



## 5º Congresso de Pesquisa

### UM APLICATIVO WEB PARA A SIMULAÇÃO DA MEDIÇÃO POR COORDENADAS

#### Autor(es)

ÁLVARO JOSÉ ABACKERLI

#### Co-Autor(es)

LUÍS AUGUSTO CONSULARO  
NIVALDI CALONEGO JÚNIOR

#### Apoio Financeiro

FAP/UNIMEP

#### 1. Introdução

Máquinas de Medir por Coordenadas (MMCs) são equipamentos que tem ganhado muito espaço na indústria metal-mecânica, tanto pela flexibilidade quanto pela sua capacidade de medição crescente ao longo dos anos. Hoje, fabricantes atribuem exatidão estável pequena quanto  $E = 0.35 + L/1000$ , com L em metros e E em microns-metro (MITUTOYO, 2007), que correspondem a medir pequenos comprimentos com exatidões da ordem de 35 nm sob condições controladas. Independente dos condicionantes impostos para a capacidade, estas são altas, verificáveis em diversos fabricantes, o fato é que estas máquinas têm capacidades respeitáveis para diversas aplicações da indústria, fazendo com que algumas questões anteriormente obscurecidas pelo limitado desempenho se tornassem requisitos mínimos para a compreensão sobre o seu funcionamento e determinação da sua real capacidade. Em outras palavras, as capacidades declaradas pelos fabricantes não são verificáveis em todas as aplicações para as quais as indústrias possam querer usar estas máquinas, mesmo dentro do escopo de tarefas recomendado para estes equipamentos pelos próprios fabricantes. A incerteza de medição (ISO, 1995) é uma dessas questões relevantes, pois a sua interpretação e o seu efeito sobre o resultado da medição dependem tanto da máquina quanto do meio e da tarefa de medição executada. O problema é que a interpretação do efeito da incerteza e até dos erros, típicos da medição, não é uma tarefa trivial, mesmo para profissionais experientes, fazendo com que eventuais inferências sobre os resultados precisem de atenção especial. A questão se tornou tão relevante que algumas abordagens foram criadas para a estimativa das incertezas, tomando como referência as recomendações da ISO (1995). Houve abordagens experimentais, como as trazidas pela ISO/TS 15530-3 (ISO, 2004), e outras, via software, como a desenvolvida pela Metrosage Plc. (METROSAGE, 2007a) ou pelo PTB (FRANKE, 2007). Entretanto, mesmo com iniciativas direcionadas a esclarecer algumas questões relevantes, percebeu-se que a simples orientação por procedimentos poderia

até ser suficiente para instruir o usuário na obtenção do resultado (ABACKERLI, 2004), mas era insuficiente para ensinar a base conceitual necessária para a tomada de decisões sobre as medições. Tal constatação motivou organizações a criarem instruções e/ou procedimentos adicionais para simplificar a avaliação dos resultados da medição, a exemplo do verificado em Metrosage (2007b).

## 2. Objetivos

---

Esse contexto, visualizado há anos por diversas investigações ligadas ao uso das MMCs (ABACKERLI, 1996; 1998-2000), motivou o desenvolvimento do simulador ora discutido com objetivo de criar um ambiente de simulação que considere a realidade dos usuários e possa ser usado como ferramenta para ensino dos fundamentos desta tecnologia e para a análise de alguns dos principais fatores que influenciam os resultados das medições. Sua concepção, estrutura e interfaces são discutidas nos próximos itens, seguidos de considerações sobre os resultados já alcançados na implementação do projeto.

## 3. Desenvolvimento

---

A Figura 1 ilustra esquematicamente a concepção do sistema que é separado em três partes principais; as interfaces com o usuário (acesso remoto via WEB), o servidor de interfaces, que também controla o acesso ao sistema, e um servidor de simulações, que recebe os dados do usuário em formato XML e os processa remotamente numa plataforma MatLab®. Detalhes sobre o projeto podem ser verificados em Calônego Jr., Abackerli e Consularo (2006). Esta concepção, que visa melhorar a usabilidade e a fidelidade do sistema (PHILLIPS et al, 2003; SWEBOK, 2007), leva em consideração a complexidade do problema por meio dos seguintes aspectos. Número de parâmetros de configuração: além do grande número, eles podem variar no processo dependendo das decisões de medição. Ordem de configuração: refere-se à seqüência da configuração e às suas influências nos outros passos da medição. Conhecimento do usuário: está relacionado com seus conhecimentos prévios sobre o problema de medição real e seu aprendizado sobre a simulação. O projeto do simulador estratifica o problema e separa as ações de acesso ao sistema, de controle do processo de simulação e de visualização de dados, permitindo criar cenários e controles apropriados para cada nível de usuário; o usuário Newbie, Trainee, Intermediary, Expert. Essas categorias estão associadas ao tipo de controle que se tem sobre as ações do usuário durante a configuração da simulação. A categoria Newbie abrange usuários sem experiências que pretendem se familiarizar com as interfaces de configuração e com a medição. Neste caso, são apresentadas estratégias de medições diferentes que implementam seqüências válidas de configuração mas não é permitida a criação de novas configurações, o usuário deve apenas analisar cada uma das configurações e ver os seus resultados na simulação. Usuários Trainee são aqueles que têm permissão para a modificar valores das configurações. Os usuários Intermediary podem modificar estratégias de medição e editar parâmetros de configuração, enquanto que os usuários Expert não têm restrições de uso. No que se refere à simulação dos efeitos que agem sobre as medições, o projeto implementa a simulação de 5 blocos distintos de informações, conforme mostram os itens a seguir. Sistema apalpador: configuração do sistema apalpador completo; deste a montagem física do apalpador, pontas e extensões, até parâmetros de desempenho. Máquina de medir: configurações similares, porém para a máquina de medir. Ambiente: efeitos de temperatura sobre as medições e permite a escolha do seu modo de compensação. Peça: definição de partes (features) relevantes da peça a medir, seu posicionamento e orientação no volume da MMC. Info. Fabricação: introduz informações sobre características causadas pelo processo de fabricação que representam erros de forma e rugosidade da peça. Com relação ao cálculo dos resultados das medições, seus erros e incertezas, o sistema parte de modelos determinísticos aceitos na literatura científica da área (ex. erros cinemáticos e efeitos térmicos), cujos parâmetros são determinados via calibração, segundo normas, e/ou com informações de fabricantes (ex. coeficientes de expansão térmica). Os efeitos aleatórios são acrescentados por modelos probabilísticos com parâmetros também determinados do ambiente de medição, via calibração ou teste, dos fabricantes e dos condicionantes do problema de medição, incluindo informações de todos os cinco blocos acima listados. As duas classes de modelos (determinísticos e probabilísticos) são apropriadamente agrupadas obedecendo a engenharia do problema e métodos de Monte Carlo são usados

para estimar o desempenho da máquina sob condições dadas de medição. O sistema assim concebido tem interfaces e operação resumidamente discutidas no item a seguir.

#### 4. Resultados

---

O sistema completo é composto de várias interfaces, das quais a Figura 2 ilustra uma destinada a configurar parte de informação da MMC, ou seja, parte do segundo bloco de informações acima listado. Como já mencionado, neste exemplo, a interface organiza informações sobre a configuração física da máquina ( modelo, tamanho, orientação dos eixos ), sobre parâmetros de desempenho ( performance parameters ) coletados por meio de testes, e erros cinemáticos colhidos via calibração da máquina. A simulação pode ser feita considerando apenas os parâmetros de desempenho, somente os erros cinemáticos, ambos ou nenhum ( máquina perfeita neste item ), a critério do usuário, de modo a melhor representar o seu problema real de medição. De acordo com os diferentes níveis de usuários (acima), o sistema controla as possibilidades de alteração de cada item de configuração e guia o usuário através da simulação. Deste modo, não somente a medição é configurada para simulação como também o usuário é induzido a perceber o efeito das suas decisões sobre o processo. Uma vez configurada, o sistema gera um arquivo XML de toda a configuração, análogo ao mostrado no Quadro 1, que neste exemplo contém informações sobre a configuração do tipo de máquina e dos eixos mostrados na Figura 2. As informações de configuração são validadas por meio de um Schemma e instruções são devolvidas ao usuário caso os dados caracterizem uma medição inválida, considerando os parâmetros e informações disponíveis. Tais informações são submetidas à plataforma MatLab® que armazena os modelos para processamento matemático, retornando ao usuário as informações as incertezas e erros de medição. A Figura 3 mostra um exemplo hipotético de resultados onde na esquerda (Figura 3-a) se observa um histograma que caracteriza a incerteza na posição de uma dimensão “D1”, e na direita (Figura 3-b) o mapeamento dos erros no plano XY da máquina, calculados para  $Z = 0$ , donde se pode escolher a região de melhor características para realizar a medição desejada.

#### 5. Considerações Finais

---

Os aspectos de usabilidade e fidelidade do sistema dependem fortemente das características do projeto desenvolvido e tem mostrado capacidade para acomodar as necessidades dos diferentes níveis de usuários. O controle sobre as suas ações tem se mostrado eficaz, proporcionando um mecanismo interessante para conduzir os usuários nos aspectos mais relevantes do processo de medição. Conforme discutidas em Carvalho (2005), as interfaces implementadas representam um aprimoramento se comparadas com softwares comerciais disponíveis (METROSAGE, 2007) por eliminar alguns problemas potencialmente capazes de induzir usuários a interpretações errôneas sobre a medição e a simulação. Finalmente, verifica-se que, unidas apropriadamente a ambientes de realidade virtual (PAULA e ABACKERLI, 2005), a ferramenta criada para WEB tem potencial para representar problemas reais de máquinas de medir, não disponíveis em outros pacotes comerciais, além de criar um ambiente potencialmente útil para o aprendizado sobre a medição por coordenadas.

#### Referências Bibliográficas

---

- ABACKERLI, A. J. Análise de desempenho de máquinas de medir a três coordenadas: parte 1/2. Piracicaba – SP: UNIMEP, 1998. 53p. (Relatório de Pesquisa). Processo FAPESP 96/5961-1.
- ABACKERLI, A. J. Análise de desempenho de máquinas de medir a três coordenadas: parte 2/2. Piracicaba – Sp: UNIMEP, 1999. 99p. (Relatório de Pesquisa). Processo FAPESP 96/5961-1.
- ABACKERLI, A. J. Avaliação e classificação de máquinas de medir a três coordenadas. Teddington – UK: NPL. 1996. 58p. (Relatório de Pesquisa) Processo CNPq 201267/94-2(NV)

- ABACKERLI, A. J. Estudo do teste de software aplicado à metrologia. Gaithersburg - MD: NIST, 2004. 84 p. (Relatório de Pesquisa). Processo CAPES BEX 2300/02-8.
- ABACKERLI, A. J. Panorama de utilização de máquinas de medir no Brasil. Revista Máquinas e Metais, São Paulo - SP, v. XXXVI , p.112-127, 2000.
- CALÔNEGO JR, N.; ABACKERLI, A. J.; CONSULARO, L. A. User interface design for VCMMs: an approach to increase fidelity and usability. In: VECIMS 2006, 2006, La Coruña. IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces, and Measurement Systems. 2006. p. 1-6.
- CARVALHO, O. L. C. Teste de um simulador para medição por coordenadas. Relatório de iniciação científica PIBIC/CNPq. UNIMEP. Santa Bárbara d'Oeste – SP. Agosto 2005, 54p.
- FRANKE, M. (Germany). Physikalisch-technische Bundesanstalt (PTB) (Org.). Virtual CMM in use in industry. Disponível em: < <http://www.ptb.de/en/suche/suche.html> >. Acesso em: 21 ago. 2007.
- ISO (Org.). Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement — Part 3: Use of calibrated workpieces or standards. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization - Iso, 2004. 16 p. (Geometrical Product Specifications – GPS). ISO/TS 15530-3.
- ISO (Org.). Guide to the Expression of uncertainty in measurement (GUM). 2. ed. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization - ISO, 1995. (Guide).
- METROSAGE (EUA). Metrosage Plc (Org.). PUNDIT/CMM. Disponível em: com>. Acesso em: 21 ago. 2007a.
- METROSAGE (EUA). Metrosage Plc (Org.). PUNDIT/CMM: An interview-based GUI for PUNDIT/CMM. Disponível em: < [http://www.metrosage.com/QuickPundit\\_For\\_PUNDIT\\_CMM.pdf](http://www.metrosage.com/QuickPundit_For_PUNDIT_CMM.pdf)>. Acesso em: 21 ago. 2007b.
- MITUTOYO (Brasil). Máquina de medir coordenadas LEGEX CNC. Disponível em: com.br/produtos/mmc/pdf/legex.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2007.
- PAULA, L. J. L.; ABACKERLI, A. J. Aplicação da realidade virtual na representação de erros em máquinas de medir por coordenadas. In: XII SIMPEP 2005, 2005, Bauru - SP. Anais do XII SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção. 2005. p. 1-10.
- PHILLIPS, S.D. et al. The validation of CMM task specific measurement uncertainty software. 2003. ASPE. ASPE Proceedings of the Summer Tropical Meeting on Coordinate Measuring Machines.
- SWEBOK Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK): 2004 version. Abran, A., Moore, J.W., Bourque, P., Dupuis, R. & Tripp, L.L. (eds.), (IEEE Computer Society, Los Alamitos - CA, 2004). Disponível em: <<http://www.swebok.org/>> Acesso em 21 ago. 2007.

## Agradecimentos

São devidos ao Fundo de Apoio à Pesquisa da UNIMEP pelo suporte financeiro na realização deste projeto sob protocolo SEAC 346-04.

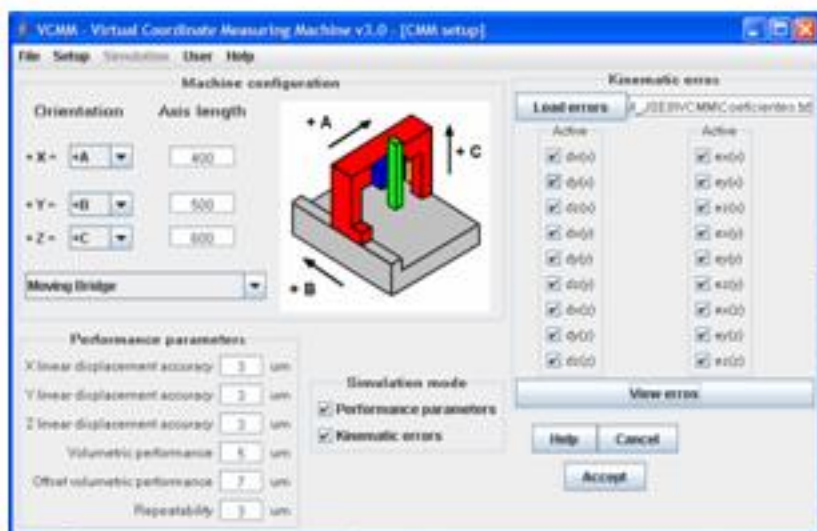
## Anexos

---

Usuário remoto



XML



Modelos matemáticos  
Processamento de dados

Figura 1 - Concepção geral do sistema

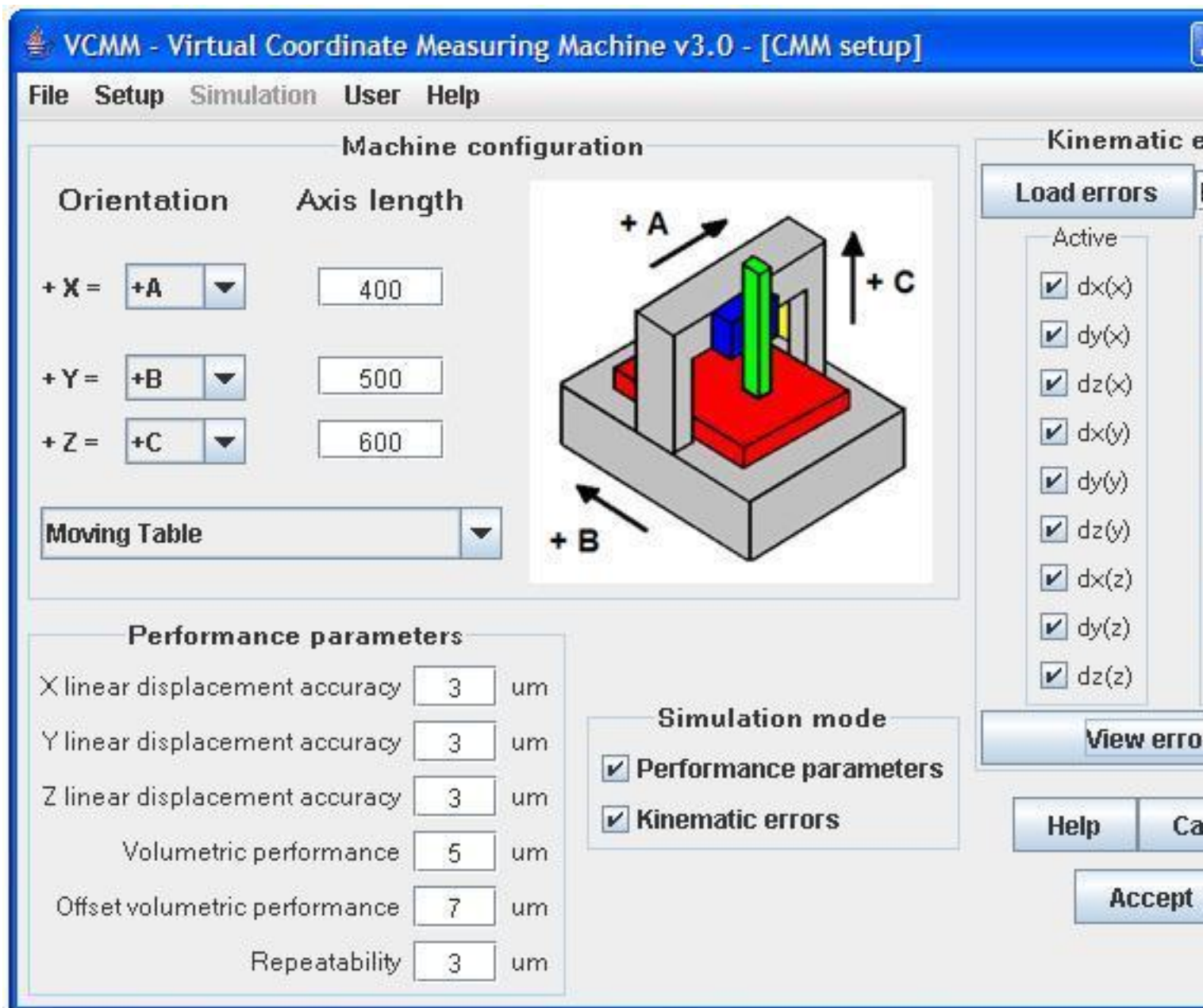


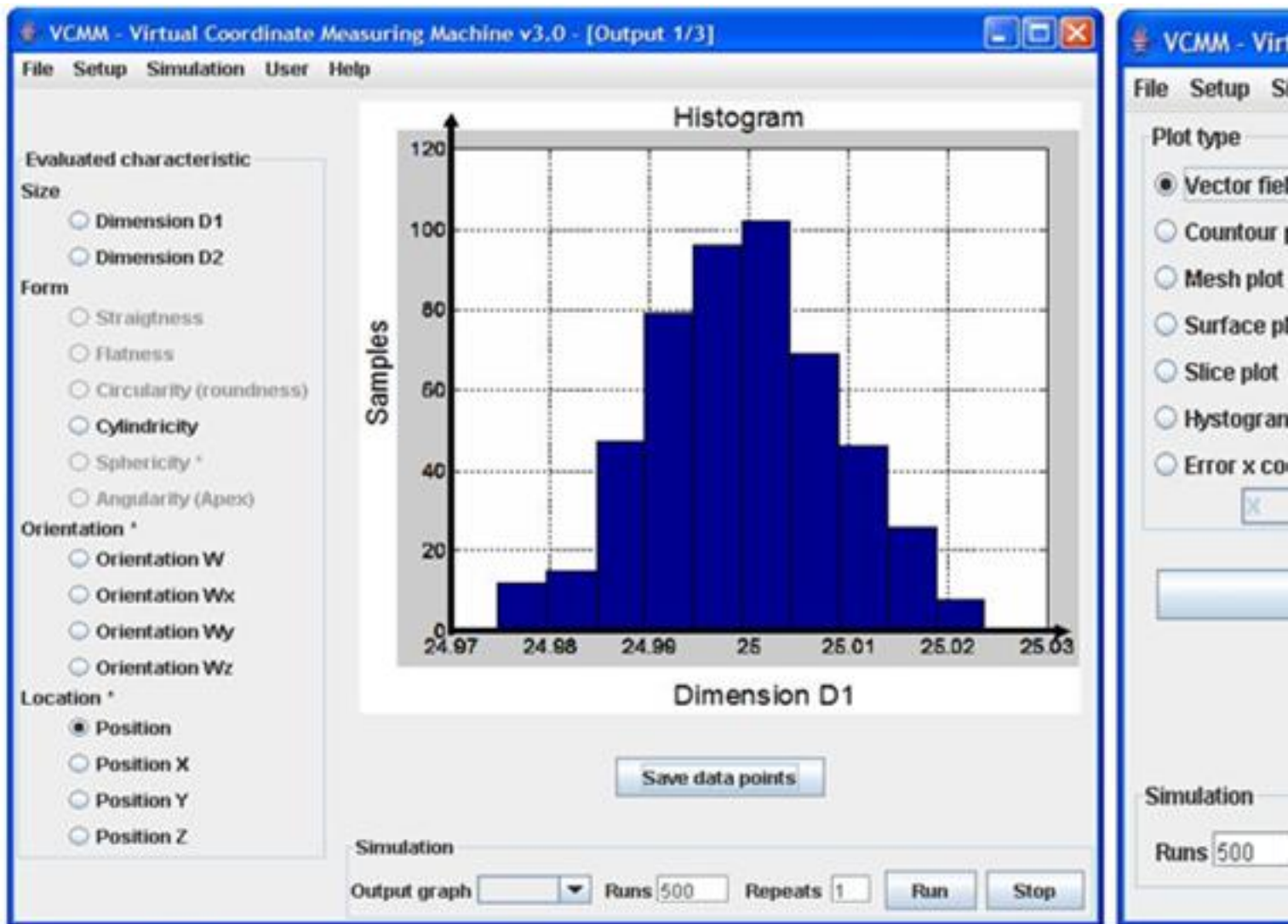
Figura 2 - Interface de configuração da máquina.

### Quadro 1 - Exemplo de código XML.

```

<VCMMSetup>
  <MachineConfiguration>
    <CMMXAxis>
      <CMMAxisOrientation>+A</CMMAxisOrientation>
      <CMMAxisLength>400</CMMAxisLength>
    </CMMXAxis>
    <CMMYAxis>
      <CMMAxisOrientation>+B</CMMAxisOrientation>
      <CMMAxisLength>500</CMMAxisLength>
    </CMMYAxis>
    <CMMZAxis>
      <CMMAxisOrientation>-C</CMMAxisOrientation>
      <CMMAxisLength>600</CMMAxisLength>
    </CMMZAxis>
    <CMMSTypeSelect>MovingTable</CMMSTypeSelect>
  </MachineConfiguration>
</VCMMSetup>

```



(a) Figura 3 - Saída de dados