

Aspectos Complexos da Implantação de Metodologias da Qualidade

Nasario de S. F. Duarte Jr. (Departamento de Engenharia de Produção – EPUSP) nasariojr@ig.com.br

Alberto W. Ramos (Departamento de Engenharia de Produção – EPUSP) awramos@usp.br

Resumo: *O objetivo deste artigo é, por meio de revisão bibliográfica, ampliar o entendimento da aplicação de conceitos da Ciência da Complexidade, por vezes chamada Teoria do Caos, a qual estuda o comportamento de sistemas dinâmicos complexos não lineares, na aplicação de Metodologias da Qualidade nas empresas, principalmente TQM, Reengenharia, ISO9000 e Seis Sigma, que também pode ser encarado como um processo que opera um sistema dinâmico complexo e não linear, resultando em idéias sobre estruturação, planejamento, ferramentas mais adequadas e importância da comunicação.*

Palavras-chave: *Complexidade; Caos; Qualidade.*

1. Introdução

A implantação de metodologias da qualidade nas empresas, sendo as mais comuns ISO9001:2000, TQM, Reengenharia e Seis Sigma, nem sempre é uma tarefa fácil. Insucessos e custos adicionais de implantação são comuns. Em muitos casos, situações aparentemente simples revelam evoluções complexas e resultados desastrosos, noutras vezes, por mais esforços que se façam, os processos parecem não querer evoluir e permanecem estagnados. Por vezes, ferramentas e metodologias utilizadas com sucesso em certos casos demonstram ser não adequadas em outros casos. A complexidade pode surgir mesmo em sistemas simples, como pequenas empresas, e são fruto de interações entre elementos dos processos e pessoas.

A Ciência da Complexidade, ou Teoria do Caos, estuda o comportamento de sistemas dinâmicos complexos não-lineares. Sistemas deste tipo são encontrados tanto na Natureza (o clima, a ecologia, o cérebro, escoamento turbulento de gases e fluídos, etc.), quanto nas organizações humanas (cidades, empresas, internet, redes de telecomunicações, economia, etc.). O interesse pela aplicação desta ciência ao estudo das organizações vem aumentando em virtude da complexidade crescente da sociedade e do mundo empresarial, gerada pelas novas tecnologias e outros fatores, os quais introduziram profundas mudanças e criaram um ambiente de constantes mudanças, desacreditando velhos paradigmas e tornando difíceis as previsões. No entanto, apesar de ser provocativa para nossa mente, a aplicação da Complexidade ao estudo das organizações é recente e ainda nos permite apenas idéias, mas seu futuro é promissor (SERVA,1992).

O estudo da dinâmica de implantação de um Programa da Qualidade pela ótica da Complexidade é o objetivo deste artigo, e espera-se com isso auxiliar consultores, membros de equipe de implantação e gestores a melhor conceber e lidar com as dinâmicas envolvidas.

2. Metodologias da Qualidade

A ISO9001:2000 é uma norma de requisitos para um sistema de gestão da qualidade, sua última versão incorpora elementos de TQM, mas mantém um foco em padronização e controle para atingir a qualidade. Resumidamente, a implantação da ISO9000 implica criar um sistema de gestão baseado em processos que interagem entre si e com o ambiente externo (partes interessadas), cujo objetivo é satisfazer as necessidades e expectativas das partes interessadas, em especial o cliente, e melhorar continuamente sua própria eficácia e eficiência no atendimento destas necessidades e expectativas por meio do estabelecimento de objetivos e

políticas e tomada de ações corretivas e preventivas.

Shiba (1997) apresenta as características do TQM como 4 revoluções: 1) Foco no Cliente: compreender e satisfazer as necessidades do cliente; 2) Melhoria contínua dos processos que produzem os produtos e serviços; 3) Participação Total dos empregados: a participação de todos na resolução dos problemas concretos da organização para a melhoria contínua e busca da satisfação do cliente é condição básica do TQM; 4) Entrelaçamento social: a participação de indivíduos, instituições e empresas no esforço de implantação de uma cultura da qualidade faz evitar a reinvenção de métodos, facilita e torna mais rápida a implantação das práticas da qualidade e traz benefícios para toda a sociedade. Shiba acrescenta: “o TQM não é uma filosofia abstrata. Também não existe uma única forma correta de implementá-lo; ele deve ser adaptado à cultura e à história de cada companhia”.

A Reengenharia de Processos é “o repensar nos fundamentos e reprojeto radical dos processos de negócio para atingir melhorias drásticas em medidas de desempenho críticas e atuais, tais como custo, qualidade, serviço e velocidade” (HAMMER e CHAMPY, 1994), e procura eliminar os paradigmas existentes, usar a Tecnologia de Informação e substituir estruturas piramidais por outras mais horizontais, enriquecendo o trabalho das pessoas por meio de delegação de responsabilidade e autoridade (CHAMPY, 1995).

Por sua vez, o Seis Sigma é uma “Filosofia de negócios que visa obter vantagens competitivas em termos de qualidade e custos, que une idéias e métodos da Qualidade Total, *Lean Manufacturing* e Reengenharia em uma metodologia rigorosa de uso de dados dos processos para detecção de oportunidades de falhas e redução de variabilidade de características críticas da qualidade para os clientes (CTQs), e conseqüente tomada de ações para agregar valor, usando os próprios empregados como motores do processo.” (ROTONDARO, 2002). O Seis Sigma utiliza um modelo denominado “função de transferência” para estudar um processo. Este modelo de processo pressupõe que a saída de qualquer processo é função das entradas deste processo, ou seja, $Y=f(X_1, X_2, X_3, \dots)$, onde cada X_i é uma causa real ou potencial de defeitos ou, ainda, de variação. Desta forma, um projeto Seis Sigma inicia-se por determinar quais X s direcionam o Y . O entendimento da complexidade do sistema altera tanto o que mudar (o X) quanto o como mudar (acrescentando uma nova variável, por exemplo, para produzir o *feedback* negativo, ou retirando uma variável, para reduzir a complexidade). O Seis Sigma utiliza uma abordagem denominada DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), que são as etapas para a solução dos problemas.

3. Ciência da Complexidade

Segundo Gleick (1989) e Prigogine (1993), a Ciência da Complexidade tem origem na Física do final do século XIX e início do século XX, com a lei da entropia, o estudo do comportamento dos gases, o princípio da Incerteza de Heisenberg e a Teoria Quântica, e no trabalho de Poincaré sobre atração gravitacional mútua de 3 corpos celestes. Estes trabalhos introduziram a estatística na física e colocaram em xeque os postulados de Newton e Laplace sobre o determinismo e o reducionismo no estudo dos fenômenos naturais, com implicações filosóficas diversas. Com o advento do computador, o estudo dos fenômenos naturais complexos tomou novo impulso e em 1963 Lorenz inaugura de fato a Ciência da Complexidade ao publicar um trabalho sobre estudos meteorológicos, cujo título era “Como um bater de asas de borboleta no Brasil pode provocar um tornado no Texas”, no qual demonstrava a dificuldade de se fazer previsões em sistemas que dependem fortemente das condições iniciais. A partir daí começaram a surgir trabalhos nas mais diversas áreas, tais como ecologia, mecânica dos fluídos, matemática, medicina, química, etc., e a partir dos anos 80 começaram os estudos nas ciências sociais.

Smith [1998] explica o caos como um conceito matemático, onde um sistema de equações tem as seguintes características: sensível dependência às condições iniciais; divergência exponencialmente rápida (não linearidade); existência de Atratores (estabilidade dinâmica). Para explicar o conceito de atratores, costuma-se desenhar a “trajetória” ou “estado” do sistema ($x(t)$, $y(t)$, $z(t)$) em função do tempo “ t ” no chamado “espaço de fase”. Se o sistema possuir um atrator, ele não “explodirá” (caos) e as trajetórias tenderão para os atratores. O atrator pode ser um ponto fixo do espaço de fase, e o sistema será estável. Se forem dois atratores, as trajetórias variarão entre limites e se for um número maior que dois a trajetória começará a apresentar comportamento complexo, porém periódico. Existem ainda os Atratores Estranhos, correspondendo a números fracionários, estudados através de geometria fractal (KAYE, 1993), onde as trajetórias tendem a eles de forma aperiódica, porém determinística (não aleatória), com aplicações no estudo de sistemas dissipativos dinâmicos.

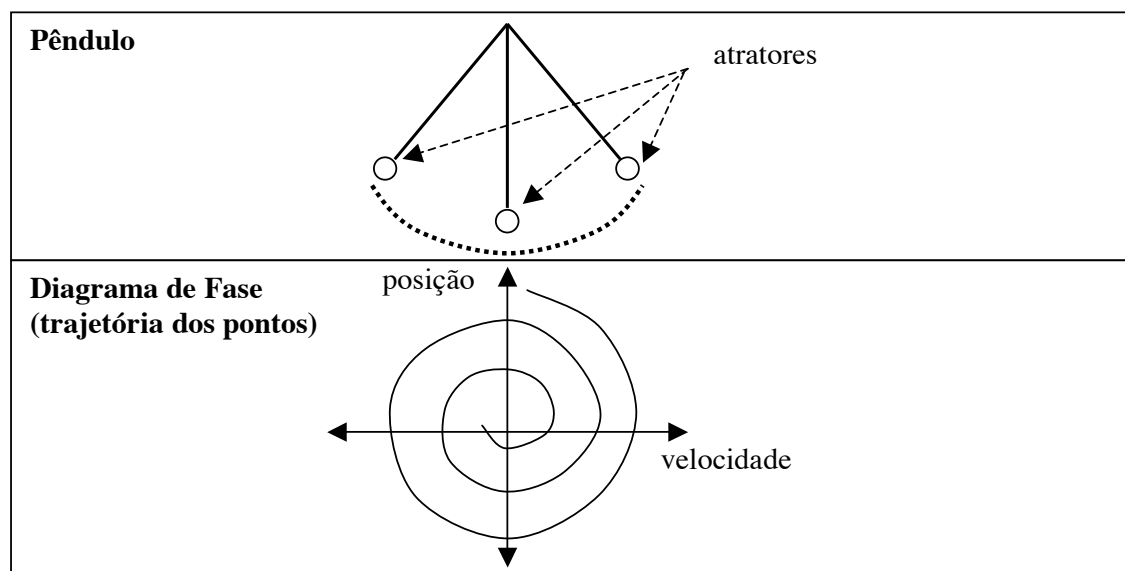


FIGURA 1 – Exemplo de Diagrama de Fase para um pêndulo amortecido (posição X velocidade).

Uma outra propriedade dos sistemas complexos que possuem atratores é a duplicação de períodos (ZASLAVSKY, 1994), onde a estabilidade surge após períodos de instabilidade, em períodos que guardam proporção entre si (comportamento conhecido como “ordem no caos”). Os pontos onde ocorrem a duplicação são também chamados de pontos de bifurcação. Ilya Prigogine recebeu o Prêmio Nobel de Química de 1978 por seu trabalho sobre “estruturas dissipativas”, que mostra que mudanças aleatórias em um sistema dinâmico podem fazer surgir espontaneamente novas configurações estáveis. Estrutura dissipativa é um sistema aberto que se conserva bem longe do equilíbrio, embora seja também estável: a mesma estrutura global se conserva apesar do fluxo (de matéria e energia) e da mudança constante dos seus componentes. Quando o fluxo de energia aumenta, o sistema pode chegar a um ponto de bifurcação, de onde podem derivar novos estados ou novas estruturas estáveis.

A complexidade pode ser observada em sistemas simples. Além do exemplo de 3 equações a 3 variáveis descrito por Lorenz, Martelli (1992) dá exemplos de sistemas complexos a 1, 2 e 4 variáveis (respectivamente produção e morte de células de sangue; equilíbrio presaXpredador e redes neurais).

Çambel (1993) teceu as seguintes considerações para identificar sistemas caóticos:

1. complexidade pode ocorrer na natureza e em sistemas feitos pelo homem, bem como em estruturas sociais;

2. sistemas dinâmicos complexos podem ser muito grandes ou muito pequenos, na verdade, em alguns sistemas complexos, componentes grandes e pequenos vivem cooperativamente;
3. a forma física pode ser regular ou irregular;
4. como regra, quanto maior o número de partes de um sistema, mais provável da complexidade ocorrer;
5. a complexidade pode ocorrer em sistemas conservativos bem como dissipativos de energia (sujeitos à entropia);
6. o sistema não é nem completamente determinístico nem completamente aleatório, e exibe ambas características;
7. as causas e efeitos dos eventos que o sistema experimenta não são proporcionais;
8. as diferentes partes de sistemas complexos são ligadas e afetam uma a outra de maneira sinérgica;
9. há retroalimentação (*feedback*) positivo ou negativo;
10. o nível de complexidade depende da característica do sistema, seu ambiente e a natureza das interações entre eles;
11. sistemas complexos são abertos no sentido que eles podem trocar material, energia e informações com suas vizinhanças;
12. sistemas complexos tendem a suportar processos irreversíveis;
13. sistemas complexos são dinâmicos e não em equilíbrio; eles são como uma jornada, não uma destinação, e eles podem possuir um alvo móvel;
14. muitos sistemas complexos não são bem comportados e, freqüentemente, suportam mudanças rápidas que sugerem que as relações funcionais que os representam não são diferenciáveis;
15. existem paradoxos, tais como eventos rápidos e lentos, formas regulares e irregulares e corpos orgânicos e inorgânicos em co-habitação.

No mundo complexo, simples causa-e-efeito, fácil previsibilidade e habilidade de controlar desaparecem.

4. Ciência da Complexidade aplicada às organizações

De acordo com Toffler (1980), a aplicação da Teoria da Complexidade às organizações tem por base a Teoria dos Sistemas desenvolvida a partir da II Guerra da qual evoluiu a Cibernética (e sistemas complexos como inteligência artificial e a internet), as idéias sobre redes vitais desenvolvidas pelos ambientalistas a partir dos anos 70 (as quais evocam sistemas complexos como a ecologia e as cidades) e o trabalho de Ilya Prigogine.

Nos últimos anos, diversos artigos procurando aplicar os conceitos da complexidade às organizações foram publicados. Nestes, os tradicionais modelos mentais simplificados de empresa, que por vezes obscurecem nossa compreensão dos fenômenos reais que acontecem, são substituídos por modelos mentais onde as empresas são comparadas a sistemas compostos por partes que interagem de forma sinérgica para atingir um objetivo comum. Okes (2003) afirma que as interações entre os elementos do sistema ocorrem por troca de informações. Wood (1993) faz um resumo das aplicações da Teoria do Caos aos campos de Finanças, Economia e Gerenciamento. Herscovici (2005) nos lembra que na Economia, os processos são irreversíveis e ocorrem em não-equilíbrio, ou seja, o sistema está em constante evolução e não se pode voltar ao “estado anterior”, pois custos já foram incorridos ou outras alterações já foram feitas. Sayeg (2003) aplicou os conceitos da complexidade ao estudo de soluções para a sonegação tributária no Brasil, e deduziu que o cartesianismo de uma única solução não é viável neste cenário complexo, e propôs uma abordagem de múltiplas frentes e uma contínua adaptação às condições encontradas. Amato e Lisondo (2002) concluíram que as empresas latino-americanas para sobreviver à globalização e outras mudanças devem operar como

sistemas abertos em constante interação e adaptação ao meio externo. Agostinho (2003) realizou um estudo de caso em uma empresa nacional, encarada como um sistema complexo adaptativo e, de forma impressionante, verificou que o próprio sucesso do sistema de gestão provocou o seu fracasso: após haver alcançado e superado suas metas, o quadro diretivo foi desfeito mediante transferências para outras unidades, e o sistema entrou em declínio.

Forrester (1969), em um trabalho pioneiro, usou simulação em computador e aplicou conceitos de sistemas dinâmicos, tais como interação de fluxos (de materiais, pedidos, pessoas, máquinas e equipamentos, dinheiro e por último informação, que une os demais), teoria do controle (informação-*feedback*, *delay* e ampliações) e regras básicas de decisão (políticas) para criar modelos dinâmicos não-lineares destinados ao estudo do funcionamento de empresas, cadeias de fornecimento, mercados, preços etc. Ao invés de buscar soluções “ótimas”, mostrou que observar o comportamento do sistema ao longo do tempo trazia informação valiosa.

Ouchi (1986) nos deu como exemplo de estrutura melhor configurada para operar sistemas complexos as organizações japonesas, por serem mais flexíveis, a tomada de decisão ser coletiva e os profissionais serem mais polivalentes.

Senge (1990) nos fala da “organização que aprende” e incentiva a ver interrelações ao invés de cadeias lineares de causa-efeito; e ver a mudança como um processo mais do que um evento. Os ciclos dos sistemas complexos podem ser classificados em arquétipos compostos por 3 tipos de elementos: reforço, balanceamento e demora na resposta (*delay*). As empresas e seu ambiente (competidores, mercado) são mais bem entendidos como sistemas que co-evoluem (como um sistema presa-predador ou a corrida armamentista).

Para Priesmeyer (1992), as organizações, mais do que estabilidade, deveriam ter foco na mudança. Assim, medidas das taxas de variação de indicadores (valores marginais) são as principais fontes de informação, e o autor utiliza o diagrama de espaço de fases para representar as relações entre taxas de diferentes indicadores. Neste gráfico as taxas de variação de X e Y (ΔX e ΔY), calculados como a diferença de valores entre 2 intervalos de medição, são grafadas e a trajetória formada é interpretada em termos de períodos ou ciclos. Quanto mais longo o período maior o nível de “caos” do sistema:

- Ciclo de período 1: representado por um ponto no gráfico, identifica grande estabilidade de X e Y.
- Ciclo de período 2: representado por uma reta no gráfico, demonstra que as taxas de variação de X e Y são proporcionais (a relação de causa e efeito é clara).
- Ciclo de período 4: representado por uma órbita que visita os quadrantes do gráfico, denota que os valores marginais de X e Y oscilam de forma não proporcional, mas ainda periódica (a relação de causa e efeito não é tão clara).
- Ciclo de período 8: representado por uma trajetória complexa, onde os valores de ΔX e ΔY oscilam de forma não proporcional e não se reconhece a mais a periodicidade (o que pode-se classificar como “caos”). Mesmo assim a trajetória não é aleatória e ações poderiam ser empreendidas para reduzir o nível de caos.

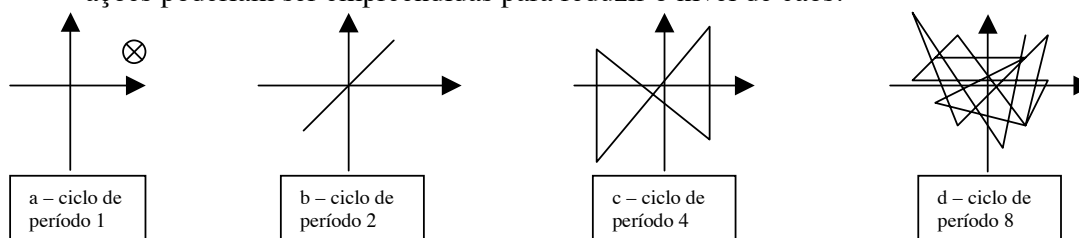


FIGURA 2 – Ciclos de período 1, 2, 4 e 8 no Diagrama de Espaço de Fase.
FONTE: Priesmeyer (1992)

Segundo Priesmeyer “em geral, todos os modelos complexos de atividades organizacionais parecem ser dirigidos por atratores simples, de baixa ordem”, porém “caos de alta ordem oferecem oportunidade e risco, enquanto que caos de baixa ordem oferecem previsibilidade e restrições”. O autor propõe várias situações onde este tipo de estudo poderia ser utilizado, como por exemplo alterações em vendas *versus* alterações em lucros; variações de demanda do revendedor *versus* variações de demanda do atacadista, mudanças no volume de produção *versus* mudanças na qualidade, etc. No planejamento estratégico o autor enxerga aplicações em previsões futuras, planejamento de fusões e aquisições, estratégias de crescimento e desinvestimento etc.

Morgan (1996) nos explica que uma empresa pode evoluir e ao mesmo tempo manter sua identidade, mas para tanto ela deverá desenvolver uma capacidade de aprendizado tipo circuito duplo, onde de um lado são estabelecidas normas de operação e controles para detectar e corrigir desvios destas normas (*feedback* negativo), e de outro lado o autoquestionamento do padrão permite modificar estas normas de modo a adaptar-se a novas circunstâncias (*feedback* positivo). Este comportamento auto-regulador depende de um processo de troca de informações e leva a um equilíbrio dinâmico, que evita o egocentrismo (perda da sensibilidade às mudanças externas) e o caos. A mudança deve ser encarada não como uma simples relação linear de causa e efeito, mas como relações circulares de causalidade mútua (onde causas causam causas). A aprendizagem nas organizações é prejudicada pela excessiva departamentalização e especialização, ao pouco incentivo à experimentação (punição por erros), discurso dissociado da prática e excessivo egocentrismo. Para Morgan, as empresas deveriam investir em estruturas flexíveis, profissionais mais generalistas em equipes multidisciplinares capazes de lidar com o ambiente de maneira holística e integrada, auto-reflexão e incentivo à experimentação. Morgan também sugere um planejamento estratégico menos impositivo de metas e prazos e mais no formato do que se deveria evitar (seus limites) e o uso de redundâncias para melhorar desempenho.

Capra (2002) afirma que “a rede social é um padrão não-linear de organização, de maneira que os conceitos desenvolvidos pela Teoria da Complexidade, como os de realimentação (*feedback*) ou surgimento espontâneo (*emergence*), provavelmente encontrarão também aí a sua aplicação”. Acrescenta ainda que “as redes sociais são antes de mais nada redes de comunicação que envolvem a linguagem simbólica, os limites culturais, as relações de poder e assim por diante”. Capra faz as seguintes analogias:

- as empresas, para se adaptarem às mudanças, inovar e evoluir, dependem do surgimento espontâneo, que está ligado ao aprendizado e criatividade;
- propõe que os processos de reengenharia (imposto de cima para baixo na hierarquia) sejam menos adequados à nova realidade complexa das empresas do que as mudanças geradas pelas redes informais de comunicação e cooperação que ele chamou de “comunidades de prática”.

Em resumo, as organizações devem ser pensadas como sistemas complexos adaptativos, ou seja, compostos de vários agentes ativos e autônomos estruturados em rede, os quais interagem sob a aplicação sucessiva de um conjunto de metaregras (regras para a criação ou escolha de regras, limites), provocando variações na estrutura ao longo do tempo e de forma não proporcional aos estímulos recebidos do ambiente externo e de informações de seu próprio desempenho, porém mantendo a sua identidade se houverem atratores. Estes agentes aprendem e adaptam seus comportamentos a partir das pressões de seleção presentes. O comportamento global do sistema emerge, então, segundo uma dinâmica não-linear que pode provocar resultados inesperados, podendo se apresentar estável, caótico ou adaptativo. *Feedbacks* positivos reforçam comportamentos e podem levar ao caos. *Feedbacks* negativos freiam as mudanças e podem levar à estagnação (entropia). Certos sistemas podem apresentar

pontos de bifurcação e assumir rapidamente novas formas ou passar rapidamente do caos à estabilidade e vice-versa.

As principais idéias que se formam a partir dos conceitos acima são:

- como sistemas complexos se “auto-organizam” sob poucas regras simples, criando seu próprio modelo de comportamento, para empresas que vivem em ambientes de rápida evolução, como as empresas de tecnologia, planos e controles rígidos podem não funcionar, e restrições rígidas e objetivos irrealistas são contraproducentes. A principal preocupação da gerência deveria ser então proporcionar as condições para a emergência do sistema sem perda de identidade, definido metaregras tais como visão, missão e políticas da empresa.
- Nestes ambientes em constantes mutações, também as formas de organização deveriam ser mais fluídas, tais como redes ou células, as responsabilidades e autoridades por tarefas e decisões deveriam ser delegadas (*empowerment*), porém redundâncias como folgas e *back-ups* são recomendados.
- Ações que reduzam o nível de “caos” do sistema, como simplificações de processos, o tornam mais estável e previsível.
- Uma empresa que permaneça muito tempo estável em um ambiente em mutação tem a tendência a perecer. Uma empresa que apresente comportamento caótico também tende a sucumbir, por não ser previsível e ser anárquica e auto-destrutiva. A empresa melhor sucedida será aquela que se mantém “no limite do caos”, ou seja, navega entre os atratores de estabilidade e o caos, operando ciclos de causalidade mútua. O “ótimo” determinístico é virtualmente impossível de atingir, e o melhor que se pode fazer é estar ligeiramente à frente dos competidores (*benchmarking*).
- Simulação em computador e diagramas de fase podem ser ferramentas úteis para analisar sistemas complexos.

5. Ciência da Complexidade e Metodologias da Qualidade

Giovannini (2002) realizou um estudo de múltiplos casos em empresas industriais brasileiras possuidoras de sistemas de gestão conforme ISO9001 para avaliar como certas características de sistemas organizacionais dinâmicos não-lineares, consideradas eficazes pela Teoria da Complexidade, se relacionavam com a eficácia destas organizações. As características escolhidas foram: a) adesão a um sistema de metaregras criando uma identidade organizacional sem restringir as alternativas estruturais; b) qualidade de interação dos agentes do sistema; para explorar os limites do sistema (ex.: redução de estoques sem causar falta de insumos), mantendo o sistema em equilíbrio dinâmico, longe de atratores estáveis (estagnação) e dos atratores instáveis (desintegração do sistema), mantendo o sistema em torno de atratores estranhos. Dentro das limitações do estudo, o autor pode perceber que a prática correspondeu à teoria.

Borges e Guastello (1998) realizaram um *survey* em empresas americanas para avaliar alguns aspectos da aplicação do TQM em relação à Teoria do Caos. Eles relacionaram produto (qualidade), processo (produtividade) e recursos humanos como atratores (de custos), e o equilíbrio (ou desequilíbrio) do sistema dependerá do balanço entre investimentos em cada um destes componentes. O *survey* revelou aumento no uso de ferramentas de qualidade, produtividade e de recursos humanos, mas a combinação destes investimentos dependeu de fato de cada empresa particular (condições iniciais).

Leach (1996) compara o TQM e a Reengenharia sob a perspectiva da Teoria da Complexidade e conclui que, por serem as empresas sistemas adaptativos complexos, o TQM é uma melhor resposta do que a reengenharia para os desafios da competitividade, pois permite uma constante adaptação do sistema ao seu ambiente, em constante mutação. A melhoria contínua (*kaizen*) é um *feedback* positivo para a tendência à estabilização (desgaste

de máquinas, degradação de relações, entrada de operadores não treinados, perda de registros etc.). A reengenharia altera os relacionamentos entre os elementos do sistema de forma brusca, gerando uma nova estrutura, mantendo a identidade do sistema, mas as pessoas normalmente não têm tempo de aprenderem a lidar com a nova estrutura, o que pode gerar o caos. Além disso, a reengenharia não irá melhorar todos os critérios de desempenho simultaneamente, pois isto é impossível nos sistemas complexos, por não serem previsíveis. Se o novo sistema for mantido por regras rígidas, ele tende a se sucumbir em um ambiente de constante mutação, pois sistemas complexos são produtores de sua própria mudança e rejeitam planos impostos autoritariamente. A reengenharia tem grande aceitação por prometer grandes melhorias em curto espaço de tempo, em oposição ao TQM, mas a reengenharia não é um substituto para o TQM, o qual é uma filosofia e não uma simples ferramenta.

Por outro lado, a melhoria contínua só atua nos elementos do sistema e não modifica fundamentalmente as interrelações entre as partes do sistema, enquanto que a reengenharia de processos trabalha fundamentalmente alterando e reduzindo as interrelações do sistema para reduzir a complexidade e melhorar a previsibilidade do processo, por meio de alterações em fluxo de trabalho, realocação de pessoal e alterações similares. Desta forma espera-se que a melhoria contínua funcione bem em sistemas simples ou quando não se deseja mudanças radicais em sistemas complexos, enquanto que mudanças relevantes em sistemas complexos forçosamente reclamam por mudanças em suas interrelações, campo de ação da reengenharia.

O Seis Sigma tem por meta atingir níveis muito baixos de defeitos, e para isso lança mão de ferramentas estatísticas. Hutchison (1994) advoga que para se lidar com sistemas complexos que requerem baixo nível de falhas, tais como sistemas de cuidados médicos (aparelhos hospitalares, análises clínicas, sistemas de suporte à vida etc.), o uso de redundâncias, dispositivos à prova de falhas ou projetos robustos são necessários.

Segundo Priesmeyer (1992), a estatística tradicional pode mascarar a não linearidade na forma de erros, reduzindo a quantidade de informação disponível. Portanto, as ferramentas da qualidade deveriam ser adequadas aos sistemas complexos:

- Diagrama de Ishikawa → não revela facilmente interação entre causas, em especial relações de causalidade mútua. Uma proposta é a representação das relações causais e de *feedbacks* positivos e negativos em diagramas de arquétipos (SENIGE, 1990);
- Diagrama de Pareto → pode ser usado para ordenar as principais causas de não-linearidade;
- Histograma → não traz informações sobre a ordem em que os dados foram coletados, e portanto pode ocultar padrões de não-linearidade;
- Diagrama de correlação e regressão linear → não revelam os modelos cronológicos relativos aos pares de dados. Regressões não lineares são necessárias para modelar os processos não lineares;
- Fluxogramas e planilhas → a complexidade dinâmica é mais bem representada por modelos de simulação computacional ou diagramas de arquétipos do que por simples fluxogramas ou planilhas.
- Gráficos de controle → como os sistemas são sensíveis a pequenas variações, gráficos tradicionais de Shewhart podem não ser os mais indicados, e gráficos do tipo EWMA e CuSum podem ser mais adequados. NEMBARD e KAO (2003) propõem o uso de gráfico EWMA para processo com dados autocorrelacionados, como é o caso de iterações, e propõe um modelo de gráfico adaptativo (com ajuste dos parâmetros com o tempo) para controle de processos dinâmicos;
- Estudos de confiabilidade (Árvore de Falhas, FMEA, ensaios, estimativa de vida e de probabilidade de falhas, manutenibilidade e dependabilidade) podem ser importantes pois revelam como pequenas causas podem gerar acidentes de grandes proporções;
- Melhorias feitas com DOE, ANOVA, Taguchi e Superfície de Resposta devem levar

em conta a não linearidade do processo, e devem portanto incluir pelo menos 3 níveis para os fatores e replicações para avaliar interações.

A utilização do DMAIC em um sistema dinâmico complexo não-linear poderia ser entendida da seguinte forma:

- *Define* - expressar Y em função de X de maneira qualitativa.
- *Measure* - utilizar o diagrama de espaço de fase para representar $\Delta Y=f(x_1,\Delta x_1, x_2, \Delta x_2, \dots)$, ou seja, a variação de Y versus a variação de X para revelar o comportamento complexo do sistema.
- *Analyze* - analisar como maximizar (ou minimizar) Y por busca de atratores adequados.
- *Improve* - introduzir as variações no sistema.
- *Control* - estabelecer as condições para as quais $Y=f(x)$ sempre (não caótico).

6. Implantação de Metodologias da Qualidade

Um grupo que esteja empenhado na implantação de uma Metodologia da Qualidade em uma empresa pode ser entendido como um sistema complexo que opera um processo dinâmico (o de implantação). Os elementos envolvidos (Diretoria, colaboradores, consultores, equipe de implantação) interagem entre si de forma periódica (reuniões mensais de acompanhamento, por exemplo), mas como as ações e reações nem sempre são proporcionais, o sistema pode adquirir comportamento caótico e entrar em colapso, como quando as mudanças não ocorrem ou quando há reações inesperadas às mudanças propostas.

Na implantação de um sistema de gestão conforme a ISO9001:2000, por exemplo, são comuns os problemas de padronização excessiva, objetivos da qualidade irreais e falta de ações corretivas e preventivas. Todos esses problemas, como foi visto, podem levar ao caos. A ISO9001 reconhece que a documentação deva ser proporcional à complexidade dos processos e de suas interações e propõe metaregras (Política, diretrizes) em lugar de regras rígidas para o sistema da qualidade, e portanto a padronização deve permitir um grau de flexibilidade adequado. Os objetivos devem ser coerentes com a missão, visão e política da empresa, e devem também permitir uma certa tolerância. As ações corretivas e preventivas servem de *feedback* positivo ou negativo para manter o sistema dentro dos parâmetros desejados e levar assim à melhoria contínua. Ações preventivas requeridas pela norma ISO9001:2000 poderiam considerar a simplificação dos processos, pois cada passo de um processo envolve no mínimo duas interações com outros passos do processo, assim o número de interações aumenta muito mais rápido que o número de passos do processo, podendo tornar o sistema caótico.

Na implantação do TQM e Seis Sigma, problemas comuns são o envolvimento insuficiente da Direção, o uso errôneo de ferramentas da qualidade, a falta de um sistema adequado de medição de desempenho e principalmente no caso do TQM, a falta do *empowerment*. Neste caso os conceitos da Teoria da Complexidade nos indicam que é necessário o reforço positivo (conscientização da Direção pelo uso de medições adequadas de desempenho, treinamento para escolha e uso correto das ferramentas e a delegação de responsabilidades/autoridades) para evitar o colapso do sistema. Dado que as relações simples de causa-e-efeito não se aplicam a sistemas complexos, ferramentas adequadas devem ser aplicadas (diagrama de fase, diagrama de arquétipo, regressões não-lineares, simulação em computador, EWMA, CuSum, simulação, confiabilidade, DOE etc.). Aconselha-se o uso de redundâncias (ex.: controles em paralelo), projetos robustos (ex.: folgas em cronogramas de projetos) e poka-yokes para atingir baixos níveis de defeitos.

A Reengenharia é uma Metodologia que envolve muitos riscos em um sistema complexo, pois o sistema complexo tem a característica de auto-regulação, que é “quebrada” pela reengenharia. Quando a reengenharia envolve a simplificação do processo (menor ordem

de “caos”), como a informatização de rotinas e enriquecimento de cargos, esta se torna viável. O tempo e treinamento adequado para as pessoas se habituarem às novas rotinas é fundamental nestes processos de implantação.

Em todos os casos, os processos de comunicação devem ser privilegiados (reuniões, relatórios informativos, comunicações à distância etc.), pois é a troca de informações que sustenta o sistema complexo. Também deve ser dada a liberdade às pessoas para se associarem em grupos espontâneos (comunidades de prática).

O exemplo de um diagrama de arquétipo a seguir envolve a dinâmica de implantação de uma Metodologia da Qualidade. Este arquétipo, baseado em Senge (1990), envolve um ciclo de reforço positivo, focado na mudança e melhoria, empreendido pelo consultor e/ou equipe de implantação, contrabalançado por um *feedback* negativo, representado pelo processo que se deseja melhorar. Este reforço negativo pode ser a resistência a mudanças ou restrições físicas, que necessitam de investimento para mudar seu desempenho. Este investimento, por sua vez, é suportado por outro ciclo de reforço positivo, com um *delay* (demora na resposta) que pode significar o tempo necessário para convencimento da Direção ou o tempo para concretização do investimento. Este ciclo também trabalha sob um padrão de desempenho, que pode ser os requisitos da norma ISO9001:2000, um *benchmark* ou um valor como Seis Sigma (3,4 ppm). A Direção sofrerá pressão para reduzir este padrão de desempenho para justificar o desempenho baixo. Caso os benefícios não surjam, o consultor/equipe poderá culpar a Direção por não investir ou o Processo por não melhorar seu desempenho. Da mesma forma o Processo culpará o consultor/equipe e a Direção pelas cobranças sem investimento necessário. Por fim, a Direção poderá já ter feito o investimento sem que ele tenha tido tempo de se refletir em mudança no desempenho, ou poderá preferir protelar a decisão de investimento, desmotivado pelo baixo desempenho, pelo alto padrão de desempenho requerido ou ainda por não estar convencida dos benefícios ou por ter outras prioridades.

Avaliando-se o diagrama, fica mais fácil perceber a dinâmica envolvida, de modo a esclarecer as partes envolvidas e realizar as ações corretas, sem resvalar para o caos ou para a estagnação na implantação da metodologia.

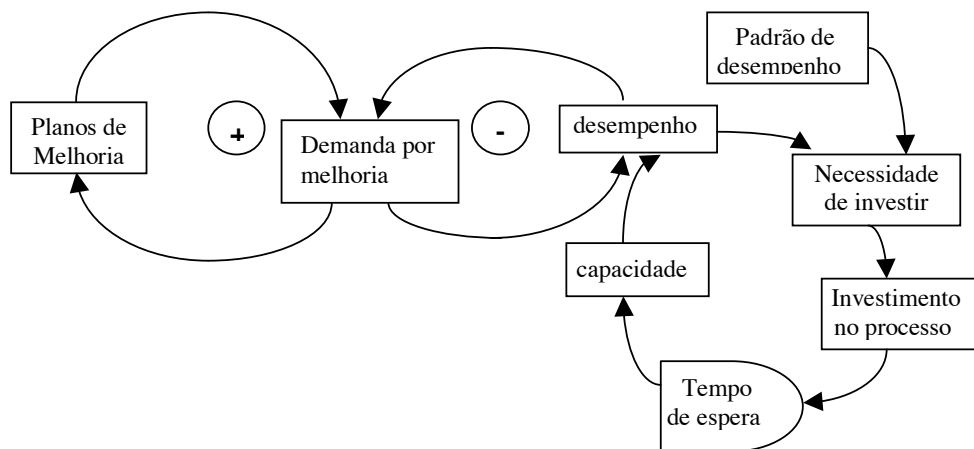


FIGURA 3 – Exemplo de Arquétipo

6. Conclusão

A ciência da Complexidade nos fornece idéias valiosas sobre como implantar Metodologias da Qualidade em empresas, que pode ser encarado como um processo que opera um sistema complexo, dinâmico e não linear, pois é o resultado da interação entre várias pessoas, equipamentos e o ambiente, resultando em um sistema que evolui e que possui

elementos de auto-regulação, que podem levá-lo à estagnação, ao caos (autodestruição) ou fazê-lo atingir um estágio de “equilíbrio dinâmico” – no limite do caos, que produzirá o melhores resultados. Como a complexidade não depende somente de quantos processos e produtos uma empresa tenha, mas também do ambiente e da natureza das interações entre seus elementos, ela pode surgir em empresas de qualquer porte. Estes sistemas não são plenamente determinísticos ou aleatórios, e portanto a previsibilidade dos resultados é baixa. Também o processo é irreversível, ou seja, os custos serão incorridos, e as decisões serão tomadas sob razoável grau de incerteza.

Para maior probabilidade de sucesso, a implantação da metodologia deverá permitir o surgimento espontâneo do sistema, e para isso o investimento em aprendizado e criatividade deve ser privilegiado em relação a controles e regras rígidas (por exemplo, flexibilizando a metodologia para adequá-la ao cliente particular). Para preservar a identidade da empresa, este surgimento espontâneo deve ser feito dentro de metaregras (políticas, diretrizes, limites) estabelecidas pela Alta Direção, as quais devem ser “trilhas” e não “trilhos”. A estrutura de implantação deverá ter razoável grau de flexibilidade, para facilitar a comunicação e a interação, o que poderá significar grupos formados espontaneamente (comunidades de prática). O acesso à informação tem sempre grande impacto na interação entre as pessoas, portanto a gestão da informação tem caráter estratégico, tornando as reuniões, relatórios, acesso à internet e outras fontes de informação elementos importantes para o sucesso da implantação.

Cada metodologia possui características próprias que merecem cuidado quando se considera o comportamento complexo do sistema. Com relação à ISO9001:2000, a padronização excessiva, objetivos irreais e falta de ações corretivas e preventivas (que devem atuar na auto-regulação do sistema) são os problemas mais comuns. A melhoria contínua atua como um *feedback* positivo. No caso do TQM, e Seis Sigma, problemas comuns são o envolvimento insuficiente da Direção, o uso errôneo de ferramentas da qualidade, a falta de um sistema adequado de medição de desempenho e principalmente no caso do TQM, a falta do *empowerment*, problemas estes que devem ser tratados com reforço positivo (conscientização da Direção pelo uso de medições adequadas do desempenho, treinamento para escolha e uso correto das ferramentas e a delegação de responsabilidades/autoridades). Aconselha-se o uso de redundâncias, projetos robustos e poka-yokes para atingir baixos níveis de defeitos. Os processos de reengenharia devem ser observados com cuidado, pois tanto podem levar o sistema ao caos como podem simplificá-lo e torná-lo não complexo. A reengenharia deve ser reservada para casos em que se deseja mudanças radicais nas interações entre elementos do sistema.

Futuros estudos podem focar na aplicação prática destes pontos de vista em empresas.

7. Referências Bibliográficas

- AGOSTINHO, M. C. E. Administração Complexa: revendo as bases científicas da Administração. **RAE-eletrônica**, Vol. 2, N. 1, jan.-jun., 2003. Disponível em < www.rae.com.br/eletronica >. Acesso em: 16 jan. 2006.
- AMATO Neto, J.; LISONDO, H. R. Qualidade: ciência, mito e fé. **RAE-eletrônica**, Vol. 1, N. 1, jan-jun,2002. Disponível em < www.rae.com.br/eletronica >. Acesso em: 16 jan. 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9001:2000 - Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos**, Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- BORGES, L. A J; GUASTELLO, S. J. Chaos theory applied to TQM: A survey. In: **ASQ's Annual Quality Congress Proceedings**, Milwaukee, p. 578 (8 pp.), 1998.
- ÇAMBEL, A. B. *Applied Chaos Theory: a paradigm for complexity*. USA: Academic Press Inc., 1993.
- CAPRA, F. *As Conexões Ocultas: Ciência para uma vida sustentável*. São Paulo: Cultrix, 2002.

- CHAMPY, J. **Reengenharia na gerência: o mandato da nova liderança**. Tradução Outras Palavras. Rio de Janeiro: Campus, 1995.
- FORRESTER, J. W. **Industrial Dynamics**. Sexta reimpressão. Cambridge, MA.: MIT Press, 1969.
- GIOVANNINI, F. **As organizações e a complexidade: um estudo dos sistemas de gestão da qualidade**. Dissertação apresentada à FEA para a obtenção do título de Mestre em Administração. Orientador: Prof. Dr. Isak Kruglianskas. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.
- GLEICK, J. **Caos: a construção de uma nova ciência**. Lisboa, Portugal: Gradiva Publicações Lda., 1989.
- HAMMER, M. e CHAMPY, J., **Reengenharia: revolucionando a empresa em função dos clientes**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994.
- HERSCOVICI, Alain. Irreversibilidade, Incerteza e Teoria Econômica: Reflexões a respeito do indeterminismo metodológico e de suas aplicações na ciência econômica. **Seis Sigma**, 2005.
- HUTCHISON, Doug. Chaos theory, complexity theory, and health care quality management. **Quality Progress**, Milwaukee, Vol. 27, Iss. 11, p. 69 (4 pp.), Nov. 1994.
- KAYE, B. H. **Caos&Complexity: discovering the surprising patterns of science and technology**. Weinheim, Germany: 1993.
- LEACH, L. P. TQM, reengineering, and the edge of chaos. **Quality Progress**, Milwaukee, Vol. 29, Iss. 2, p. 85 (6 pp.), Fev. 1996.
- MARTELLI, M. **Discrete dynamic systems and chaos**. EUA: Longman Scientific & Technical, 1992.
- MORGAN, G. **Imagens da organização**. São Paulo: Atlas, 1996.
- NEMBHARD, H. B.; KAO, M. S. Adaptive forecast-based monitoring for dynamic systems. **Technometrics**, Alexandria, vol. 45, Iss. 3, p. 208, Ago. 2003.
- OKES, Duke. Complexity theory simplifies choices. **Quality Progress**, Milwaukee, Vol. 36, Iss. 7, p. 35, Jul 2003.
- OUCHI, W. Teoria Z: Como as empresas podem enfrentar o desafio japonês. São Paulo: Nobel, 1986.
- PRIESMEYER, H. R. Organizations and chaos: defining the methods of nonlinear management. Westport, Connecticut: Quorum Books, 1992.
- PRIGOGINE, I. et al. HOLTE, J. (editor). Chaos: the new science. In: **26th Nobel Conference at Gustavus Adolphus College**. USA: University Press of America Inc., 1993.
- ROTONDARO, R. G. et al. **Seis sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas; 2002.
- SAYEG, R. N. Sonegação tributária e complexidade. **RAE-eletrônica**, Vol. 2, N. 1, jan-jun,2003. Disponível em< www.rae.com.br/electronica>. Acesso em: 16 jan. 2006.
- SENGE, P. M. **A Quinta Disciplina: arte, teoria e prática da organização de aprendizagem**. São Paulo: Best Seller, 1990.
- SERVA, M. O paradigma da complexidade e a análise organizacional. **Revista de Administração de Empresas**. EAESP/FGV. São Paulo, 32(2):26-35., Abr./Jun. 1992.
- SHIBA, S.; GRAHAM, A.; WALDEN, D. **TQM: quarto revoluções na gestão da qualidade**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.
- SMITH, P. **Explaining Chaos**. UK: Cambridge University Press, 1998.
- TOFFLER, A. **A Terceira Onda**. 17^a.edição. Tradução João Távora. Rio de Janeiro: Editora Record, 1980.
- WOOD Jr., Thomaz. Caos: a criação de uma nova ciência? **Revista de Administração de Empresas**. EAESP/FGV. São Paulo, 33(4):94-105, Jul./Ago. 1993.
- ZASLAVSKY, G. M. **Caos in Dynamic Systems**. EUA: New York University, 1994.