

## MONITORAMENTO REMOTO DE MÁQUINAS DE MEDIR POR COORDENADAS UTILIZANDO A INTERNET

*Sidnei Rodrigo Basei<sup>1</sup>, Gustavo Daniel Donatelli<sup>2</sup>, André Luiz Meira de Oliveira<sup>3</sup>,  
Carlos Alberto Schneider<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial - UFSC, Florianópolis, SC-Brasil, [srb@labmetro.ufsc.br](mailto:srb@labmetro.ufsc.br)

<sup>2</sup> Centro de Metrologia e Instrumentação - Fundação CERTI, Florianópolis, SC-Brasil, [gd@certi.org.br](mailto:gd@certi.org.br)

<sup>3</sup> Centro de Metrologia e Instrumentação - Fundação CERTI, Florianópolis, SC-Brasil, [aeo@certi.org.br](mailto:aeo@certi.org.br)

<sup>4</sup> Fundação CERTI, Florianópolis, SC-Brasil, [cas@certi.org.br](mailto:cas@certi.org.br)

**Resumo:** Neste trabalho é apresentado um sistema baseado na tecnologia da informação para monitoramento remoto de parâmetros de verificação periódica de MMCs, denominado *i-Check*. O sistema permite a utilização de diversos padrões corporificados e peças calibradas, disponibilizando a informação gerada pela verificação no formato adequado a cada um dos envolvidos, utilizando conceitos de controle estatístico de processos para identificar estados atípicos da MMC.

**Palavras chave:** Medição por Coordenadas, Verificação Periódica, Monitoramento Remoto, Internet.

### 1. INTRODUÇÃO

A qualidade tem na metrologia um dos seus pilares fundamentais. Na atividade industrial, mede-se para separar produtos não conformes e para controlar os processos de fabricação, mas também para adquirir conhecimentos e gerar *know-how*. Sem medição, a melhoria contínua dos produtos e processos torna-se uma utopia.

Para fornecer informação útil, os resultados de medição devem apresentar características metrológicas apropriadas: ser rastreáveis às unidades fundamentais e possuir uma incerteza de medição suficientemente pequena (tipicamente  $U_{95\%} \leq \text{Tol}/5$ ).

Na produção industrial é incomum avaliar a incerteza de medição de cada resultado gerado. Em geral, a garantia da qualidade das medições baseia-se na realização de testes com padrões ou mesmo peças de produção, seguidos de diversas análises estatísticas [1]. Através dessas análises procura-se provar que o processo de medição é estável e que sua variabilidade (i.e. repetitividade e reprodutibilidade) é pequena com referência à tolerância do produto e à variação do processo de fabricação. Geralmente esses testes são realizados durante a confirmação metrológica do sistema de medição, antes da liberação para seu uso na produção. Assim, a avaliação descreve o comportamento do sistema num período mais ou menos reduzido de tempo que, no melhor dos casos, se estende por duas ou três semanas.

Porém, sistemas de medição podem mudar suas propriedades metrológicas durante o uso, devido à deterioração natural ou mesmo por incidentes de diversos tipos. Variações imprevistas dos erros de medição são dificilmente percebidas no ambiente de produção, podendo induzir erros de inspeção e ajustes inadequados do processo de fabricação.

A verificação periódica com padrões ou peças de produção calibradas pode ser usada para restabelecer a confiança no processo de medição ao longo de sua vida em serviço [2]. A partir do histórico criado, é possível ajustar o intervalo de calibração, diminuindo custos e aumentando a disponibilidade do sistema de medição sem afetar a confiabilidade.

Essa verificação é geralmente realizada pelos próprios usuários do sistema de medição, os quais ficam responsáveis pela medição correta do padrão, a interpretação do resultado e, finalmente, a tomada de decisão sobre o estado do sistema. Caso resultados atípicos sejam obtidos, iniciam-se ações para identificar e corrigir os desvios, envolvendo especialistas em metrologia.

A verificação periódica é altamente recomendável quando se trata de sistemas de medição complexos, tais como máquinas de medir por coordenadas (MMC). Quando adequadamente realizada, a verificação permite detectar mudanças da estrutura da máquina e das condições ambientais, orientando o operador sobre as necessidades de intervenção externa. Além disso, caso uma peça calibrada seja utilizada, os dados das verificações periódicas poderão ser aproveitados para obter estimativas mais confiáveis da incerteza de medição [3].

Os recursos CNC das MMCs modernas simplificam e aceleram a execução da verificação e a aquisição dos dados. Infelizmente, a seleção do padrão mais adequado, a interpretação dos resultados da verificação e a eventual identificação das causas dos desvios atípicos requerem de competências que estão além das disponíveis na maioria das empresas brasileiras, fazendo com que a verificação não possa depender somente de recursos externos, incapazes de atuar imediatamente após detecção do problema.

Neste trabalho é discutido um sistema baseado na tecnologia da informação (TI) para monitoramento remoto

de parâmetros de verificação periódica de MMCs, denominado *i-Check*. O sistema foi desenvolvido tomando como base a experiência do Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), laboratório nacional de metrologia da Alemanha, no desenvolvimento do sistema *e-Trace* [4].

O *i-Check* é um módulo especializado do LASAR – Laboratório Associado de Serviços e Assessoramento Remotos [5], desenvolvido e operado atualmente na Fundação CERTI. Permite implantar verificações periódicas com diversos padrões corporificados e peças calibradas e disponibiliza a informação gerada pela verificação no formato apropriado para todos os envolvidos: o operador da MMC, o coordenador/supervisor da sala de medidas e o analista interno ou externo. Utiliza consistentemente os conceitos de controle estatístico de processos (CEP) para identificar estados atípicos da MMC.

Nas seções a seguir são brevemente apresentadas as bases do desenvolvimento e os primeiros resultados de sua aplicação em uma empresa da cadeia automotiva.

## 2. VISÃO GERAL DO SISTEMA

Desde o ponto de vista metrológico, o *i-Check* é um sistema de aquisição e análise de resultados de verificações periódicas. Para se adequar aos diferentes cenários possíveis, possui uma arquitetura de aquisição de dados aberta e customizável, a qual permite a utilização de qualquer artefato geometricamente estável, calibrado ou mesmo não calibrado. Caso padrões corporificados sejam utilizados (e.g. esferas, blocos padrão, placa de esferas ou furos), os parâmetros de verificação poderão ser estimativas dos erros geométricos da MMC (e.g. erros de posicionamento e ortogonalidade), matematicamente derivadas dos resultados da medição do artefato. Quando a verificação é realizada com peças de produção calibradas, uma ou mais medidas da peça poderão ser definidas como parâmetros de verificação. Nesse caso, será possível usar os resultados para estimar a incerteza de medição das características envolvidas.

A visualização e a análise dos dados são realizadas por meio gráficos de controle de média e amplitude ou indivíduos e amplitude móvel. Os gráficos de controle possibilitam a detecção de estados atípicos sem recorrer ao estabelecimento de limites arbitrários para cada parâmetro de monitoramento, pois possuem limites de controle definidos pela variação natural do processo [6]. Usando esse conceito, MMCs que apresentam boa repetitividade (e.g. máquinas instaladas em salas com controle ambiental acurado) poderão ter sua geometria monitorada estreitamente, em tanto que MMCs com baixa repetitividade (e.g. máquinas instaladas em condições ambientais desfavoráveis) apresentarão limites de controle mais amplos, que omitirão os sinais das pequenas variações da geometria, direcionando os esforços à redução da variabilidade produzida pelo ambiente.

Quando considerada a estrutura de Tecnologia da Informação necessária, o *i-Check* é um sistema cliente/servidor, utilizando a Internet e alinhado com a

Web2.0. Isso significa a geração de um ambiente de oferta de serviços, com possível precificação escalonada e onde o operador/usuário serve-se do sistema inserindo informações e compartilhando conhecimento com o analista e demais usuários da sua empresa, permitindo também uma análise global de grupos de equipamentos, caso aplicável.

Ainda, o *i-Check*, via sistema LASAR, oferece infraestrutura computacional completa para aquisição, processamento e compartilhamento via Internet dos dados das medições da indústria com um Centro de Competência Metrológica externo, favorecendo indústrias onde não é economicamente viável manter analistas no quadro de colaboradores. A Fig. 1 ilustra o modelo de atuação do sistema.

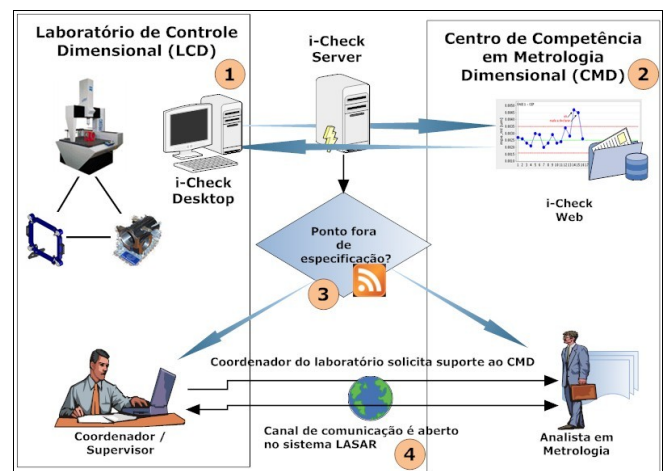


Fig. 1: Visão geral do sistema e interoperabilidade

Nesta figura, alguns apontamentos podem ser feitos:

1. **Laboratório de Controle Dimensional (LCD):** é a sala de medição na indústria. Essa sala é composta por uma MMC, um artefato escolhido de acordo com as necessidades e pelo *i-Check Desktop* – responsável pela aquisição dos dados e a geração de mensagens simples para o operador.
2. **Centro de Competência em Metrologia Dimensional (CMD):** centro especialista em metrologia dimensional. Este centro pode estar instalado dentro da própria indústria ou, ainda em uma entidade externa como, por exemplo, o Centro de Metrologia e Instrumentação da Fundação CERTI.
3. **Sistema de comunicação em tempo real:** responsável por enviar notificações em tempo real para todos os envolvidos no processo: analistas do CMD e coordenador/supervisor do LCD;
4. **Canal de Comunicação:** é um módulo integrado do LASAR, responsável por prover um ambiente de troca de informações, relatórios e solução de dúvidas utilizando a Internet, para dentro da empresa ou para um Centro de Competência externo.

Com esta infra estrutura pode-se garantir ao LCD que, ao acontecer algum problema complexo, uma equipe capacitada em tecnologia de medição por coordenadas (TMC) estará sendo alertada e realizar uma análise mais

aprofundada do problema e sugerir ações de contingência e/ou melhorias.

Além de reagir aos possíveis problemas apontados pelos gráficos de controle, o CMD pode realizar outras análises *off-line* de alto valor agregado. Pode-se, por exemplo, comparar diferentes MMCs para a realização de uma tarefa de medição dada ou comparar o comportamento de MMCs semelhantes em distintas salas de medidas, dentro da empresa ou mesmo entre empresas. Assim, o *i-Check* é uma rica fonte de informação para melhoria contínua, que pode ser útil para as empresas, para o centro tecnológico e para os fabricantes de MMCs.

O processo de aplicação desta solução de monitoramento remoto é definido pela presença de alguns processos que contemplam desde o diagnóstico das necessidades da indústria até a operacionalização da mesma, prevendo, ainda, a necessidade da comunicação entre os envolvidos e a capacidade de análise técnica remota.

## 2.1. Diagnóstico das necessidades

O início do processo de aplicação do *i-Check* consiste na realização das atividades de diagnosticar as necessidades e capacidades do cliente, implantar a solução e realizar o estudo de estabilidade (fase 1 do CEP).

Com o plano de trabalho definido o *i-Check* é então instalado no cliente, passando a operar em modo de amostragem, ou seja, são realizadas  $n$  medições com o objetivo de avaliar a estabilidade da máquina, e então definir os limites de controle.

Esta primeira etapa se encerra com a definição dos limites superiores e inferiores de controle de cada um dos parâmetros monitorados, quando o *i-Check* é configurado para operar na fase 2 do CEP.

## 2.2. Operacionalização do sistema

O *i-Check* trabalha com um sistema de agendamento de verificações rápidas, que é pré-estabelecido de acordo com as necessidades e disponibilidade de cada caso. Seguindo esta agenda, as verificações rápidas são realizadas pelos operadores responsáveis, que alimenta automaticamente uma base de dados remota, localizada nos servidores da Fundação CERTI e, também, comunica todos os envolvidos com a qualidade daquela máquina: os analistas responsáveis (CMD), operadores, coordenadores ou supervisores, no LCD. Para isso, faz-se necessário um software junto da MMC para realizar a aquisição, envio e acompanhamento dos resultados. Este software desenvolvido, denominado de *i-Check Desktop* (Fig. 2), oferece por 4 funções essenciais para o operador: (1) aquisição dos dados e *logbook*, (2) acompanhamento dos gráficos CEP, (3) abertura de chamadas técnicas no LASAR, e (4) acesso ao diário de bordo.

## 2.3. Comunicação dos envolvidos no processo

O sistema de comunicação entre os envolvidos no processo de verificação rápida de MMCs utiliza o módulo de *help-desk* do sistema LASAR, buscando a centralização do conhecimento em uma única base de dados, facilitando o seu gerenciamento.

Quando uma verificação é realizada e algum resultado atípico é detectado, os envolvidos podem optar em abrir um canal de comunicação, possibilitando a troca de informações complementares (como relatórios, manuais, etc.), para auxiliar os analistas no entendimento no problema, ou ainda, para que os operadores tenham acesso à informações técnicas e científicas disponibilizadas pelo CMD.

## 2.4. Análise técnica remota

O acesso do analista aos dados das verificações rápidas da indústria é realizado através de um sistema WEB (Fig. 3) que utiliza os dados enviados pelos LCDs para geração de gráficos e acesso às informações fornecidas pelo operador no momento da medição, no diário de bordo (*logbook*).

Este ambiente é bastante simplificado, oferecendo apenas algumas funcionalidades, tais como:

- centralização dos dados de todos os LCDs, permitindo o acesso à todas suas MMCs;
- geração dinâmica dos gráficos CEP; e,
- ajuste remoto dos limites de controle (sob aprovação prévia do coordenador/supervisor do laboratório).

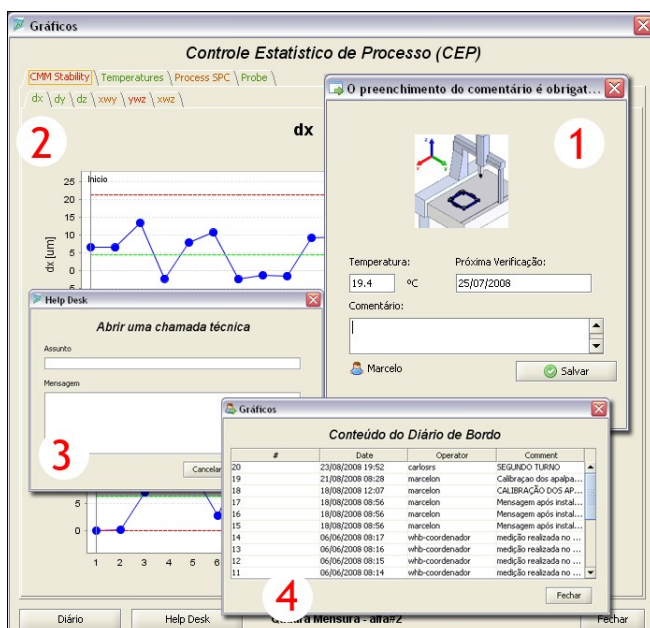


Fig. 2: Telas do módulo do *i-Check Desktop*

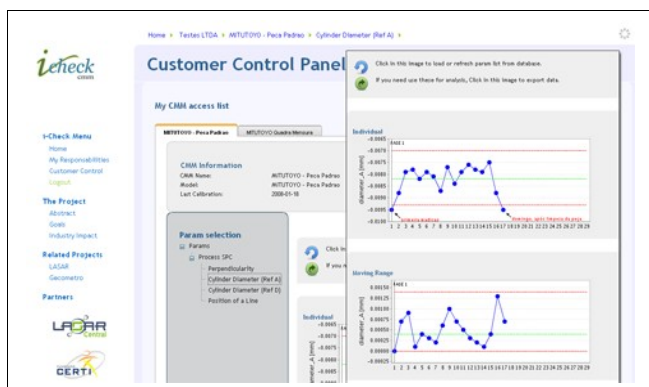


Fig. 3: Ambiente de acesso remoto aos dados

O ambiente não possui nenhum recurso avançado de processamento estatístico dos dados, por se entender que existem inúmeras soluções de código aberto ou proprietárias para realização desta tarefa. Para tanto, o sistema possibilita que o analista exporte todos os dados das medições para o seu software estatístico preferido, como por exemplo, MS-Excel, Minitab, Q-Stat, etc, onde poderá realizar os processamentos estatísticos e matemáticos necessários.

### 3. RESULTADOS DA APLICAÇÃO PILOTO

O *i-Check* foi implantado, para fins de teste e validação, em uma grande indústria da cadeia automotiva. O monitoramento foi realizado com padrão QuadraMensura [7], adotando-se como parâmetros de verificação três erros de posicionamento e três erros de ortogonalidade (Fig. 4). A temperatura ambiente, medida na mesa da MMC, também foi monitorada pelo sistema.

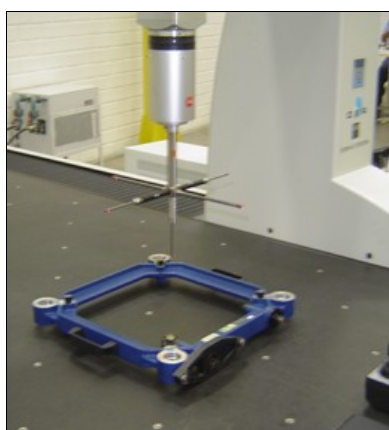


Fig. 4: Verificação da máquina no plano XY utilizando o artefato QuadraMensura

A aplicação nesta indústria foi realizada considerando que o Centro de Competência em Metrologia Dimensional (CMD) encontra-se fora das dependências da indústria, ou seja, simulando um serviço terceirizado, onde a indústria aceita disponibilizar os seus dados à equipe especializada, localizada no Centro de Metrologia e Instrumentação (CMI) da Fundação CERTI.

O principal objetivo desta implementação foi a realização de um estudo de estabilidade, inicialmente em uma das máquinas da indústria, melhorando o conhecimento sobre a capacidade desta MMC.

A Tabela 1 contextualiza o ambiente de aplicação do *i-Check*, definindo as características da MMC a ser avaliada, o artefato mecânico utilizado e os parâmetros que foram monitorados.

Tabela 1: Características da implantação da solução

Característica	Valor
Fabricante da MMC	DEA.
Modelo da MMC	GLOBAL ADVANTAGE 12.22.10
Software CNC	PCDIMIS (v. 4.0)
Última Calibração	23/08/2007
Próxima calibração	Agosto/2008
Artefato Utilizado	QuadraMensura [7]
Cal. do artefato	Março/2008
Parâmetros monitorados	Desvios em X, Y e Z Ortogonalidades nos planos XY, YZ, ZX e temperatura
Data de início	25 de março de 2008
Término da Fase 1	06 de maio de 2008
Data final	18 de julho de 2008

Na seção a seguir, será apresentada uma discussão sobre os avanços proporcionados e resultados obtidos nesta aplicação piloto.

### 4. DISCUSSÕES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A aplicação permitiu testar e aprimorar a interface entre o software de medição da MMC e o *i-Check*, comprovando-se a viabilidade da aquisição de dados sem intervenção direta do operador. Em geral, pode-se afirmar que o sistema permitiu reduzir o tempo de realização da verificação periódica, sem trazer complicações inaceitáveis para o operador.

O monitoramento com gráficos de controle também mostrou bons resultados. Por meio dos mesmos foi possível detectar que, a partir do ponto número 13 da corrida inicial, houve uma mudança do erro de ortogonalidade no plano XZ da máquina, onde iniciou-se uma corrida por baixo da média, mostrando que a aplicação apresentou-se sensível a uma leve alteração de aproximadamente  $5\mu\text{m/m}$  neste erro de ortogonalidade (Fig. 5).

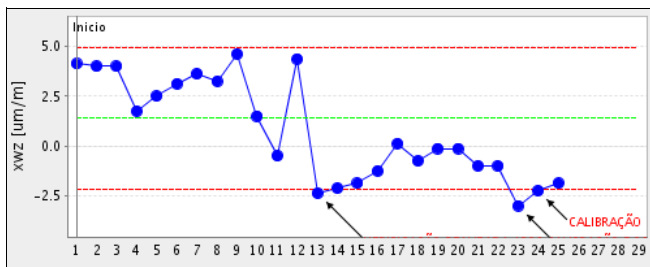


Fig. 5: Resultados obtidos no parâmetro de ortogonalidade xwz

O gráfico é a representação dos valores adquiridos pela MMC e processados pelo *i-Check*, tal como é apresentado ao analista que se encontra geograficamente distante da sala de medidas onde acontece a verificação. Juntamente com os demais dados adquiridos (temperatura e erros de posicionamento), o analista foi guiado a entrar em contato com o responsável pela execução da verificação. A análise subsequente permitiu identificar que a instabilidade do erro de ortogonalidade fora causada por ajustes realizados via *software* na MMC pela assistência técnica, quando a matriz de compensação de erros foi corrigida. Percebe-se que após estes ajustes, os erros sistemáticos foram reduzidos a um valor bem próximo à zero. Com esta alteração no sistema de compensação de erros da máquina, é necessário que o estudo de estabilidade seja reavaliado e que os limites de controles sejam recalculados, garantindo a integridade do controle estatístico de processo.

No total, foram realizadas 78 verificações rápidas, o equivalente a 26 ciclos completos (nos planos XY, YZ e XZ). Estes dados são poucos para avaliar a estabilidade da máquina, porém, são suficientes para validar o sistema *i-Check* como um facilitador deste processo e, também, como uma ferramenta capaz de oferecer à indústria um canal de comunicação com uma equipe de metrologistas especializada em tecnologia de medição por coordenadas, reduzindo custos decorrentes e, sobretudo, melhorando a qualidade, garantindo a confiabilidade e a rastreabilidade das medições no chão de fábrica.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema apresentado, *i-Check*, fornece um ambiente de TI para suporte à verificação periódica de sistemas de medição complexos. Permite que os dados adquiridos na medição do padrão sejam processados e enviados, imediatamente depois de finalizada a aquisição, para o especialista geograficamente distante do sistema de medição sob análise. A inserção do *i-Check* como um módulo do sistema LASAR possibilita a interação do especialista com o operador ou supervisor da sala de medidas para fins de diagnóstico e repasse de informação. Viabilizam-se assim verificações periódicas mais eficientes, reduzindo custos e atuando paralelamente na formação continuada do pessoal atuante na metrologia de produção.

A arquitetura de aquisição de dados customizável permite utilizar diferentes tipos de padrões, proporcionando flexibilidade para se adequar, por exemplo, a distintos tipos de máquinas de medir por coordenadas. Contudo, as

possibilidades do *i-Check* não se limitam à medição por coordenadas ou mesmo à metrologia dimensional. O conceito pode ser aplicado também à supervisão periódica de outros equipamentos complexos, em outras áreas da metrologia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AIAG, ASQC, **Measurement System Analysis. Reference Manual**, 3ª edition. Troy: Automotive Industries Action Group, 2002.
- [2] J.L. EVERHART, **Developing a Process Measurement Assurance Program (PMAP™)**. Cal Lab, January-February, 1997.
- [3] G.D. DONATELLI, **Quality Assurance of Industrial Measurements - Tribulations of a Practitioner**. Proceedings of the 8th IMEKO International Symposium on Measurement and Quality Control in Production. Erlangen, Germany, 2004.
- [4] R. KREIS, M. FRANKE, H. SCHWENKE, **Messdaten zum Experten – Internetbasiertes Überbachen von Koordinatenmessgeräte**. Qualität und Zuverlässigkeit. München: Hanser Verlag, 2003.
- [5] A.L. Meira de Oliveira, C.A. Schneider, **Metrology Knowledge Management and Industry Integration through a Remote Services Laboratory**. Proceedings of the Joint International IMEKO TC1 + TC7 Symposium. Ilmenau, Germany, 2005.
- [6] D.J. WHEELER, **Advanced Topics in Statistical Process Control**. Knoxville: SPC Press, 1995.
- [7] V.C. NARDELLI, G.D. DONATELLI, **A Simple Solution to Interim Check of Coordinate Measuring Machines**. Proceedings of the XVIII IMEKO World Congress. Rio de Janeiro, Brazil, 2006.