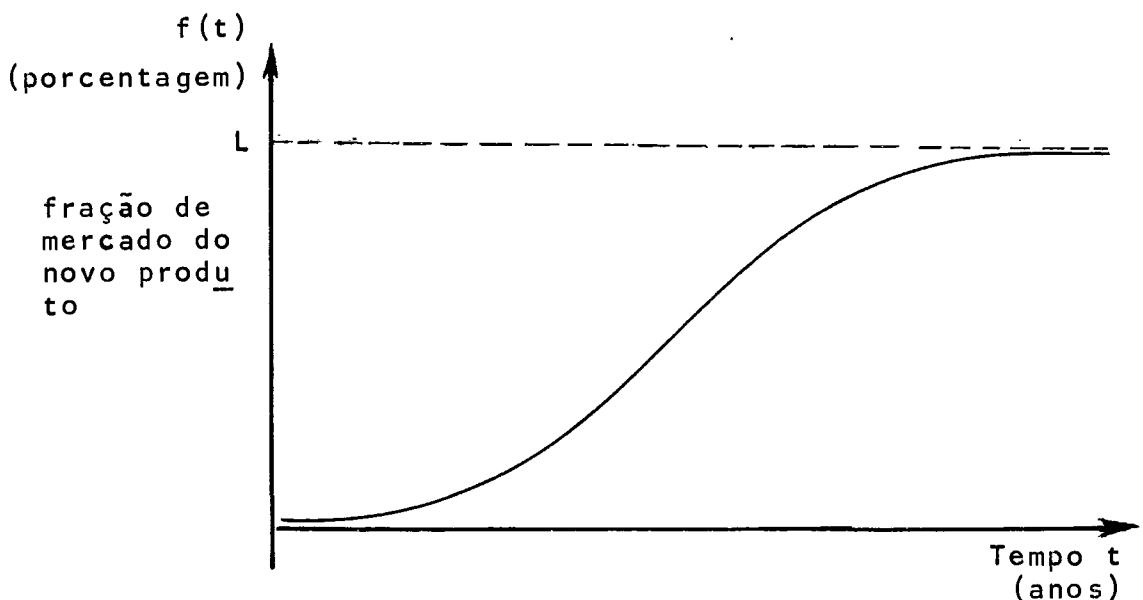
III.2 - Modelo de Blackman

III.3 - Modelo de Substituição de Chow

III.4 - Modelo de Floyd

É intuitivamente aceitável e comprovado na prática que a substituição de um produto por outro, quando bem sucedida, normalmente tende a seguir uma curva em formato S. Para prever o curso e a rapidez do processo de substituição, quando o novo produto parcialmente toma lugar, o método mais simples é projetar uma função sendo a curva em S apropriada, usando-se dados históricos para determinar os parâmetros da função. Este é o conhecido método de extrapolação da tendência. Este capítulo apresenta os modelos matemáticos semi-empíricos considerados básicos na análise de substituição. Fisher-Pry¹⁰, Blackman³, Chow⁸ e Floyd¹¹ são aqui mostrados com seus respectivos desenvolvimentos teóricos resumidos. Todos estes modelos usam a técnica de extrapolação da tendência. Fisher-Pry e Blackman são modelos logísticos (Apêndice 2), Chow é representado por uma curva de Gompertz (Apêndice 2), ao passo que Floyd fornece uma curva de crescimento em formato S mais geral (Fig. III.1). Todos estes modelos são funções unicamente da variável tempo.

Fig. III.1 - Curva em formato S que descreve o processo de substituição



III.1. MODELO DE SUBSTITUIÇÃO DE FISHER-PRY

O modelo de Fisher-Pry¹⁰ está baseado em três hipóteses básicas:

- i - A maior parte dos processos de inovação tecnológica podem ser consideradas como substituições de um produto por outro para suprir necessidades.
- ii - Uma vez o processo de substituição tenha sido iniciado, continuará até a consumação seguindo uma conduta pré-determinada.
- iii - A equação básica do modelo vem da hipótese de que a taxa instantânea relativa de crescimento, $\frac{1}{f(t)} \frac{df(t)}{dt}$, é uma função linear da fração de mercado alcançada $f(t)$.

Equacionando esta última hipótese (iii), temos que

$$\frac{1}{f(t)} \frac{df(t)}{dt} = K \{1-f(t)\} \quad (III.1)$$

Esta é uma equação diferencial ordinária de variáveis separáveis. Separando-as teremos que

$$\frac{1}{f(t) \{1-f(t)\}} df(t) = K dt$$

Decompondo o membro esquerdo em frações parciais e integrando ambos os membros,

$$\frac{f(t)}{1-f(t)} = \frac{1}{\beta} \exp \{Kt\} \quad (III.2)$$

onde $\ln \beta = C$ é uma constante de integração e portanto teremos

$$f(t) = \frac{1}{1 + \beta \exp \{-Kt\}} \quad (III.3)$$

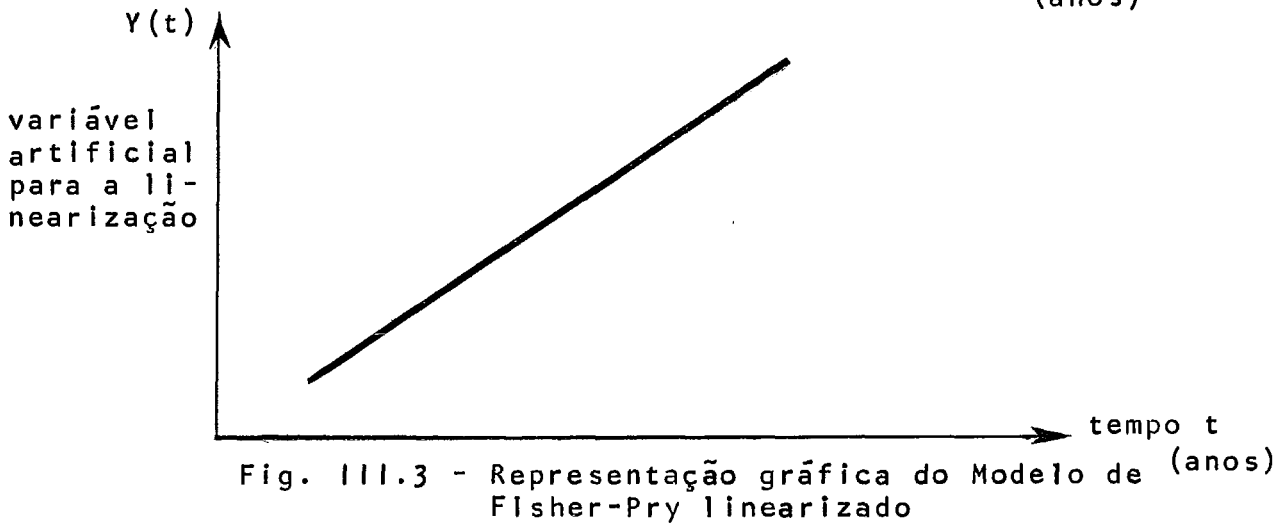
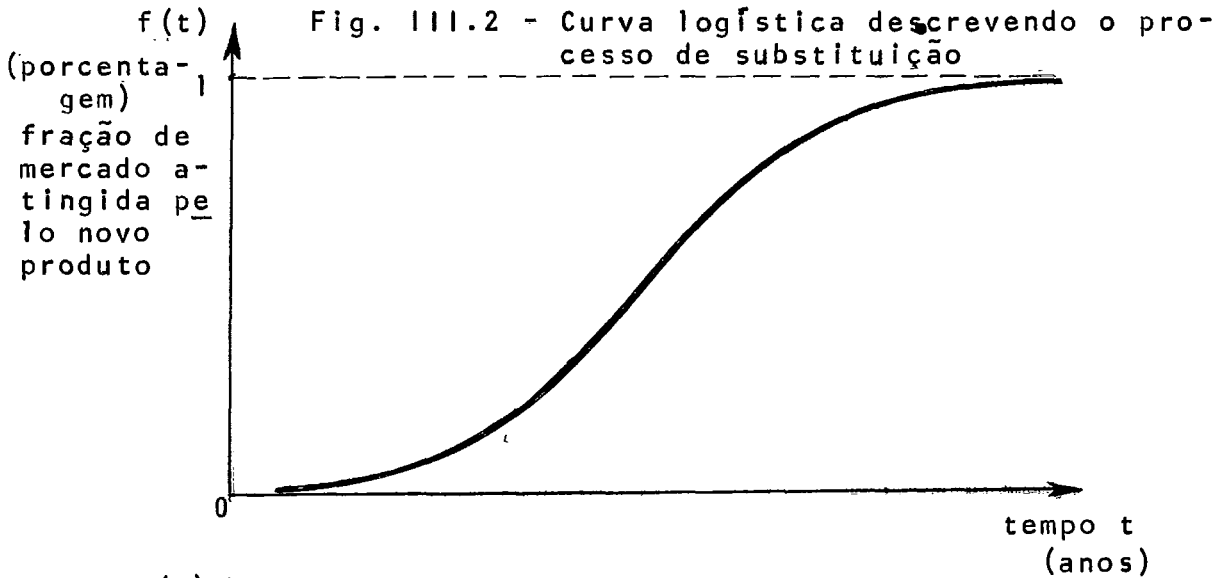
Portanto, o modelo de Fisher-Pry nos indica que a evolução da participação do novo produto segue uma curva logística.

O parâmetro K é uma constante de proporcionalidade que governa a taxa de substituição (taxa de crescimento de $f(t)$) e β fornece o tempo em que a substituição está pela metade, já que $t_m = \ln \beta / K$ (Ver Apêndice 1).

Para a estimação de ambos os parâmetros convém fazermos uma transformação algébrica que linearize a equação representativa do modelo. Logaritmando a equação (III.2),

$$\ln \left\{ \frac{f(t)}{1-f(t)} \right\} = Kt - \ln \beta \quad (III.4)$$

Nas Figuras (III.2) e (III.3) representamos o comportamento fornecido pelo modelo, antes e após a linearização.



Na prática, definindo-se a variável artificial

a) $Y(t)$ como

$$Y(t) = \ln \{f(t)/(1-f(t))\} \quad (III.5)$$

e utilizando-se a regressão linear fornecida por

$$Y(t) = Kt - \ln \beta \quad (III.6)$$

ou $Y(t) = Kt + \gamma$

estima-se K e γ por mínimos quadrados ordinários, e então teremos também β .

A taxa de substituição (taxa de difusão do novo produto no mercado) pode ser definida como sendo o tempo de predomínio de substituição (TPS). Tal período de tempo retrata a rapidez com que o novo produto é aceito no mercado em relação a outro(s) caso(s) de substituição que porventura se passe(m) no mesmo mercado.

Numericamente, o TPS corresponde ao tempo em que $f(t)$ leva para ir de $\frac{1}{10} L$ a $\frac{9}{10} L$, e para o caso de Fisher-Pry, temos que:

$$\text{TPS} = 4,40 \text{ K}^{-1}$$

Uma observação a ser feita é que os valores $\frac{1}{10}$ e $\frac{9}{10}$ foram arbitrados e poderão ser substituídos, por exemplo, por $\frac{2}{10}$ e $\frac{8}{10}$.

III.2. MODELO DE BLACKMAN

Como visto na seção anterior, o modelo de Fisher-Pry¹⁰ apresenta sempre o limite de saturação L como sendo igual à unidade, de acordo com a hipótese básica (ii). Agora, o modelo a ser apresentado possui como característica, o limite de saturação ter um valor L qualquer sendo $0 < L < 1$, o que torna o modelo de Fisher-Pry caso particular do modelo de Blackman³ quando $L = 1$.

Assim sendo, modificando a equação (III.1) para

$$\frac{1}{f(t)} \frac{df(t)}{dt} = K \{L - f(t)\} \quad (III.7)$$

teremos que

$$\frac{f(t)}{L - f(t)} = \frac{1}{\beta} \cdot \exp(LKt) \quad (III.8)$$

onde $\beta = \exp(C)$ e C é uma constante de integração surgida da resolução da equação (III.7).

Fazendo $LK = \phi$ e explicitando-se $f(t)$ na equação (III.8),

obtêm-se:

$$f(t) = \frac{L}{1 + \beta \exp \{-\phi t\}} \quad (III.9)$$

a qual é uma função logística. Este é o modelo de Blackman no formato S, logo ϕ e β têm o mesmo significado que em Fisher-Pry.

Tomando $LK = \phi$ e logaritmando a equação (III.8), obtêm-se o modelo de Blackman linearizado,

$$\ln \{f(t) / (L-f(t))\} = \phi t - \ln \beta \quad (III.10)$$

Definindo-se,

$$Y(t) = \ln \{f(t) / (L-f(t))\}$$

$$\text{Obtemos } Y(t) = \phi t - \ln \beta \quad (III.11)$$

$$\text{ou } Y(t) = \phi t + \gamma$$

e assim ϕ e γ podem ser estimadas pela regressão linear fornecida pela equação (III.11), utilizando-se mínimos quadrados ordinários.

O modelo linearizado, equação (III.10), pode também ser apresentado sob a forma

$$\ln \{f(t) / (L-f(t))\} = \phi(t-t_1) - \ln \{(L/f_1)-1\} \quad (III.12)$$

como no desenvolvimento original de Blackman³ onde,

t_1 = ano no qual ocorre a primeira penetração do novo produto no mercado;

f_1 = fração de mercado alcançada pelo novo produto no fim do seu primeiro ano no mercado,

$$e \quad \phi t_1 + \ln\left\{\frac{L}{f_1} - 1\right\} = \ln \beta = \gamma$$

As Figuras (III.2) e (III.3) servem também para ilustrar as formas do modelo de Blackman, bastando lembrar que neste, trata-se de um limite genérico L.

Para o modelo de Blackman, temos que:

$$TPS = 4,40 \phi^{-1}$$

III.4. MÓDELOS DE SUBSTITUIÇÃO DE CHOW

Para descrever o processo de crescimento de um novo produto sobre outros, pode-se também utilizar o modelo de Chow⁸. Frequentemente, é assumido que a taxa de crescimento depende de dois fatores. O primeiro fator é que o nível $f(t)$ tem efeito positivo sobre a taxa de crescimento, em parte racionalizado pela idéia de que quanto maior o nível $f(t)$, mais provável será a aceitação do novo produto.

O segundo fator é que a diferença ou razão

entre o nível de equilíbrio L e o nível existente $f(t)$, também afirma uma influência positiva sobre a taxa de crescimento da substituição. Embora o nível $f(t)$ de mercado existente tenha um efeito positivo sobre a taxa de crescimento, quanto mais próximo $f(t)$ estiver de L , menor será o número de futuros adotadores.

Diferentemente dos modelos de Fisher-Pry¹⁰ e Blackman³, o modelo de Chow segue uma curva de Gompertz (Ver Apêndice 2), como adequada para a evolução da participação percentual do novo produto.

Uma formulação do processo de crescimento que incorpora os dois fatores anteriormente mencionados, é a seguinte:

$$\frac{df(t)}{dt} = K f(t) (\ln L - \ln f(t)) \quad (III.13)$$

ou $\frac{d}{dt} \ln f(t) = K (\ln L - \ln f(t))$

Resolvendo a equação (III.13), teremos para solução,

$$f(t) = L a^{\alpha^t} \quad (III.14)$$

onde $0 < a = e^{-b} < 1$ acarreta $b > 0$, e $0 < \alpha = e^{-K} < 1$ implica $K > 0$. Deste modo a equação (III.14) transforma-se em

$$f(t) = L (e^{-b})^{(e^{-K})^t}$$

donde

$$f(t) = L e^{-b} e^{-Kt} \quad (III.15)$$

a qual é uma função de Gompertz.

Para estimação dos parâmetros b e K , define-se a seguinte variável Y como sendo,

$$Y(t) = \ln \{ \ln (L/f(t)) \}$$

Note que, sempre $f(t) < L$ o que implica $\frac{L}{f(t)} > 1$ e portanto

$\ln \left(\frac{L}{f(t)} \right) > 0$, sendo então possível a definição de $Y(t)$ desta maneira. Obtemos deste modo, uma regressão linear ao logaritarmos duas vezes a equação (III.15). Então,

$$Y(t) = -KT + \ln b \quad (III.16)$$

onde $K > 0$.

As figuras (III.4) e (III.5) mostram respectivamente uma curva de Gompertz representando o modelo não linearizado e uma reta correspondendo ao modelo linearizado.

O TPS para o modelo de Chow, calcula-se pela seguinte equação:

$$TPS = 3,08 K^{-1}$$

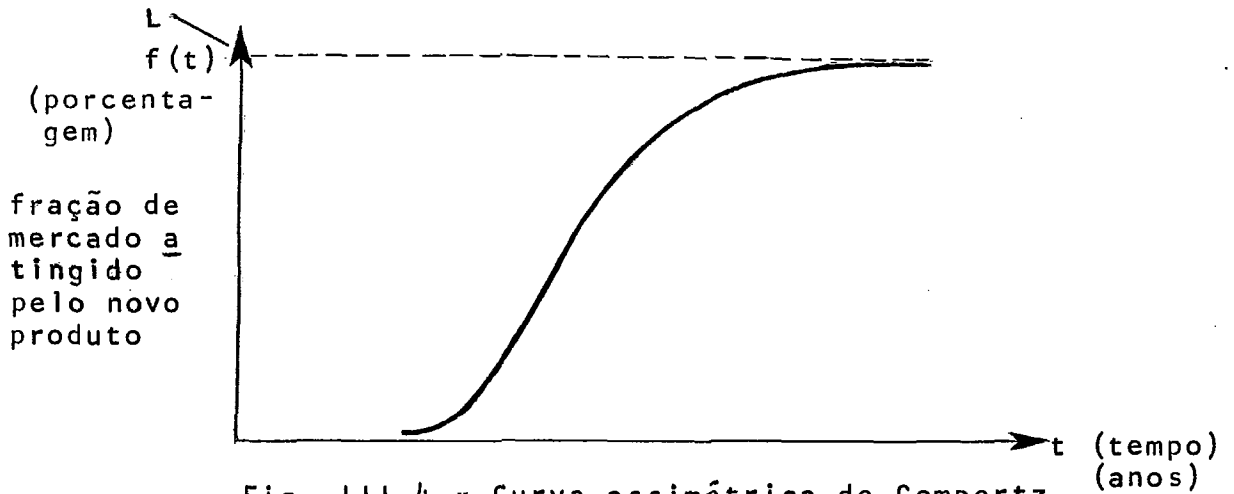


Fig. III.4 - Curva assimétrica de Gompertz correspondente ao modelo de Chow descrevendo o desenvolvimento da substituição

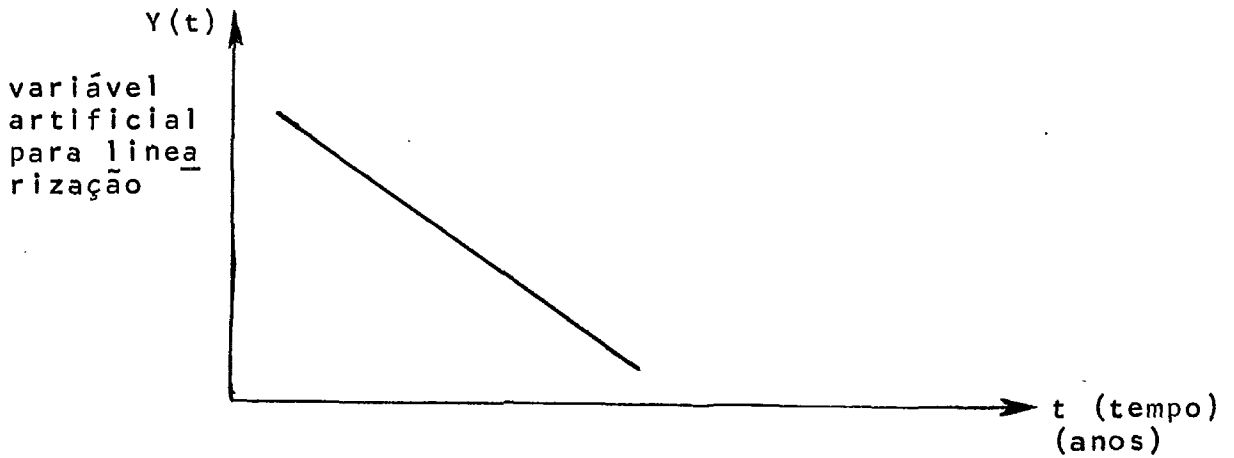


Fig. III.5 - Representação gráfica do modelo de Chow linearizado

111.4. MODELO DE SUBSTITUIÇÃO DE FLOYD

Neste modelo desenvolvido por Floyd¹¹, o crescimento tecnológico é explicado a partir de tentativas para melhorar a capacidade funcional de uma tecnologia, designada por $f(t)$. É suposto existir um total de M técnicas possíveis que podem ser tentadas para aumentar $f(t)$, das quais X serão bem sucedidas. Obviamente, M e X são quantidades não mensuráveis. A ordem na qual as técnicas bem sucedidas são encontradas, é insignificante.

Floyd levantou a seguinte questão: se uma tentativa para aumentar $f(t)$ for bem sucedida, de quanto $f(t)$ irá aumentar? Floyd assumiu a seguinte relação entre as tentativas bem sucedidas e o grau (razão) de melhoramento em $f(t)$:

$$\frac{\Delta f(t)}{\Delta x} = - \frac{1}{K(M-X)} \quad (111.17)$$

onde $\Delta f(t)$ é a variação de $f(t)$, Δx é a variação no número de tentativas bem sucedidas, à medida que o tempo passa, e K é uma constante. Invertendo, a equação (111.17), temos,

$$\frac{\Delta x}{\Delta f(t)} = - K (M-X)$$

donde

$$\frac{\Delta x}{M-X} = -K \Delta f(t)$$

Convertendo esta última equação em uma equação diferencial,

$$\frac{dX}{M-X} = -K df(t)$$

Integrando-se,

$$\int_X^0 \frac{dX'}{M - X'} = -K \int_{f(t)}^L df'(t)$$

notando-se que, quando o número de técnicas bem sucedidas restantes vai a zero, $f(t)$ aproxima-se de L . Da integração de ambos os lados, obtemos que

$$\frac{X}{M} = 1 - \exp \{-K (L - f(t))\} \quad (III.18)$$

Floyd considerou a situação de um pesquisador tentando aumentar o nível $f(t)$. Se ele for bem sucedido, $f(t)$ será aumentado, e em uma tentativa, usando uma única técnica (o pesquisador poderia fazer uma tentativa para aumentar $f(t)$ usando mais de uma técnica), ele tem a priori, uma probabilidade de sucesso igual a

$$P(f(t), -) = \frac{X}{M} \quad (III.19)$$

Em consequência, a probabilidade de fracasso é simplesmente

$$1 - P(f(t), -) = 1 - \frac{X}{M}$$

Agora se existirem W pesquisadores trabalhando no campo com o mesmo fim, tendo cada um deles uma eficiência de tentar N técnicas por unidade de tempo, e todos trabalharem durante um intervalo de tempo Δt , a probabilidade de que nenhum deles será bem sucedido será

$$\left\{1 - \frac{X}{M}\right\}^{NW\Delta t}$$

A probabilidade de ao menos um sucesso - aumentar $f(t)$ pelo me nos uma vez em Δt - é igual a

$$P(f(t), \Delta t) = 1 - \left\{1 - \frac{X}{M}\right\}^{NW\Delta t} \quad (III.20)$$

Substituindo-se a equação (III.18) na equação (III.20) obtêm-se

$$P(f(t), \Delta t) = 1 - \exp \{-(L-f(t)) KNW\Delta t\} \quad (III.21)$$

Isto significa que expressamos a probabilidade de pelo menos um, dentre os W pesquisadores, ser bem sucedido em Δt , ten tando N técnicas por unidade de tempo, em termos de variáveis mensuradas ou estimadas (com a possível exceção de K). Assim, foi conseguido eliminar as quantidades X e M não mensuráveis da expressão (III.20). Esta, dá a probabilidade de $f(t)$ aumen tar em pelo menos uma vez na situação considerada. Se assumir mos que o intervalo de tempo Δt é tão pequeno que a probabilida de duas tentativas bem sucedidas ocorrerem é desprezível, então a expressão (III.21) dá a probabilidade de $f(t)$ ser au mentado exatamente uma vez. A probabilidade complementar, se rá a de que não existirá nenhum melhoramento.

Suponhamos agora, que um longo período de tempo é dividido em intervalos $\Delta_i t$, cada um tão pequeno que a probabilidade de dois sucessos no mesmo intervalo, é desprezível. Então, a probabilidade de não haver nenhum sucesso no

i -ésimo intervalo é,

$$1 - P(f(t), \Delta_i, t) = \exp \{-(L-f(t)) K_i N_i W_i \Delta_i t\}$$

Nesta expressão, K , N e W podem diferir de um intervalo $\Delta_i t$ para outro. Pode-se então expressar a probabilidade que, durante a longo período composto destes curtos intervalos de tempo, não haverá nenhum melhoramento em $f(t)$, como

$$1 - P(f(t), \Sigma_i \Delta_i, t) = \exp \{-(L-f(t)) \Sigma_i K_i N_i W_i \Delta_i t\}$$

Logo, a probabilidade de se alcançar pelos menos um melhoramento em $f(t)$ durante o longo período será

$$P(f(t), \Sigma_i \Delta_i, t) = 1 - \exp \{-(L-f(t)) \Sigma_i K_i N_i W_i \Delta_i t\}$$

Visto que, os intervalos foram escolhidos pequenos, pode-se substituir o somatório pela integral, obtendo-se a seguinte expressão:

$$P(f(t), t) = 1 - \exp \left\{ -(L-f(t)) \int_{-\infty}^t KNW dt \right\} \text{ onde } P(f(t), t) \text{ é a}$$

probabilidade de um aumento em $f(t)$ desde o início do processo de substituição.

Pode-se agora perguntar: que nível de $f(t)$ está associado com alguma probabilidade específica p de não haver aumento em $f(t)$?

Podemos fazer.

$$1 - P(f(t), t) = p \text{ e resolvermos}$$

$$1 - p = 1 - \exp \left\{ -(L-f(t)) \int_{-\infty}^t KNWdt' \right\}$$

$$\text{ou } \exp \left\{ -(L-f(t)) \int_{-\infty}^t KNWdt' \right\} = p$$

donde,

$$- \ln p = (L-f(t)) \int_{-\infty}^t KNWdt' \quad (III.22)$$

Note que o lado direito desta última equação é igual a uma constante, mas a integral é uma função do tempo, monótona não decrescente, positiva, e enquanto W não vai a zero, ela será uma função monótona crescente, positiva, do tempo. Para compensar este fato, $f(t)$ deve ser também uma função monótona crescente do tempo, que tende assintoticamente para L . Isto nos proporciona a curva de crescimento, forma adequada para descrever o fenômeno de substituição.

Para se avaliar $f(t)$, necessitamos de alguma maneira de se calcular a integral, precisamos examinar cada fator do integrando. O fator de proporcionalidade K , exige em alguns casos, ser constante, e em muitíssimos casos variará muito lentamente. A produtividade de um pesquisador - N tentativas por unidade de tempo - aumenta à medida que o novo produto melhora (disponibilidade de computadores, etc), porém este aumento será razoavelmente lento na maior parte dos casos. O número de pesquisadores W , pode mudar rapidamente; Floyd assumiu que W depende da taxa de progresso do novo produto dentro do campo. Ele assumiu a seguinte forma para o número de pesquisa-

dores W :

$$W(t) = K_1 W_0(t) f(t) \quad (III.23)$$

onde,

$W_0(t)$ = número de pesquisadores geralmente disponível em t

K_1 = constante de proporcionalidade

com a expressão (III.23) para $W(t)$ podemos reescrever a equação (III.22) como,

$$- \ln p = (L-f(t)) \int_{-\infty}^t K(t') N(t') W(t') dt'$$

ou,

$$- \ln p = (L-f(t)) \int_{-\infty}^t K(t') N(t') K_1 W_0(t') \cdot f(t') dt'$$

(III.24)

Fazendo-se, $K(t') N(t') W_0(t') = T(t')$,

a equação (III.24), pode então ser reescrita como

$$- \ln p = (L-f(t)) \int_{-\infty}^t f(t') \cdot T(t') dt'$$

donde,

$$\frac{1}{L-f(t)} = \frac{1}{- \ln p} \int_{-\infty}^t f(t') T(t') dt'$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{L - f(t)} \right) = \frac{T(t)}{-\ln p} \cdot f(t)$$

$$\frac{\frac{df(t)}{dt}}{(L - f(t))^2} = \frac{T(t) \cdot f(t)}{-\ln p}$$

$$\frac{df(t)}{(L - f(t))^2 \cdot f(t)} = \frac{T(t)}{-\ln p} dt$$

$$\int \frac{df(t)}{(L - f(t))^2 \cdot f(t)} = \int \frac{T(t')}{-\ln p} dt'$$

Seja $g(t) = \int \frac{T(t')}{-\ln p} dt'$. Desde que $T(t)$ varie lentamente,

$g(t)$ pode ser considerada aproximadamente linear; $g(t) = \eta t + \epsilon$

$$\int \frac{df(t)}{(L - f(t))^2 \cdot f(t)} = g(t) \quad (III.25)$$

Floyd empregou a seguinte transformação:

$$z(t) = \frac{1}{1 - \frac{f(t)}{L}} = \frac{L}{L - f(t)} \quad (III.26)$$

donde,

$$(L - f(t))^2 = Z^2(t) L^2$$

Substituindo na equação (III.25),

$$\int \frac{df(t)}{Z^2(t) \cdot L^2 \cdot f(t)} = g(t)$$

$$\frac{1}{L^2} \int \frac{df(t)}{Z^2(t) \cdot f(t)} = g(t) \quad (\text{III.27})$$

Esta última integral tem uma forma simples aproximada para o caso do expoente de $f(t)$ ser igual a 1.

Assim,

$$\int \frac{df(t)}{Z^2(t) \cdot f(t)} \approx Z(t) + \ln \{Z(t)-1\} + C_2 \quad (\text{III.28})$$

Logo,

$$\int \frac{df(t)}{Z^2(t) \cdot f(t)} = L^2 g(t)$$

e substituindo a equação (III.28) na expressão acima, temos que

$$Z(t) + \ln \{Z(t)-1\} + C_2 = \phi t + C_1 \quad (\text{III.29})$$

já que se $g(t)$ é linear,

$L^2g(t)$ será também linear.

A equação (III.29) pode ser reescrita como

$$Z(t) + \ln \{Z(t) - 1\} = \phi t + \gamma \quad (\text{III.30})$$

onde $\gamma = C_1 - C_2$. Como $Z(t) = \frac{L}{L - f(t)}$, a equação (III.30)

torna-se:

$$\{L/(L-f(t))\} + \ln \{(L/(L-f(t))) - 1\} = \phi t + \gamma \quad (\text{III.31})$$

$$L/(L-f(t)) + \ln \{f(t)/(L-f(t))\} = \phi t + \gamma \quad (\text{III.32})$$

onde γ , facilmente visto, é uma constante de integração, analogamente a Fisher-Pry¹⁰ e Blackman³, bem como ϕ é uma constante que governa a taxa de substituição como nos modelos anteriores.

Para estimação dos parâmetros ϕ e γ , podemos definir como anteriormente, a variável artificial $Y(t)$. Seja

$$Y(t) = \frac{L}{L - f(t)} + \ln \left\{ \frac{f(t)}{L - f(t)} \right\}$$

Deste modo,

$$Y(t) = \phi t + \gamma \quad , \quad (III.33)$$

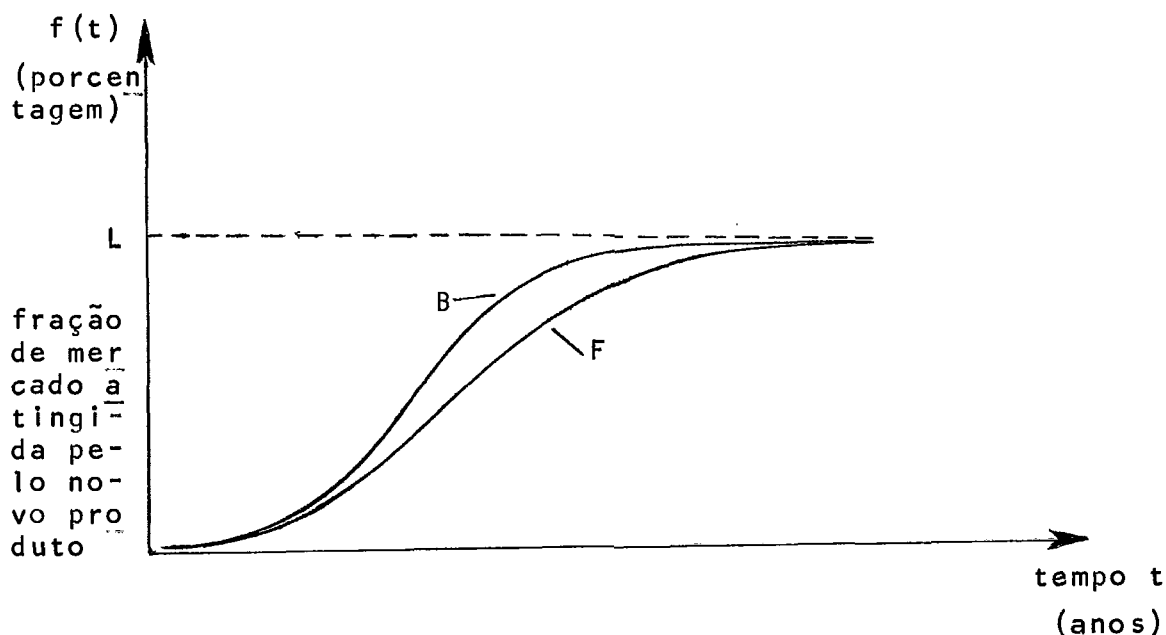
e fazendo-se a regressão de $Y(t)$ sobre t fornecida por esta equação, estima-se ϕ e γ através de mínimos quadrados ordinários.

Para o modelo de Floyd, temos que o TPS é calculado segundo a equação abaixo:

$$TPS = 13,29 \phi^{-1}$$

A equação (III.32) de previsão por Floyd, é uma curva de crescimento em forma de S, considerando f como função do tempo. É uma curva não-logística, assimétrica, e portanto mais geral. Seu crescimento é mais lento quando comparado como o de Blackman. Ver figura (III.6).

Fig. III.6 - Comparação gráfica das curvas de Blackman (B) e Floyd (F)



CAPÍTULO IV

PROCEDIMENTOS PARA ADAPTAÇÃO
DE UM MODELO À INFLUÊNCIA DE
FATORES EXÓGENOS

IV.1. Procedimento por ramificação da Curva de Blackman

IV.2. Procedimento pelo modelo generalizado de Sharif-Kabir

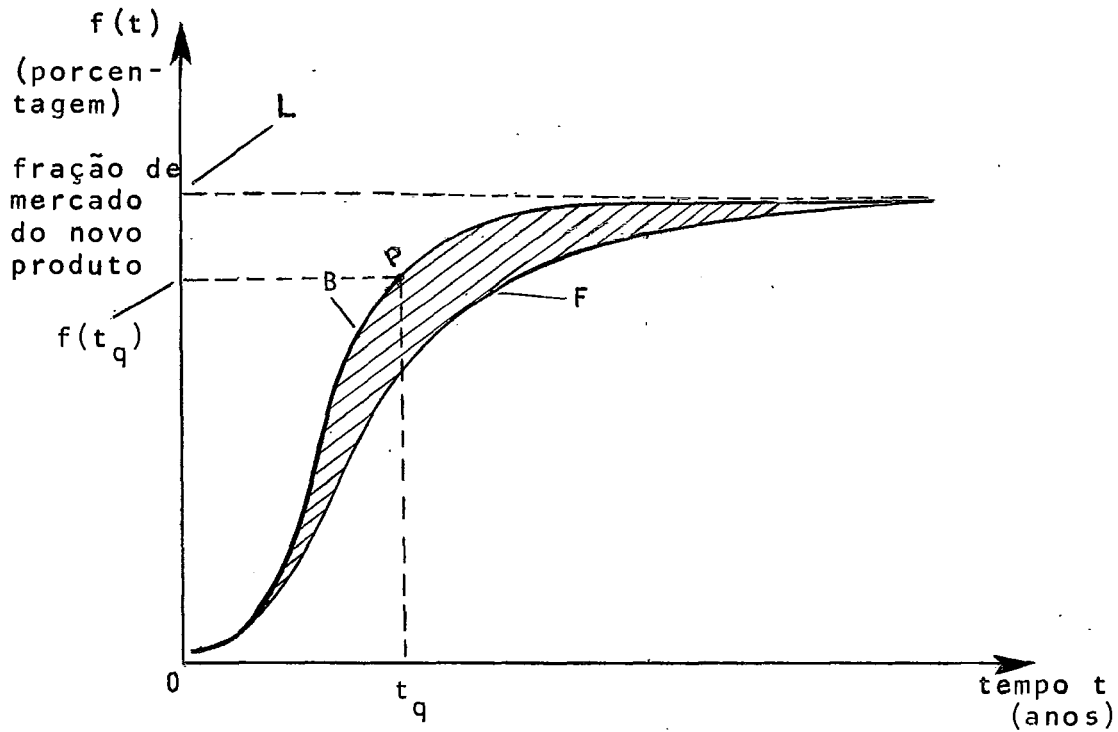
Quando possuímos uma série de dados históricos sobre um determinado problema de substituição e desejamos elaborar um modelo por extrapolação da tendência que descreva o processo, a primeira fórmula que deve ser tentada é a equação (III.10) de Blackman³. Todavia, com o modelo pronto, pode ocorrer ser nitidamente notado que o tempo de predomínio da substituição ou taxa de substituição - definida como o intervalo em anos tal que a fração de mercado $f(t)$ do novo produto leve para ir de $L/10$ a $9L/10$ - seja um período muito curto contradizendo uma situação real. Esta então, é a hora de recorrermos à equação (III.32) de Floyd¹¹. Porém, pode também ocorrer que este mostre um período de predomínio da substituição muito demorado e não esteja de acordo com a situação real. Neste caso uma curva mais realística provavelmente situar-se-á na região limitada por estas duas curvas extremas. Nas próximas seções dois procedimentos são apresentados para se resolver tal problema.

IV.1. PROCEDIMENTO POR RAMIFICAÇÃO DA CURVA DE BLACKMAN

O procedimento é como segue:

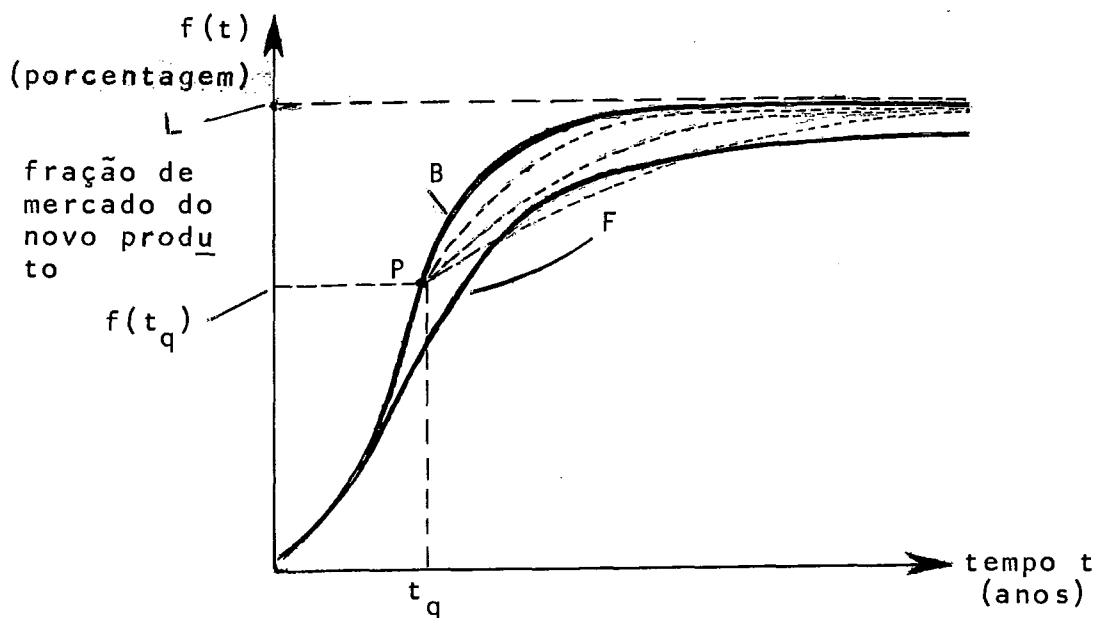
- i - Usar os modelos de Blackman e Floyd com os dados históricos existentes e o limite L razoavelmente verificado, para obter um domínio de previsões viáveis como na figura (IV.1).

Fig. IV.1) - Curvas de Blackman (B) e Floyd (F), mostrando o domínio de previsões viáveis



ii - Obter o ponto $(t_q, f(t_q))$ sobre a curva de Blackman tal que o tempo t_q seja o ano em que algum fator exógeno começa a influir sobre a taxa de crescimento no decorrer do tempo. Ver o ponto P na figura (IV.2). P é chamado "ponto de quebra" e é denotado por $P = (t_q, f(t_q))$.

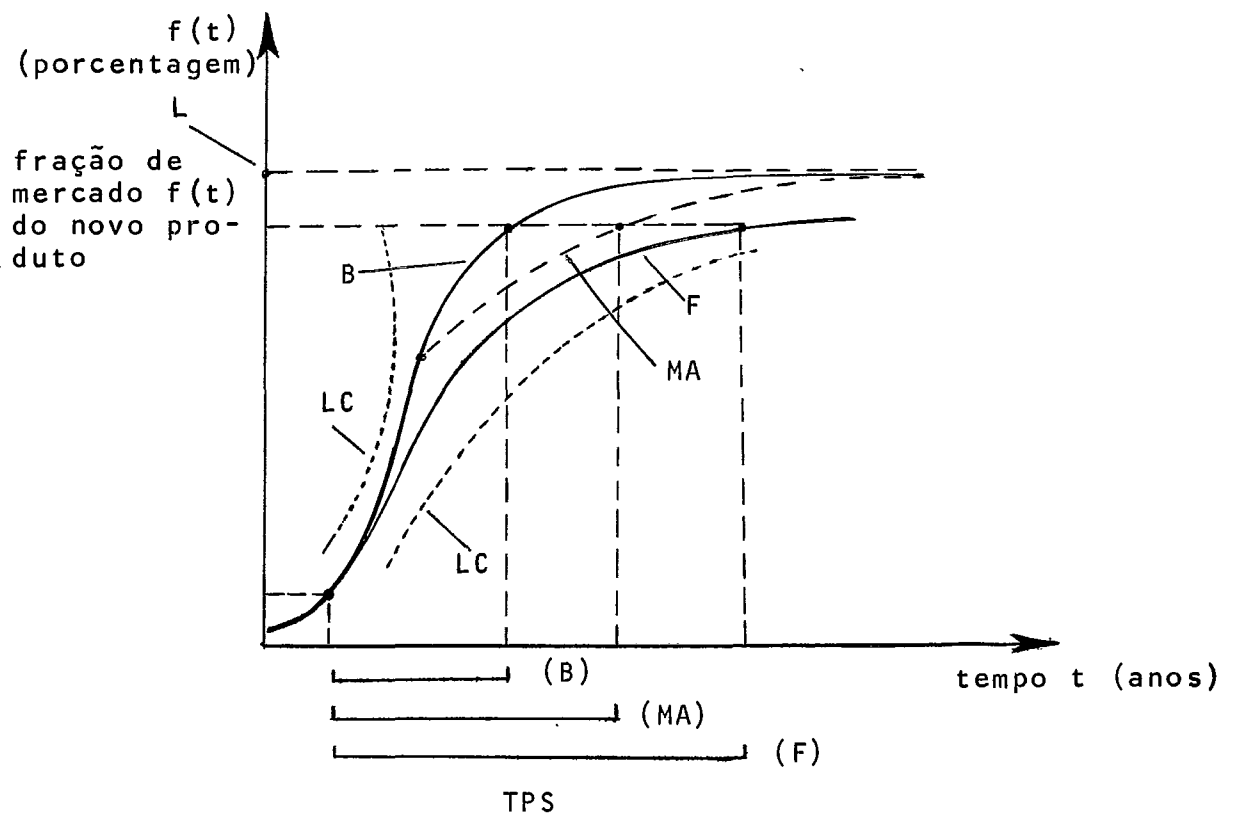
Fig. IV.2 - Curvas com diferentes inclinações em um ponto de quebra P



- iii - Dentro da região obtida no passo (i), encontrar um conjunto de curvas com diferentes inclinações que partam do ponto de quebra localizado no passo (ii). Ver figura (IV.2). Estas curvas são as chamadas ramificações da curva de Blackman. Para obtê-las basta tomarmos para $i = \overline{1, n}$, $n \in \mathbb{N}$, $0 < \alpha_i < 1$ e substituírmos em Blackman ϕ por $\alpha_i \phi$ e γ por q_i que é uma constante tal que $\ln \{f(t_q)/(L-f(t_q))\} = \alpha_i \phi + q_i$.

iv - identificar dentre as ramificações, a curva que proporciona previsões mais prováveis sa tisfazendo a um determinado critério para escolha da melhor ramificação. Veja figura (IV.3).

Fig. IV.3 - Modelo de previsão adaptado (MA) entre Blackman (B) e Floyd (F), com limites de confiança (LC) e os tempos de predomínio de substituição nos segmentos h orizontais abaixo do quadro



IV.2. PROCEDIMENTO PELO MODELO GENERALIZADO DE SHARIF-KABIR

Um método possível para adaptar um modelo dentro da região limitada por Blackman³ e Floyd¹¹ é o procedimento das ramificações apresentado na seção anterior. Por ele obtém-se uma curva incorporando uma reduzida taxa de substituição por um ponto de quebra correspondendo a uma significativa mudança do meio ambiente. Contudo, este procedimento não nos dá uma curva de formato S intuitivamente aceitável e comprovada na prática. Uma curva regular de formato S dentro da região viável produzida por Blackman e Floyd pode ser obtida pela equação de Sharif-Kabir²⁷. Os dois modelos existentes de substituição tecnológica que formam a base para a formulação desse modelo são Blackman e Floyd. As equações destes modelos são como se seguem:

$$\text{Blackman} - \ln \{f(t) / (L-f(t))\} = \phi_1 t + \gamma_1$$

$$\begin{aligned} \text{Floyd} - \{L / (L-f(t))\} + \ln \{f(t) / (L-f(t))\} = \\ = \phi_2 t + \gamma_2 \end{aligned}$$

Considere agora um parâmetro $0 \leq \sigma \leq 1$. Multiplicando-se a primeira equação por $(1-\sigma)$ e a segunda por σ , teremos:

$$(1-\sigma) \cdot \ln \{f(t) / (L-f(t))\} = (1-\sigma)\phi_1 t + (1-\sigma) \gamma_1 \quad (\text{IV.1})$$

$$\sigma \{L/(L-f(t)) + \ln \{f(t) / (L-f(t))\}\} = \sigma\phi_2 t + \sigma\gamma_2 \quad (IV.2)$$

Somando as equações (IV.1) e (IV.2), vem

$$\begin{aligned} (1-\sigma) \cdot \ln \{f(t) / (L-f(t))\} + \sigma \{L/(L-f(t)) + \ln \{f(t)/(L-f(t))\}\} = \\ = \{(1-\sigma)\phi_1 + \sigma\phi_2\}t + \{(1-\sigma)\gamma_1 + \sigma\gamma_2\} \end{aligned}$$

donde,

$$\{\sigma L/(L-f(t))\} + \ln \{f(t)/(L-f(t))\} = \phi t + \gamma \quad (IV.3)$$

Esta é a equação de Sharif-Kabir. A representação gráfica é uma curva de crescimento em formato S intermediária entre a de Blackman e Floyd.

O tempo de predomínio de substituição para este modelo, depende não somente do parâmetro ϕ , mas também, do parâmetro σ e é dado por:

$$TPS = \phi^{-1} (8,89\sigma + 4,40) \quad (IV.4)$$

Pode ser observado que:

- i - se $\sigma = 0$, temos a equação de Blackman;
- ii - se $\sigma = 1$, temos a equação de Floyd;
- iii - se $\sigma = 0$ e $L = 1$, temos a equação de Fisher-Pry.

Visto que o coeficiente σ pode variar entre zero e um, temos en

tão uma família de curvas de crescimento em formato S. Desta família então selecionamos uma curva conveniente que melhor descreva a série de comportamento da substituição de acordo com algum fator exógeno que a influencie, estimando um valor para σ .

Para determinar um valor adequado para σ , muitos fatores devem ser considerados. Tomar cuidado com fatores exógenos é a mais importante consideração na seleção do valor de σ , porém uma estimação preliminar pode ser feita considerando:

- i - dispersão dos dados;
- ii - número de observações;
- iii - o efeito do último ponto dado;
- iv - tempo de predomínio de substituição.

Vejamos os itens (i) e (iii). Se o processo de substituição encontra-se no início, a dispersão dos dados e o valor de $f(t)$ para o último ponto dado significam bastante na determinação da tendência procurada. O lugar geométrico da tendência depende da dispersão e quanto mais distante a tendência passa do último ponto, pior será o valor de σ . Para minimizar a discrepância, a extrapolação da tendência por médias móveis, tomando-se três ou cinco pontos de cada vez, pode ser usada.

Vejamos agora o efeito do número de observações. Quando a taxa de crescimento nos anos iniciais não é substancialmente alterada durante um longo período de tempo, o uso de um grande número de dados neste período é provável pio

rar o valor de σ . Uma maneira de minimizar esta tendência é desprezar os dados correspondentes aos primeiros anos e fixar um valor inicial para $f(t)$ além do qual todos os pontos dados são usados para obtermos a curva de Sharif-Kabir, fornecida pela equação (IV.3). Deveria ser notado aqui, que o valor escolhido para σ dependerá do nível no qual o valor inicial de $f(t)$ foi estipulado.

Um outro fator que influencia a seleção de σ é o tempo de predomínio da substituição. Quanto mais demorada é a substituição, maior será o valor de σ . Considerando as outras medidas corretivas sugeridas nos parágrafos antecedentes juntamente com o tempo de predomínio da substituição, melhor estimativa de σ será encontrada. A figura (IV.4) mostra a representação gráfica de uma curva de Sharif-Kabir correspondente a algum σ estimado entre zero e um.

Observe que o modelo Sharif-Kabir com σ fixo é um modelo semi-estático. O coeficiente σ atende a uma determinada situação de agora, mas, essa situação atual poderá mudar no decorrer do tempo. Poderão ocorrer significantes mudanças no meio ambiente que provavelmente afetarão o curso de substituição previsto pelo método exploratório de extrapolação da tendência. Logo, um método normativo com julgamentos subjetivos poderá ser usado para tornar o modelo adaptável a tais circunstâncias.

O coeficiente σ proporciona um mecanismo para variar a taxa de crescimento da substituição, acelerando - a

ou retardando-a. Portanto, ao invés de assumirmos σ ser constante para o período de previsões, podemos pensar ser um parâmetro dependente do tempo, designando-o por $\sigma = \lambda(t)$. Assim $\lambda(t)$ determinará o provável caminho da curva de substituição sob a influência de fatores exógenos. A estimação do valor deste parâmetro é matéria de julgamento subjetivo. Assumindo que o valor de $\lambda(t)$ estará entre zero e um, como também levando-se em consideração a complexidade da dinâmica de mercado, a mudança em $\lambda(t)$ é mais provável ser gradual e contínua, e portanto $\lambda(t)$ pode ser explicitamente determinada por alguma forma de um método intuitivo, tal como: Delphi, Análise de Impacto Cruzado, Descrição de Cenários, etc. Um preferível método será gerar um número de cenários e desenvolver previsões correspondendo a cada uma dessas hipóteses para avaliar diferentes sequências possíveis:

Considerando agora, que para cada $\sigma = \lambda(t)$ haverá um $\phi = \beta(t)$ associado, teremos então o modelo dinâmico de Sharif-Kabir^{2,8} como sendo:

$$(L.\lambda(t)) / (L-f(t)) + \ln \{f(t) / (L-f(t))\} = \beta(t).t + \gamma \quad (IV.5)$$

Lembre-se o fato que o TPS (tempo de predomínio de substituição) para o modelo Sharif-Kabir^{2,7} é função de ϕ e σ que agora são considerados como funções do tempo $\beta(t)$ e $\lambda(t)$, respectivamente. Além do mais, o valor de σ para uma determinada época é estimado em função do TPS. Portanto a equação (IV.5) acima nos proporciona uma maneira de adaptarmos o modelo de

Sharif-Kabir a diversas situações do meio ambiente no decorrer do tempo. Contudo, não entraremos neste trabalho com utilização desta equação. No procedimento de simulação de um processo de substituição, esta equação aparece, e a técnica *dinâmica de sistema*, usando a linguagem de simulação *Dynamo* para a manipulação da mesma é sugerida no último capítulo como parte da complementação desta pesquisa.

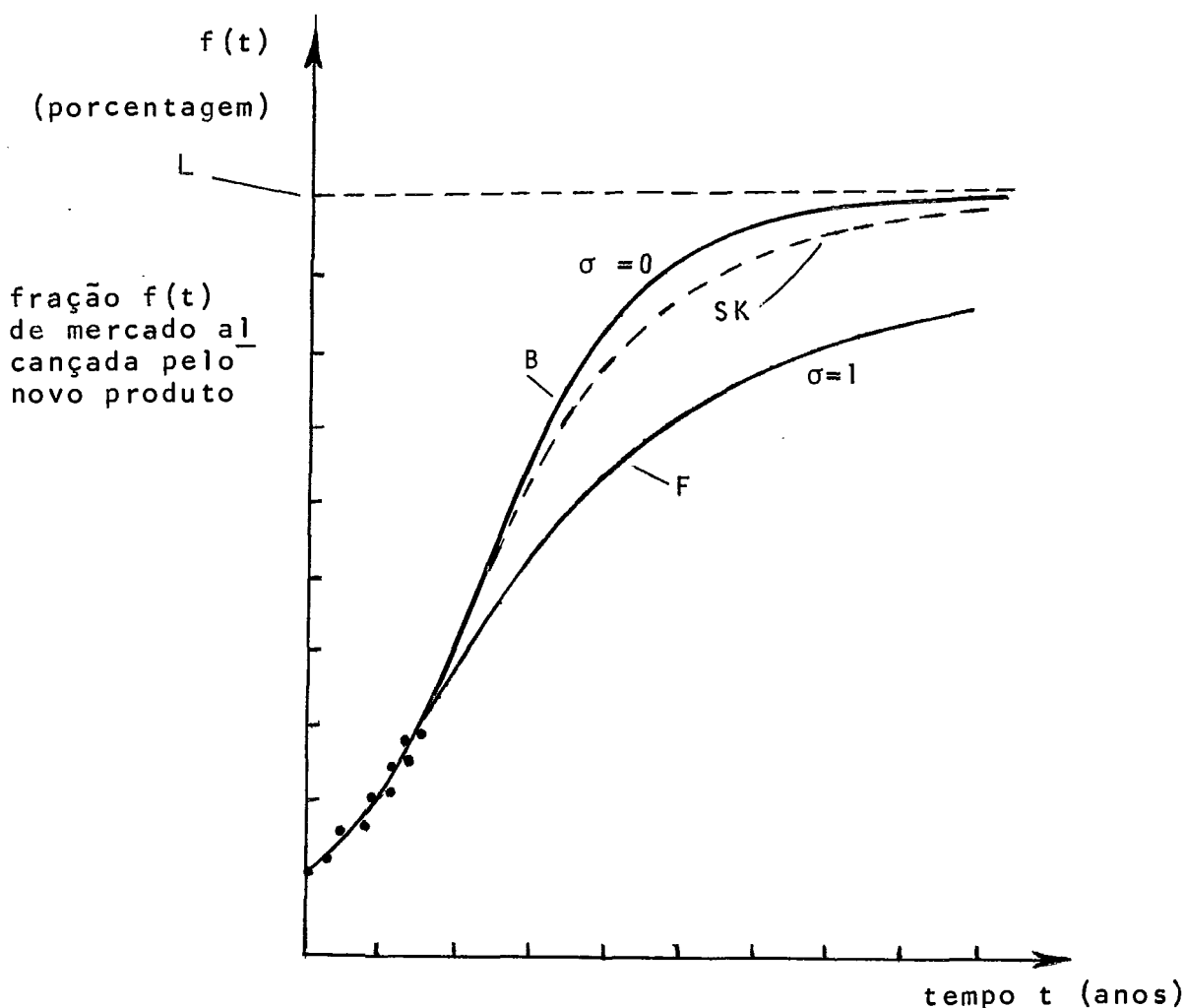


Fig. IV.4 - Curva representativa do modelo Sharif-Kabir (SK) entre as curvas de Blackman (B) e Floyd (F)

CAPÍTULO VHISTÓRICOS E APLICAÇÕES DE FIOS E FIBRAS TÊXTEIS

V.1. Históricos das fibras

V.1.1. Fibras naturais moles

V.1.2. Fios e fibras artificiais

V.1.3. Fios e fibras sintéticas

V.2. Aplicações Têxteis e Industriais dos fios e fibras

V.2.1. Fibras naturais moles

V.2.2. Fios e fibras artificiais

V.2.3. Fios e fibras sintéticas

Um setor industrial que tem mostrado o fenômeno da substituição de forma bem evidente tem sido o setor de fios e fibras têxteis. Basta citar o setor das sintéticas, onde a concorrência no Brasil tem sido grande. Existem onze fabricantes de nylon e oito de poliéster que fazem com que o mercado seja bastante competitivo.

Este capítulo serve de preliminar ao próximo sobre aplicação dos modelos básicos apresentados no capítulo III. Históricos concernentes à fios e fibras artificiais, fios e fibras sintéticas, fibras naturais moles, as aplicações têxteis e industriais destes grupos com seus respectivos segmentos de produção, são aqui apresentadas. O quadro (V.1) mostra os fios e fibras têxteis que são considerados na aplicação dos modelos de substituição no próximo capítulo, segundo sua natureza, categoria e tipo industrial.

QUADRO (V.1)

TIPOS DE FIOS E FIBRAS TÊXTEIS		
Natureza	Categoria	Tipo Industrial
Químicas	Artificiais	{ Rayon Acetato Rayon Viscose
	Sintéticas	{ Poliamídicas Poliacrílicas Poliestéricas
Naturais	Moles	{ algodão lã linho seda rami

V.1. HISTÓRICOS DAS FIBRAS

V.1.1. FIBRAS NATURAIS MOLES

A lã, matéria têxtil conhecida já na mais remota antiguidade, floresceu nas civilizações assíria e egípcia por volta de 1800 AC e mais tarde na Grécia e Roma Antiga. Provém do carneiro, lhama, alpaca e vicunha que são os animais que a produzem. No Brasil, a lã pouco a pouco vai deixando o mercado substituída por produtos de concepção mais moderna, como as malhas sintéticas e as mesclas.

A seda teve origem na China por volta de 1600 AC. A sericultura na China era considerada arte sagrada, dedicando-se a mesma somente às imperatrizes. A sericultura se faz ainda no Japão, na Coréia, na Itália, Turquia, Rússia, Grécia, Espanha, Irã, em Bengala e no Brasil, porém sua produção foi afetada pela concorrência das fibras sintéticas. Com o lançamento do nylon no mercado nacional teve o seu significado econômico bastante afetado.

O rami é uma fibra de origem vegetal oriunda da China por volta de 1300 AC. Na Ásia já era cultivado muito antes de aparecer o algodão. O oriente detém ainda hoje a concentração do cultivo do rami, liderada pela China e, em segundo plano pelas Filipinas, Taiwan, Indonésia, Vietnã do Norte e Japão. Devido ao baixo rendimento das máquinas que existiam para o processamento do rami, a cultura do mesmo era an

ti-econômica e desencorajava os produtos. No Brasil, as primeiras notícias sobre o rami datam de 1853, quando foi plantado experimentalmente no Paraná e ganhou importância na medida em que se impôs como substituto do produto importado, tanto para os tecidos tradicionais como para os especiais (trama larga), participando, inclusive, em alguns casos, de um mercado até então conquistado pelas chamadas fibras duras (juta, sisal, cânhamo, principalmente). O norte do Estado do Paraná é a região produtora mais significativa.

O algodão é a mais importante de todas as fibras naturais. Procedente da Índia onde já era conhecido há uns dois mil e quinhentos anos (aproximadamente 600 AC), se estendem pelo Egito e China, e no século X, à Europa. Primeiramente foi introduzido na Espanha e mais tarde já em pleno século XIV, na Alemanha e pouco depois na Inglaterra. Seu emprego se incrementou consideravelmente quando em 1768 foi inventada a máquina de fiar e em 1887 o tear mecânico.

O linho foi a primeira fibra natural a ter aceitação na indústria têxtil. De origem asiática, seu cultivo remonta desde o século IV AC. No Brasil, foi introduzido em 1550, sendo cultivado principalmente na região sul. Em 1712, proibiu-se na Alemanha o uso do tecido de algodão para proteger a indústria do linho. A Rússia é o maior produtor do mundo, seguida da Polônia, Países Baixos, Bélgica, Inglaterra, Irlanda e França. Com a concorrência do algodão e das fibras sintéticas, perdeu progressivamente o interesse econômico como matéria prima têxtil.

V.1.2. FIOS E FIBRAS ARTIFICIAIS

O setor de fios e fibras artificiais compreende os produtos obtidos a partir de transformação físico-químico de elementos naturais. Deste grupo fazem parte o rayon acetato, o triacetato de celulose, o algodão acetilado e cianoacetilado, o rayon viscose e a celulose cuproamoniaca.

A idéia de fabricação de tais produtos, ainda que seu aproveitamento comercial seja do início deste século, teve seus fundamentos muito antes, no século XVII, exatamente em 1664, quando Robert Hooke se propôs a fabricar um produto que possuísse qualidades similares às da seda natural. No entanto, somente em 1855, por descoberta de Schonbein, foi patenteado o primeiro processo de obtenção de fios e fibras artificiais baseado no tratamento da nitrocelulose.

Alguns anos após por volta de 1885, Joseph Swan exibiu em Londres tecidos fabricados com fios artificiais, sendo que por volta de 1895, sob regime de produção restrita, já se difundia o seu consumo.

Do grupo de produtos artificiais ainda em fase de produção - os processos de viscose, acetato e cuproamoniaca mostraram-se economicamente mais eficientes que o da nitrocelulose, razão pela qual, a partir da Segunda Guerra Mundial, o último foi abandonado - a celulose cuproamoniaca foi a primeira a ser obtida, datando o seu processo de fabricação

de 1890. Dois anos mais tarde, em 1892, a viscosa foi descoberta e em 1894, foi homologada a primeira patente de acetato de celulose; os demais produtos são mais recentes. Tais são os casos do triacetato, que teve sua fiação iniciada em 1950 pela Courtaulds, e os algodões modificados, que os japoneses aperfeiçoaram há poucos anos atrás.

O lançamento comercial dos fios e fibras artificiais, teve início em 1910 com a viscosa, seguindo-se a nitrocelulose em 1920 e o acetato em 1924. Em 1926, já com a produção melhor dimensionada, conquistaram parcialmente o mercado, até então de domínio exclusivo da seda natural.

V.1.3. FIOS E FIBRAS SINTÉTICAS

O setor de fios e fibras sintéticas compreende certa categoria de materiais obtidos em laboratório, a partir da síntese de produtos não encontrados na natureza.

Deste grupo de produtos, fazem parte as chamadas poliamídicas, poliestéricas, poliacrílicas (vulgarmente conhecidas por acrílicas) e as poliolefinicas.

O subgrupo das poliamídicas compreende as diversas formas de apresentação do nylon, conhecidas como tipo 6, 6.6, 6.10, e 11 entre outras; o das poliestéricas engloba os tereftalatos de polietileno; o das poliacrílicas compreende as diversas formas dos sais de acrilonitrila; e ,

finalmente, o das poliolefinicas agrupa o polietileno e o polipropileno.

Das fibras sintéticas, o nylon foi o primeiro a ser obtido. Sintetizado preliminarmente no início da década de 30, por Wallace H. Carother, nos laboratórios da Du Pont Neumours, EUA, somente foi lançado no mercado cerca de oito anos após sua descoberta. Primeiramente, surgiu sob a forma de fibra para escovas de dentes (1938) e logo após, como filamento para indústria de meias de senhoras (1939). Em 1941, foi oferecido às indústrias sob a forma de resina-pó para moldagem.

O poliéster, como o nylon, teve origem na década de 30. Foi descoberto também por Wallace H. Carother, sendo posteriormente aperfeiçoado por Whinfield & Dickson, até chegar às suas características atuais.

Com a entrada dos E.U.A na Segunda Guerra Mundial teve o nylon a sua produção controlada e, logo após, totalmente requisitada exclusivamente para aplicações militares. O poliéster, por sua vez, teve aplicação industrial retardada em relação ao nylon, só sendo lançado no mercado em princípios da década de 50.

Durante o conflito mundial, o nylon passou por uma série de modificações estruturais, aparecendo ora sob a forma de filamento (fio) ora sob a de pó para moldagem.

Assim, surgiu nos E.U.A o produto original

que foi desenvolvido inicialmente, como fibra textil e posteriormente, como p \tilde{o} para moldagem (nylon 6.6); na Alemanha apareceu durante a Segunda Guerra um outro tipo de nylon com aplica \tilde{c} oes t \tilde{e} xteis (nylon 6); finalmente, na Fran \tilde{c} a un novo tipo com aplica \tilde{c} oes semelhantes aos primeiros (nylon 11).

Do grupo das poleolef \tilde{n} icas, o polietileno foi o primeiro a ser descoberto, sintetizado em 1933 pela Imperial Chemical Industries da Inglaterra. Inicialmente aperfei \tilde{c} oado sob baixa densidade (alta press \tilde{a} o), passou o produto por uma s \tilde{e} rie de transforma \tilde{c} oes at \tilde{e} ao desenvolvimento das chamadas "fibras planas", caracter \tilde{f} stica do produto de alta densidade (baixo press \tilde{a} o). Sob esta \tilde{u} ltima forma, foi introduzida no mercado de embalagens a partir do in \tilde{f} cio da d \tilde{e} cada de 60 como mat \tilde{e} ria prima para confec \tilde{c} ao de tecidos de alta resist \tilde{e} ncia (sacaria).

O polipropileno teve fabrica \tilde{c} ao desenvolvida em 1957 pela firma Montecatini na It \tilde{a} lia e, posteriormente, pela Avisun nos E.U.A.

A acrilonitrila, mat \tilde{e} ria prima para obten \tilde{c} ao das fibras poliacr \tilde{f} licas, foi sintetizada pela primeira vez em 1938, pelo franc \tilde{e} s Maureau, tendo produ \tilde{c} ao comercial somente na d \tilde{e} cada de 30, pela Badische Anilon Und Soda Fabrik.

Em 1931 foi sintetizada a primeira fibra poliacr \tilde{f} lica nos laborat \tilde{o} rios da I.G. Farben por H.Rein. Entretanto, somente em 1944 a Du Pont Nemours anunciou o in \tilde{f} cio

de sua produção em escala comercial, o que foi concretizado em 1950.

As demais fibras sintéticas como o azlon, saran, spandex, nitril, vinal, vinyon, TFE e lycra foram aperfeiçoadas a partir de 1940, sendo algumas como TFE (1955), nitril (1956), spandex (1959) e vinal (1962) de aplicação recente, e outras de utilização limitada, como o azlon (1940/47).

V.2. APLICAÇÕES TÊXTEIS E INDUSTRIAIS DOS FIOS E FIBRAS

V.2.1. FIBRAS NATURAIS MOLES

O algodão pode ser aplicado isolado ou combinado com outros tipos de fibras. Utilizado isoladamente, tem aplicação na fabricação de cordoalhas, tecido para confecção de brim, etc. Usado combinado, aparece na mistura com o poliéster para produzir o tergal, e na mistura com fibra acrílica. Dâs fibras naturais moles é a mais consumida.

O rami tem uso na fabricação de tecidos de alta resistência. No clima brasileiro, o tecido de rami pode encontrar grande aceitação, já sendo de uso corrente os tecidos de rami mesclados com fios sintéticos, os quais por sua vez atenuam os efeitos da ligeira aspereza do rami. Recentemente o rami tem sido aprimorado para a confecção de malharias finas em mistura com rayon, dralon (fibra acrílica) e outras fibras sintéticas, muito embora no Brasil isto não seja possível. É usado para confecção de cortinas, toalhas de mesa, sacaria e cordoaria. A celulose obtida do rami é usada na fa

bricação de papel-moeda, devido principalmente à sua resistência. Usado (não no Brasil) na proporção de 10% com matérias plásticas, serve à fabricação de carroçarias de automóveis (carter), sendo muito resistentes ao choque. Substitui a seda na fabricação de para-quedas. Atualmente, o mercado brasileiro já conhece a mistura poliéster/rami.

Quanto a lã, sua aplicação depende de sua origem animal. A lã da lhama pode ser usada na fabricação de chapéus, cobertores, mantas e tecidos ordinários. A lã da alpaca é usada na mistura com outras lãs, servindo assim na confecção de artigos finos que têm o aspecto de pelúcias aveludadas e macias. A lã da vicunha é finíssima e com ela pode-se fabricar artigos de luxo similares a peles de animais, e mesclada aos pelos de coelhos e lebres serve à confecção de chapéus de alto valor. A lã aparece também nas misturas com fibras sintéticas tais como: poliéster/lã, acrílico/lã e poliéster/acrílico/lã.

O linho tem aplicação essencialmente têxtil. No Brasil, as misturas das fibras sintéticas com linho ainda não são muito conhecidas. O potencial de consumo do linho no País, atualmente é diminuto, e portanto, o consumidor nacional desconhece, na sua maioria, um artigo realizado a partir do linho e de um produto sintético. Contudo, podemos citar como mistas os tecidos de poliéster/linho (67/33% para tecelagem) e acrílico/linho (com as proporções de 67/33% e 85/15% para malharia).

Quanto a seda, inicialmente de largo uso na

confeção de tecidos finos, prossegue na sua aplicação têxtil somente atendendo pequena faixa de mercado, de alta sofisticação e elevado índice de renda. Houve tempo em as gravatas confeccionadas de seda predominavam no mercado. Usualmente, não se produz mistas de seda com outras fibras. Já se foi o tempo em que se usava seda pura na fabricação de cetim ou tecido para utilização em guardas-chuva. Hoje, usa-se rayon acetato beneficiado para substituir a seda.

V.2.2. FIOS E FIBRAS ARTIFICIAIS

O rayon acetato, pelas suas qualidades é normalmente empregado como substituto da seda natural, oferecendo condições similares tanto no aspecto visual, quanto no toque. É empregado na fabricação de mechas para filtro de cigarros e tecido para gravatas.

O triacetato de celulose tem larga aplicação no setor de tecelagem pela sua facilidade de mistura com as fibras naturais (lã, principalmente).

O viscose (ou rayon-viscose) possui as reações características do algodão. Os mesmos corantes utilizados na tintura do algodão são também utilizados no tingimento da viscose, daí a sua aplicação na indústria têxtil, ora como substituto ora como complemento do produto natural. Restrições de sua aplicação são feitas quando em condições de umidade que reduzem consideravelmente a sua resistência. Por outro lado, o fio de viscose tem também aplicação como fio industrial

(fio pneu), embora esteja sendo substituído pelo fio poliamídico.

O algodão acetilado, o algodão cianoetilado e a celulose cuproamoniaca são produtos artificiais sem muita importância para este trabalho e suas aplicações são, portanto, omitidas.

V.2.3. FIOS E FIBRAS SINTÉTICAS

Os poliésteres são usualmente aplicados de forma isolada ou combinada em substituição ao nylon, ao polipropileno e demais fibras naturais, artificiais e/ou sintéticas largamente utilizadas na confecção de tecidos metalizados. Como exemplo da flexibilidade de adaptação da fibra de poliéster ao meio ambiente, cita-se a exemplo da estrutura externa do satélite artificial PAGEOS dos Estados Unidos, totalmente construída de Mylar uma película de poliéster revestida com alumínio vaporizado. Atualmente o mercado brasileiro já conhece misturas tais como: poliéster/algodão, poliéster/lã, poliéster/linho, poliéster/rami, poliéster/viscose e poliéster/acrílico/lã. Até o presente momento, a mistura das fibras poliéster/algodão (tergal), predomina no mercado nacional, principalmente para artigos de camisaria e vestimenta feminina. Em todas as misturas citadas a porcentagem dos componentes é de 67% para o poliéster e 33% para as outras fibras da mistura.

As poliamídicas, atualmente, devido às suas características físico-químicas (alta resistência aos princi-

país agentes naturais e artificiais) são empregadas na produção de tecidos que são usados quando são exigidas condições rígidas de trabalho. Tal é exemplificado com a utilização de roupagens de nylon para as tripulações de naves espaciais, nos programas dos grandes centros de desenvolvimento da ciência astronáutica. Na indústria têxtil, a aplicação do nylon se faz na confecção de malhas, sendo também utilizadas para tecidos como filô, telas e cortinas. Outra aplicação do nylon, está na indústria de pneus para proporcionar maior resistência a estes; anteriormente era utilizado o fio de viscose para o mesmo fim, tendo havido substituição pelos fios poliamídicos. Devido às condições de trabalho, as poliamídicas não são usadas combinadas com algodão, embora como fios, sejam utilizados na indústria de malharia combinadas com acrílicas e elastoméricas.

As fibras poliacrílicas (comumente conhecidas por acrílicas), são usadas como fio retorcido, na fabricação de suéteres (malha), jersey e roupas internas. Quando misturadas com a lã juntamente com poliéster, somente com lã ou rayon viscose melhoram as propriedades dessas fibras, sendo utilizadas na confecção de tecidos mistos para roupas de homens e senhoras. Por fim, a resistência que apresentam aos produtos químicos e agentes físicos convencionais, as indicam para a fabricação de tecidos para tendas, toldos, cortinas, tapetes e materiais para uso industrial. Do grupo das poliacrílicas fazem parte diversos compostos que, embora não apresentam diferenciações profundas quanto às suas propriedades, são classificadas segundo as marcas internacionais. Assim sendo, as fibras poliacrílicas são conhecidas como: Orlon (Du Pont) ;

Acrilan (Chemstrand); Dralon (Bayer); Courtelle (Coutaulds Ltd); Vonnel (Mitsubish); Cashmilon (Asahi); Acribel (Fabelta), etc..

As fibras poliolefínicas, pelas suas qualidades, vêm sendo utilizadas na indústria de embalagens, substituindo com vantagens as fibras tradicionais pela pequena perda de matéria prima no processo produtivo, diminuindo deste modo a quantidade de resíduos. Sob a forma de fibra ou fio, as poliolefínicas são empregadas na indústria têxtil (sacaria). As poliolefínicas não estão incluídas na aplicação dos modelos de substituição do próximo capítulo. Até o momento, encontrando-se o parque produtor de fios e fibras poliolefínicas em fase de instalação e expansão, o efeito-substituição não pode ser encarado como fator de peso na análise da situação a curto prazo, mormente quando levadas em conta as limitações de suprimento de matéria prima, impostas pela estagnação e desaceleração do programa de instalação de unidades produtoras de polipropileno, inicialmente localizado na Bahia (Polo Petroquímico do Nordeste).

APLICAÇÃO DOS MODELOS BÁSICOS
DE SUBSTITUIÇÃO AO SETOR DE
FIOS E FIBRAS TÊXTEIS NO BRASIL

- VI.1. Histórico da substituição dos fios e fibras têxteis
- VI.2. Dados utilizados
- VI.3. Fios e fibras sintéticas substituindo artificiais e naturais moles
- VI.4. Fios e fibras poliéstericas substituindo poliamídicas e acrílicas.

Inovações tecnológicas que podem atender a mesma finalidade em termos de aplicação, em consequência disso podem também originar substituições de mercados. Este fato é bastante evidente no mercado de fios e fibras têxteis, onde os produtos sintéticos possuem um grau substitutivo acentuado sobre os produtos artificiais e naturais. O fenômeno da substituição também se faz presente no agrupamento dos produtos sintéticos, no qual o poliéster concorre e ganha mercado do nylon e das fibras acrílicas. Neste capítulo serão examinados estes casos-substituição verificando-se a evolução provável do consumo aparente dos fios e fibras sintéticas, particularmente o poliéster, como elemento mais importante do grupo. O procedimento das ramificações, exposto no capítulo IV, será aplicado para adaptar a curva de Blackman, equação (III-9), à influência exógena "crise do petróleo" que a partir do final do ano de 1973 desacelerou o crescimento do consumo dos produtos sintéticos.

Os resultados obtidos serão comparados com aqueles apresentados pela RHODIA (ver [33]), pela Fundação IPEA - Instituto de Planejamento Econômico e Social (ver [31]) e dados de 1975 e 1976 da Associação Brasileira dos Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas.

VI.1. HISTÓRICO DA SUBSTITUIÇÃO DOS FIOS E FIBRAS TÊXTEIS

Até o final da década de 20, os produtos naturais moles tinham participação predominante no mercado bra

sileiro de fios e fibras têxteis, quando então, a partir desta época teve início no Brasil o desenvolvimento dos fios e fibras artificiais que desde o ano de 1910 já haviam sido lançadas comercialmente no exterior. A partir do final desta década até o final da Segunda Guerra Mundial, os fios e fibras artificiais tiveram papel de destaque na confecção de tecidos especiais. Durante a guerra, devido à dificuldade de importação de determinadas matérias primas, os produtos artificiais tiveram na retração da sua oferta um obstáculo à difusão do consumo. Passado o período da guerra, embora com produção controlada, teve início nova fase de expansão do mercado dos produtos artificiais. Contudo, a partir de 1955, com a dinamização do setor de produtos sintéticos, a oferta de fios e fibras artificiais manteve-se em crescimento moderado e acompanhando de certa forma a demanda interna.

Restrito de início à produção de fios poliamídicos - 1955 foi o ano em que se começou a produzir nylon no Brasil - o complexo brasileiro teve expansão exclusivamente baseada nos reflexos da substituição de algumas fibras naturais e/ou artificiais, pelos produtos sintéticos, na confecção de tecidos especiais.

Com o lançamento das fibras acrílicas importadas (1958) - a produção brasileira só começou em 1968 - e posteriormente com o início da produção das fibras poliéstericas no País em 1962, os fios poliamídicos perderam boa parcela de estímulo à expansão. A incapacidade de mistura dos fios poliamídicos com produtos naturais - e neste ponto as fi

bras poliestêricas são bastante versáteis - e seu alto índice de impermeabilidade e resistência à tração como material isolado dificultaram, em parte, a expansão de seu mercado. A indústria de confecção limitou sua aplicação à lingerie e às meias, deixando de produzir outros produtos, dada a sua alta capacidade de gerar (pelo atrito) e reter calor; por exemplo, deixaram o mercado as camisas sociais confeccionadas com fio poliamídico puro (tipo Volta ao Mundo). Todavia, em virtude do aperfeiçoamento tecnológico proporcionado ao setor de texturização de fios poliamídicos e a consequente expansão do parque de malharia possibilitou, de certa forma, o uso do nylon, acabando por incluí-lo entre os produtos de maior taxa de crescimento da oferta nos últimos anos.

VI.2. DADOS UTILIZADOS

Os dados de consumo aparente de insumos têxteis no Brasil, no período 1960/1974, separados por suas categorias (naturais moles, artificiais e sintéticas) estão apresentados no quadro (VI.1). Os dados de consumo aparente dos insumos-produtos sintéticos separados pelas diferentes categorias (poliacrílicas, poliamídicas e poliestêricas) com exceção das poliolefínicas e outros insumos têxteis de menor importância, no período 1960/1974 estão apresentados no quadro (VI.2).

QUADRO (VI.1)Consumo Aparente de Fibras Têxteis
no Brasil - 1960/1974

1000 ton.

ANO	NATURAIS MOLES	ARTIFICIAIS	SINTÉTICAS	TOTAL
1960	278,5	40,7	4,9	324,1
1961	295,7	42,2	6,1	344,0
1962	308,9	41,8	10,0	360,7
1963	295,1	39,1	11,2	345,4
1964	285,7	40,8	12,8	339,3
1965	288,8	38,3	15,7	342,8
1966	284,1	45,9	21,5	351,5
1967	293,2	45,7	30,8	369,7
1968	313,4	55,2	34,6	403,2
1969	320,1	45,7	39,8	405,6
1970	328,2	49,1	61,9	439,2
1971	338,3	55,0	72,4	465,7
1972	366,0	54,6	102,4	523,0
1973	423,0	59,9	125,5	608,4
1974	450,0	59,6	145,0	654,6

Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas, sendo que na coluna ARTIFICIAIS, não estão incluídas mechas para filtros de cigarros. Os dados relativos a fibras naturais foram fornecidos pelo Sindicato de Fiação e Tecelagem do Estado de São Paulo.

QUADRO (VI.2)

Consumo Aparente de Fibras Sintéticas
 Excetuando as Poliolefnicas e outras (*)
 Brasil - 1960/1974

				toneladas
ANO	POLIAMÍDICAS	POLIACRÍLICAS	POLIESTÉRICAS	TOTAL
1960	4700	100	64	4864
1961	5800	200	143	6143
1962	8484	200	1346	10030
1963	9236	300	1696	11232
1964	9970	200	2676	12846
1965	11800	200	3741	15741
1966	14597	762	6214	21573
1967	18569	4004	8220	30803
1968	20300	4225	10102	34627
1969	22055	4214	13535	39804
1970	30663	8725	22513	61901
1971	30199	10741	30803	71735
1972	39100	14727	48557	102384
1973	46102	15306	62945	125353
1974	54291	18538	72005	144834

Fonte: Dados de 1960/1969 - CDI

Dados de 1970/1974 - Associação Brasileira de Produtores de
 Fibras Artificiais e Sintéticas

(*) Outras - Azlon, Elastoméricas, Saran, TFE e Vinílicas.

VI.3. FIOS E FIBRAS SINTÉTICAS SUBSTITUINDO ARTIFICIAIS E NATURAIS MOLES

O crescimento do consumo aparente dos fios e fibras sintéticas dá-se principalmente por substituição dos produtos artificiais e naturais moles, e não por aumento do consumo total dos fios e fibras. Tal tendência de parcial substituição pelas fibras sintéticas existe, em parte, pelo fato do setor de fibras naturais não ser tão dinâmico como o das fibras sintéticas no que se refere à aceleração do processo tecnológico. Este fato nos leva ao estudo sucinto deste caso-substituição que, implicitamente, engloba casos como fios e fibras poliestéricas e acrílicas substituindo uma parcela da matéria-prima natural mole; como a lã que pouco a pouco vai deixando o mercado nacional substituída por produtos de concepção mais moderna, tais como as malhas sintéticas e as mesclas; como a seda, de elevado custo, e diretamente atingida pela implantação no País, do nylon, substituto do produto natural em sua quase totalidade; e também a perda de mercado das artificiais, como no caso em que os fios de viscose são substituídos pelos componentes sintéticos (nylon e poliéster), principalmente o nylon, na produção e consumo de fio industrial (fio-pneu).

O aumento da produção de fibras sintéticas em nosso País não tem causado uma redução na produção do algodão, ao contrário, estimulou a produção, principalmente do algodão de melhor qualidade, necessário na mistura íntima das fibras sintéticas (exceto nylon) com o produto natural. Uma diminuição na produção do algodão (se houver) deve ser decorrente do encarecimento da terra e da mão-de-obra, o que incentiva os agricul

tores a plantarem outras colheitas, ou decorrente de condições atmosféricas desfavoráveis à lavoura.

As substituições mencionadas devem ser suficientes para justificar a focalização deste caso-substituição que passamos a ver agora. Começamos com o quadro (VI.3) que nos mostra o percentual dos produtos sintéticos em relação ao agregado dos materiais têxteis (naturais, artificiais e sintéticos), no Brasil, no período 1960/1974. Na figura (VI.1) vemos o gráfico dos valores do quadro (VI.3).

QUADRO (VI.3)

Participação Relativa dos Produtos Sintéticos
no Agregado das Fibras Têxteis
Brasil - 1960/1974

	porcentagem	
ANO	VALOR	OBSERVADO
1960	1,5	
1961	1,8	
1962	2,8	
1963	3,2	
1964	3,8	
1965	4,6	
1966	6,1	
1967	8,3	
1968	8,5	
1969	9,8	
1970	14,1	
1971	15,6	
1972	19,6	
1973	20,6	
1974	22,1	

Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Fibras
Artificiais e Sintéticas.

Fração do Mercado dos Fios e Fibras Sintéticas substituindo naturais moles e artificiais
(porcentagem)

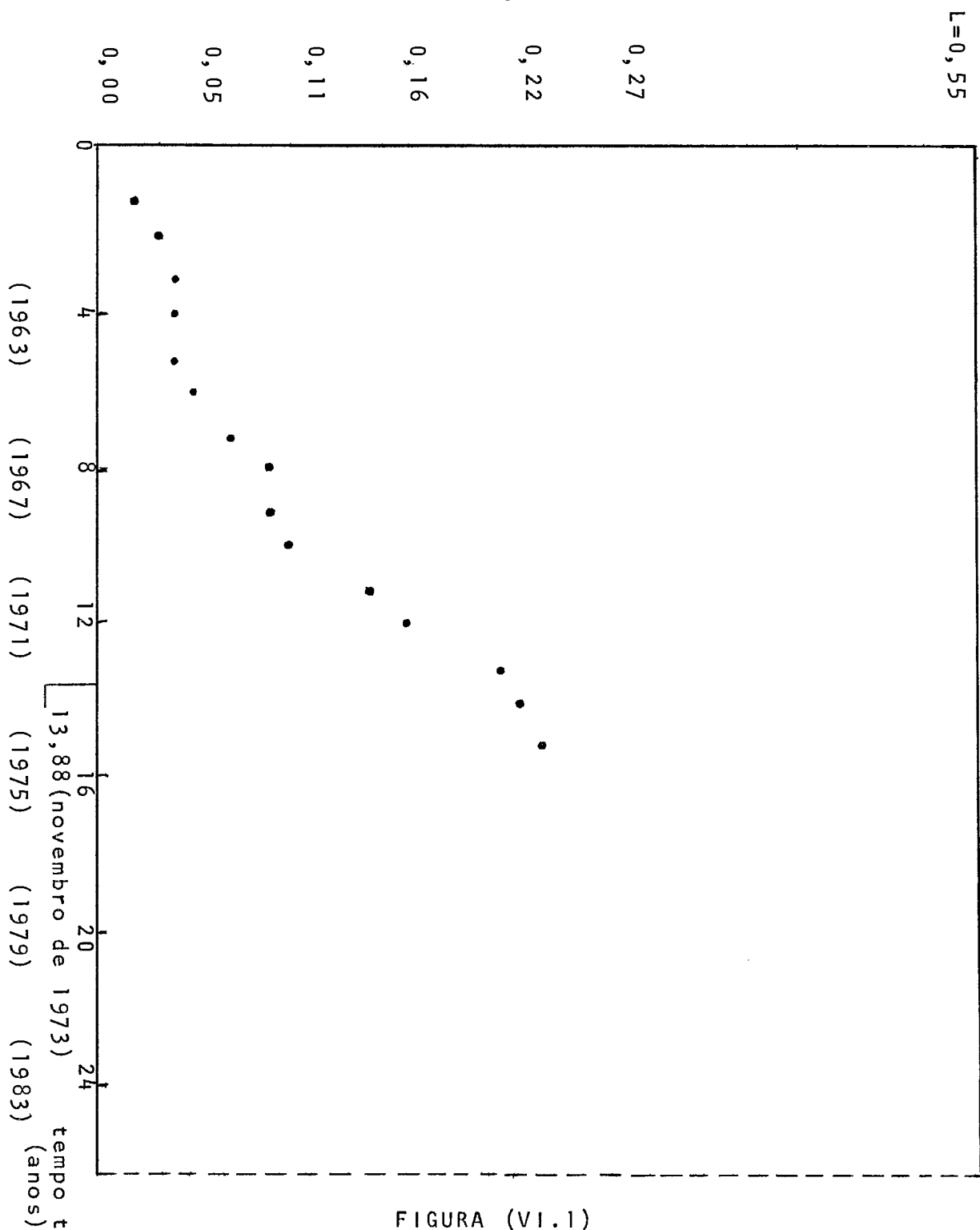


FIGURA (VI.1)

Diagrama dos Valores observados da participação relativa dos Fios e Fibras Sintéticas no Agregado de Fios e Fibras Têxteis - Brasil - 1960/1974

Na tentativa de se obter um intervalo útil para o limite L, utilizamos os critérios de R - quadrado (qualidade de ajustamento - R^2) e a estatística de Durbin - Watson (teste de autocorrelação nos resíduos - DW), variando-se o limite desde 30% (o último valor da série é 22,1%) até 100% que corresponde ao ganho total do mercado por parte dos produtos sintéticos. São consideradas 15 observações (1960/1974), uma variável regressora (tempo) e o nível de significância do teste DW é arbitrado igual a 0,05, correspondendo a probabilidade de rejeitar a hipótese da não existência de autocorrelação nos resíduos sendo esta hipótese verdadeira. Assim, temos o limite inferior (D_L) do intervalo de DW igual a 1.08 e o limite superior (D_U) sendo 1,36.

Utilizando-se as observações do quadro (VI.3) para regressão linear da variável artificial $Y(t)$ dos modelos de Blackman³, Floyd¹¹ e Chow⁸ sobre a variável t (tempo), encontramos os valores indicativos apresentados respectivamente nos quadros (VI.4), (VI.5) e (VI.6) referentes à qualidade dos ajustamentos e autocorrelação nos resíduos de acordo com o valor usado para o limite nas equações de Blackman, Floyd e Chow.

QUADRO (VI.4)

Qualidades dos Ajustamentos e Índices
de Autocorrelação nos Resíduos, segundo
Modelo de Blackman

L	R ²	DW
0,30	0,98969	1,52237
0,35	0,99235	2,01369
0,40	0,99279	2,14327
0,45	0,99260	2,10430
0,50	0,99222	2,01714
0,55	0,99179	1,92633
0,60	0,99137	1,84478
0,65	0,99097	1,77476
0,70	0,99061	1,71537
0,80	0,98998	1,62199
0,85	0,98970	1,58506
0,90	0,98945	1,55308
0,95	0,98923	1,52518
1,00	0,98902	1,50067

QUADRO (VI.5)

Qualidade dos Ajustamentos e Índice de Autocorrelação nos Resíduos, segundo Modelo de Floyd.

L	R ²	DW
0,30	0,93824	0,44587
0,35	0,96971	0,95968
0,40	0,98185	0,96271
0,45	0,98740	1,30329
0,50	0,99015	1,61862
0,55	0,99156	1,86143
0,60	0,99226	2,01727
0,65	0,99257	2,09755
0,70	0,99266	2,12341
0,75	0,99261	2,11470
0,80	0,99249	2,08613
0,85	0,99233	2,04739
0,90	0,99214	2,00440
0,95	0,99193	1,96062
1,00	0,99173	1,91796

QUADRO (VI.6)

Qualidade dos Ajustamentos e Índice de Autocorrelação nos Resíduos, se gundo Modelo de Chow.

L	R ²	DW
0,30	0,95359	0,50773
0,35	0,96724	0,63576
0,40	0,97430	0,75726
0,45	0,97858	0,86987
0,50	0,98141	0,97302
0,55	0,98341	1,06684
0,60	0,98488	1,15082
0,65	0,98601	1,22861
0,70	0,98689	1,29792
0,75	0,98760	1,36047
0,80	0,98818	1,41694
0,85	0,98865	1,46796
0,90	0,98905	1,51411
0,95	0,98939	1,55591
1,00	0,98968	1,59392

Segundo o modelo de Blackman qualquer limite L a partir de 40% nos fornece coeficiente DW satisfatório, sendo que o limite de 50% é aquele que apresenta melhor DW (é o mais próximo do valor 2). Observa-se também que a medida em que o limite L cresce, o ajustamento medido pelo R^2 decresce. Para toda a faixa de limite L aceita pela estatística de DW obtemos um bom ajustamento ($R^2 > 0,98$). Portanto torna-se difícil determinar um intervalo para o limite L, útil na prática, pelo modelo de Blackman.

Conforme o modelo de Floyd, somente depois do limite de 50% obtemos estatística DW coerentes com o nível de significância escolhido (0,05). Neste caso o melhor DW é encontrado para L igual a 90% (um limite superior inaceitável na prática). Com relação aos ajustamentos podemos afirmar que toda a faixa escolhida fornece bons ajustes ($R^2 > 0,98$). Neste caso também fica muito difícil a escolha de um intervalo para L útil na prática.

De acordo com o modelo de Chow, somente a partir do limite de 75%, encontramos coeficientes DW que são aprovados no teste de autocorrelação nos resíduos. Neste caso também não obtemos um limite que possa ser considerado útil na prática. Quanto aos ajustamentos verificamos que todos os limites escolhidos fornecem bons ajustes ($R^2 > 0,97$). O modelo de Chow, neste caso-substituição parece menos adequado que os modelos de Floyd e Blackman pois os valores de DW são mais baixos em relação a estes dois modelos.

Conclusão, todos os três modelos nos forneceram um excelente ajuste aos dados. A escolha de um limite superior torna-se muito difícil se esta for feita através dos resultados obtidos nos quadros (VI.5), (VI.6) e (VI.7) haja vista a grande faixa de limites superiores para quais a estatística de DW é razoável. Aqui entra a necessidade da utilização de conhecimentos práticos da pessoa interessada num modelo de substituição, para a definição de um intervalo de valores para L, que possa ser considerado viável. Deste modo, levando-se em consideração o fato que, segundo a RHODIA, o limite de penetração dos fios e fibras sintéticas em relação ao mercado total dos fios e fibras têxteis deve-se situar em torno de 50% a 60% a ser atingido por volta de 1990/95 e as estimativas de participação no mercado para os anos de 1976 e 1981 tanto pela RHODIA como pelo IPEA são próximas, assumiremos para efeito de ajuste e projeção o limite de 55% nas equações de Blackman, Floyd e Chow. Este limite parece razoável, considerando-se a importância do poliéster como elemento mais importante do grupo, a força do algodão no grupo das naturais e a participação no mercado dos fios e fibras artificiais.

Nos quadros (VI.7), (VI.8) e (VI.9) estão, além dos parâmetros para o limite de 55%, os valores correspondentes para os limites de 50% e 60% para aqueles que os desejarem, segundo Blackman, Floyd e Chow, respectivamente.

QUADRO (VI.7)

Parâmetros para o Modelo de Blackman
segundo Limites Úteis

L	ϕ	γ
0,50	0,23794	-3,66331
0,55	0,23321	-3,74533
0,60	0,22947	-3,82220

QUADRO (VI.8)

Parâmetros para o Modelo de Floyd
segundo Limites Úteis

L	ϕ	γ
0,50	0,29172	-2,81688
0,55	0,27911	-2,87191
0,60	0,26951	-2,92940

QUADRO (VI.9)

Parâmetros para o Modelo de Chow
segundo Limites Óteis

L	-K	$\ln \beta$
0,50	-0,10805	1,44646
0,55	-0,10205	1,45599
0,60	-0,09718	1,46629

Suponhamos $L \approx 0,55$. A equação de Blackman
será então

$$\ln \left\{ \frac{f(t)}{0,55-f(t)} \right\} = 0,23321 t - 3,74533, \quad (\text{VI.1})$$

e o TPS será igual a 19 anos. Os ajustes e previsões por es
ta equação são vistos no quadro (VI.10) para o período de 1970/
1976, 1980 e 1981 por serem os anos em que podemos comparar com
os resultados de trabalhos já citados.

QUADRO (VI.10)

Participação Relativa dos Elementos
Sintéticos no Conjunto dos Elementos
Têxteis - Modelo de Blackman 1970/1976
e 1980 e 1981

ANO	AJUSTE (*) OU PREVISÃO	percentagem
1970	12,9	
1971	15,4	
1972	18,1	
1973	21,0	
1974	24,1	
1975	27,3	
1976	30,5	
1980	41,8	
1981	44,0	

(*) O período 1970/1974 corresponde a ajustes pela equação
(VI.1) de Blackman

Com a crise do petróleo iniciada no final de 1973, os fios e fibras sintéticas tiveram o crescimento de seu consumo retardado. Isto então, nos leva a experimentarmos o modelo de Floyd. Este, quando aplicado aos dados do quadro (VI.3) apresenta a equação.

$$\frac{0,55}{0,55-f(t)} + \ln \left\{ \frac{f(t)}{0,55-f(t)} \right\} = 0,27911 t - 2,87191, \quad (\text{VI.2})$$

cujo tempo de predomínio da substituição é de 48 anos.

Utilizando-se a equação (VI.2) obtemos os seguintes resultados mostrados no quadro (VI.11).

QUADRO (VI.11)

Participação Relativa dos Elementos
Sintéticos no Conjunto dos Elementos
Têxteis - Modelo de Floyd 1970/1976,
1980 e 1981

ANO	AJUSTE (*) OU PREVISÃO	percentagem
1970	13,5	
1971	15,7	
1972	17,9	
1973	20,2	
1974	22,4	
1975	24,6	
1976	26,9	
1980	33,4	
1981	34,8	

(*) O período de 1970/74 corresponde a ajustes.

Ajustando-se o modelo de Chow aos dados da série do quadro (VI.3) obtemos para o limite de 55% a seguinte equação:

$$\ln \left\{ \ln \left(\frac{0,55}{f(t)} \right) \right\} = - 0,10205 t + 1,45599 \quad (\text{VI.3})$$

que dá um TPS de 30 anos. O quadro (VI.12) mostra os ajustes e previsões para a participação relativa dos elementos sintéticos no conjunto dos insumos têxteis dadas pela equação (VI.3) de Chow.

QUADRO (VI.12)

Participação Relativa dos Elementos
Sintéticos no Conjunto dos Elementos
têxteis - Modelo de Chow 1970/1976,
1980 e 1981

ANO	porcentagem AJUSTE (*) OU PREVISÃO
1970	13,6
1971	15,6
1972	17,6
1973	19,7
1974	21,7
1975	23,8
1976	25,8
1980	33,3
1981	34,9

(*) Os valores para o período de 1970/74 correspondem a ajustes pela equação (VI.3) de Chow.

Na projeção apresentada no quadro (VI.20) feita pelo modelo de Blackman, não foi levado em conta a preponderância de nenhum fator exógeno. Portanto, esta projeção é incerta devido à desaceleração da taxa de crescimento do consumo aparente dos fios e fibras sintéticas imposta pela crise do petróleo iniciada no final de 1973. Devemos então, lançar mão do procedimento que adapta um modelo de substituição ao fator exógeno "crise do petróleo" e que descreva mais aproximadamente a série de dados do quadro (VI.3). Portanto, aplicando-se agora o procedimento das ramificações explicado no capítulo IV teremos uma equação de Blackman adaptada à situação real. As ramificações partem, para este caso-substituição, do valor observado que corresponde ao ano de 1972 (aqui, 1973 já é considerado um ano afetado) e porção de mercado igual a 19,6%. A ramificação a ser usada para projeção da porção de mercado dos fios e fibras sintéticas é escolhida segundo o critério de minimizar a soma dos quadrados dos resíduos das duas últimas observações (1973 e 1974). O quadro (VI.13) fornece os parâmetros para quatro ramificações construídas a partir do ponto de quebra ($t=13$, $f(t) = 0,196$), sendo o limite L de 55% e o coeficiente angular ϕ de Blackman sendo igual ao da equação (VI.1), ou seja, ϕ igual a 0,23794.

QUADRO (VI.13)

Parâmetros das Ramificações

$$L = 0,55 \quad - \quad \phi = 2,23794$$

α	$\alpha\phi$	q
0,6	0,13993	-2,41027
0,5	0,11661	-2,10711
0,4	0,09328	-1,80382
0,3	0,06996	-1,50066

No quadro (VI.14) abaixo, estão os ajustes e projeções para as quatro ramificações somente para efeito de comparação dos resultados.

QUADRO (VI.14)

Ajustes (*) e Projeções das
Ramificações de Blackman

ANO	0,6 ϕ	0,5 ϕ	0,4 ϕ	0,3 ϕ
1973	21,4	21,1	20,8	20,5
1974	23,3	22,6	22,0	21,4
1975	25,1	24,2	23,3	22,3
1976	27,1	25,8	24,5	23,3
1981	36,4	33,7	30,9	28,0

(*) Os anos de 1973 e 1974 correspondem a ajustes.

Agora, o que devemos fazer é escolher a melhor destas ramificações para efeito de previsão. O critério de escolha é o já mencionado, que minimize a soma dos quadrados dos resíduos das duas últimas observações (1973 e 1974) do quadro (VI.3). Isto é feito através do quadro (VI.15) abaixo.

QUADRO (VI.15)

Soma dos Quadrados dos Resíduos
1973 e 1974

α	$d_{73} (\times 10^{-3})$	$d_{74} (\times 10^{-3})$	$d_{73}^2 + d_{74}^2 (\times 10^{-6})$
0,6	8	12	208
0,5	5	5	50
0,4	2	-1	5
0,3	-1	-7	50

Observe-se então que a soma dos quadrados dos resíduos d_{73} e d_{74} corresponde à ramificação $0,4\phi$, onde ϕ é coeficiente angular da equação (VI.1) de Blackman. Portanto, as equações finais da curva adaptada serão:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ln \{ f(t) / (0,55 - f(t)) \} = 0,23321 t - 3,74533 \\ \text{para } t \leq 13 \text{ (1972) e,} \\ \\ \ln \{ f(t) / (0,55 - f(t)) \} = 0,09328 t - 1,80382 \\ \text{para } t > 13 \text{ (1972).} \end{array} \right. \quad (VI.4)$$

Estas equações prevêm o TPS sendo de 36 anos. O quadro (VI.16)

contêm os ajustes e as projeções pelas equações (VI.4) para o período de 1970/1981.

QUADRO (VI.16)

Participação Relativa dos Elementos
Sintéticos no Conjunto dos Elementos
Têxteis pelo Ramificação de Blackman

ANO	percentagem	
	AJUSTE (*)	OU PREVISÃO
1970	12,9	
1971	15,4	
1972	18,1	
1973	20,8	
1974	22,0	
1975	23,3	
1976	24,5	
1977	25,8	
1978	27,1	
1979	28,3	
1980	29,6	
1981	30,9	

(*) O período 1970/76 corresponde a valores ajustados.

Embora o modelo de Sharif-Kabir não seja usado neste trabalho para obtenção de uma curva em formato S levando em consideração a crise do petróleo, para efeito da verificação das variações em R^2 , DW, nos próprios parâmetros do modelo e no período de tempo em que a substituição predomina, o quadro (VI.17) é inserido aqui para este caso de substituição, em que se supõe o limite de saturação dos elementos sintéticos ser igual a 55% e o coeficiente σ variar desde zero (modelo de Blackman) até 1 (modelo de Floyd).

QUADRO (VI.17)

Qualidade de Ajustamento, Índice de Autocorrelação nos Resíduos, Parâmetros do Modelo e Tempo de Predomínio de Substituição Segundo Modelo Sharif-Kabir

$$L = 0,55$$

σ	R^2	DW	ϕ	γ	TPS (anos)
0,0	0,99179	1,92633	0,23321	-3,74533	18,9
0,1	0,99220	2,01262	0,23780	-3,65799	22,2
0,2	0,99249	2,07743	0,24239	-3,57064	25,5
0,3	0,99265	2,11826	0,24698	-3,48330	28,6
0,4	0,99272	2,13454	0,25157	-3,39596	31,6
0,5	0,99270	2,12755	0,25616	-3,30862	34,5
0,6	0,99261	2,10006	0,26075	-3,22128	37,3
0,7	0,99243	2,05576	0,26534	-3,13394	40,0
0,8	0,99220	1,99869	0,26993	-3,04660	42,6
0,9	0,99191	1,93276	0,27452	-2,95926	45,2
1,0	0,99156	1,86143	0,27911	-2,87191	47,6

Note-se então, no quadro anterior, que quando o coeficiente σ varia de zero a um, R^2 e DW crescem atingindo o máximo valor em $\sigma = 0,4$ (coincidentemente, neste caso, não necessariamente coincidirão para o mesmo σ) e depois decrescem, os parâmetros ϕ e γ de Sharif-Kabir aumentam e o TPS, como não poderia deixar de ser, também aumenta.

O quadro (VI.18) mostra a comparação dos resultados encontrados com os obtidos pelo IPEA e RHODIA. São mostrados os resultados pelos modelos de Blackman, Floyd, Chow e Ramificação de Blackman.

QUADRO (V.18)

Participação Relativa dos Fios e Fibras Sintéticas no Agregado Textil - Limite 55%

ANO	percentagem							
	CDI/ABPFAS (*)	IPEA	RHODIA	BLACKMAN	FLOYD	CHOW	RAMIF.	
1970	14,1	9,0 (**)	13,0	12,9	13,5	13,6	12,9	
1971	15,6	13,0	-	15,4	15,7	15,6	15,4	
1972	19,6	15,0	-	18,1	17,9	17,6	18,1	
1973	20,6	18,0	-	21,0	20,2	19,7	20,8	
1974	22,1	19,0	-	24,1	22,4	21,7	22,0	
1975	-	21,0	-	27,3	24,6	23,8	23,3	
1976	-	23,0	24,0	30,5	26,9	25,8	24,5	
1977	-	-	-	33,6	28,5	27,8	25,8	
1978	-	-	-	36,6	30,3	29,7	27,1	
1979	-	-	-	39,3	31,9	31,5	28,3	
1980	-	30,0	-	41,8	33,4	33,3	29,6	
1981	-	34,0	30,0	44,0	34,8	34,9	30,9	

(*) Os percentuais para o período 1970/1974 por CDI/ABPFAS são valores observados

(**) Percentual calculado a partir de valores observados

Como análise crítica dos resultados, com parando-os aos do IPEA e RHODIA, pode-se dizer que as estimativas pelo modelo de Blackman são bastante altas, pois, nesta aplicação não levamos em conta a crise do petróleo.

O modelo de Floyd, por ter uma taxa de crescimento mais lenta, é mais adequado à situação, apresenta previsões melhores que pela equação de Blackman e próxima ao valor do IPEA em 1981).

O modelo de Chow, apesar de apresentar autocorrelação nos resíduos ($DW = 1,06 < 1,08 = D_L$) fornece, no entanto, previsões próximas às de Floyd e por isso aceitáveis, já que o modelo de Floyd é caso particular do modelo Sharif-Kabir para $\sigma = 1$, que por sua vez é um modelo adequado (para um determinado σ) à situações como esta que envolve um fator exógeno preponderante sobre o curso da substituição.

Convém ressaltar, o fato que a RHODIA prevê a saturação de mercado entre 1990/1995, porém isto só é verificado pelo modelo de Blackman (54% por volta de 1992). Todos os outros prevêm a saturação além deste período.

A ramificação apresenta ajustes (1970/1974) bastante coerentes com os valores observados na série do CDI/ABPFAS, previsões praticamente de acordo com as da RHODIA, porém, menos próximas das do IPEA.

Enfim, fica a cargo da pessoa interessada

na projeção da porção de mercado dos fios e fibras sintéticas, escolher entre os modelos de Floyd, Chow e ramificação de Blackman, já que o modelo puro de Blackman não nos parece adequado.

No quadro (VI.19) está o confronto dos tempos de predomínio de substituição (TPS) previstos pelos modelos.

QUADRO (VI.19)

Tempo de Predomínio de Substituição Aproximado

Modelo	TPS	(anos)
Blackman	19	
Chow	30	
Ramificação	36	
Floyd	48	

VI.4. FIOS E FIBRAS POLIESTÉRICAS SUBSTITUINDO POLIAMÍDICAS E ACRÍLICAS

A repartição do consumo aparente de fios e fibras sintéticas entre os três grandes produtos - poliéster, nylon e acrílico - a partir de 1971 evoluiu favoravelmente ao poliéster. A maior versatilidade deste produto que abrange praticamente todos os usos do vestuário explicam sua progressão maior que as demais produtos sintéticos.

O quadro (VI.20) mostra a evolução do poliéster no mercado dos elementos sintéticos. Os anos de 1960 e 1965 correspondem à importação de poliéster e não estão incluídos no quadro por prejudicarem os ajustamentos dos modelos, mesmo porque a produção brasileira só começou em 1962.

Na figura (VI.2) temos o gráfico dos valores do quadro (VI.20) onde pode-se notar a queda no consumo em 1974 e 1975 e que o crescimento se faz mais rápido e de forma "S" mais imperfeita como na figura (VI.1) do caso anterior.

QUADRO (VI.20)

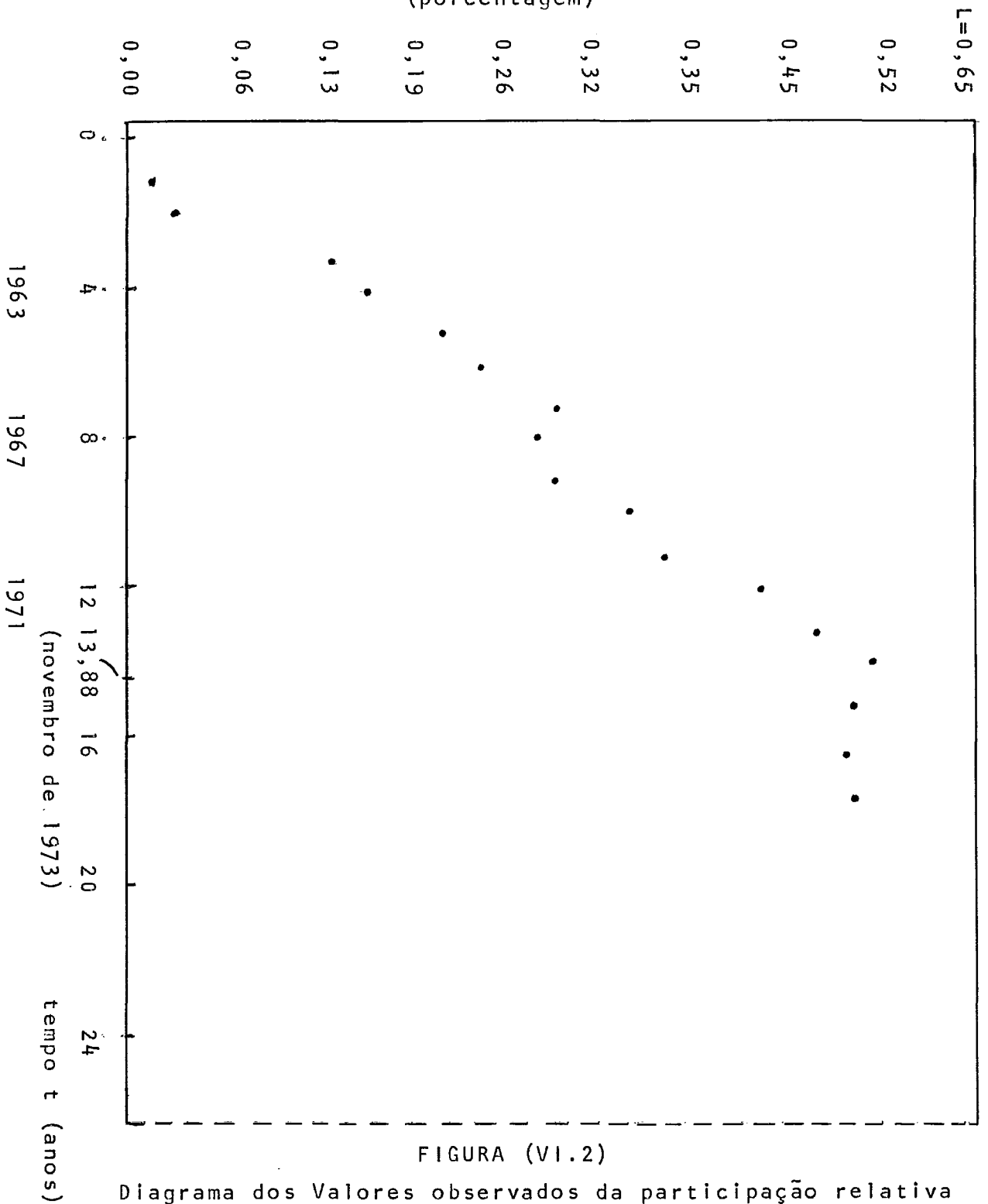
Participação Relativa do Poliester no Agregado dos Produtos Sintéticos
Brasil - 1960/1976

ANO	VALOR OBSERVADO	percentagem
1960	1,3	
1961	2,3	
1962	13,4	
1963	15,1	
1964	20,8	
1965	23,7	
1966	28,8	
1967	26,7	
1968	29,2	
1969	34,0	
1970	36,4	
1971	42,5	
1972	47,4	
1973	50,9	
1974	49,7	
1975	48,4	
1976	48,8	

Fonte: Dados de 1962/69 - CDI

Dados de 1970/76 - ABPEAS

Fração de Mercado dos Fios e Fibras Poliestéricas substituindo Poliamídicas e Acrílicas (porcentagem)



Para este caso-substituição são considerados 13 observações (1962/74), uma variável regressora (tempo) e o nível de significância para o teste DW igual a 0,05, correspondendo a probabilidade de rejeitar a hipótese da não existência de autocorrelação nos resíduos sendo esta hipótese verdadeira. Deste modo, temos o limite inferior (D_L) do intervalo DW igual a 1,06 e o limite superior (D_U) sendo 1,34.

Considerando-se que, as previsões das capacidades instaladas pela Associação Brasileira dos Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas e as estimativas de importação feitas pelo IPEA dos três produtos sintéticos para o ano de 1980 fornecem uma participação no mercado de aproximadamente 58% para o poliéster, e que isto se ratifica pela previsão da RHODIA de 58% para o poliéster em 1981, parece razoável esperar que o limite de saturação para o poliéster esteja entre 60% e 70%. Para efeito de ilustração o limite de 65% será usado para ajuste e projeção do consumo aparente do poliéster substituindo o nylon e o acrílico.

Ajustando-se o modelo de Blackman à série do quadro (VI.20) obtem-se a seguinte equação:

$$\ln \{f(t) / (0,65-f(t))\} = 0,21702 t - 1,97045 \quad (\text{VI.5})$$

Este ajustamento nos dá uma proporção de variância explicada (R^2) igual a 0,97058, coeficiente de DW igual a 1,40301 (aprovado no teste de autocorrelação nos resíduos) e o TPS de 20 anos.

O quadro (VI.21), seguinte, apresenta os ajustes para o período 1970/76 e as previsões para os anos de 1980, 1981 e 1985 da porção de mercado do poliéster em substituição ao nylon e às fibras acrílicas.

QUADRO (VI.21)

Participação Relativa do Poliéster no
Conjunto dos Elementos Sintéticos Mo-
delo de Blackman 1970/76, 1980/81 e 1985

ANO	AJUSTE (*) ou PREVISÃO	percentagem
1970		39,2
1971		42,5
1972		45,5
1973		48,4
1974		50,9
1975		53,8
1976		55,1
1980		60,5
1981		61,3
1985		63,4

(*) Os valores para o período 1970/76 correspondem a ajustes pela equação (VI.5) de Blackman.

Ajustando-se o modelo de Floyd à série do quadro (VI.20) encontra-se a equação linear abaixo:

$$\ln\{0,65/(0,65-f(t))\} + \ln\{f(t)/(0,65-f(t))\} = 0,48438 t - 2,01315 \quad (VI.6)$$

Este ajustamento proporciona R^2 igual a 0,91821, coeficiente DW igual a 0,81805 (não aprovado no teste de autocorrelação nos resíduos) e o TPS sendo de 27,5 anos.

As previsões por este modelo não são aqui apresentadas, haja vista a autocorrelação existente nos resíduos indicada acima pelo valor do coeficiente DW.

Ajustando-se o modelo de Chow à série de dados do quadro (VI.20) obtêm-se a equação linear

$$\ln\{\ln(0,65/f(t))\} = -0,15544 t + 0,99261 \quad (VI.7)$$

Este ajustamento propicia R^2 de 0,95827, coeficiente DW de 1,08135 (este valor se encontra no intervalo central de DW, onde nada se pode afirmar sobre autocorrelação nos resíduos) e TPS de 20 anos. No quadro (VI.22) está a evolução da porção de mercado do poliéster dada pela equação (VI.7) de Chow para o mesmo período e anos da aplicação de Blackman.

QUADRO (VI.22)

Participação Relativa do Poliéster no
Conjunto dos Elementos Sintéticos Mo
delo de Chow 1970/76, 1980, 1981 e 1985

ANO	AJUSTE (*) ou PREVISÃO	percentagem
1970		39,9
1971		42,8
1972		45,5
1973		47,9
1974		50,0
1975		51,9
1976		53,6
1980		58,6
1981		59,5
1985		62,0

(*) Os valores para o período 1970/1976
correspondem a ajustes pela equação
(VI.7) de Chow.

Até agora, não nos preocupamos em ressaltar a crise do petróleo em nenhuma aplicação dos modelos. O modelo de Floyd não pode ser aplicado a este caso-substituição e Chow pode mostrar um certo adiantamento do processo de substituição. Em vista disso, considere-se, agora o retardamento imposto pela crise do petróleo ao processo de substituição através do procedimento da ramificação. O quadro (VI.23) contém os parâmetros para seis ramificações a partir do ponto de quebra (1972, 47,4%), limite igual a 65% e parâmetro ϕ de Blackman da equação (VI.5).

QUADRO (VI.23)

Parâmetros das Ramificações para
 $\phi = 0,21702$, limite 65% e ponto de
 quebra (1972, 47,4%)

α	$\alpha\phi$	q
0,9	0,19532	-1,54844
0,8	0,17362	-1,26634
0,7	0,15191	-0,98411
0,6	0,13021	-0,70201
0,5	0,10851	-0,41991
0,4	0,08681	-0,13778

Para efeito de ajustes e previsões é escolhida a ramificação que minimize a soma dos quadrados dos resíduos das duas últimas observações. O quadro (VI.24) contém estas somas e pode-se notar que a ramificação 0,6 ϕ é a que satisfaz ao critério.

QUADRO (VI.24)

Soma dos Quadrados dos Resíduos
das duas últimas observações

1973 e 1974

α	$d_{73}(\times 10^{-3})$	$d_{74}(\times 10^{-3})$	$d^2_{73} + d^2_{74}(\times 10^{-6})$
0,9	-11	22	605
0,8	-14	18	520
0,7	-16	14	452
0,6	-19	8	425
0,5	-21	3	450
0,4	-24	-2	580

Portanto os ajustes e previsões serão feitas através das equações:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ln \{f(t)/(0,65-f(t))\} = 0,21702 t - 1,97045 \\ \text{para } t < 13 \text{ (1972) e,} \\ \ln \{f(t)/(0,65-f(t))\} = 0,13021 t - 0,70201 \\ \text{para } t > 13 \text{ (1972).} \end{array} \right. \quad (\text{VI.8})$$

Deste modo, o TPS será agora de aproximadamente 23 anos. O quadro (VI.25) mostra os ajustes e previsões pelas equações (VI.6) da porção de mercado provável para o poliéster substituindo o nylon e o acrílico.

QUADRO (VI.25)

Participação Relativa do Poliéster no Mercado
das Fibras Sintéticas Ramificação de Blackman
1970/1981 , 1985

ANO	AJUSTE (*) ou PREVISÃO	percentagem
1970	39.2	
1971	43.1	
1972	45.5	
1973	49.0	
1974	50.5	
1975	51.9	
1976	53.3	
1977	54.5	
1978	55.6	
1979	56.8	
1980	57.5	
1981	58.3	
1985	60.8	

(*) O período 1970/76 corresponde a ajustes.

QUADRO (VI.26)

Qualidade de Ajustamento, Índice de Autocorrelação nos Resíduos, Parâmetros do Modelo e Tempo de Predomínio de Substituição Segundo Modelo Sharif-Kabir

$$L = 0,65$$

σ	R ²	DW	ϕ	γ	TPS (anos)
0,0	0,97058	1,40301	0,21702	-1,97405	20,3
0,1	0,96561	1,25522	0,24376	-1,97472	21,7
0,2	0,95955	1,13467	0,27050	-1,97899	22,8
0,3	0,95326	1,04644	0,29723	-1,98326	23,8
0,4	0,94712	0,98252	0,32397	-1,98753	24,6
0,5	0,94132	0,93537	0,35070	-1,99181	25,2
0,6	0,93592	0,89973	0,37744	-1,99608	25,8
0,7	0,93093	0,87212	0,40417	-2,00035	26,3
0,8	0,92633	0,85025	0,43091	-2,00462	26,7
0,9	0,92210	0,83258	0,45764	-2,00889	27,1
1,0	0,91821	0,81805	0,48438	-2,01315	27,4

O quadro (VI.26) é inserido aqui para este caso-substituição muito embora o modelo Sharif-Kabir não seja usado neste trabalho para fazer previsões. Supondo L igual a 0,65 e fazendo-se σ variar de zero (modelo de Blackman) a 1 (modelo de Floyd) podemos fazer as seguintes observações exclusivas deste caso-substituição: R^2 diminui (piora a qualidade do ajustamento); DW diminui (aumenta a autocorrelação nos resíduos ao ajustarmos a reta de Sharif-Kabir); o parâmetro ϕ aumenta enquanto γ diminui contrariamente ao caso-substituição anterior e o TPS como não poderia deixar de ser, aumenta quando σ cresce.

No quadro (VI.27) abaixo, está o confronto dos resultados obtidos com a aplicação dos modelos de Blackman, Floyd Chow e o procedimento da ramificação, com aqueles apresentados pelo IPEA, RHODIA e CDI/Associação Brasileira dos Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas (ABPFAS).

QUADRO (VI.27)

Participação Relativa do Poliéster no Agregado dos Fios e Fibras Sintéticas
Limite 65%

ANO	Limite 65%						percentagem
	CDI/ABPFAS	IPEA	RHODIA	BLACKMAN	FLOYD	CHOW	RAMIFICAÇÃO
1970	36,4	39,0	35,0	39,2	-	39,9	39,2
1975	48,4	42,0	-	53,8	-	51,9	51,9
1976	48,8	43,0	50,0	55,1	-	53,6	53,3
1980	-	59,0	-	60,5	-	58,6	57,5
1981	-	-	58,0	61,3	-	59,5	58,3
1985	-	-	62,0	63,4	-	62,0	60,8

Obs: As percentagens relativas aos anos 1970, 1975 e 1976 do CDI/ABPFAS são valores observados.

Note-se que neste caso-substituição a ramificação de Blackman fornece ajustes (1970, 1975 e 1976) superiores aos valores correspondentes da RHODIA, IPEA e CDI/ABPFAS, sendo que nos anos de 1975 e 1976 os ajustes fogem à tendência natural mostrada pelos valores observados pelo CDI/ABPFAS numa diferença de aproximadamente 4%. Apesar disso, as previsões para 1981 e 1985 estão bastante próximas daquelas apresentadas pela RHODIA. Em resumo, os resultados da ramificação de Blackman, equação (VI.6), embora não tão reais nos ajustes parecem razoáveis para o período 1977/1985. Os resultados por Chow são bastante próximos aos do IPEA e RHODIA para os anos de futuro mais longínquo. Os valores de Blackman já parecem prever razoavelmente a porção de mercado do poliéster sem auxílio de ramificação.

Finalmente, no quadro (VI.28) temos os tempos de predomínio de substituição previstos para este caso-substituição.

QUADRO (VI.28)

Tempo de Predomínio de Substituição

Aproximado

Modelo	TPS	(anos)
Blackman	20	
Chow	20	
Ramificação	23	
Floyd	27,5	

CAPÍTULO VIICONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com base nos experimentos relativos às substituições que ocorrem no mercado agregado dos fios e fibras têxteis resultam as conclusões a seguir enunciadas.

O limite L de saturação de mercado, num determinado caso de substituição merece atenção especial após ter sido estimado por qualquer critério ou método de estimação dos parâmetros da função que descreve o curso da substituição de mercado. O valor atribuído ao limite pode não estar coerente com a situação prática, como foi visto no capítulo anterior quando da tentativa feita para estimação de L através da estatística de Durbin-Watson (DW) e da qualidade de ajustamento (R^2). Mesmo quando for usado um método direto para estimação de L , deve-se proceder com atenção sobre o resultado deste, pois quanto maior for o erro no limite L maior será o erro nos outros parâmetros da curva em S (ver apêndice 3). Além disso, como é arriscado prevêrmos o limite exatamente com um único valor, o que devemos ter é um intervalo para L , no qual deverá estar o limite real. Para a definição deste intervalo podemos, e devemos sempre lançar mão de conhecimentos práticos sobre as restrições de uso que os produtos concorrentes no mercado, proventura, possam apresentar, já que, se o produto que ganha mercado do(s) outro(s) não apresenta restrições quanto a sua utilização, teremos então certeza que atingirá completamente o(s) seu(s) con

correntes(s), haverá substituição total de mercado, e portanto, não hesitaremos em dizer que o limite será de 100%. Em resumo, o intervalo para o limite L deve ser obtido levando-se em consideração a qualidade do ajustamento (R^2), o índice de autocorrelação nos resíduos (DW) e as opiniões de entendidos conforme experiência pela prática, considerando-se até uma descrição de cenários, como no caso de discussão sobre o coeficiente $\sigma = \lambda(t)$ da equação (IV.5) de Sharif-Kabir²⁸.

O modelo de Fisher-Pry¹⁰ tem aplicação exclusiva quando se trata de um caso de substituição total. Lembre-se que o valor de L neste modelo é igual a 1, o que mostra claramente a limitação de aplicação deste modelo.

O modelo de Blackman³ - que tem para caso particular o modelo de Fisher-Pry - tem aplicação mais ampla. Se caracteriza pelo fato de apresentar uma alta taxa de crescimento em relação aos outros modelos e por isso é conveniente aplicá-lo em casos-substituição em que não haja nenhum fator exógeno influenciando o curso da mesma. Isto é verificado nas aplicações dos modelos às substituições de mercado ocorridas no âmbito têxtil, no capítulo anterior.

Na presença de alguma fator preponderante sobre a substituição, convém usarmos o modelo de Floyd¹¹ ou o modelo de Sharif-Kabir ²⁷ com um coeficiente σ adequado, ou utilizar uma ramificação de Blackman para efeito de projeção da porção de mercado do produto que substitui o(s) mais antigo (s). Isto se justifica pelo fato destes apresentarem um crescimento

mais lento que o modelo de Blackman.

Quanto ao modelo de Chow⁸, existem duas razões para utilizá-lo: este modelo é representado por uma curva não simétrica (ao contrário da curva logística de Blackman), e além disso sua taxa de crescimento é mais alta nos primeiros anos de substituição e declina mais lentamente nos anos posteriores, contrariamente à curva de Blackman, o que nos leva a crer que convém usarmos o modelo de Chow em situações em que algum fator exógeno influencie o curso da substituição, como ocorreu nas aplicações do capítulo anterior.

Como sugestões para trabalhos futuros, alinham-se as que se seguem:

Na presente era de rápida mudança tecnologica, ocorrem muitos exemplos onde um particular produto está substituindo um antigo ao passo que ao mesmo tempo está sendo substituído por um mais novo - um processo de substituição a nível múltiplo. Além disso qualquer previsão feita num dado ponto do tempo necessita ser revisada quando as circunstâncias que influenciam os elementos da previsão estiverem mudando no tempo. Portanto, para extensão deste trabalho, a aplicação do modelo de Sharif-Kabir²⁸ - equação (IV.5) - por sua adaptabilidade sob várias circunstâncias é sugerida com o estudo sobre modelagem dinâmica do mesmo, que combina método exploratório e normativo para prever substituição a nível múltiplo e incorpora várias formas de parâmetros dependentes do tempo. Em adição à previsão da fração de mercado, a modelagem dinâmica pode também prever o tamanho do mercado de cada um dos produtos concorren-

tes bem como a expansão do mercado conjunto, com base na tendência passada. Com a forma funcional de $\phi = \beta(t)$ determinada e integrada à equação (IV.5), e esta adaptada às influências exógenas com a introdução de $\sigma = \lambda(t)$, a análise de substituição torna-se embaraçosa, e portanto, o procedimento de simulação, na linguagem DYNAMO usando a técnica *dinâmica de sistema* é sugerido, e em consequência, mesmo funções irregulares para $\phi = \beta(t)$, e $\sigma = \lambda(t)$ poderão ser facilmente manipuladas, como também poderemos simular situações para vários valores do limite L.

A análise macroeconômica através de matrizes insumo-produto que envolvem diversos setores industriais, nos leva a constatação da variação anual dos coeficientes dessas matrizes. Isto se dá porque substituições tecnológicas ocorrem no decorrer do tempo, dentro desses setores. Logo, isto nos faz notar uma existente relação entre análise de substituição tecnológica e análise insumo-produto. Deste modo, o estudo da metodologia de Ayres e Shapanka² para construir modelos de insumo-produto que possam prever, a longo-prazo, as interações inter-industriais que levam em consideração substituições tecnológicas explícitas, fica como sugestão para o prosseguimento desta pesquisa. Tais métodos de construção de modelos insumo-produto podem mostrar como os efeitos de substituições tecnológicas podem ser incluídos no modelo.

Os modelos de Blackman, Floyd e Chow são puramente baseados na extrapolação da tendência sem no entanto envolverem explicitamente, variáveis econômicas. Todavia um

caso-substituição pode ser estudado usando-se conceitos e va
riáveis econômicas que realmente influem na dinâmica de mercado
do (logo, na substituição), sugerindo-nos então, a criação de
modelos do tipo de Ayres e Stern²⁵ sem a utilização da análise
de utilidade da economia.

APÊNDICE IO ATRASO DA INVENÇÃO À INOVAÇÃO

De quanto tempo deve ser o atraso entre invenção e inovação? Este intervalo de tempo deve variar substancialmente visto que algumas invenções requerem mudanças em gosto, em tecnologia, e em outros fatores antes que possam ser utilizadas lucrativamente, ao passo que outras, não. Além disso, algumas invenções constituem importantes realizações sob o ponto de vista prático (invenções importantes), enquanto outras são mais rotineiras (invenções para melhoramentos, isto é, aquelas destinadas à aperfeiçoamentos técnicos). Restringindo nossa atenção somente a invenções importantes, revolucionárias, temos então os dados extremamente aproximados, visto que conceitos como *invenção* e *inovação* não são fáceis de definir e datar, e portanto, as amostras disponíveis não são aleatórias. No entanto, estes dados proporcionam uma idéia para a distribuição do atraso. Para as invenções que servem apenas a aperfeiçoamentos técnicos, os resultados quanto à utilização de patentes, citados no capítulo VII do livro de Mansfield²² podem ser usados na descrição do referido atraso.

John Enos⁹ estimou o intervalo de tempo entre invenção e inovação para onze importantes processos de refino de petróleo e trinta e cinco produtos e processos em uma variedade de outras indústrias.

TABELA A.1.1.

Intervalo de Tempo Estimado entre Invenção e Inovação
 Quarenta e seis invenções em indústrias Seleccionadas^a

Invenção	Intervalo (anos)
Destilação de hidrocarbonetos por calor e pressão (Burton)	24
Destilação de gás óleo por calor e pressão (Burton)	3
Destilação contínua de petróleo por calor e pressão (Holmes - Manley)	11
Destilação contínua de petróleo por calor e pressão (Dubbs)	13
"Clean circulation" (Dubbs)	3
Processo de tubo ou tanque	13
Processo Cruzado	5
Destilação catalítica Houdry de petróleo por calor e pressão	9
Destilação catalítica fluída de petróleo por calor e pressão	13
Elevação de gás por pílulas catalíticas	13

Destilação catalítica de petróleo por calor e pressão (leito móvel)	8
Aparelho de barbear (gilete)	9
Lâmpada fluorescente	79
Televisão	22
Telegrafia sem fios (Radiotelegrafia)	8
Telefonia sem fios (Radiotelefonia)	8
Válvula Triodo à vácuo	7
Rádio (oscilador)	8
Máquina (para fiação) de fusos múltiplos	5
Máquina de fiação (water frame)	6
Máquina de fiar	4
Máquina a vapor (Watt)	11
Caneta esferográfica	6
DDT	3
Electric precipitation	25
Freon refrigerants	1
Bússola giroscópica	56
Endurecimento de gorduras	8
Motor a jato	14
Motor turbojato	10
Disco Long-playing	3
Gravação magnética	5

Matériaís plásticos transparentes	3
Mãquina colhedora de algodão	53
Nylon ^b	11
Tecidos resistentes por vincos	14
Power steering	6
Radar	13
Relógio de corda automática	6
Shell molding	3
Estreptomicina	5
Terylene, fibra ou tecido dacron	12
Titanium reduction	7
Xerografia	13
Fecho éclair	27
Mãquina a vapor (Newcomen)	6

Fonte: Mansfield²², pg.101

a As primeiras onze invenções foram aquelas que ocorreram em refinação de petróleo.

b De fato, este é o intervalo de tempo entre o início da pesquisa fundamental pela DuPont sobre superpolímeros e a produção de nylon na primeira unidade comercial.

A Tabela A.1.1. mostra que o atraso médio dentre as onze invenções na indústria do petróleo é de 11 anos

e quase 14 anos para as outras trinta e cinco invenções. Seu desvio padrão é quase 5 anos na indústria de refinação do petróleo e 16 anos para as outras invenções.

John Enos concluiu que inovações mecânicas parecem requerer menor intervalo. Seguindo inovações químicas e farmacêuticas. Inovações eletrônicas levam mais tempo. O intervalo parece mais curto quando o próprio inventor tenta inovar, ao contrário do que quando ele meramente se contenta em revelar o conceito geral.

Em um estudo mais recente, Frank Lynn¹³ estimou o número médio de anos transcorridos desde a descoberta básica e estabelecimento de uma viabilidade técnica da invenção até o início de seu desenvolvimento comercial, bem como o número médio de anos transcorridos do início de desenvolvimento comercial até a sua introdução como um produto ou processo comercial. Os resultados, baseados sobre breves histórias de vinte importantes invenções durante 1885-1950, parecem indicar que o atraso tem sido decrescente no tempo, que é muito mais curto para produtos destinados a consumidores comuns do que para produtos inventados destinados à indústria, e que é muito mais curto para inovações desenvolvidas com fundos do governo que aquelas com fundos privados (Tabela A.1.2.).

TABELA A.1.2.

Taxa Média de Desenvolvimento de Inovações Tecnológicas Seleccionadas

Fatores influenciando a taxa de desenvolvimento tecnológico	Intervalo de Tempo Médio (anos)		
	Período de Incubação ^b	Desenvolvimento comercial ^c	Total
PERÍODO DE TEMPO			
Prematuro ao século XX (1885-1919)	30	7	37
Após 1a. Guerra Mundial (1920-1944)	16	8	24
Após 2a. Guerra Mundial (1945-1964)	9	5	14
TIPO DA APLICAÇÃO DE MERCADO			
Consumidor	13	7	20
Industrial	28	6	34
FONTE DE DESENVOLVIMENTO			
Indústria privada	24	7	31
Governo Federal	12	7	19

Fonte: Mansfield²², pg. 102

a - Baseada sobre estudo de vinte invenções importantes cujo desenvolvimento comercial começaram no período 1885 - 1950.

b - Período de incubação, - começa com a descoberta e estabelecimento de viabilidade tecnológica, e finda quando começa o desenvolvimento comercial.

- c - Desenvolvimento comercial - começa com o reconhecimento do potencial mercantil e o compromisso de fundos para ~~desenvolvimento~~ a fim de alcançar um objetivo comercial bem definido, e finda quando a invenção é introduzida como um produto e se transforma numa inovação.

Finalmente, tem havido estudos no âmbito militar, no campo da eletrônica e indústria de máquinas para mineração, do período básico (lead time) para ir desde a primeira idéia para um novo produto às primeiras entregas comerciais. Este período (lead time) parece conceitualmente mais próximo ao período de desenvolvimento comercial de Lynn do que ao atraso total entre invenção e inovação. Os resultados são mostrados na tabela A.1.3.

TABELA A.1.3.

"Lead Times" estimados para Produtos Selecionados

(anos)

PRODUTO	Preparação do projeto e especificações básicas	Desenho, produção e teste do protótipo	Desenho, avaliação de quantidade, e fabricação de ferramentas	Tempo de fabricação antes que os primeiros modelos entre em linha de montagem	TOTAL
Caça-minas	0,7	0,8	0,8	0,8	3,1
Fuzil sem coice	0,3	1,7	1	1,3	4,3
Tanque de porte médio	0,3	2,3	0,5	1,1	4,2
Contratorpedeiro	0,8	2,1	1,3	1,0	5,2
Bombadeiro	0,5	3	0,8	1,8	6,1
Avião de Caça à jato	0,8	3,3	0,7	2,4	7,8
Novas máquinas de mineração	0,3	2,5	1	1	4,3
Nova máquina cortadora e carregadora	2	2,5	1,5	1	7
Computadora eletrônico	-	-	-	-	6
Estação telefônica	-	-	-	-	6
Satélite de Comunicação	-	-	-	-	5

Fonte: Mansfield²², pg. 103

APÊNDICE 2CURVAS DE CRESCIMENTO E ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROSA.2.1 - Função Logística

Neste apêndice discutiremos uma curva de crescimento específica, conhecida como a Curva de Pearl (ver Martino¹⁹). O nome refere-se a Raymond Pearl (1870-1940), biólogo americano, que trabalhou também em demografia, e fez ainda estudos extensivos do crescimento de organismos e de populações. Ele achou que a curva, a qual hoje leva seu nome, descreveu tais crescimentos inteiramente bem.

A lei logística de crescimento é também de substancial interesse em economia por proporcionar, em muitos casos uma boa representação tendencial, isto é, a longo-prazo dá a evolução bastante aproximada de variados entes econômicos.

- Representação analítica da função:

$$f(x) = L / \{1 + a \cdot \exp(-bx)\}$$

- Domínio e Contra-domínio da função:

$$f: \mathbb{R} \rightarrow (0, L)$$

- Parâmetros da função:

a, b e L, sendo L o limite para o crescimento da variável f(x).

- Variável independente: x

- $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 0$ e $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = L$

- Função derivada de $f(x)$

$$\frac{df}{dx} = bf(x) \left(1 - \frac{f(x)}{L}\right)$$

- Função derivada segunda de $f(x)$:

$$\frac{d^2f}{dx^2} = b \left(1 - \frac{2f(x)}{L}\right)$$

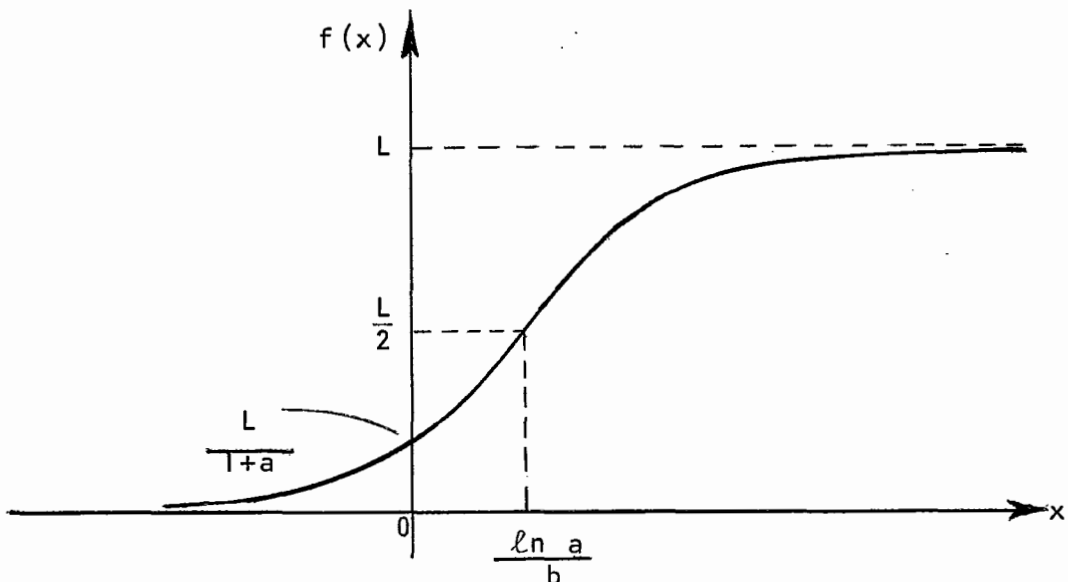
- Ponto de inflexão:

$$(x, f(x)) = \left(\frac{\ln a}{b}, \frac{L}{2}\right)$$

- A curva é simétrica em relação à reta paralela ao eixo x e que passa no ponto de inflexão.

- Representação gráfica:

Curva em forma de S, tendendo assintoticamente para a reta $f(x) = 0$ quando $x \rightarrow -\infty$, e para L quando $x \rightarrow +\infty$, e para L quando $x \rightarrow +\infty$, passando pelo ponto de inflexão.



- As constantes a e b governam a abcissa do ponto de inflexão.
- a e b são sempre maiores que zero; note que:

$$\forall x, f(x) < L \rightarrow \frac{f(x)}{L} < 1 \rightarrow$$

$$1 - \frac{f(x)}{L} > 0; \text{ como } f(x) > 0 \text{ e } \frac{df(x)}{dx} > 0$$

$\forall x$, temos $b > 0$.

- a e b localizam a curva ao longo do eixo x ; b , e L governam a taxa de crescimento instantânea.
- Estimação dos Parâmetros (Método de Fisher; ver Nair²⁴)

Considere n observações $(x_i, f(x_i))$; e sejam esses dados acumulativos ($\forall i, i=\overline{1, n-1}, f(x_i) < f(x_{i+1})$).

Nestas condições podemos utilizar o método de Fisher para estimativas de L e b .

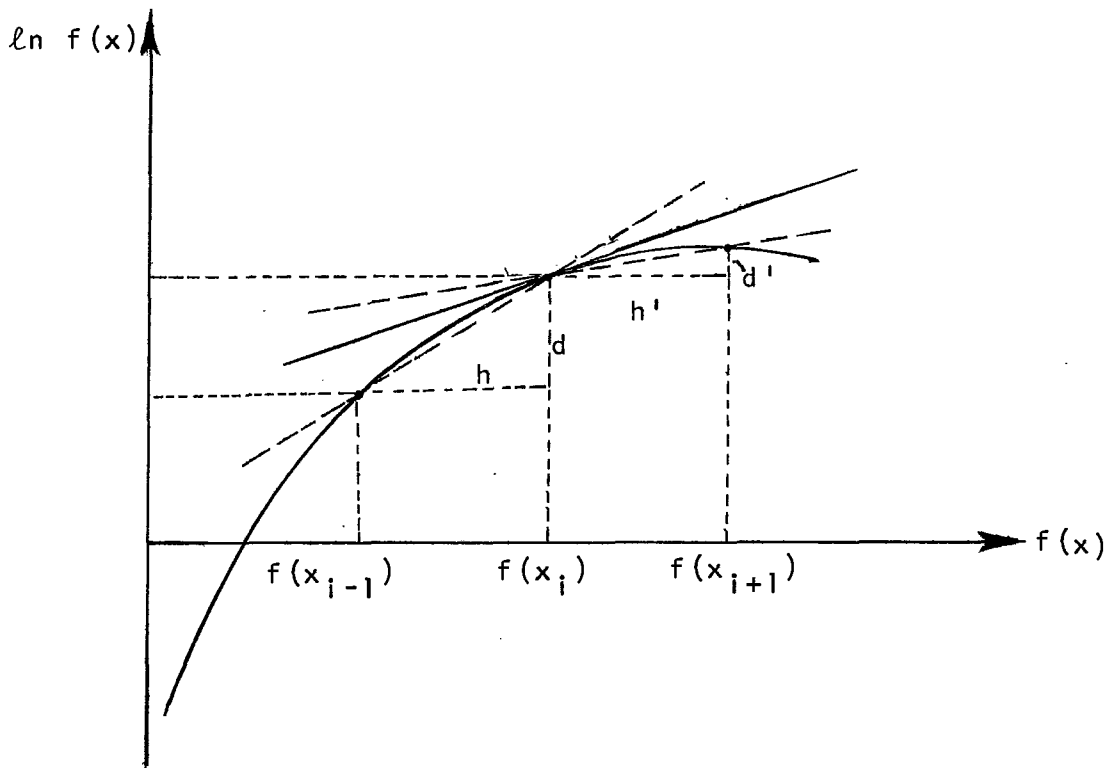
$$\text{Seja, } f(x) = \frac{L}{1 + a \cdot \exp(-bx)}, \text{ ou}$$

$$\ln f = \ln L - \ln \{1 + a \cdot \exp(-bx)\}$$

$$\frac{d(\ln f)}{dx} = b \cdot \frac{1}{1 + a \cdot \exp(-bx)} \cdot a \cdot \exp(-bx)$$

$$\frac{d(\ln f)}{dx} = b \cdot \frac{f(x)}{L} \cdot \left(\frac{L}{f(x)} - 1 \right)$$

$$\frac{1}{f(x)} \cdot \frac{df}{dx} = b - \frac{b}{L} f(x) \quad (2.1)$$



$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} (\ln f(x)) \Big|_{x_i} &\approx \frac{1}{2} \left(\frac{d}{h} + \frac{d'}{h'} \right) = \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln f(x_i) - \ln f(x_{i-1})}{f(x_i) - f(x_{i-1})} + \frac{\ln f(x_{i+1}) - \ln f(x_i)}{f(x_{i+1}) - f(x_i)} \right\} \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \ln \left(\frac{f(x_{i+1})}{f(x_{i-1})} \right) \right\} \approx \frac{1}{f(x)} \cdot \frac{df(x)}{dx} \end{aligned}$$

Portanto,

$$\frac{d}{dx} \ln f(x) \Big|_{x_i} \approx \frac{1}{2} \left\{ \ln \left(\frac{f(x_{i+1})}{f(x_{i-1})} \right) \right\}$$

e podemos fazer regressão linear da variável $\frac{1}{f(x)} \frac{df(x)}{dx} = \frac{d}{dx} (\ln f(x))$ sobre a variável $f(x)$ para estimarmos b e $\frac{b}{L}$ donde teremos então L .

- Estimação do parâmetro a :

Utilizar-se-á para estimação de a , o método proposto por Rhodes (1940), dado pela expressão:

$$\hat{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{(L/f(x_i)) - 1\} \exp(bx_i) \quad (2.5)$$

Podemos obter as estimativas de a e b por mínimos quadrados (não dos dados originais), supondo L já estimado de alguma forma (ver Martino¹⁹).

Para isso consideramos na observações $(x_i, f(x_i))$ e minimizamos a expressão

$$\sum_{i=1}^n \left(f(x_i) - \frac{L}{1 + a \cdot \exp(-bx_i)} \right)^2$$

Se seguirmos o procedimento padrão de tomar derivadas parciais e relação aos parâmetros a e b e igualarmos a zero, obtemos um par de equações transcendentes. Não existe nenhuma solução geral como no caso da regressão polinomial ou linear múltipla.

Para evitar equações transcendentais procedemos como segue:

$$f(x) = \frac{L}{1 + a \cdot \exp(-bx)}$$

donde

$$(L/f(x)) - 1 = a \cdot \exp(-bx) \quad e$$

$$\ln \{(L/f(x)) - 1\} = \ln \{a \cdot \exp(-bx)\} ;$$

$$\text{logo, } \ln \{(L/f(x)) - 1\} = \ln a - bx \quad (2.6)$$

Seja $Y(x) = \ln \{(L/f(x)) - 1\}$ e então fazemos regressão de $Y(x)$ sobre x .

A.2.2. Função de Gompertz

Uma outra função algébrica que pode ser usada para descrever o crescimento de um fenômeno econômico é a que tem para representação gráfica, a curva de Gompertz (ver em Martino¹⁹). O nome refere-se a Benjamin Gompertz (1779-1865), atuário e matemático inglês que originalmente propôs tal curva como uma lei de governo das taxas de mortalidade. Além disso, também foi usada para descrever certas distribuições de renda.

- Representação analítica de função:

$$f(x) = L e^{-be^{-kx}}$$

- Domínio e contra-domínio da função:

$$f: \mathbb{R} \rightarrow (0, L)$$

- Parâmetros da função:

L , b e K , sendo L o limite para o crescimento da variável $f(x)$.

- Variável independente: x

- $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 0$ e $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = L$

- Função derivada de $f(x)$:

$$\frac{df}{dx} = LbKe^{-(be^{-kx} + kx)} \quad \text{ou,}$$

$$\frac{df}{dx} = Kf(x) \{ \ln L - \ln f(x) \}$$

- Função derivada segunda de $f(x)$:

$$\frac{d^2f}{dx^2} = Lbk^2 (be^{-kx} - 1) e^{-(be^{-kx} + kx)} \quad \text{ou,}$$

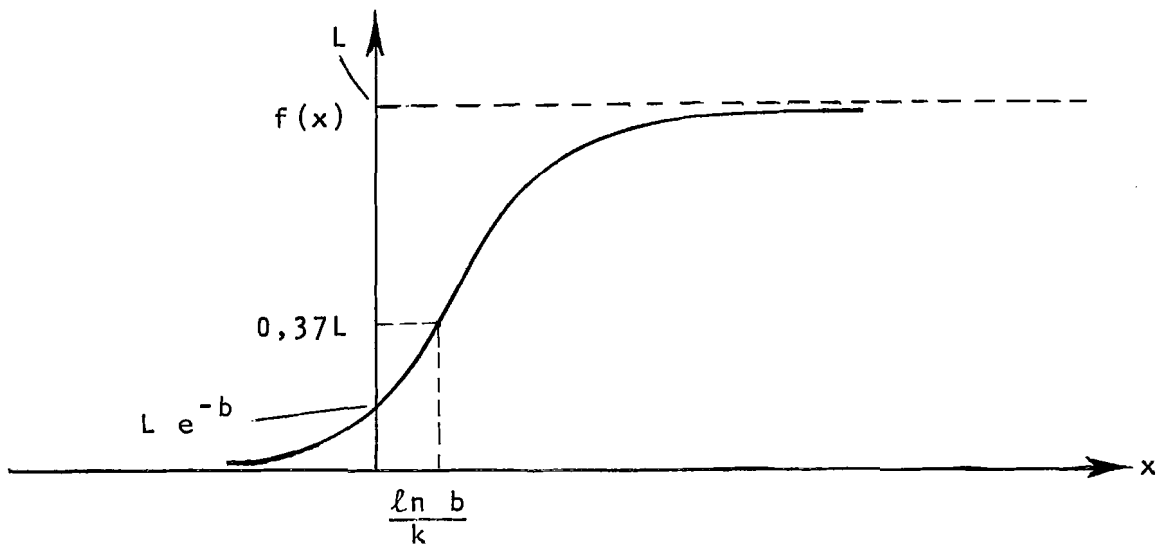
$$\frac{d^2f}{dx^2} = -K \{1 + \ln(f(x)/L)\}$$

- Ponto de Inflexão:

$$(x, f(x)) = \left(\frac{\ln b}{k}, 0,37L \right)$$

- A curva não é simétrica como a logística.
- Representação gráfica:

Curva em formato S, tendendo para L quando $x \rightarrow +\infty$ e tendendo a zero quando $x \rightarrow -\infty$, passando pelo ponto de inflexão acima.



- As constantes b e k governam a abcissa do ponto de inflexão.
- Da função derivada de $f(x)$, nota-se que b e k têm sempre o mesmo sinal.
- Todos os três parâmetros: L , b , k governam a taxa de crescimento instantânea.
- Estimação dos parâmetros:

$$\text{Seja } f(x) = L e^{-be^{-kx}},$$

$$\text{fazendo-se } 1 > e^{-b} = a > 0$$

$$\text{e } 1 > e^{-k} = \beta > 0$$

$$\text{temos } f(x) = L a^{\beta^x}$$

$$\text{donde } \ln f(x) = \ln L + (\ln a) \beta^x$$

$$\text{onde } (\ln a) \beta^x < 0, \text{ sempre.}$$

Os valores para as constantes são determinados como segue:

$$\beta^m = (s_3 - s_2) / (s_2 - s_1)$$

$$\ln a = (s_2 - s_1) \cdot (\beta - 1) / (\beta^m - 1)^2$$

$$\ln L = \frac{1}{m} \{s_1 - ((s_2 - s_1) / (\beta^m - 1))\}$$

Estes estimadores não são de mínimos quadrados.

A série temporal é dividida em três subperío-

dos (m refere-se ao número de dados em um subperíodo);

S_1 = soma dos logarítmos dos valores observados
 $f(x)$ para o primeiro dos três subperíodos;

S_2 = idem, para o segundo dos três subperíodos;

S_3 = idem, para o terceiro subperíodo.

Não se deve ajustar a curva quando $(S_3 - S_2) < (S_2 - S_1)$, porque a curva de Gompertz presume uma taxa de crescimento decrescendo. Mais detalhes, ver em Parsons²⁵.

Um outro método que pode ser usado, supondo L já estimado de alguma forma, é o que segue:

$$f(x) = L e^{-be^{-kx}}$$

$$\frac{f(x)}{L} = e^{-be^{-kx}}$$

$$\frac{L}{f(x)} = \frac{1}{e^{-be^{-kx}}}$$

$$\ln\left(\frac{L}{f(x)}\right) = be^{-kx}$$

$$\ln\left\{\ln\left(\frac{L}{f(x)}\right)\right\} = \ln b - kx$$

donde $b > 0$.

Definindo-se $Y(x) = \ln\left\{\ln\left(\frac{L}{f(x)}\right)\right\}$, temos, $Y(x) = -kx + \ln b$ e fazendo-se regressão linear de Y sobre x teremos k e b estimados por mínimos quadrados, mas não dos dados realmente observados. Este artifício de linearizar evita as

equações transcendentais que seriam encontradas se tentássemos estimar b e k diretamente por mínimos quadrados dos resíduos dos dados originais (ver Martino¹⁹).

A.2.3 - Métodos para Ajustamento de Funções não Lineares

Outros métodos para estimação de parâmetros de funções não lineares, com a obtenção de todos os parâmetros simultaneamente, são através de: Gauss-Newton (BARD Algorithm), programado em Fortran, e contido em Nonlinear Parameter Estimation and Programming, descrito no *Catalog of Programs for IBM System Models 25 and Above*, usado com permissão da International Business Machines Corporation; Marquardt (BSOLVE Algorithm), programa desenvolvido em Fortran por W.E. Ball, Washington University, St. Louis, Missouri, e usado com permissão do autor; Powell (SSQMIN Algorithm), programado também em Fortran por E.R. Beals, Lawrence Radiation Laboratory, Berkeley, California. Também usado com permissão do autor.

Todos os programas resolvem estimação de coeficientes para uma equação de regressão não linear multivariável e utilizando-se N pontos dados. A única desvantagem é que todos os algoritmos, como não poderia deixar de ser, necessita de um ponto de partida, que são valores que não devem estar muito afastados dos nossos parâmetros reais. Isso então, nos faz recair no problema já mencionado do limite de saturação, adiciona até o mesmo problema aos outros parâmetros, e portanto, no caso do limite, comprova o fato de que devemos sempre ter uma idéia aproximada do intervalo no qual este deverá estar no

futuro. Para isto, porém, temos que contar com certa experiência prática. Maiores detalhes destes métodos, tais como descrição matemática, descrição do programa e teste através de exemplo comum aos três métodos, ver em Kuester-Mize¹⁶.

O EFEITO DO ERRO SOBRE OS OUTROS PARÂMETROS AO SE
ESTIMAR O LIMITE SUPERIOR DE UMA FUNÇÃO
LOGÍSTICA

Considere a função logística,

$$f(x) = \frac{L}{1 + a e^{-bx}} .$$

Focalizemos ainda o problema da estimação do limite L . Como visto no apêndice anterior, é possível usar-se um procedimento de ajuste que opere sobre dados históricos para calcular, não somente a e b , mas também L . Todavia, nos métodos em que se deve atribuir a priori um valor para L , o erro nessa atribuição nos conduz a erros também nas estimativas dos parâmetros a e b . Verifiquemos portanto, o efeito desse erro sobre os parâmetros restantes.

Os primeiros valores observados, bem abaixo do limite definitivo, não são absolutamente influenciados fortemente pelo limite L . Um novo produto desenvolve-se lentamente durante os primeiros anos após sua introdução porque vários problemas de implementação ainda não foram sanados, o produto está ainda sendo melhorado, seus usuários desconhecem seu desempenho, o produto pode ainda não ter alcançado as economias de escala do(s) seu(s) competidor(es) já estabelecido(s) por insuficiência de capital para seu total desenvolvimento, como por exemplo, se o novo produto refere-se a uma nova tecnologia, há o caso da

imperfeição desta, tal como, entendimento teórico insuficiente, carência de materiais adequados ou de técnicas de produção etc. Logo é frequentemente recomendado que o valor de L seja calculado a priori, e somente a e b obtidos por procedimento de ajustar a curva.

Em alguns casos, a determinação de um limite superior pode ser fácil. Porém isto só deve ocorrer nos casos de substituição próximos à estabilização. Em outros casos existe um pouco de incerteza na avaliação do limite superior L . Já em outros, existe até menos base para estimar o limite superior L .

Assim existindo muito pouca base teórica ou experiência prática para estimar um limite, a dificuldade torna-se maior. Em tais casos então a estimação do limite L deve ser no máximo baseada sobre julgamento de especialistas no campo do novo produto, e está frequentemente sujeito a algum grau de erro. Nossa preocupação é com os efeitos destes erros na previsão, e em particular com os efeitos dos erros na estimação do limite sobre os valores de a e b . Estes efeitos são agora apreciados para o caso da logística.

Temos um conjunto de n pares de pontos dados (x_i, y_i) onde $y_i = f(x_i)$ para os quais a curva logística deve ser ajustada.

Seja $y = f(x) = \frac{L}{1 + a e^{-bx}}$, donde $\ln\left(\frac{L}{y} - 1\right) = \ln a - bx$. Desejamos então escolher a e b que minimize

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \ln\left(\frac{L}{y_i} - 1\right) - \ln a - bx_i \right\}^2$$

Isto conduz às equações normais usuais:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \left\{ \ln\left(\frac{L}{y_i} - 1\right) - \ln a - bx_i \right\} = 0 \\ \sum_{i=1}^n \left\{ \ln\left(\frac{L}{y_i} - 1\right) - \ln a - bx_i \right\} x_i = 0 \end{cases}$$

Se fizermos $\ln\left(\frac{L}{y_i} - 1\right) = F(i)$ e $\ln a = C$ as equações normais ficam:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \{F(i) - C - bx_i\} = 0 \\ \sum_{i=1}^n \{F(i) - C - bx_i\} x_i = 0 \end{cases}$$

Ou,

$$\begin{cases} \sum_i F(i) = n C + \sum_i bx_i \\ \sum_i F(i) x_i = C \sum_i x_i + \sum_i bx_i^2 \end{cases}$$

O determinante deste sistema é

$$\Delta = \begin{vmatrix} n & \sum x_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 \end{vmatrix} = n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2$$

As incógnitas do sistema são: C e b . Usando agora a regra de Cramer, temos a solução:

$$C = \frac{\begin{vmatrix} \sum F(i) & \sum x_i \\ \sum F(i)x_i & \sum x_i^2 \end{vmatrix}}{\Delta}, \text{ donde}$$

$$C = \frac{\sum F(i) \cdot \sum x_i^2 - \sum x_i \sum F(i)x_i}{\Delta}$$

$$b = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum F(i) \\ \sum x_i & \sum F(i)x_i \end{vmatrix}}{\Delta}, \text{ donde}$$

$$b = \frac{n \sum F(i)x_i - \sum F(i) \cdot \sum x_i}{\Delta}$$

Agora, seja o verdadeiro valor de L igual a L_0 . Podemos então escrever nossa estimativa L como

$$L = L_0 + \epsilon$$

Então, temos também que

$$C = C_0 + c'$$

$$b = b_0 + b'$$

onde ϵ , c' , b' são erros quando estimamos L , C e b , respectivamente.

Se uma função qualquer $g(Z)$ é expandida em série de Taylor, então $g(Z)$ pode ser aproximada em torno de um ponto \bar{Z} de seu domínio por

$g(Z) \cong g'(\bar{Z}) + g'(a)(Z - \bar{Z})$. Então para o nosso problema, desenvolvendo $F(i) = \ln\left\{\frac{L}{y_i} - 1\right\}$ sobre o verdadeiro va-

lor de L , L_0 , temos

$$F_0(i) = \ln \left[\frac{L_0}{y_i} - 1 \right]$$

Identificamos, $Z \equiv L$ e $\bar{Z} = L_0$.

Obs.: $F(i)$ é considerada função de L .

$F(i) \cong \{F(i)\}(L_0) + \left\{ \frac{\partial F}{\partial L} \right\} (L_0) \cdot (L - L_0)$. Logo, temos:

$$F(i) \cong F_0(i) + \left[\frac{\partial F}{\partial L} \right]_0 (L - L_0). \text{ Mas } L = L_0 + \varepsilon, \text{ don-}$$

de $L - L_0 = \varepsilon$ e $F(i) \cong F_0(i) + \left[\frac{\partial F}{\partial L} \right]_0 \varepsilon$, em série de Taylor.

Assim temos:

$$\sum_i F(i) = \sum \{ F_0(i) + \left[\frac{\partial F}{\partial L} \right]_0 \varepsilon \}$$

$$\sum F(i) = \sum F_0(i) + \sum \left[\frac{\partial F}{\partial L} \right]_0 \varepsilon$$

e que

$$F(i)x_i = F_0(i)x_i + \left[\frac{\partial F}{\partial L} \right]_0 \varepsilon x_i$$

$$\sum F(i)x_i = \sum \{ F_0(i)x_i + \left[\frac{\partial F}{\partial L} \right]_0 \varepsilon x_i \}$$

$$\sum F(i)x_i = \sum F_0(i)x_i + \sum \left[\frac{\partial F}{\partial L} \right]_0 \varepsilon x_i$$

$$c = \frac{1}{\Delta} \{ (\sum F(i)) (\sum x_i^2) - (\sum x_i) (\sum F(i)x_i) \}$$

$$c_0 + c' = \frac{1}{\Delta} \{ (\sum F_0(i) + \sum \left[\frac{\partial F}{\partial L} \right]_0 \varepsilon) (\sum x_i^2) - (\sum x_i) (\sum F_0(i)x_i + \sum \left[\frac{\partial F}{\partial L} \right]_0 \varepsilon x_i) \}$$

$$B = \frac{1}{\Delta} \{n(\sum F(i)x_i) - (\sum F(i))(\sum x_i)\}$$

$$B_o + b' = \frac{1}{\Delta} \{n \bar{z} F_o(i)x_i + n \sum \left(\frac{\partial F}{\partial L}\right)_o \epsilon x_i - \sum F_o(i) \sum x_i - (\sum x_i) (\sum \left(\frac{\partial F}{\partial L}\right)_o \epsilon)\}$$

Logo,

$$c' = \frac{\epsilon}{\Delta} \{ \sum \left(\frac{\partial F}{\partial L}\right)_o \sum x_i^2 - \sum \left(\frac{\partial F}{\partial L}\right)_o x_i \sum x_i \}$$

$$b' = \frac{\epsilon}{\Delta} \{n \sum \left(\frac{\partial F}{\partial L}\right)_o x_i - \sum x_i \sum \left(\frac{\partial F}{\partial L}\right)_o \}$$

mas, $\frac{\partial F}{\partial L} = \frac{1}{L-y_i}$

então

$$c' = \frac{\epsilon}{\Delta} \{ (\sum \frac{1}{L_o - y_i}) (\sum x_i^2) - (\sum \frac{x_i}{L_o - y_i}) (\sum x_i) \}$$

e
$$b' = \frac{\epsilon}{\Delta} \{n (\sum \frac{x_i}{L_o - y_i}) - (\sum \frac{1}{L_o - y_i}) (\sum x_i)\}.$$

Estas expressões dão o erro em b e c = ln a proveniente de um erro em L.

Estas expressões podem ser expostas para dar o erro proporcional nestes coeficientes, como segue:

o erro proporcional em b pode ser calculado diretamente por

$$\frac{b'}{b_o} = \frac{\epsilon \{n (\sum \frac{x_i}{L_o - y_i}) - (\sum \frac{1}{L_o - y_i}) (\sum x_i)\}}{\{n (\sum \ln(\frac{L_o}{y_i} - 1) x_i) - (\sum \ln(\frac{L_o}{y_i} - 1)) (\sum x_i)\}};$$

para calcularmos o erro proporcional em a procedemos fazendo,

$$\ln a = \ln(a_0 + a') = \ln a_0 + p$$

onde a' é o erro em a , e p é o erro em $\ln a$. Assim,

$$\ln a_0 + p = \ln a_0 + a' \frac{p}{a'}$$

quando $a' \rightarrow 0$, $p \rightarrow 0$, donde

$$\frac{p}{a'} = \lim_{a' \rightarrow 0} \frac{\ln(a_0 + a') - \ln a_0}{a'} = \left. \frac{\partial \ln a}{\partial a} \right|_{a_0} = \frac{1}{a_0}$$

Então,

$$\ln a = \ln(a_0 + a') = \ln a_0 + \frac{a'}{a_0}$$

ou
$$c = c_0 + c'$$

Identificando $\frac{a'}{a_0} = c'$, implica que

$$\frac{a'}{a_0} = c' = \frac{\epsilon}{\Delta} \left\{ \left(\sum_{L_0 - y_i}^1 \right) (\sum x_i^2) - \left(\sum_{L_0 - y_i}^{x_i} \right) (\sum x_i) \right\}$$

Vemos que existe então, uma relação definida entre um erro no limite superior assumido para o crescimento, e erros nos parâmetros calculados a e b . O erro em a ou b é proporcional ao erro na estimação de L . Onde a exata magnitude de L não é conhecida, a magnitude dos erros em a e b não pode ser calculada. Contudo, o efeito de mudar o limite da curva de crescimento pode ser investigado numericamente. Observe a variação de a e b , como pode ser visto no quadro (VI.7). Lembrando que o crescimento atinge metade do seu limite L em $x = \frac{\ln a}{b}$, passamos às conclusões. Assim temos duas variações:

- i) L aumentando, diminui b ;
- ii) L aumentando, diminui a , de uma maneira muito mais acentuada do que a diminuição em b .

Estes dois fatores combinados podem ser vistos assim:

- 1) se o limite é subestimado, os valores de a e b são demasiadamente grandes; o resultado é que a curva cresce mais rapidamente e atinge seu ponto médio mais cedo; durante os primeiros anos, o crescimento é superestimado, contudo, o previsor começará a subestimar o crescimento real após o novo produto ter alcançado quase dois terços do limite superior L estimado, e depois a previsão continuará abaixo do crescimento real;
- 2) contrariamente, se o limite L é superestimado, a e b serão pequenos demais; a curva cresce lentamente e alcança seu ponto médio mais tarde; durante os primeiros anos, o crescimento é subestimado, contudo, o previsor começa a superestimar o crescimento real após o novo produto ter alcançado quase dois terços do limite superior estimado, e depois a previsão continuará acima do crescimento real.

O significado de um erro em a e b , dependerá da decisão a ser tomada e das consequências de superestimar ou subestimar o crescimento futuro do novo produto. Durante os primeiros anos, se uma superestimação do crescimento futuro é mais perigosa do que uma subestimação, o previsor pode preferir errar superestimando o limite. Contrariamente, se uma subestimação de crescimento futuro é mais perigosa do que uma superestimação, ele pode preferir subestimar o limite superior.

Durante os últimos anos, após o novo produto ter excedido 50% de seu crescimento ele inverteria sua preferência. Assim, se o previsor conhecer as consequências de superestimar ou subestimar o crescimento futuro, ele tenderá a inclinar-se na direção do erro com menor sérias consequências. Maiores detalhes ver em Martino²⁰.

BIBLIOGRAFIA

1. AYRES, R.U., Technological Forecasting and Long-Range Planning, McGraw-Hill, New York, 1969.
2. AYRES, R.U., SHAPANKA, A., Explicit Technological Substitution Forecasts in Long-Range Input-Output Models, Technol. Forecast. Soc. Change, Vol. 9, n° 1/2, 113-138 1976.
3. BLACKMAN, A.W., A Mathematical Model for Trend Forecasts, Technol. Forecast. Soc. Change, Vol. 3, 441-452, 1972.
4. BLACKMAN, A.W., New Market Dynamics of Technological Substitutions, Technol. Forecast. Soc. Change, Vol. 6, 41-63, 1974.
5. BLACKMAN, A.W., The Rate of Innovation in the Commercial Aircraft Jet Engine Market, Technol. Forecast. Soc. Change, Vol. 2, 269-276, 1971.
6. BASS, F.M., A New Product Growth for Model Consumer Durables, Management Science, Vol. 15, n° 5, 215-227, 1969.
7. BAIN, A.D., The Growth of Television Ownership in the United Kingdom since the War: A Lognormal Model, Econometrica, Vol. 33, 657-659, 1965.
8. CHOW, G.C., Technological Change and Demand for Computers, The American Economic Review, Vol. LVII, 1117-1130, 1967.
9. ENOS, J., Invention and Innovation in the Petroleum Refining Industry, The Rate and Direction of Inventive Activity, Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1962.
10. FISHER, J.C., PRY, R.H., A simple Substitution Model of Tech. Change, Tech. Forec. Soc. Change, Vol. 3, 75-88, 1971.

11. FLOYD, A., Trend Forecasting: A Methodology for Figure of Merit, First Annual Technology and Management Conference, (J. Bright, Ed.), Prentice-Hall, New Jersey, 1968.
12. GALVES, C., Manual de Economia Política Atual, Forense Universitária, 5a. edição, pg. 123, 1976.
13. GORDON, M., The Payoff Period and the Rate of Profit, Journal of Business, outubro, 1955.
14. GRILICHES, Z., Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change, Econometrica, outubro, 1957.
15. KEYFITZ, N., Introduction to the Mathematics of Population, University of California, Berkeley, Addison-Wesley, 1968.
16. KUESTER, J.L., MIZE, J.H., Optimization Techniques with Fortran, McGraw-Hill, 1973.
17. LENZ, R.C., LANFORD, H.R., The Substitution Phenomenon, Business Horizons, Vol. 15, nº 1, 63-68, 1972.
18. LYNN, F., An Investigation of the Rate of Development and Difusion of Technology in Our Modern Industrial, Report of the National Commission on Technology, Automation, and Economic Progress, Washington, D.C., 1966.
19. MARTINO, J.P., Technological Forecasting for Decision making, American Elsevier Publishing Co., New York, 1972.
20. MARTINO, J.P., The Effect of Errors in Estimating the Upper Limit of a Growth Curve, Technological Forecasting and Social Change, Vol. 4, 77-84, 1972.
21. MANSFIELD, E., Technical Change and the Rate of Imitation, Econometrica, Vol. 29, 741-766, 1965.

22. MANSFIELD, E., The Economics of Technological Change, Norton, New York, 1968.
23. NEVERS, J.V., Extensions of a New Product Growth Model, Sloan Management Review, Vol. 13, n° 2, 77-95, 1972.
24. NAIR, K., Statistics and Mathematics in Biology, "The Fitting of Growth Curves", 119-132, EDS. O. KEMPTHORNE ET AL., HAFNER PUBL. Co., New York, 1964.
25. PARSONS, R., Statistical Analysis: A Decision Making Approach, "The Gompertz Curve", 644-646, Harper et Row, Publishers, New York, 1974.
26. SHARIF, M.N., UDDIN, G.A., A Procedure for Adapting Technological Forecasting Models, Technol. Forecast. Soc. Change, Vol. 7, 99-106, 1975.
27. SHARIF, M.N., KABIR, C.A., A generalized model for forecasting technological substitution, Technol. Forecast. Soc. Change, Vol. 8, n° 4, 353-364, 1976.
28. SHARIF, M.N., KABIR, C.A., System Dynamics Modeling for Forecasting Multilevel Technological Substitution, Technol. Forecast. Soc. Change, Vol. 9, n° 1/2, 89-112, 1976.
29. STAPLETON, E., The Normal Distribution as a Model of Technological Substitution, Technol. Forecast. Soc. Change, Vol. 8, n° 3, 325-334, 1976.
30. STERN, M.O., AYRES, R.U., SHAPANKA, A., A Model for forecasting the Substitution of One Technology for Another, Technol. Forecast. Soc. Change, Vol. 7, 57-19, 1975.

31. SILVA FILHO, A.P., PINTO, M.J.C., RIBEIRO, A.C.M., LAGO, A. C.A., Mercado Brasileiro de Produtos Petroquímicos, IPEA (Série Estudos para o Planejamento), Brasília, 1973.
32. SWALM, R., On Calculating the Rate of Return of an Investment, Journal of Industrial Engineering, março, 1958.
33. UNGER, T., O Endividamento do Setor de Fibras, Gazeta Mercantil, 1º Caderno, pg. 9, novembro de 1976; RHODIA.
34. VÁRIOS AUTORES, GRUPO DE PESQUISAS DA FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e IPEA (Instituto de Planejamento Econômico e Social), Difusão de Inovações na Indústria Brasileira: três estudos de casos, Rio de Janeiro, 1976.