

## **MODELO DE CUSTOS DA QUALIDADE DINÂMICO BASEADO NA TEORIA DA COMPLEXIDADE NASARIO DE SOUSA FILIPE DUARTE JUNIOR**

**nasario@latoqualitas.com.br**

Antes do surgimento da Gestão pela Qualidade Total (TQM), o paradigma tradicional era “melhor qualidade, maior custo”. Com o TQM, o paradigma passou a “melhor qualidade reduz custo” (Zero Defeitos), baseado na evidência empírica que a redução de refugos, retrabalhos etc. mais que compensava o investimento em qualidade. Porém o primeiro modelo conceitual de Custos da Qualidade, denominado modelo PAF (prevenção-avaliação-falhas) era conservador e propunha que haveria um “balanço” ótimo entre investimentos em melhoria da qualidade (prevenção + avaliação) e custos de falhas (internas e externas), e fora deste ponto de ótimo o custo total seria maior. Os defensores do Zero Defeitos, no entanto, propuseram um novo modelo PAF, onde a curva dos custos de prevenção + avaliação não mais tende ao infinito quando a taxa de falhas de aproxima do Zero Defeitos, mas chega a um valor positivo, que faz com que o custo total sempre diminua à medida em que a qualidade se aproxima da perfeição. Contudo, o novo modelo PAF ainda era um modelo estático, pois não considerava o efeito dos avanços tecnológicos e das decisões e ações no tempo, e assim outros autores começaram a propor modelos de custos da qualidade dinâmicos, em que o “ótimo” seria de fato um “alvo móvel”, pois quanto mais evoluído o sistema analisado, mais próximo do Zero Defeitos este ótimo estaria.

Paralelamente, com base na percepção de que a realidade torna-se mais e mais complexa e que o determinismo e reducionismo (modelos que simplificam exageradamente uma realidade) não são adequados à explicação de muitos fenômenos, surgiu no final do século XX uma nova área de estudos, conhecida como Teoria da Complexidade, a qual reconhece que as empresas operam sistemas interativos complexos adaptativos, e que procura entender as relações entre as partes destes sistemas e gerar novas interpretações para os fatos observados.

Segundo esta teoria, sistemas complexos possuem as seguintes características:  
SDCI: Sensível dependência às condições iniciais;

EXP: Divergência exponencialmente rápida (não linearidade);

ATR: Atratores (pontos no espaço para o qual o sistema converge e que determinam sua característica). Se não houver nenhum atrator, o sistema caminhará para o caos (deterioração). A existência de um atrator poderá significar estagnação (não evolução) ou estabilidade dinâmica (adaptação e evolução). A existência de atratores faz com que surja estabilidade após períodos de instabilidade (“ordem no caos”).

As interações entre os componentes do sistema são responsáveis pela complexidade. Quanto mais interações, mais complexo tende a ser o sistema. O maior número de interações pode se dar ou pelo grande número de agentes no sistema ou por repetidas interações entre os poucos agentes existentes, na presença de não-linearidades, como por exemplo, quando há descompasso entre ciclos de ação e reação (ou reforço positivo e negativo) do sistema, ou quando há “reações em cadeia”, ou seja, quando a

combinação de certos eventos ou efeitos cumulativos causam grande alteração do sistema. Quanto maior o atraso entre ação e reação, mais caótico e demorado será o ciclo.

Em uma empresa, os elementos do sistema são as pessoas e equipamentos, e os atratores suas regras, controles, lideranças etc. A interação entre as pessoas e com os equipamentos faz surgir ciclos de ação e reação pelo aprendizado, fazendo todo o sistema se adaptar e evoluir, tornando o “ótimo” determinístico virtualmente inalcançável.

O modelo matemático criado leva em conta:

- a) Que no modelo PAF, as curvas de custos de prevenção+avaliação e de custos de falhas (internas e externas) se comportam de maneira aproximadamente exponencial (condição EXP da Teoria da Complexidade), e que a primeira representa o reforço positivo e a segunda o reforço negativo;
- b) Os modelos PAF preveem que o ótimo se dá no encontro das curvas. Após derivar as expressões das curvas, estabelecer condições de contorno e igualá-las, vê-se que o ótimo vai depender das condições iniciais estabelecidas para  $q_0$  (taxa de falhas inicial),  $CP_0$  (custo de prevenção inicial) e  $CF_0$  (custo de falhas inicial), sendo pois sensível às condições iniciais (condição SDCI da Teoria da Complexidade). O ótimo pode assumir qualquer valor no intervalo  $0 \leq q \leq 1$  (taxa de falhas entre 0 e 100%), a depender do CP (custo de prevenção) e do CF (custo de falhas) de cada mercado e de cada momento, podendo ser considerado um “alvo móvel”, atendendo aos defensores dos modelos de custo da qualidade dinâmicos. O ótimo poderá ser inclusive o Zero Defeitos, como advogam os defensores do modelo PAF modificado, ou um valor positivo, como preferem os defensores do modelo PAF original.
- c) A variável independente do modelo é  $CP_n$  (custo de prevenção+avaliação no instante  $n$ ), que representa o quanto a direção está disposta a investir em controles e prevenção para a qualidade, sendo que as demais variáveis  $CF_n$  (custo de falhas no instante  $n$ ),  $q_n$  (taxa de falhas no instante  $n$ ) e  $CT_n = CF_n + CP_n$ , (custo total da qualidade no instante  $n$ ) são variáveis dependentes de  $CP_n$ .
- d) O modelo é dinâmico e iterativo, pois prevê que a Direção, a cada período  $n$ , tome a decisão de quanto pretende investir em  $CP_n$ , com base no desempenho obtido com a decisão tomada no período anterior, segundo uma regra de decisão simples: se a decisão no período anterior foi de investir em  $CP_n$  e o desempenho ( $CT_n$ ) caiu, então aplica-se o reforço positivo e o investimento em  $CP_n$  aumenta  $X$ , caso contrário o investimento em  $CP_n$  é reduzido em  $X$ , ( $X > 0$ ).
- e) Para tornar o modelo mais próximo da realidade das empresas, podemos imaginar que os investimentos em  $CP_n$  não repercutam imediatamente em  $q_n$  e consequentemente em  $CF_n$  e  $CT_n$ . Esta não-linearidade (defasagem entre ação e reação) pode ser ajustada para que o efeito do investimento se faça sentir “ $t$ ” períodos depois do instante “ $n$ ” em que estamos ( $0 \leq t \leq \infty$ ).

Foi observado que essa defasagem “ $t$ ” torna o sistema complexo, pois variando este valor o sistema pode se tornar caótico e “explodir” ( $CT_n$  aumenta até infinito) ou encontrar um equilíbrio dinâmico sobre um atrator  $q_{\text{ótimo}}$ . Para cada valor de “ $t$ ” surge um ciclo de “ $k$ ” de oscilações (para cima e para baixo) de  $CT_n$  que se repetem conforme um período calculado de  $k=2^{t+1}-1$  para  $t > 1$ ,  $t \in \mathbb{N}$  (excepcionalmente  $k=2$  para  $t=0$ ). No entanto, um comportamento surpreendente acontece quando  $t=4$ , onde, após uma fase de acomodação, o sistema adquire estabilidade (“ordem no caos”). Esta

singularidade coincidiu com o fato de o sistema ter convergido para  $CT_{\text{ótimo}}$  e foi estimada uma probabilidade de tal fato ocorrer para outros valores de “t”.

O modelo possui as seguintes restrições: estratégia imutável; a quantidade produzida não é uma variável do modelo; o valor “X” é fixo ao longo do período, embora possa ser estabelecido para cada simulação realizada. Assumiu-se também que valores de “t” muito elevados não serão usuais e não foram feitas explorações detalhadas além de “t”=6.

O modelo de custos da qualidade dinâmico estabelecido se mostrou consistente com os modelos conceituais mais aceitos, e também mais adequado à estratégia mais utilizada pelas empresas para determinar investimentos/desinvestimentos em qualidade, que é a “tentativa-e-erro”, investindo mais quando os resultados demonstram melhoria e investindo menos quando os resultados assim sugerirem. A hipótese que o efeito das decisões tomadas ocorra após “t” períodos aproxima o modelo da realidade das empresas, mas torna o sistema complexo, pois faz com que os efeitos das decisões sejam sentidos até k períodos posteriores.

Caso respostas rápidas ( $t=0$ ) não possam ser obtidas por meio de redução da complexidade do sistema (simplificação dos processos e/ou eliminação de atrasos de respostas), os Gerentes deveriam trabalhar com estabilidade dinâmica ( $t=4$ ), estabelecendo atratores para alcançar  $q_{\text{ótimo}}$  (diretrizes, objetivos realistas, liderança adequada, cultura de melhoria etc.). A estagnação seria causada por metas excessivamente rígidas, cultura de aversão ao risco etc., e faria com que o sistema não se adaptasse às mudanças em seu ambiente. Por outro lado, trabalhar “no limite do caos” (estabilidade dinâmica) exige cuidados, como redundâncias (controles adicionais, estoques, *back-ups*, flexibilidade, folgas entre outros).

A partir deste conhecimento novo, que o tempo de resposta dos investimentos (t) influencia fortemente o sucesso da estratégia, os Gerentes deveriam empreender esforços para conhecer esta defasagem e ajustá-la às condições de estabilidade estática ou dinâmica ( $t=0$  ou  $t=4$ ). Obter respostas imediatas ( $t=0$ ) ou em tempo adequado ( $t=4$ ) determinará o atingimento ou não do custo ótimo, que poderá, em determinados casos, ser o ZD.

-----FIM DO RESUMO-----