

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE AVANÇO NO MONITORAMENTO DE DADOS DO CNC

Eng. Erik Gustavo Del Conte

Universidade Metodista de Piracicaba - SCPM – Rodovia Luis Ometto, Km1 - 13451-900 Santa Bárbara D'Oeste, SP - ergconte@unimep.br

Prof. Dr.-Ing Klaus Schützer

Universidade Metodista de Piracicaba - SCPM – Rodovia Luis Ometto, Km1 - 13451-900 Santa Bárbara D'Oeste, SP - schuetzer@unimep.br

MSc. Eng. André Luis Helleno

Universidade Metodista de Piracicaba - SCPM – Rodovia Luis Ometto, Km1 - 13451-900 Santa Bárbara D'Oeste, SP - alhelleno@unimep.br

Resumo. *A necessidade de redução do ciclo de desenvolvimento dos produtos torna o processo de usinagem HSM um fator diferencial para a otimização do processo de manufatura nas indústrias de moldes e matrizes. A aplicação do comando numérico de arquitetura aberta na usinagem HSM proporciona a flexibilidade de automação, necessária para o desenvolvimento de tecnologias relacionadas a esse processo, dentre as quais destacam-se os sistemas de monitoramento de dados. O comando numérico gerencia e disponibiliza, para o monitoramento dados como velocidade de avanço, potência do eixo-árvore, posição dos eixos, entre outros. O presente trabalho tem como objetivo apresentar a influência de diferentes velocidades de avanço na taxa de aquisição do sistema de monitoramento desenvolvido. Ensaaios considerando diferentes velocidades de transmissão de dados obtidas pelos comandos Siemens 810/840D foram utilizados para cálculo e análise da taxa de aquisição do sistema.*

Palavras-chave: *Sistemas de Monitoramento, Velocidade de avanço, Open CNC, Tecnologia HSM.*

1. INTRODUÇÃO

A usinagem HSM (*High Speed Machining*) é uma tecnologia que ao possibilitar a otimização da manufatura de moldes e matrizes, contribui para a redução do ciclo de desenvolvimento do produto, tornando-se um fator diferencial em produtividade e competitividade, que são itens estratégicos do ambiente corporativo.

O emprego desta tecnologia na produção não depende somente de uma máquina com eixo-árvore de alta velocidade e sim de um conjunto de tecnologias, que vão desde a programação da usinagem através de sistemas CAM (*Computer Aided Manufacturing*) com o emprego das metodologias de interpolação da trajetória da ferramenta e parâmetros adequados até as tecnologias de fixação da ferramenta e da peça, sistemas de acionamento, dispositivos de segurança, monitoramento do processo, entre outras, que interagem com a finalidade de obter resultados específicos no processo de usinagem ⁽¹⁾.

A crescente utilização do PC (*Personal Computer*) no ambiente produtivo e a evolução de sistemas de aquisição de dados são fatores que contribuem para o desenvolvimento e aplicação de sistemas de monitoramento de máquinas. Os sistemas de monitoramento proporcionam informações sobre o estado de determinada variável do equipamento, este estado é utilizado como base para a tomada de decisões que visam adequar o comportamento da máquina para uma condição pré-determinada, ou mesmo

visando o estudo do equipamento inserido no processo produtivo com a finalidade de otimização do mesmo.

A otimização do processo está diretamente relacionada à capacidade de interação do usuário com a máquina. Esta abertura, em termos de programação e configuração é necessária e determina a flexibilidade que o equipamento proporcionará em níveis de integração e automação. Neste sentido, desde os anos 90, o controlador de arquitetura aberta (*Open Architecture Control - OAC*) é uma das iniciativas com o objetivo de proporcionar a abertura de interfaces e métodos de configuração dos equipamentos originais ⁽²⁾. Alguns sistemas possuem arquitetura fechada ou semi-aberta, porém permitem a manipulação de dados de operação com baixas frequências de amostragem através da utilização de aplicações baseadas em PC com módulos de software de interface fornecidos pelo fabricante do CNC ⁽³⁾.

O monitoramento do processo tem neste trabalho, a proposta de, através da comunicação com o comando numérico de arquitetura aberta, monitorar variáveis que o CNC utiliza e disponibiliza para leitura. Dentre esses dados tem-se: velocidade programada e real de avanço, posição dos eixos, rotação do eixo-árvore, temperatura do motor, entre outros ⁽⁴⁾.

Os parâmetros de programação são tradicionalmente baseados na experiência do profissional ou em manuais técnicos, isso resulta na utilização de parâmetros conservadores, pois a prioridade é a prevenção a falhas no processo. O monitoramento online de dados, considera o comportamento da máquina durante o processo de usinagem e permite o ajuste online dos parâmetros com o objetivo de otimizá-los ⁽⁵⁾.

A transmissão dos dados do comando numérico ao PC é executada através de redes de comunicação industrial, suas principais funções são: controle através dos métodos de troca de dados com os atuadores, configuração dos equipamentos de campo e coleta de dados possibilitando a visualização em HMI (*Human Machine Interface*) ⁽⁶⁾.

As tecnologias de comunicação para dispositivos de campo, proporcionam confiabilidade na transmissão de dados em tempo real e com custo adequado para os sistemas de automação. As redes de campo padronizadas e comerciais como PROFIBUS, P-NET, WorldFIP, Foundation Fieldbus e Ethernet/IP, oferecem soluções com funcionalidade e interoperabilidade entre dispositivos adequados a integração digital da manufatura ⁽⁷⁾.

A evolução padronizada das tecnologias de comunicação entre equipamentos de campo e a utilização do conceito de arquitetura aberta são itens fundamentais para a inserção do monitoramento de máquinas no ambiente produtivo. O desenvolvimento de softwares específicos da área de instrumentação e controle contribuem para o crescimento constante de aplicações baseadas em PC. Neste trabalho é utilizado o software LabVIEW que é baseado no conceito de fluxo de dados programáveis e possui funções para comunicação via rede.

Na Figura 1 é demonstrado o conceito do sistema.

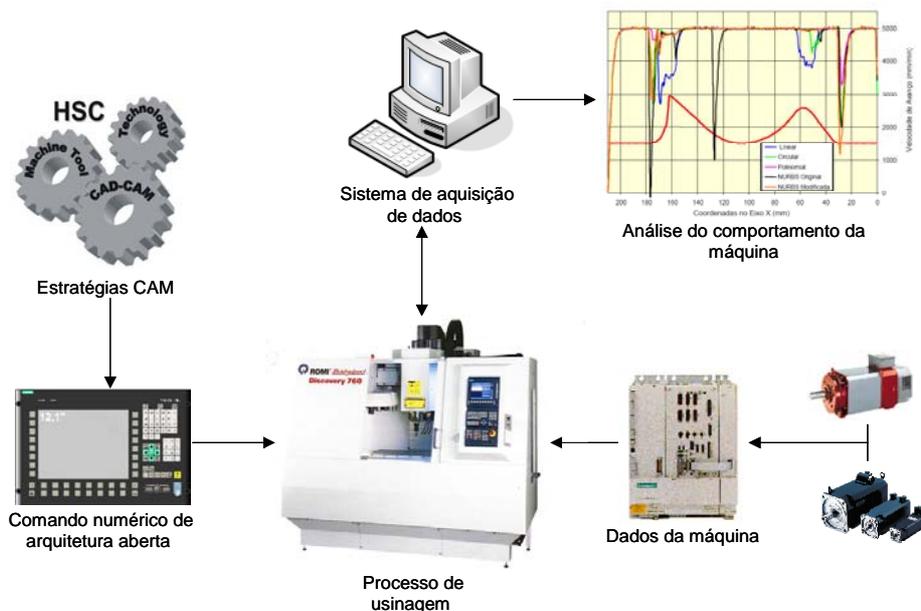


Figura 1: Conceito do sistema de monitoramento de dados do CNC.

2. OBJETIVOS

Calcular a taxa de aquisição e analisar a influência da velocidade de avanço na resolução dos pontos de leitura do sistema de monitoramento de dados desenvolvido para o CNC SIEMENS 810D do centro de usinagem Romi Discovery 760 localizado no laboratório de automação da manufatura da UNIMEP (Universidade Metodista de Piracicaba) e do CNC SIEMENS 840D do centro de usinagem 5 eixos Hermle localizado no CCM (Centro de Competência em Manufatura) do ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema foi desenvolvido com a utilização do software LabVIEW 7.0 da National Instruments, a comunicação do PC Intel Pentium III de 800 MHz e sistema operacional Windows XP com o CNC foi desempenhada pela placa CP5611 instalada no barramento PCI (*Peripheral Component Interconnect*) do PC. Na conexão da placa CP5611 com o CNC foi utilizado o cabo de rede MPI (*Multi Point Interface*), sendo esses três equipamentos da empresa SIEMENS.

A disponibilização dos dados para comunicação é executada pelo NCDDE (*Dynamic data exchange with the NC kernel*), este servidor de dados faz parte do pacote OEM (*Original Equipment Manufacturer*) da SIEMENS ⁽⁸⁾. Através das funções DDE (*Dynamic Data Exchange*) do LabVIEW, é requisitada a leitura da variável de velocidade “vavactm” (este é o nome da variável que contém dados da velocidade real de avanço) do eixo X. O comportamento da variável é visualizado através de um gráfico e os valores da variável com o tempo gerado no contador em milisegundos são gravados em um arquivo texto separado por tabulações, sendo este arquivo a fonte de análise dos tempos relativos a taxa de aquisição determinada neste experimento, na Figura 2 é apresentado o diagrama de blocos do sistema desenvolvido.

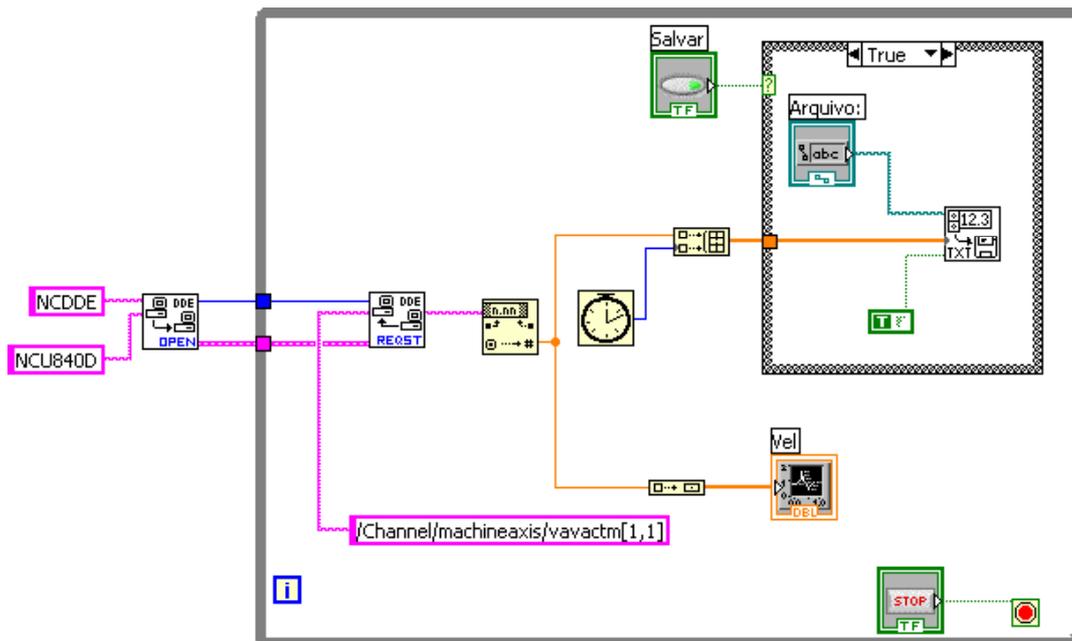


Figura 2: Diagrama de blocos do sistema desenvolvido.

O ensaio foi feito com a execução do sistema para leitura da variável “vavactm” do eixo X em um deslocamento de 100 mm com a velocidade de avanço de 1000 mm/min no primeiro ensaio e 5000 mm/min no segundo ensaio para o CNC 810D que possui velocidade de transmissão de dados de 187.5 Kbps e para o CNC 840D com velocidade de transmissão de 1.5 Mbps^(9,10). Segue abaixo o programa NC utilizado nos ensaios:

```
G54
G0 X0
M00
G1 X100 F1000
M30
Para ensaio 1 F=1000 e ensaio 2 F=5000
```

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados obtidos nos ensaios são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Dados coletados com o sistema desenvolvido.

Descrição	810D F1000	810D F5000	840D F1000	840D F5000
Qtde Pontos	75	29	341	82
Taxa pontos/s	9,01	8,75	56,12	61,51
Tmédio entre leituras (s)	0,112	0,117	0,018	0,016
Tmínimo (s)	0,055	0,066	0,008	0,011
Tmáximo (s)	0,215	0,219	0,039	0,022

A velocidade de avanço é determinada pelo deslocamento em milímetros dividido pelo tempo em minutos (mm/min). A Equação 1 determina a taxa de aquisição do sistema para a coleta de 1 ponto de leitura por 1 mm de deslocamento no intervalo de tempo de 1 s.

$$TA = \frac{\text{Pontos}}{\text{Tempo}(s)} \Rightarrow \frac{\text{Avanço}(mm)}{\text{Tempo}(s)} \quad \frac{1000mm}{\text{min}} = \frac{16,67mm}{s} \quad (1)$$

Onde:

TA = Taxa de Aquisição

O sistema deve ter uma taxa de 16,67 pontos/s para coletar no mínimo 1 ponto por 1 mm de deslocamento com a velocidade de avanço 1000 mm/min

Para a taxa média de 9,01 pontos/s (ver Tabela 1) do CNC 810D o limite de velocidade de avanço para a aquisição de 1 ponto por mm percorrido é calculado conforme a Equação 2, abaixo:

$$VA_{MAX} = TA \times Tempo \quad VA_{MAX} = 9,01 \times 60 \quad VA_{MAX} = 540,6mm / \text{min} \quad (2)$$

Onde:

VA_{MAX} = Velocidade de Avanço Máxima para a aquisição de 1 pto/mm.

Com a taxa média máxima 58,81 pontos/s (ver Tabela 1) do CNC 840D, para a aquisição de no mínimo 1 ponto por mm percorrido a velocidade de avanço máxima deve ser:

$$VA_{MAX} = 58,81 \times 60 \quad VA_{MAX} = 3528,6mm / \text{min}$$

Esses dois limites de velocidade, na qual é garantida a coleta de 1 ponto de leitura por 1 milímetro percorrido, são resultado das velocidades de transmissão da rede de 187.5 Kbps e de 1.5 Mbps. A Equação 3 demonstra essa influência:

$$GV = \frac{1500}{187,5} = 8 \quad GT = \frac{56,12}{9,01} = 6,23 \quad (3)$$

Onde:

GV = Ganho de Velocidade de transmissão

GT = Ganho de Taxa de transferência

O ganho de 8 vezes na velocidade de transmissão resultou no ganho de taxa de aquisição de 6,23. O comportamento dos tempos entre leituras para ambos comandos é analisado através da plotagem dessa distribuição no gráfico de probabilidade normal. Este procedimento visa demonstrar a influência da velocidade de transmissão da rede na distribuição de tempos entre leituras.

Através da análise comparativa dos gráficos (ver Figura 3 e 4), observa-se que para o comando com taxa de transmissão de 187.5 Kbps (ver Figura 3) não ocorre o empilhamento de pontos de leitura (que caracteriza a obtenção de tempos entre leituras iguais) e a distância entre leituras é irregular, ou seja, a resolução do sistema não é satisfatória com esta velocidade de transmissão.

No comando com taxa de transmissão de 1.5 Mbps (ver Figura 4), ocorre a repetição de leituras com o mesmo tempo entre leituras, isso é evidenciado pelo empilhamento de pontos e a resolução obtida entre os empilhamentos corresponde a resolução de 1 ms do contador utilizado no sistema, demonstrando que esta velocidade de transmissão é adequada em termos de resolução da variável medida.

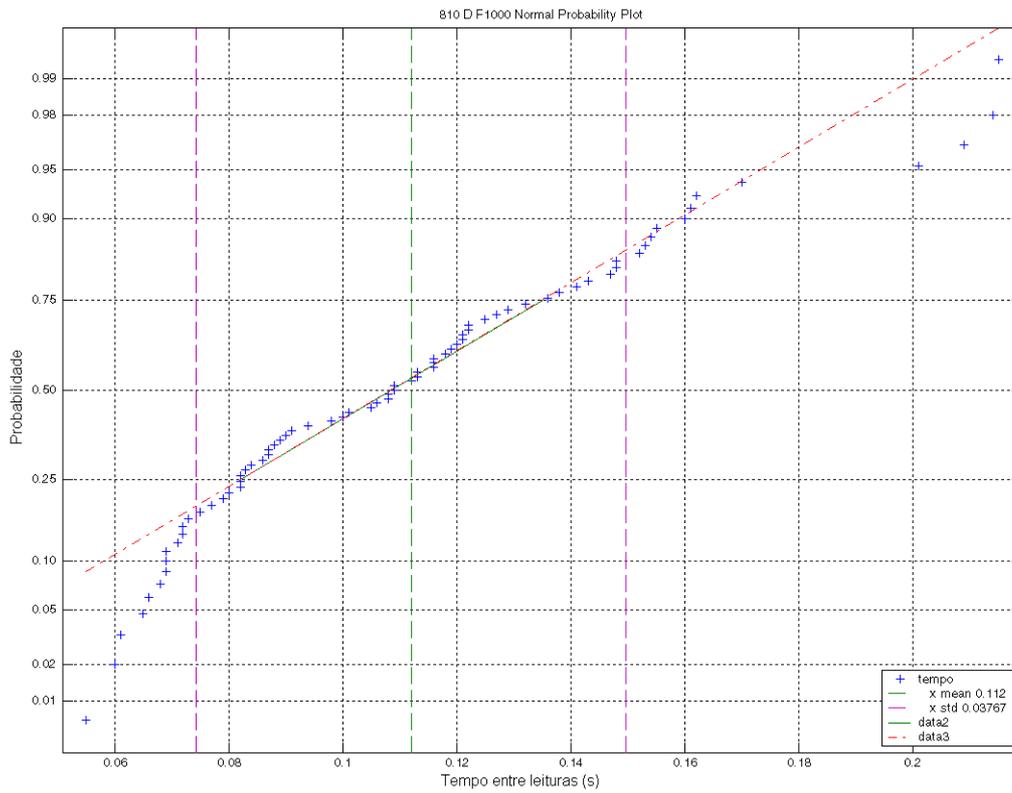


Figura 3: Gráfico Normal da distribuição de tempos entre leituras com 187.5 Kbps.

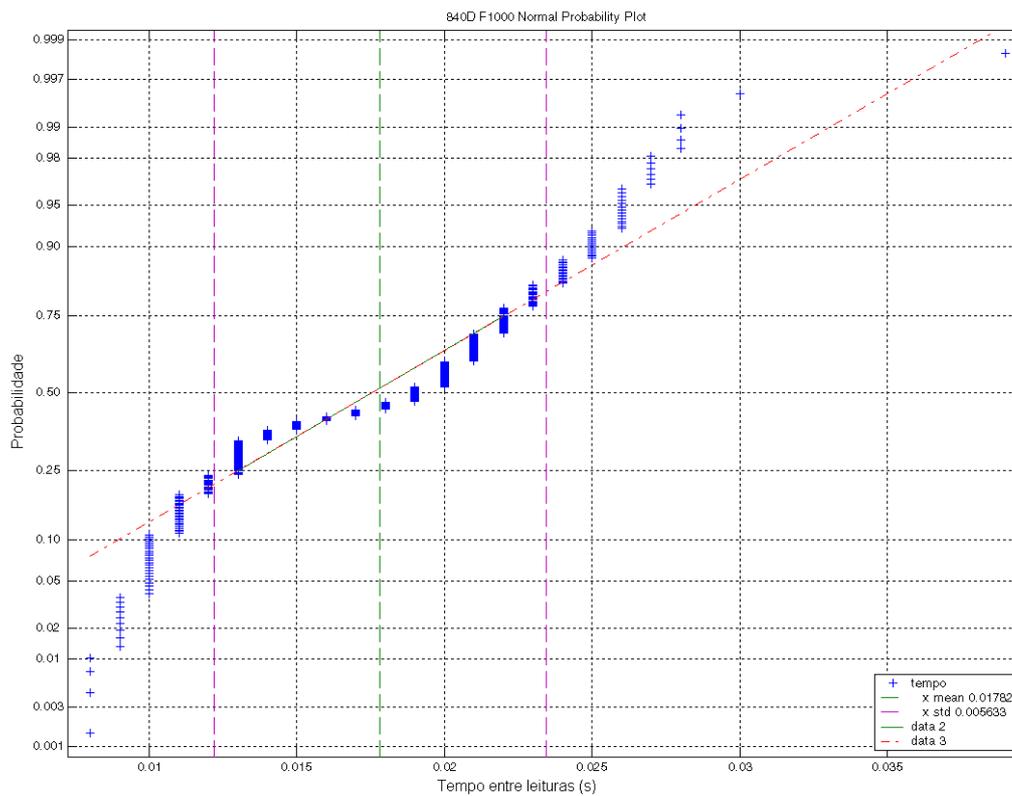


Figura 4: Gráfico Normal da distribuição de tempos entre leituras com 1.5 Mbps.

O CNC estudado permite através da utilização de ações síncronas coletar dados de variáveis do sistema, a principal vantagem deste método é que o tempo entre leituras depende somente do tempo de resposta do CNC, que é considerado como o tempo necessário para a leitura da informação, processamento e transmissão desta informação para a máquina executar o movimento⁽¹¹⁾, o que elimina o atraso na transmissão de dados via rede. As desvantagens são a limitação no número de variáveis monitoradas e é necessário transmitir e tratar o arquivo com os dados coletados “manualmente”.

Na Figura 5 é demonstrada a influência da velocidade de avanço na variação da taxa de aquisição. Neste gráfico, fica evidenciado que com o aumento da velocidade de avanço, o intervalo entre leituras aumenta e a quantidade de pontos coletados nessa distância diminui, prejudicando a resolução da variável medida. Os tempos entre leituras considerado no CNC sem o sistema de aquisição é o tempo equivalente ao tempo de resposta da máquina.

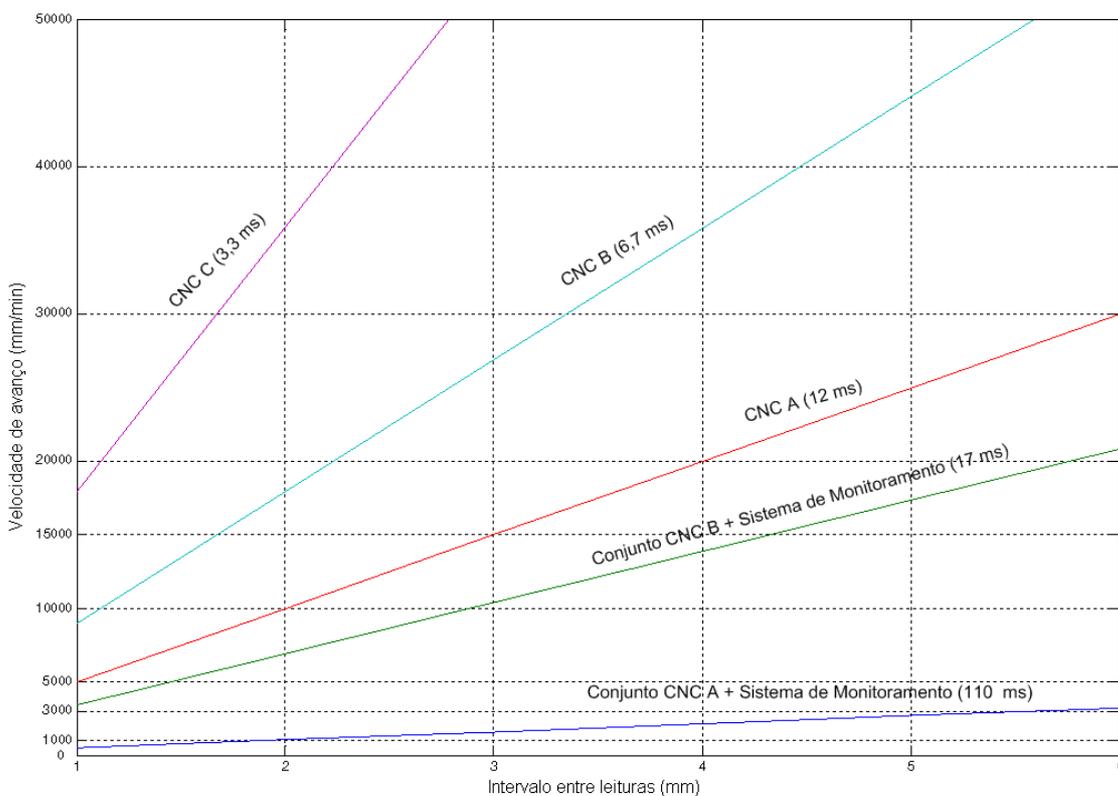


Figura 5: Influência da velocidade de avanço na resolução dos pontos de leitura.

5. CONCLUSÕES

A taxa de aquisição calculada para o comando 810D foi de 9,01 pontos/s e para o 840D foi de 58,81 pontos/s. A diferença de aproximadamente 6,5 vezes foi evidenciada pelo aumento de 8 vezes na taxa de transmissão da rede para o comando 840D.

A taxa de transmissão da rede e a velocidade de avanço programada influenciaram na quantidade de pontos coletados pelo sistema. No sistema desenvolvido os limites de velocidade de avanço para a aquisição de no mínimo um ponto por milímetro percorrido é de 540,6 mm/min para o comando 810D e 3528,6 mm/min para o comando 840D com taxas de transmissão de rede de 187,5 Kbps e 1,5 Mbps respectivamente.

O atraso da transmissão via rede é o principal limitador na taxa de aquisição do sistema e como consequência na resolução da variável medida, esse comportamento é

constatado nos gráficos normais de probabilidade e no gráfico de influência da velocidade de avanço na resolução dos pontos de leitura.

A utilização de ações síncronas para a aquisição de dados volta a ser considerada pois neste método a influência da velocidade de avanço na coleta de dados é menor se comparado a leitura das variáveis via rede. Porém deve-se estudar a possibilidade de automação deste método através da comunicação com o comando, assim como suas limitações.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido com o seguinte apoio:

- CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior);
- Laboratório CCM - ITA;
- Projeto FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) 04/16031-3 usinagem com altas velocidades de corte – HSM;
- Empresa SIEMENS.

7. REFERÊNCIAS

1. SCHÜTZER, K. et al. *Usinagem em Altíssimas Velocidades*. São Paulo: Editora Érica, 2003. 214 p.
2. SILVA, E.; J.; BIFFI, M.; OLIVEIRA, J. F. G. The Development of an Open Architecture Control System for CBN High Speed Grinding. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Rio de Janeiro, Vol. XXVI, No. 1, p. 51 – 55, Janeiro de 2004.
3. EROL, N.A.; ALTINTAS, Y.; ITO, M.R. Open system architecture modular tool kit for motion and machining process control. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol. 5, No. 3, p. 281 – 291, Setembro de 2000.
4. FERRAZ, F.; COELHO, R. T. Data acquisition and monitoring in machine tools with CNC of open architecture using internet. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, London, Vol. 26, No. 1 – 2, Julho de 2005.
5. CUS, F.; MILFELNER, M.; BALIC, J. An intelligent system for monitoring and optimization of ball-end milling process. *Journal of Materials Processing Technology*, Maribor, Vol. 175, No. 1 – 3, p. 90 – 97, Junho de 2006.
6. FERRAZ, F. Desenvolvimento de um sistema de monitoramento e supervisão para o processo de torneamento. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.
7. ALVES, M.; TOVAR, E. Engineering PROFIBUS networks with heterogeneous transmission media. *Computer Communications*, Porto, In Press, Julho de 2006.
8. A.G. SIEMENS, SINUMERIK 840D / 810D / FM-NC OEM package MMC User's Manual, 12 ed., 1997.
9. A.G. SIEMENS, SINUMERIK 840D Installation and Start-Up Guide Manual, 11 ed., 2002.
10. A.G. SIEMENS, SINUMERIK 810D Installation and Start-Up Guide Manual, 11 ed., 2002.
11. HELLENO, A. L. Investigação de métodos de interpolação para trajetória da ferramenta na usinagem de moldes e matrizes com alta velocidade. Dissertação (Mestrado) - Universidade Metodista de Piracicaba, 2004.

ANALYSIS OF FEED RATE INFLUENCE IN CNC MONITORING DATA

Eng. Erik Gustavo Del Conte

Methodist University of Piracicaba - SCPM – Rodovia Luis Ometto, Km1 - 13451-900
Santa Bárbara D'Oeste, SP - ergconte@unimep.br

Prof. Dr.-Ing Klaus Schützer

Methodist University of Piracicaba - SCPM – Rodovia Luis Ometto, Km1 - 13451-900
Santa Bárbara D'Oeste, SP - schuetzer@unimep.br

MSc. Eng. André Luis Helleno

Methodist University of Piracicaba - SCPM – Rodovia Luis Ometto, Km1 - 13451-900
Santa Bárbara D'Oeste, SP - alhelleno@unimep.br

***Abstract.** The necessity of product development cycle reduction becomes the HSM process a decisive factor for mold and die machinability optimization. The use of an open architecture control in HSM process becomes possible the flexibility required to development of related technologies, where monitoring systems are included. The numerical control manages and communicates monitoring data like feed rate, spindle power consumption, axis position and others. This work purpose is the analysis of the feed rate influence in sampled data through the monitoring system. Experimental tests considering two communication data rates provided by CNC Siemens 810/840D were used to calculate and to analyze sampled data.*

***Keywords.** Monitoring systems, Feed rate, Open CNC, HSM technology.*