
MELHORIAS OPERACIONAIS DE PROCESSOS CONTÍNUOS ACOMPANHADAS POR FERRAMENTAS DA PRODUÇÃO ENXUTA – ESTUDO DE CASO EM UMA PETROQUÍMICA BRASILEIRA

DOI: 10.5700/rege499

ARTIGO – OPERAÇÕES/PRODUÇÃO

Francisco Uchoa Passos

Professor da Faculdade Senai Cimatec (BA) e da Universidade Salvador (UNIFACS) – Salvador-BA, Brasil
Doutor em Administração pela Universidade de São Paulo (USP)
E-mail: francisco.uchoa@fieb.org.br

Recebido em: 24/1/2011

Aprovado em: 1/2/2013

Irlam Reis Aragão

Mestre em Administração pela Universidade Salvador (UNIFACS) – Salvador-BA, Brasil
P&O and Communications, Braskem America & Europe
E-mail: irlam.aragao@braskem.com

RESUMO

Este estudo procura avaliar melhorias operacionais em uma planta petroquímica da empresa brasileira Braskem, que passou a utilizar ferramentas gerenciais da produção enxuta para acompanhar seus processos. Observaram-se algumas melhorias na eficiência da planta, aferidas a partir do início da implantação das ferramentas gerenciais Seis Sigma e TPM. Para tanto, foram investigados três indicadores de eficiência considerados pela empresa de grande relevância para a competitividade do negócio: as perdas físicas de produtos, a eficiência energética da planta e a taxa de utilização dos ativos. As diferenças observadas nos referidos indicadores, em relação a antes e depois do uso das ferramentas, foram testadas quanto à sua significância estatística, o que revelou que as perdas físicas de eteno diminuíram e que a eficiência energética da planta melhorou, aproximando-se bastante do desempenho tido como de *classe mundial*. A taxa de utilização dos ativos, embora tenha evoluído positivamente, ainda se acha a uma razoável distância daquele padrão de desempenho. Ao registrar melhorias operacionais em uma planta de processo contínuo acompanhadas por ferramentas da Produção Enxuta, este trabalho sinaliza que os referidos instrumentos, mesmo não tendo relações causais com as melhorias, são adequados aos processos contínuos e poderiam ter um emprego bem mais amplo, orientado, antes de tudo, pela abordagem geral de otimização de processos e, de certa forma, independente da natureza da atividade produtiva.

Palavras-chave: Produção Enxuta, Melhorias Operacionais, Eficiência, Processos Contínuos.

OPERATIONAL IMPROVEMENTS OF CONTINUOUS PROCESS WITH TOOLS OF LEAN PRODUCTION - A CASE STUDY IN A BRAZILIAN PETROCHEMICAL

ABSTRACT

This study seeks to evaluate operational improvements in Brazilian petrochemical company Braskem, which has been using lean production management tools to monitor its processes. There was some improvement in plant efficiency, measured from the beginning of implementation of management tools Six Sigma and TPM. Thus, we investigated three efficiency indicators considered by the company of great importance for the competitiveness of the business: the physical loss of products, plant's energy efficiency, and the utilization rate of assets. The differences observed in these indicators, before and after the use of the tools, were tested for its statistical significance, which revealed that the physical losses of ethylene and plant's energy efficiency improved, almost reaching the performance considered as class world. As for the utilization rate of assets, although it has evolved positively, still is at a considerable distance from that performance standard. By registering operational improvements in a continuous process plant, with lean production tools, this study indicates that these instruments, even if they have no causal relation with the improvements, are suitable for continuous processes and could have a much broader use, oriented, first of all, by the general approach of process optimization and, somehow, regardless of the nature of productive activity.

Key words: Lean Production, Operational Improvements, Efficiency, Continuous Proceedings.

MEJORÍAS OPERACIONALES DE PROCESOS CONTINUOS ACOMPAÑADAS POR HERRAMIENTAS DE LA PRODUCCIÓN REDUCIDA – ESTUDIO DE CASO EN UNA PETROQUÍMICA BRASILEÑA

RESUMEN

Este estudio busca evaluar mejorías operacionales en una planta petroquímica de la empresa brasileña Braskem, que pasó a utilizar herramientas gerenciales de la producción reducida para acompañar sus procesos. Se observaron algunas mejorías en la eficiencia de la planta, medidas a partir del inicio de la aplicación de las herramientas gerenciales Seis Sigma y TPM. Para tanto, fueron investigados tres indicadores de eficiencia considerados por la empresa de gran relevancia para la competitividad del negocio: las pérdidas físicas de productos, la eficiencia energética de la planta, y la tasa de utilización de los activos. Las diferencias observadas en los referidos indicadores, antes y después del uso de las herramientas, fueron testadas cuanto a su significación estadística, que reveló que las pérdidas físicas de etileno y la eficiencia energética de la planta mejoraron, aproximándose bastante del desempeño considerado como de clase mundial. La tasa de utilización de los activos, a pesar de haber evolucionado de forma positiva, todavía se encuentra a una distancia razonable de aquel patrón de desempeño. Al registrar mejorías operacionales en una planta de proceso continuo acompañadas por herramientas de la producción reducida, este trabajo señala que los referidos instrumentos, aun sin tener relaciones causales con las mejorías, son adecuados a los procesos continuos y podrían tener un empleo mucho más amplio, orientado, ante todo, por el abordaje general de optimización de procesos y, de cierta forma, independiente de la naturaleza de la actividad productiva.

Palabras-llave: Producción Reducida, Mejorías Operacionales, Eficiencia, Procesos Continuos.

1. INTRODUÇÃO

Desde 2002 a Braskem vem promovendo aprimoramentos consistentes do sistema produtivo de suas plantas, com o objetivo de aproximar seu desempenho operacional do patamar atualmente atingido pelas chamadas empresas de *classe mundial* do setor de *commodities*. No caso da Braskem, esses esforços estão dirigidos principalmente para a diminuição do desperdício de insumos e a ocupação máxima dos equipamentos produtivos.

Para dar estruturação e continuidade a tais esforços, a Braskem adotou, a partir de 2004, um programa de melhorias que passou a ser conhecido internamente como “Braskem+”. O referido programa utiliza ferramentas desenvolvidas pela produção enxuta (*lean production*), dentre as quais se destacam o Seis Sigma e o TPM (*Total Productive Maintenance*). O Seis Sigma – conhecida ferramenta para a redução intensiva e sistemática da variabilidade de processos passou a ser empregado no controle de reduções sucessivas de perdas de insumos físicos e energéticos nos processos. Por seu turno, o TPM ferramenta destinada a elevar a disponibilidade dos equipamentos produtivos em consequência da redução de falhas e quebras dos mesmos (SUZUKI, 1994) passou a ser adotado para aumentar a taxa de utilização dos ativos produtivos das plantas.

A Braskem apoiou-se na crença de que a implantação disciplinada do referido programa de melhorias, que se inspira no difundido Sistema de Produção Toyota (SPT), possibilitaria o alcance de duas grandes metas corporativas:

- i) Combater, de modo específico e imediato, três das principais causas de ameaça à competitividade da produção petroquímica, quais sejam: as perdas físicas de insumos, a baixa eficiência energética dos processos e a baixa utilização dos ativos;
- ii) Construir, ao longo do tempo, aprendizagem em práticas de gestão da produção que assegurassem melhorias operacionais consistentes.

O presente trabalho tenciona investigar até que ponto a Braskem começa a obter êxito na consecução da primeira meta acima referida – a do combate específico e imediato às causas da perda de competitividade. Isso equivale a dizer que o estudo pretende revelar até que ponto a empresa vem praticando processos produtivos típicos das “*world class*” *companies* do setor de *commodities* com o apoio de ferramentas da produção enxuta. A verificação foi feita em uma das plantas industriais de primeira geração da Braskem – a planta de eteno de Camaçari/BA. A questão de pesquisa foi desmembrada nas duas perguntas que este artigo tenta responder, quais sejam:

- Em que medida o programa “Braskem+” promoveu melhorias expressas, respectivamente, em: redução de perdas físicas de insumos, aumento da eficiência energética e aumento da taxa de utilização dos ativos?
- Com relação às referidas melhorias, como se posiciona, agora, a “Braskem” em comparação com empresas de *classe mundial*?

A decisão de adotar ferramentas da produção enxuta para o alcance das metas corporativas antes mencionadas exigiu da Braskem um esforço extra para treinar e aculturar engenheiros e técnicos de processos contínuos em práticas de gestão oriundas de processos discretos de fabricação e montagem (HAYES; PISANO, 1994). Superada essa dificuldade inicial, começaram a surgir os primeiros resultados, cuja aferição passou a ser assunto de interesse, principalmente porque o programa de melhorias “Braskem+” envolve um montante de recursos materiais e humanos particularmente vultoso, de forma que, para justificar sua continuidade, o programa precisava demonstrar êxito. Do ponto de vista acadêmico, há outro aspecto que estimulou a realização de aferições do programa “Braskem+”, que é o fato de se tratar de intervenção em uma empresa petroquímica por meio do uso, porém, de ferramentas de gestão oriundas da indústria de produtos montados. Configurou-se, assim, a oportunidade de abrir um caminho para a discussão de uma aplicação mais

ampla do modelo de melhorias originalmente desenvolvido pela Toyota Motor Corporation.

O presente texto está composto desta seção introdutória e de mais cinco seções. A seção 2 dá informações sobre a companhia, seu programa “Braskem+” e a aplicação deste na planta estudada. A seção 3 apresenta elementos da fundamentação teórica para o emprego das ferramentas gerenciais de produção enxuta observadas neste estudo de caso. Na seção 4 encontram-se os critérios metodológicos utilizados para o estudo. A seção 5 traz a consolidação dos resultados obtidos e, por fim, as considerações finais são apresentadas na seção 6 do trabalho.

2. A COMPANHIA, O PROGRAMA “BRASKEM+” E A PLANTA INVESTIGADA

A Braskem originou-se a partir de um processo de fusão de seis empresas instaladas nos polos petroquímicos de Camaçari (Bahia) e Triunfo (Rio Grande do sul) e no polo alcoolquímico de Alagoas, em meados de 2002. Tal fusão resultou na posse de ativos industriais de empresas da primeira geração da petroquímica (produção de insumos básicos), bem como da segunda geração (produção de resinas termoplásticas), cujo objetivo central foi constituir uma companhia verticalizada, de grande porte, suficientemente forte para competir globalmente. Esse movimento representou, para a indústria petroquímica nacional, a oportunidade de se inserir na competição em nível mundial.

Com seu crescimento, a Braskem (*holding*) tornou-se a maior companhia petroquímica brasileira, com matriz situada em São Paulo, controlando 22 plantas industriais espalhadas pelos Estados do Rio Grande do Sul, Bahia, Alagoas e São Paulo. Empregando aproximadamente 3.500 funcionários diretos e 7.000 indiretos, a companhia foi dividida em 4 unidades de negócio e 6 centros corporativos, e apresenta faturamento anual da ordem de seis bilhões de dólares. Recentemente, a Braskem incorporou uma de suas concorrentes, a Quattor, tornando-se a oitava petroquímica do mundo.

A Braskem apresenta as características típicas das empresas do setor petroquímico, ou seja (GUERRA, 1993):

- É intensiva em capital, em razão da natureza da sua tecnologia de produção;
- Tem recursos humanos especializados e pouco numerosos, em razão da elevada integração e automação dos processos;
- As matérias-primas e energia utilizadas no processo representam, conjuntamente, cerca de 90% dos custos totais de produção;
- É fortemente dependente de um fornecedor principal de matéria-prima – com destaque, no presente caso, para a nafta fornecida pelas refinarias da Petrobras;
- O desempenho em competitividade depende, em grande medida, de determinados indicadores técnicos da operação;
- É dependente da utilização plena da capacidade, como estratégia para diluição dos custos fixos; e, por consequência,
- É altamente dependente da confiabilidade de equipamentos produtivos.

As empresas que formaram a atual Braskem foram implantadas no Brasil entre as décadas de 1970 e 1980, seguindo o modelo de aprendizagem tecnológica vigente naquele momento no país – o da chamada “caixa preta” – com foco no cumprimento estrito dos padrões de trabalho dos projetistas e praticamente sem espaço para melhorias operacionais. Ao longo da década de 1990, as empresas formadoras da Braskem, assim como boa parte das empresas exportadoras brasileiras, tiveram de se adaptar às medidas governamentais de abertura comercial para o exterior, e passaram a reestruturar, em maior ou menor grau, seus processos operacionais, a fim de se tornar mais competitivas no mercado global. Nos últimos tempos, a Braskem vem se colocando o desafio de se converter em uma empresa de *classe mundial* (“*world class*” company), tendo, portanto, que desenvolver capacitações específicas para o aprimoramento constante em custos, qualidade e inovação, de forma que obtenha vantagens diante de seus competidores globais. Uma das características dessa capacitação é o domínio de algumas ferramentas de gestão da produção.

É natural que a indústria de produção contínua, em particular a indústria petroquímica, não tenha

acumulado aprendizagem significativa em ferramentas típicas de gestão da produção de produtos montados. A natureza própria dos processos petroquímicos – integrados, automatizados e monitorados por instrumentos específicos – dispensa a adoção de muitas das práticas correntes naquela modalidade de gestão. No entanto, a necessidade atual de reduções cada vez mais frequentes de variabilidade de parâmetros de processos contínuos atraiu para a indústria petroquímica ferramentas da produção enxuta, as quais, antes, eram aplicadas prioritariamente na indústria de produtos montados. A Braskem seguiu essa tendência em seu programa de melhorias operacionais.

O Programa “Braskem+”, implantado na corporação em 2004, tem uma componente de Melhorias Contínuas que objetiva a redução de variabilidade de processos, com dois pontos focais. O primeiro é a diminuição/eliminação de

perdas físicas de materiais de processo e de insumos energéticos, tendo como instrumento gerencial a ferramenta Seis Sigma. O outro ponto focal de melhorias é a redução/eliminação de falhas em equipamentos produtivos, a fim de maximizar sua taxa de utilização, com base na ferramenta TPM.

O objeto de estudo escolhido para o presente trabalho foi uma das mais importantes plantas da Braskem, no caso a central petroquímica de insumos básicos (primeira geração) localizada no Polo de Camaçari/Bahia, responsável pela produção de eteno.

O Quadro 1, abaixo, mostra a síntese dos esforços empreendidos nos últimos cinco anos para a consecução do programa “Braskem+” na planta investigada, expressos (a) na quantidade de projetos de melhorias desenvolvidos e (b) nas respectivas cargas (horas) de trabalho humano necessárias.

Quadro 1 – Esforços empreendidos pelo “Braskem+” na Planta de Camaçari

Indicador	Ferramenta	Esforço	
		(a) Quantidade de projetos	(b) Horas de trabalho
Perdas Físicas	Seis Sigma	32	17.410
Eficiência Energética	Seis Sigma	43	4.608
Utilização do Ativo	TPM	40	27.530

Fonte: Os autores.

As técnicas, métodos e procedimentos para as intervenções de melhoria utilizados nos referidos projetos são os mais diversificados e pertencem ao domínio das disciplinas de engenharia de processos petroquímicos. Não é intenção deste trabalho descrever as soluções tecnológicas utilizadas para promover as melhorias. Essas soluções, embora sejam a causa primeira das melhorias, não foram abordadas. O que nos interessa apenas é apresentar os resultados consolidados de melhorias na eficiência produtiva,

os quais foram acompanhados e direcionados com o auxílio das ferramentas gerenciais da produção enxuta adotadas no programa “Braskem+”.

3. BREVE APORTE TEÓRICO

Para oferecer uma argumentação teórica que justifique o emprego de ferramentas de produção enxuta na Braskem, três explicações são aqui consideradas: (a) a indústria petroquímica, por produzir *commodities*, carece de processos produtivos eficientes para reforçar sua posição

competitiva (GUERRA, 2003); (b) o Sistema de Produção Toyota, embora originariamente dirigido à indústria de produtos montados, apresenta convergência com o interesse atual da indústria petroquímica, em particular no que se refere aos esforços para a redução continuada de desperdícios (SHINGO, 1996); e (c) em decorrência das duas explicações anteriores, as ferramentas Seis Sigma e TPM, do corpo de conhecimentos da produção enxuta, encontram aplicação na indústria petroquímica (SAKAGUCHI, 2001).

3.1. A Indústria Petroquímica e o esforço por eficiência

Como nos outros ramos de negócio, o cenário mundial da indústria petroquímica modificou-se ao longo dos últimos anos. Alguns sinalizadores de tendências dessa indústria, conforme comentado por Guerra (1993), apontam para ameaças e pressões, tais como: a consolidação dos grandes grupos petroquímicos, a propensão de queda dos preços de *commodities* e a necessidade crescente de adequada gestão do desempenho operacional como um imperativo para a sobrevivência. Mas os sinalizadores apontam, também, para oportunidades, dentre elas: o aumento do uso do plástico (embora sob restrições ambientais) como substituto dos produtos tradicionais, principalmente nas indústrias de embalagens e automobilística, e a expansão geral do setor das indústrias de processamento na economia. Todos esses indícios concorrem para incluir a indústria petroquímica no conjunto daquelas que precisam praticar a chamada manufatura de *classe mundial*, caracterizada por processos de elevada eficiência.

A indústria petroquímica está localizada estrategicamente nas cadeias produtivas da economia, pelo fato de gerar insumos básicos e materiais para, praticamente, toda a estrutura de produção. A cadeia petroquímica se inicia com o refino do petróleo, que gera, dentre outros produtos, a nafta e o gás natural. Esses primeiros materiais são, então, utilizados pelas “centrais petroquímicas” – que constituem a chamada “indústria de primeira geração da cadeia petroquímica” –, onde são transformados em insumos básicos (eteno, propeno e paraxileno), os quais, por sua vez, são processados nas empresas da chamada “indústria de segunda geração da

cadeia petroquímica”. As empresas da indústria de segunda geração transformam esses insumos básicos em resinas termoplásticas, tais como o polietileno, o polipropileno, o policloreto de vinila (PVC) e o polietileno tereftalato (PET). Estas resinas são, finalmente, processadas pelas empresas da “indústria de terceira geração da cadeia petroquímica”, também conhecidas como “transformadoras de plástico”, que produzem produtos utilizados pelo mercado nas mais variadas aplicações: sacos, sacolas, tubos e conexões, materiais para construção, componentes para outras indústrias, garrafas, embalagens, brinquedos, aplicações em medicina e saúde, e muitas outras.

Uma das principais características identificadoras da indústria petroquímica é a grande escala de suas unidades produtivas e, por consequência, os elevados custos fixos. Em razão disso, oscilações do mercado podem lhe trazer fortes instabilidades, especialmente em épocas de retração da demanda (GUERRA, 1993). Nesses momentos, uma alternativa que se apresenta é a busca por novos mercados para a alocação do excedente de produção, em óbvia situação de desvantagem para quem promove a oferta. Então, cortes de preços, com os consequentes estreitamentos de margens, são inevitáveis. Configura-se, assim, uma ocasião em que a indústria petroquímica depende fortemente do esforço para obter ganhos de eficiência, a fim de oferecer preços competitivos.

Outro momento de pressão sobre a eficiência operacional da indústria petroquímica ocorre por ocasião dos aumentos de capacidade de suas unidades produtivas, porque, pela própria tecnologia dos processos, tais expansões são realizadas em grandes incrementos que, quando acontecem à frente da demanda, resultam em períodos (previstos) de ociosidade. Essa estratégia de expansão explica, também, parte da preocupação da indústria petroquímica com a questão da ocupação do equipamento produtivo.

Em face das referidas peculiaridades, diversas estratégias de negócio têm sido empregadas pelas empresas da indústria petroquímica (GUERRA, 1993; CARRON, 1998; D’ÁVILA, 2002). Dentre essas estratégias, citam-se:

- a) Redirecionar os investimentos para determinadas especialidades;

- b) Transferir as áreas de produção de petroquímicos tradicionais para países recém-industrializados, gerando associações com produtores locais, em busca de custos mais baixos de produção;
- c) Formar alianças estratégicas com o objetivo de aproveitar competências em tecnologia e mercado;
- d) Realizar fusões e incorporações, normalmente verticalizando o negócio, com o objetivo de tornar a estrutura produtiva mais eficiente; e
- e) Diversificar a linha de produtos, principalmente a da segunda geração, por meio de novos *grades* de resina e/ou *blends* voltados para aplicações definidas pelo mercado. (Observe-se que, diferentemente das demais, esta última estratégia é uma tentativa de se afastar da linha de *commodities* e agregar maior valor aos produtos).

Todavia, em maior ou menor grau, a implantação de qualquer uma das estratégias acima referidas implica a necessidade de aprimoramento do desempenho operacional das plantas, com vistas na garantia de uma posição competitiva favorável.

Para as empresas da indústria de primeira geração (produção de insumos básicos), caso da planta de Camaçari, o acesso à matéria-prima (nafta e gás natural) e seu preço são elementos de grande importância para a viabilidade do negócio, uma vez que esses materiais respondem por cerca de 80% dos custos variáveis dessas empresas. Como consequência de tal peculiaridade do processo produtivo, o aumento da eficiência energética e a redução das perdas físicas despontam como fatores de grande importância para a garantia da competitividade.

Mais ainda, por se tratar, como foi dito, de processos contínuos intensivos de capital, a lógica de estruturação dos custos das empresas de primeira geração leva suas plantas industriais a tentar manter, na medida do possível, os custos fixos unitários em patamares mínimos, por meio de altas taxas de utilização dos ativos, estratégia que, adicionalmente, facilita o crescimento nos períodos de margens elevadas e tenta garantir a

sobrevivência nos períodos de baixa demanda, ainda que à custa de algum volume de inventário.

Em síntese, pelas razões aqui comentadas, justifica-se o esforço para obter eficiência na indústria petroquímica e entende-se por que, dentre os fatores críticos para o bom desempenho operacional das empresas de primeira geração, destacam-se: a redução de perdas físicas de produtos, o aumento da eficiência energética da planta e a utilização máxima da capacidade dos ativos (D'ÁVILA, 2002; ECCLES, 1991).

Não é novidade que esses fatores de desempenho operacional vêm sendo perseguidos nas empresas de *classe mundial* da indústria de processos discretos (DE SANTANA, 2005). Dessa maneira, é lícito supor que as empresas da indústria petroquímica estejam, a exemplo do que sucedeu com as empresas de produtos montados, sendo pressionadas a aprimorar seu desempenho operacional, na direção de se converterem, também, em “empresas de *classe mundial*”.

3.2. O Sistema Toyota de Produção e o esforço por redução continuada de desperdícios

O chamado “Sistema Toyota de Produção” (STP) tem-se apresentado, ao longo das últimas décadas, como referência para as estratégias de competição global na indústria automobilística. Conforme originalmente concebido, seu objetivo central consistia em desenvolver as capacidades competitivas necessárias ao sistema de produção da Toyota Motor Corporation japonesa, a fim de que essa empresa pudesse responder com rapidez e flexibilidade às diversas exigências do mercado e às flutuações da demanda. Um ponto, porém, era inquestionável: a resposta ao mercado teria que ser dada a custo mínimo e com qualidade consistente. Essa condição conseguiu ser atendida, pelo STP, por via de diversas e criativas modalidades de redução de desperdícios (SHINGO, 1996).

Para Abdolnour, Dudek e Smith (1995), o STP teria sido construído a partir do uso simultâneo de um modelo global (*company wide*) de gestão da produção e de uma aplicação empírica do modelo, por via de uma lógica de “tentativa e erro”. A partir do desenvolvimento do STP, foram consolidados alguns conjuntos de princípios hoje hegemônicos no campo da produção de produtos

montados em massa, tais como o Controle da Qualidade Total e, algum tempo depois, a Teoria das Restrições (SPEAR, 2004; FERDOWS, 1990).

Sob a perspectiva de aplicação nas operações, o principal objetivo do STP, então, é a eliminação de “custos desnecessários” ao sistema produtivo. Para isso, o STP apoia-se na identificação e priorização de melhorias na função de produção, por meio, principalmente, da eliminação contínua e sistemática das perdas (“muda”) existentes no sistema produtivo.

Evidenciando sua confiança na capacidade de reduzir desperdícios, o STP parte da premissa de que são os clientes (mercado) que definem o preço de venda dos produtos e, sendo assim, o lucro vem da subtração do preço pelo custo. Dessa maneira, a única forma de aumentar o lucro consistiria em reduzir os custos. Conseqüentemente, a atividade de redução de custos deveria ser prioritária dentro da empresa. De acordo com essa visão, qualquer empresa poderia despendar esforços para reduzir perdas, porém, enquanto operasse adicionando, arbitrariamente, o lucro ao custo do produto para definir seu preço, seus esforços seriam pouco frutíferos. Assim, somente quando a empresa tivesse que mudar a lógica do cálculo da margem de lucro – como fez a Toyota – é que haveria motivação real para eliminar sistematicamente todas as formas de desperdício (OHNO, 1997).

Comungando dessas ideias, Imai (1996) considera que o passo inicial para realizar uma melhoria de processo seria identificar, de forma sistemática, as fontes de desperdícios. A premissa do autor é de que cada estágio do processo deve acrescentar apenas valor ao produto, antes de enviá-lo ao próximo estágio. Desperdícios, neste caso, referem-se a quaisquer atividades que não adicionem valor ao produto.

Em que pesem as enormes diferenças entre as tecnologias de processo da indústria de produtos montados em massa e as da indústria de processos contínuos, parece evidente que algumas ferramentas de gestão para a redução de desperdícios e aumento de eficiência adotadas com sucesso na primeira encontram aplicação também na segunda, caso do Seis Sigma e do TPM.

3.3. A Ferramenta “Seis Sigma” na produção contínua

Desde que foi aplicada pela Motorola nos anos 80, a ideia de processo com variabilidade extremamente reduzida e baixíssima probabilidade de produzir “falhas” (itens/parâmetros fora da especificação) se difundiu como proposta de um novo padrão para processos produtivos repetitivos. Essa ideia propõe ser viabilizada pela ferramenta conhecida por Seis Sigma, que concentra esforços na redução da variabilidade e no monitoramento dos resultados de um processo. O Seis Sigma pode ser visto como um aprofundamento do tradicional Controle Estatístico de Processos (CEP), com a ressalva de que, no primeiro, a variabilidade está severamente restrita, a ponto de a faixa de tolerância especificada para o item/parâmetro conter 12 (doze) desvios-padrão da distribuição dos valores medidos. Recorde-se que a faixa de tolerância especificada para o CEP tradicional contém apenas 6 (seis) desvios-padrão da distribuição. Desse modo, os processos que adotam o controle Seis Sigma têm variabilidade tão pequena, ou seja, desvios-padrão (σ) tão pequenos, que praticamente não produzem resultados fora dos limites especificados. A rigor, um processo sob absoluto controle Seis Sigma produziria 3,4 eventos fora de controle em um milhão de eventos ocorridos (3,4 ppm, isto é, 3,4 partes por milhão). Mas o Seis Sigma evoluiu para além do âmbito do CEP tradicional, especialmente porque adota uma abordagem que transcende o simples estabelecimento de componentes técnicos de controle estatístico. Na verdade, a ferramenta Seis Sigma atribui forte ênfase a componentes comportamentais de engajamento e de motivação das pessoas para o grande esforço de redução de variabilidade (AU; CHOI, 1999; SHIEFER, 1999; DeFEO, 2000).

Partindo-se da premissa de que a faixa de variabilidade (tolerância) especificada para um processo tenha sido previamente definida, a única opção para ter “mais sigmas” (mais desvios-padrão) no interior da referida faixa é reduzir o tamanho do desvio-padrão (BREYFOGLE III, 2003). Como o desvio-padrão é uma medida de variabilidade do processo, a conclusão lógica é que o objetivo central da ferramenta Seis Sigma é reduzir as variações nos parâmetros mensurados do processo.

A aplicação da ferramenta Seis Sigma tem natureza otimizadora e seus resultados surgem de modo gradativo. A esse respeito, Breyfogle III (2003) chama a atenção para o fato de que, em razão do enorme esforço eventualmente necessário para evoluir de um “nível sigma” para outro num determinado processo, nem todos os processos da empresa aprimorados pela ferramenta terão que alcançar necessariamente o nível Seis Sigma. Mais ainda: nem todo processo requer, necessariamente, um “desempenho 6σ ”. O que contaria como mais relevante seria o esforço permanentemente voltado para a redução da variabilidade dos processos.

No nosso caso, a ferramenta Seis Sigma encontrou oportuna aplicação no acompanhamento e controle de perdas de eteno na planta objeto deste estudo, conforme se verá na seção 5 do presente trabalho. A taxa de produção de vapor em relação ao combustível queimado (eficiência energética) também foi aprimorada, na planta, com o uso da ferramenta Seis Sigma.

3.4. A Ferramenta “TPM” na produção contínua

Adotado inicialmente em montadoras japonesas, como a Toyota, a Nissan e a Mazda, o TPM (*Total Productive Maintenance*, ou seja, Manutenção Produtiva Total), diferentemente da ferramenta Seis Sigma, logo passou a ser praticado em várias empresas globais de processos contínuos (Dupont e Exxon são exemplos), como mecanismo para elevar a disponibilidade de equipamentos e, por consequência, aumentar os ganhos de produtividade nas operações (SAKAGUCHI, 2001).

O TPM foi definido pelo JIPE (Japan Institute of Plant Engineers) como uma política de manutenção baseada no trabalho em equipe e moldada para maximizar a efetividade do equipamento produtivo durante todo seu ciclo de vida (SHARMA; KUMAR; PRADEEP, 2006). O TPM tem raízes nas práticas do movimento pela Qualidade Total, onde é identificado com o objetivo principal de proporcionar alta disponibilidade operacional aos ativos de empresas sujeitas a intensivas intervenções de manutenção em equipamentos produtivos. Nakajima (1968) vê o TPM como um instrumento para aumentar a taxa de utilização dos ativos por

meio da redução da frequência de falhas dos equipamentos.

De acordo com a perspectiva do TPM, as fábricas mais lucrativas não necessariamente possuiriam os equipamentos mais novos (IMAI, 2000). Assim, as mais antigas, se fossem bem geridas do ponto de vista da manutenção produtiva total, poderiam, eventualmente, agregar maior valor aos acionistas do que as novas, uma vez que teriam disponibilidade de equipamentos semelhante às novas e já não pagariam mais os encargos de juros e amortizações. Desse modo, muitas reduções de custos de processamento seriam obtidas por inovações que procurassem explorar ao máximo as formas de utilização dos ativos existentes (TAKAHASHI; OSADA, 1993).

O compromisso do TPM com a qualidade dos processos é lembrado por autores como Takahashi e Osada (1993), Kotze (1993) e Frendall, Patterson e Kneedy (1997), para os quais a busca por eficiência dos ativos produtivos implicaria não perder de vista que o nível de utilização da capacidade dos mesmos deve ser compatível com os índices de qualidade exigidos para os produtos gerados. Em outras palavras, o rendimento global de um equipamento deve ser estimado a partir do compromisso entre a taxa de utilização e a taxa de produtos gerados conforme a especificação.

Tendo sido oriundo do movimento pela Qualidade Total, o TPM também não desconsidera a questão comportamental, incorporando a ideia de que sua implantação se faz a partir do compromisso do operador com a máxima utilização do equipamento.

A ferramenta TPM tem grande relevância no programa “Braskem+”, no qual é empregada para aumentar a taxa de utilização dos ativos das plantas.

4. METODOLOGIA

Apresentam-se, nesta seção, os critérios metodológicos empregados nos dois grupos de verificações realizadas na planta da Braskem em Camaçari, ou seja: (a) melhorias no desempenho operacional; e (b) comparações com empresas de *classe mundial*.

a) Indicadores de Desempenho Operacional

Conforme já foi comentado, três indicadores foram utilizados para aferir o desempenho operacional da planta, em relação a antes do programa “Braskem+” (período de 2002 a 2004) e após a implantação do referido programa (período de 2005 a 2007):

- perdas físicas de eteno - em toneladas/mês, tendo como referência o valor máximo de perdas estabelecido pela empresa, de 25 ton./mês;
- eficiência energética - em toneladas de vapor produzido diariamente/toneladas de combustível utilizado, tendo como referência o valor mínimo de 91% do padrão de eficiência nominal fixado pelo fabricante do equipamento; e
- taxa de utilização do ativo - em porcentual (%) de toneladas de eteno efetivamente processadas por mês/capacidade máxima do equipamento em toneladas, tendo como referência o valor mínimo de utilização estabelecido pela empresa, de 92%.

Os dados dos três indicadores de desempenho operacional foram obtidos diretamente da base de dados de controle operacional da planta, contida em seu Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD), com o objetivo de comparar o desempenho operacional antes (série histórica de 2002 a 2004) e depois (série histórica de 2005 a 2007) do programa “Braskem+”. Assumindo-se que esses dados poderiam se comportar segundo uma distribuição normal, fez-se a sua exportação automaticamente para o *software* de tratamento estatístico Minitab versão 15, que os apresentaria na forma de distribuição de frequências e calcularia, para cada indicador, medidas de centralização (média) e de dispersão (desvio-padrão). O *software* fez os ajustes para a conversão da distribuição dos dados de cada indicador em uma distribuição normal padronizada. Isso permitiu que o referido *software* calculasse, a seguir, medidas de capacidade (*capability*) de cada indicador de atender às exigências da empresa, tendo como referência o valor limite especificado para o mesmo, conforme mencionado acima. Assim, foi possível conhecer, para cada indicador, a fração porcentual de sua distribuição que se encontrava fora do valor limite de referência especificado.

No caso das perdas físicas de eteno, tinha-se interesse em conhecer, para a série histórica anterior e posterior ao “Braskem+”, o valor médio de perdas, sua dispersão (desvio-padrão) e a fração porcentual de perdas acima de 25 ton./mês. Quanto à eficiência energética, o interesse era conhecer, para ambas as séries históricas, o valor médio da eficiência, a dispersão e o porcentual de valores de eficiência abaixo de 91% do valor nominal. Da mesma forma, para a taxa de utilização do ativo, tencionava-se saber, tanto para o período anterior quanto para o período posterior ao “Braskem+”, a taxa média, sua dispersão e o porcentual de valores abaixo de 92% de utilização.

Essas informações permitiram constatar diferenças entre os conjuntos de valores de cada indicador, antes e depois do programa “Braskem+”.

Os percentuais de valores, antes e depois do “Braskem+”, que se encontravam fora do limite especificado para cada indicador estão tabulados na seção 5 deste texto, bem como os *Box-Plots* elaborados pelo Minitab, evidenciando as diferenças promovidas pelo programa. Por fim, essas diferenças foram adicionalmente testadas quanto à sua significância estatística, utilizando-se o teste t de *Student*, que revelou um valor de $p < 0,05$ (95% de certeza).

b) Comparações com Empresas “World Class”

Um *benchmarking* realizado para a Braskem, em 2003, pela consultoria Solomon Associates, comparou essa petroquímica com as chamadas “*world class companies*” do setor. Como parte do referido trabalho, foram feitas comparações da planta estudada com as plantas de *classe mundial* para os três indicadores de desempenho operacional aqui observados. Para tanto, foram utilizadas as médias dos dados do ano de 2002, antes, portanto, do programa “Braskem+”.

O presente estudo fez novamente, em 2008, o levantamento dos valores médios dos referidos indicadores, com dados do ano de 2007 (após o programa “Braskem+”), com o objetivo de compará-los, mais uma vez, com os indicadores das plantas de *classe mundial*.

Os dois grupos de dados (respectivamente, antes e depois do “Braskem+”) foram tabulados e

apresentados de forma a permitir verificar sua evolução, em comparação com as empresas petroquímicas consideradas como “world class”, conforme se observa na seção 5, que segue.

5. RESULTADOS

Os resultados do presente estudo são apresentados a seguir, de maneira a dar resposta às duas questões de pesquisa colocadas na seção introdutória do texto.

a) Melhorias do Desempenho Operacional

Perdas Físicas de Eteno

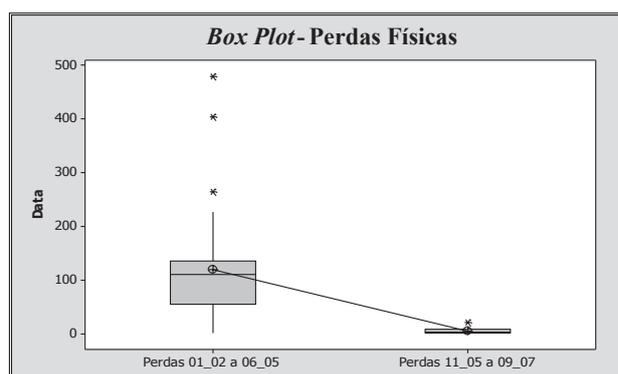
Quadro 2 – Perdas Físicas de Eteno

	ANTES DO BRASKEM+	APÓS O BRASKEM+
Volume médio (ton./mês)	119,20	5,04
% Produção mensal	0,110	0,005
Desvio-padrão (ton./mês)	92,00	5,63
Perdas > 25 ton./mês, %	95	0

Fonte: Os autores.

O *Box-Plot* da Figura 1 confirma, graficamente, esses valores. Tais melhorias foram alcançadas com o auxílio da Ferramenta *Seis*

Figura 1 – Perdas eteno, antes e após “Braskem+”



Fonte: Os autores.

O teste de significância estatística para a diferença entre os dois conjuntos de dados correspondentes, respectivamente, aos períodos antes e após os projetos de melhorias das perdas de eteno demonstra, com 95% de certeza ($p=0,000 < 0,05$), que se pode rejeitar a hipótese de que os dois conjuntos de dados pertençam a

Registrou-se que o volume médio de perdas de eteno caiu de 119,20 ton./mês (0,11% da produção mensal), antes do programa, para 5,04 ton./mês (apenas 0,005% da produção mensal), após o programa (Quadro 2). O desvio-padrão, que é uma medida da variabilidade das perdas, também foi reduzido de 92,0 ton./mês para 5,63 ton./mês. Antes do programa “Braskem+”, 95% das perdas de eteno estavam acima do limite especificado de 25 ton./mês. Após o programa, praticamente não havia perdas acima do referido limite.

Sigma, como resultado dos 32 projetos de aprimoramento apontados no Quadro 1 (seção 2).

Figura 2 – Teste t de Student – diferenças perdas eteno

Two-Sample T-Test and CI: Perdas 01_02 a 06_05; Perdas 11_05 a 09_07

Two-sample T for Perdas 01_02 a 06_05 vs Perdas 11_05 a 09_07

	N	Mean	StDev	SE Mean
Perdas 01_02 a 06_05	42	119,2	92,0	14
Perdas 11_05 a 09_07	23	5,04	5,63	1,2

Difference = μ (Perdas 01_02 a 06_05) - μ (Perdas 11_05 a 09_07)

Estimate for difference: 114,171

95% CI for difference: (85,402; 142,939)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 8,01 **P-Value = 0,000** DF = 41

Fonte: Os autores.

uma mesma população (Figura 2). Isto é, há diferença significativa entre as perdas de eteno antes e após o programa “Braskem+” na planta investigada.

Eficiência Energética

Observou-se que a eficiência energética média da planta aumentou de 90,36%, antes do programa, para 93,19% após o programa (Quadro 3). O desvio-padrão, que mede a variabilidade da eficiência energética ao longo da operação, foi reduzido de 0,978% para 0,284%, indicando que, além do deslocamento da média, houve redução

da dispersão dos valores. Antes do programa “Braskem+”, 68% dos valores de eficiência energética computados estavam abaixo do limite especificado de 91%. Após o programa, praticamente não se encontram valores abaixo do referido limite.

Quadro 3 – Eficiência Energética

	ANTES DO “BRASKEM+”	APÓS O “BRASKEM+”
Eficiência média (%)	90,36	93,19
Desvio-padrão (%)	0,978	0,284
%Eficiência < 91 %	68	0

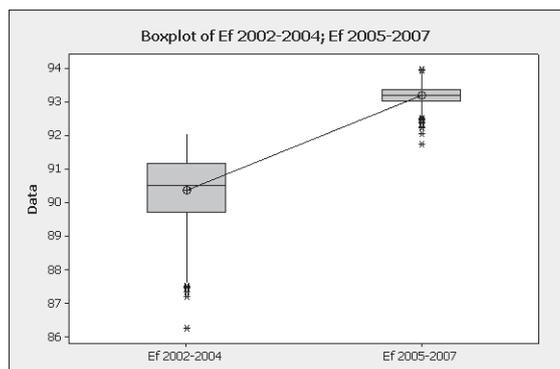
Fonte: Os autores.

O *Box-Plot* da Figura 3 ilustra, graficamente, essa melhoria promovida com o auxílio da Ferramenta Seis Sigma e viabilizada por meio de 43 projetos de aprimoramento (Quadro 1, seção 2).

O teste de significância estatística para a diferença entre os dois conjuntos de dados correspondentes, respectivamente, aos períodos antes e após as melhorias promovidas na

eficiência energética da planta demonstra, com 95% de certeza ($p=0,000 < 0,05$), que se pode rejeitar a hipótese de que os dois conjuntos de dados pertençam a uma mesma população. É possível afirmar, então, que há diferença significativa entre a eficiência energética antes e após o programa “Braskem+” na planta investigada (Figura 4).

Figura 3 – Eficiência antes e após “Braskem+” energética



Fonte: Os autores.

Taxa de Utilização do Ativo

Foi registrado que a utilização média do ativo na planta investigada apresentou melhoria, aumentando de 81,90%, antes do programa, para 90,43%, após o programa (Quadro 4). A

Figura 4 – Teste t de Student - diferenças eficiência

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ef 2002-2004	1094	90,367	0,978	0,030
Ef 2005-2007	992	93,195	0,284	0,0090

Difference = mu (Ef 2002-2004) - mu (Ef 2005-2007)
 Estimate for difference: -2,82759
 95% CI for difference: (-2,88824; -2,76694)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -91,46 **P-Value = 0,000** DF = 1293

Fonte: Os autores.

variabilidade deste indicador também melhorou, refletindo-se no desvio-padrão dos valores, que foi reduzido de 14,00% para 5,17%.

Quadro 4 – Utilização do Ativo

	ANTES DO “BRASKEM+”	APÓS O “BRASKEM+”
Utilização média (%)	81,90	90,43
Desvio-padrão (%)	14,00	5,17
% Utilização < 92 %	75	59

Fonte: Os autores.

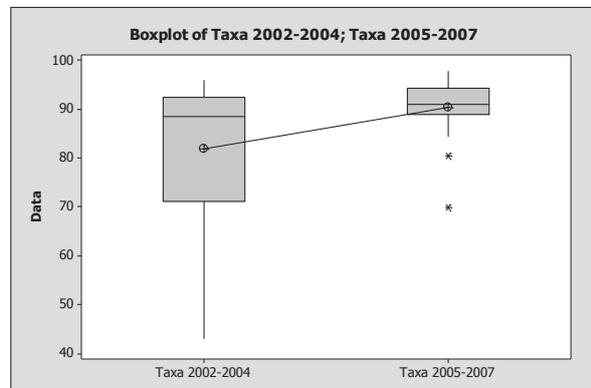
Observe-se, entretanto, que, com relação ao indicador **taxa de utilização do ativo**, o programa “Braskem+” da planta investigada ainda não atingiu a meta (*target*) de 92% de utilização mínima dos equipamentos. Antes do programa, 75% dos valores de utilização do ativo computados estavam abaixo do limite especificado de 92%. Após o programa, ainda ocorre uma frequência de 59% dos valores abaixo do referido limite.

Mesmo assim, o teste de significância estatística para a diferença entre os dois conjuntos

de dados (respectivamente antes e após as melhorias na taxa de utilização) comprova, com 95% de certeza ($p = 0,001 < 0,05$), que há diferença significativa entre a taxa de utilização do ativo antes e após o programa “Braskem +” na planta investigada (Figura 6).

O *Box-Plot* (Figura 5) ilustra, graficamente, a melhoria promovida com o emprego da Ferramenta TPM em 40 projetos de intervenção (Quadro 1, seção 2).

Figura 5 – Utilização do ativo, antes e após “Braskem+”



Fonte: Os autores.

b) Resultados das Comparações com Empresas de Classe Mundial

O Quadro 5 apresenta uma síntese da evolução do desempenho da planta associada aos esforços com o programa “Braskem+”, a partir dos três indicadores estudados. Como se percebe, houve sensíveis melhorias: redução de perdas físicas de eteno e aumento da eficiência energética da planta. Esses dois indicadores (a) superaram seus respectivos valores de referência de projeto e (b) se aproximaram mais ainda do desempenho de *classe mundial* (“*world class*”). As perdas físicas (0,005% da produção mensal) estão, praticamente,

Figura 6 – Teste t de Student - diferenças utilização ativo

Two-Sample T-Test and CI: Taxa 2002-2004; Taxa 2005-2007

Two-sample T for Taxa 2002-2004 vs Taxa 2005-2007

	N	Mean	StDev	SE Mean
Taxa 2002-2004	36	81,9	14,0	2,3
Taxa 2005-2007	34	90,43	5,17	0,89

Difference = mu (Taxa 2002-2004) - mu (Taxa 2005-2007)

Estimate for difference: -8,49330

95% CI for difference: (-13,53026; -3,45635)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -3,40 P-Value = 0,001 DF = 44

no nível do desempenho das petroquímicas de *classe mundial* (0,004% da produção mensal). A eficiência energética (93,19%), embora ainda não tenha alcançado o desempenho “*world class*” de dados (respectivamente antes e após as melhorias na taxa de utilização) comprova, com 95% de certeza ($p=0,001 < 0,05$), que há diferença significativa entre a taxa de utilização do ativo antes e após o programa “Braskem+” na planta investigada (Figura 6).

O *Box-Plot* (Figura 5) ilustra, graficamente, a melhoria promovida com o emprego da

Ferramenta TPM em 40 projetos de intervenção (Quadro 1, seção 2).

O indicador taxa de utilização do ativo, embora tenha evoluído positivamente (saiu de 81,90% para 90,43%), não obteve melhorias tão destacadas quanto os outros dois, pois (a) seu valor de referência de projeto (95%) ainda não foi superado, e (b) o referido indicador permanece a

uma razoável distância do desempenho “*world class*” (97,2%). Ressalte-se, entretanto, que a utilização do ativo está sujeita a alguns fatores exógenos, principalmente as oscilações da demanda de mercado para resinas termoplásticas nas plantas de segunda geração e o não cumprimento de *lead times* prometidos para o suprimento de matérias-primas.

Quadro 5 – Evolução do desempenho com o “Braskem+” e comparações com empresas de classe mundial (por razão de confidencialidade, a Solomon Associates não permitiu o rastreamento da origem dos dados das “world class companies”)

Indicador	Referência de Projeto	Desempenho “World Class”	Desempenho antes “Braskem+”	GAP antes “Braskem+”	Ranking antes “Braskem+”	Desempenho após “Braskem+”	GAP após “Braskem+”	Ranking após “Braskem+”
Perdas Físicas	0,02% (max.)	0,004%	0,11%	0,106%	3º Quartil	0,005%	0,001%	1º Quartil
Eficiência Energética	93% (min.)	96%	90,36%	5,63%	3º Quartil	93,19%	2,81%	1º Quartil
Utilização do Ativo	95% (min.)	97,2%	81,90%	15,30%	3º Quartil	90,43%	6,80%	2º Quartil

Fonte: Os autores.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entende-se que, ao dar resposta às duas questões de pesquisa formuladas, este trabalho oferece subsídios para as avaliações dos resultados do programa “Braskem+” na planta investigada. Tal contribuição é relevante, uma vez que o programa vem despendendo esforços humanos e vultosos recursos financeiros, ao longo dos quatro últimos anos, em 115 projetos de melhorias operacionais na referida planta, o que valoriza as informações de retroalimentação que orientarão os ajustes e redirecionamentos do programa.

De modo geral, pode-se afirmar que a empresa vem se aproximando das práticas típicas das petroquímicas de *classe mundial*, mesmo levando-se em conta que o *benchmarking* foi feito em 2008, após o programa de melhorias, a partir do desempenho “*world class*” de 2003. Como tais referências constituem verdadeiros “alvos móveis”, pois evoluem no tempo, alguma ressalva deve ser feita à afirmação de proximidade da

Braskem com empresas de *classe mundial*, pois tais empresas já podem ter sofrido elevações em seus padrões de desempenho a partir de 2008. Fica evidente, também, que fatores exógenos – ora identificados, ora desconhecidos – intervêm nos resultados do programa de melhorias, dificultando qualquer tentativa de avaliação da relação esforço-resultado. Outra limitação deste estudo decorre da utilização de uma única unidade de produção, o que pode fragilizar eventuais propostas de extrapolação das conclusões para o restante da corporação. Por fim, sabe-se que fatores relacionados a aspectos comportamentais e de cultura organizacional têm forte influência nos resultados de programas de melhorias, porém estiveram fora do escopo do estudo.

Por outro lado, o presente trabalho registra resultados de aplicação, na indústria de processos contínuos, de ferramentas de acompanhamento e controle de melhorias incrementais nascidas no ambiente de fabricação de produtos montados (processos discretos), o que indica que tais

ferramentas, mesmo não tendo relações causais com as melhorias, poderiam ter um emprego bem mais amplo e, de certa forma, independente da natureza da atividade produtiva, orientado, antes de tudo, pela abordagem geral de otimização de processos.

7. REFERÊNCIAS

- ABDOLNOUR, G.; DUDEK, R. A.; SMITH, M. L. Effect of Maintenance Policies on the Just-in-Time Production System. *International Journal of Production Research*, v. 33, n. 2, p. 565-583, 1995. <<http://dx.doi.org/10.1080/00207549508930166>>.
- AU, G.; CHOI, I. *Facilitating implementation of total quality management through information technology*. *Information and Management*, v. 36, n. 6, p. 287-299, 1999. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7206\(99\)00030-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7206(99)00030-0)>.
- BREYFOGLE III, Forrest W. *Implementing Six Sigma*. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- CARRON, Rosinha da Silva Machado. *Reestruturação produtiva, processo de trabalho e qualificação na indústria petroquímica brasileira*. Tese (Doutorado em Administração) – Escola de Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- D'ÁVILA, Saul Gonçalves. A indústria petroquímica brasileira. *ComCiência*. Revista Eletrônica de Jornalismo Científico da SBPC, Campinas, 2002. 6p. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/petroleo/et21.shtml>>. Último acesso em: 14 jan. 2004.
- DeFED, Joseph A. Na ROI Story – the black bets of six sigma. *Training and Development*, v. 54, n. 7, p. 25-27, July 2000.
- DE SANTANA, Lindaura M. *et al. Capacitação Tecnológica e Produtividade na Petroquímica Brasileira nos anos 90: O caso de Camaçari-Ba*. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/revista_brasileira_inovacao/terceira_edicao/lindaura.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2005.
- ECCLES, R. G. The performance manifesto. *Harvard Business Review*, v. 69, n. 1, p. 131-137, 1991.
- FERDOWS, K.; DE MEYER, A. Lasting improvements in manufacturing performance: in search of a new theory. *Journal of Operations Management*, v. 9, n. 2, p. 168-184, 1990. <[http://dx.doi.org/10.1016/0272-6963\(90\)90094-T](http://dx.doi.org/10.1016/0272-6963(90)90094-T)>.
- FRENDALL, L. D.; PATTERSON, J. W.; KNEEDY, W. J. Maintenance modeling its strategic impact. *Journal of Managerial Issues*, v. 9, n. 4, p. 440-448, 1997.
- GUERRA, Oswaldo Ferreira. *Estudo de competitividade da Indústria Brasileira: competitividade da indústria petroquímica*. Campinas: Fundação Economia de Campinas – FECAMP, 1993.
- _____. *A nova Copene e a economia baiana*. Parte do Clipping: Panorama geral da indústria petroquímica. Salvador: FTE, 2003.
- _____. *A vitória da Odebrecht e da petroquímica brasileira*. Parte do Clipping: Panorama geral da indústria petroquímica. Salvador: FTE, 2003.
- HAYES, R. H.; PISANO, G. P. Beyond “world class”: the new manufacturing strategy. *Harvard Business Review*, v. 72, n. 1, p. 77-84, 1994.
- IMAI, Masaaki. *Gemba Kaizen: Estratégias e técnicas do Kaizen no piso de fábrica*. São Paulo: IMAM, 1996.
- IMAI, Yassuo. *TPM como estratégia empresarial*. São Paulo: IMC Internacional, 2000.
- KOTZE, D. Consistency, accuracy lead to maximum OEE benefits. *TPM newsletter*, v. 4, n. 2, 1993.
- NAKAJIMA, S. Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 14, n.7, p. 44-52, 1968.

OHNO, Taiichi. *O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala*. Trad. Cristina Schumacher. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

SAKAGUCHI, Mitsuo. Concepts of TPM parts I, II and III and Challenge requirements. *Revista JIPM*, Tokyo, v. 25, p. 9-12, Oct.2001.

SCHIEFER, G. ITC and quality management. *Computers and electronics in Agriculture*, v. 22, n. 2, p. 85-95, 1999. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(99\)00009-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(99)00009-5)>.

SHARMA, R. K.; KUMAR, D.; PRADEEP, K. Manufacturing Excellence through TPM implementation: a practical analysis. *International Management & Data Systems*, v. 106, n. 2, p. 256-280, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1108/02635570610649899>>.

SHINGO, Shingeo. *O sistema Toyota de Produção: sob o ponto de vista da engenharia de produção*. Trad. Eduardo Schaan. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SPEAR, Steven J. Learning to lead at Toyota. *Harvard Business Review*, v. 2, n. 5, p. 78-86, May 2004.

SUZUKI, Masaei. Implementation of project management based on QES and those issues in Japan industries and Kumagaigumi. INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMPLEMENTATION OF CONSTRUCTION QUALITY AND RELATED SYSTEMS: A GLOBAL UPTADE. 2000, Lisboa. *Proceedings...* Lisboa, 2000.

SUZUKI, Tokutaro. *TPM in Process industries*. Portland, USA: Productivity Press, 1994.

TAKAHASHI, Yosikazu; OSADA, Takashi. *MPT – Manutenção Produtiva Total*. São Paulo: IMAM, 1993.