

Uma Modelagem Logística da Produtividade Científica: Os Casos de “Notas De Física” e de Quatro Distintos Cientistas Brasileiros do CBPF

A logistic modelling of scientific productivity: the cases of Notas de Física and of four distinguished CBPF Brazilian scientists.

José Israel Vargas

Colaborador científico do Departamento de Química

(Instituto de Ciências Exatas da UFMG).

Pesquisador Emérito do CBPF

Robyn Weekes

Bolsista do Instituto de Ciências Exatas,

Departamento de Estatística e Ciências Atuárias da UFMG

Submetido em 25/07/2014

Resumo: O tratamento logístico do número de trabalhos publicados anualmente em “Notas de Física” durante 56 anos mostrou-se adequado. No entanto, sua evolução ocorreu em quatro processos distintos. Apontou-se certa correlação entre o ritmo das publicações e a ocorrência de eventos mais notórios da vida política do País no período examinado. Comportamento análogo foi observado no enquadramento da produção científica de três dos cientistas estudados, ao revelar “rupturas” na produtividade de Cesar Lattes, José Leite Lopes e Jaime Tiomno; o ritmo de produção dos trabalho de Jacques Danon foi descrito por uma única logística.

Palavras chave: Logística.

Abstract: A logistic approach to the yearly partial scientific production of the Brazilian Center for Physics Research has been revealed by the intensity of publication in “Notas de Física” along 56 years. Four processes were identified to be able to frame the number of published papers. The examination of the scientific production of four distinguished CBPF scientists has found to display a similar behavior for three of them: Cesar Lattes, José Leite Lopes and Jaime Tiomno. The productivity of Jacques Danon, however, could be framed by a single logistic behavior.

Keywords: Logistics.

1. INTRODUÇÃO

O lançamento de “Notas de Física” é contemporâneo da própria criação do CBPF. Ela constitui uma boa amostra, uma alíquota, da produção científica dessa instituição, ao longo dos últimos sessenta anos.

A evolução da criação científica, literária e cultural, tanto por indivíduos isolados, quanto por instituições, e inclusive a própria produção de toda sorte de bens e serviços pela sociedade, pode surpreendentemente ser descrita por algoritmo muito simples, a função logística. Esse comportamento, tem sido mostrado pelo autor (1) nos últimos vinte anos, inspirado nos trabalhos do pesquisador Cesare Marchetti e colaboradores, do Instituto Internacional de Análise Aplicada de

Sistemas (IASA), de Laxemburg, Áustria (2). A amplíssima aplicação que alcançou o modelo encontra-se documentada na referência (3).

A função logística é solução particular das equações diferenciais não lineares, devidas a Volterra (4), que as explorou para a descrição analítica da competição entre espécies vivas, em “nichos ecológicos”, exemplos de modelagem que, entre outros, apresentou resumidamente em seu famoso trabalho “*Leçons sur la Théorie Mathématique de la Lute pour la Vie*” (4). Essa “matematização” do Darwinismo foi precedida por trabalhos do matemático belga P. F. Verhulst (5) sobre a dinâmica (malthusiana) do crescimento de populações em ambientes que disponham somente de recursos limitados, e por A.J. Lotka (6).

O paradigma do modelo é a ação. Assim, valeria a reflexão “nietscheana”, que nos informa ser o homem meramente o que ele faz, independentemente da definição muito mais delicada da qualidade do que faça. A atividade dos humanos é, de acordo com o modelo, medida pelo número de ações ou o número de obras que realizem.

Assim, os pintores pintam, os escritores escrevem obras, os músicos compõem peças musicais, os criminosos cometem crimes; os cientistas reportam suas descobertas em artigos, publicados em periódicos pertencentes às suas associações profissionais ou a instituições em que trabalhem, sendo tais ações descritas por C. Marchetti. O algoritmo logístico, como já assinalado, descreve as ações enumeradas, tanto de sociedades inteiras – atividades sociais, portanto – como aquelas de indivíduos, desde que quantificáveis! Nesse sentido, a descrição logística é fractal, cuja representação geométrica é, pois, independente da escala do fenômeno que descreva. Sua utilização ilustra o “mote” de Galileu para quem o livro da Natureza está escrito em números. Como o homem e suas ações (quantificáveis) são também parte da Natureza, o algoritmo aplica-se também a elas. Cabe, no entanto recordar que o sábio italiano nunca ousou propalar tal reducionismo.

2. O MODELO

O presente trabalho examina a aplicabilidade do modelo à produção científica do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), considerando que o número de trabalhos publicados nas suas “Notas de Física” ao longo do tempo, constituam, ainda que precariamente, “alíquota” representativa da intensidade e do ritmo da produção externa, dos trabalhos apresentadas noutras publicações.

Os dados utilizados na presente exposição foram fornecidos gentilmente pelo Professor Ivan de Oliveira, do CBPF. O uso do modelo implica na utilização da equação diferencial não linear devida a Verhulst (5), caso particular da equação de Volterra, para a ocupação de nichos ecológicos por uma única espécie. Ele a utilizou para o exame analítico da bem conhecida hipótese de Malthus sobre a dinâmica da evolução populacional em ambientes que disponham de recursos rigidamente limitados.

Analiticamente tem-se:

$$dN = aN(N^* - N)dt \quad (1)$$

onde dN/dt é, no caso presente, a taxa anual de publicação de artigos na revista; a é uma constante de proporcionalidade; N representa o número de trabalhos já publicados até o tempo t ; N^* é o total de trabalhos publicáveis pela revista; é, portanto, seu nicho. $N^* - N$ é evidentemente o número de trabalhos a publicar, ao longo do tempo t restante da vida da publicação - ou, como se verá, o que resta para a execução de cada “período” ou fase, caso ocorram. A representação gráfica da equação (1) encontra-se na Figura 1a. A solução da equação (1) é a equação (2), dita logística ou *epidemiológica*, por ser frequentemente utilizada na descrição da progressão de epidemias. Ela é representada por uma curva

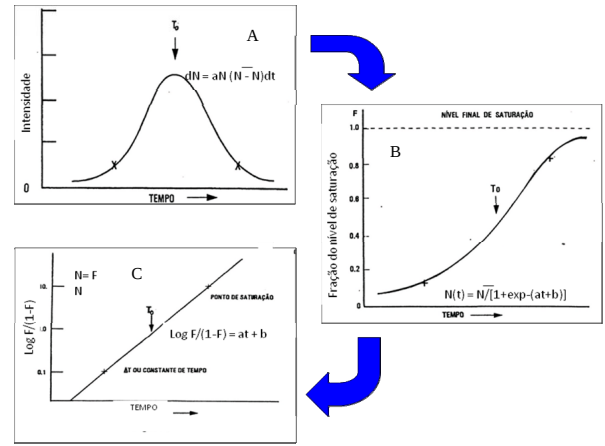


Figura 1: Equação de Volterra para ocupação de um nicho. (A) Equação, (B) Representação logística e (C) Representação de Fisher-Pry

em forma de S na figura 1b.

Lê-se então:

$$N(t) = N^* / [1 + \exp -(at + b)] \quad (2)$$

Para $N/N^* = F$, ou seja, a fração ou percentagem dos trabalhos publicados, i.é, a percentagem de ocupação do nicho, até sua ocupação completa, após manipulação elementar, a equação (2) assume a forma:

$$F/(1 - F) = \exp -(at + b) \quad (3)$$

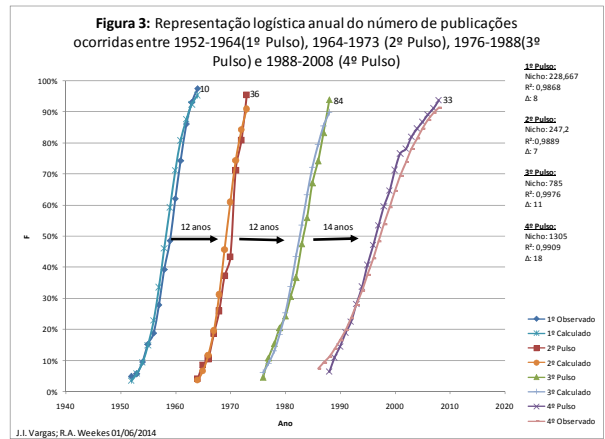
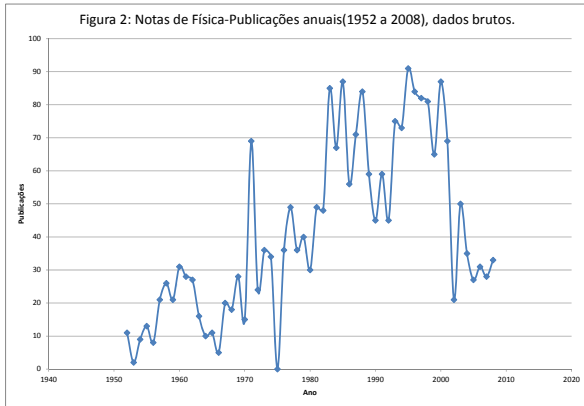
Obtêm-se sua linearização escrevendo:

$$\ln[F/(1 - F)] = at + b \quad (4)$$

a sendo o coeficiente angular da reta apresentada na figura 1c; b é a constante de integração da equação (1).

A equação (4) é conhecida como representação de Fisher-Pry, nome de seus autores (7). Ela propicia método utilizado por Marchetti e colaboradores para a determinar o valor do nicho, N^* , que é dado pelo melhor coeficiente de correlação, R^2 , entre as variáveis definidoras de (4). Alternativamente, ele pode ser obtido procedendo-se, conforme Omar Campos Ferreira (8); à derivação, pelo método das diferenças finitas, da função logística; o dobro do valor do ápice da parábola resultante define o valor do nicho. Na prática obtém-se o mesmo resultado mediante traçado de gráfico em que os valores anuais da variável em estudo são representados como ordenadas e os valores cumulativos correspondentes como abscissas.

A Tabela 1, apresentado no anexo, lista o número bruto de trabalhos publicados anualmente em *Notas de Física*, desde sua fundação em 1952 até 2008, último ano aqui considerado. A representação gráfica desses trabalhos encontra-se na Figura 2.

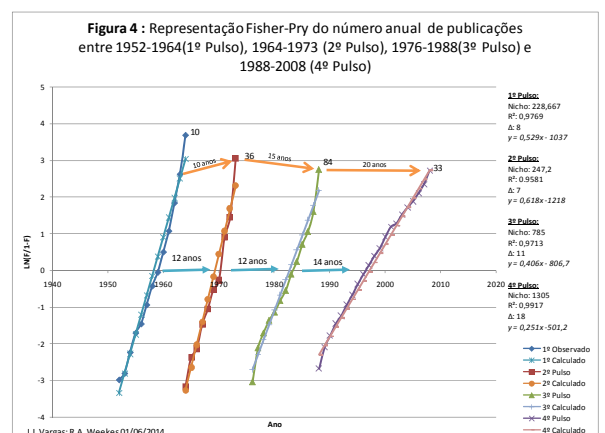
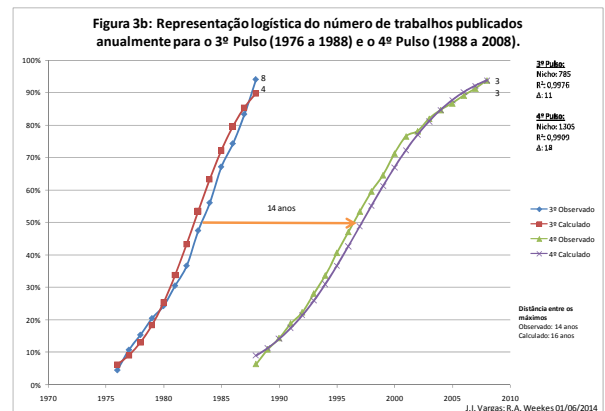
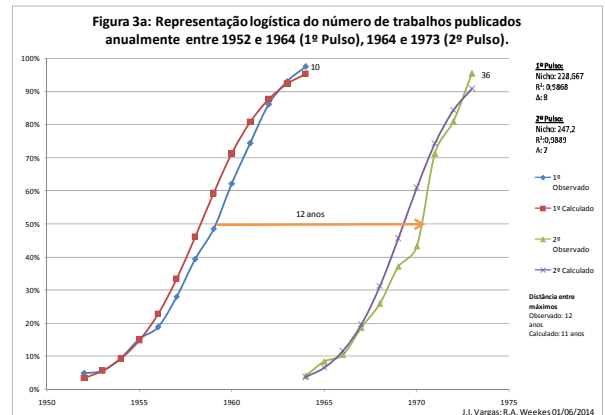


Ela reflete, por assim dizer, a vida turbulenta das instituições científicas do País. Ao aplicar o modelo a esses dados observa-se inadequação quantitativa entre os valores calculados e os valores observados - os dados de trabalho. Ela é confirmada pelo baixo valor dos coeficientes de correlação obtidos para as parábolas geradas pelo método descrito na referência (9) para o número anual de publicações e também para sua média trienal; os coeficientes de correlação, um tanto insatisfatórios, valem 0,65 e 0,82 respectivamente.

É provável, pois, que a descrição da “intensidade” de produção de *Notas de Física* por uma única logística seja discutível, fenômeno, aliás, observado com frequência nas aplicações do modelo, como revelam as referências (1) e (2). Tais “rupturas” refletem alterações profundas ocorridas no transcurso das “ações” examinadas pelo modelo.

Assim, Marchetti mostrou que a sequência temporal, (i. é as datas) da descoberta dos diversos elementos químicos, para os quais o nicho é determinado pela própria natureza, sendo completamente definido. Apresentam-se, no entanto, três fases distintas, causadas provavelmente pela adoção de tecnologias diferenciadas, geradas pela crescente aceleração do progresso da ciência. A primeira envolveu descobertas realizadas mediante o uso de métodos clássicos, puramente químicos; seguiu-se outra fase resultante da aplicação de métodos físicos, como a espectroscopia ótica ou a de raios-X; e finalmente a terceira foi evidenciada pelo uso de técnicas nucleares. Cada fase caracterizou-se pela existência de nicho próprio, bem como pela ocorrência de taxas de evolução distintas. Ver figura 29 na referência (1)

As Figuras 3 e 4 resumem os resultados obtidos respectivamente pelo tratamento logístico e segundo a representação de Fisher-Pry, para as publicações anuais nas *Notas de Física*, bem como seus números cumulativos, listados na Tabela I. Torna-se claro que sua evolução obedece a quatro fases distintas, ocorridas entre os anos 1952-1964; 1964-1974; 1976-1988 e finalmente entre 1988-2008.



Essa abordagem leva a valores dos R^2 individuais mais satisfatórios do que aqueles obtidos por via do método

“parabólico” referentes à publicação anual ou agrupadas em médias trienais, utilizadas em ensaio destinado a testar hipótese de ocorrência de uma única fase ou processo, descrito por uma só logística. Esses valores, bem como aqueles referentes aos processos múltiplos, estão apresentados em cada gráfico das figuras 3 e 4 e resumidos na Tabela II, anexa. Recorde-se que não houve publicação alguma em 1975, ano da absorção e reestruturação do CBPF pelo CNPq.

Finalmente, as figuras 3 e 4 representam também os valores correspondentes ao tempo decorrido para a execução de 80% de cada processo - expresso em anos - denominados Δ , e também as equações das retas das representações de Fisher-Pry obtidas no presente trabalho. Para maior clareza da observância do modelo, os dois primeiros períodos e os dois últimos estão apresentados nas Figuras 3a e 3b em representação logística.

Note-se que a utilização da equação das retas resultantes da representação Fisher-Pry para determinar o valor do número de publicações, num ano determinado, exige, obviamente, a subtração do valor correspondente a tal ano do valor do ano anterior, pois ele é cumulativo – tanto na representação logística simples como na linearizada (Fisher-Pry), isto é, a soma dos dados referentes a todos os anos anteriores. O número de publicações ocorrido no último ano de cada uma das quatro fases, ou processos, está também mostrado nas extremidades superiores dos respectivos gráficos (Fisher-Pry). Nota-se que a redução do número de publicações nos últimos anos.

Recorde-se que, nessa apresentação, a 3^a. coluna da Tabela I representa os números cumulativos das publicações em *Notas de Física* até o ano correspondente. E, finalmente, é fornecido o valor calculado correspondente da vida previsível da publicação, i.é., até o fim de 90% ou 95% do preenchimento de cada um dos quatro “nichos” aqui encontrados.

É interessante notar que aparentemente a redução do número de publicações em certas épocas, bem como seu ulterior crescimento, são contemporâneos da ocorrência dos mais variados episódios políticos de nossa história ao longo dos 56 anos cobertos neste estudo. Assim, a produtividade da revista cai entre os anos 1953 e 1960: suicídio de Vargas, em 1954, e suas seqüelas arrastando-se até 1960, para reduzir-se com a eleição de Juscelino Kubitschek; obviamente, volta a reduzir-se em seguida, até 1964; daí expande-se lentamente até 1974; em 1975 interrompe-se a publicação (caindo a zero por motivo administrativo: o CBPF é absorvido pelo CNPq, por deliberação do Plenário desse Conselho). De 1976 a 1986 observa-se nova retomada de crescimento, que dura até o fim do regime militar (fim do Governo do General João Figueiredo, redemocratização e vésperas da promulgação da Constituição de 1988). Depois desse evento maior, até 2008, notam-se vários episódios marcantes: a destituição do governo Collor (1990); 1998 assiste ao fim do 1º mandato do Presidente Fernando Henrique Cardoso e o controle da inflação; segue-se queda entre 2000 e 2002 (segunda metade do mandato do mesmo Presidente), que coincide com várias crises financeiras internacionais e consequente agravamento de nosso endividamento externo. Observa-se retomada de crescimento, seguida de nova queda, em 2005 (mensalão?). Reinicia-se em ritmo mais lento a expansão, uma vez superada a crise imediata, até 2008, data

final de exame dos dados aqui considerados. Os eventos descritos correspondem, pois às extremidades superiores das representações Fisher-Pry do modelo ou aos termos das representações logísticas. Os máximos de produtividade editorial ocorrem seja nos anos correspondentes aos valores zero nas representações de Fisher-Pry, seja nos valores médios (50%) das representações logísticas. A dificuldade de interpretar ocorrências sem a presente modelagem pode ser avaliada pelo exame da Figura 2, onde estão mostrados os dados brutos dos trabalhos publicados em *Notas de Física*.

3. MODELAGEM DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA INDIVIDUAL

Embora as *Notas de Física* constituam razoável amostra da produção científica do CBPF, teria sido preferível estudar a totalidade dos trabalhos de seus cientistas, dado infelizmente ainda não disponível. Pareceu-nos interessante, por isso, examinar com a mesma abordagem a produção científica de alguns dos mais notáveis cientistas do CBPF já falecidos, como Cesar Lattes, José Leite Lopes, Jaime Timonno e Jacques Danon, com base em seus currículos.

É notável verificar que para todos há períodos de produtividades marcantes, refletindo “vivências” pessoais extraordinárias, portanto típicas, seja, ao contrário, indicadoras de maior emprego de tempo em tarefas não mensuráveis pela presente abordagem, como, por exemplo, a redação de alguma obra didática ou expositiva de maior fôlego; seja por mudança de seus campos de trabalho; seja, talvez, devido a impactos decorrentes de eventos políticos, como aqueles anteriormente descritos neste trabalho. Note-se, contudo, que a produção científica de Jaques Danon pode ser enquadrada por uma única logística.

As figuras 5 e 6 apresentam os dados relativos a Cesar Lattes, na representação logística e Fisher-Pry, respectivamente. Sua produção científica apresenta três fases distintas, com máximos de produtividade em torno de 1949, em 1972 e em 1986 o terceiro.

Figura 5: Função logística do número cumulativo de trabalhos publicados por Cesar Lattes Primeiro Pulso (1945 - 1973) Segundo Pulso (1974-1993)

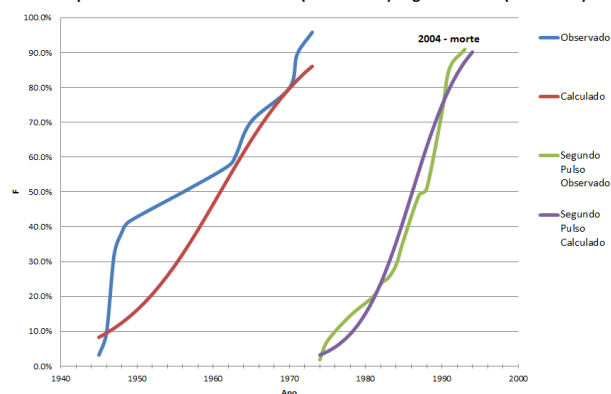


Figura 6: Representação Fisher-Pry do número de trabalhos publicados por Cesar Lattes Primeiro Pulso (1945 - 1973) Segundo Pulso (1974-1993)

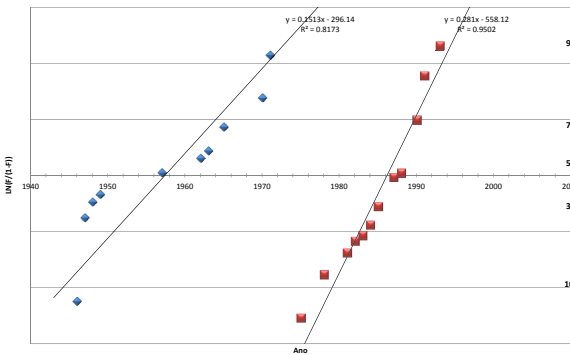
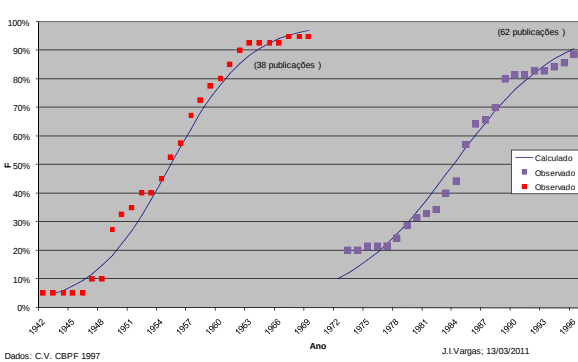


Figura 9: Função logística da produção científica de Jaime Tiomno(1942 - 1996)



No caso de Leite Lopes (Figuras 7 e 8), sua vida científica manifestou-se em duas fases, com máximos de produtividade ocorridos em torno de 1968 e de 1980, respectivamente. Repare-se ainda a brusca interrupção de sua produtividade nos anos sessenta, notadamente a partir de 1964.

Figura 7:Função logística do número cumulativo de trabalhos publicados por José Leite Lopes (1945-1998)

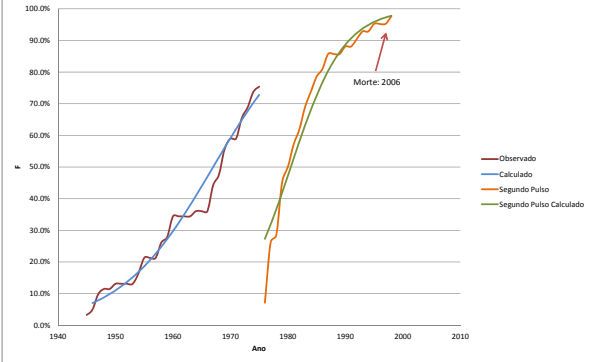


Figura 8: Representação Fisher-Pry da Função Logística do número de trabalhos publicados por José Leite Lopes - Primeiro Pulso (1945-1975) - Segundo Pulso (1976 - 1998)

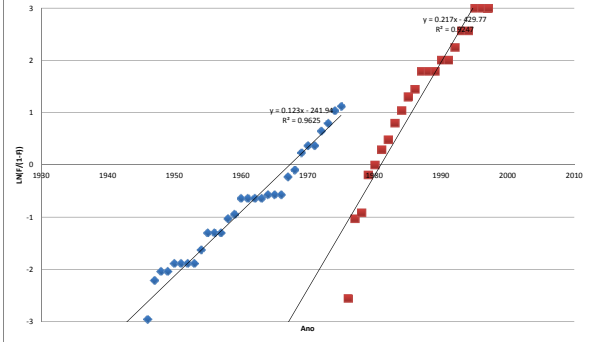
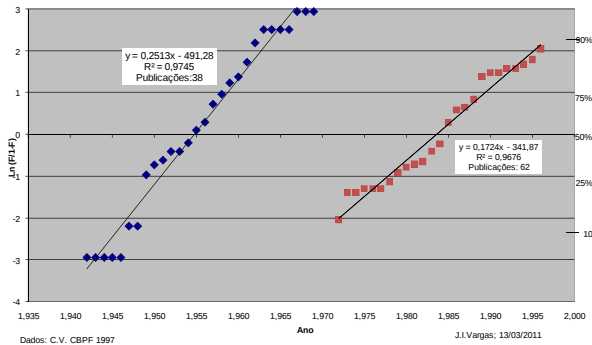


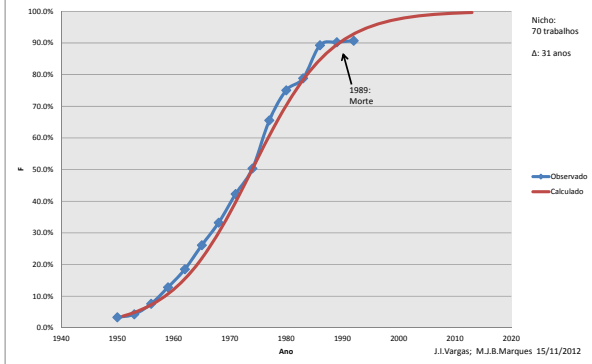
Figura 10 : Representação de Fisher-Pry da função logística da produção científica de Jaime Tiomno (1942 - 1996)

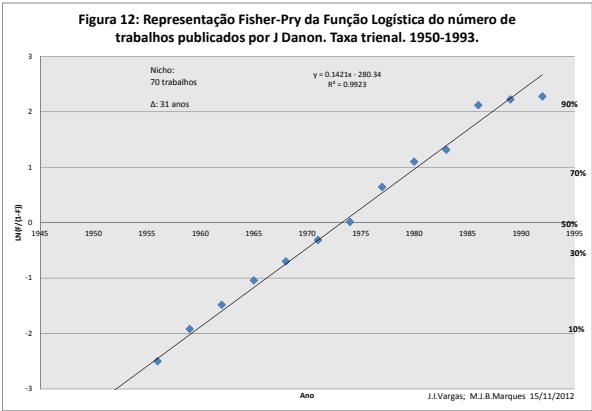


Finalmente a análise dos dados devidos a Jaques Danon revela a ocorrência de um único “processo” produtivo, que transcorreu de 1950 a 1990, revelando máximo de produtividade por volta de 1975, conforme as Figuras 11 e 12. Seria tal comportamento devido ao menor tempo despendido em cada trabalho da pesquisa em Química do que em Física?

Jaime Tiomno (Figuras 9 e 10) apresenta em sua vida científica dois processos, ocorridos entre 1942 e 1969, com máximo em torno de 1956.

Figura 11: Função logística do número de trabalhos publicados por J Danon. Taxa trienal. 1950-1993.





Em conclusão, a função logística é capaz de enquadrar as mais diferentes ações humanas – o trabalho, em suas mais variadas manifestações. As alterações de ritmo de elaboração implicam sempre na ocorrência de várias descrições logísticas. A exploração dessa propriedade será apresentada em artigo próximo, quando serão examinadas periodicidades no consumo de energias primárias, dos produtos internos brutos e das patentes sobre dispositivos ao longo de cinquenta anos referentes a vários países e regiões.

Agradecimentos

Os autores agradecem penhoradamente a Srta. Adélia Salles e ao Prof. Marcio Quintão Moreno pela cuidadosa revisão do trabalho; ao pesquisador Ivan dos Santos Oliveira Junior, do CBPF, pelo fornecimento dos dados sobre *Nota de Física* utilizados neste trabalho. Aos Professores Edson Shibuya, João dos Anjos e Rosa BernsteinScorzelli agradecemos o fornecimento dos currícula respectivamente de Cesar Lattes e de Jaques Danon. As informações relativas aos trabalhos dos Professores José Leite Lopes e Jaime Tiomno foram fornecidas gentilmente pela Sra. Ivanilda Gomes Ferreira, da Diretoria do CBPF.

ANEXO

Tabela 1: Produção Científica do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (Notas De Física)		
Anos	Dados	Cumulativo
1952	11	11
1953	2	13
1954	9	22
1955	13	35
1956	8	43
1957	21	64
1958	26	90
1959	21	111
1960	31	142
1961	28	170
1962	27	197
1963	16	213
1964	10	223
1965	11	234
1966	5	239
1967	20	259
1968	18	277
1969	28	305
1970	15	320
1971	69	389
1972	24	413
1973	36	449
1974	34	483
1975	0	483
1976	36	519
1977	49	568
1978	36	604
1979	40	644
1980	30	674
1981	49	723
1982	48	771
1983	85	856
1984	67	923
1985	87	1010
1986	56	1066
1987	71	1137

Continuação da Tabela 1		
Ano	Dados	Cumulativo
1988	84	1221
1989	59	1280
1990	45	1325
1991	59	1384
1992	45	1429
1993	75	1504
1994	73	1577
1995	91	1668
1996	84	1752
1997	82	1834
1998	81	1915
1999	65	1980
2000	87	2067
2001	69	2136
2002	21	2157
2003	50	2207
2004	35	2242
2005	27	2269
2006	31	2300
2007	28	2328
2008	33	2361

Tabela II: Comparação dos coeficientes de correlações médios dos quatro processos comparativamente ao desvio quadrático obtido supondo-se um único processo nas diferentes representações (Fisher-Pry, Logística, Método parabólico de Omar Campos Ferreira).						
Trabalhos publicados anualmente em notas de Física pelo CBPF.						
Representação	Processo 1 : 1952-1964	Processo 2: 1964-1973	Processo 3: 1976-1988	Processo 4: 1988-2008	R² médio	Um único processo: 1952-2008
Fisher-Pry	0,976	0,958	0,971	0,991	0,974	0,971
Logística	0,986	0,988	0,997	0,990	0,990	0,993
Parábola	0,781	0,509	0,641	0,577	0,627	0,647

[1] Vargas, J.I., *Economia e Energia*, Nos. 45, 46, ago/set.2004, Ibid. out/nov.Rio de Janeiro.

[2] Marchetti, C., *On Time and Crime:A Quantitative Analysis of the Time Pattern of Social and Criminal Activities*,IIASA,WP-85-080-(November,1985); ibi., *Action Curves and Clockwork Geniuses-W.P-85-074-(October-1985)*. International Institute of Applied Systems Analyses, Laxemburg, Austria.

[3] Moods, T., *Predictions*, Simon &Schuster Eds., New York, 1992

[4] Volterra , V., *Leçon sur La Theorie Mathématique de la Llute pour la Vie*, Paris, Gauthier Villars, 1931.

[5] Verhulst, P.F., *Recherche mathématique sur la loi de l'accroissement de la population*”. Nouveaux Mémoires de l’Academie Royale des Sciences et de Belles Lettres de Bru-xelles, **18** (1845).

[6] Lotka, A.J. , *Elements of Physical Biology*, Williams & Willi-ams Co., Baltimore M.D.,1925.

[7] Fischer,J.C., and Pry, R. H. *Technological Forecasting and So-cial Change*, **3**, N° 1,75-88,1971.

[8] Ferreira, Omar C., *Economia & Energia*, n° 46,outubro-novembro, Rio de Janeiro,2004.

[9] Ver também:

(a) Montrol,E.W. and Goel, N.S.
On the Volterra and Other Nonlinear Modes of Interacting Po-pulations,Reviews of Modern Physics, **43**, (2), 1971.

(b)Montrol,E.W. and W.W.Badger,
Introduction to Quantitative Aspects of Social Phenomena; Gordon and Beach Science Publishers,1974.