

CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS DA TEORIA DO CAOS PARA O PENSAMENTO ECONÔMICO

Frederico Jayme Katz *

fkatz@elogica.com.br

A teoria do Caos (TC) é um ramo da matemática que atraiu grande atenção nas duas últimas décadas do século passado. Apesar de não ser mais a moda do momento, representou um sopro inovador por suas colaborações, inclusive para outras ciências. Em relação à Ciência Econômica houve um crescimento na utilização deste desenvolvimento por parte daqueles que trabalham com Economia Matemática, Econometria, Modelagem e Métodos Quantitativos (MQ) em geral, seja como ferramenta, seja como campo de estudo em si. No entanto, pouco reflexo tem tido em trabalhos de economistas não Quantitativistas. Há aqui uma lacuna que precisa ser mais explorada. Pois, os estudos econômicos, se não dos tipos restritos a situações muito limitadas, envolvem a participação de tão grande número de agentes e a influência de tão elevado número de fatores, que constituem sistemas complexos. Nestes, a ocorrência de não linearidades, ou seja, da possibilidade de fenômenos caóticos, é uma eventualidade sempre a considerar. A intenção maior do texto é então tentar colaborar no sentido de mostrar que a TC pode trazer contribuições, especialmente de natureza metodológica, aos Economistas que não utilizam abordagens baseadas em MQ. Esta tarefa é realizada em duas frentes.

No corpo do artigo é onde se desenvolve o esforço dirigido a este objetivo principal. No Item 01, adiantam-se alguns conceitos e idéias, de um conjunto mínimo indispensável, que torna a exposição mais palatável para não matemáticos. Um primeiro ponto gira em torno de um argumento que defende a não existência de incompatibilidades intrínseca entre os mundos das metodologias Quantitativas e o das não Quantitativas. Introduz-se então um pouco do jargão dos exercícios de Sistemas Dinâmicos (SDs), ambiente onde surgiu inicialmente e se desenvolveu a TC. Esta área dos MQ é utilizada em muitas ciências e o objetivo é o de criar pontes entre as linguagens e

· Pesquisador do NEAL, Núcleo de Estudos Para a América Latina, da Católica de Pernambuco. Agradecemos aos Profs. Hidelberto Cabral e Oswaldo de Moraes Sarmiento da UFPE e Abraham Benzaquen Sicsú e Adriano Batista Dias da Fundaj, pelas sugestões e correções. Naturalmente os mesmos não são responsáveis pelos erros certamente ainda existentes neste texto. Este artigo é uma nova versão do Texto Para Discussão Nº 10 da Série Teilhard de Chardin do NEAL, "Teoria do Caos. Só Para Matemáticos?". Agradecemos aos participantes das discussões geradas pela sua apresentação.

facilitar o entendimento. É neste contexto que o fenômeno do Caos é trazido a cena.

O Item 02 é onde se tomarão exemplos de desenvolvimentos não Quantitativos de áreas do Pensamento Econômico, para tentar mostrar quanto à plena consciência conceitual da TC pode facilitar avanços por enriquecer a metodologia de trabalho. Outro ganho decorre do fato de que concepções, como o Princípio da Causação Circular e Acumulativa, com seus círculos viciosos e virtuosos, por exemplo, de utilização bastante difundida em muitas áreas de economia, serão analisadas à luz de raciocínios da TC. Segue-se o Item 03 com uma breve conclusão.

Em outra frente se reuniu material informativo sobre a TC em quatro anexos. Os mesmos poderão ser consultados havendo interesse, mas não são essenciais para a compreensão do texto principal. A característica distintiva dos mesmos é a utilização de uma forma de apresentação que demanda o menos possível conhecimentos matemáticos. No Anexo 01 tenta-se desmistificar a falsa contradição entre metodologias quantitativas e não quantitativas. O argumento central é que a Matemática transcende os limites de uma simples ferramenta de cálculo, e funciona como uma linguagem muito adequada para a síntese de raciocínios. No Anexo 02 apresenta-se dois exemplos de como se constroem as trajetórias dos SDs. No ANEXO 03 é desenvolvido mais detalhadamente a apresentação de um exercício muito elucidativo que se vincula ao recente despertar científico para a TC. Finalmente, no ANEXO 04, apresenta-se alguns exemplos de utilizações da TC, enquanto ferramenta de MQ, em estudos de diversos temas econômicos.

1. PRELIMINARES

Um bom ponto de partida é a apresentação de um conceito de TC. Em consonância com a estratégia de minimizar a utilização de linguagem técnica, adota-se aqui uma definição mais informal. Assim, pode-se dizer que a TC estuda comportamentos irregulares de certa natureza. Imagine-se uma situação muito bem definida, onde o comportamento dos agentes é previsível com precisão, ou seja, um sistema determinístico em operação. Neste tipo de situação seria de se esperar que fosse sempre possível antecipar a posição aproximada, pelo menos a direção, do resultado da ação combinada dos agentes no tempo. No entanto, em certos sistemas em certas circunstâncias, surgem comportamentos inesperados levando o resultado para posições inusitadas, isto quando o Caos se manifesta. Em assim sendo, só se pode

conhecer a posição do resultado do sistema em um determinado momento se o mesmo for efetivamente calculado. As características que envolvem este aparente paradoxo serão esclarecidas na seqüência com a importante ajuda de exemplos ¹.

1.1 Elementos Comuns às Metodologias Quantitativas e Não Quantitativas. Os Sistemas Dinâmicos.

A TC avançou inicialmente a partir do trabalho de cientistas que lidavam com Sistemas Dinâmicos (SDs) em Ciências como a Física, a Meteorologia, a Biologia e outras. É então conveniente detalhar um pouco do jargão específico utilizado para trabalhar com os mesmos, até porque isto deixará claro que aspectos metodológicos importantes, como a abstração e a sistematização, por exemplo, são similarmente empregadas na Economia.

De uma forma ampla, a modelagem é uma linha de trabalho através da qual se procura montar uma representação de determinado fenômeno do mundo real, que se pretende estudar. A abstração é exercitada escolhendo-se um número manejável, naturalmente pequeno, de agentes relevantes em relação àquela problemática específica. No caso dos SDs, entra em cena a matemática simplificadora e representa-se cada agente através de uma variável, e a inter-relação entre os mesmos por relações funcionais (equações). A este conjunto de equações dá-se o nome de Sistema para indicar que se trata de algo que tem partes e, também, pode ser tratado como um todo. No caso dos SDs o modelo destina-se a estudar os processos de mudança dos agentes, daí dizer-se que são dinâmicos e incluir-se o tempo como outra componente do sistema. O número de variáveis do SD determina sua Dimensão ².

Suponha-se, por exemplo, um sistema biológico fechado onde convivem três populações de animais diferentes, e considere-se cada população como um agente. O tamanho de cada população poderia ser representado por uma variável numérica. Cada equação do SD relacionaria a taxa de mudança no tempo de uma das variáveis, com uma combinação dos

¹ As informações sobre a TC apresentadas ao longo do texto não têm nenhuma pretensão de sofisticação ou completitude. Os Fractais, por exemplo, que comporiam uma ‘geometria’ da TC não foram abordados.

² “La esencia de la dinámica estriba en que en ella aparecen ligadas funcionalmente las variables económicas correspondientes a distintos instantes o, lo que es lo mismo, en que existen relaciones funcionales entre las variables económicas y sus coeficientes de variación, es decir, sus ‘velocidades’ sus ‘aceleraciones’ o sus ‘derivadas de derivadas’ de orden superior”. (Samuelson 1970, pp.394/5).

valores das outras. A natureza destes relacionamentos, expressas nestas fórmulas matemáticas, seria definida a partir da existência, por exemplo, da disputa por alimentos ou de ações predatórias (Kamminga 1990, p.51).

A abordagem quantitativa permite que cada agente tenha sua situação em cada momento representada por um número, que será diferente quando a situação do agente mudar. Este número deve representar a dimensão referente a uma qualidade relevante do agente. No caso acima seria o tamanho de cada população. O Estado do SD em um determinado momento é dado pelo valor de cada um dos agentes (variáveis) naquele momento. Imaginando-se um sistema bi, tri ou multi dimensional (se tivermos duas, três ou mais variáveis) cada Estado do Sistema pode ser visto como um ponto de um espaço chamado Espaço de Fase. À medida que passa o tempo, este ponto descreve uma trajetória (Linha de Fase) que representa a evolução do Estado no Sistema. Em certos SDs, após alguns movimentos, a Linha de Fase vai se aproximar e se localizar em uma região restrita do Espaço de Fase chamada de Atrator. Um SD pode ter mais de um Atrator e as condições iniciais definirão para qual deles se dirigirá o Sistema (Campbell et al 1985, p.375) ³.

A evolução do fenômeno real que se está estudando aparece no SD na forma destas trajetórias, que passam a ser centrais na análise do seu desenvolvimento e propriedades. Dependendo das características do Sistema a mesma pode ter comportamentos diversos.

1.2 Tipos de trajetórias de SDs tradicionalmente consideradas.

Tradicionalmente, os estudos concentram-se em visualizar o Equilíbrio Estável. Em manuais utilizados por muito tempo em cursos de economia como, por exemplo, o Chiang ou o Weber, se observa que, grosso modo, as variadas situações apontadas podem ser reunidas em dois grupos conforme Esquema 1 ⁴. No primeiro grupo, o caso mais simples, e que desperta maior interesse, é o Equilíbrio Estável, onde o sistema, mesmo submetido a interferências temporárias, tende eventualmente a estacionar em um ponto ⁵. Por exemplo, podemos imaginar uma bola dentro de um recipiente com a

³ Os termos ‘dinâmicos’ e ‘fase’ lembram a forte influência da Física (Mecânica e Eletricidade) nestes estudos.

⁴ Ver, por exemplo, Chiang pp.431/2, 489, 493/4 e 497 e Weber pp.496/7. Para maior precisão, Chiang, na p.502, numa breve passagem, e em dois exercícios, aponta a possibilidade de casos mais complicados que ficam perdidos nas mais de 100 páginas de sua Análise Dinâmica.

⁵ No caso, esta obsessão com equilíbrio é reflexo da influência da predominante vertente Neoclássica.

concavidade voltada para cima. Este ponto de Equilíbrio Estável é chamado de Ponto Fixo. Os teoremas sobre as possibilidades de sua existência são muito estudados na Teoria do Equilíbrio Geral. Outro caso do primeiro grupo é aquele onde o Atrator, ao invés de ser apenas um, é um conjunto de pontos e o SD tende a ficar oscilando entre eles. O conjunto de pontos solução é chamado de Ciclo Limite. No segundo grupo se situariam os SDs cujas trajetórias não são convergentes e estariam sempre se afastando de um ponto inicial ⁶.

Esquema 1 - Trajetórias Usuais dos SDs

Grupo 1 Que levam ao Equilíbrio	a. Estável, em um ponto
	b. Ciclo Limite: leva a mais de um ponto
Grupo 2 Divergentes	a. Crescentes
	b. Decrescentes
	c. Oscilantes

Um exemplo gráfico mostra na Figura 1a, adaptada de Chiang, 1982, p. 494, um SD, o Ciclo da Teia de Aranha, utilizados em estudos de equilíbrio entre demanda e oferta. Na figura 1b está sua Seqüência Solução ou trajetória. Para maiores detalhes acerca do funcionamento deste SD e de como se gera o desenho de sua trajetória ver o ANEXO 02. Estas figuras 1 representam o caso do Ponto Fixo. Vale notar que as inclinações das curvas de oferta e de demanda é que definirão o tipo de trajetória que se forma.

A figura 2, Weber, 1986, p.497, é de uma Trajetória para o caso onde se estabelece um Ciclo Limite com dois pontos de equilíbrio (como em um

⁶ Este conjunto de trajetórias cobre as situações que, em geral, aparecem nos estudos de problemas econômicos. Em um criativo artigo, Samuelson, utilizando um SD linear, prevê quatro possíveis trajetórias para o Produto Nacional, de acordo com as combinações de valores do Multiplicador e do Acelerador. Duas das trajetórias, uma oscilante a outras não, se dirigem para um Ponto Fixo, estariam no primeiro caso do primeiro grupo. As outras duas, onde também uma é oscilante e a outra não, são ambas explosivas, como as do segundo grupo (Samuelson 1969, pp.166/7). Outros autores como Shapiro 1972, p.385, localiza uma quinta trajetória que corresponde ao segundo caso do primeiro grupo.

metrônomo), e a figura 3, adaptada de Weber, 1986, p.497, mostra os casos localizados no segundo grupo, de trajetórias explosivas *a*, *b*, *c*.

Figura 1a
Ciclo da Teia de Aranha Estável em um Ponto

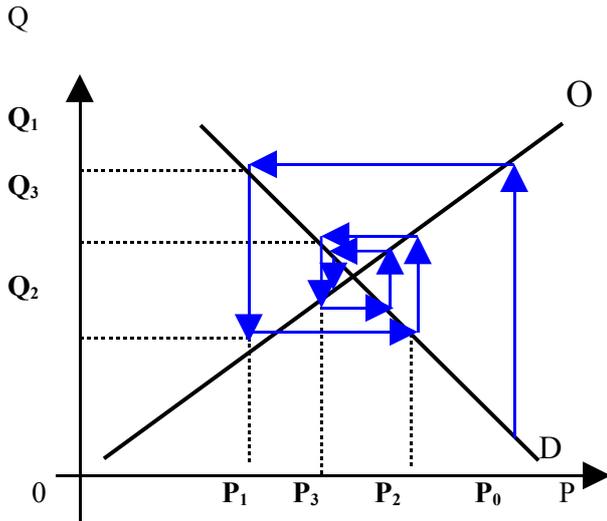


Figura 1b
Trajetória Equilíbrio

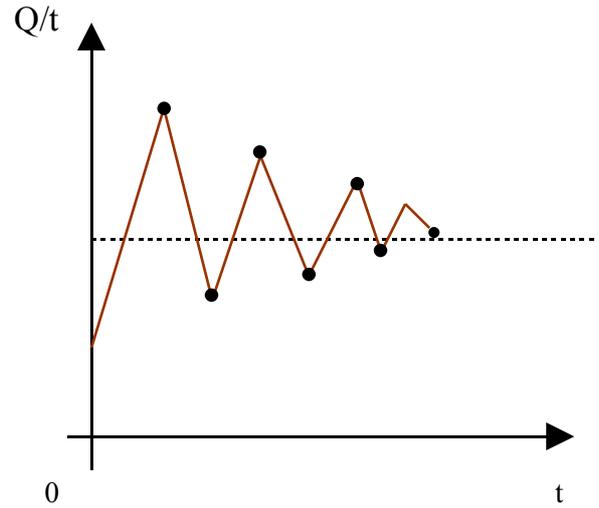


Figura 2
Equilíbrio Estável em dois Pontos

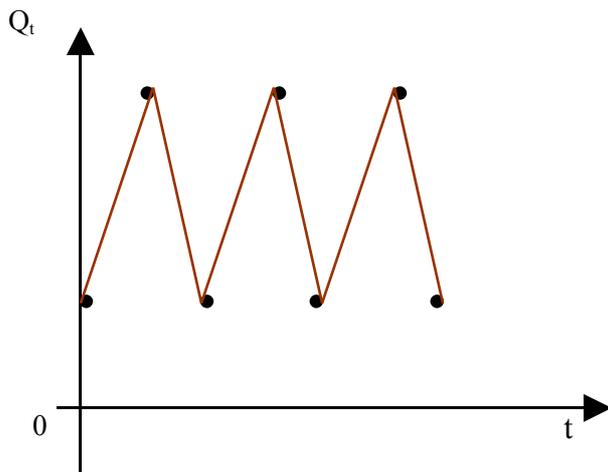
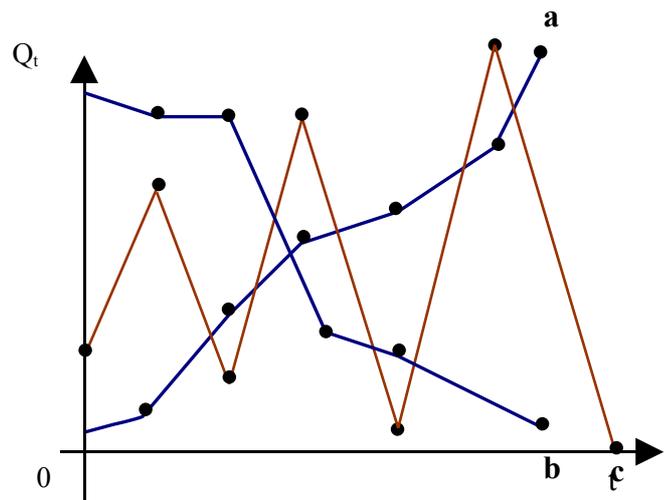


Figura 3
Trajetórias Divergentes



É importante esclarecer que a concentração nas situações que se enquadram nestes dois grupos, usual até três décadas atrás, não era

exclusividade dos manuais de economia. Este panorama se estendia também para as Engenharias e mesmo para a Física. Isto se deve a uma importante razão que é a dificuldade operacional. Pois, as formulações matemáticas que não apresentam grandes problemas de tratamento, SDs lineares ou quando não lineares de reduzida dimensão (menor que três), levam exatamente a estes tipos de trajetórias ⁷. Porém, os sistemas não lineares de dimensão maior que três não têm solução analítica geral e, aparte alguns casos especiais, o seu tratamento é extremamente difícil e em muitos casos impossível. Vemos então que, forçosamente as limitações nas ferramentas matemáticas vinham se refletido em restrições na modelagem ⁸.

1.3 Trajetórias de SDs com Caos.

Cientistas de outras áreas não se conformavam com as limitações da matemática, pois necessitavam utilizar modelos mais complexos, não lineares e de maior dimensão, que melhor representassem os fenômenos reais que estudavam. No entanto, além dos estudos científicos específicos e da matemática pura, foi necessário que entrasse em cena um terceiro agente para que esta necessidade fosse atendida. Este era indispensável para tratar o enorme volume de informações e as complexas inter-relações entre as variáveis envolvidas. Trata-se da colaboração da matemática aplicada, especificamente aquela apoiada nos computadores, já que estes permitiam incursões por estas áreas utilizando métodos iterativos, e outros, para resolver, ou pelo menos analisar qualitativamente, os SDs até então praticamente inatingíveis. As simulações e observações pictóricas permitidas por estes novos instrumentos em muito reforçam a intuição científica, tão fundamental para importantes descobertas (Campbell et al 1985, pp. 374 e 380/2 e Moreira 1992, p.16).

Foi esta combinação que permitiu importantes avanços nestas ciências. Também, em alguns casos ate de forma inesperada, fez surgir diversos avanços na TC, a partir da crucial colaboração do trabalho de cientistas de outras áreas, como Lorenz que é um meteorologista e May um biólogo. Isto reforça a visão da matemática como uma linguagem, e a criação científica

⁷ Os Sistemas Lineares são muito utilizados porque sempre têm solução analítica. Além do mais, em geral, mesmo fenômenos complexos podem ser bem representados (localmente) por um conjunto de equações lineares. Em face de outras dificuldades de simulação introduziam-se elementos estocásticos para completar o modelo.

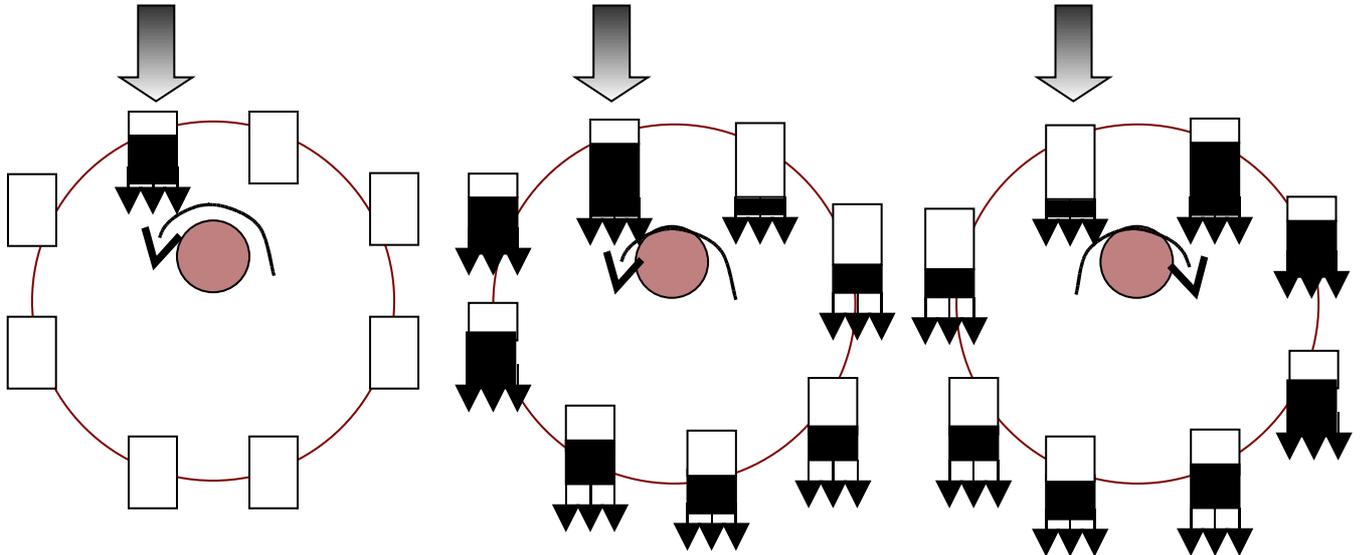
⁸ Vale notar que os exercícios com restrições como economias com só um bem, com apenas dois mercados etc. devem merecer, além dos cuidados naturais com as abstrações, especial atenção. Pois, ao encolherem a dimensão do SD, podem estar tolhendo a possibilidade de aparecimento de outros tipos de fenômenos.

aparece como um processo de retro alimentação onde achados em meteorologia ou biologia, por exemplo, vão disparar avanços em estudos de matemática pura que por sua vez retornam dando maior rigor às novas pesquisas naquelas áreas. É o tratamento de questões do mundo real suscitando novos problemas que demandam novas ferramentas, este conjunto, impulsionando o avanço do conhecimento. É possível apresentar exemplos simples e muito esclarecedores

Uma visão muito elucidativa da ocorrência do Caos pode ser observada com o exemplo de um SD, a Roda D'água de Lorenz, ilustrado na figura 4, Gleick, 1989, p. 27. Este equipamento é formado por um eixo ao qual estão presos diversos baldes que têm um ou mais furos. Se o fluxo de água é pequeno o balde de cima não se enche, pois sai tanta água pelos buracos quanto traz o fluxo. O balde leve não vence o atrito e a roda fica parada. Se aumentar o fluxo, e cair mais água no balde do que a que sai pelos buracos, seu peso aumenta, e num certo momento, vencido o atrito, ele movimenta a roda dando a vez para o seguinte, a sua direita, que também começa a encher, e a roda vai girando. Os baldes, enquanto descem pela esquerda e sobem pela direita, vão perdendo água pelos buracos e ficando mais leves, contribuindo para a movimentação harmônica do SD. Se o fluxo aumenta mais um pouco, a velocidade da roda aumenta. Mas, se o fluxo aumentar além de certo ponto, o movimento fica caótico. As não linearidades do SD começam a manifestar sua influência. Com o fluxo e a roda muito rápidos os baldes não têm tempo suficiente para encher quando estão em cima à esquerda e, conseqüentemente, não ficam muito pesados para pressionar a roda para baixo. Por outro lado, a rapidez do movimento de circulação, não permite que enquanto descem pela esquerda e sobem pela direita se esvaziem completamente, retendo peso, o que também atrapalha a harmonia do movimento. A roda gira numa direção, depois gira na outra, invertendo seu movimento repetida e irregularmente, Gleick, 1989, p.27.

A experiência da Roda D'água de Lorenz é algo muito simples e ao mesmo tempo possuidora de uma enorme capacidade sugestiva. Ela exemplifica a lógica e funcionamento de certos processos que se desenvolvem de determinada maneira, e em certa direção, se fortalecendo e reafirmando ao ter sua força motriz aumentada. Isto pode continuar crescendo, mas em certos casos, após certo ponto, aumentos adicionais na força motriz tumultuam o movimento e, em certas condições, o revertem. Ora, isto se choca fortemente com os raciocínios usuais com os quais se está habituado e mostra as possibilidades de avanços possíveis ao se incorporar às colaborações da TC à maneira como se costuma pensar. Do ponto de vista Metodológico mostra a necessidade de se ampliar o mapa das trajetórias consideradas tradicionalmente, para incluir possibilidades de Caos.

Figura 4 A Roda D'água de Lorenz



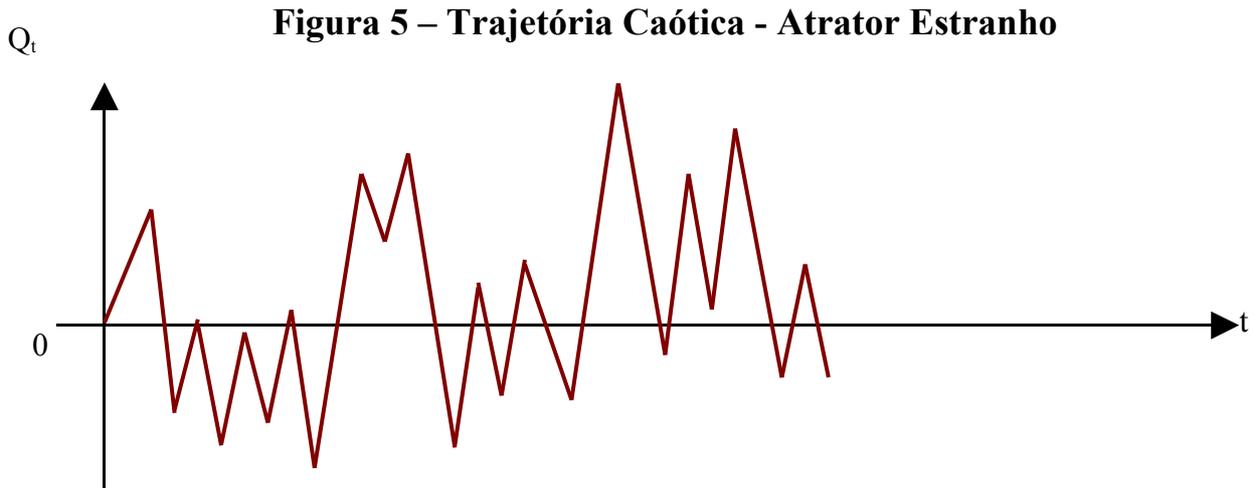
Para ilustrar, de forma similar às das outras trajetórias, um SD onde o Caos ocorre teria uma trajetória como a exibida na Figura 5, Gleick, 1989, p. 28, na pagina seguinte. Os pontos da Seqüência Solução nunca se repetem desenhando uma trajetória de infinita complexidade

Outro elemento interessante da TC foi também descoberto por Lorenz, no início da década dos sessenta. Ele havia estabelecido um sistema de três equações diferenciais, contendo não linearidades, para utilizar como modelo para previsão do tempo ⁹. Pode realizar o exercício porque dispunha de um computador que, apesar de bastante primitivo se comparados aos de hoje, era um dos mais avançados da época. Lorenz obtinha informações de estações de observações, introduzia-as no computador junto com o modelo e o acionava. O mesmo então passava a fornecer previsões sobre os valores que tomariam as variáveis em momentos subseqüentes. Aconteceu um dia, em 1961, que Lorenz desejando reexaminar uma seqüência obtida antes, digitou valores das variáveis de um momento intermediário, fornecidos pela máquina, e rodou o mesmo programa. Após certo tempo verificou que os novos valores obtidos diferiam daqueles determinados anteriormente. Após alguma análise concluiu

⁹ A título de curiosidade, este SD de Lorenz era:

$$\begin{aligned} dx/dt &= 10x + 10y \\ dy/dt &= xz + 28x - y \\ dz/dt &= xy - (8/3)z \end{aligned}$$

que o fato se devia a que o computador imprimia os valores com arredondamento. Então, a nova série que ele iniciou diferia por valores muito pequenos nos seus dados de partida, daquela que o computador tinha continuado a desenvolver antes. No entanto, depois de certo tempo, passou a divergir fortemente nos resultados. Este fenômeno passou a ser conhecido com Sensível Dependência dos Valores Iniciais (Gleick pp. 15/8) ¹⁰.

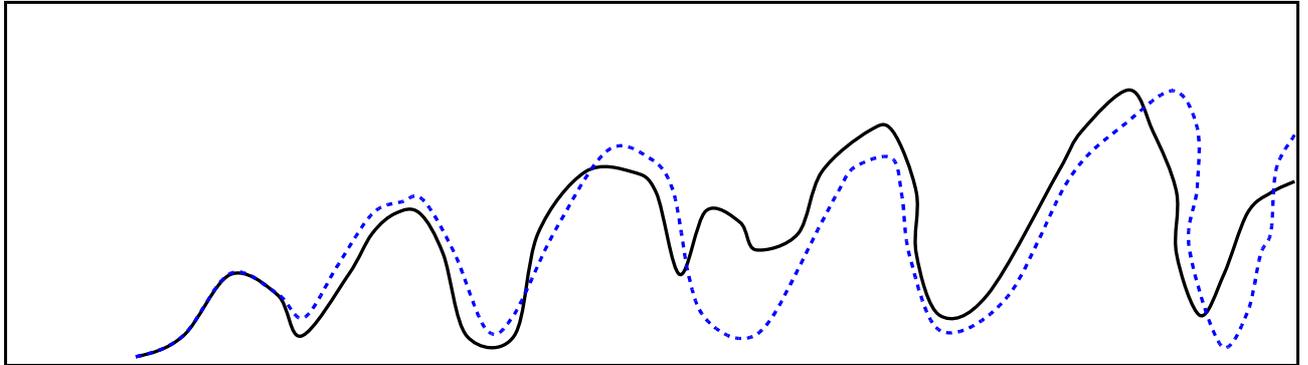


Em um sistema linear, ou se não linear de dimensão máxima dois, que converge, trajetórias que partem de posições iniciais vizinhas caminham para equilíbrios próximos. Se o sistema diverge, teremos ambas as Sequências Solução se afastando dos pontos de partida, porém, ambas acompanhando tendências similares. O caso aqui era bem distinto, pois, os padrões que se estabeleciam nas duas trajetórias, a partir de certo ponto, eram absolutamente diferentes com se ilustra na figura 6, Gleick, 1989, p.17. Pontos bem próximos vão resultar em Estados do SD bem distantes, fazendo com que dois padrões de clima inicialmente similares divirjam fortemente.

Na verdade, em certas condições, os SDs de Lorenz não se dirigiam para nenhum dos Atratores usualmente descritos. O ponto descrevia uma trajetória no Espaço de Fase que ora crescia ora diminuía sem estabelecer padrão, depois de um tempo oscilava numa certa região para em seguida se afastar da mesma iniciando outras evoluções absolutamente inéditas. O SD tinha um Atrator Estranho, que é um novo tipo de Atrator estudado pela TC.

¹⁰ Lorenz escreveu um artigo descrevendo o fato e o apresentou à Associação Americana para o Progresso da Ciência em 1976. O título do mesmo, “Predictability: Does the Flap of a Butterfly’s Wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?”, ou variações, tornou-se uma expressão muito utilizada.

Figura 6
O Efeito Borboleta



A existência de não linearidades nas relações funcionais dos SDs é a explicação para os comportamentos caóticos. Elas podem aparecer, por exemplo, quando temos dois componentes do SD que interagem e surgem no mesmo termo nas equações. Velocidade e atrito exemplificam bem. Quanto mais cresce a velocidade, maior o atrito que por aumentar pressiona no sentido de diminuir a velocidade. O resultado final dessa combinação de efeitos em termos da direção da variação na quantidade de energia necessária para acelerar um corpo pode ser variado. Daí a condução para situações, onde algumas das quais podem se tornar caóticas ¹¹. Os cientistas durante muito tempo pouco cuidaram das não linearidades devido à dificuldade de sua abordagem matemática. Mas, se a natureza é tipicamente não linear, o que dizer da Economia? ¹² ¹³. A riqueza conferida pelas não linearidades aos SDs é outro aspecto importante iluminado pela colaboração da TC.

Apesar dessas possibilidades de irregularidades os aviões voam e os carros andam, ainda bem, sem maiores manifestações de caos. O que ocorre é que dentro de determinada amplitude (das variáveis e/ou parâmetros), mesmo

¹¹ Gleick 1987, p.24, diz, com muita inspiração: “Nonlinearity means that the act of playing the game has a way of changing the rules.”

¹² Assim, até recentemente a Teoria Matemática da Física, por exemplo, era desenvolvida, quase exclusivamente utilizando equações lineares (Kamminga, 1990, p.51).

¹³ Segundo Campbell et al 1985, p.374, a expressão Ciência Não-linear transmite uma informação inadequada pois parece sugerir que problemas lineares são o que há de geral na natureza o que é o oposto da verdade. Relatam um dito espirituoso de S. Ulam, de que a utilização deste termo equivaleria a referir-se a maioria da Zoologia como o estudo dos animais não paquidérmicos.

as não linearidades produzem trajetórias comportadas. Fora destes limites, que podem ser bastante amplos para as dimensões das operações de nosso dia a dia, é que podem gerar caos ¹⁴. Há mais um exercício muito ilustrativo em relação a SDs que dentro de certa amplitude funcionam ‘normalmente’, e quando os limites são excedidos o Caos se apresenta. Trata-se do material de um artigo clássico de um dos expoentes da Teoria do Caos, o biólogo Robert M. May (May 1976), que é apresentado no ANEXO 03.

2. CAOS E METODOLOGIA NA CIÊNCIA ECONÔMICA. PARA ALÉM DOS MQ

A difusão da TC tem permitido avanços na Ciência Econômica, sendo que os aportes têm surgido na forma de contribuições diretas aos MQ que a apóiam, e não às idéias mais nucleares de sua teoria propriamente dita. Mas, a TC tem muito mais a contribuir, especialmente em relação a questões metodológicas.

Serão dois os tipos de situações utilizadas na fundamentação desta argumentação. O primeiro tipo é aquele onde as possibilidades exploradas nas análises não incluem, ou não incluem com algum destaque, a ocorrência de episódio Caótico. O enriquecimento metodológico neste caso pode ser obtido pelo desenvolvimento de um novo olhar, sistêmico, que admita perceber a possibilidades de ocorrência de Caos. Em outras palavras, que incorpore nas previsões a possibilidade de trajetórias Caóticas (inesperadas). O segundo tipo de situação é aquele onde as análises, embora não embasadas na TC, na prática, já incluem previsões de algo equivalente a esta possibilidade, ou mesmo verificam a ocorrência, de Caos. Então, sem que a mesma esteja explicitada e exaustivamente explorada, estes exercícios, devido ao rigor teórico, e ou a precisão da análise do real, trouxeram a tona esta possibilidade, mas poderiam avançar mais se providos da TC.

2.1 Perceber a Possibilidade de Ocorrência de Caos.

¹⁴ Um fenômeno real, como a oscilação de um pêndulo, pode ser bem representado por um sistema linear para determinados valores. Certos efeitos podem ser desprezados e outros convenientemente simulados por relações lineares se a oscilação for pequena. Se a amplitude do movimento se amplia estas simplificações podem comprometer as previsões.

O primeiro caso analisado é na área de Desenvolvimento Econômico, e mostra-se que sua apreciação, no contexto de Sistemas Dinâmicos, traz à tona a existência de toda uma classe de situações que permeia este e outros segmentos da Ciência Econômica. Trata-se de contextos onde operaria o Princípio da Causação Circular e Acumulativa (PCCA) e, em relação a este grupo, a TC traz, sem dúvida, novas possibilidades.

2.1.1 Área: Desenvolvimento do Capitalismo na Periferia. Inicialmente, procura-se relacionar certos posicionamentos com uma forma de raciocinar que permeia muitas áreas da Ciência Econômica, o Princípio da Causação Circular e Acumulativa (PCCA). O PCCA é uma idéia muito arraigada nas mentes em geral, uma verdadeira estrutura de raciocínio tão usual que dificilmente se poderia determinar a existência de um autor para a mesma. Muitas vezes sua origem é associada a Myrdal, porque o mesmo apresentou-a de forma explícita e ordenada. Porém, antecessores seus, Cepalinos ou não, já tinham discutido raciocínios similares ¹⁵.

Myrdal apresentou como sua grande preocupação “as enormes e sempre crescentes desigualdades econômicas entre os países desenvolvidos e subdesenvolvidos” que ele entendia existir (Myrdal 1972, p.12). Enquanto nos primeiros o desenvolvimento econômico continuava firme, sempre apresentando melhores valores para os diversos indicadores econômico-sociais, na periferia o ritmo de melhora era mais lento, quando não ocorria a estagnação ou mesmo deterioração na qualidade de vida (idem p.20/1).

O aumento nesta desigualdade estaria se dando devido à ação do PCCA em ambas as pontas do processo. Nos países subdesenvolvidos funcionaria um ‘circulo vicioso’ onde “um fator negativo era, simultaneamente, causa e efeito de outros fatores negativos” (Myrdal 1972, p.31). Um país pobre, com população sofrida e com baixa produtividade, pouco poderia poupar, investir, aumentar quantitativa e qualitativamente sua produção e, como também teria dificuldade em atrair investimentos externos, continuava pobre, se não mais miserável ainda. No outro pólo se situariam os países desenvolvidos onde poderia se dizer que funcionava um ‘circulo virtuoso’ o PCCA benéfico. “É óbvio que uma relação circular entre menos pobreza, mais alimento, melhor saúde e mais alta capacidade de trabalho, manteria um processo acumulativo em ascensão, em vez de descensão”. (Myrdal 1972, p.32).

Abandonado as suas tendências naturais, o PCCA levaria ao aumento das desigualdades. Seria necessário então intervir no processo, o que ia de encontro ao preceito predominante do Laissez Faire. Daí o ataque de Myrdal a

¹⁵ Mantega, 1984, pp.48/57, por exemplo, considera que o crédito pelo PCCA deveria ir para Nurkse.

concepção Neoclássica da tendência ao equilíbrio que ele refere como Equilíbrio Estável.

“O que está errado, ao se aplicar à hipótese do equilíbrio estável à realidade social, é a própria idéia de que o processo social tende a uma posição que se possa descrever como estado de equilíbrio entre forças. Por trás dessa idéia, encontra-se outra hipótese, ainda mais fundamental, de que a mudança tende a provocar reações que operam em sentido oposto ao da primeira mudança. A idéia que pretendo expor é a de que, ao contrário, em geral não se verifica essa tendência à auto-estabilização automática no sistema social”. (Myrdal 1972, pp.33/4).

Assim, o autor propõe substituir o conceito do Equilíbrio Estável pelo de PCCA como principal hipótese para o estudo do subdesenvolvimento (Myrdal 1972, p.47). Mais que isto, o autor concebia o PCCA como núcleo de toda uma nova teoria social (Idem pp.154/5) e propôs esta nova maneira de raciocinar em oposição à outra previamente existente do Equilíbrio Estável. (Idem pp.193/4) ¹⁶.

Em termos de SDs pode-se fazer uma correspondência entre aqueles com Ponto Fixo e o modelo Neoclássico com seu Equilíbrio Estável. O que Myrdal defende é que este tipo de SD não é adequado para analisar problemas como aqueles que lhe interessavam. Propõe então, como ‘principal hipótese’ ou seja, como modelo de SD preferencial, aqueles com trajetórias explosivas como os da figura 3. Estes representam de fato situações onde o próprio funcionamento do fenômeno reforça suas tendências, potencialmente aumentando seu vigor e consumando seu direcionamento, consistentemente, no mesmo sentido. Há que se concordar com a denúncia de Myrdal, inclusive que o PCCA e seus SDs associados representam a maneira como a maior parte dos processos funcionam durante a maior parte do tempo. No entanto, é

¹⁶ Naturalmente Myrdal não apresentou uma versão simplista do processo que, em absoluto, não mencionasse outros tipos de movimento. Ao lado de ‘efeitos regressivos’ que alimentam os ‘círculos’ nos pólos ajudando a aumentar as desigualdades, ele também menciona a possibilidade de existência de ‘efeitos propulsores’ e de ‘mudanças compensatórias’ que atuariam em sentido inverso ao PCCA. (Myrdal 1972, pp.53, 58/61 e 63/7). Porém, estes últimos seriam fortes em países avançados e fracos em países periféricos e o que predominaria seria a tendência ao aumento da desigualdade (Myrdal 1972, pp.62/3 e 91/2). Assim, estes elementos aparecem mais como uma ressalva do trabalho que realmente se afirma como uma crítica a utilização do paradigma do Equilíbrio Estável e em favor do PCCA.

necessário reservar espaço para outras possibilidades. Volta-se a este ponto mais adiante.

Observa-se também que o PCCA estende sua influência bem além da Escola Cepalina. Diversas outras vertentes de análise que se desenvolveram a seguir, algumas em oposição à da CEPAL, como as Teorias do Subdesenvolvimento, da Dependência ou do Capitalismo Periférico, para citar apenas as mais famosas, incorporaram o PCCA como raciocínio dominante. Todas estão baseadas na idéia de transferência de excedentes da periferia para o centro (deterioração dos termos de intercâmbio, remessas de lucros e de royalties etc., troca desigual etc.) enfraquecendo a primeira em vantagem do segundo e aprofundando o *gap* existente entre os mesmos. Apesar de apresentarem a questão sob formas diferentes, neste ponto todas estão de acordo, confirmando a formidável amplitude da influência deste Princípio. As discordâncias se situam realmente no fato da vertente Cepalina acreditar que a interferência econômica do Estado, com o desenvolvimentismo, seria suficiente para superar esta problemática, nos marcos do capitalismo.

2.1.2 Área: Economia do Trabalho. Na verdade verifica-se que o PCCA transcende a discussão acerca do desenvolvimento do capitalismo na periferia. Está presente, por exemplo, na área de Economia do Trabalho, nos estudos sobre a Segmentação do Mercado de Trabalho, por exemplo no modelo de Vietorisz e Harrinson.

Também declarando insatisfação com o paradigma Neoclássico, que estaria comprometido com convergência para o equilíbrio enquanto que a segmentação do mercado de trabalho é caracterizada pelo desenvolvimento divergente, os autores utilizam, declaradamente, formas de raciocínio na linha de Myrdal particularmente o PCCA (Vietorisz e Harrinson 1973, p.367). Apresentam então, de um lado, os mercados de trabalho primários com seu ‘circulo virtuoso’ se reforçando, estavelmente jogando para cima as condições de trabalho daqueles ali envolvidos, e do outro lado o ‘circulo vicioso’ do mercado de trabalho secundário com suas precárias condições de vida, também sendo realimentadas em direção negativa (Idem p.366).

Sem intenção de esgotar o assunto, vale a pena destacar alguns elementos técnicos apresentados. Ao analisar os mecanismos daqueles movimentos, os autores conceituam Feedback como um ciclo fechado de causação em sistemas complexos cujas partes estão dinamicamente relacionadas. Consideram o Feedback como negativo quando uma ação inicial em certo sentido induz movimentos em sentido contrário (Vietorisz e Harrinson 1973, p.367). Trata-se do mecanismo clássico de condução ao Equilíbrio Estável. Já o Feedback positivo é aquele em que o efeito induzido

tem a mesma direção, e reforça a ação inicial. Aqui se pode fazer uma associação com o PCCA. Os dois tipos de feedback estariam presentes por trás da cena do funcionamento do mercado de trabalho, mas os do segundo tipo superariam a influência dos do primeiro tipo (Idem, p.369). Porém, segmentação significa também, além de divergência entre os blocos, a necessidade de ocorrer coesão dentro dos mesmos. Para completar esta explicação evocam os ‘efeitos regressivos e propulsores’ de Myrdal, sendo que, no caso, ‘efeitos propulsores’ dominantes localmente resultariam na coesão. O mais importante entre estes é a mobilidade que é muito alta dentro de cada bloco. Mas as diferenças em qualificação fazem com que a mobilidade entre blocos seja baixa e, considerado o mercado como um todo, a segmentação se reproduz (Idem pp.371/3). Como nos estudos referentes a desenvolvimento do capitalismo na Periferia, observa-se também aqui que a idéia é que a saída da segmentação, e, portanto do domínio do PCCA, é tida como um processo pouco provável (Vietorisz e Harrison, p. 373).

2.1.3 Área: Economia da Inovação tecnológica. Um último trabalho deste tipo a ser comentado é o interessante artigo de W. Brian Arthur ‘Self-Reinforcing Mechanisms in Economics’. O mesmo reforça a prova da abrangente influência do PCCA ¹⁷. O autor interessa-se pelo problema de escolhas entre tecnologias que competem. Observou a situação em que, se por alguma razão uma das tecnologias toma dianteira, diversos efeitos irão militar no sentido desta dianteira ser ampliada. Este feedback positivo é mais um exemplo de resultado do PCCA ou, como intitula Arthur, de um ‘mecanismo de auto-reforço’. A partir deste interesse o autor aprofundou-se no tema e constatou a presença de raciocínios montados neste mecanismo em diversas áreas da Economia como em Comércio Internacional, Organização Industrial, Economia Regional e Desenvolvimento Econômico, com diferentes nomes como Retornos Crescentes, Causação Cumulativa, Círculos Virtuosos e Viciosos, Não-Convexidades etc. (Arthur, 1988, pp. 9/10) ¹⁸.

O autor refere-se ao fato de que SDs com feedbacks positivos locais são modelos comuns a diversas ciências, e que os mesmos tendem a diversos possíveis estados assintóticos. As condições iniciais, combinadas com eventos ocorridos no início da evolução do SD, dirigem-no para um atrator ao qual ele fica preso (‘locks in’) (Arthur, 1988, p. 9). Em termos do problema que lhe interessa, ele identifica quatro fontes de mecanismos de auto-reforço que, através da operação de feedbacks positivos, tanto agem no sentido de

¹⁷ A leitura deste artigo nos foi sugerida pelo colega Prof. David Rosenthal, a quem agradecemos.

¹⁸ Arthur afirma que a Economia tradicional tem entre seus preceitos básicos retornos marginais decrescentes e por isso está fortemente associada aos processos de feedback positivos. Por isto relaciona retornos crescentes aos feedbacks negativos.

conduzir o SD em movimento para um atrator, quanto, uma vez atingido o mesmo, operam no sentido de mantê-lo ali (Idem p. 10). O autor declara que é raro encontrar em Economia um mecanismo que conduza à saída desta posição. Isto dependeria da natureza da fonte de auto-reforço que teria que ser transferível para outra posição. No caso em pauta apenas uma das fontes, em certas condições especiais, seria deste tipo (Idem p. 16) ¹⁹.

Sumarizando este tópico, deve-se afirmar o reconhecimento da importante colaboração dos diversos autores que, em diferentes contextos, condenaram a indicação do Equilíbrio Estável como tendência única dos processos econômicos. O PCCA com seus ‘mecanismos de auto-reforço’ representa os movimentos típicos de muitos SDs. Mas, é também importante ressaltar que o PCCA tampouco é via exclusiva de desenvolvimento dos processos. A sugestão que fica é então no sentido de se abrir, ainda mais, o leque de possibilidades que deixou de conter apenas o Equilíbrio Estável e passou a incluir as trajetórias divergentes do PCCA, e passar a reservar espaço também para trajetórias caóticas ²⁰.

2.2 Identificar, Caracterizar e Analisar Fenômenos Caóticos.

O segundo tipo de situação é aquele onde as análises, na prática, já incluem esta possibilidade, ou mesmo verificam a ocorrência, de Caos, sem que a mesma esteja explicitada e exaustivamente explorada. Tratam-se de exercícios onde o rigor teórico, e ou a precisão da análise do real, é que trouxe a tona esta possibilidade.

¹⁹ As observações referentes a Myrdal, da nota de rodapé 36, são extensíveis a estes outros autores que trabalham com o PCCA. Todos mencionam a possibilidade de feedbacks negativos. Porém, como visto, apresentam a operação dos mesmos como localizadas ou, de um modo geral, dominadas, prevalecendo o PCCA. Tanto que consideram os atratores baseados na ação do PCCA como contextos de difícil saída. De qualquer maneira, a presença destas ressalvas não invalida o esforço no sentido de apresentar oposição à idéia da universalidade da predominância do PCCA, e a possibilidade de existência de outras trajetórias. Da mesma maneira, não enfraquece a colaboração de Myrdal, ou dos outros autores, o fato de que Samuelson um dos mais importantes autores da Teoria Neoclássica, vertente teórica ligada ao Princípio do Equilíbrio Estável, num seu artigo clássico ainda da década dos quarenta do século XX, ao analisar SDs, apresentar como únicas ilustrações gráficas exatamente ciclos divergentes como os do PCCA (Samuelson pp.412/3).

²⁰ Aspectos fascinantes da TC levaram muitos ao exagero de passar a ver Caos em tudo. Reações, como o livro de Cohen e Stewart, 1994, não tardaram a aparecer. O debate levou ao desenvolvimento de outras linhas de pensamento, como a da Emergência, da Complexidade etc. sendo que a posição aqui apresentada, que reflete a realidade como a complexa convivência de variedades de SDs, parece ser de ampla aceitação, Ward, 2001.

2.2.1 Área - Desenvolvimento do Capitalismo na Periferia. Um ponto relevante neste debate é o problema das possibilidades e limitações deste desenvolvimento. A posição quase consensual é a de uma expectativa bastante negativa em relação às possibilidades de desenvolvimento dos países da Periferia em geral. Neste contexto, Katz, 1984, identifica e caracteriza uma idéia que intitula de Tese do Bloqueio (TB). Para expressá-la de forma resumida e simplificada, diz que a mesma considera o desenvolvimento do capitalismo na periferia como um processo de alguma maneira bloqueado, incompleto e assim essencialmente diferente do modelo clássico. Esta idéia seria recorrente na História do Pensamento Econômico. A mesma teria sido apresentada de muitas formas diferentes e sua ênfase teria também mudado com o tempo. Apesar disto, o autor prova que, em essência, a mesma tem forte influência, e difundida presença, em muitas análises da Esquerda.

De fato, ao se analisar diversas posições, como a Teoria do Subdesenvolvimento e a Teoria da Dependência, entre outras, constata-se que as mesmas são comprometidas com a TB. Apresentam a descrição de situações e processos que, sem dúvida, existiram e, em muitos casos, ainda existem. No entanto, prevêm que estas condições e posições ficam mantidas para todos os Periféricos, se reproduzindo indefinidamente. Sem dúvida o desenvolvimento do capitalismo na periferia tem suas peculiaridades, entre outras aquela de ser, em geral, um processo extremamente perverso, cheio de dificuldades e barreiras. É óbvio que estes obstáculos não serão superados, mesmo em médio prazo, pelo conjunto dos países do Terceiro Mundo. No entanto a história já apresentou casos isolados onde isto sucedeu, e não há razão para se aceitar que isto não possa acontecer novamente em relação a alguns países. A ‘Lei do Desenvolvimento Desigual’ faz com que as diferenciações se acentuem por toda parte e, concebivelmente, um país (ao longo do tempo, países) do Terceiro Mundo pode deslanchar seu desenvolvimento capitalista. Esta é uma alternativa que os analistas, particularmente os brasileiros, não podem deixar fora do espectro de possibilidades a considerar.

Em relação a este entendimento, e ao enfrentamento da TB, a TC permite uma visão mais ampla da problemática e abre novas possibilidades metodológicas. A visualização do processo de desenvolvimento do capitalismo nos países como um SD, ou uma combinação de SDs, pode permitir avanços. Percebe-se que a idéia da TB é sustentada pelo conceito que freqüenta de forma ampla, quase onipresente, diversas áreas da Ciência Econômica, que é a consideração, praticamente exclusiva, do funcionamento de mecanismos de Feedback Positivos, o PCCA. Seria o PCCA que operaria, por exemplo, na direção de aumentar o gap entre o Centro e a Periferia sustentando a TB. Apesar de apontar para a possibilidade de ocorrência de um

fenômeno Caótico, Katz, 1984, não explorou a TC para aprofundar sua análise.

2.2.2 Área: Economia da Inovação tecnológica. Por fim o mais rico dos exemplos onde a possibilidade de um fenômeno caótico é prevista e analisada, mesmo que sem aludir a TC. Organizou-se a apresentação do exemplo desconstruindo os artigos originais e remontando-os, de forma a destacar a visão dos SDs envolvidos e suas relações com a TC. Este processo poderia ser visto também como uma sugestão de caminho metodológico para utilização da TC para tratar problemas com abordagens não quantitativas.

A metodologia incluiria os seguintes exercícios. Inicialmente se tentaria observar o funcionamento do PCCA e a possibilidade de ocorrência de fenômenos Caóticos. Em seguida, com base na teoria específica, se procuraria identificar as forças em ação no SD, suas direções, mecanismos de reforço e outros. Neste contexto, se processaria a pesquisa das não linearidades existentes e de suas possibilidades de fazer surgir caos. Em seguida, poder-se-ia até, dependendo do caso, tentar um exercício quantitativo para checar se há, ou houve caos em algum episódio e relacionar esta possibilidade com a amplitude de parâmetros.

Vale ressaltar que, independentemente da validade ou não desta tentativa de montar uma metodologia, o exemplo é tão pertinente que se decidiu abordá-lo com destaque. Trata-se da teoria das ‘Janelas de Oportunidade’ para o Desenvolvimento Tecnológico. A relevância decorre do fato de que, apesar de não recorrerem à idéia de SDs, ou mesmo mencionar a TC, mas baseados no profundo conhecimento do assunto específico, os autores elaboraram um argumento que, sem explicitação de metodologia, de fato utiliza conceitos como as não linearidades e todo um raciocínio similar àquele aqui proposto como uma abordagem mais geral.

Como se sabe, a idéia das ‘janelas de oportunidade’ é associada à Carlota Perez. O contexto estudado é o dos avanços tecnológicos, particularmente em respeito à situação dos países do Terceiro Mundo. Os argumentos e conclusões podem ser acompanhados através de dois artigos de co-autoria de Carlota Perez.

Identificação Do PCCA. O cenário onde se coloca o problema é aquele da Teoria da Dependência que, reforçada pela continuada má performance da maioria dos países do Terceiro Mundo, prevê a manutenção e crescimento do *gap* entre Centro e Periferia.

“Previous capital is needed to produce new capital, previous knowledge is needed to absorb new knowledge, skills must be

available to acquire new skills, and a certain level of development is required to create the infrastructure and the agglomeration economies that make development possible. In summary, it is within the logic of the dynamics of the system that the rich get richer and the gap remains and widens for those left behind”. (Perez e Soete 1988, p.459).

Identificação Da Existência De Exceções Ao PCCA. O raciocínio acima envolve o PCCA, e está bem no estilo dos ‘mecanismos de auto-reforço’ de Arthur, que por sinal é citado próximo a este trecho. Porém, observam os autores, têm surgido exemplos recentes de exceções (Perez e Soete 1988, p.458). Assim sendo, deve ocorrer que as dificuldades para sair deste ‘círculo vicioso’ não serão sempre impeditivamente altas para todos, e durante todo tempo. Parece existirem ‘janelas de oportunidade’ que permitem que uns poucos, com condições muito especiais, e em raras ocasiões da história, tenham conseguido escapar (Idem p.459).

A situação que usualmente ocorre é aquela onde alguns periféricos conseguem adotar algumas inovações tecnológicas, e até ter vantagens competitivas. Este tipo de processo está associado a produtos maduros. As diversas versões da teoria do ciclo de vida dos produtos, com suas curvas em forma de S, explicariam porque e quando (processos maduros) estas tecnologias seriam postas à disposição dos periféricos. A primeira vista esta parece ser a única alternativa, e tem sido aproveitada por muitos países periféricos para atingir certo nível de industrialização. Este tipo de abordagem está ligado a um conceito acerca da natureza de longo prazo das mudanças tecnológicas:

“The notion of technological change as a global, more or less continuous process underlies the traditional way development is viewed. As long as technology is understood as a cumulative unidirectional process, development will be seen, as a race along a fixed track, where catching up will be merely a question of relative speed. Speed is no doubt a relevant aspect, but history is full of examples of how successful overtaking has been primarily based on running in a new direction”. (Perez e Soete 1988, p.460).

Através daquela conduta usual há o risco dos países periféricos ficarem presos, permanentemente, a um padrão defasado. Só será abandonado este estado se, dentro de uma diferente perspectiva de desenvolvimento, o mesmo

deixar de ser apenas um usuário de tecnologia e passar a ser um gerador e aperfeiçoador das mesmas (Perez e Soete 1988, p.459). A seguir os autores passam a analisar em que condições poderiam ocorrer estas ultrapassagens. Olhando pela ótica dos SDs, isto equivale ao estudo das suas não linearidades, e das condições em que as mesmas causariam a inversão do sentido do movimento.

Análise Teórica Para Localização De Não Linearidades. Esta análise é realizada encarando a situação tanto pelas condições dos países centrais quanto dos periféricos. O conceito de ‘Revolução Tecnológica’ é fundamental na estruturação do argumento. Ele surge a partir de uma taxonomia de inovações montada por Freeman e Perez. Estas são classificadas em quatro grupos de acordo com a sua crescente abrangência e impacto na economia como um todo. A quarta classe, “Mudanças em ‘paradigmas tecno-econômicos’ (‘Revoluções Tecnológicas’)”, é especialmente relevante. Neste caso os impactos são tão amplos e profundos que causam crises de ajustamentos que se estendem à organização social da produção e da distribuição. No momento se estaria vivendo efeitos de uma ‘Revolução Tecnológica’ devido à entrada em cena da ‘Tecnologia da Informação’ (Microeletrônica). Anteriormente, papel semelhante teria sido desempenhado pelo petróleo e antes pelo aço (Freeman e Perez 1988, pp.38, 45/8).

Segue-se a observação a partir do ponto de vista dos periféricos. Um bem fundamentado estudo de condições (especialmente custos) de transferência de tecnologia, feito por Perez e Soete, mostra que estes variam de acordo com a fase do ciclo de vida do produto (Introdução, Crescimento Inicial, Crescimento Final e Maturidade). A conclusão é que, em princípio, as fases I e IV são aquelas onde é mais fácil a absorção de inovações por periféricos. Na fase I, com pouco capital e experiência, mas bastante competência científica e tecnológica e apoio institucional, a entrada de ‘outsiders’ torna-se possível. Já na fase IV, vantagens comparativas e fundos suficientes para investimento e aquisição de conhecimentos garantem a viabilidade dos empreendimentos. Então, na situação mais geral, que é quando ocorre a maior parte das inovações tecnológicas que estão nas três primeiras classes da taxonomia, as entradas se dão mais na fase IV dos produtos maduros. A entrada na fase I reserva dificuldades já que ela não só é mais arriscada como também no geral os países centrais concentram, em geral, o maior nível de competência científica e tecnológica. Este panorama, onde o círculo vicioso se reforça, está bem no estilo do PCCA (Perez e Soete 1988, pp.463/75). Mas, esta eventual ‘ultrapassagem’ não é impossível, e na verdade é o relevante no caso em foco.

Os autores observam então que quando se está diante de uma ‘Revolução Tecnológica’, quarto degrau na hierarquia das mudanças tecnológicas, as inovações científicas e tecnológicas são tão abrangentes que as desvantagens dos periféricos para entrada na fase I não é tão claramente forte para todos, e em relação a todos do centro. Em alguns casos as fronteiras do novo conhecimento podem não estar muito distante. Se o periférico estiver bem posicionado, por ter um compatível sistema científico e tecnológico e decisão política, uma ‘janela de oportunidade’ poderá se abrir, permitindo que o mesmo entre na produção de novos produtos de um sistema tecnológico novo em suas primeiras fases (Perez e Soete 1988, pp.476/7).

Pelo lado dos países centrais, a expectativa é que, em geral, eles continuarão na dianteira por todas as razões já citadas. Porém, não linearidades passam a operar, aqui também, para além de certa amplitude dos ‘parâmetros’. Quando a mudança tecnológica é muito profunda e ampla tem se observado que ela poderá ter sua introdução amortecida nos países mais avançados. Altos investimentos nas tecnologias anteriores, interesses também de outros grupos como técnicos, trabalhadores e mesmo pesquisadores, como que ossificam a estrutura e podem fazer sua introdução mais vagarosa que em outras parte onde estas resistências sejam menores. A vigorosa industrialização de diversos países no Séc. XIX, concomitante a perda de posição da Inglaterra, ou os casos mais recentes do Japão e da Coréia do Sul confirmam esta possibilidade ao mesmo tempo em que apontam para sua excepcionalidade (Perez e Soete 1988, pp.462/3).

Não é possível ler este estudo e não ter de volta a mente a Roda D’água de Lorenz. O funcionamento usual do SD reforçando-se, e conduzindo a operação sempre num mesmo sentido. Porém, em certas condições específicas, o próprio aumento do impulso do SD, por ação de suas não linearidades, pode fazer com que a direção do movimento seja invertida.

CONCLUSÃO

Espera-se que os argumentos apresentados convençam que a TC poderá ser útil para o desenvolvimento de uma gama de estudos, mesmo daqueles que não utilizam Métodos Quantitativos e que nem por isso são menos rigorosos. Embora este trabalho certamente tenha falhas, seria importante que o mesmo conseguisse transmitir a relevância da TC, em geral. Até porque as

não linearidades são uma realidade incontestável. Assim, evidencia-se a necessidade de difundir ensinamentos sobre a mesma. Isto já tinha sido notados por May desde seu artigo de 1976, explorado no ANEXO 03. Encerramos citando parte de sua conclusão, traduzida e adaptada.

“Insisto na importância das pessoas serem apresentadas à equação $x_{\text{próximo}} = rx(1-x)$ logo no início de sua educação matemática. O estudo do comportamento desta equação pode ser feita por iteração, utilizando apenas uma calculadora ou mesmo só lápis e papel. É mais simples, conceitualmente, que o cálculo elementar. Este estudo enriqueceria enormemente a intuição dos estudantes em relação aos sistemas não – lineares. Não apenas em pesquisa, mas também no mundo do dia a dia da política e economia, nós todos estaríamos bem melhor se uma maior número de pessoas entendessem que sistemas não – lineares simples não possuem necessariamente propriedades dinâmicas simples”. (May, 1976, p.46).

ANEXO 01

METODOLOGIAS QUANTITATIVAS E NÃO QUANTITATIVAS. UMA FALSA INCOMPATIBILIDADE

Nesta Seção discute-se brevemente a posição especial da Matemática entre as outras ciências, procurando mostrar que seu escopo vai além da

simples representação modelar de fenômenos. A idéia é que a matemática, em certo sentido, é uma linguagem. Ali temos, desde suas equações representando simples sentenças lógicas, até conceitos abstratos e “esquemas” que correspondem a raciocínios mais elaborados (Skemp, 1979, Cap. 1, 2 e 3). Vem daí sua dimensão de universalidade entre as ciências como via de expressar informações em geral.

Esta idéia tem fácil aceitação entre os que têm experiência de ensino. Nota-se que as barreiras ao aprendizado da matemática diferem daquelas de outras disciplinas mais, por assim dizer, decorativas. Nestas, necessita-se basicamente de um esforço de memória, e isto é uma capacidade que todos temos desenvolvido, uns mais outros menos. Com respeito à matemática, no entanto, para alguns parece haver uma barreira qualitativamente diferente a impedir o acesso ²¹. Naturalmente este problema é superável dependendo muito da qualidade do ensino. Porém, o importante é entender que a dificuldade especial, a nosso juízo, advém do fato da matemática se assemelhar a uma linguagem. Enquanto as disciplinas decorativas utilizam nossa própria linguagem, a matemática é outra língua, outra forma de expressar pensamentos. E traduções representam um complicador adicional em qualquer exercício. Naturalmente, como outra língua, ela funciona em paralelo e muitas coisas sabidas, ou raciocínios utilizados, por todos, mesmo expressão de fenômenos do senso comum, podem ter representação matemática.

No caso em foco, desenvolvimentos matemáticos e de outras ciências se combinaram num impulso gerando uma nova área de conhecimento representada pela TC. Cabe agora, como a mesma transcende a matemática e intervém na formação de estruturas lógicas, utilizar esta nova forma de pensar, para alguns revolucionária, para fazer avanços em outros setores. Por mais distante que os mesmos estejam dos MQ. A Psicologia e ramos da Medicina, entre outros, já o fizeram. Se um chinês descobre algo novo e original, devemos procurar entender e utilizar a descoberta. Não temos que aprender chinês, mas tampouco devemos desprezar o conhecimento só porque está expresso em outra língua.

Uma dificuldade para esta utilização vem da, bastante comum, intolerância entre utilizadores de ‘línguas’, no sentido de metodologias, diferentes. Quando a TC começou a ser mais divulgada no Brasil, no início da década dos 90, reações deste tipo vieram à tona. Para exemplificar podemos recorrer a trecho de uma nota do economista Paul Singer, publicada em

²¹ “Mathematics is a curious subject, psychologically. It seems to divide people into two camps, just as there are said to be cat-lovers and dog-lovers; there are those who can do mathematics and there are those who cannot, or who think they cannot, and who ‘block’ at the first drop of a symbol” (Foss, B. M. In Skemp, 1979).

número especial da Revista Ciência Hoje, dedicado à TC. Antecedendo observações, algumas interessantes, o autor, questionando sobre a possibilidade de transpor o conceito de Caos para Economia, reúne em um só parágrafo referências a esta intolerância e como ela se manifesta a partir dos dois extremos.

“Não é muito adequado transpor conceitos de uma ciência a outra. A história da economia contém episódios instrutivos a esse respeito. Teóricos Neoclássicos pensaram a economia de mercado como um sistema de forças opostas tendendo espontaneamente ao equilíbrio, semelhante a um modelo de mecânica. Uma transposição desse tipo tem no máximo valor metafórico, mas no fundo tenta dotar a teoria econômica de uma aura de conhecimento exato que se costuma atribuir às ciências naturais”. (Singer 1991, p 57).²²

Naturalmente, uma transposição brutal e mecanicista de conceitos não é adequada, como também não o é um preconceito apriorístico contra contribuições de outras ciências²³. A visão generalizada de MQ como algo intrinsecamente comprometido com a posição Neoclássica é equivocada, porém não incomum. Esquece o uso profuso feito pelos clássicos do Marxismo de estatística e outros cálculos numéricos usuais na época²⁴.

A matemática é uma linguagem procurada quando se necessita resumir, sistematizar e quantificar informações. Simplifica a visualização e experimentação em conjuntos de conhecimentos complexos e, só por isso, já tem apoiado avanços em muitas áreas específicas.

As palavras do dicionário da matemática, em isolado, são neutras. Elas podem sim serem combinadas em sentenças com sentidos os mais diversos. Porém, simplesmente se afastar desta ciência só facilita o trabalho de quem quer utilizá-la inadequadamente, e abandona-se as ferramentas que permitiriam uma crítica a apresentações tidas como ‘científicas’, porque

²² O autor refere-se ao fato de que o Cálculo Diferencial significou para a Economia Neoclássica muito mais que uma ferramenta. Seu outro título, Economia Marginalista, confirma que na verdade o Cálculo representou o papel mais amplo de uma maneira de raciocinar e colocar problemas que foi utilizada de forma abrangente.

²³ Na realidade esta é uma reação que existe basicamente contra MQ. Não se imagina economistas não Quantitativistas cogitarem de rejeitar colaborações de História, Filosofia, Ciência Política ou Sociologia.

²⁴ Desai 1991, p.27, apresenta uma carta de Marx de 1873 onde aquele autor lamenta não dispor de suficientes informações e ferramentas analíticas para poder fazer um estudo matemático dos ciclos e das crises.

baseadas em números, mas que atingem conclusões que em verdade emanaram de posições ideológicas, políticas ou teóricas estabelecidas antecipadamente.

Um exemplo interessante e construtivo de reação à utilização inadequada de MQ com objetivos teleológicos foi adotado por Joan Robinson e está descrito no seu artigo “Euler’s Theorem And The Problem Of Distribution”. A autora relata com Wicksteed utilizou o Teorema de Euler para funções homogêneas para tentar confirma a teoria de que ‘os fatores de produção são pagos de acordo com seu produto marginal’. Esta intervenção aparecia como uma prova ‘científica e irrefutável’ desta posição (Robinson 1978, pp.1/3). O que fez então Robinson neste artigo foi mostrar que era inadequada a utilização do teorema, para dar sustentação ao que se pretendia demonstrar, retirando da afirmação de Wicksteed foros de verdade comprovada.

Este tipo de atitude é acompanhada no trabalho de Marxistas Quantitativistas. E é com uma citação de um deles que se encerra esta Seção.

“We believe that such anti-quantitative ideas are misplaced and indeed have been damaging to the development of Marxist economics, limiting its contribution to policy debate and to the Left in general. The increasing supply of empirical research techniques should be seen as an opportunity, rather than as something to ignore. They can be used to attack the orthodoxy in a positive manner in presenting alternatives and in influencing students and academics who only know the orthodoxy but are unhappy with its failure to explain most economic phenomena” (Dunne 1991, p.3).

ANEXO 02

DERIVAÇÃO DE TRAJETÓRIAS DE SDs

Um primeiro exemplo, muito simples e usual, parte do Ciclo da Teia de Aranha, descrito na figura 1a, para obter a Trajetória na figura 1b. A representação é de um mercado de bens agrícolas perecíveis, e supõe-se que os produtores venderão sua produção ao preço que o mercado fechar. Baseados neste preço decidirão a quantidade a ser produzida para a safra

seguinte, de acordo com sua curva de oferta O . De outro lado estão os consumidores que comprarão de acordo com as características de sua curva de demanda D . Por conta de P_0 , que prevaleceu na estação anterior, os produtores produzem e levam ao mercado no momento 1 a quantidade Q_1 . Mas esta quantidade só é vendida quando baixa o preço para P_1 , atendendo à curva de demanda. O mercado então fecha em Q_1 e P_1 . Os produtores, devido a este preço mais baixo, só produzirão para a próxima safra a quantidade Q_2 que será vendida por P_2 . Esta melhora no preço estimula os produtores a aumentarem a próxima safra para Q_3 , que, porém só será vendida a P_3 . A situação prossegue com o mercado fechando em posições que oscilam para cima e para baixo formando a teia de aranha. Esta pode ser representada de forma mais clara na Seqüência Solução associada, na figura 1b. Ali se vê a representação das quantidades de fechamento do mercado à medida que passa o tempo ²⁵.

Outra construção mais complexa é explicada a seguir. Trata-se de um SD apresentado pelo biólogo Robert M. May, May 1976, que versa sobre crescimento populacional. Nos estudos sobre este tema, em relação a diversos tipos de seres, tem-se um processo de mudanças contínuas com as gerações se sobrepondo, sendo sua modelização feita com o auxílio de equações diferenciais. Porém, para outros seres, como, por exemplo, os insetos cujas gerações não coexistem, pode-se representar a evolução de suas populações através de SDs onde as variáveis mudam discretamente de valor com o passar do tempo. Na realidade isto pode ser representado por apenas uma equação de diferença. O exemplo mostrará o surgimento do caos em certa amplitude dos valores de um parâmetro, que fora deste intervalo apresentava apenas as bem comportadas trajetórias usuais. O grande mérito do exercício de May foi ter mostrado, com um exemplo tão singelo, que SDs simples, em determinadas amplitudes, podem gerar uma tão variada e complexa gama de resultados.

O tamanho da população num certo período é representada por x , r é a taxa de reprodução da espécie e $x_{\text{próximo}}$ será a população no período seguinte. Não houvesse limitação alimentar e predadores teríamos $x_{\text{próximo}} = rx$ e após n períodos a população seria $x_n = xr^n$. Se r fosse maior que 1, a população crescería indefinidamente. Para dar mais realismo a análise introduz-se o termo $(1 - x)$ e o modelo fica: $x_{\text{próximo}} = rx(1 - x)$.

O termo $(1 - x)$ significa uma ‘correção’ no livre crescimento da população, exercido pelo seu tamanho x que varia ao longo do processo.

²⁵ É importante observar que na figura 1a, consideradas apenas as curvas O e D , se estaria em um contexto estático, onde se observaria apenas, para cada possível valor de P , qual a quantidade Q que seria demandada e ofertada. A introdução do trajeto com setas transforma o exercício, passando a indicar uma direção e movimento. Mas as funções ‘estáticas’ de 1a são necessárias para se obter a Seqüência Solução de 1b. Nesta figura visualiza-se distintamente a dinâmica do SD, pois para cada momento no tempo t associa-se a quantidade (poderia ser preço) que o mercado fechou.

Representaria a condição da disponibilidade de alimentos ser limitada e diminuir, em termos de cada indivíduo, quando a população aumenta. De fato, o termo desempenha este papel. Porque, como a população x toma valores entre 0 (extinção) e 1 (população máxima atingível em face aos recursos disponíveis), também $(1 - x)$ toma valores neste intervalo. Porém estes diminuem quando x estiver aumentando e como o termo surge no modelo como um multiplicador, e produtos por valores menores diminuem o resultado, seu efeito é como o de uma taxa de ‘mortalidade’ pressionando o tamanho da população para baixo. Assim, quanto maior a população atual, x , maior a ‘natalidade’ dada por rx . Porém, como os suprimentos são limitados, sua disponibilidade, $(1 - x)$, diminui, e uma ‘mortalidade’ maior aflige a população balanceando o resultado final. A introdução deste termo cria a não linearidade no modelo que, como se verá adiante, vai permitir resultados os mais diversos.

Em um exercício semelhante àquele onde foi derivada a Seqüências Solução das curvas de oferta e de demanda, se pode, a partir desta equação da população, e do seu gráfico, visualizar as possíveis trajetórias deste SD. Ora, $x_{\text{próximo}} = rx(1 - x)$ é o mesmo que $x_{\text{próximo}} = rx - rx^2$ que tem com gráfico uma parábola, e é por isto chamada de logística pela semelhança que apresenta em relação à forma das trajetórias de projéteis. Este gráfico é construído compondo-se todos os possíveis pontos relevantes, x entre 0 e 1, e $x_{\text{próximo}}$ obtido através da fórmula, representando-se os valores de x no eixo horizontal e de $x_{\text{próximo}}$ no vertical. Este será o gráfico da função onde, estaticamente, se determina o valor de $x_{\text{próximo}}$ que corresponderia a cada valor possível de x , como foi feito no outro caso na figura 1a. Porém, se a abordagem é dinâmica e deseja-se determinar a trajetória deste SD, como feito na figura 1b, a técnica de traçado do gráfico de pontos da linha de fase terá que ser outra. Há um artifício gráfico que muito facilita a determinação destes pontos, ou seja, da trajetória do SD. Na figura 7a vê-se a parábola e uma reta que faz 45 graus com o eixo dos x . Esta reta é útil para o artifício, porque todo ponto sobre ela tem o mesmo valor para suas coordenadas horizontais e verticais. Partindo-se do primeiro valor de x , x_1 no eixo horizontal, sobe-se verticalmente até a parábola onde se encontra x_2 , que é o primeiro $x_{\text{próximo}}$. Para obter o $x_{\text{próximo}}$ seguinte, x_3 , utiliza-se um ponto, no eixo horizontal, de valor igual a x_2 . É aí que colabora a reta auxiliar. Se for traçada uma horizontal saindo de x_2 até a reta atinge-se um ponto que, exatamente, tem também como coordenada horizontal o valor x_2 , que é o que se buscava para determinar x_3 . Traça-se então uma vertical até a parábola, e ali está x_3 . O processo segue desta mesma maneira. No caso em pauta o SD tende para um Equilíbrio Estável. Tomando os valores de x e plotando-os contra a variável tempo t , temos a Linha de Fase associada apresentada na figura 7b. As possíveis trajetórias vão, naturalmente, depender da inclinação da função original, que por sua vez é definida pelo

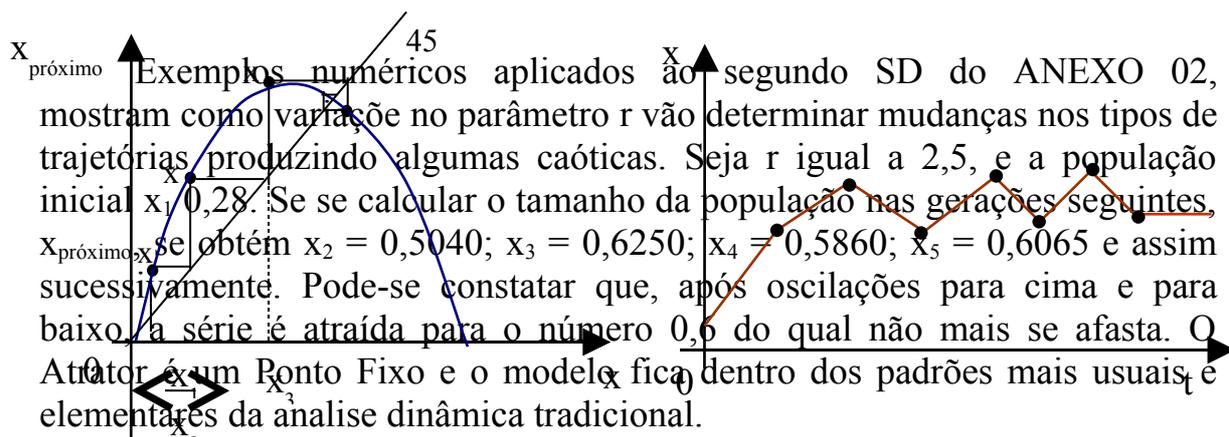
valor de r ²⁶. Não se vai aqui desenvolver toda a variedade de situações, bastando afirmar que estes comportamentos são comuns a muitas outras funções que tenham uma forma de monte (Hofstadter 1981, p.17).

Para se obter valores numéricos para os pontos que comporiam diferentes Linhas de Fase opera-se da seguinte maneira. Parte-se de uma população inicial x_1 (que faz o papel de x) e obtém-se, através da formula, a população seguinte x_2 (que é $x_{\text{próximo}}$). Está determinado o segundo ponto da serie. Agora, para obter o valor seguinte, utiliza-se aquele valor x_2 como ponto de partida (será o novo x) desta segunda rodada para se obter o terceiro ponto (um novo $x_{\text{próximo}}$), x_3 . Este processo, que se chama iteração continua, leva cada valor obtido, $x_{\text{próximo}}$, a ser o valor de partida, o novo x , para obter um valor seguinte. É com estes pontos que se desenha a trajetória.

Figura 7a
A Curva Logística

ANEXO
IS EM SD
DIMENSÃO

Figura 7b
Trajетória do SD



Mantido $r = 2,5$, para qualquer outro valor inicial de x o Atrator é sempre 0,6. E, cada valor de r , se menor que 3, conduz o SD a um determinado Ponto Fixo. O interessante é que, para $r = 3$, a trajetória se bifurca e teríamos o equilíbrio oscilando num Ciclo Limite de dois pontos. Mesmo assim, ainda estaríamos dentro dos padrões usuais num caso como o da figura 2. À medida que r cresce as bifurcações vão se multiplicando, gerando Ciclos Limites com 4, 8, 16 e assim por diante, pontos entre os quais a trajetória eventualmente oscila. Até que, ao redor de $r = 3,58$, a trajetória torna-se caótica, no sentido de que não se repetem os valores pelos quais a mesma passou anteriormente. Se continuarmos aumentando r obteremos uma sucessão (também caótica) de situações onde o SD ora se estabiliza em alguns

²⁶ Baumol e Benhabib, 1989, têm uma excelente e completa análise deste relacionamento. Um brilhante artigo que também trata do assunto, sem excessivo recurso aos MQ, é “Metamagical themes” de Hofstadter.

pontos ou se mostra novamente caótico (May 1992, pp.20/1), (Stewart pp.155/63).

Vê-se então como em um sistema determinístico e simples convivem soluções perfeitamente previsíveis e caóticas num comportamento dinâmico surpreendentemente complicado. Muitos autores consideram este mais um importante resultado da TC (eg Li e Yorke 1975, p.985 e Kamminga 1990, pp.50 e 57).

ANEXO 04

A TC E AS ABORDAGENS QUANTITATIVAS EM ECONOMIA

Os comentários iniciais dirigem-se a Econometria. O primeiro aspecto a ser observado é que, de acordo com algumas opiniões, os papéis das abordagens determinísticas e estocásticas vão precisar de mais discussão e esclarecimento. Mirowski, 1990, pp.291/8, afirma que, neste particular, contribuições relevantes são devidas a Mandelbrot²⁷. Tomando em conjunto as dúvidas geradas pelos problemas de continuidade das funções relevantes e aquelas acerca das distribuições que melhor representariam fenômenos econômicos, Mirowski forma uma idéia muito negativa acerca das possibilidades da Econometria, como se praticava no momento²⁸. Basta ver o

²⁷ Stewart 1990, pp.54/5, considera que a TC promove o encontro entre estes paradigmas o que promete grandes avanços. Outros autores afirmam: “A Trajectory on a chaotic attractor exhibits most of the properties intuitively associated with random functions, although no randomness is ever explicitly added. The equations of motion are purely deterministic; the random behavior emerges spontaneously from the nonlinear system. In standard mathematical models of random phenomena, randomness must be assumed to be present a priori. These models are a way of dealing with ignorance – the randomness summarizes what is unknown about the system.” (Campbell et al, 1985, p.376).

²⁸ Problemas de continuidade comprometem o preceito da substitubilidade e o exercício de maximização condicionada. Se a distribuição dos eventos é algo como imagina Mandelbrot, irregular como o conjunto de Cantor, não tem sentido falar em médias, o que compromete muitos dos teoremas de estatística

título da segunda parte do seu artigo que é: “Mandelbrot on the Irrelevance of Modern Econometrics”. Na página 297 ele escreve:

“The upshot is that almost every technique of orthodox econometrics is useless and would probably have to be discarded. First, and most obviously, one loses the Gauss-Markhov theorem, and with it least squares;”

E segue lançando dúvidas também sobre a validade da utilização de outras ferramentas de estimações. Dunne 1991, p. 2, por sua vez, levanta a questão das limitações dos modelos lineares e atribui a isto as falhas de previsão dos grandes modelos macroeconômicos. Também em relação à linearidade, Baumol e Benhabib 1989, pp.100/1, apesar das ressalvas, aventam a possibilidade de existência de problemas com a utilização de modelos econométricos desse tipo ²⁹.

A TC pode não ter vindo em apoio à Economia Neoclássica, como afirmam Mirowski 1990, pp.291, 303 e 305 e Coakley 1991, p.120, mas a maior parte de suas aplicações tem sido produzida por autores dessa linha. Pode se observar que os avanços se dão mais pela incorporação de fórmulas funcionais (na verdade de um tipo de forma funcional) que permitem, mediante a variação de parâmetros, obter trajetórias usuais e também caóticas. Este tipo de exercício tem sido repetido em diversos contextos, porque simula bem a variedade das flutuações econômicas dos fenômenos reais, onde desvios e recorrência se combinam. O que o torna muito atraente também, é que isto é conseguido sem recorrer a justificativas de choques erráticos (estocásticos) exógenos e sim através de mecanismos determinísticos endógenos. Seguem-se alguns exemplos. Um, reconhecidamente muito simples, é apresentado por Baumol e Benhabib, 1989, p.99. É o estudo das relações entre os lucros de uma firma e seu orçamento de publicidade. Se a publicidade é nula, nada se vende e os lucros também são nulos. À medida que se inicia e aumenta o investimento em propaganda as vendas e os lucros crescem. Porém, a partir de certo ponto, os resultados da publicidade, em termos de volume de vendas, vão se enfraquecendo e o lucro líquido vai diminuindo até anular-se. Se a firma destina uma proporção dos lucros para publicidade, a não linearidade está garantida pela inter-relação entre

²⁹ Estes questionamentos trazem à mente as ácidas observações de Keynes, que não era leigo no assunto, apresentadas nos primórdios da história da análise de correlação múltipla. Em relação a um trabalho do pioneiro Tinbergen, após comentar diversos problemas de natureza lógica e técnica, inclusive a linearidade, ele afirma: “If the method cannot prove or disprove a qualitative theory, and if it cannot give a quantitative guide to the future, is it worth while? For, assuredly, it is not a very lucid way of describing the past.” (Keynes 1939, p.315)

publicidade e lucro líquido e esta relação passa de positiva para negativa num certo ponto fazendo com que a curva que descreve a variação dos lucros líquidos seja uma logística. Os parâmetros do SD, dados pela relação entre publicidade e vendas e pela proporção dos lucros investidos em publicidade, vão definir a logística e as possibilidades de trajetórias. Outro exemplo, dos mesmos autores, é o estudo das relações entre a taxa de aumento da produtividade e o nível de gastos com P&D da indústria. De novo, não linearidade e mudança no sentido de certos efeitos geram uma logística e possibilidade de caos.

Kelsey 1988, pp.14/7 explica o ‘overlapping generation model’. Trata-se de uma economia de pura troca onde existe apenas um bem e dinheiro. Os consumidores vivem por dois períodos e, a cada momento, existem representantes das duas gerações. Eles dispõem de dotações do bem no início de cada período que ou consomem ou vendem para obter dinheiro. Esta é a única maneira de transferência intertemporal de recursos já que o bem não é estocável. São definidas funções de utilidade que os consumidores vão maximizar sujeitos à restrição orçamentária. Após alguma elaboração algébrica chega-se a uma função com características da logística e a análise dos parâmetros mostra regiões de equilíbrio cíclico e outras caóticas.

Na área dos estudos sobre crescimento Day tem uma importante posição. Um de seus trabalhos envolve um modelo Neoclássico. O autor partiu do modelo de crescimento de Solow e, considerando a razão capital trabalho em dois períodos subseqüentes, obteve uma equação a diferença que relaciona estas variáveis defasadas com a taxa de poupança, uma função de produção e a taxa de crescimento populacional (Day 1982, p.406). Variantes desta função têm comportamento similar a logística. Isto lhe permitiu observar, através do estudo de diversas situações (valores dos parâmetros), que as condições de poupança e produtividade podiam definir ciclos periódicos ou caóticos. Em outro artigo, Day 1983, o trabalho é com um estilizado modelo Clássico. Mais uma vez ele se propõe a mostrar a possibilidade de aparição de comportamentos irregulares sem a interferência de choques estocásticos exógenos e apenas pela interação endógena de elementos como tecnologia, preferências e regras de comportamento (Day 1983, p.201). Numa visão Malthusiana, a taxa de crescimento populacional é dita depender da renda per capita. Esta, considerando-se uma sociedade agrícola igualitária é definida, através da função de produção, do tamanho da população (idem pp.204/5). Dependendo dos parâmetros das funções e da taxa natural de crescimento populacional, diversas situações são atingidas completando os objetivos do trabalho.

O último exemplo é uma tentativa não Neoclássica de utilização da TC em modelos econômicos quantitativos. Encontra-se no artigo de Coakley

1991, sobre a Efficient Market Hypothesis (EMH). Segundo o autor, a EMH é um pilar importante da Teoria Neoclássica não apenas em relação aos estudos dos mercados financeiros, mas também como elemento dos macro modelos de economia aberta, nas discussões acerca de taxa de câmbio e em outras. De uma forma simplificada, a EMH considera que o preço de um ativo incorpora toda informação disponível sobre o mesmo, inclusive previsões sobre o futuro. Assim, mudanças nos preços se devem a novas informações, que não eram previsíveis e são, portanto, aleatórias (Coakley 1991, pp.107/8). Como a EMH prevê a inexistência de lucros excessivos, além de eficiente passa também a ser vista como mecanismo que impõe uma justiça típica da mão invisível de Smith. Por esta razão tem sido utilizada com base de defesa da proposta Neoliberal de desregulamentação e laissez-faire em geral (Coakley idem). Muitos estudos foram elaborados para discutir teoricamente e testar empiricamente a validade da EMH.

Coakley faz uma resenha dos mesmos e diz que diversos trabalhos construíram críticas, umas mais outras menos, contundentes em relação à hipótese. Coloca então na TC suas mais fortes expectativas, inclusive mencionando exercícios exploratórios, pois ela seria capaz de captar conceitos heterodoxos (de origem Marxista ou não) e formalizá-los quantitativamente.

Muitos outros estudos existem sendo particularmente interessante o debate em torno dos modelos de Business Cycles. Kelsey 1988, pp.19/23, apresenta uma boa resenha comparando a abordagem de Lucas com uma alternativa não linear e questionando a hipótese da expectativa racional. Naturalmente há exercícios com modelos econômicos e caos que não recorrem à curva logística, mas isto não é o caso mais geral (Mirowski 1990 pp.300/1).

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ARTHUR, W. B. (1988) Self-Reinforcing Mechanisms in Economics. In *The Economy as an Evolving Complex System*, SFI Studies in the Science of Complexity. Ed. Anderson, P. W. K. J.; Pines D., Addison-Wesley.

BAUMOL, W. J.; BENHABIB, J. (1989) Chaos: Significance, Mechanism, and Economic Applications. In *Journal of Economic Perspectives*, Vol.3, N°1.

CAMPBELL, D.; CRUTCHFIELD, J.; FARMER, D.; JEN, E. (1985) Experimental Mathematics: The Role of Computation in Nonlinear Science. In *Communications of the Association for Computing Machinery*, Vol.28, N°4.

COAKLEY, J. (1991) Challenging Stock Market Efficiency. In Dunne.

COHEN, J.; STEWART, I. (1994) *The Collapse of Chaos*. Penguin Books. New York.

CHIANG, A. (1982) *Matemática para Economistas*. Mcgraw-Hill do Brasil, São Paulo.

DAY, R. H. (1982) Irregular Growth Cycles. The American Economic Review. Vol.72, N°3.

.....(1983) The Emergence of Chaos From Classical Economic Growth. The Quarterly. Journal of Econ. V. 98.

DOSI, G. et al. (1988) (Editor) Technical Change and Economic Theory. London, Pinter Publishers.

DESAI, M. (1991) Methodological Problems in Quantitative Marxism. In Dunne.

DUNNE, P. (1991) (Editor) Quantitative Marxism. Cambridge, Polity Press.

..... (1991) An Introduction to Quantitative Marxism. In Dunne.

FREEMAN, C., PEREZ, C. (1988) Structural crises of adjustment: business cycles and investment behaviors. In Dosi.

GLEICK, J. (1989) CHAOS Making A New Science. Sphere Books Ltd, London.

HOFSTADTER, D. R. (1981) Metamagical Themas. Em Scientific American. Vol. 245, N°5.

KAMMINGA, H. (1990) What is This Thing Called Chaos? Em New Left Review N°181, Maio/Junho.

KATZ, F. (1984) The Informal Sector and Debate on Underdevelopment. Univ. de Londres.

KELSEY, D. (1988) The Economics of Chaos or the Chaos of Economics. In O. E. P., V40 N°1.

KEYNES, J. M. (1989) Professor Tinbergen's Method. The Economic Journal, Set. 1939. In The Collected Writings of John Maynard Keynes, Vol. XIV pp.306/18, London, Macmillan and co Ltd.

LI, T. – Y.; YORKE, J. A. (1975) Period Three Implies Chaos. American Mathematical Monthly, LXXXII.

MANTEGA, G. (1984) A Economia Política Brasileira. Petrópolis, Editora Vozes Ltda.

MAY, R. (1976) Simple mathematical models with very complicated dynamics. Nature, V 261.

-(1992) O Frágil Equilíbrio da Vida. In *Ciência Hoje*, Vol.14, Nº80.
- MIROWSKI, P. (1990) From Mandelbrot to Chaos in Economic Theory. *Southern Economic Journal*, V.57 Nº2.
- MOREIRA, I. de C. (1992) Primórdios do Caos Determinístico. Em *Ciência Hoje*, Vol.14 Nº80.
- MYRDAL, G. (1972) *Teoria Econômica e Regiões Subdesenvolvidas*. Editora Saga, R. J.
- PEREZ, C., SOETE, L. (1988) Catching up in technology: entry barriers and windows of opportunity. In Dosi.
- ROBINSON, J. (1978) Euler's Theorem and The Problem of Distribution. Reeditado em *Collected Economic Papers*. Vol I. Oxford, Basic Blackwell. Originalmente no *Economic Journal*, 1934.
- SAMUELSON, P. (1969) Interactions between the multiplier analysis and the principle of acceleration. Reeditado em *Macroeconomic Theory: Selected Readings*. Ed. H. R. Williams: J. D. Huffnagle, Nex, Jersey, Prentice Hall Inc, 1969. Da *The Review of Economics and Statistics*, 1939.
- (1970) Análisis Del Proceso Dinámico. In *Compêndio De Ec. Contemporânea*, Aguilar Madrid.
- SHAPIRO, E. (1972) *Análise Macroeconômica*. São Paulo, Editora Atlas.
- SINGER, P. (1992) A Incerteza Radical da Economia. Em *Ciência Hoje* Vol. 14 Nº80.
- SKEMP, R. R. (1979) *The Psychology of Learning Mathematics*. Penguin Books, London.
- STEWART, I. (1989) *Does God Play Dice?* Penguin Books, London.
- VIETORISZ, T.; HARRISON, B. (1973) Labor Market Segmentation: Positive Feedback and Divergent Development. In *AER*, Vol.63 Nº2.
- WARD, M. (2001) *Beyond Chaos*. Thomas Dunne Books. New York.
- WEBER, J. E. (1972) *Matemática para Economia e Administração*. Harper & Row. S.P.

