



# A GESTÃO DA MANUTENÇÃO NO PLANO ESTRATÉGICO DOS EMPREENDIMENTOS INDUSTRIAIS

**Jorge Ferreira do Rego Barros**  
(Universidade Federal Fluminense)

**Gilson Brito Alves Lima**  
(Universidade Federal Fluminense)

## **Resumo**

*A evolução da tecnologia e o crescimento industrial acompanhado da intensa aplicação de sistemas automatizados e equipamentos sofisticados levaram a função manutenção ao desenvolvimento de modelos, sistemas de gestão e utilização de técnicas de engenharia de confiabilidade capazes de atender às demandas da competição do mundo globalizado.*

*Neste contexto, a pesquisa, em uma abordagem bibliográfica e explanatória, analisa padrões, idéias, técnicas ou fatos através de relações causais entre eles para apresentar a manutenção como um centro de negócio da organização, com atuação relevante na preservação dos ativos físicos, além de propor um modelo para implementação de um plano estratégico que capacite a função manutenção na obtenção dos objetivos de desempenho, satisfação dos clientes, rentabilidade das organizações industriais e fator crítico de sucesso na sua sobrevivência através da diferenciação competitiva.*

*Palavras-chaves: Gestão de Manutenção; Engenharia de Confiabilidade; Gestão da Produção*

## 1. Introdução

Com a crescente complexidade dos sistemas industriais e o advento dos marcos regulatórios quanto à segurança e meio ambiente, as atenções se voltaram para a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos e seu conseqüente aperfeiçoamento. Como as falhas de equipamentos tiveram papéis relevantes nos piores acidentes e incidentes ambientais na história industrial com repercussões trágicas para as organizações envolvidas e para o ambiente físico e social, como os exemplos de Chernobyl, Bhopal, Piper Alpha, Challenger, Three Miles Island e, no Brasil, a plataforma da PETROBRÁS, P-36, os processos pelos quais estas falhas ocorrem e o que deve ser feito para geri-las passaram a desempenhar papel estratégico na sustentabilidade do empreendimento.

Neste contexto, a gestão da produção e, intrinsecamente, da manutenção se transformaram em ferramentas fundamentais na diferenciação competitiva das organizações industriais.

## 2. Formulação da situação problema

Em uma avaliação histórica da produção constata-se que, até pouco tempo atrás, ela estava relegada a um segundo plano dentro das organizações ocidentais sob o argumento de que as pessoas responsáveis por esta função eram treinadas para buscar a eficiência máxima do setor produtivo de modo a atender às exigências das funções comerciais das empresas, sendo avaliadas unicamente pela constante busca de redução de custos. O paradigma ainda era maior em relação à função manutenção, atribuída usualmente como uma despesa necessária no orçamento da produção, quase sempre “lembrada” nos programas de redução de custos (TSANG, 2002) e normalmente uma área de terceirização preferencial dentro dos organogramas empresariais.

Esta falta de visão sistêmica, que não permite a compreensão das relações de causa e efeito entre as diversas atividades nos resultados de uma organização industrial, ainda é fator restritivo no forjamento de vantagens competitivas na função produção através da valorização de critérios como qualidade, prazo, flexibilidade e não só custo.

Neste sentido, a pesquisa procura responder, em um primeiro momento, a questão: Quais as conexões dos planos estratégicos da função manutenção, no contexto da produção,

com os resultados globais das indústrias? Em seguida a pesquisa apresenta um modelo para responder: Como, através da engenharia de confiabilidade, implementar uma estratégia de manutenção capaz de influenciar o resultado global da organização?

## 2. Objetivo

Para demonstrar que a gestão da manutenção, dentro da gestão da produção, extrapolou o limite do aumento da lucratividade gerada pela maior disponibilidade e qualidade do produto e passou a ser um requisito de sobrevivência das organizações industriais, este estudo tem como objetivo apresentar a inserção da gestão da manutenção nas estratégias dos empreendimentos industriais, sob a abordagem do mapa estratégico e da perspectiva interna do *Balanced Scorecard* - BSC, e as informações de um caso prático de implantação da engenharia de confiabilidade na estratégia funcional da manutenção com esta finalidade.

## 3. Abordagem Metodológica

Utilizando-se a taxionomia apresentada por Collis *et* Hussey (2003), o estudo apresenta uma abordagem explanatória e qualitativa, caracterizado pelo aspecto descritivo e enfoque no significado, conduzido para aumentar o entendimento geral da influência estratégica da engenharia de confiabilidade, dentro da função manutenção, na rentabilidade das organizações, a partir dos conceitos estabelecidos na *Reliability-Centered Maintenance* (RCM) e na pirâmide da confiabilidade (CAVERO, 2006).

Desta forma, a pesquisa apresenta a contribuição da função produção no plano estratégico de uma organização industrial, trazendo a cadeia de valores de Porter (1992) e os objetivos de desempenho de Slack *et al* (1996) como suporte ao mapa estratégico de Kaplan *et* Norton (2004) e sua representação gráfica das conexões de causa e efeito entre os objetivos das quatro perspectivas do sistema equilibrado de medição estratégica (BSC), com ênfase na perspectiva dos processos internos, com a finalidade de solidificar a influência da produção na criação de valor na perspectiva do cliente e conseqüente suporte aos resultados da perspectiva financeira.

Os resultados práticos apresentados foram obtidos após estruturação de um processo de trabalho baseado nas premissas do artigo. Eles foram coletados após cinco meses de implementação do processo (em 2010), alguns indicadores são resultados acumulados nos últimos doze meses em uma unidade fabril de processamento do estado do Rio de Janeiro,

com 11.019 equipamentos estáticos, 392 equipamentos rotativos, mais de 10.300 instrumentos e 325 motores elétricos, e buscou trazer a confluência da aplicação dos conceitos da engenharia de confiabilidade na elaboração do plano estratégico funcional da manutenção com o resultado financeiro do empreendimento.

Pelo curto período da coleta dos resultados práticos, a pesquisa não faz uma abordagem quantitativa, pois muitas das informações geradas no processo são tratadas como pontos de referência para implementação de melhorias, que nem sempre são de curto prazo para realização.

## **4. A produção e sua contribuição nas estratégias empresariais**

### **4.1. Contextualização da contribuição da função manutenção no sistema de produção**

De uma forma simplificada, Porter (1992) considera como atividades de produção na sua cadeia de valores aquelas associadas à transformação dos insumos no produto final, como trabalho com máquinas, embalagens, montagem, manutenção de equipamentos, testes e operações de produção.

No estabelecimento do relacionamento entre as funções produção e manutenção, Tsang (2002) aponta a manutenção como fator crucial da estratégia de produção. Ele considera a perda de seguidores da “economia de escala” como resultado do número crescente de organizações que implementaram o “lean manufacturing”, produção “just in time” e programas “six sigma”, cuja tendência indica uma mudança de ênfase de volume para resposta rápida, eliminação de perdas e prevenção de defeitos, ambiente no qual, “quebras” de equipamentos, perda de velocidade e processo errático criarão problemas imediatos para o adequado suprimento de produtos e serviços aos clientes.

Slack *et al* (1996) enfatizam a vitalidade da função produção para qualquer organização que deseja ser bem sucedida a longo prazo, pois ela dá à organização uma vantagem baseada na produção, que é possível através dos cinco objetivos de desempenho básicos: vantagem em qualidade, vantagem em rapidez, vantagem em confiabilidade de entrega, vantagem em flexibilidade e vantagem em custo.

Desta forma, seja como um elo sutil dentro da cadeia de valor, com seus *tradeoffs* entre

atividades diretas e indiretas (produção e manutenção), ou como uma micro-operação da macro-operação produção, a manutenção contribui no processo de assegurar o lucro e o valor do empreendimento. Este conceito foi tipificado por Porter (1992) pela exemplificação simplificada de que a melhor manutenção, em geral, reduz o tempo de paralisação de uma máquina.

Dentro da manutenção, a engenharia de confiabilidade surgiu exatamente para focar as ações procedentes do melhor entendimento das funções e características dos ativos, colocando em prática estratégias e políticas proativas para reduzir a probabilidade e consequência das falhas destes ativos. Esta abordagem permite o desenvolvimento de políticas efetivas, com a utilização de técnicas de análise para qualificação do impacto das falhas com a finalidade de mitigar o risco total do negócio através de práticas de manutenção, políticas operacionais ou de novos projetos.

A engenharia de confiabilidade, entretanto, é uma ferramenta de aplicação integrada com as diversas áreas de atuação da companhia e por esta razão precisa estar presente no gerenciamento de processos (Reid *et* Ehresman, 1991 *apud* Vilarouca, 2008), cuja contribuição para organizar a empresa, sob a perspectiva de um conjunto de processos, está associada a entradas baseadas nos requisitos de clientes (internos e externos) e saídas mensuradas por indicadores de desempenho, necessariamente alinhados com a estratégia empresarial, a partir do seu desdobramento dentro de cada processo, de forma a centrar os processos da empresa naquilo que efetivamente gera e tem valor percebido pelos clientes.

É fundamental alertar que, apesar da atenção sobre variáveis que são críticas para o sucesso da organização, dentre as quais custo, tempo, capacidade e qualidade, a intensidade da influência da aplicação dos conceitos de confiabilidade em uma determinada indústria é determinada por cinco fatores: os custos dos ativos, os custos das perdas de produção, a consequência das falhas, as demandas de segurança e as questões regulatórias (SPORK, 2006 *apud* REGO BARROS, 2009).

#### **4.2. O gerenciamento de processos no contexto da função manutenção**

O gerenciamento de processos surgiu dentro do movimento inicial da globalização dos mercados com intuito de reorganizar a estrutura das empresas, orientando todos os seus esforços para identificação e atendimento das reais necessidades de seus clientes. O gerenciamento de processos é uma abordagem sistematizada para a melhoria, cujo conceito é relativamente simples: o foco está nos processos organizacionais e não nos produtos.

Harrington (1993) *apud* Vilarouca (2008), define genericamente o gerenciamento de processos como a busca de atividades que agregam valor, segundo a perspectiva do cliente.

Vilarouca (2008) entende que as operações deveriam ser organizadas como processos ao invés da estrutura funcional tradicional, com intuito de otimizar suas operações na busca de maior desempenho das atividades e na identificação das adversidades na entrada, processamento e saída, favorecendo, com isso, a solução dos problemas gerados pela própria complexidade das atividades. Para atingir estes objetivos propostos, cita que o gerenciamento de processo analisa profundamente todas as entradas e saídas dos processos, bem como suas finalidades, deficiências e valor agregado à organização. Ao se analisar as principais deficiências destes processos, o objetivo é saná-las, através da implementação de ações de melhoria.

Fischmann (2000) também compartilha desta perspectiva ao afirmar que o modo como a manutenção é executada (“processo”) influenciará a disponibilidade dos equipamentos, a taxa de produção, qualidade do produto e custo de produção, bem como a segurança da operação.

Para o contexto do processo da manutenção, Tsang (2002) já trabalhou com esta visão ao indicar que um sistema de manutenção pode ser um simples sistema de entrada e saída. As entradas são a mão de obra, gestão, ferramentas, equipamentos, entre outros, e as saídas são os equipamentos trabalhando de modo confiável para atender o plano de produção da planta.

Nesta mesma direção, Amadi-Echendu (2006) *apud* Rego Barros (2009) estabelece que as atividades requeridas para o sistema ser funcional na visão ampla da gestão de ativos são três: controle da manutenção (organização da manutenção, planejamento, programação e execução das atividades, gestão de materiais, inventários e custos), engenharia de confiabilidade (otimização da manutenção através das estratégias de manutenção, análises de falhas, condução de processos internos como *Reliability-Centered Maintenance* (RCM) e *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA), gestão orientada para a qualidade) e a gestão do ciclo de vida dos ativos (padrões de equipamentos, desenhos e documentos, *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA), gerenciamento de projetos).

A metodologia de aplicação do gerenciamento de processos sofre variações, mas pode ser descrita de forma generalizada. Basicamente, esta metodologia pode ser resumida em dois pontos fundamentais: o mapeamento de processos e a definição dos indicadores de desempenho. O mapeamento de processos consiste em detalhar as atividades através de fluxogramas, dentro do conceito de entradas e saídas comentado anteriormente. Já com

relação aos indicadores de desempenho, inicia-se com dados obtidos no planejamento estratégico, onde a alta direção traça as metas da organização. A partir deste ponto, a equipe pode criar uma relação dos principais indicadores que serão utilizados, levando em conta as partes interessadas, a análise das necessidades na formulação das estratégias e, posteriormente, através da operacionalização das estratégias.

No gerenciamento de processos, os indicadores de desempenho permitem fazer um diagnóstico da atual situação e prever a situação futura de uma organização, servindo de canal permanente destas informações estratégicas, para que se possa agir melhorando continuamente as operações.

Com relação à utilização de indicadores de desempenho, Hipkin *et De Cock* (2001) *apud* Vilarouca (2008), descrevem que algumas empresas apresentam algum tipo de revés na sua aplicação, seja pela ausência de saídas mensuráveis ou porque seus objetivos foram estabelecidos de forma ambígua e irreal. A recomendação para o estabelecimento de indicadores deve assegurar o alinhamento com a estratégia da empresa e o balanceamento de todos os indicadores entre si, para evitar que uma dimensão ou conjunto de dimensões de performance seja maximizado em detrimento dos demais.

### **4.3. O *Balanced Scorecard* e suas relações de causa e efeito**

Kaplan *et Norton* (2004) definem mapa estratégico como uma representação gráfica das conexões de causa e efeito entre os objetivos das quatro perspectivas do *Balanced Scorecard* (BSC), descrevendo a estratégia, facilitando a definição e o gerenciamento dos objetivos e indicadores, transformando-se no elo entre a formulação e a execução desta estratégia, ou seja, como a organização cria valor. Ele é uma representação visual da estratégia, cuja execução bem sucedida, segundo Kaplan *et Norton* (2004), envolve três componentes: resultado da descrição da estratégia (primeiro componente), da mensuração da estratégia (segundo componente) e da gestão da estratégia (terceiro componente). Esta filosofia está baseada nas duas assertivas de que não se pode gerenciar o que não se pode medir e não se pode medir o que não se pode descrever.

No modelo genérico de mapa estratégico de uma organização industrial baseado em Kaplan; Norton (2004), pode-se caracterizar a influência da produção, a partir da importância dos objetivos de desempenho de Slack *et al* (1996) abordados anteriormente, para a criação de valor na perspectiva do cliente e conseqüente suporte aos resultados da perspectiva financeira,



conforme Figura 1 abaixo. Este modelo genérico de mapa estratégico apresenta como os processos internos eficazes e alinhados contribuem para a criação e sustentação de valor, onde:

- a) Formação de um preço justo (mapa estratégico): tem como fator determinante a vantagem em custo de Slack et al (1996).
- b) Vantagem em qualidade: é a própria proposição de valor do mapa estratégico como fator de diferenciação competitiva.
- c) Disponibilidade para o cliente: está diretamente associada às vantagens em rapidez, em confiabilidade de entrega e em flexibilidade.

Os indicadores de resultado e críticos contribuem para a gestão estratégica dos processos fornecendo informações chave para a tomada de decisão.

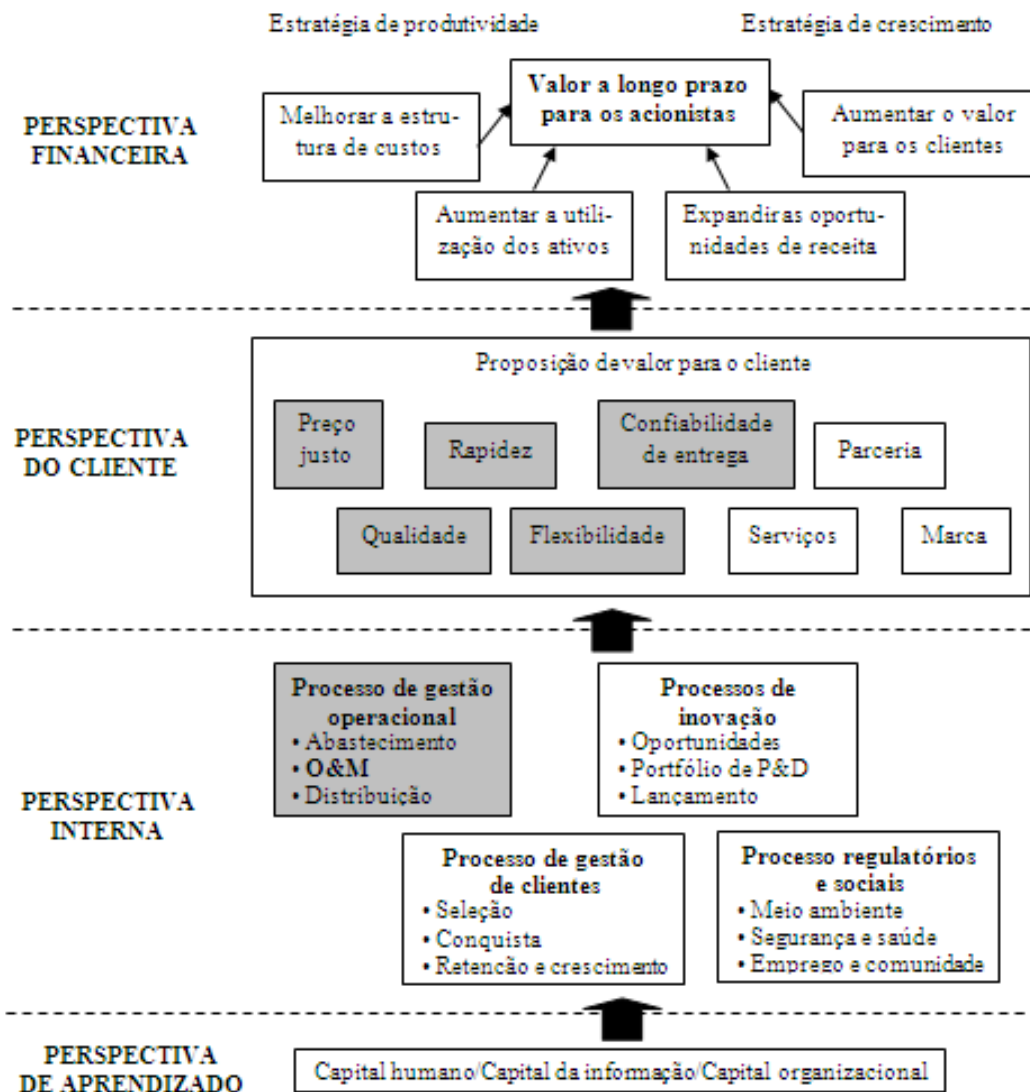


FIGURA 1 – Mapa Estratégico Genérico  
Fonte: adaptado de Kaplan; Norton (2004)



No caso da função manutenção, estes indicadores em associação com os indicadores de desempenho apóiam o gerenciamento da atividade e fornecem dados importantes dos processos, dentre os quais: distribuição das atividades por tipo (manutenção corretiva, preventiva ou preditiva), estoques de materiais e política dos sobressalentes, coordenação e planejamento da manutenção, resultados operacionais (disponibilidade e confiabilidade), paradas de manutenção, treinamento e capacitação, custos.

#### **4.4. *Reliability-Centered Maintenance***

O método de maior abrangência para aplicação da confiabilidade na produção é a manutenção centrada na confiabilidade, em inglês, *reliability-centered maintenance* - RCM, cuja sistemática enfatiza a análise das funções dos ativos e conseqüências das falhas. A metodologia da RCM, descrita no livro pioneiro de Nowlan e Heap em 1978, atendendo à solicitação do Departamento de Defesa americano, garantiu a certificação para operação comercial do primeiro Boeing 747-100, pela FAA - *Federal Aviation Authority*, em 1969 (SIQUEIRA, 2005). A generalidade dos conceitos e técnicas da RCM são aplicáveis a qualquer sistema independente da tecnologia, onde seja necessário manter a funcionalidade de processos ou ativos físicos, tendo se transformado em uma poderosa ferramenta da engenharia da confiabilidade.

A RCM tem como meta a identificação, para cada sistema e equipamento, dos modos de falha e suas conseqüências, a determinação da técnica de manutenção de melhor custo-benefício e sua aplicação a fim de minimizar o risco e o impacto da falha. Isto permite que a funcionalidade do sistema e equipamento seja mantida na melhor relação custo-benefício. A filosofia da RCM aplica técnicas da manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção corretiva e da manutenção proativa de forma integrada para aumentar a probabilidade de que uma máquina ou componente irá funcionar na forma requerida durante seu ciclo de vida de projeto com o mínimo de manutenção. A meta da filosofia RCM é prover a função estabelecida do equipamento com confiabilidade e disponibilidade ao custo mínimo.

Uma rigorosa análise RCM é baseada em um detalhado *Failure Modes and Effects Analysis* - FMEA e inclui cálculos de probabilidades de falhas e confiabilidade de sistemas, que são usados para determinar as atividades de manutenção e procedimentos operacionais associados aos modos de falha e suas conseqüências, os quais foram identificados no processo. A análise formal da RCM para cada sistema, sub-sistema e componente é normalmente realizada para sistemas novos, críticos, únicos e/ou de custo elevado, não se

fazendo necessária para a maioria dos equipamentos e sistemas, cujas formas construtivas e modos de falha já são bem compreendidos e uma avaliação intuitiva é suficiente devido ao baixo impacto provocado por suas falhas e ao elevado custo da análise rigorosa.

Siqueira (2005) atribui o sucesso da implementação da RCM não só à experiência prática e fundamentação teórica de seus processos, mas também à adequação dos meios organizacionais e de planejamento utilizados. Por ser uma metodologia bem estruturada, exige-se um nível compatível de organização dos processos administrativos e de suporte, especialmente na aplicação a sistemas industriais complexos, sem os quais estarão comprometidos os resultados esperados. Dependendo da instalação, as equipes de análise serão compostas por representantes das diversas categorias profissionais, entre elas, mantenedores e operadores da instalação, técnicos de segurança, inspetores de qualidade, especialistas nos equipamentos, fornecedores dos equipamentos, fabricantes dos equipamentos, laboratórios de ensaios.

Para o estabelecimento de um processo RCM, Moubray (1997) apresenta e exemplifica as sete abordagens básicas em ordem sequencial no Quadro 1:

ITEM	ABORDAGEM	CARACTERIZAÇÃO
1	Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?	Ex.: “Bombear água do tanque X para o tanque Y a não menos que 800 litros por minuto”.
2	De que forma ele falha em cumprir suas funções?	Ex.: Incapacidade de transferir o líquido L, falha para conter o líquido L
3	O que causa cada falha funcional?	Ex.: Nível 1-vazamento pelo selo mecânico; nível 2-selo desalinhado, nível 3-erro de montagem.
4	O que acontece quando ocorre cada falha?	Ex.: Perda da eficiência de bombeamento
5	Qual a importância da falha?	Ex.: Afeta a produção total, afeta a qualidade do produto, afeta a segurança, afeta o meio ambiente, aumenta custos, etc.
6	O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?	A RCM fornece critérios para estabelecer quais tarefas proativas são tecnicamente viáveis em algum contexto e decidir com que frequência elas devem ser feitas, além de quem deve realizá-las
7	O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa apropriada?	Recomendação da realização de ações <i>default</i> para os casos em que não seja encontrada uma tarefa proativa tecnicamente viável. Entre as ações <i>default</i> estão: busca de falhas, reprojetos e nenhuma manutenção programada (permissão de falha).

**Quadro 1** – As sete abordagens básicas da RCM

Fonte: Moubray (1997)

O plano tático da RCM deve conter os seguintes elementos: necessidades de recursos (financeiro, pessoal, em software e em hardware), procedimentos de manutenção, procedimentos operacionais, requisitos de treinamento, fontes de dados, métodos analíticos, métodos de análise de custo/benefício, produtos esperados.

#### 4.5. Análise dos custos do ciclo de vida

A engenharia de confiabilidade tem o objetivo de estender a vida do equipamento com o aumento da sua confiabilidade e conseqüente adequação da sua disponibilidade às demandas do processo produtivo. Ela usualmente requer a aplicação de investimentos, cuja autorização não se baseia apenas na intuição, ao contrário, deve estar associada a justificativas suportadas por taxas de retorno, cálculos de custo-benefício ou outros fatores tangíveis.

Existem diversas formas de determinar com razoável precisão as justificativas econômicas para melhorias em equipamentos e componentes e entre elas, a estimativa do custo do ciclo de vida se tornou uma das análises mais eficientes da engenharia da confiabilidade. Usualmente conhecida como LCCA, proveniente do termo em inglês, *life cycle cost analysis*, esta aproximação leva em consideração a compra inicial e os custos de instalação do equipamento, sistemas auxiliares e softwares, para os quais serão adicionados os custos dos eventos de falhas e as conseqüentes perdas de produção e de especificação do produto. Riscos materiais, pessoais e impactos ambientais também podem ser levados em consideração.

A obtenção do custo do ciclo de vida (LCC) total de um ativo, a partir de sua aquisição, se dá através de:  $LCC = \text{custo de aquisição} + \text{custo de instalação} + \text{valor presente de (custo de operação} + \text{custo de manutenção} + \text{custo de perdas de produção} + \text{custo de alienação)}$ , onde o custo anual de manutenção =  $(\text{custo por falha} \times 8.760 \text{ horas/ano}) / (\text{MTBF em horas} + \text{MTTR em horas})$ . Os valores presentes devem ser calculados com base nas taxas anuais de retorno ( $i$ ) e vida útil das unidades industriais esperadas em anos ( $n$ ) através do fator:  $((1+i)^n - 1) / (i(1+i)^n)$ .

#### 4.6. Indicadores para monitoramento

Para avaliar a influência específica da função produção nos objetivos estratégicos da indústria interligados pelas relações de causa e efeito do mapa estratégico genérico de uma organização industrial (Figura 1), a pesquisa, focando a influência da perspectiva dos processos internos associados ao sistema de produção, propõe alguns indicadores de resultado e críticos, além de vetores de desempenho comuns a diversos tipos de indústria, relacionados às quatro perspectivas do BSC descritos a seguir.

##### 4.6.1. O indicador de resultado *Overall Equipment Effectiveness*

Nakajima (apud NORDSKAG, 2006) define OEE ou índice de eficiência global, baseado em três elementos básicos:

**Disponibilidade (%)**: descreve o tempo real que o equipamento está disponível para produção, independente do que está sendo produzido. Fórmula = (tempo calendário – tempo de paradas) / tempo calendário.

**Capacidade (%)**: descreve a performance do equipamento, comparando a capacidade real com a de projeto para utilização máxima. Fórmula = [(output x tempo do ciclo real) / (tempo calendário – tempo de paradas)] x (tempo do ciclo ideal / tempo do ciclo real).

**Qualidade (%)**: descreve a fração da produção em acordo com a especificação. Fórmula = [Input – (produção fora de especificação)] / Input.

O OEE, resultado da Disponibilidade x Capacidade x Qualidade, esteve por muito tempo associado ao conceito do *Total Productive Maintenance* - TPM, porém passou a ser considerado um *key performance indicator* - KPI amplamente utilizado na indústria moderna para avaliação da utilização dos ativos de produção, quer seja através da medição da eficiência de uma máquina, de uma linha de produção ou de toda a unidade industrial. O cálculo do OEE permite identificar restrições do sistema de produção, porém não está associado aos custos de produção. Por esta razão, sob o ponto de vista econômico, não é possível se determinar um OEE ótimo sem uma avaliação complementar de custo-benefício, sendo a análise do custo do ciclo de vida, usualmente conhecida como LCCA, proveniente do termo em inglês, *life cycle cost analysis*, uma ferramenta importante da engenharia de confiabilidade na obtenção dos melhores resultados. Esta aproximação leva em consideração a compra inicial e os custos de instalação do equipamento, sistemas auxiliares e softwares, para os quais serão adicionados os custos dos eventos de falhas e as conseqüentes perdas de produção e de especificação do produto (riscos materiais, pessoais e impactos ambientais também podem ser levados em consideração). A obtenção do custo do ciclo de vida (LCC) total de um ativo, a partir de sua aquisição, se dá através de:  $LCC = \text{custo de aquisição} + \text{custo de instalação} + \text{valor presente de (custo de operação} + \text{custo de manutenção} + \text{custo de perdas de produção} + \text{custo de alienação)}$ .

#### 4.6.2. Indicadores da Pirâmide da Confiabilidade

A Pirâmide da Confiabilidade representa a demanda por análises de ocorrências impactantes nos vetores de desempenho relacionados com a disponibilidade e capacidade operacional, a qualidade de produtos e os custos de produção (manutenção, desperdícios, segurança e meio ambiente). Ela é responsável pela interface do plano estratégico da empresa

com os planos táticos através da estratificação das perdas associadas a três níveis conforme a Figura 2.

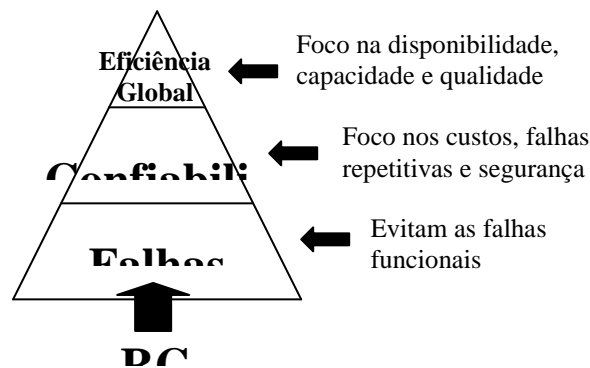


FIGURA 2 – A Pirâmide da Confiabilidade  
Fonte: Adaptado de Cavero (2006)

As perdas devem ser estimadas para hierarquização dos sistemas operacionais, ativos e componentes que contribuíram ou poderão contribuir para a ocorrência das falhas que as caracterizam e cujos resultados deverão direcionar planos de ação para avaliação da estratégia de manutenção aplicada, através da otimização ou adequação das técnicas utilizadas, do aumento da perícia das equipes de operações e manutenção, da necessidade de procedimentos específicos disponíveis para elas e da identificação das demandas de melhorias em componentes ou sua substituição por componentes superiores. Estas avaliações devem ser apoiadas pela LCCA.

O Topo da Pirâmide da Confiabilidade refere-se aos impactos das falhas que acarretam perdas de produção e capacidade produtiva, geração de produto fora de especificação, acidentes, danos ambientais e à saúde. Este nível está interligado aos esforços necessários para eliminação dos “maus atores” do sistema produtivo e tem no indicador de resultado (relacionado aos objetivos estratégicos) OEE a mais forte referência dos progressos alcançados, além dos associados à segurança, saúde e meio ambiente.

Segundo Pinto *et* Xavier (1998) os custos associados à disponibilidade representam 95,53% da equação faturamento/custos.

O Nível Intermediário da Pirâmide da Confiabilidade está associado à avaliação dos programas de confiabilidade e manutenibilidade, esta última definida por Pinto *et* Xavier (1998) como a probabilidade de restabelecer a um sistema suas condições específicas de funcionamento, em limites de tempo desejados, quando a manutenção é conseguida nas condições e com meios prescritos. Como este nível está relacionado aos custos referentes às falhas de ativos sem impactos significativos ao processo produtivo, o custo para reparo é o

fator preponderante. Seu resultado, associado ao desempenho dos “maus atores” relacionados aos custos de produção e desperdícios operacionais, é utilizado para caracterização da contribuição dos componentes, equipamentos, famílias de equipamentos e sistemas de produção nas falhas ocorridas.

Os principais indicadores de desempenho (relacionados aos processos do negócio) são o MTBF, *Mean Time Between Failures* ou tempo médio entre falhas e o MTTR, *Mean Time to Repair* ou tempo médio para reparo.

Algumas fórmulas para cálculo do MTBF são:

$MTBF = ((n^{\circ} \text{ de equipamentos} \times \text{período de amostragem em anos} \times 8.760 \text{ horas/ano}) - (n^{\circ} \text{ de falhas no período} \times MTTR)) / n^{\circ} \text{ de falhas no período};$

$MTBF = 1 / ((1/L_1)^2 + (1/L_2)^2 + \dots + (1/L_n)^2)^{0,5}$ , onde L são as vidas estimadas (em anos) dos n componentes sujeitos à falha;

$MTBF = 1 / \lambda(t)$ , onde  $\lambda$  é a taxa de falhas (falhas no período de tempo) representada pela probabilidade de que um equipamento ou componente, já em operação por um período t, irá falhar entre t e t+1. Esta taxa, exceto para alguns casos (falha aleatória constante), não é constante ao longo da vida do equipamento;

$MTBF = 1/\lambda (1 + 1/2 + \dots + 1/C)$ , onde C é o número de componentes paralelos.

É de fundamental importância a observação de que taxas de falhas, valores de MTBF e MTTR calculados algebricamente são úteis como indicadores de pontos de atenção da manutenção proativa e não como critério para estabelecimento de intervalos de manutenção preventiva e para esta abordagem algébrica eles estão associados a perdas e são provenientes de “filtros” que estratificam os resultados com maiores impactos e por esta razão, eles não necessitam de acompanhamento sistemático, visto que são elegíveis.

Para informações mais precisas, se faz necessária a aplicação de distribuições de probabilidade para caracterização destes indicadores, sendo que, na maioria dos casos, a distribuição de Weibull fornece informações mais precisas sobre a distribuição de falhas e conseqüentemente, é o melhor indicador na seleção da periodicidade das intervenções preventivas.

A Base da Pirâmide da Confiabilidade, de forma distinta dos níveis superiores, está associada a ações proativas, ou seja, avaliações realizadas antes das falhas funcionais. Este nível apresenta as falhas potenciais detectadas pela implementação dos planos de manutenção preventiva e preditiva, programa TPM (*Total Productive Maintenance*) e rondas operacionais.

INDICADORES	DEFINIÇÃO	METODOLOGIA DE MEDIÇÃO	METODOLOGIA DE ANÁLISE
Eficácia dos Planos Proativos (%)	Capacidade dos planos em identificar as falhas potenciais	Relação entre o nº de falhas identificadas em equipamentos monitorados pelo plano e o nº total de falhas de equipamentos monitorados no período cumulativo de um ano	Indica a efetividade dos planos proativos
Eficácia dos Planos Preventivos (%)	Capacidade dos planos em se antecipar às falhas	Relação entre o nº de equipamentos dos planos de preventiva sistemática que falharam no período cumulativo de um ano e o nº total de eq <sup>tos</sup> do plano que funcionaram neste período	Indica a efetividade dos planos preventivos
Identificação e Eliminação de Modos de Falhas	Modos de falhas de equipamentos identificados em conjunto com as ações mitigadoras	Número de modos de falhas identificados e eliminados no período de um ano	Avalia a proatividade do processo manutenção

QUADRO 2 – Indicadores de desempenho para a base da Pirâmide da Confiabilidade

Fonte: o autor

A capacidade das atividades deste nível em identificar as falhas potenciais pode ser caracterizada pelos indicadores de desempenho relacionados no quadro acima.

#### 4.6.3. Indicadores de Aprendizado e Crescimento

Associado à quarta perspectiva do BSC, o plano tático da função manutenção precisa contemplar a criação de competências essenciais, principalmente através do compartilhamento do conhecimento gerado pela integração entre as diversas áreas da empresa (“espiral do conhecimento”), cuja dificuldade em serem copiadas está no conteúdo de conhecimentos tácitos, que as transforma em bens intangíveis. Para monitoramento do desenvolvimento da capacidade organizacional e da criação de sistema de aprendizagem que equilibrem os recursos internos e suas competências, alguns indicadores de desempenho podem se basear na quantidade de horas-homem de treinamento no mês e no número de lições aprendidas/publicadas no mês.

### 5. Discussão e análise dos resultados

O gerenciamento de processos se propõe a direcionar os esforços da organização, nos diferentes níveis, para aquilo que os diversos clientes realmente reconhecem valor, ponderando a disponibilidade de recursos.

Esta diretriz influenciou a formatação da sistemática para elaboração do plano estratégico funcional da manutenção em uma unidade fabril de processamento, localizada no estado do Rio de Janeiro, com 11.019 equipamentos estáticos, 392 equipamentos rotativos, mais de 10.300 instrumentos e 325 motores elétricos, suportada pela RCM, baseada na Pirâmide da Confiabilidade e lançando mão de indicadores para seus respectivos níveis.



Neste sentido, foram estabelecidos critérios, a partir da análise do processo e com o objetivo de que, dentro do espectro das estratégias consagradas de manutenção disponíveis, fossem selecionadas aquelas que sejam custo-efetivas, sendo então possível selecionar, por exemplo, a manutenção planejada, a manutenção autônoma e a manutenção preditiva como ações para melhoria do processo manutenção.

Na seqüência, em busca da melhoria de desempenho na fase de execução do plano, com o desenvolvimento do mapeamento de processos e dadas as características operacionais distintas (infra-estrutura, conhecimento, formação), decidiu-se pela reorganização da estrutura da manutenção e a criação de grupos interdisciplinares de confiabilidade no modelo RCM.

O acompanhamento dos indicadores propostos na etapa de verificação permite apontar as necessidades de implementação de melhorias no processo manutenção. Ao mesmo tempo em que estas ações de melhoria são selecionadas, a metodologia de gerenciamento de processos representa a oportunidade de alinhamento e direcionamento de esforços para que a manutenção contribua para as metas estratégicas.

Apesar do processo de implementação do novo modelo não ter se desenvolvido na velocidade esperada, ele possibilitou a obtenção de alguns resultados, baseados em cinco meses no ano de 2010 (indicadores referentes ao mês e cumulativo dos últimos doze meses). O Gráfico 1 (abaixo) do indicador de resultado da disponibilidade (em %) e do custo fixo de manutenção (em R\$) demonstra que o cálculo do OEE ainda não estava sendo aplicado sistematicamente no período de coleta dos dados.

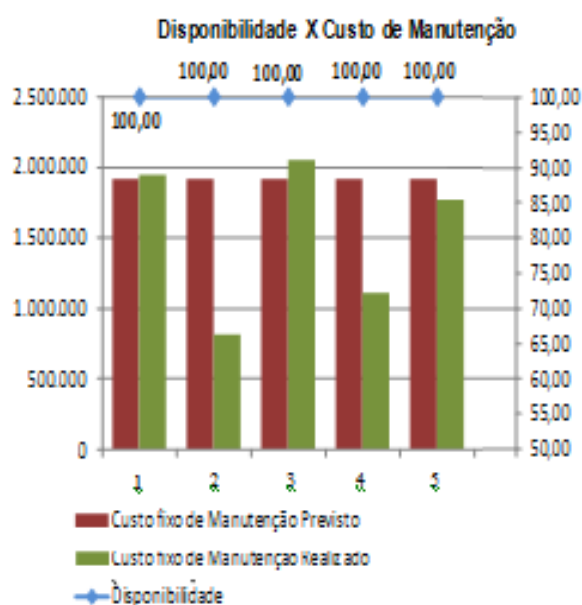


GRÁFICO 1- Disponibilidade e Custo Fixo de Manutenção  
Fonte: Indústria de Processamento/RJ

Um dos indicadores do nível intermediário da pirâmide da confiabilidade utilizado é o MTBF para bombas, família de equipamentos que representa um quantitativo significativo no parque de ativos da indústria. O Gráfico 2 demonstra a tendência de incremento do tempo médio entre falhas (em horas) para estes equipamentos em duas áreas da unidade industrial, resultado dos primeiros efeitos da implementação de plano de ação para mitigar as falhas em selos mecânicos, componentes das bombas com a maior incidência de falhas.

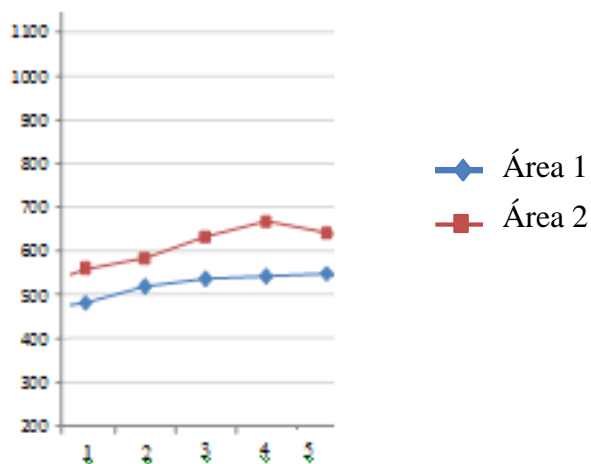


GRÁFICO 2 - MTBF de Bombas (Horas rodadas x Mês)  
Fonte: Indústria de Processamento/RJ

Outros indicadores não sistemáticos do nível intermediário da pirâmide da confiabilidade, pois resultam de “filtros” associados ao desempenho dos “maus atores” relacionados aos custos de produção, são usualmente denominados de “Top Ten”(em mil R\$).

TABELA 1 - “Top Ten” acumulado no ano

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>MAT.</b>	52,660	809,768	200,203	161,941	152,342	53,305	122,709	114,356	19,007	78,948
<b>SERV.</b>	862,058			13,420		78,840			71,907	
<b>Total</b>	914,718	809,768	200,203	175,361	152,342	132,145	122,709	114,356	90,914	78,948

Fonte: Indústria de Processamento/RJ

Com relação aos indicadores da base da pirâmide da confiabilidade, o plano de manutenção preditiva é monitorado quanto à sua execução, atrasos e eficácia (exemplo do Gráfico 3).

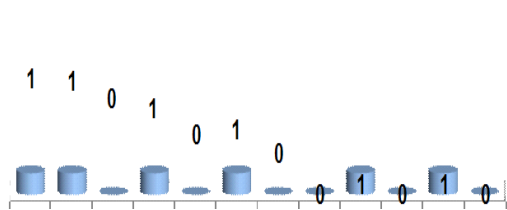


GRÁFICO 3 - Recomendações preditivas em atraso  
Fonte: Indústria de Processamento/RJ

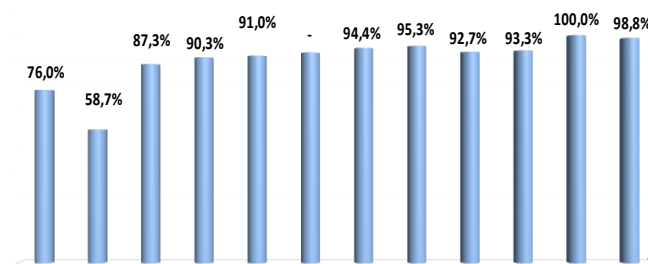


GRÁFICO 4 - Cumprimento dos planos de Manut. Prev.  
Fonte: Indústria de Processamento/RJ

Também referentes à base da pirâmide da confiabilidade, a evolução do Gráfico 4 demonstra os esforços aplicados para que os planos preventivos sejam executados.

Quanto à eficácia dos planos, o Gráfico 5 mostra de forma estratificada por disciplina, o percentual de equipamentos que apresentaram falhas e cujos planos de manutenção preventiva/preditiva foram considerados não eficazes.

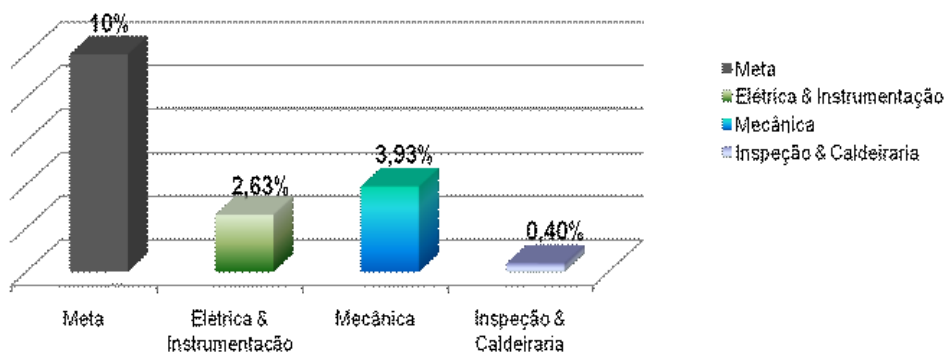


GRÁFICO 5 - Eficácia dos planos de manutenção preditiva  
Fonte: Indústria de Processamento/RJ

## 6. Conclusão

O artigo discorre sobre a necessidade e a possibilidade de uma indústria contar com instrumentos para seu planejamento e gestão estratégica, os quais forneçam insumos para a elaboração dos planos e respectivos controles. No caso, estudou-se a pertinência de um sistema de indicadores de desempenho para alcançar esses propósitos, realçando as propostas do *Balanced Scorecard*.

Considerando as restrições comumente observadas no âmbito das indústrias de processamento, este trabalho também se propõe a apresentar o resultado da implementação de uma sistemática de gerenciamento de processos no contexto da manutenção, a partir da identificação das necessidades dos clientes, alinhadas com as metas empresariais e que permitisse um mecanismo eficiente de controle para o alcance destas metas, suportando a gestão da manutenção por meio de indicadores de desempenho.

Para aplicação na estratégia funcional da manutenção, o artigo apresentou um modelo, suportado pela adaptação da pirâmide da confiabilidade com os objetivos estratégicos e indicadores de resultado das quatro perspectivas do BSC, cujas conexões demonstram a

influência da manutenção, sob o ponto de vista das atividades da engenharia de confiabilidade, nas perspectivas financeira e dos clientes de uma organização industrial.

O modelo proposto justifica-se pela capacidade de contribuir para uma avaliação ampla da organização e sua inserção no atual ambiente de extrema competição cada vez mais globalizado.

A partir das discussões apresentadas ao longo da pesquisa, caracteriza-se que a gestão da produção, através da função manutenção, pode influenciar o percentual de tempo que os ativos estão disponíveis, que por sua vez, determina o *output* alcançável e seu conseqüente impacto na receita e custos de produção, propiciando o aumento do lucro. O incremento da capacidade de produção também permite que a companhia seja mais flexível em sua resposta aos clientes e às condições do mercado, em outras palavras, atenda a quatro dos cinco objetivos de desempenho básicos da função produção, quais sejam: vantagem em rapidez, vantagem em confiabilidade de entrega, vantagem em flexibilidade e vantagem em custo.

Um ponto fundamental na implementação da sistemática concerne à disponibilidade e acuracidade da base de dados. Neste estudo, a base de dados construída, apesar de não ser disponibilizada inicialmente em sistema totalmente informatizado, suportou a análise do processo no sentido da identificação das perdas. A análise da base de dados permitiu, entre outros, identificar gargalos nos resultados de disponibilidade, capacidade e qualidade, além dos ativos de baixa confiabilidade, responsáveis pelos maiores impactos negativos nos custos operacionais.

Apesar dos resultados obtidos após cinco meses de implantação do modelo não permitirem uma avaliação definitiva da sua eficácia, os indicadores de desempenho revelam-se, neste aspecto, imprescindíveis, conforme o levantamento de vários autores e devem ser considerados como ferramenta de suporte a processos de planejamento estratégico e de controle das estratégias adotadas e implementadas pelas empresas.

## Referências

CAVERO, Ricardo Conde. **Asset Performance Scorecard: A Roadmap to Excellence**. In: 18<sup>th</sup> EUROMAINTENANCE 2006/3<sup>rd</sup> WORLD-CONGRESS OF MAINTENANCE, 2006, Basileia. Reports of the Congress. Basileia, 2006. CD-ROM.

COLLIS, Jill; HUSSEY, Roger. **Pesquisa em Administração**. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora, 2003.

FISCHMANN, Adalberto Américo *et* ARIZILBER, Moisés. Utilização de indicadores de desempenho para a tomada de decisões estratégicas: um sistema de controle. Revista de Administração Mackenzie, Vol. 1, No 1 2000, SP.

- KAPLAN, Robert S.; NORTON, David P. **Mapas Estratégicos**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2004.
- MOUBRAY, John. **RCM II – Reliability centered maintenance**. New York: Industrial Press Inc., 1997
- NORDSKAG, Arve Olav. **Value Based Management – OEE as the Key Performance Indicator**. In: 18<sup>th</sup> EUROMAINTENANCE 2006/3<sup>rd</sup> WORLD-CONGRESS OF MAINTENANCE, 2006, Basiléia. Reports of the Congress. Basiléia, 2006. CD-ROM.
- PINTO, Alan Kardec; XAVIER, J.A.N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Editora Quality Mark, 1998.
- PORTER, Michael E. **Vantagem Competitiva: criando e sustentando um desempenho superior**. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda, 1992.
- REGO BARROS, Jorge Ferreira. **Roadmap para uma abordagem estratégica pela função manutenção**. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Gestão, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2009.
- SIQUEIRA, Iony Patriota. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. Rio de Janeiro: Quality Mark, 2005
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; HARLAND, Christine; HARRISON, Alan; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1996
- TSANG, Albert H.C. **Strategic dimensions of maintenance management**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v.8, n.1, p.7-39, 2002.
- VILAROUCA, Marcelo Grijó. **Implementação de indicadores de desempenho na gestão da manutenção: uma aplicação no setor plástico**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2008, RJ.